

I. Ristea
Gh. Constantinescu
A. Vasile
N. Țetcu

Manualul muncitorului electronist

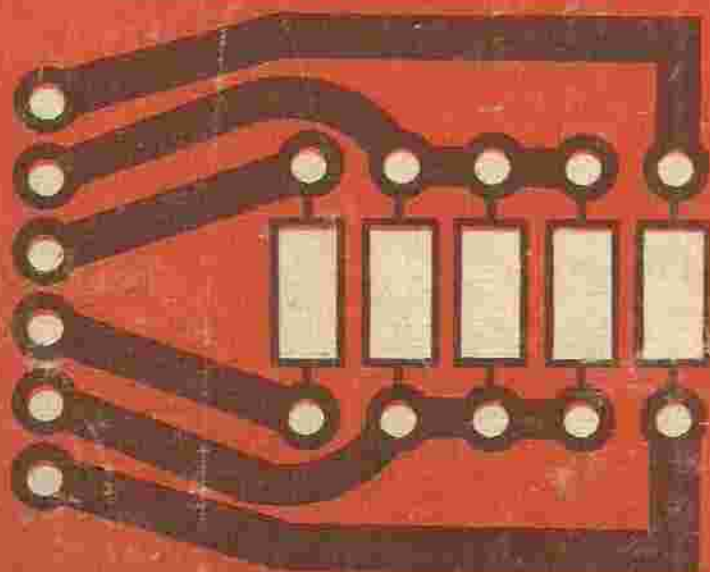
AUTOMATICA

ELECTRONICĂ

SERIA PRACTICĂ

INFORMATICA

MANAGEMENT



Seria Practică

- Automatică
- Informatică
- Electronică
- Management

- E. Samal: Tehnica reglării. Manual practic
 S. Băjurescu, ș.a.: Elemente și sisteme automate pneumatice
 I. Florescu: Practica programării calculatoarelor
 F. G. Shinsky: Practica sistemelor de reglare automată
 E. J. McCarty ș.a.: Sistemele integrate de prelucrare a datelor.
 în conducerea activității economice
 M. Dumitrescu, P. Isac, P. Turcu, M. Enă (coordonatori):
 Organizarea conducerii, producției și muncii
 C. Simboin și Cl. Tanasiciuc: Comutarea statică în automatică
 M. K. Starr: Conducerea producției. Sisteme și sinteze
 V. Crăciunoiu ș.a.: Elemente de execuție
 A. Vlădescu ș.a.: Radioreceptoare
 M. Mayer: G. Mollgen: Tristoarele în practică vol. I, și II.
 L. Zamfirescu și I. Oprescu: Automatizarea cuptearelor industriale
 I. Papadache: Automatica aplicată, Ediția I și a II-a
 St. Alexandru: Automatizarea proceselor tehnologice
 în industria lemnului
 Lisichin V. A.: Prognoza tehnico-științifică în ramurile industriale
 G. Raymond: Tehnica televiziunii în culori
 J. J. Samueli, ș.a.: Instrumentația electronică în fizica nucleară
 T. Homoș: Capacitatea de producție în construcția de mașini
 S. Radu, D. Filoti: Centrale telefonice automate
 R. Stier ș.a.: Transistoare cu efect de câmp
 D. N. Shapiro: Proiectarea radioreceptoarelor
 V. Antonescu, M. Popovici: Ghid pentru controlul statistic al calității
 V. Ballac ș.a.: Calculatorul FELIX C — 256. Structură și programare
 G. Sonea, Silachi M.: Creșterea planificată a productivității muncii
 R. L. Morris: Proiectarea cu circuite integrate TTL
 A. Brilliantov: Calculul și construcția televizorilor portabile
 Kaoru Ishikawa: Controlul de calitate pentru mașini și șefi de echipe
 Magnus Radke: 222 măsuri pentru reducerea costurilor
 I. Stăncioiu: Eficiența economică a asimilării de utilaje noi
 G. Lăjtha: Proiectarea rețelilor de telecomunicații
 Vlădescu, A. ș.a.: Dispozitive semiconductoare. Manual practic
 Ch. Jones: Design: Metode și aplicații
 E. S. Buffa: Conducerea modernă a producției, vol. I și II
 D. W. Davies, ș.a.: Rețele de interconectarea calculatoarelor
 Gh. Băsturea: Comanda numerică a mașinilor-unelte
 L. W. Crum: Analiza valorii
 P. Foiș: Automatica și informatica în procesele editoriale-poligrafice
 P. Vezeanu, St. Pătrașcu: Măsurarea temperaturii în tehnică
 T. Penescu, V. Peirescu: Măsurarea presiunii în tehnică
 P. Popescu, P. Mihoș: Măsurarea debitului în tehnică
 P. Vezeanu: Măsurarea nivelului în tehnică
 A. Nadolo: Măsurarea volumului și cantității lichidelor în industrie
 C. Hidoș, P. Isac (coordonatori): Studiul muncii, I—VIII
 Hidoș, C.: Analiza și proiectarea circuitelor informaționale
 Pădu Gh., I.: Elaborarea și implementarea sistemelor informatice
 P. Căsanțescu, V. Negoiaș: Sistemele informatice, modele ale con-
 ducerii și sistemelor conduse
 V. Penescu, ș.a.: Fișiere, baze și bănci de date
 I. Ceaușu ș.a.: SDV. Organizarea concepției, fabricației, gestiunii
 S. Brebenel: Practica transferului internațional de tehnologie
 P. Constantinescu ș.a.: Analiză, decizie, control
 A. Vlădescu ș.a.: Circuite integrate liniare. vol. I și 2
 S. Măiaș: Sisteme numerice cu circuite integrate

ing. I. Ristea

ing. Gh. Constantinescu

ing. A. Vasile

ing. N. Teten

Manualul muncitorului electronist



Editura tehnică
București

Redactor: ing Smaranda Dimitriu
Tehnoredactor Maria Trăsnea
Coperta seriei Constantin Guluță

Bun de tipar: 24.10.1980 Coli de tipar: 24,50
C.Z. 621.38(057.6)



Intreprinderea poligrafică
„13 Decembrie 1918”,
Tiparul executat sub comanda
nr. 1270
str. Grigore Alexandrescu nr. 81—97
București.

Tabla de materii

Partea I-a

Introducere	13
1.1. Clasificarea produselor industriei electronice	15
1.2. Tendințe de dezvoltare în fabricația produselor electronice	17

Partea II-a

Componente electronice pasive	26
1. Rezistoare	26
1.1. Definiție și simboluri grafice	26
1.2. Clasificare	27
1.3. Caracteristici principale	31
1.3.1. Rezistența nominală	31
1.3.2. Puterea nominală de disipație	32
1.3.3. Tensiunea nominală	33
1.3.4. Rezistența rezistorului în curent alternativ	34
1.3.5. Tensiunea de zgomot	35
1.3.6. Stabilitatea	36
1.3.7. Siguranța în funcționare	37
1.4. Codul culorilor	38
1.5. Rezistoare cu peliculă	38
1.5.1. Rezistoare cu peliculă de carbon	38
1.5.2. Rezistoare cu peliculă metalică	40
1.5.3. Rezistoare cu peliculă de oxizi metalici	40
1.5.4. Rezistoare cu peliculă din materiale semiconductoare	41
1.5.5. Rezistoare cu peliculă metal-ceramică	41
1.6. Rezistoare de volum	41
1.7. Rezistoare bobinate	42
1.8. Potențiometre	44
1.8.1. Potențiometre bobinate	45
1.8.2. Potențiometre chimice	46
2. Condensatoare	46
2.1. Definiție și simboluri grafice	46
2.2. Clasificare	48
2.3. Caracteristici principale	50
2.3.1. Capacitatea nominală și toleranța	50
2.3.2. Rigiditatea dielectrică	51
2.3.3. Rezistența de izolație	52
2.3.4. Inductanța proprie	52
2.3.5. Tangenta unghiului de pierderi	54
2.3.6. Absorbția dielectrică	55
2.3.7. Stabilitatea	55
2.3.8. Siguranța în funcționare	55
2.4. Condensatoare cu hirtie	56
2.5. Condensatoare cu pelicule din material plastic	57
2.6. Condensatoare cu mică	58
2.7. Condensatoare ceramice	59
2.8. Condensatoare electrolitice	59
2.8.1. Condensatoare electrolitice cu aluminiu	60
2.8.2. Condensatoare electrolitice cu tantal	60
2.9. Condensatoare cu capacitate variabilă	61
2.10. Condensatoare cu capacitate semireglabilă	63

3. Bobine electrice	64
3.1. Definiție și simboluri grafice	64
3.2. Clasificare	65
3.3. Caracteristici principale	65
3.3.1. Inductanța	65
3.3.2. Factorul de calitate	66
3.3.3. Capacitatea proprie	66
3.3.4. Stabilitatea	66
3.3.5. Siguranța în funcționare	67
3.4. Construcție	70
3.5. Bobine cu miez	70
3.6. Bobine ecranate	71
3.7. Bobine plate	72
3.8. Șocuri de înaltă frecvență	72
3.9. Variometre	73
4. Transformatoare și șocuri de alimentare	73
4.1. Definiție și simboluri grafice	73
4.2. Clasificare	74
4.3. Construcția transformatoarelor	74
4.3.1. Tipuri constructive de miezuri magnetice	74
4.3.2. Tipuri constructive de bobinaje	75
4.4. Transformatoare pentru tehnica circuitelor integrate ..	76
5. Comutatoare	76
5.1. Definiție și clasificare	76
5.2. Caracteristici principale	77
5.3. Tipuri constructive	78
6. Conectoare	79
6.1. Definiție și clasificare	79
6.2. Tipuri constructive	80
7. Relee	82
7.1. Definiție și clasificare	82
7.2. Tipuri constructive	83
8. Cablaje imprimate	84
8.1. Clasificare	85
8.2. Materiale pentru realizarea suportului placat	86
8.3. Metode de realizare a cablajelor imprimate	88
8.4. Reguli de realizare a cablajelor imprimate	89
8.5. Realizarea cablajelor imprimate simplu și dublu strat prin corodare	93
8.5.1. Realizarea originalului	93
8.5.2. Realizarea filmului fotografic	94
8.5.3. Transpunerea imaginii cablajului pe suportul placat ..	94
8.5.4. Corodarea	96
8.6. Realizarea cablajelor imprimate multistrat	96
9. Componente pasive pentru microunde	98
9.2. Tipuri constructive	98

Partea III-a

Componente electronice semiconductoare	101
10. Materiale semiconductoare	101
10.1. Proprietăți ale materialelor semiconductoare	102
10.1.1. Materiale semiconductoare intrinseci	102
10.1.2. Materiale semiconductoare extrinseci	102
10.2. Materiale semiconductoare folosite la fabricarea componentelor semiconductoare	104
10.3. Creșterea monocristalelor de germaniu și siliciu	105
10.4. Pregătirea plachetelor din germaniu și siliciu	106
11. Juncțiunea $p-n$	108
11.1. Definiție	108
11.2. Capacitatea electrică a juncțiunii $p-n$	110
11.2.1. Capacitatea de barieră	110
11.2.2. Capacitatea de difuzie	111
11.3. Fenomene de străpungere în juncțiunea $p-n$	111
11.4. Metode de realizare a juncțiunilor $p-n$	112
11.4.1. Realizarea juncțiunilor prin formarea electrică a contactului punctiform	112
11.4.2. Realizarea juncțiunilor prin tragere	113
11.4.3. Realizarea juncțiunilor prin aliere	113
11.4.4. Realizarea juncțiunilor prin difuzie	114
11.4.5. Realizarea juncțiunilor prin epitaxie	116
11.4.6. Realizarea juncțiunilor prin implantare ionică	118
12. Diode semiconductoare	118
12.1. Definiție și simboluri grafice	118
12.2. Clasificare	119
12.3. Caracteristici principale ale diodelor semiconductoare	120
12.4. Diode redresoare	122
12.4.1. Parametri limită	122
12.4.2. Tipuri constructive	123
12.4.3. Utilizări	124
12.5. Diode stabilizatoare	127
12.5.1. Definiție și caracteristici	127
12.5.2. Utilizări	128
12.6. Diode varactor (varicap)	129
12.6.1. Definiție și caracteristici	129
12.6.2. Utilizări	130
12.7. Diode de înaltă frecvență	131
12.8. Diode pentru microunde	133
12.8.1. Clasificare	133
12.8.2. Dioda IMPATT	133
12.8.3. Dioda PIN	134
12.8.4. Dioda Gunn	134
12.8.5. Dioda tunel	135
13. Tranzistoare bipolare	136
13.1. Definiție și clasificare	137
13.2. Principiu de funcționare	139
13.3. Tipuri constructive și tehnologice de realizare	140
13.3.1. Tranzistoare bipolare cu juncțiuni obținute prin aliere	140
13.3.2. Tranzistoare bipolare cu juncțiuni obținute prin difuzie-epitaxie	142
13.4. Moduri de conectare în circuite electrice	150
13.5. Caracteristici electrice ale tranzistoarelor bipolare	152
13.5.1. Regimul static	152
13.5.2. Regimul dinamic	152
13.6. Scheme echivalente	153

13.7. Utilizări ale tranzistoarelor bipolare	154
13.7.1. Amplificatoare de curent continuu	154
13.7.2. Amplificatoare de curent alternativ	155
13.7.3. Oscilatoare cu tranzistoare bipolare	164
13.7.4. Schimbătoare de frecvență	166
13.7.5. Circuite modulator	168
13.7.6. Circuite demodulator	170
13.7.7. Utilizarea tranzistoarelor bipolare în circuite de alimentare	173
14. Tranzistoare monopolare	179
14.1. Definiții și clasificare	179
14.2. Principiu de funcționare și caracteristici statice	180
14.2.1. Tranzistorul cu efect de câmp cu poartă jonctiune	180
14.2.2. Tranzistor MOS cu canal indus	182
14.2.3. Tranzistorul MOS cu canal inițial	182
14.3. Circuite de polarizare în curent continuu ale tranzistoarelor cu efect de câmp	183
14.4. Dependența de temperatură a caracteristicilor electrice statice	184
14.5. Utilizări ale tranzistoarelor monopolare	184
14.6. Manipularea tranzistoarelor MOS	187
14.7. Tranzistoare cu efect de câmp, de putere	187
15. Tranzistoare unijonctiune	189
15.1. Definiție și simbol grafic	189
15.2. Construcție	190
15.3. Funcționare	190
15.4. Tranzistorul unijonctiune programabil	191
15.5. Aplicații ale tranzistoarelor unijonctiune	191
16. Tiristoare	193
16.1. Definiție și funcționare	193
16.2. Caracteristici statice	196
16.3. Parametri limită	197
16.4. Caracteristici dinamice	197
16.5. Procedee de aprindere	199
17. Triacul	202
17.1. Definiție și simbol grafic	202
17.2. Caracteristica tensiune-curent a triacului	203
17.3. Circuite de comandă pentru triac	205
18. Diaclul	206
18.1. Definiție și simbol grafic	206
18.2. Utilizare în scheme	207
19. Circuite integrate semiconductoare logice	209
19.1. Clasificarea circuitelor integrate semiconductoare	209
19.2. Realizarea componentelor de circuit monolitice	212
19.2.1. Tehnici de izolare folosite în fabricația CI monolitice	212
19.2.2. Realizarea tranzistoarelor bipolare	214
19.2.3. Realizarea diodelor	216
19.2.4. Realizarea rezistoarelor	216
19.2.5. Realizarea condensatoarelor	219
19.2.6. Realizarea inductanțelor	220
19.3. Clasificarea circuitelor integrate logice	221
19.4. Circuite logice de bază	221

19.5. Familii tehnologice de CI bipolare	223
19.5.1. Circuite RTL	223
19.5.2. Circuite RCTL	224
19.5.3. Circuite DCTL	224
19.5.4. Circuite DTL	225
19.5.5. Circuite TTL	226
19.5.6. Circuite TTL cu diode Schottky	229
19.5.7. Circuite ECL	229
19.5.8. Circuite PL	231
19.6. Familii tehnologice de CI-MOS	232
19.6.1. Circuite integrate MOS cu canal n și p	233
19.6.2. Circuite integrate cu tranzistoare MOS complementare	235
19.6.3. Dispozitive cuplate prin sarcină	236
20. Circuite basculante	237
20.1. Circuite basculante bistabile	238
20.1.1. Definiție și clasificare	238
20.1.2. Circuitul basculant tip R-S	239
20.1.3. Circuite basculante bistabile sincronizate	241
20.2. Circuite basculante monostabile	247
20.3. Circuite basculante astabile	247
21. Registre	248
21.1. Definiție și clasificare	248
21.2. Principiu de funcționare	249
21.3. Structura unui registru de deplasare	250
21.4. Registre de deplasare în tehnologia MOS	251
21.4.1. Registre realizate cu întrerupătoare	251
21.4.2. Registre de deplasare dinamice cu tranzistoare MOS	253
22. Numărătoare	254
22.1. Numărătoare asincrone	254
22.2. Numărătoare sincrone	255
23. Circuite integrate semiconductoare liniare	256
23.1. Clasificare	257
23.2. Amplificatoare operaționale	257
23.2.1. Definiție	257
23.2.2. Schema de principiu a unui amplificator operațional integrat	258
23.2.3. Parametri principali	262
23.2.4. Tipuri de amplificatoare operaționale	264
23.2.5. Alimentarea amplificatoarelor operaționale	267
23.2.6. Metode de protecție	268
23.3. Aplicații ale amplificatoarelor operaționale	269
23.4. Comparatoare	272
23.5. Stabilizatoare de tensiune integrate	278
24. Memorii semiconductoare	283
24.1. Introducere	283
24.2. Definiție și parametri	284
24.3. Clasificare	286
24.4. Memorii numai citeste (ROM)	287
24.4.1. Definiție	287
24.4.2. Mod de adresare	287
24.4.3. Memorie ROM în tehnologia MOS	288
24.4.4. Memorie ROM cu diode	290
24.4.5. Memorie ROM cu tranzistoare bipolare	290

24.5. Memorii ROM programabile (PROM, REEPROM) ..	292
24.5.1. Tehnici de realizare	292
24.5.2. Memorii PROM bipolare	292
24.5.3. Memorii REEPROM de tip MOS	293
24.6. Memorii RAM	952
24.6.1. Caracteristici	295
24.6.2. Tipuri de celule de memorie RAM	295
25. Convertoare	297
25.1. Introducere	297
25.2. Convertoare D/A	298
25.2.1. Definiție și parametri	298
25.2.2. Scheme de convertoare D/A	299
25.3. Convertoare A/D	300
25.3.1. Definiție și parametri	300
25.3.2. Scheme de convertoare A/D	300
26. Microprocesoare	302
26.1. Structura de bază a unui microprocesor	304
26.2. Clasificarea microprocesoarelor	305
26.2.1. Clasificarea după tipul unității de control.	305
26.2.2. Clasificarea după capacitatea de prelucrare a informației	308
26.2.3. Clasificarea după tehnologia de realizare.	308
26.2.4. Clasificarea după anul de apariție.	310
26.3. Funcționarea unui sistem cu microprocesor.	311
26.3. Funcționarea unui sistem cu microprocesor	314
26.4. Clasificarea instrucțiunilor	314
26.5. Microsisteme cu microprocesor	317
27. Dispozitive optoelectronice	320
27.1. Introducere	320
27.2. Surse de lumină	321
27.2.1. Laserul	322
27.2.2. Dioda electroluminiscentă	324
27.3. Dispozitive fotoreceptoare	324
27.3.1. Fotodioda	325
27.3.2. Fototranzistorul	327
27.3.3. Fototiristorul	328
27.5. Elemente de afișare	328
27.5.1. Elemente de afișare cu semiconductoare	327
27.5.2. Elemente de afișare cu cristale lichide.	330
27.6. Cuploare optoelectronice	332
27.7. Aplicații ale dispozitivelor optoelectronice	333
27.7.1. Aplicații ale fototranzistoarelor	333
27.7.2. Aplicații ale fotodiodelor	335
27.7.3. Aplicații ale optocuploarelor	336
28. Circuite hibride integrate	338
28.1. Circuite integrate hibride cu straturi subțiri.	339
28.1.1. Analiza schemei electrice de principiu.	339
28.1.2. Elaborarea structurii tehnologice a circuitului.	340
28.1.3. Realizarea măștilor	341
28.1.4. Depunerea componentelor pasive și a conexiunilor	342
28.1.5. Dispunerea componentelor discrete.	343
28.1.6. Legarea conexiunilor	345
28.2. Circuite integrate hibride cu straturi groase.	345
28.2.1. Implantarea schemei	346
28.2.2. Realizarea ecranelor (măștilor).	346

Partea IV-a

28.2.3. Realizarea componentelor prin serigrafie.....	346
28.2.4. Măsurarea și ajustarea rezistoarelor.....	347
28.2.5. Atașarea componentelor discrete și a terminalelor..	348
28.3. Alegerea substratului	348
28.4. Încapsularea	348
Tehnologia de fabricație a echipamentelor electronice.....	349
29. Caracteristici constructive și tehnologice ale echipamentelor electronice	350
29.1. Siguranța în funcționare a echipamentelor electronice	351
29.2. Influența mediului înconjurător asupra echipamentelor electronice	353
29.3. Construcția părților mecanice ale echipamentelor electronice	355
29.3.1. Ansambluri mecanice	356
29.3.2. Elaborarea constructivă a echipamentelor electronice	357
29.3.3. Construcția modulară a echipamentelor electronice	358
29.3.4. Montarea componentelor pe șasiu	362
29.4. Realizarea montajului electric.....	363
29.4.1. Tehnologia lipirii conductoarelor.....	367
29.4.2. Montajul de cablaj imprimat	367
29.5. Realizarea echipamentelor electronice cu circuite integrate	369
29.6. Controlul și reglajul echipamentelor electronice.....	372
30. Procese de evacuarea căldurii (răcirea).....	373
30.1. Sisteme de răcire	374
30.1.1. Sisteme de răcire prin conducție	374
30.1.2. Sisteme de răcire cu aer	375
30.1.3. Sisteme de răcire cu lichide.....	376
31. Surse de perturbații.....	376
31.1. Surse de perturbații interne	377
31.2. Surse de perturbații externe	378
31.3. Măsuri constructive de protecție	378
31.3.1. Ecranarea electrostatică	380
31.3.2. Ecranarea magnetostatică	381
31.3.2. Ecranarea electromagnetica	382
Bibliografie.....	385
Anexă	387

Ramură de vîrf a industriei, industria electronică a cunoscut și cunoaște o evoluție extraordinară, cu multiple implicații economico-sociale.

Electronica este azi principalul „generator” de progres tehnic, în contextul industrial al țărilor dezvoltate, contribuind în mod hotărîtor la creșterea productivității muncii, la ridicarea calității produselor, la introducerea în fabricație a tehnologiilor noi, la perfecționarea metodelor de conducere și de organizare a producției etc. În acest context trebuie subliniat faptul că politica științifică a partidului nostru de continuare a industrializării urmărește creșterea cu prioritate a ramurilor industriale purtătoare ale progresului tehnic, a acelor „industrii motrice”, în cadrul cărora se detașează în mod deosebit electronica, care are un rol important în înfăptuirea revoluției științifice și tehnice în țara noastră. Se poate afirma cu certitudine că electronica împreună cu automatica și „inteligența artificială” vor contribui la înfăptuirea celei de a doua revoluții industriale (prima, fiind datorată, după cum se cunoaște, mașinismului).

De remarcat totodată faptul că în perioada 1966—1977 producția industriei electrotehnice și electronice a înregistrat un ritm mediu anual de creștere de 17,1%, superior mediei pe ramura industriei construcțiilor de mașini, producția industriei electrotehnice și electronice din anul 1977 a fost de 8,6 ori mai mare decît cea din anul 1965; producția de televizoare ce revine la 1000 de locuitori în aceeași perioadă a fost de 4,4 ori mai mare, iar cea de aparate de radio de 2 ori.

Privind atît retrospectiv cît și în perspectivă dezvoltarea dinamică, ascendentă, a celor două mari ramuri ale industriei electronice — fabricația de componente și fabricația de echipamente electronice — asistăm la un profund și complex proces de transformări care relevă multiple mutații care au avut loc în structura industriei electronice, tendința evolutiv-istorică pe parcursul diferitelor etape de dezvoltare fiind ca fabricantul de componente electronice să preia din ce în ce mai multe sarcini ale fabricantului de echipamente.

În mod firesc între cele două ramuri ale industriei electronice există o strînsă interdependență, evoluția fiecăruia influențînd și fiind influențată la rîndul ei de evoluția celeilalte. Structura și nivelul calitativ al producției de componente electronice va determina nivelul calitativ și performanțele echipamentelor electronice și reciproc, structura și calitatea producției de echipamente va determina o anumită structură (și calitate) a cererii de componente electronice.

Principalele etape în evoluția componentelor electronice sint:

1. Tuburile electronice,
2. Tranzistoarele (1948),
3. Circuitele integrate (1961),
4. Subsistemele/sistemele integrate (1971—...).

Etapele 2, 3 și 4 corespund domeniului de dezvoltare al microelectronicii.

Se poate considera că industria românească de componente electronice a depășit etapele 2 și 3 de dezvoltare, avansind rapid spre atingerea obiectivelor etapei a patra.

În domeniul echipamentelor electronice principalele etape de dezvoltare sint:

1. Introducerea sistemului de montare al echipamentelor în casete cu lățimea 482 mm (19") *.

2. Asigurarea condițiilor tehnice militare în perioada războiului 1939—1945 (tropicalizarea, miniaturizarea, creșterea fiabilității etc.).

3. Apariția cablajelor imprimate și a metodelor de montaj automat a componentelor.

4. Introducerea tranzistoarelor,

5. Introducerea circuitelor și a sistemelor integrate.

În acest context general, sarcini deosebite revin industriei noastre de componente și echipamente electronice în direcțiile:

1. consolidarea și diversificarea familiilor de componente electronice aflate în fabricație,

2. abordarea de noi familii de componente electronice și de noi tehnologii în acest domeniu,

3. realizarea de echipamente electronice standardizate și nestandardizate.

Corespunzător acestor obiective, va trebui să se formeze și un personal tehnico-muncitoresc, cu o pregătire adecvată, capabil să abordeze un domeniu atât de larg ca domeniul industriei electronice, atât în ceea ce privește pregătirea lui profesională și orizontul de cultură, cât și al deprinderilor practice pe care trebuie să le posede.

Complexitatea problematicii tehnicii și tehnologiei industriei electronice conduce la creșterea ponderii elementelor intelectuale în munca desfășurată de personalul direct productiv, ceea ce atrage după sine și o modificare profundă a funcțiilor de muncă ale lucrătorului electronist. În acest scop, se impune cu acuitate o permanentă perfecționare a pregătirii profesionale a muncitorilor din industria electronică, obiectiv căruia încearcă să-i răspundă și prezenta lucrare care se adresează nemijlocit personalului muncitor care se ocupă de fabricația produselor electronice.

* țoli, cu simbolul (*)

I.1. Clasificarea produselor industriei electronice

Capitolul de față oferă o privire de ansamblu asupra domeniului electronicii pornind de la dezvoltarea acestuia pe două mari direcții:

- componente electronice,
- echipamente electronice

Componente electronice. Componentele electronice aparțin categoriei de produse de serie mare din industria electronică, a căror producție și nomenclatură se lărgeste an de an într-un ritm deosebit de rapid.

Încercînd o clasificare din punct de vedere funcțional și tehnologic *, domeniul, foarte divers al componentelor electronice se împarte în următoarele categorii (tabelul I.1.):

- componente electronice pasive,
- tuburi electronice,
- componente electronice semiconductoare,
- circuite hibride.

Echipamente electronice. Diversitatea tipurilor de echipamente electronice fabricate în prezent impune clasificarea lor după mai multe criterii. În cele ce urmează se propune o clasificare a echipamentelor electronice folosind în principal următoarele criterii: destinația, particularitățile constructive și condițiile de exploatare a echipamentelor.

După destinație, echipamentele se împart în două mari categorii:

● *echipamente profesionale*, utilizate în industrie, în laboratoare de cercetare, în tehnica de calcul, în medicină, în aviația civilă și flota maritimă, în forțele armate etc. Această categorie de echipamente, în marea majoritate a cazurilor, reprezintă construcții complexe realizate în serii mici. La rîndul lor echipamentele profesionale pot fi de două tipuri: 1) deservite de operatori și 2) cu funcționare automată (de exemplu echipamente ce echipează sateliții, sondele spațiale etc);

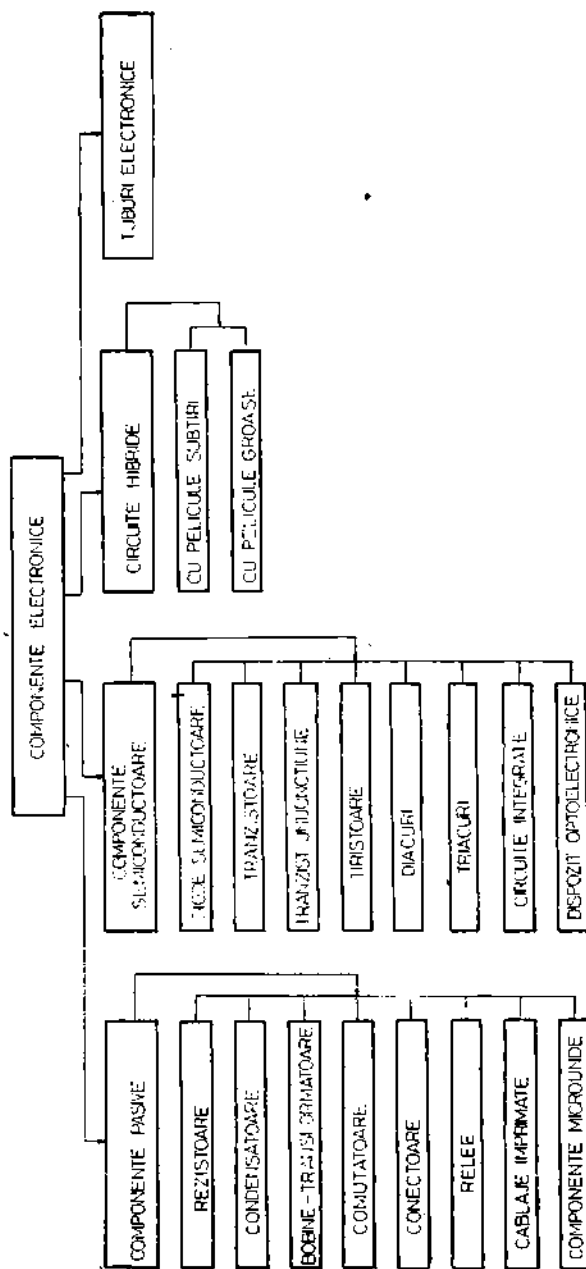
● *echipamente de larg consum* din categoria cărora fac parte receptoarele radio și televiziune, magnetofonele și alte echipamente care sînt destinate pentru folosința populației.

După condițiile de exploatare, echipamentele se clasifică în:

● *echipamente staționare*, caracterizate prin aceea că funcționează în situații în care diferența între condițiile de exploatare și cele de realizare este minimă. Din această cauză, cu excepția echipamentelor care lucrează în condiții de mediu nociv (din punct de vedere chimic), acestor echipamente nu li se cer caracteristici deosebite de protecție la acțiunea mediului ambiant. În această categorie pot fi incluse, de pildă, stațiile de radioemisie-recepție destinate să funcționeze în încăperi climatizate), receptoarele de radio și televiziune, unele tipuri de echipamente de măsurare și industriale,

* În literatura de specialitate se intîlnesc multe criterii de clasificare. Alegerea criteriului funcțional și tehnologic corespunde într-o mai bună măsură subiectului lucrării de față.

Tablă 1.1. Clasificarea componentelor electronice



● *echipamente destinate să funcționeze pe mijloace mobile.* În funcție de condițiile de lucru aceste echipamente sînt supuse unor acțiuni climatice (temperatură, presiune, umiditate) și mecanice variate. După mijlocul de transport pe care funcționează, aceste echipamente se clasifică în:

— *echipamente de bord*, destinate să funcționeze pe obiective aero-cosmice (avioane, elicoptere, rachete, sateliți). Deoarece acest gen de echipamente pot limita posibilitățile mijloacelor de zbor prin greutate și gabarit, la realizarea lor se are în vedere în primul rînd reducerea acestor parametri *;

— *echipamente marine*, destinate să funcționeze pe vapoare și corăbii, geamanduri etc. Acest gen de echipamente se caracterizează prin aceea că funcționează în condiții de mediu marin sărat ** (salinitatea apei oceanelor atinge 35 g sare la 1 l de apă) și șocuri mecanice,

— *echipamente de teren.* Constituie o categorie de echipamente extrem de diversificată. Cuprinde echipamente portabile și echipamente instalate pe mijloace de transport de teren. Caracteristic acestei categorii de echipamente este necesitatea protejării lor de acțiunea prafului, umidității, vibrațiilor și a șocurilor mecanice în condiții de presiune atmosferică normală. Neajunsul acestor echipamente îl constituie necesitatea utilizării surselor de alimentare (baterii, acumulateoare) care le mărește greutatea și gabaritul.

Tabelul I.2. prezintă o clasificare a principalelor tipuri de echipamente electronice.

I.2. Tendința de dezvoltare în fabricația produselor electronice***

Domeniul componentelor pasive. Dezvoltarea microelectronicii a deschis perspectiva realizării elementelor componente ale unor scheme funcționale complete într-un singur proces tehnologic. Cu toată această dezvoltare, deosebit de accelerată la ora actuală, componentele electronice pasive își vor păstra încă multă vreme importanța pe care o au în momentul de față și de aceea vor fi în permanență supuse modernizării și îmbunătățirilor tehnologice.

* Este normal să nu se minimizeze nici condițiile climatice extrem de variate în care pot funcționa aceste echipamente; de exemplu:

÷ temperatura corpului avioanelor variază în limite extrem de largi;

— vara pe aeroport poate ajunge la peste +40°C;

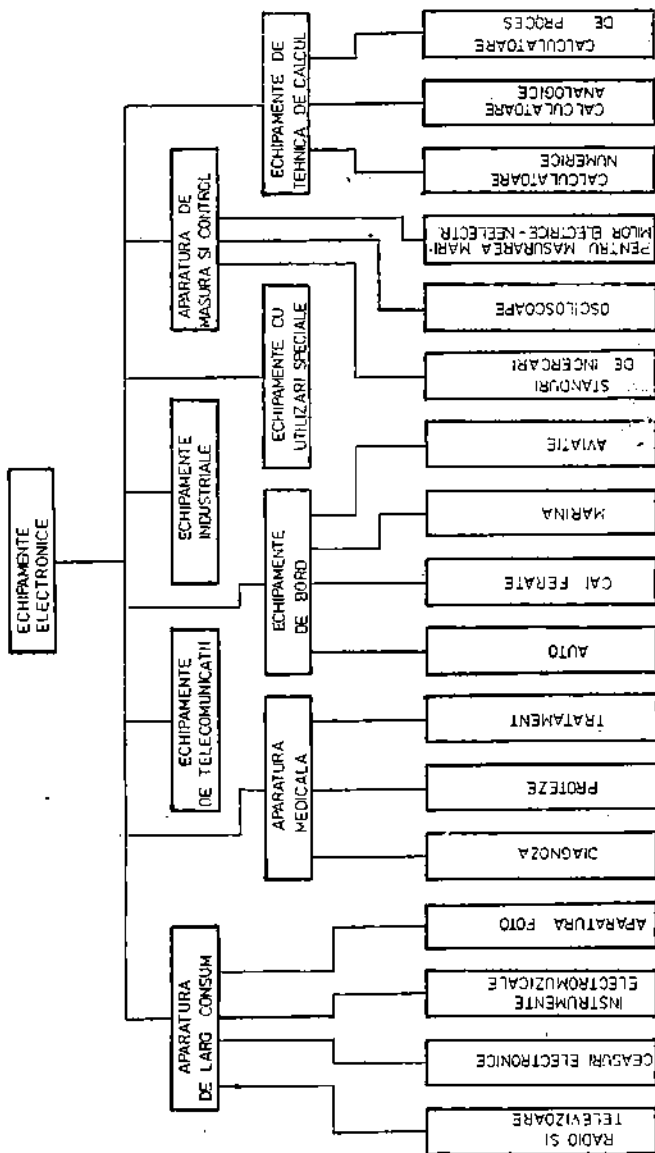
— în zbor la înălțimi de peste 10 km atinge -50°C; în cazul zborurilor de mare viteză în păturile dense ale atmosferei poate atinge +150°C;

÷ presiunea la înălțimi de 25 km scade pînă la aproximativ 5 mm coloană de mercur.

** În aceste condiții are loc o activizare a proceselor fizico-chimice de distrugere care apare ca urmare a umidității asupra materialelor metalice și izolatoare care intră în componentele echipamentelor; de aici necesitatea ca acest gen de echipamente să fie protejate de acțiunea distrugătoare a coroziunii și a mușcăiului și să excludă acțiunea directă a apei sau stropilor de apă.

*** Dezvoltarea rapidă a electronicii a influențat în aceeași măsură și limbajul tehnic. Din motivul acesta în anexa 1 se prezintă o serie de denumiri înțelnite de electronist atît în lucrarea de față cît și în alte publicații; termenii neînțelniti în carte, dar care figurează în anexă, se dau numai cu titlu de informare.

Tabelul 1.2. Clasificarea principalilor tipuri de echipamente electronice



Rezistoare. Se constată o creștere netă atât a producției cât și a vânzării de rezistoare cu straturi metalice și o diminuare corespunzătoare a rezistoarelor cu pelicule de carbon. Rezistoarele se fabrică pe linii automate, iar ajustarea lor se realizează prin procedee electronice moderne (de exemplu cu raze laser) pentru ca spirălarea să li se repartizeze uniform pe toată lungimea corpului. Precizia rezistoarelor cu pelicule metalice se situează în gama de $\pm 0,5\%$ și $\pm 2,5\%$, iar la cerere $\pm 0,1\%$. Rezistoarele ajustabile folosesc din ce în ce mai mult ca straturi rezistive, cermeturile.

Condensatoare. Se fabrică o gamă largă de condensatoare, atât pentru aplicații de larg consum cât și pentru aplicații profesionale. Condensatoarele cu pelicule de mylar se fabrică în cantități tot mai mari datorită unor caracteristici importante pe care ele le au: volum redus, rezistență de izolație ridicată, gamă de temperaturi de funcționare largă (-55°C la $+125^{\circ}\text{C}$). Domeniul condensatoarelor ceramice de asemenea este în progres. Se remarcă, pe lângă tipurile clasice de condensatoare ceramice (tubulare, disc etc) condensatoarele multistrat utilizate pentru realizarea circuitelor integrate hibride. Condensatoarele electrolitice se realizează atât în varianta cu aluminiu cât și în varianta cu tantal. Se remarcă în acest domeniu fabricația de condensatoare electrolitice cu aluminiu cu electrolit solid, mult mai ieftin decât condensatorul similar cu tantal, dar cu un volum mai mare.

Domeniul componentelor semiconductoare. Principala tendință ce se profilează în evoluția structurii producției de componente electronice o constituie creșterea rapidă a ponderii componentelor semiconductoare în dauna componentelor pasive.

Printre componentele discrete semiconductoare bipolare, tranzistoarele de putere cunosc de câțiva ani, o evoluție tehnologică concretizată în:

- posibilitatea funcționării directe la rețeaua de 220V și 380 V, prin creșterea tensiunilor de colector peste 800 V,

- creșterea vitezei de comutare; posibilitatea comutării în curent până la câteva sute de amperi și în putere până la câteva zeci de kilowați (se menționează elaborarea de tranzistoare până la 550 V și 350 A, exemplu tipul WT 5600, WT 5700, Westinghouse).

În domeniul tranzistoarelor cu efect de câmp se remarcă tehnologia V—MOS cu ajutorul căreia pot fi realizate tranzistoare de putere (s-au realizat modele cu tensiuni de 400 V și curenți până la 10 A).

În domeniul componentelor semiconductoare integrate producția evoluează în sensul creșterii ponderii circuitelor integrate (CI) și a scăderii corespunzătoare a ponderii componentelor semiconductoare discrete; ponderea componentelor optoelectronice (în general discrete) este de asemenea în creștere.

CI reprezintă grupa cea mai dinamică a producției de componente semiconductoare, atât ca volum cât și ca structură; în structura producției de CI creșterea ponderii CI logice este importantă.

În cazul CI logice se manifestă orientarea spre circuite cu grad mare de integrare cum sînt memoriile semiconductoare și microprocesoarele, în timp ce ponderea circuitelor cu grad mic și mediu de integrare scade.

Cele mai recente cercetări atestă că microprocesoarele sînt pe cale să realizeze transformări esențiale în producția de componente de unde și creșterea puternică a ponderii lor în totalul de CI logice.

În domeniul memoriilor semiconductoare, în momentul de față memoriile de 4 biți * domină încă în producția de serie, însă ponderea lor scade continuu, astfel încît din anul 1980 memoriile de 16 K biți vor fi preponderente, iar cele de 64 K biți vor deține o pondere însemnată și în continuă creștere.

Nivelul de integrare va cunoaște o dinamică spectaculoasă. Potrivit unor estimări, încă din anul 1980 nivelul considerat avansat va atinge la 1 milion componente pe „cip“ ajungînd în 1985 la 33 milioane componente pe „cip“.

Dezvoltarea CI a fost posibilă numai în condițiile unor continuie perfecționări a tehnologiilor existente și mai ales a asimilării de noi tehnologii, datorită evoluției ce a avut loc ca urmare a afirmării plenare a revoluției științifice și tehnice pe plan mondial.

Domaniul echipamentelor. În domeniul echipamentelor electronice se pun trei probleme de bază pe care constructorii de echipamente trebuie să le rezolve: fabricația de aparate și instrumente care să contribuie la creșterea productivității muncii, creșterea siguranței în funcționare și reducerea gabaritelor.

Toate aceste deziderate se rezolvă prin utilizarea mijloacelor oferite de microelectronică; de exemplu, folosirea circuitelor integrate reduce numărul total al componentelor schemelor de sute de ori contribuind prin aceasta la scăderea manoperei la montaj, la reducerea gabaritului echipamentului și la creșterea siguranței lui în funcționare.

Corespunzător ultimelor două etape de evoluție a microelectronicii (circuitele integrate și subsistemele/sistemele integrate) s-au dezvoltat și se dezvoltă categorii specifice de tehnici în cadrul echipamentelor și anume: 1) corespunzător etapei circuitelor integrate s-au asimilat tehnicile de interconectare a componentelor electronice pe suport placat multistrat, s-au perfecționat metodele de realizare a echipamentelor, s-au unificat schemele și s-a desăvîrșit calificarea personalului tehnico-muncitoresc și 2) corespunzător etapei actuale de dezvoltare a microelectronicii s-a realizat apropierea între constructorii de subsisteme/sisteme integrate (în general constructori de componente electronice) și constructori de echipamente electronice, astfel încît încă de acum asistăm la o identificare a celor două specialități.

Domaniul tuburilor electronice. Tuburile electronice, în vid, se caracterizează prin controlul pe care-l exercită asupra curentului electric datorat trecerii electronilor de la catodul încălzit la anod. În cazul diodei acest control se limitează la a nu permite trecerea curentului decît într-un singur sens, de unde posibilitatea realizării redresoarelor.

* bitul este unitatea de măsură binară a cantității de informație. Această unitate se utilizează în calculul cantității de informație cu care se alimentează calculatoarele numerice (digitale) sau în calculul eficacității sistemelor de transmisiuni de orice fel (telefonie, radiodifuziune, televiziune etc) 1 K bit = 1000 biți.

În cazul triodei și al pentodei controlul curentului se realizează prin tensiunea de comandă aplicată între grilă și catod. Această proprietate permite utilizarea acestor tuburi ca amplificator de semnale electrice. Începînd cu anul 1920, aceste tuburi au avut nenumărate aplicații în radiotehnică, telefonie la mare distanță, electroacustică, tehnica măsurării etc.

Proprietățile tranzistorului bipolar au permis acestuia să îndeplinească aceleași funcții ca și tubul electronic, cu o serie de avantaje ale tranzistorului menționate în tabelul I.3.

Tabelul I.3. Cîteva caracteristici generale ale tranzistoarelor și ale tuburilor electronice.

Caracteristica	Tubul electronic	Tranzistorul	Factor
Dimensiuni	5 cm	5 mm	10^1
Putere consumată	1 W	1 mW	10^3
Timp intrare în funcțiune	5 sec (încălzire catod)	0 sec	—
Durată de viață (ore)	1000—10 000	peste 100 000	$10^2—10^3$

Avînd în vedere aceste avantaje, primele utilizări ale tranzistoarelor au fost în înlocuirea tuburilor cu vid în toate aplicațiile în care nu se cereau puteri mari. În paralel cu introducerea tranzistoarelor în electronică, utilizarea diodelor semiconductoare a condus la dispariția aproape totală a diodelor cu vid.

Cu toate acestea trebuie arătat, că expansiunea rapidă a componentelor semiconductoare a condus la concluzia potrivit căreia este inutil să se mai dezvolte domeniul tuburilor electronice.

Tuburile electronice permit obținerea de puteri superioare celei furnizate de tranzistoare și pot funcționa la frecvențe mai mari decît componentele semiconductoare; datorită acestui fapt ele rămîn stăpîne pe aplicațiile speciale și anume:

- la nivele mari de putere: emițătoare de mare putere și generatoare industriale de înaltă frecvență,
- la aplicații în cercetarea științifică, unde se lucrează cu tensiuni și puteri mari,
- în unele aplicații speciale în tehnica măsurării curenților foarte mici la nivele scăzute de zgomot.

În continuare se prezintă pe scurt categoria tuburilor catodice care în prezent au largi aplicații în multe domenii ale tehnicii și se fabrică și în țară.

Tuburile catodice se încadrează în categoria tuburilor electronice speciale, destinate pentru vizualizarea pe ecran a imaginilor optice; funcționarea lor

se bazează pe mișcarea comandată din exterior a unui fascicul foarte subțire de electroni, care bombardează ecranul pe care se obțin imagini.

În funcție de modul în care se efectuează focalizarea și devierea fascicului de electroni, tuburile catodice se împart în:

- tuburi cu comandă electrostatică, în care fasciculul electronic se focalizează și se deviază prin intermediul unui câmp electric,

- tuburi cu comandă electromagnetică, în care fasciculul se focalizează și se deviază printr-un câmp magnetic,

- tuburi cu sistem de comandă mixtă.

După destinație tuburile catodice se împart în următoarele grupe:

- tuburi pentru osciloscopia, utilizate pentru vizualizarea semnalelor electrice. Aceste tuburi se utilizează în special în echipamente de măsurare,

- tuburi indicatoare, destinate pentru înregistrarea semnalelor electrice în echipamentele de radiolocație și radionavigație,

- tuburi cinescoape, destinate pentru transformarea semnalelor electrice de televiziune în imagini luminoase,

- tuburi cu memorie, utilizate pentru înscriserea și păstrarea informațiilor în special în echipamentele de calcul.

Tuburi catodice pentru osciloscopia. Acest tip de tuburi se utilizează, în primul rând, pentru osciloscopia electronică și pentru unele aparate de măsurare destinate vizualizării pe un ecran a proceselor electronice.

Elementele componente ale acestui tub catodic sunt reprezentate în figura I.1.

- **tubul electronic.** Este sistemul utilizat pentru obținerea și focalizarea fascicului electronic. El constă din cotoad (1), electrodul de comandă (2) și cei doi anodi (3, 4). Primul anod (3) este un cilindru în care sunt practicate două diafragme. Cel de-al doilea anod (4) are de asemenea forma unui cilindru și se termină cu o diafragmă. Pe primul anod se aplică o tensiune reglabilă prin intermediul unui potențiomtru în limitele 250–1200 V. La cel de al doilea anod se aplică o tensiune pozitivă mai ridicată, de ordinul a câtorva kilovolți.

- **sistemul de deviere.** În tubul menționat se utilizează sistemul de deviere electrostatic a fascicului electronic; în acest scop tensiunea de analizat se aplică pe plăcile de deflexie (x , x și y , y , în figura I.1.), printre care trece fasciculul de electroni,

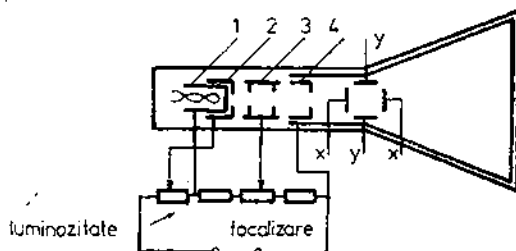


Fig. I.1. Tub catodic pentru cinescopia.

- **ecranul.** Este o parte importantă a tubului catodic, deoarece caracteristicile lui influențează calitatea imaginilor obținute. Pentru creșterea randamentului luminos pe suprafața ecranu-

lui se depun substanțe luminescente ca de exemplu sulfura de zinc.

Tuburi catodice indicatoare. În principiu ca tuburi indicatoare pot fi utilizate tuburile catodice cu deviația electrostatică, cele ce se folosesc și la realizarea osciloscopelor; cu toate acestea, ca tuburi indicatoare în echipamentele de radiolocație și radionavigație se utilizează tuburile catodice cu deviație magnetică, deoarece asigură o mai bună claritate a iluminării ecranului și o focalizare mai bună a fascicului electronic.

Schema de principiu a tubului catodic cu focalizare și deviație magnetică folosit în acest scop este reprezentată în figura 1.2.

Caracteristica acestui tip de tub este sistemul de comandă a fascicului electronic cu ajutorul cîmpului magnetic. Bobinele de deviație și focalizare sînt așezate două câte două, perpendicular unele față de altele; curenții ce parcurg bobinele creează cîmpul magnetic sub acțiunea căruia se deplasează fasciculul de electroni. Bobinele de deviație au o construcție de formă specială pentru a asigura proporționalitatea între deplasarea spotului și valoarea curențului ce determină această deplasare.

Tuburi cinescoape. Tubul cinescop se utilizează pentru redarea imaginilor de televiziune. Ele transformă variațiile unui semnal electric în variații ale luminozității unui spot luminos, prin a cărui deplasare pe un ecran se obține imaginea corespunzătoare semnalului.

În principiu cinescopul constă dintr-un tub catodic în care fasciculul de electroni produs de tunul electronic și modulat în intensitate de semnalul electric incident, balează ecranul luminescent. Fasciculul electronic este concentrat pe ecran cu un sistem de focalizare electrostatică și un sistem de deviere electromagnetice.

Dimensiunile imaginii sînt determinate de mărimea diametrului ecranului, care la rîndul său determină dimensiunile tubului cinescop; dimensiunile standard ale diagonalei tubului cinescop sînt 31, 50, 61, 67 cm. Definiția imaginii, adică numărul de linii în care e descompusă, este, în cazul unei imagini bune, de ordinul a 500...800 de linii (obișnuit 625).

Ecranul luminescent al cinescopului este constituit dintr-o emulsie cu care se acoperă partea inferioară a sticlei ecranului; calitățile sale determină în cea mai mare parte culoarea imaginii, luminozitatea sa, contrastul etc.

Tuburile-cinescop utilizate pentru redarea imaginii de televiziune în culori prezintă particularități deosebite de cele ale cinescoapelor obișnuite.

Construcția tubului cinescop este legată de următoarele procese fizice care stau la baza televiziunii în culori:

— descompunerea imaginilor optice în trei culori de bază * roșu, verde și albastru,

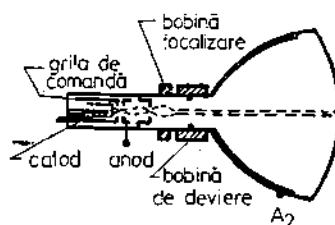


Fig. 1.2. Tub catodic cu comandă magnetică.

* Este cunoscut din fizică principiul că oricare culoare poate fi obținută prin amestecul a trei culori de bază: roșu, verde, albastru.

- transformarea celor trei culori de bază în trei semnale electrice corespunzătoare,
- transmiterea celor trei semnale pe linii de telecomunicații (procesul de emisie),
- transformarea celor trei semnale electrice corespunzătoare imaginilor optice, în trei culori: roșu, verde, albastru (procesul se produce la recepție),
- „amestecul” sau compunerea celor trei culori pentru obținerea de imagini multicolore (proces ce se realizează în tubul cinescop).

Tubul cinescop este destinat să realizeze ultimile două procese din cele menționate mai înainte. În figura I.3. se prezintă schema de principiu a unui tub cinescop de tipul tricrom. În interiorul tubului sînt dispuse trei tunuri electronice independente, la 120° , care emit simultan fascicule de electroni. În planul de intersecție al celor trei fascicule (4) se găsește masca (4) sealizată dintr-o folie metalică foarte ușoară de formă concavă; în mască sînt prevăzute un mare număr de găuri, de exemplu 400000—600000 (în cazul unui cinescop cu diagonale 61 cm) realizate prin procedee de fotogravură (similare cu cele utilizate în tehnologia componentelor semiconductoare). De precizia de dispunere a găurilor depinde precizia imaginii și definiția culorilor.

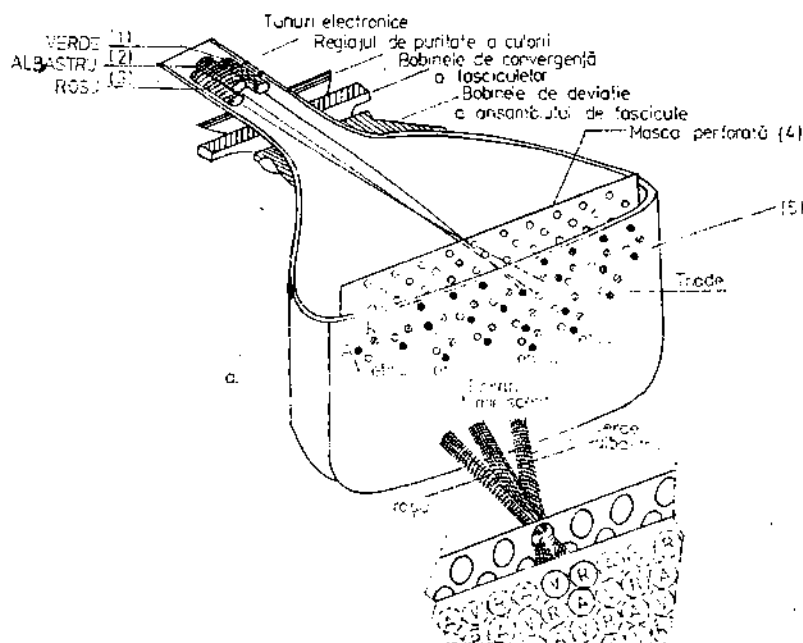


Fig. I.3. Tub cinescop color.

Ecranul tubului cinescop (5) constă dintr-un foarte mare număr de grupe de câte trei suprafețe luminescente colorate în roșu, verde, albastru. Numărul acestor grupe este egal cu numărul găurilor din mască; în cazul de față, numărul suprafețelor luminescente este cuprins între 1.200.000 și 1.800.000.

Fasciculele electronice emise (cu intensități luminoase inegale) de cele trei tunuri electronice (1), (2), (3), se focalizează pe suprafața măștii și trecând prin găurile acesteia, din nou se ramifică și cad pe ecranul tubului; distanța dintre mască și ecran este aleasă în așa fel încît după trecerea lor prin găuri fasciculele cad pe cele trei suprafețe luminoase de pe ecran. Ochiul nu va sesiza decît culoarea compusă.

Cum cele trei fascicule sînt baleiate pe ecranul tubului, fiecare din ele nu cade decît pe suprafața luminescentă corespunzătoare culorii sale (roșu, sau verde, sau albastru).

Producția de componente pasive deține în prezent aproximativ 50% din valoarea producției mondiale de componente electronice, ceea ce justifică consacrarea unui spațiu mai amplu pentru expunerea principalelor lor caracteristici și limitări în exploatare.

În cele ce urmează se prezintă câteva detalii de funcționare, construcție și tehnologie de realizare a unor tipuri de componente pasive și în special a acelor cu o frecvență mai mare de utilizare în practică, astfel încât utilizatorul să le cunoască într-o mai mare măsură performanțele funcționale.

Prezentarea care urmează se referă la clasificarea dată în tabelul I.1., partea referitoare la componentele pasive.

1. Rezistoare

1.1. Definiție și simboluri grafice

Rezistorul este componenta electronică de circuit cu două borne, care are proprietatea potrivit căreia între tensiunea la bornele lui și curentul care-l parcurge, există relația cunoscută sub denumirea de lege a lui Ohm

$$u = Ri$$

unde R este mărimea rezistenței rezistorului măsurată (în sistemul MKS) * în ohmi (Ω), sau relația:

$$i = Gu$$

unde $G = 1/R$, este conductivitatea rezistorului măsurată în siemens (S).

Se menționează că, în mod curent, în practică, în locul denumirii de rezistor se folosește denumirea de rezistență.

* Metru-Kilogram-Secundă.

Relația de definiție a rezistenței electrice este:

$$R = \frac{U}{I}$$

în care: U este diferența de potențial (tensiune) constantă continuă aplicată la capetele rezistorului,

I — curentul constant care străbate rezistorul.

Caracteristica „tensiune-curent” corespunzătoare relației de mai sus și reprezentată în figura 1.1 este o linie dreaptă care trece prin originea axelor de coordonate: panta acestei drepte este egală cu $1/R$. Rezistorul a cărui caracteristică „tensiune-curent” este o linie dreaptă se numește rezistor liniar.

În scheme electrice rezistoarele se reprezintă ca în figura 1.2.

Valorile rezistențelor de la 1 la 999 Ω se notează cu numere întregi corespunzătoare valorii rezistenței în ohmi (fig. 1.2. a, c). Valorile rezistențelor de la 1 k Ω la 99 k Ω se notează cu cifre, care indică numărul de kilohmi, urmate de simbolul K (fig. 1.2. b). Toate rezistențele care au valori mai mari se exprimă în megohmi; dacă valoarea rezistenței corespunde unui număr întreg de megohmi după valoarea acesteia se pune virgulă și zero (fig. 1.2. d). În unele cazuri practice, când trebuie să se arate că valoarea rezistenței este de fracțiuni de ohm, de exemplu zecimi de ohm, sutimi de ohm etc, se va pune după valoarea numerică simbolul Ω (exemplu 2,7 Ω).

1.2. Clasificare

Rezistoarele de diverse tipuri și construcții pot fi grupate în funcție de caracteristicile lor principale, conform tabelului 1.1.

După caracteristica tensiune-curent se deosebesc două categorii de rezistoare:

— rezistoare liniare, din care fac parte atât rezistoarele cu rezistență fixă cit și rezistoarele cu rezistență reglabilă care au caracteristica „tensiune-curent” liniară.

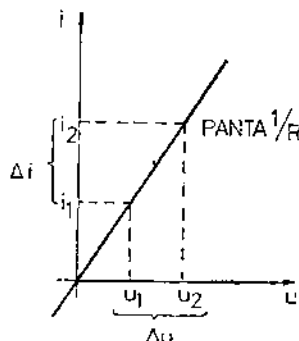


Fig. 1.1. Caracteristica „tensiune-curent” a rezistorului.

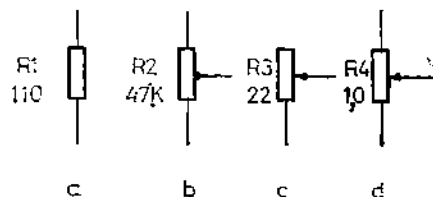
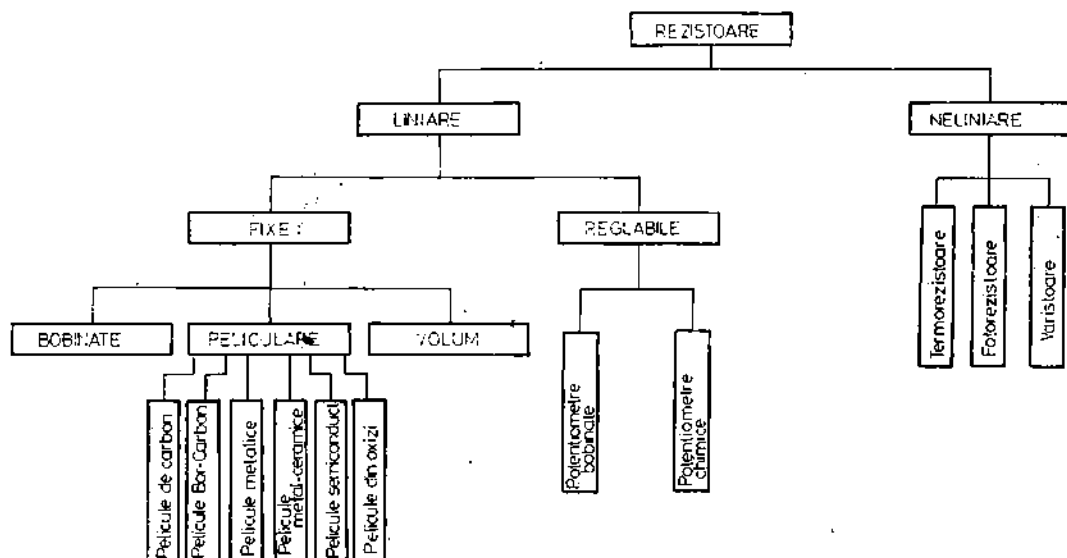


Fig. 1.2. Simboluri grafice pentru rezistoare:

a — rezistor cu rezistență fixă; b — rezistor cu priză intermediară; c — rezistor cu rezistență reglabilă (reostat); d — potențiometru.

Tabelul 1.1. Clasificarea rezistoarelor



— rezistoare neliniare, din care fac parte rezistoarele cu caracteristica „tensiune-curent” neliniară (termorezistoarele, fotorezistoarele),

După modul constructiv, rezistoarele se împart în două subfamilii:

— rezistoare cu rezistență fixă. Sînt rezistoare la care valoarea rezistenței se stabilește în procesul de fabricație și rămîne constantă pe întreaga lor durată de funcționare. În tabelul 1.2. sînt prezentate cîteva tipuri de rezistoare din această categorie împreună cu principalele lor proprietăți,

Tabelul 1.2. Tipuri de rezistoare cu rezistență fixă

Tipul rezistorului		Caracteristici principale	Situația în țară
Rezistoare cu peliculă (peliculare)	de carbon (dur)	<ul style="list-style-type: none"> — se realizează într-o gamă largă de valori: $1 \Omega \div 10 \text{ M} \Omega$, — au caracteristici electrice și de exploatare bune putînd fi utilizate în echipamente de larg consum și în echipamente semiprofesionale, — au preț de cost relativ coborît, 	se fabrică într-o gamă largă de valori și tipuri (v. Catalogul IPEE Electro-Argeș)
	de carbon (bor)	<ul style="list-style-type: none"> — sînt rezistoare cu caracteristici îmbunătățite (stabilitate bună, zgomot redus, coeficient de temperatură mic etc) față de tipul precedent, — pot fi utilizate și în unele tipuri de echipamente profesionale. 	nu se fabrică în țară

Tabelul 1.2 (continuare)

Tipul rezistorului	Caracteristici principale	Situția în țară
	<p>metalică</p> <ul style="list-style-type: none"> — se realizează într-o gamă largă de valori: $1 \Omega \div 1 \text{ M} \Omega$, — prezintă o bună stabilitate a parametrilor electrici, dar sînt mai puțin stabile în regim de impulsuri, — se utilizează în echipamente profesionale. 	se realizează în țară la IPEE Electro-Argeș (v. Catalogul întreprinderii).
Rezistoare cu peliculă (peliculare)	<p>din oxid metallic</p> <ul style="list-style-type: none"> — se realizează într-o gamă relativ largă de valori de rezistență $10 \Omega \div 1 \text{ M} \Omega$, — sînt rezistoare de foarte mare precizie și stabilitate indicate pentru a fi utilizate în aparatura profesională; pot funcționa într-o gamă largă de temperaturi: $-60^{\circ}\text{C} + 200^{\circ}\text{C}$, 	nu se fabrică în țară
Rezistoare de volum	<ul style="list-style-type: none"> — se realizează într-o gamă foarte largă de valori: $10 \Omega \div 100 \text{ G} \Omega$, — au caracteristici electrice nepretențioase, din care motiv se utilizează în echipamente nepretențioase, — sînt componente ieftine, în cazul unor producții mari. 	nu se fabrică în țară
Rezistoare bobinate	<p>de larg consum</p> <ul style="list-style-type: none"> — se realizează în game de valori cuprinse între fracțiuni de Ω și sute de $\text{K} \Omega$, — se utilizează în echipamente de larg consum, în special în aplicațiile care impun puteri nominale mari. 	se fabrică în țară
Rezistoare bobinate	<p>de precizie</p> <ul style="list-style-type: none"> — se realizează de regulă într-un strat, — sînt recomandate pentru echipamente profesionale, ca etaloane în circuitele pretențioase etc. 	se pot selecționa din tipurile precedente prin sortare.
	<p>de înaltă frecvență</p> <p>sînt rezistoare speciale realizate în serii mici (în special de constructorul de echipamente).</p>	

— rezistoare cu rezistență reglabilă; sînt rezistoare a căror construcție permite modificarea valorii rezistenței, în limite stabilite, prin deplasarea pe elementul rezistiv a unui contact *. În tabelul 1.3. se prezintă cîteva tipuri de rezistoare cu rezistență variabilă.

Tabelul 1.3. Tipuri de rezistoare cu rezistență variabilă

Tipul	Caracteristici	
Rezistoare cu rezistență reglabilă	de uz general	— se realizează cu pelicule de carbon, — se utilizează în echipamente de larg consum.
	de precizie	— se realizează cu pelicule de carbon și bobinate într-o multitudine de variante constructive, — se utilizează în echipamente profesionale.
Rezistoare cu rezistență semireglabilă	— se utilizează atît în aparatura de larg consum cît și în echipamente profesionale, — se realizează în varianta monotură sau multitură.	

După modul de realizare a elementului rezistiv se disting trei categorii de rezistoare:

- rezistoare bobinate. Sînt construite prin înfășurarea unui fir metalic (conductor) de mare rezistivitate pe un suport izolator,
- rezistoare cu pelicule. Au elementul rezistiv format dintr-o peliculă subțire de material conductor depusă pe un suport izolant,
- rezistoare de volum. Au elementul rezistiv constituit din întregul corp al rezistorului.

În funcție de tipul materialului utilizat la realizarea elementului rezistiv, rezistoarele se împart în următoarele grupe:

- rezistoare cu pelicule de carbon și bor-carbon,
- rezistoare cu pelicule din metale sau din oxizi, metalici,
- rezistoare de volum, cu elementul conductor realizat dintr-un amestec neomogen a mai multor componente, din care una este componentă conductoare,
- rezistoare bobinate, realizate cu elementul conductor sub formă de sîrmă,
- rezistoare cu elementul rezistiv realizat din materiale semiconductoare.

În funcție de modul de protejare al elementului conductor, rezistoarele se clasifică în:

- rezistoare neprotejate,
- rezistoare protejate cu lac,
- rezistoare protejate în materiale plastice,
- rezistoare ermetizate,

* Aceste rezistoare au cel puțin trei borne: două corespund extremităților elementului rezistiv și una corespunde contactului mobil (numit cursor); din această categorie fac parte potențiometrele.

După destinație se împart în: rezistoare de uz general și în rezistoare speciale (profesionale).

— rezistoarele de uz general se folosesc în aparatura electronică de uz general (radioreceptoare, televizoare etc), unde nu se cer caracteristici și performanțe deosebite, ca rezistențe de sarcină (în circuitul anodic al tuburilor electronice, în circuitul de colector al tranzistoarelor etc), ca divizoare de tensiune în circuitele de alimentare, ca elemente de reglaj de ton etc. Gama de valori a rezistenței lor se întinde de la $10\ \Omega$ la $10\ \text{M}\Omega$, iar puterea nominală de la $0,125\ \text{W}$ la $10\ \text{W}$ sau chiar la $100\ \text{W}$ (în funcție de utilizare),

— rezistoarele cu destinație specială, caracterizate prin parametri și performanțe deosebite, se împart la rândul lor în următoarele tipuri:

● rezistoare de precizie: se utilizează în aparatura de măsură de precizie, în calculatoare electronice, în telefonie etc. Se caracterizează prin precizia înaltă și prin stabilitatea ridicată a parametrilor lor. Gama de valori a rezistenței lor se întinde între $1\ \Omega$ și $1\ \text{M}\Omega$, iar puterea lor de disipație nu depășește $2\ \text{W}$,

● rezistoare de rezistență ridicată: au rezistența mai mare de $10^{10}\ \Omega$ și se utilizează în aparatura de măsurare a curenților foarte mici; pentru aceste rezistoare nu se indică puterea de disipație ci numai tensiunea de funcționare, care în general nu depășește $300\text{--}500\ \text{V}$,

● rezistoare de înaltă tensiune (de $10\text{--}50\ \text{kV}$); se utilizează ca divizoare de tensiune sau atenuatoare în echipamentul de înaltă tensiune; rezistența lor nominală se extinde până la $10^{11}\ \Omega$,

● rezistoare de înaltă frecvență; sint destinate pentru echipamente electronice care funcționează la frecvențe ridicate (de regulă peste $10\ \text{MHz}$); sint utilizate ca atenuatoare, sarcini de adaptare, antene echivalente etc. Ele se caracterizează prin capacitate proprie și inductanță proprie extrem de mici. În cazul în care sint răcite artificial, puterea lor nominală poate fi extinsă la $5, 20, 50\ \text{kW}$,

● rezistoare miniatură; sint destinate pentru echipamentele de gabarit redus și pentru montajul pe cablaje imprimate. Puterea lor de disipație nu depășește $0,125\ \text{W}$, și se realizează la valori de $0,1\ \Omega\text{--}1\ \text{M}\Omega$.

1.3. Caracteristici principale

În cele ce urmează se prezintă câteva elemente principale care caracterizează din punct de vedere electric un rezistor.

1.3.1. Rezistența nominală

Este mărimea rezistenței indicată (în clar sau codul culorilor) pe corpul rezistorului; ei i se asociază și toleranța exprimată în procent. În funcție de toleranță, mărimea rezistenței nominale este normalizată prin recomandări

internaționale în serii de valori nominale. În tabelul 1.4. sint menționate aceste valori în cazul seriilor E6; E12 și E24 din recomandările CEI *. Pentru rezistoare de precizie se recomandă seriile E48 ($\pm 2\%$), E96 ($\pm 1\%$) E192 ($\pm 0,5\%$)

Valorile nominale ale rezistenței, calculate conform seriilor menționate, formează șiruri zecimale.

Tabelul 1.4. Serii de valori pentru componente electronice pasive, după CEI

Seria E6	Seria E12	Seria E24	Seria E6	Seria E12	Seria E24	Seria E6	Seria E12	Seria E24
$\pm 20\%$	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	$\pm 20\%$	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$	$\pm 20\%$	$\pm 10\%$	$\pm 5\%$
1	1	1	2,2	2,2	2,2	4,7	4,7	4,7
		1,1			2,4			5,1
	1,2	1,2		2,7	2,7		5,6	5,6
		1,3			3			6,2
		1,5			3,3			6,8
1,5	1,5	1,5	3,3	3,3	3,3	6,8	6,8	6,8
		1,6			3,6			7,5
	1,8	1,8		3,9	3,9		8,2	8,2
		2			4,3			9,1

1.3.2. Puterea nominală de disipație

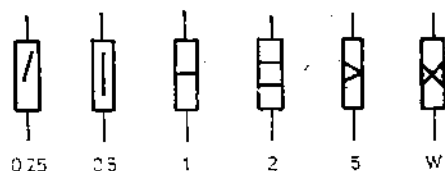
Este puterea maximă (în curent continuu sau în curent alternativ) pe care o poate disipa rezistorul în condiții de mediu exterior determinate (aer cald, $T = +25^{\circ}\text{C}$), timp îndelungat, fără ca rezistența nominală să se modifice în afara prevederilor din norme sau standarde.

Puterea nominală depinde de dimensiunile rezistorului, de construcția și de materialele utilizate pentru elementul conductor și stratul de protecție, și de condițiile în care el se răcește.

Dacă rezistorul este supus la puteri mai mari decât puterea nominală sint de așteptat fenomene ca: variația inadmisibilă a parametrilor săi, reducerea duratei de funcționare sau (chiar) distrugerea elementului rezistiv.

* Comitetul Electrotehnic Internațional

Fig. 1.3. Mod de notare în schemă a puterilor de disipație pentru rezistoare.



Rezistoarele utilizate cel mai frecvent în echipamentele electronice au puterea de disipație cuprinsă în limitele:

- rezistoarele cu rezistență fixă: 0,1; 0,125; 0,2; 0,25; 0,3; 0,5; 1,0; 2; 5 și 10 W,
- rezistoare cu rezistență variabilă; 0,5; 1 și 2 W.

Valorile nominale ale puterii rezistențelor de la 0,25 până la 10 W se notează pe scheme electrice așa cum se arată în figura 1.3.

1.3.3. Tensiunea nominală

Reprezintă tensiunea care poate fi aplicată la bornele rezistorului în condiții normale ale mediului înconjurător fără ca rezistorul să se distrugă.

Mărimea tensiunii nominale depinde de dimensiunea și construcția rezistorului, de proprietățile elementului rezistiv și de puterea sa nominală. În practică cele mai uzuale valori pentru tensiunea nominală sînt: 150; 200; 250; 350; 500; 750; 1 000 V.

Pentru rezistoare de mică rezistență, tensiunea nominală se limitează de procesul de încălzire care apare în rezistor cînd prin el trece curent electric.

Pentru rezistoare cu valori relativ mari ale rezistenței electrice, care lucrează în aer, influența principală asupra tensiunii de lucru o are străpungerea care poate apare între terminalele rezistorului și chiar între spirele alăturate ale elementului conductor.

Tensiunea corespunzătoare puterii nominale de disipație P_n poate fi determinată cu relația:

$$U = \sqrt{P_n R_n}$$

unde R_n este rezistența nominală a rezistorului. În figura 1.4 se prezintă o diagramă cu ajutorul căreia pot fi calculate ușor valorile curenților și tensiunilor corespunzătoare puterii nominale de disipație. Diagrama se folosește în modul următor: se presupun cunoscute $R_n = 10 \text{ K}\Omega$; $P_n = 1 \text{ W}$ și se cere să se determine curentul admisibil I și tensiunea U . Pentru rezolvare, din punctul corespunzător valorii de $10 \text{ K}\Omega$ se duce o perpendiculară pe axa orizontală, pînă la intersecția cu linia corespunzătoare $P_n = 1 \text{ W}$ (a treia linie oblică de jos în sus îndreptată către stînga); pe scara din stînga se citește curentul $I = 10 \text{ mA}$. Continuînd perpendiculara pînă la linia corespunzătoare aceleiași puteri, însă îndreptată spre dreapta, se citește pe scara din dreapta tensiunea $U = 100 \text{ V}$.

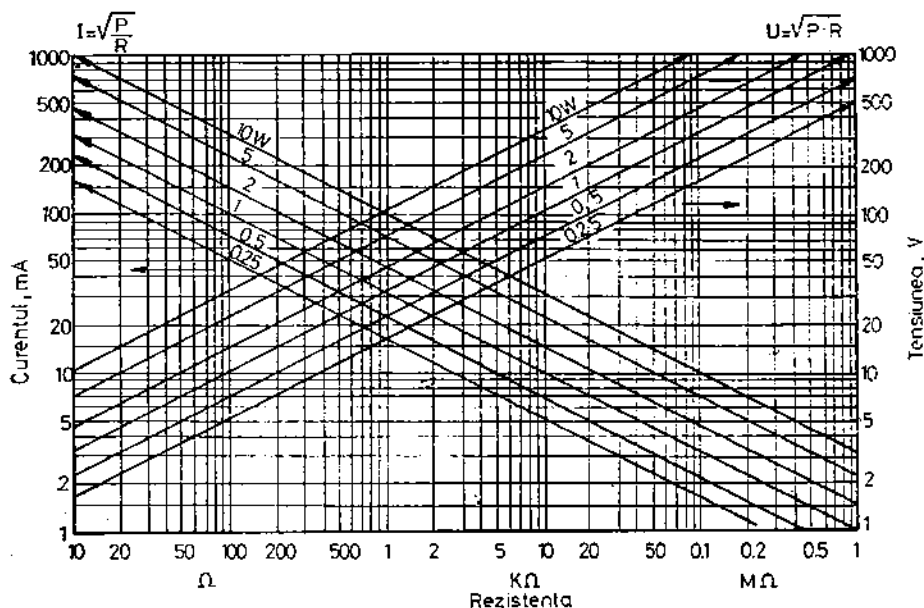


Fig. 1.4. Valorile curenților și tensiunilor corespunzătoare puterii nominale de disipație.

Tensiunea la care se încearcă rezistoarele $U_{probă}$, este mai mare decât tensiunea nominală; de obicei:

$$U_{probă} = (1,5 - 2) U_n$$

1.3.4. Rezistența rezistorului în curent alternativ

În curentul alternativ mărimea rezistenței rezistorului diferă de valoarea măsurată în curent continuu datorită: 1) prezenței capacității și inductanței distribuite pe lungimea elementului rezistiv, 2) efectelor de suprafață și 3) pierderilor dielectrice în suportul (carcasa) rezistorului și în straturile de protecție. Din acest motiv rezistența totală a rezistorului în curent alternativ, și în special la frecvențe înalte, are un caracter complex și variază cu modificarea frecvenței, rezistorul real comportându-se în acest caz în parte ca o inductanță și în parte ca o capacitate. Figura 1.5. prezintă schema electrică echivalentă a unui rezistor real și variația rezistenței sale, măsurată în curent continuu, cu variația frecvenței.

Rezistoarele bobinate se caracterizează prin valori mari ale capacității și inductanței și din acest motiv, chiar și la frecvențe de ordinul kilohertilor rezistența lor totală scade semnificativ; pentru aceste rezistoare, mărimile capacității proprii și a inductanței proprii depind de modul de bobinare, numărul spirelor, precum și de forma și construcția bobinei. Cum se va vedea mai departe, există modalități de micșorare a acestor influențe

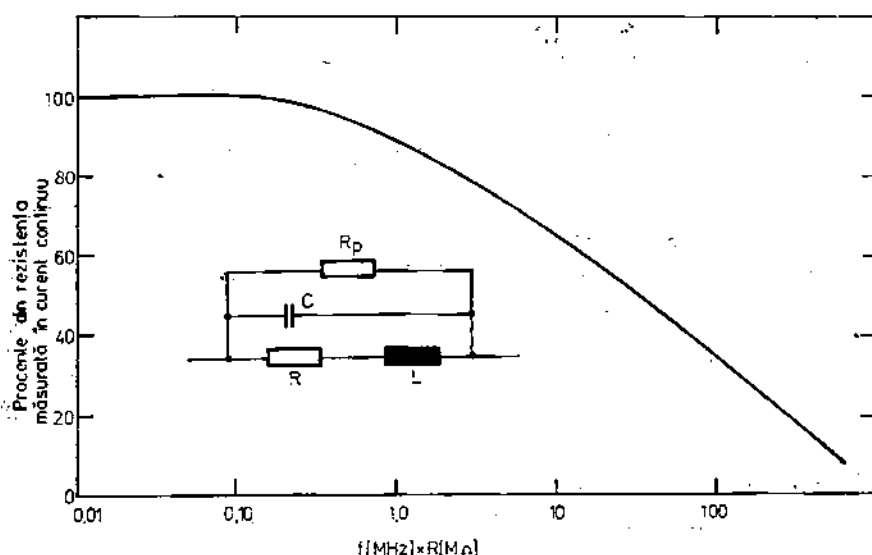


Fig. 1.5. Schema echivalentă a unui rezistor real:

R — rezistența rezistorului; R_p — rezistența echivalentă de pierderi; L — inductanța proprie;
 C — capacitatea proprie și variația rezistenței lui nominale cu frecvența.

Rezistoarele nebobinate au valori mult mai mici pentru capacitatea și inductanța lor proprie și de aceea ele pot fi utilizate la frecvențe mult mai mari (de ordinul sutelor și miilor de MHz). Inductanța lor totală se compune din inductanța elementului rezistiv și din inductanța conexiunilor. Inductanța elementului rezistiv depinde de forma și dimensiunile lui; ea este cu atât mai mare cu cât lungimea rezistorului este mai mare și cu cât diametrul lui este mai mic. Spiralarea elementului rezistiv conduce la creșterea inductanței proporțional cu pătratul numărului de spire. Inductanța terminalelor va fi cu atât mai mică cu cât lungimea lor este mai mică și cu cât terminalele sînt mai groase. Din aceste considerente, rezistoarele utilizate în tehnica frecvențelor înalte, cărora li se cer inductanțe foarte mici, nu sînt prevăzute cu terminale obișnuite din sîrmă ci au contacte plane (sub formă de benzi) prin intermediul cărora se lipesc nemijlocit în circuitul de înaltă frecvență.

Capacitatea proprie depinde de forma și dimensiunile rezistorului și de permitivitatea dielectrică a carcsei și a stratului de protecție. Cu cât rezistorul este mai lung și diametrul lui mai mic și cu cât permitivitatea dielectrică a carcsei și a stratului de protecție este mai mică, cu atât capacitatea distribuită va fi mai mică; orientativ se poate considera că pentru rezistoare uzuale, ea este în limitele 0,05–0,15 pF pe 1 cm lungime.

1.3.5. Tensiunea de zgomot

Tensiunea de zgomot este valoarea eficace a tensiunii aleatoare (întîmplătoare) care apare la bornele rezistorului parcurs de un curent continuu.

Apariția tensiunii de zgomot este datorită mișcării termice * a electronilor și trecerii fluctuante a curentului electric prin particulele materialului conductor.

Raportul dintre tensiunea de zgomot și tensiunea de curent continuu aplicată la bornele rezistorului definește factorul de zgomot al rezistorului care se exprimă în $\mu\text{V/V}$ sau în decibeli (dB).

Factorul de zgomot al rezistoarelor peliculare utilizate în echipamentele electronice se găsește în limitele $1-5 \mu\text{V/V}$ pentru rezistoarele de uz general și sub $1 \mu\text{V/V}$ pentru rezistoarele speciale.

Factorul de zgomot depinde și de calitatea contactului între elementul rezistiv și terminalele rezistorului precum și de calitatea contactului mobil în cazul rezistoarelor reglabile (potențiometrelor).

1.3.6. Stabilitatea

Rezistența rezistoarelor poate varia sub influența temperaturii, umidității, îmbătrînirii, a tensiunilor aplicate precum și sub influența altor factori. Aceste modificări de rezistență electrică se exprimă de obicei în procente pentru 1 000 ore de funcționare. O examinare succintă a acțiunii factorilor menționați mai sus asupra stabilității rezistenței electrice a rezistoarelor pune în evidență următoarele aspecte:

Temperatura. Sub influența temperaturii pot apare variații reversibile sau nereversibile a rezistenței rezistorului.

Variațiile reversibile ale rezistenței electrice se pun în evidență prin coeficientul de temperatură al rezistenței α_R , a cărui mărime se calculează cu relația:

$$\alpha_R = \frac{1}{R_0} \frac{R_T - R_0}{T_2 - T_1} \quad [\%/^{\circ}\text{C}]$$

unde R_T și R_0 sînt rezistențele rezistorului la temperaturile T_2 , respectiv T_1 .

Coeficientul de temperatură al rezistoarelor bobinate este foarte mic, în timp ce coeficientul de temperatură al rezistoarelor nebobinate este relativ mare; valori tipice pentru rezistoare frecvent utilizate în montaje electronice sînt:

- pentru rezistoare bobinate $\pm (0 \div 2) \cdot 10^{-4} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$,
- pentru rezistoare nebobinate $\pm (2 \div 20) \cdot 10^{-4} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$.

Variații nereversibile a rezistenței rezistorului pot apare după ce rezistorul a fost supus timp îndelungat acțiunii temperaturii sau după ce rezistorul a fost supus mai multor cicluri de temperatură.

* Valoarea acestei componente a tensiunii de zgomot, numită impropriu zgomotul termic, este proporțională cu frecvența și temperatura. Pentru rezistoare de mare rezistență electrică, zgomotul termic poate fi mai mare decît zgomotul amplificatoarelor și influențează semnificativ asupra sensibilității echipamentelor electronice.

Majoritatea rezistoarelor nebobinate actuale funcționează în game largi de temperatură: -60°C până la $100-200^{\circ}\text{C}$. Rezistoarele bobinate pot funcționa și la temperaturi mai ridicate.

Tensiunea. Unele tipuri de compoziții rezistive își modifică rezistența electrică sub acțiunea tensiunii aplicate. Această variație a rezistenței rezistorului sub influența tensiunii aplicate la borne se apreciază prin coeficientul de tensiune:

$$K_U = \frac{1}{R_1} \cdot \frac{R_2 - R_1}{U_2 - U_1}$$

unde R_1 și R_2 reprezintă valorile rezistențelor măsurate la tensiunile $U_1 = 0,1 U_n$ și $U_2 = U_n$; se măsoară în $\%/V$.

Îmbătrânirea. În decursul timpului apar modificări ale rezistenței rezistorului, provocate de variația structurii elementului rezistiv pe seama unor procese chimice produse în acesta și pe seama modificării caracteristicilor contactelor. Acest fenomen se numește îmbătrânire. Procesele de îmbătrânire se accelerează la temperaturi și umiditate ridicată, ca și la funcționarea în sarcină a rezistorului. Rezistoarele nebobinate sînt mai influențate de acest fenomen (variații ale rezistenței de cîteva procente) față de rezistoarele bobinate la care fenomenul de îmbătrînire practic nu produce modificări de rezistență.

Umiditatea. Dacă asupra rezistorului acționează apa sau aerul umed se intensifică procesele electrochimice care conduc la modificări nereversibile a rezistenței rezistorului. Rezistoarele bobinate sînt puțin influențate de acest fenomen însă rezistoarele nebobinate sînt foarte sensibile (variații de cîteva procente).

Pentru protecția rezistoarelor de acțiunea umidității se utilizează diverse procedee de acoperire cu lacuri, emailuri etc; grație acestor măsuri, rezistoarele actuale pot funcționa normal pînă la $90-98\%$ umiditate relativă.

1.3.7. Siguranța în funcționare

Deoarece în echipamentele electronice rezistoarele se utilizează în proporție de aproape 50% din numărul componentelor schemelor, aproape un sfert din defectările acestor echipamente se datorește defectării rezistoarelor. Cele mai frecvente cauze de defectare a rezistoarelor sînt: întreruperea și deteriorarea contactelor ($> 50\%$), supraîncălzirea (arderea) rezistoarelor ($35-40\%$) și modificarea rezistenței ($8-10\%$).

Defectările rezistoarelor sînt provocate atît de construcția și tehnologia de realizare insuficient stăpînite, cît și de exploatarea lor, necorespunzătoare în montaje (suprasarcini electrice, supraîncălzire de la mediul înconjurător, montaje inghesuite etc).

Pentru creșterea siguranței în funcționare a rezistoarelor, se utilizează regimuri de lucru (putere și tensiune) care să le asigure o răcire convenabilă. Răcirea rezistoarelor în echipamentele electronice se asigură prin dispunerea lor rațională în montaj. De exemplu se recomandă ca: 1) rezistoarele de putere să se dispună vertical; 2) la montarea unui grup de rezistoare, distanța

dintre două rezistoare vecine să nu fie mai mică decât diametrul lor; 3) să nu se monteze împreună rezistoare de putere cu rezistoare de mică putere; 4) rezistorul să nu fie încărcat cu puteri mai mari de $30 \div 80\%$ din puterea lui nominală.

Din punct de vedere al siguranței în funcționare principalele tipuri de rezistoare utilizate în practică se prezintă după cum urmează: 1) cea mai mare siguranță în funcționare o posedă rezistoarele fixe de volum, chiar la funcționare în condiții climatice dificile; 2) siguranță în funcționare ridicată prezintă rezistoarele cu peliculă de carbon și cu peliculă metalică; 3) rezistoarele de rezistență electrică mare au o siguranță în funcționare redusă și de aceea nu se recomandă să se utilizeze frecvent rezistoare cu rezistență mai mare de $1 \text{ M}\Omega$; 4) rezistoarele bobinate au siguranță în funcționare redusă și aceasta cu cât sîrma conductoare este mai subțire.

1.4. Codul culorilor

Se utilizează pentru marcarea mărimii rezistenței nominale și a toleranței pe rezistoare miniatură, pe care aceste mărimi nu se pot scrie în clar. Tabelul 4.5. prezintă modul de utilizare al codului culorilor la rezistoare.

1.5. Rezistoare cu peliculă

Rezistoarele din această categorie au elementul rezistiv realizat sub forma unui strat subțire de material (metal, oxid, semiconductor), depus pe un suport izolator, căruia i se atașează contacte și fire de conexiune numite terminale.

În funcție de modul de realizare al elementului rezistiv în practică se utilizează o mare varietate de rezistoare peliculare așa cum rezultă din tabelul 1.1.

Elementul rezistiv se realizează: 1) fie sub forma unei pelicule subțiri ($0,1 \div 10 \mu$) dintr-un material omogen ca de exemplu carbonul, unele metale și aliaje sau oxizi; 2) fie sub forma unei pelicule (mai) groase (pînă la 50μ) în al cărei conținut se întîlnesc metale prețioase ca de exemplu: platină, paladiu, argintul și ruteniul în amestec cu (unele) materiale izolatoare.

Ținînd seama de modul de realizare al elementului rezistiv pelicular în practică se întîlnesc cîteva tipuri de rezistoare peliculare.

1.5.1. Rezistoare cu peliculă de carbon

Sînt rezistoare de tip pelicular al cărui element conductor este realizat printr-o peliculă de carbon pirolitic, obținută prin descompunerea metalului la temperatură ridicată, în vid sau în mediu de gaz inert.

Tabelul 1.5. Codul culorilor la rezistoare


 $R = AB \times 10^C D$

Exemplu: $R = 27 \times 10^3, 5\%$
 $= 27000 \Omega, 5\%$

A - roșu

B - violet

C - portocaliu

D - aur

Inelul	CULOAREA	Negru	Maro	Roșu	Porto- caliu	Galben	Verde	Al- basu	Violet	Grd	Alb	Aur	Ag.	Fără culoare
A	Prima cifră semnificativă	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	—	—	—
B	A doua cifră semnificativă	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	—	—	—
C	Coefficientul de multiplicare	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	—	—	—	10^1	10^2	—
D	Toleranța %	—	± 1	± 2	—	—	—	—	—	—	—	± 5	± 10	± 20

Utilizarea largă a acestor rezistoare în echipamentele electronice se datorește următoarelor lor proprietăți: stabilitate ridicată a parametrilor, rezistență la suprasarcini în impuls, nivel coborât de zgomot, coeficient coborât de temperatură, dependență mică a rezistenței de tensiune și frecvență, preț de cost scăzut.

Stratul rezistiv este realizat din carbon depus prin piroliză pe un suport ceramic. Grosimea stratului de carbon determină proprietățile rezistorului: cu cât este mai subțire acest strat, cu atât este mai mare rezistența, dar în același timp mai instabilă. Se realizează în gama de rezistențe de $10\ \Omega$ — $10\ M\Omega$ la puteri de fracțiuni de watt până la kilowați (în cazul răcirii artificiale).

Prin adăugarea în compoziția stratului de carbon a unei mici cantități de bor (2 ... 5%) se obțin rezistoarele cu peliculă de bor-carbon foarte stabile în funcționare.

1.5.2. Rezistoare cu peliculă metalică

Rezistoarele cu peliculă metalică, față de cele cu peliculă cu carbon au coeficient de tensiune și factor de zgomot mai mici, masă și gabarit reduse, stabilitate termică ridicată și caracteristici de frecvență mai bune; principala lor neajuns este rezistența mică la suprasarcini în impuls (în general nu trebuie să se depășească în impuls puterea lor nominală cu mai mult de 10%).

Stratul lor rezistiv se realizează sub formă de peliculă de diverse metale sau aliaje de mare rezistivitate, depuse prin evaporare în vid pe un suport izolator. Cele mai utilizate metale pentru acest strat sînt: cromul, wolframul, tantalul sau aliaje ale diverselor metale cu cromul (de exemplu crom-nichel).

Rezistoarele cu peliculă metalică se realizează în limitele $10\ \Omega$... $10\ M\Omega$ la puteri nominale de disipație până la 2 W. În comparație cu rezistoarele cu peliculă de carbon ele pot funcționa până la $+120^\circ\text{C}$ și la aceeași putere nominală au dimensiuni de gabarit de 2 ... 3 ori mai mici.

1.5.3. Rezistoare cu pelicule din oxizi metalici

Acest tip de rezistor reprezintă unul din tipurile cele mai de perspectivă deoarece: 1) stabilitatea termică a peliculei lor conductoare este mult mai ridicată față de cea a peliculelor metalice și 2) procesul tehnologic de realizare al peliculei lor conductoare se pretează la fluxuri tehnologice continue, automatizate.

Stratul lor conductor se realizează prin depunerea pe un suport izolator (de obicei ceramică) fie a unor metale (staniu, tantal, aluminiu) și oxidarea lor (termic sau anodic), fie a unor oxizi. În practică se realizează rezistoare cu pelicule din bioxid de staniu, cu rezistențe cuprinse în limitele $1\ \Omega$... $100\ \Omega$ la puteri de la 0,1 W la câteva sute de watt.

1.5.4. Rezistoare cu pelicule din materiale semiconductoare

În acest caz stratul rezistiv este realizat dintr-un semiconductor de tip n sau p, — de obicei siliciul * — pe un suport. Aceste rezistoare sînt stabile, au tensiune de zgomot mică, sînt capabile să suporte suprasarcini de scurtă durată mari și se pretează la o producție de mare serie fiind compatibile cu tehnologia de realizare a circuitelor integrate.

1.5.5. Rezistoare cu pelicule metal-ceramice

În ultima vreme se fabrică rezistoare cu pelicule realizate din compuși metalici caracterizate prin 1) stabilitate ridicată a parametrilor într-o gamă largă de temperaturi; 2) coeficient de temperatură reglabil în limite largi în funcție de componenții peliculei conductoare; 3) gamă largă a rezistenței (unități de ohm pînă la câțiva megaohmi) la dimensiuni relativ mici ale elementului conductor; 4) se realizează la toleranțe extrem de mici (subunitare).

Ca element conductor aceste rezistoare utilizează metale care nu se oxidează precum și alte componente; un exemplu de compoziție pentru aceste rezistoare este cea care cuprinde: sticla, aurul, paladiul, rodiul. Metalul în aceste amestecuri se găsește sub formă coloidală. Prin încălzire compușii metaloorganici se descompun și particulele metalice rămîn dispersate în sticlă. Compoziția rezistivă se depune pe suport (de obicei ceramic) prin metode serigrafice. Procesul tehnologic poate fi automatizat. Grosimea peliculei conductoare este în limitele 0,01 ... 0,1 mm.

Rezistoarele din această categorie pot funcționa la frecvențe ridicate

1.6. Rezistoare de volum

În rezistențele de volum (figura 1.6), elementul rezistiv 1 este realizat sub forma unei bare obținută prin presarea unei compoziții speciale. La capetele acestei bare se fixează contactele (terminalele) 3 și întregul sistem se înglobează într-o masă plastică 2.

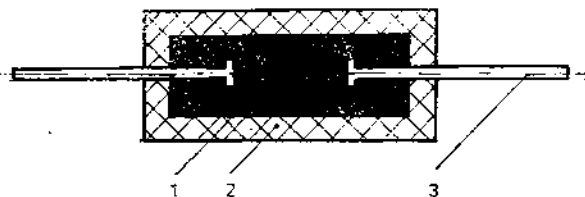


Fig. 1.6. Rezistor de volum.

* În ultimul timp se utilizează pe scară largă rezistoarele la care stratul rezistiv este o peliculă de siliciu policristalin depusă pe un substrat de siliciu oxidat.

Compoziția elementului rezistiv poate fi: carbon-ceramică, metal-ceramică, lac-negru de fum *.

Rezistoarele de volum au dimensiuni mici, se fabrică ușor, sînt ieftine, admit suprasarcini de scurtă durată și au o siguranță în funcționare ridicată chiar în condiții climatice dificile.

Rezistoarele de volum pot funcționa în circuite de curent continuu, de curent alterantiv și în impulsuri. Se realizează într-o gamă largă de rezistențe ($10 \Omega \dots 10 \text{ M}\Omega$) la puteri de 0,25; 0,5; 1 și 2 W.

1.7. Rezistoare bobinate

Rezistoarele bobinate se clasifică după destinație în: 1) rezistoare de uz general; 2) rezistoare de precizie și 3) rezistoare de înaltă frecvență.

O bună parte din rezistoarele bobinate, se realizează în producția de masă; sînt însă multe alte tipuri de rezistoare bobinate, care, deoarece li se cer condiții tehnice concrete, se realizează chiar de constructorul de echipamente electronice.

Elementul rezistiv al acestor rezistoare este un conductor (izolat sau neizolat), din aliaje de mare rezistivitate. Acest conductor trebuie să aibă următoarele caracteristici: 1) coeficient de temperatură mic; 2) temperatură de funcționare ridicată; 3) stabilitate în timp; 4) rigiditate mecanică; 5) preț de cost scăzut.

În practică se utilizează o mare varietate de aliaje dintre care se menționează în primul rînd: manganina, constantanul, crom-nichelul.

Diametrul conductorului se determină din considerente: 1) tehnologice; 2) densitate de curent; 3) siguranță în funcționare și 4) cost. În general conductoarele foarte subțiri (diametrul de 0,03—0,05 mm) au costul ridicat, se bobinează greu și prezintă siguranță în funcționare redusă.

Constructiv rezistorul bobinat constă dintr-o carcasă cilindrică sau plată cu contacte pentru terminale, pe care se bobinează elementul rezistiv în unul sau mai multe straturi. Pentru protecția (mecanică și climatică), întregul ansamblu se acoperă cu lac, se emaillează sau se ermetizează cu diverse rășini.

În figura 1.7 se prezintă schematic construcția unui rezistor bobinat de putere.

Se menționează cîteva valori uzuale pentru parametrii principali ai acestor rezistoare:

— rezistența nominală are valori în limite largi: de la fracțiuni de ohm la sute de kilohmi (valori mai mari, de ordinul Megohmilor, se întîlnesc mai rar deoarece utilizarea conductorilor foarte subțiri pentru realizarea elementului rezistiv, pune atît probleme tehnologice cît și probleme de exploatare),

* O categorie aparte a rezistoarelor de volum o constituie rezistoarele realizate din materiale semiconductoare, la care elementul rezistiv este constituit dintr-o bară de material semiconductor (exemplu siliciul).

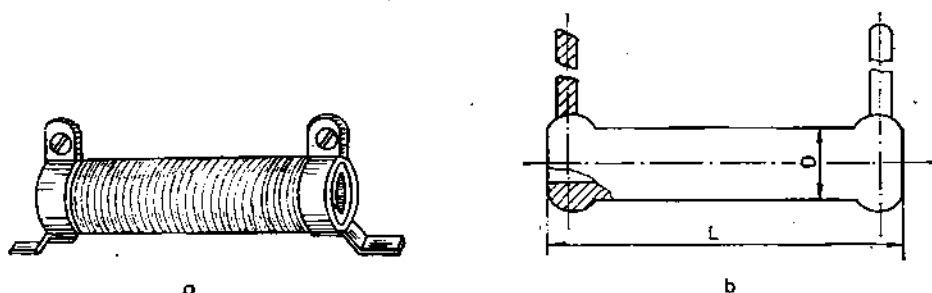


Fig. 1.7. Rezistoare bobinate:
a — protejate; b — neprotejate.

— toleranțe $\pm 0,05 \div \pm 0,5\%$ pentru rezistoare de precizie și $\pm 5 \div \pm 20\%$ pentru rezistoare de uz normal,

— coeficient de temperatură $\pm (2-8)10^{-4}/^{\circ}\text{C}$.

Deoarece în practică apare foarte frecvent necesitatea realizării, pentru diverse montaje electronice, a unor tipuri de rezistoare bobinate, în cele ce urmează se prezintă pe etape câteva elemente de proiectare ale acestora:

— se precizează parametrii electrici și condițiile de exploatare ale rezistorului.

— se alege carcasa. Frecvent carcasa are forma cilindrică sau plată. Ea trebuie să fie simplă, rigidă din punct de vedere mecanic și să permită bobinarea fără dificultăți. Carcasele plane prezintă suprafețe mari de răcire dar îngreunează bobinarea și crează pericolul deteriorării izolației conductorului din cauza razei mici la muchii. Carcasa cilindrică este indicată pentru bobinajul într-un strat,

— se alege conductorul rezistiv. Pentru rezistoare de mare precizie și mare stabilitate se alege conductor din manganină sau constantan. Pentru rezistoare de la care nu se cer condiții deosebite se poate alege conductorul din aliaj Ni-Cr. Diametrul conductorului se determină din densitatea de curent cu relația:

$$J = \frac{I}{A} = \frac{4I}{\pi d^2}$$

de unde:

$$d = \sqrt{\frac{1,27I}{J}}$$

în care: diametrul conductorului se exprimă în mm, densitatea de curent J în A/mm^2 și curentul I în A . Valoarea rezultată se rotunjește în plus până la mărimea tipizată. Alegerea densității de curent este condiționată de încălzirea admisă, diametrul conductorului și de condițiile de răcire ale rezistorului. De exemplu:

● pentru rezistoare stabile care în general nu trebuie să se (supra)încălzească, densitatea de curent nu trebuie să depășească $1-2 \text{ A/mm}^2$,

● pentru rezistoare de uz curent, la care se pot admite încălziri, pot fi alese valori cuprinse în limitele $5-10 \text{ A/mm}^2$.

În ambele situații valorile cele mai mari ale densității de curent corespund diametrului minim al conductorului. În cazul unor condiții suplimentare de răcire, densitatea de curent poate fi mărită,
 - determinarea lungimii conductorului; cunoscând diametrul și rezistivitatea, rezultă din relația:

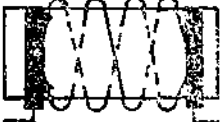


$$L = \frac{d^2 R}{1,27 \rho}$$

sau cunoscând rezistența pe metru liniar a conductorului R_0 (Ω/m),

$$L = \frac{R}{R_0}$$

unde L este lungimea conductorului în m, ρ , rezistivitatea în $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$; d , diametrul conductorului în mm, R , rezistența în Ω și R_0 , rezistența pe metru (dată în tabele) în Ω/m . Rezistoarele realizate conform celor de mai sus nu pot funcționa în circuite de înaltă frecvență, deoarece au inductanță proprie și capacitate proprie ridicate. Pentru reducerea inductanței se realizează bobinaje speciale, așa cum rezultă din tabelul 1.6.

Tabelul 1.6. Tipuri de bobinaje utilizate pentru reducerea efectului inductanței

Denumirea și tipul înfășurării	Caracteristici
<p>Incrucișată (Ayrton- Perry)</p> 	<p>Un singur strat de sîrmă izolată se înfășoară pe o bandă izolatoare subțire; după aceea, pe aceeași bandă, se înfășoară în sens invers, în intervalele dintre spire, o a doua înfășurare. Cele două înfășurări se leagă în paralel. Acest tip de înfășurare are inductanță mică și capacitate mică.</p>
<p>bifilară</p> 	<p>Se execută cu sîrmă luată în două, în lungime. Are inductanță mică însă capacitatea mare. Se utilizează în special în audiofrecvență.</p>
<p>secționată</p> 	<p>Bobinajul se împarte în câteva secțiuni, înfășurate în sensuri opuse și legate apoi în serie. Se utilizează la valori mari ale rezistenței. Are inductanță foarte mică și capacitate relativ mică.</p>

1.8. Potențiometre

Potențiometrul este o componentă care îndeplinește funcția de element de reglaj în circuitele în care este necesar un rezistor cu rezistență variabilă.

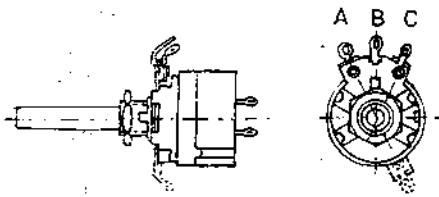


Fig. 1.8. Potentiometru simplu cu întrerupător.

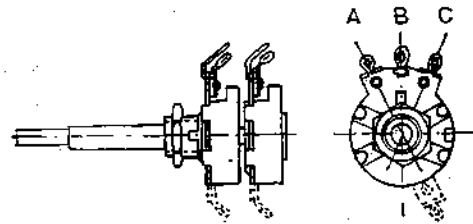


Fig. 1.9. Potentiometru dublu.

Constructiv, potențiometrul este realizat dintr-un rezistor pe care alunecă un cursor; el are cel puțin trei borne de legătură; două corespund capetelor elementului rezistiv și una cursorului.

După modul de variație a rezistenței în funcție de unghiul de rotație al axului, potențiometrele se împart în: liniare, logaritmice și exponențiale.

După construcție potențiometrele pot fi: simple, duble, tandem și miniatură. Fiecare din aceste tipuri poate fi cu sau fără întrerupător.

Potențiometrele simple (figura 1.8), conțin un singur element rezistiv.

Potențiometrele duble (figura 1.9) sînt prevăzute cu două elemente rezistive ale căror axe pot fi acționare independent unul de celălalt. Între cele două elemente rezistive trebuie să existe un ecran metalic, pentru a se evita influențele reciproce de natură electrică între cele două potențiometre.

Potențiometrele tandem, sînt potențiometre duble (sau cu mai multe secțiuni) comandate de un singur ax pe care sînt fixate cursoarele. Ele se utilizează pentru reglarea simultană în două sau mai multe circuite.

Potențiometrele miniatură au dimensiuni mici și se utilizează ca rezistoare reglabile în aparatura miniaturizată.

Din punct de vedere al realizării elementului rezistiv, se deosebesc două categorii de potențiometre: bobinate și chimice (v. tabelul 1.1).

1.8.1. Potențiometre bobinate

Potențiometrele bobinate sînt realizate prin înfășurarea unui conductor metalic* de mare rezistivitate pe un suport izolant. Suportul poate fi din pertinax (în cazul potențiometrelor de putere mică) ceramică sau din aluminiu oxidat. Bobinarea conductorului pe suport trebuie executată foarte regulat și uniform.

* Conductorul este din sîrmă de constantan în cazul valorilor mici ale rezistenței electrice sau din nichel-crom în cazul valorilor mari ale rezistențelor.

1.8.2. Potențiometre chimice

Potențiometrele chimice sînt realizate prin depunerea elementului conductor (o pastă sau o peliculă metalică) pe un suport izolant din pertinax. Forma lor constructivă este circulară sau liniară; performanțele potențiometrelor chimice depind de modul și de atenția cu care se realizează elementul rezistiv, denumit și „potcoavă”. Pentru legătura cu bornele de contact capetele rezistenței se acoperă cu o pastă specială de argint. Cursorul, care trebuie să nu uzeze pelicula rezistivă, să facă un contact sigur pe aceasta și să nu se oxideze în timp, se realizează din bronz fcsfrcs.

2. Condensatoare

2.1. Definiție și simboluri grafice

Condensatorul electric este un dispozitiv compus din conductoare (armături) despărțite printr-un dielectric: el are proprietatea de a acumula sarcini electrice. La conectarea condensatorului sub tensiune de curent continuu, pe armături apar sarcini de valori egale și de semn contrar, care rămîn și după deconectarea lui.

Principala caracteristică a condensatorului este capacitatea sa. Cantitatea de electricitate care se acumulează pe armăturile unui condensator, cînd acesta se supune unei diferențe de potențial, depinde de dimensiunile geometrice ale condensatorului și de tensiunea aplicată. Se numește capacitate C raportul dintre cantitatea de electricitate Q și diferența de potențial U :

$$C = \frac{Q}{U}$$

Unitatea de măsură a capacității este faradul (F), definit ca fiind capacitatea condensatorului care, la o diferență de potențial de 1 volt acumulează o cantitate de electricitate de un coulomb (C). Faradul este o unitate de măsură foarte mare și se utilizează foarte rar; cel mai frecvent se folosesc submultiplii faradului: microfaradul (μF), nanofaradul (nF) și picofaradul (pF)

$$1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^9 \text{ nF} = 10^{12} \text{ pF}$$

$$1 \mu\text{F} = 10^3 \text{ nF} = 10^6 \text{ pF}$$

$$1 \text{ nF} = 10^3 \text{ pF}$$

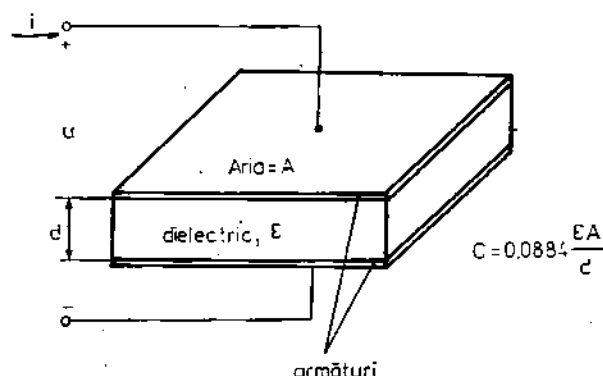


Fig. 2.1. Condensator plan.

Capacitatea unui condensator plan în vid depinde numai de dimensiunile sale geometrice și este dată de relația:

$$C = 0,0884 \frac{A}{d}$$

unde:

- C — este capacitatea condensatorului, în pF,
- A — suprafața activă a armăturilor, în cm^2 ,
- d — distanța dintre armături, în cm.

Dacă între armăturile condensatorului se introduce un dielectric (figura 2.1) se constată că la aceeași diferență de potențial, ca și în cazul condensatorului în vid, se obține o cantitate de electricitate mai mare între armături, deci capacitatea condensatorului crește. Raportul dintre capacitatea condensatorului cu dielectric între armături, C și capacitatea condensatorului în vid, C_{vid} se numește permitivitatea dielectricului sau constanta dielectrică, notată prin ϵ .

Capacitatea condensatorului plan cu un dielectric oarecare se poate calcula cu relația:

$$C = 0,0884 \frac{\epsilon A}{d}$$

În scheme electrice condensatoarele se notează prin simbolurile menționate în figura 2.2.

Capacitatea condensatoarelor de la 1 până la 9999 pF se notează de obicei prin cifre ce corespund capacității, fără nici un alt simbol (de exemplu, C_1 470). Capacitatea condensatoarelor de la 10.000 pF în sus se exprimă în microfarazi fără a se inscrie unitatea μF (exemplu 0,015); în cazul când capacitatea este egală cu un număr întreg de microfarazi, după cifra semnificativă se pune o virgulă și zero (de exemplu, C_2 2,0). În cazul când capacitatea se

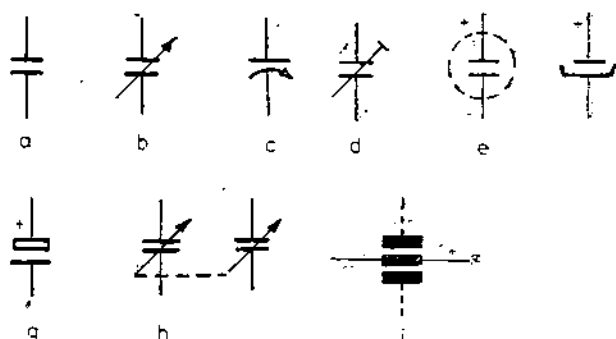


Fig. 2.2. Simboluri utilizate pentru reprezentarea condensatoarelor în scheme:

a — simbol general al capacității sau al condensatorului fix; b — condensator cu capacitate variabilă; c, d — condensator ajustabil (trimer); e, f, g — condensator electrolitic; h — bloc de condensatoare cu capacitate variabilă (condensatoare variabile duble); i — condensator de trecere.

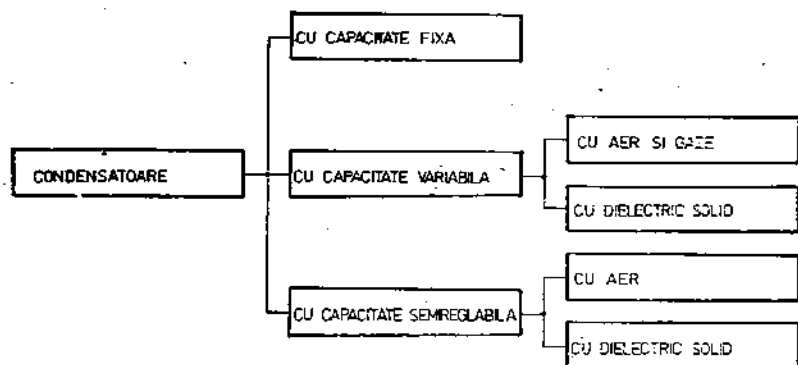
exprimă în fracțiuni de picofarad sau printr-un număr ce reprezintă zecimi de picofarad, după valoarea numerică se scriu literele pF (de exemplu C3 1,8 pF).

2.2. Clasificare

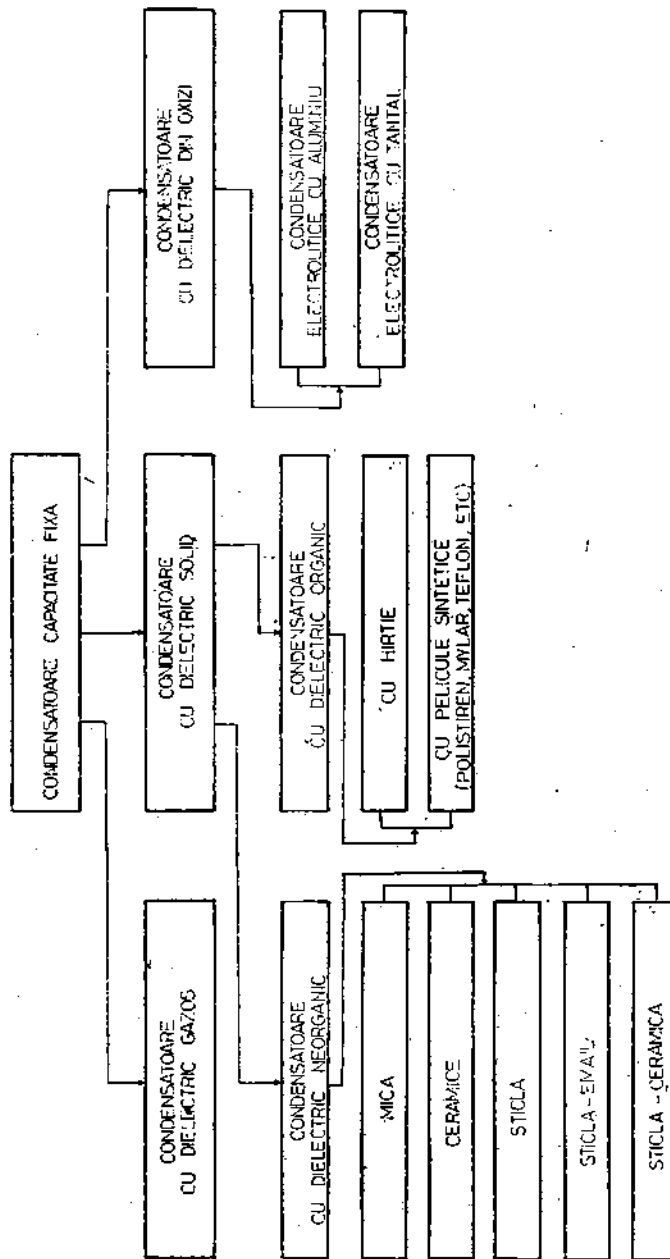
Condensatoarele utilizate în echipamentele electronice se împart în condensatoare cu capacitate fixă, condensatoare cu capacitate variabilă și condensatoare cu capacitate semireglabilă (tabelul 2.1).

Condensatoarele cu capacitate fixă, sînt componente cu o utilizare largă în circuitele electronice. Din acest motiv, în prezent se fabrică în producție de masă o mare varietate de condensatoare standard (tabelul 2.2.).

Tabelul 2.1. Clasificarea condensatoarelor



Tabelul 2.2. Clasificarea condensatoarelor cu cuplitate fixă



Condensatoarele cu capacitate variabilă se utilizează în primul rînd pentru acordul fin al circuitelor oscilante. Aceste condensatoare nu sînt complet standardizate.

Condensatoarele cu capacitate semireglabilă se utilizează în circuitele care necesită capacități fixate la valori exacte o dată pentru totdeauna sau necesită reglarea periodică a capacității. Unele tipuri de condensatoare din această categorie sînt standardizate și se fabrică în producție de serie.

Din punct de vedere al dielectricului utilizat se deosebesc condensatoare cu dielectric gazos, cu dielectric lichid și cu dielectric solid; o grupă separată o formează condensatoarele cu dielectric din oxizi (condensatoarele electrolitice).

Condensatoarele cu dielectric solid și condensatoarele cu dielectric „vid” și umplute cu gaz, au în general utilizări limitate la echipamentele electronice în care intervin puteri reactive mari.

Condensatoarele cu capacitate fixă de obicei se realizează cu dielectric solid (ceramică, hirtie, pelicule sintetice, mică), iar condensatoarele cu capacitate variabilă au dielectricul aer și materiale plastice.

2.3. Caracteristici principale

Proprietățile condensatoarelor sînt caracterizate prin următorii parametri principali: capacitatea nominală și toleranța; rigiditatea dielectrică; rezistența de izolație; pierderile dielectrice, inductanța proprie; stabilitatea și siguranța în funcționare.

2.3.1. Capacitatea nominală și toleranța

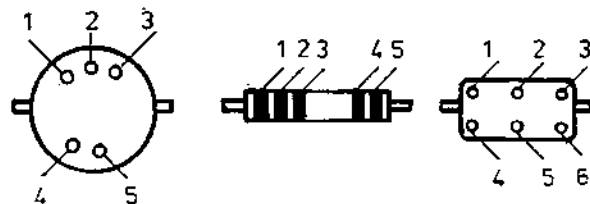
Reprezintă capacitatea marcată pe condensator. Valoarea numerică a capacității nominale (în pF, nF sau μ F) se determină din seriile E6, E12 și E24 pentru toleranțe $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$ și din seriile E48, E96 și E192 pentru toleranțele sub 5%. Pentru condensatoare cu capacitate variabilă și semireglabilă nu s-au stabilit serii de capacități nominale.

Toleranța asupra capacității reprezintă abaterea maximă de la valoarea capacității nominale la temperatură, frecvență și tensiune normale; se exprimă în procente sau în unități de capacitate în cazul condensatoarelor de capacitate mică (sub 10 pF).

În cazul condensatoarelor cu gabarite mici, mărimea capacității nominale și a toleranței se marchează în codul culorilor (tabelul 2.3).

Pentru aprecierea dimensiunilor diverselor condensatoare se utilizează raportul dintre capacitatea nominală și volumul condensatorului, care raport se numește capacitate specifică (μ F/cm³). Cea mai mare capacitate specifică o au condensatoarele electrolitice, iar cea mai mică, condensatoarele cu aer.

Tabelul 2.3. Codul culorilor la condensatoare



1 — zeci; 2 — unități; 3 — factor de multiplicare; 4 — toleranța; 5 — coeficientul de temperatură; 6 — tensiunea de lucru

CULOAREA	Capacitatea nominală pF		tensiunea de lucru în V	CULOAREA	Capacitatea nominală pF		tensiunea de lucru în V
	cifra	factorul de multiplicare			cifra	factorul de multiplicare	
Negru	0	1	—	albastru	—	—	—
Maro	1	10	250	violet	7	10^7	3000
Roșu	2	10^2	500	cenusiu	8	10^8	5000
Portocaliu	3	10^3	1000	alb	9	10^9	7000
Galben	4	10^4	1500	auriu	—	0,1	—
Verde	5	10^5	2000	argintiu	—	0,01	—
Albastru deschis	6	10^6	250	natural (nevopsit)	—	—	—

2.3.2. Rigiditatea dielectrică

Se caracterizează prin tensiunea nominală, tensiunea de încercare și tensiunea de străpungere.

— tensiunea nominală este valoarea maximă a tensiunii * care poate fi aplicată permanent condensatorului fără ca acesta să se străpungă. În cazul în care condensatorul funcționează la tensiuni mai mari decât tensiunea nominală, durata sa de viață se reduce,

* Tensiunea de curent continuu sau tensiune în impuls sau valoarea amplitudinii curentului alternativ.

— tensiunea de încercare, este tensiunea maximă care poate fi aplicată condensatorului într-un interval scurt de timp (de la câteva secunde la câteva minute), fără ca el să se străpungă. Ea caracterizează rigiditatea dielectrică a condensatorului la funcționarea sa în suprasarcină de scurtă durată,

— tensiunea de străpungere, este tensiunea minimă la care se produce străpungerea dielectricului.

Raportul în care se găsesc aceste tensiuni caracterizează tipul dielectricului. De exemplu, pentru condensatoare ceramice și condensatoare cu hirtie, $U_{\text{încercare}} = (2 \div 3) U_{\text{nom}}$, iar pentru condensatoare cu hirtie metalizată $U_{\text{încercare}} = (1,5 \div 2) U_{\text{nom}}$.

La funcționarea condensatoarelor în circuite cu tensiune pulsatorie, suma dintre tensiunea de curent continuu și amplitudinea componentei alternative aplicate condensatorului, nu trebuie să depășească tensiunea nominală.

2.3.3. Rezistența de izolație

Rezistența de izolație între armăturile condensatorului și între armături și carcasa/corpusul condensatorului, caracterizează calitatea dielectricului condensatorului. Dacă rezistența de izolație are valori coborâte, prin condensator trec curenți importanți (acești curenți se numesc curenți de scurgere sau, pentru condensatoare electrolitice, curenți de fugă), care influențează negativ funcționarea schemelor electrice care conțin condensatoare.

Valoarea cea mai mare a rezistenței de izolație o au condensatoarele cu pelicule sintetice, iar cea mai mică, condensatoarele electrolitice.

Pentru condensatoarele de capacitate mare, calitatea dielectricului se apreciază prin produsul dintre mărimea rezistenței de izolație (în $M\Omega$) și capacitatea condensatorului (în μF); această mărime se numește constantă de timp și se măsoară în secunde. Constanta de timp a condensatoarelor actuale este de mii de secunde.

Rezistența de izolație depinde de temperatură și de umiditate; la creșterea acestor mărimi, rezistența de izolație scade rapid.

2.3.4. Inductanța proprie

Pe lângă capacitate, condensatorul posedă și inductanță, formată din inductanța (proprie a) condensatorului și din inductanța conexiunilor.

Inductanța proprie a condensatorului depinde de dimensiunile elementului capacitiv (de exemplu bobina în cazul condensatoarelor cu armături

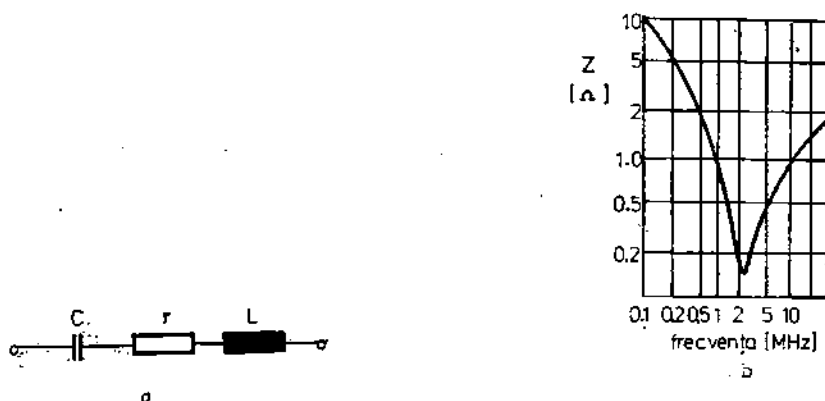


Fig. 2.3. Schema electrică echivalentă simplificată a condensatorului (a) și variația impedanței lui cu frecvența (b).

bobinate), de dispunerea acestuia în raport cu corpul metalic (cazul condensatoarelor închise în cutii metalice) și de modul de conectare a terminalelor de armături; cu cât sînt mai mici dimensiunile condensatorului și cu cât terminalele sînt mai scurte și mai groase, cu atât inductanța proprie a condensatorului este mai mică.

Existența inductanței modifică mărimea capacității (echivalente), conduce la dependența ei de frecvență și la apariția fenomenului de rezonanță în condensator. Toate aceste efecte influențează comportarea normală a condensatorului în circuit.

În figura 2.3 a se prezintă schema electrică echivalentă simplificată a condensatorului. La rezonanță, adică la frecvența $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, impedanța

acestui circuit este minimă și egală cu rezistența activă de pierderi; în afara frecvenței de rezonanță impedanța (condensatorului) este mai mare și are un caracter reactiv (figura 2.3 b); la frecvențe (mai) joase capacitiv și la frecvențe (mai) înalte inductiv.

Condensatoarele trebuie utilizate la frecvențe mult mai mici decît frecvența lor proprie de rezonanță (frecvența de lucru să fie de 2—3 ori mai mică decît frecvența de rezonanță), domeniu în care are comportare de condensator. Cunoașterea frecvenței maxime de lucru a celor mai utilizate tipuri de condensatoare este esențială pentru electronist; pentru aceasta, în tabelul 2.4 se prezintă frecvențele maxime pînă la care pot fi utilizate unele tipuri de condensatoare fabricate în țara noastră.

Micșorarea inductanței condensatorului se realizează prin: 1) reducerea dimensiunilor de gabarit ale condensatorului; 2) realizarea terminalelor din benzi și nu din sîrmă și 3) scurtarea lungimii terminalelor.

Tabelul 2.4. Frecvențe maxime până la care se pot utiliza unele tipuri de condensatoare

TIPUL CONDENSATORULUI	FRECVENȚA MAXIMĂ DE LUCRU (MHz)
Condensatoare cu capacitate variabilă (de gabarit redus)	300–400
Condensatoare cu capacitate variabilă (de gabarit mediu)	50–100
Condensatoare cu hirtie (de mare capacitate)	1–2
Condensatoare cu hirtie cu dimensiuni medii (corp cilindric)	10
Condensatoare cu hirtie cu dimensiuni mici (corp cilindric)	50–100
Condensatoare ceramice tubulare (degabarit mediu)	50–100
Condensatoare ceramice tubulare (de gabarit mic)	150–200
Condensatoare ceramice disc (de gabarit mediu)	200–500
Condensatoare ceramice disc (de gabarit mic)	2000–3000
Condensatoare electrolitice cu aluminiu	0,01
Condensatoare electrolitice cu tantal	1–2

2.3.5. Tangenta unghiului de pierderi

Este raportul dintre pierderile de putere activă în condensator și puterea lor reactivă. Mărimea inversă $\operatorname{tg} \delta$ definește factorul de calitate al condensatorului:

$$Q_c = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta}$$

Asupra mărimii pierderilor o influență semnificativă o au temperatura, umiditatea și frecvența; cu creșterea acestor factori, pierderile în condensator cresc.

Condensatoarele actuale (cu excepția condensatoarelor electrolitice) au pierderi foarte mici: $\operatorname{tg} \delta = (1 \div 0,1)\%$; $Q_c = 100 \div 1000$.

2.3.6. Absorbția dielectrică

La scurtcircuitarea de scurtă durată a armăturilor unui condensator încărcat, tensiunea la bornele lui scade la zero, însă după înlăturarea scurtcircuitului, tensiunea pe condensator poate să se restabilească pînă la o anumită valoare. Fenomenul acesta, numit absorbție, poate produce: 1) tensiuni periculoase, în cazul condensatoarelor de forță (de putere) și 2) blocarea amplificatoarelor, comutarea circuitelor logice etc, în cazul condensatoarelor de mică putere.

2.3.7. Stabilitatea

Stabilitatea condensatorului se caracterizează prin variația principalilor săi parametri, în primul rînd a capacității și a factorului de calitate, sub influența temperaturii, umidității etc.

● *temperatura.* Sub influența temperaturii se modifică dimensiunile armăturilor, distanța dintre armături și valoarea permitivității dielectrice. Ea poate provoca variații reversibile (în unele cazuri nereversibile) ale capacității condensatorului. Variațiile reversibile se caracterizează prin coeficientul de temperatură al capacității α_C , care reprezintă variația capacității pe grad Celsius, exprimată în procente. Variațiile nereversibile ale capacității apar în cazul cînd materialele folosite pentru dielectric sînt de calitate proastă, iar tehnologia de realizare a condensatorului este necorespunzătoare.

Sub influența temperaturii se modifică Q -ul condensatorului.

● *umiditatea.* Sub acțiunea umidității se modifică permitivitatea dielectricului, rezistența de izolație și pierderile. Protecția condensatoarelor împotriva umidității se asigură fie de calea utilizării unor dielectrice ne higroscopice, fie prin ermetizarea condensatoarelor; de exemplu: condensatoarele înglobate în rășini sau mase plastice pot funcționa la o umiditate a mediului ambiant de 60—70%, în timp ce condensatoarele ermetizate special pot funcționa la peste 95% umiditate relativă.

● *presiunea atmosferică.* În cazul în care echipamentele electronice funcționează în condiții de altitudine (munți înalți, avioane, rachete), deci în condiții de presiune atmosferică scăzută, capacitatea și rigiditatea dielectrică a condensatoarelor scad.

2.3.8. Siguranța în funcționare

Principalele cauze de defectare a condensatoarelor sînt: străpungerea dielectricului și conturnarea între armături. Ele sînt provocate de realizarea neglijentă a condensatorului sau de defecte ascunse, care conduc la micșorarea rigidității electrice. Pentru creșterea siguranței în funcționare a condensatoarelor se recomandă: 1) utilizarea lor la tensiuni sub tensiunea nominală și 2) evitarea încălzirii lor. Practica arată că numărul defectărilor condensatoarelor se dublează pentru fiecare 10—15°C creștere a temperaturii mediu-

lui în care acesta funcționează. Foarte sensibile la variația temperaturii sînt condensatoarele electrolitice, pentru care la creșterea temperaturii cu cîte 10—15°C li se reduce durata de funcționare de 5—10 ori.

2.4. Condensatoare cu hîrtie

Hîrtia este unul din cei mai utilizați dielectrici la fabricarea condensatoarelor, la care nu se renunță datorită costului redus și a simplității procesului tehnologic.

Procedeele de fabricație existente permit realizarea condensatoarelor cu hîrtie cu capacități ale căror valori variază de la 100 pF la 100 μ F, cu toleranțe ale capacității nominale de $\pm 20\%$; $\pm 10\%$ și $\pm 5\%$; mai rar se fabrică condensatoare cu hîrtie cu toleranțe sub $\pm 5\%$.

Condensatoarele cu hîrtie se fabrică pentru o gamă foarte mare de tensiuni nominale, începînd cu 25 V și ajungînd la zeci de kilovolți. Ele nu se comportă identic sub acțiunea unui curent continuu și sub acțiunea unui curent alternativ. Condensatoarele (este vorba de condensatoarele de putere) sestate să lucreze în curent continuu pot suporta o componentă de tensiune culatorie nu prea mare; de exemplu, pentru o frecvență de 50 Hz se admite o valoare de vîrf egală cu cel mult 20%, iar la 100 Hz această valoare nu trebuie să depășească 15% din tensiunea nominală. Se admit, de asemenea, pulsații corespunzătoare frecvenței de 1000 Hz și 10.000 Hz, cu condiția ca valoarea de vîrf a tensiunii să nu depășească 3% și respectiv 1% din tensiunea nominală. Aceste limitări sînt impuse în special de faptul că în curent alternativ apare o încălzire suplimentară datorită pierderilor în dielectric și în armături.

Rezistența de izolație a condensatoarelor cu hîrtie nu este prea mare; ea are valori cuprinse între 1000 $M\Omega\mu F$ și 5000 $M\Omega\mu F$.

Tangenta unghiului de pierderi este de $(3-10) \cdot 10^{-3}$ și depinde de materialele folosite ca armături, de densitatea hîrtiei, de substanța de impregnare și de modul în care se face uscarea și impregnarea bobinelor condensatorului.

Condensatoarele cu hîrtie sînt destinate să funcționeze într-o gamă de temperaturi destul de mare; temperaturile extreme de lucru pot atinge valorile -55°C și +100°C.

Condensatoarele cu hîrtie se realizează în două variante tehnologice: condensatoare cu hîrtie impregnate în dielectric solid (cerezină, parafină) și condensatoare cu hîrtie impregnate în dielectric lichid sau semilichid (ulei mineral, ulei de condensator, vaselină).

Condensatoarele cu hîrtie se realizează prin bobinarea a două folii de aluminiu pur și a mai multor straturi de hîrtie. Operația de bobinare este deosebit de importantă deoarece de modul cum se realizează depinde în bună parte calitatea condensatorului. Există două moduri de bobinare: cu armături decalate sau neinductiv (figura 2.4 a) și cu armături suprapuse sau inductiv (figura 2.4.b).

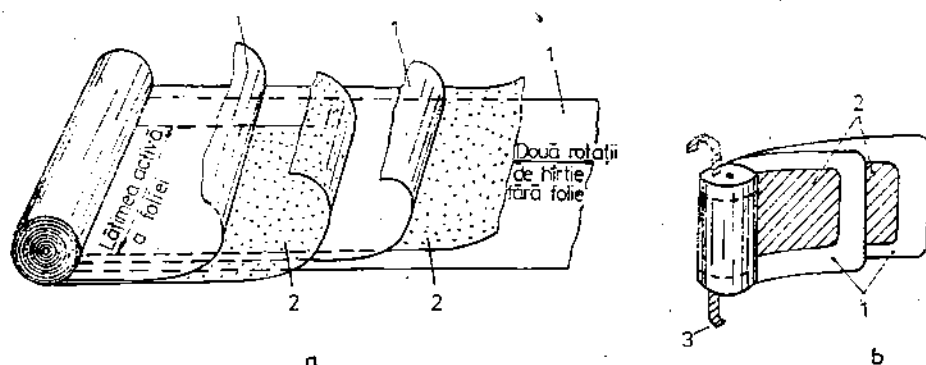


Fig. 2.4. Dispunerea hirtiei și a foliei de aluminiu într-un condensator cu hirtie neinductiv (a) și inductiv (b):

1 — hirtie; — folie; 3 — contacte.

Calitatea condensatorului cu hirtie este influențată și de operația de impregnare a bobinelor uscate în prealabil; impregnarea se realizează în autoclave, în vid înaintat. Temperatura impregnantului se alege astfel încît viscozitatea să-i permită, pe de o parte, introducerea ușoară în porii hirtiei, iar pe de altă parte, să se evite oxidarea sau descompunerea lui termică.

Folosind hirtia de condensator se realizează o gamă largă de condensatoare (v. catalogul IPRS „Condensatoare”), prin care se menționează: condensatoarele antiparazitare, condensatoarele starter, condensatoarele pentru îmbunătățirea factorului de putere în rețelele cu lămpi fluorescente, condensatoare utilizate în montaje electronice (cuplare, decuplare, filtre).

Condensatoarele cu hirtie metalizată se deosebesc de condensatoarele obișnuite cu hirtie impregnată prin aceea că în locul foliei metalice utilizează un strat subțire de metal (aluminu sau zinc) depus pe hirtie, în vid.

2.5. Condensatoare cu pelicule din material plastic

Principalele proprietăți ale condensatoarelor peliculare sînt date în tabelul 2.5.

Aceste condensatoare sînt formate din două benzi de aluminu, între care se găsesc cîteva pelicule de material plastic. Întregul ansamblu este înfășurat sub formă de bobină ca în cazul condensatoarelor cu hirtie. Gabaritul acestor condensatoare poate fi micșorat dacă se utilizează pelicule din material plastic metalizate.

Tabelul 2.5. Caracteristici ale unor tipuri de condensatoare cu pelicule din material plastic

TIPUL CONDENSATORULUI PELICULAR	GAMA DE CAPACITATE [nF]	TOLERANȚA ASUPRA CAPACITĂȚII NOMINALE [%]	REZISTENȚA DE IZOLAȚIE [MΩ]	DOMENIUL TEMPERATU- RILOR DE FUNCTIONARE [°C]
Cu peliculă din polistiren	0,047...100	± 2 ; ± 5 ; ± 10 ; ± 20	$10^2 \dots 10^5$	-10...+ 70
Cu peliculă din mylar	10...2200	± 10 ; ± 20	$10^2 \dots 10^4$	-40...+ 150
Cu peliculă din teflon	0,047...100	± 10 ; ± 20	10^5	-60...+ 200

În funcție de natura și caracteristicile peliculei de material plastic se realizează următoarele tipuri de condensatoare:

● *condensatoare cu polistiren fără protecție.* Au bobinele neacoperite. Tensiunea lor variază între 25 V și 1000 V, în funcție de grosimea foliei de material plastic; este indicat ca la bobinare să se folosească două pelicule suprapuse în loc de una mai groasă, pentru că în acest caz probabilitatea ca două puncte slabe din peliculă să se suprapună este mai mică. Stabilitatea în funcționare a acestor condensatoare, este mult mai bună în comparație cu a condensatoarelor cu hirtie, la aceleași regimuri de temperatură, umiditate și presiune atmosferică.

● *condensatoare cu polistiren înglobate în material plastic și închise în tuburi sau cutii metalice.* Au aceleași caracteristici ca și cele neprotejate, având în plus o stabilitate mai mare cu temperatura și umiditatea.

● *condensatoare cu politetrafluoretilenă (teflon).* Se caracterizează prin temperaturi de lucru ridicate (200—250°C), celelalte caracteristici fiind în general asemănătoare cu ale condensatoarelor cu polistiren.

● *condensatoare cu polietilen tereftalat (mylar).* Pot lucra la temperaturi de 125—150°C.

2.6. Condensatoare cu mică

Condensatoarele din această grupă se caracterizează prin pierderi mici, stabilitate foarte mare, posibilitate de fabricație în producție de masă și preț de cost scăzut.

Ca dielectric aceste condensatoare folosesc plăci din mică (tip muscovit) cu grosimea 0,02÷0,6 mm. Condensatorul constă dintr-un pachet în care plăcile din mică alternează cu armăturile metalice. Pachetul * se prinde în scoabe speciale pe care se fixează terminalele.

* Din punct de vedere al protecției față de acțiunea mediului exterior, condensatoarele cu mică se împart în condensatoare de tip deschis, condensatoare înglobate în mase plastice și condensatoare ermetizate.

Condensatoarele cu mică pot fi folosite la temperaturi cuprinse în intervalul -60 până la $+80^{\circ}\text{C}$ și umiditate relativă a mediului până la 98%. Condensatoarele cu terminale scurte (sub 10 mm) pot fi utilizate în gama de frecvență 50–100 MHz.

2.7. Condensatoare ceramice

Condensatoarele ceramice sînt formate dintr-un suport ceramic argintat pe două fețe prevăzute cu două terminale din sîrmă de cupru argintată, sudate pe pelicula de argint, întregul ansamblu fiind acoperit cu un strat protector de rășină.

Există o mare varietate constructivă, de condensatoare ceramice. Astfel, după natura ceramicii utilizate, se disting condensatoare cu permitivitate dielectrică joasă, numite și condensatoare ceramice de tip I și condensatoare cu permitivitate dielectrică înaltă sau condensatoare ceramice de tip II. După forma suportului ceramic, condensatoarele pot fi: tubulare, plachete, discuri, pastile și perle pentru mică putere și discuri, oale, farfurii, tuburi, pentru mare putere.

● *condensatoare ceramice de tip I.* Se fabrică din ceramică cu pierderi dielectrice mici și permitivitate relativ stabilă cu temperatura, dar de valori relativ coborîte (5–220); coeficientul de temperatură al acestor condensatoare este determinat (definit). Se realizează sub formă de disc, de plachetă, de perlă în cazul condensatoarelor de putere mică și sub formă tubulară și farfurie în cazul condensatoarelor de putere, la capacități cuprinse în gama 1,5 pF...1000 pF. Tensiunea lor nominală are valori între 500 V și 5 KV.

● *condensatoare ceramice de tip II.* Se fabrică din ceramică cu permitivitate dielectrică foarte mare (1500–15000) ceea ce permite obținerea unei capacități specifice mult mai mari decît în cazul condensatoarelor ceramice de tip I; capacitatea lor poate avea valori în domeniul 220 pF și 100.000 pF în cazul condensatoarelor simple, de formă tubulară, disc sau plachetă, sau poate ajunge la valori de 2 μF în cazul condensatoarelor multistrat. Valorile tensiunii nominale la care se realizează aceste condensatoare se găsesc în limitele 30 V (pentru condensatoarele plachetă și multistrat) și 500–3000 V (pentru condensatoarele disc).

Dezavantajele principale ale condensatoarelor de tip II în comparație cu cele de tip I, sînt: instabilitatea coeficientului de temperatură al capacității și valoarea mare a tangentei unghiului de pierderi ($3 \cdot 10^{-3}$ față de $1 \cdot 10^{-3}$ pentru condensatoarele de tip I).

2.8. Condensatoare electrolitice

Condensatoarele electrolitice se clasifică după cum urmează:

● după materialul utilizat la confecționarea armăturilor: condensatoare cu aluminiu, cu tantal, cu niobiu etc.;

- după tipul constructiv: condensatoare cu electrolit lichid, semiuscat, și cu electrolit solid;

- după modul de utilizare în circuite: condensatoare polarizate, semipolarizate și nepolarizate.

2.8.1. Condensatoare electrolitice cu aluminiu

- *condensatoare electrolitice cu aluminiu cu electrolit lichid.* Este primul condensator electrolitic, apărut încă la sfârșitul secolului trecut; el constă dintr-un tub metalic cilindric din aluminiu (armătura de catod) în care se introduce anodul din aluminiu oxidat și electrolitul lichid constituit dintr-o soluție de acid boric.

- *condensatoare electrolitice cu aluminiu cu electrolit semiuscat.* Se obțin prin bobinarea următoarelor elemente:

- folie de aluminiu (groasă de 50...150 μm), care este armătura pozitivă sau anodul, pe care este formată pelicula de oxid de aluminiu-dielectricul;

- una sau mai multe benzi de hirtie impregnată în electrolit (de obicei soluție apoasă de acid boric și glicoletilenă), care constituie catodul;

- a doua folie de aluminiu, care realizează contactul cu electrolitul — contactul catodului.

Anodul condensatorului se realizează din folie de aluminiu cu suprafața netedă, sau cu suprafața mărită artificial, sau asperizată. Condensatoarele electrolitice cu folie anodică din aluminiu neasperizat prezintă performanțe electrice superioare celor care folosesc folie asperizată (au tangenta unghiului de pierderi mică și suportă bine temperaturile extreme), însă au capacitatea specifică mult mai mică.

În fabricația condensatoarelor electrolitice se folosesc, folii din aluminiu asperizate. O folie este asperizată atunci când suprafața sa, inițial netedă, este transformată într-o suprafață care prezintă un microrelief. Factorul care caracterizează gradul de asperizare se numește coeficient de asperizare; acest coeficient, are valori cuprinse între 4 și 20 și depinde de mărimea tensiunii de oxidare (valorile mai mici corespund tensiunilor mari de oxidare).

Bobinele condensatorului se impregnează în autoclave speciale în vid; electrolitul de impregnare, caracterizat printr-o rezistență specifică mică, este o soluție de acid boric, glicoletilenă și hidroxid de amoniu.

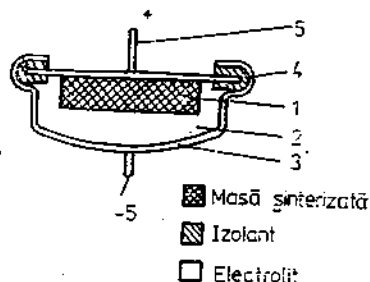
Deoarece în timpul operațiilor pregătitoare (bobinare, impregnare, montaj), pelicula de oxid de aluminiu se deteriorează, condensatoarele se supun unei operații de formare care constă în menținerea lor la o tensiune ușor superioară tensiunii nominale, un timp determinat.

2.8.2. Condensatoare electrolitice cu tantal

Față de condensatoarele electrolitice cu aluminiu, condensatoarele cu tantal pot funcționa la temperaturi mai coborâte și într-o gamă mai largă de frecvențe, au o durată mare de funcționare și stocare și un curent de fugă

Fig. 2.5. Condensator electrolitic cu lichid cu anod din tantal sinterizat:

1 — anod sinterizat; 2 — electrolit; 3 — corp, 4 — șaibă din teflon; 5 — terminale



extrem de mic. Se realizează în două variante constructive: condensatoare bobinate și condensatoare cu anodi sinterizați.

● *condensatoarele bobinate* sînt similare din punct de vedere constructiv cu condensatoarele semiuscate cu aluminiu. Oxidarea foliei de tantal (groasă de 12...15 μm) — cu suprafața netedă sau asperizată — se realizează în electroliti pe bază de acid boric și borax. Pentru catod se folosește folia de tantal neoxidat. Ca material de impregnare se utilizează hîrtia subțire din celuloză. Ca electroliti de impregnare se folosesc soluții de glicoletilenă cu săruri neutre ale unor acizi ca de exemplu clorura de litiu; acești electroliti au o înaltă conductibilitate electrică.

● *condensatoarele cu tantal cu anodi sinterizați* sînt cele mai utilizate. Anodul lor este un bloc, de obicei cilindric, din pulbere de tantal presată și sinterizată; în funcție de finețea pulberii și de condițiile de presare și sinterizare, se realizează suprafețe mari pe unitatea de volum a anodului (putînd atinge valori de ordinul 1 m^2/cm^3). Sinterizarea se realizează în vid înaintat, la temperaturi peste 2000°C. Anodii sinterizați se oxidează după care se încapsulează. În funcție de electrolitul utilizat aceste condensatoare se realizează în două variante constructive: cu electrolit lichid (figura 2.5) și cu electrolit solid (figura 2.6). Ca electrolit lichid de impregnare se utilizează soluții de acid fosforic sau sulfuric și de clorură de litiu. Electrolitul solid este constituit dintr-un strat de bioxid de mangan obținut prin impregnarea anodului dintr-o soluție apoasă de azotat de mangan 50% și încălzirea lui timp de cîteva minute la o temperatură de 350—400°C. Contactul de catod în acest caz se obține prin depunerea pe stratul de bioxid de mangan a unui strat de grafit coloidal cu rezistența electrică mică.

2.9. Condensatoare cu capacitate variabilă

Condensatoarele cu capacitate variabilă (cu comandă mecanică *) cont stau din două sisteme de plăci paralele, din care unul se poate mișca în raport cu celălalt și în acest fel se modifică suprafața activă și deci, capacitatea condensatorului. Sistemul fix se numește stator, iar cel mobil rotor.

* Diodele varicap a căror capacitate depinde de tensiunea aplicată la bornele lor, în unele publicații se numesc condensatoare cu capacitate variabilă cu comandă electrică.

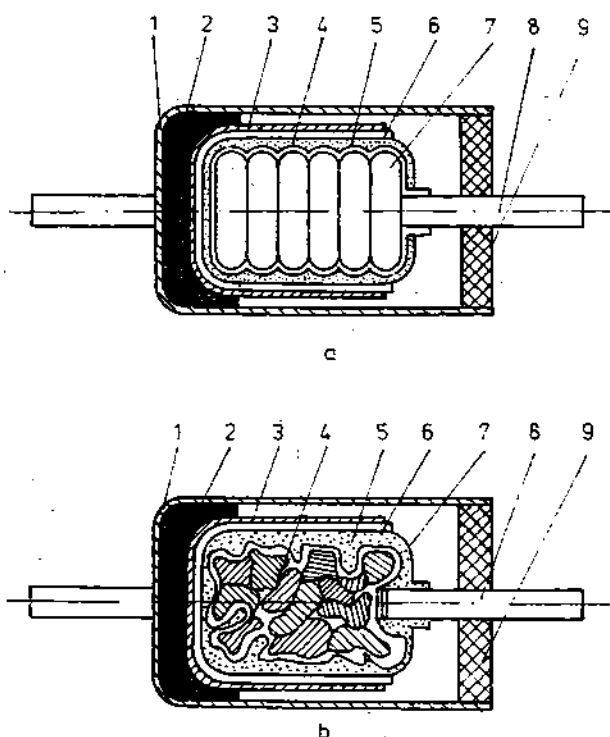


Fig. 2.6. Condensator electrolitic cu tantal cu electrolit solid:

a — anodul din sirmă; b — anodul sinterizat 1 — nivelul de protecție (tub); 2 — aliaj de lipit; 3 — strat de argint; 4 — oxid de tantal (Ta_2O_5); 5 — strat (semiconductor) din bioxid de mangan MnO_2 ; 6 — strat intermediar; 7 — tantal; 8 — terminale; 9 — capac.

Condensatoarele cu capacitate variabilă se pot clasifica din două puncte de vedere:

● După dielectricul utilizat, se clasifică în condensatoare cu dielectric aer și în condensatoare cu dielectric solid.

— condensatoarele cu dielectric aer, cele mai frecvent utilizate în practică, se caracterizează prin pierderi dielectrice mici și printr-o mare stabilitate,

— condensatoarele cu dielectric solid au dimensiuni mici și în general sînt mai puțin stabile. Din aceste considerente se utilizează în circuite de joasă frecvență și în receptoare radio de dimensiuni reduse.

● După unghiul de rotire al sistemului mobil se împart în: condensatoare cu unghi normal de rotire (egal cu 180°), cu unghi de rotire mărit (mai mare de 180°) și cu unghi de rotire redus (egal cu 90°). Condensatoarele cu unghi de rotire mărit se utilizează (în special) în blocul de unde ultra scurte al receptorilor radio.

Condensatoarele cu capacitate variabilă se folosesc ca elemente de acord în circuite oscilante; în acest caz este important să li se cunoască modul de variație a capacității cu unghiul de rotire, mod care determină caracterul variației frecvenței circuitului acordat. Din acest punct de vedere aceste condensatoare variabile se împart în:

- Condensatoare cu capacitate variabilă liniar cu unghiul de rotire al sistemului mobil; ele au o scală de acord neliniară și se folosesc numai pentru reglare,

- Condensatoare care realizează în domeniul de acord variația lineară a frecvenței cu unghiul de rotire. Aceste condensatoare se folosesc în radio-receptoare și emițătoare, în echipamente de măsurare sau în alte echipamente unde este necesară variația lineară a frecvenței în gama de reglare.

- Condensatoare care realizează variația lineară a lungimii de undă a circuitelor acordate, proporțional cu unghiul de rotire al axului; aceste condensatoare se utilizează în tehnica de măsurare,

- Condensatoare care realizează variația logaritmică a capacității cu unghiul de rotire al axului.

2.10. Condensatoare cu capacitate semireglabilă

Una din caracteristicile cele mai importante pe care trebuie să le posede aceste condensatoare (pe lângă cele menționate în paragraful 2.3) o constituie stabilirea lină a capacității și menținerea (fixarea) ei sigură; ele se utilizează în special în circuite oscilante.

În funcție de dielectricul ce-l utilizează, se împart în condensatoare cu dielectric aer și condensatoare cu dielectric solid.

În practică se întâlnesc următoarele tipuri de condensatoare cu capacitatea semireglabilă (condensatoare trimer):

- *condensatoare ajustabile cu aer.* Ele constau dintr-un suport ceramic pe care este fixat statorul și rotorul. Acest condensator prezintă caracteristici electrice bune, însă se realizează greu; din acest motiv se utilizează numai în echipamentele electronice speciale.

- *condensatoare ajustabile cilindrice.* Realizate la valori relativ mici (sub 20 pF), aceste condensatoare constau dintr-un stator sub formă de tub și dintr-un rotor cilindric care se poate deplasa în interiorul statorului prin intermediul unei spirale de pas mare. Pentru valori de capacitate mai mare, aceste condensatoare au rotorul și statorul sub forma a mai multor cilindri coaxiali.

- *condensatoare ajustabile disc.* Sunt condensatoare de uz curent, ieftine și au caracteristici corespunzătoare la dimensiuni relativ mici. Ele constau dintr-un suport ceramic, statorul, pe care este fixat rotorul constituit dintr-un disc ceramic. Armăturile sunt realizate dintr-un strat de argint depus pe rotor și pe stator.

● *condensatoare ajustabile bobinate*. Se utilizează în echipamente electronice simple. Ele constau dintr-un tub de ceramică (a cărui metalizare interioară constituie armătura fixă) pe care este bobinată o sirmă izolată cu diametrul de $0,2 \div 0,3$ mm. Pe măsură ce se scot spire capacitatea scade. Este destul de dificil să se pună înapoi spirele și din această cauză capacitatea nu poate fi reglată decît într-un singur sens (descrescător) ceea ce constituie un dezavantaj al acestui tip de condensator.

3. Bobine electrice

3.1. Definiție și simboluri grafice

Bobinele electrice sînt componente electronice constituite dintr-un sistem de spire în serie, care înlanțuiesc același circuit magnetic, fie pentru a produce o anumită tensiune magnetomotoare (cînd spirele sînt parcurse de curent electric), fie pentru a fi sediul unei tensiuni electromotoare induse (cînd circuitul magnetic e străbătut de flux magnetic variabil în timp). Atît tensiunea magnetomotoare produsă în bobină la curent electric dat, cît și tensiunea electromotoare indusă în bobină la variația în timp dată de fluxul ei magnetic, sînt proporționale cu numărul de spire ale bobinei.

Constanta de proporționalitate se numește inductanța * bobinei, se notează prin litera L și se definește cu relația:

$$\Phi = L i$$

unde Φ este fluxul magnetic,

i — curentul electric.

Unitatea de măsură a inductanței se numește Henry (H); în practică se folosesc și unitățile milihenry ($mH = 10^{-3}H$), microhenry ($\mu H = 10^{-6}H$) și nanohenry ($nH = 10^{-9}H$).

În scheme electrice bobinele se notează ca în figura 3.1.

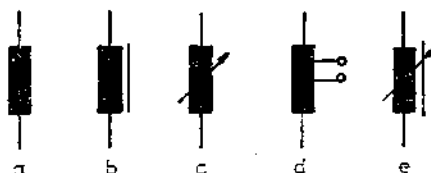


Fig. 3.1. Simboluri folosite în scheme pentru bobine.

* L se mai numește și autoinductanță sau inductanță proprie.

3.2. Clasificare

După natura circuitului magnetic se deosebesc bobine fără miez și bobine cu miez magnetic.

● Bobina fără miez este asociată cu un circuit magnetic care nu conține materiale feromagnetice. În forma cea mai simplă, ea se realizează cu un conductor bobinat într-un singur strat pe suprafața unui cilindru circular drept și se numește solenoid.

● Bobina cu miez este asociată unui circuit magnetic care conține materiale feromagnetice: fier moale, oțel aliat; aliaj de nichel sau cobalt, ferite etc.

După forma și după așezarea spirelor se deosebesc: bobine plate, bobine toroidale, bobine fagure, bobine în galeți sau secționare etc.

După frecvențele de lucru bobinele se clasifică în: bobine de frecvență industrială, bobine de joasă frecvență, bobine de înaltă frecvență.

După numărul de straturi ale înfășurării se deosebesc bobine cu un strat și bobine cu mai multe straturi.

3.3. Caracteristici principale,

În continuare se prezintă câteva din principalele caracteristici ale bobinelor electrice.

3.3.1. Inductanța

În funcție de utilizare inductanța bobinelor folosite în echipamente electronice variază în limite largi, de la câțiva nanohenry la zeci și sute de milihenry. Precizia de realizare a inductanței depinde de destinația bobinei; de exemplu, precizia bobinelor destinate circuitelor acordate trebuie să fie în jurul a 1% și 2% sau mai mult în timp ce precizia bobinelor de cuplaj, sau a bobinelor de înaltă frecvență care lucrează la frecvențe mult diferite de frecvența de rezonanță, poate fi în jurul a 10–20%. Pentru calculul inductanței se folosesc formule sau grafice. Pentru orientare în cele ce urmează se dau câteva relații simple de calcul. Inductanța unei bobine de lungime l (lungimea este de 20–30 ori mai mare decât diametrul), cu secțiunea S , este dată cu precizie de 1–2% de relația:

$$L = \frac{4\pi N^2 S}{l}$$

unde $\pi = 3,14$ și N este numărul de spire al bobinei.

În realitate lungimea bobinei este comparabilă cu diametrul ei (D); prin aceasta cîmpul magnetic la capetele bobinei se curbează și un număr

mai mic de spire este înălțuit de fluxul magnetic, fapt care conduce la reducerea inductanței; pentru acest caz relațiile de calcul sînt complicate și de aceea pentru simplificare în formula practică de calcul menționată mai sus se introduce coeficientul a , a cărui valoare depinde de raportul l/D . În acest caz formula de calcul a inductanței devine:

$$L = aN^2D10^{-3}$$

unde L se obține în μH și D în cm, iar valoarea coeficientului a se găsește în tabele.

3.3.2. Factorul de calitate

În majoritatea cazurilor factorul de calitate Q_L determină proprietățile de rezonanță și randamentul circuitului; el rezultă din relația:

$$Q_L = \frac{\omega \cdot L}{R}$$

în care R este rezistența activă a bobinei, compusă din rezistența electrică a conductorului în curent de înaltă frecvență*, rezistența corespunzătoare pierderilor în dielectricul carcasi, rezistența corespunzătoare pierderilor în ecranul bobinei, rezistența corespunzătoare pierderilor în miezul bobinei etc. La frecvențe joase (domeniul undelor lungi) rezistența bobinei se determină în principal prin rezistența conductorului la frecvența respectivă (se ține seama de efectul de suprafață) iar la frecvențe înalte (domeniul undelor scurte) influența primordială avînd-o pierderile în dielectric, rezistența corespunde acestor pierderi. Bobinele actuale utilizate în echipamente electronice au factorul de calitate cuprins în limitele 50—300.

3.3.3. Capacitatea proprie

Este constituită din capacitatea distribuită între spirele bobinei și capacitatea între bobină și corpul (masa) echipamentului. Cu cît dimensiunile bobinei sînt mai mari cu atît capacitatea proprie a bobinei este mai mare: ea depinde de construcția bobinei și are valori cuprinse între unități de picofarad și sute de picofarazi.

Frecvența la care se realizează acordul între inductanța bobinei și capacitatea sa proprie se numește frecvența proprie a bobinei.

Capacitatea proprie are o influență negativă deoarece ea contribuie la reducerea stabilității bobinei și la micșorarea factorului său de calitate.

* La înaltă frecvență rezistența conductorului este mai mare datorită efectului pelicular sau de suprafață; acest fenomen se explică prin faptul că pe măsură ce frecvența crește fenomenul de inducție proprie devine important în interiorul conductorului și curentul începe să circule numai pe suprafața lui.

3.3.4. Stabilitatea

Se definește prin variația parametrilor (caracteristicilor) bobinei în timp la influența temperaturii, umidității, vibrațiilor etc.

Variația inductanței cu temperatura se caracterizează prin coeficientul de temperatură al inductanței α_L , determinat de modul de realizare al bobinajului și de calitatea dielectricului carcaserii; coeficientul de temperatură al bobinelor utilizate în electronică are valori cuprinse în limitele $(20...300)10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Influența temperaturii asupra factorului de calitate și inductanța este condiționată de variația rezistenței conductorului; pentru conductoare din cupru Q_L scade cu aproximativ 10% la creșterea temperaturii cu cîte 30°C . La temperaturi ridicate apar fenomene suplimentare care conduc la scăderea Q_L ca urmare a creșterii pierderilor dielectrice în carcasa bobinei.

Fenomenul de îmbătrînire al bobinei apare în cazul folosirii carcaserelor organice (hîrtie, materiale plastice etc.) și practic nu apare la folosirea carcaserelor ceramice.

Umiditatea provoacă creșterea capacității proprii și a pierderilor dielectrice și reduce stabilitatea bobinei. În practică bobinele se protejează de umiditate prin ermetizare sau prin împănare; în acest caz scade Q_L și crește capacitatea proprie.

Sub acțiunea șocurilor și vibrațiilor pot apare deplasări de spire care în final conduc la modificarea inductanței bobinei.

3.3.5. Siguranța în funcționare

Cauza cea mai frecventă a unei slabe siguranțe în funcționare a bobinelor o constituie îmbătrînirea dielectricului și materialelor magnetice, deteriorarea izolației dintre spire și față de carcasă, întreruperea și supraîncălzirea conductoarelor, protecția slabă la umiditate etc.

3.4. Construcție

La realizarea bobinelor se ține seama de valoarea nominală a inductanței, gama frecvențelor de funcționare, stabilitatea, curentul prin bobină și tensiunea la care este supusă, posibilități tehnologice; în tabelul 3.1 se prezintă schematic procesul tehnologic de realizare a elementelor bobinate.

Elementele componente ale unei bobine sînt: carcasa, înfășurarea, miezul și ecranul.

Carcasa servește ca suport pentru înfășurare și în majoritatea cazurilor are forma cilindrică cu suprafața lină sau cu nervuri. Se realizează din materiale ușor prelucrabile (de obicei materiale plastice), ieftine, cu calități izolatoare deosebit de bune.

Înfășurarea se caracterizează prin numărul de spire, pas, numărul de straturi și secțiuni etc.

Tabelul 3.1. Etape tehnologice principale pentru realizarea bobinelor

Etape principale în realizarea bobinajelor	Ce se urmărește	Ce se controlează
Pregătirea materialelor inițiale	<ul style="list-style-type: none"> ● eliminarea posibilităților de re-butare a bobinelor din cauza utilizării greșite a materialelor inițiale, ● creșterea calității bobinajelor, ● creșterea productivității. 	<ul style="list-style-type: none"> ● dimensiunile geometrice ale conductorilor; ● dimensiunile și calitatea materialelor de izolare (hîrtie, materiale plastice), ● conductoarele de legătură.
Pregătirea carcaselor	<ul style="list-style-type: none"> ● asigurarea rigidității mecanice a carcasei, ● asigurarea caracteristicilor electrice, ● eliminarea rebuturilor. 	<ul style="list-style-type: none"> ● geometria (dimensiunile) carcasei, ● aspectul vizual, ● cosele pentru firele exterioare.
Bobinarea	<ul style="list-style-type: none"> ● realizarea bobinei la dimensiunile geometrice și caracteristicile electrice dorite. 	<ul style="list-style-type: none"> ● mașina de bobinat,
Realizarea firelor de legătură	<ul style="list-style-type: none"> ● obținerea unui contact electric sigur între bobină și firele exterioare. 	<ul style="list-style-type: none"> ● curățirea locului de lipire a terminalelor.
Impregnarea	<ul style="list-style-type: none"> ● creșterea rezistenței la încălzire, umiditate, străpungere, la acțiuni chimice. 	<ul style="list-style-type: none"> ● uscarea preliminară a bobinei pentru îndepărtarea tuturor urmelor de umiditate.
Uscarea	<ul style="list-style-type: none"> ● asigurarea polimerizării impregnatului în scopul obținerii unei pelicule de lac stabile. 	<ul style="list-style-type: none"> ● aspectul vizual, ● rigiditatea electrică

La bobinele într-un strat, spirele sînt dispuse pe o carcasă cilindrică spiră lîngă spiră (figura 3.2.a) sau sînt dispuse la o oarecare distanță una de alta (fig. 3.2.b). Bobinele într-un strat cu spire distanțate au un factor de

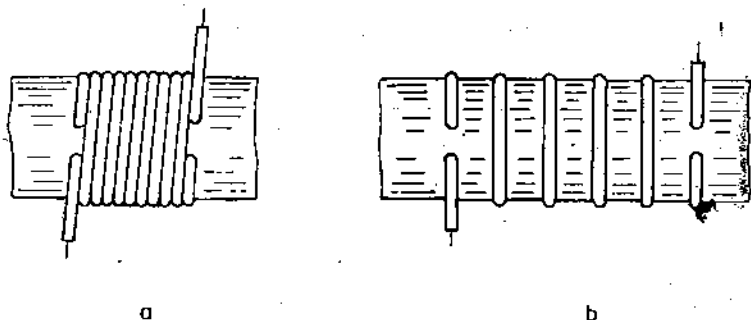


Fig. 3.2. Bobine într-un strat.

calitate ridicat (150—400) și sînt decsebit de stabile; de aceea ele se utilizează (în special) ca bobine de înaltă frecvență. Pentru creșterea preciziei de bobinare, se utilizează carcasse cilindrice spiralate. În acest caz, prin pătrunderea conductorului în materialul carcasei, scade întrucîtva factorul de calitate și stabilitatea bobinei. Pentru bobine de mare stabilitate, la bobinare se iau precauții speciale de bobinare strîns *, pe carcasse nespiralate, sau conductorii se realizează prin depunere ** (în vid sau termic).

Bobinele într-un singur strat asigură inductanțe pînă la 200—300 μH . Pentru realizarea de bobine cu inductanțe mai mari de 200—300 μH se utilizează bobinele cu mai multe straturi (fig. 3.3.):

— figura 3.3 a prezintă o bobină simplă, la care bobinarea pe carcasă se realizează uniform *** strat peste strat. O astfel de bobină prezintă caracteristici electrice slabe (factor de calitate redus, stabilitate mică, capacitate proprie ridicată) și necesită o carcasă specială.

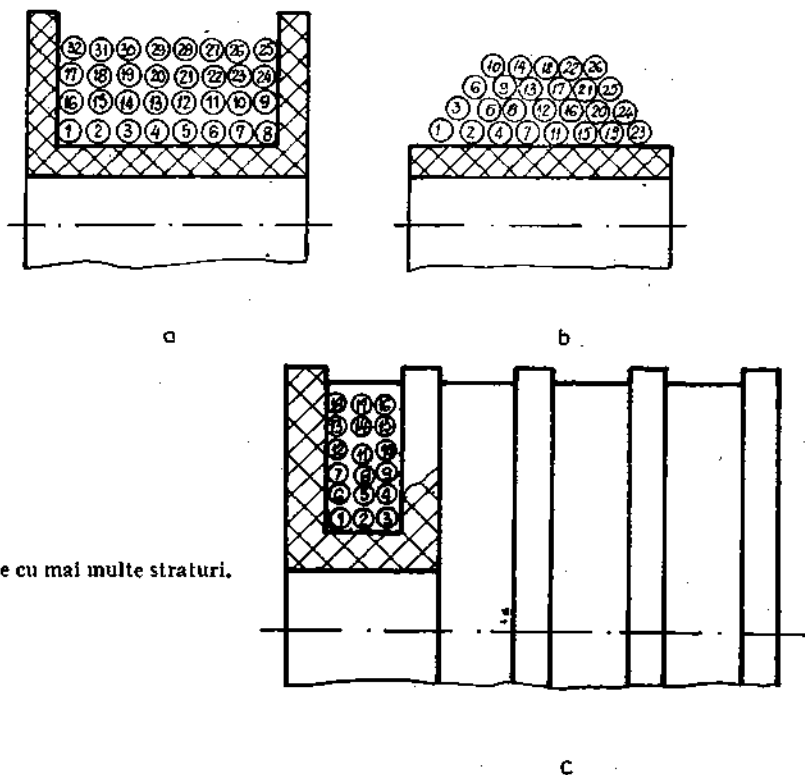


Fig. 3.3. Bobine cu mai multe straturi.

* Pentru a se obține un bobinaj rigid (strîns) bobinarea se poate realiza cu conductor încălzit (la 100—120°C); după răcire bobinajul se strînge pe carcasă, asigurîndu-se astfel stabilitatea bobinei.

** Grosimea stratului depus este de 0,01—0,03 mm. Această bobină, deși are Q-ul mai mic, se caracterizează printr-un înalt grad de stabilitate.

*** Există și bobine cu mai multe straturi (în special cele realizate de amatori) la care bobinarea se face neuniform sau „îngrămădită”.

— figura 3.3.b prezintă o bobină cu mai multe straturi, spirele formînd o piramidă (trunchi de piramidă). Acest tip de bobină are o mare rigiditate dielectrică și capacitate proprie mică; se utilizează ca bobină de înaltă frecvență în echipamentele electronice de putere,

— figura 3.3c prezintă o bobină cu mai multe straturi, secționată sau în galeți. Se caracterizează printr-un factor de calitate ridicat (150–200) și prin capacitate proprie mică. Se realizează ușor și se utilizează în echipamente de radiorecepție în gama undelor lungi și medii.

O variantă a bobinelor cu mai multe straturi, larg utilizată în practică, este cea care folosește bobinarea universală. La bobinarea universală, spirele sînt aranjate paralel una cu cealaltă, dar se dispun alternativ de la un capăt la celălalt al carcusei, intersectîndu-se sub un unghi. Acest mod de dispunere a spirelor conferă bobinei o bună rigiditate mecanică fără utilizarea unei carcuse speciale, un factor de calitate ridicat și capacitate proprie redusă.

3.5. Bobine cu miez

Majoritatea bobinelor utilizate în electronică au în componența lor un miez magnetic sau un miez nemagnetic.

Miezurile magnetice se realizează din materiale magnetodielectrice * și din ferite.

Influența miezului asupra inductanței bobinei este caracterizată de permeabilitatea efectivă μ_e , astfel că inductanța unei bobine cu miez poate fi determinată cu aproximație cu relația:

$$L = \mu_e L_0$$

în care L_0 este inductanța bobinei fără miez.

Din punct de vedere constructiv miezurile bobinelor sînt de două feluri: miezuri închise și miezuri secționate (neînchise). Miezurile neînchise sînt de obicei de formă cilindrică sau tub. Construcția acestor miezuri permite modificarea inductanței prin simpla lor deplasare în lungul bobinei. Miezurile închise se realizează de obicei sub formă toroidală și au avantajul că la dimensiuni mici asigură valori mari pentru inductanța bobinei.

Miezurile nemagnetice se realizează din alamă sau cupru și se utilizează în special pentru bobine care funcționează în domeniul undelor scurte sau ultrascurte.

* Pentru obținerea materialelor magnetodielectrice se utilizează fie pulberea din fier, fie aliajul alsifer (Al-Si-Fe) sub formă de granule cu dimensiuni de cîteva zeci de microni. Pulberea aceasta se amestecă cu un dielectric și se presează. Fiecare particulă a pulberii se învelește într-un strat de dielectric. Cu cît este mai mic diametrul granulei cu atît sînt mai mici pierderile în miez și cu atît mai bine poate fi utilizat miezul la frecvențe mai ridicate. Se are în vedere și faptul că la micșorarea dimensiunilor granulelor se micșorează și permeabilitatea magnetică a materialului.

3.6. Bobine ecranate

Pentru înlăturarea cuplajelor parazite, produse de cîmpuri electromagnetice exterioare, bobina se ecranează, adică se introduce în interiorul unei cutii metalice închise, conectată la masă. Efectul de ecranare se caracterizează prin raportul dintre intensitatea cîmpului electric al bobinei în prezența ecranului și intensitatea aceluiași cîmp în absența ecranului. Pentru un ecran de clasă medie, realizat de exemplu sub forma unei cutii de aluminiu, acest raport este de aproximativ $1/100 - 1/20$, ceea ce înseamnă un raport suficient de mare pentru o parte a aplicațiilor practice. Pentru creșterea acestui raport în practică se realizează două sau chiar trei ecrane.

Ecranul influențează * și asupra parametrilor electrici ai bobinei contribuind la scăderea inductanței, creșterea rezistenței și a capacității proprii și la reducerea factorului de calitate al bobinei.

Stabilitatea bobinelor ecranate este mai slabă decît a celor neecranate deoarece sub influența factorilor care modifică stabilitatea (temperatura, de exemplu) se modifică și dimensiunile geometrice și rezistența ecranului. Influența ecranului asupra parametrilor bobinei se manifestă cu atît mai puternic cu cît pereții săi sînt mai apropiați de bobină. Pentru ca inductanța și factorul de calitate al bobinei să nu scadă cu mai mult de 10% datorită prezenței ecranului se recomandă un raport între diametrul ecranului D_E și diametrul bobinei, D , în jurul $aD_E/D = 1,5 + 2,5$.

Pentru ca să slăbească influența ecranului se poate plasa un cilindru din ferită între ecran și bobină; o astfel de dispunere slăbește cîmpul magnetic exterior al bobinei și cuplajul său cu ecranul ceea ce în final conduce la posibilitatea reducerii dimensiunilor exterioare ale bobinelor ecranate. În majoritatea cazurilor un astfel de cilindru din ferită creează un efect de ecranare suficient pentru ca să nu mai fie necesar ecranul metalic. Acest sistem se utilizează în bobinele de dimensiuni mici, care pentru ecranare se introduc în cilindri sau oale de ferită.

Utilizarea ecranelor magnetice conduce la creșterea inductanței bobinei (cu cca. 10%) și la micșorarea corespunzătoare a factorului ei de calitate.

Ecranele se realizează sub formă de cutii cilindrice sau sub formă de cutii paralelipipedice din aluminiu, cupru sau alamă; grosimea peretelui ecranului depinde de materialul ales și de frecvența de funcționare a bobinei. De exemplu, pentru frecvențe de 100 MHz, grosimea în mm a acestor pereți este de 30 μ pentru cupru, respectiv 40 μ pentru aluminiu. Deoarece aluminiul este mai ieftin decît cuprul ecranele se realizează de obicei din aluminiu. Pentru a permite o dispunere economică a bobinelor într-un echipament se construiesc ecrane sub forma paralelipipedică.

* Variația acestor parametri depinde de raportul dintre dimensiunile bobinei și dimensiunile ecranului.

3.7. Bobine plate

Bobinele plate se realizează cu ajutorul tehnologiei cablajelor imprimate sub forma unor spirale (de formă circulară) sau dreptunghiulară) plate. Inductanța acestor bobine este relativ mică ($0,1...10 \mu H$). Factorul de calitate al unei astfel de bobine este cuprins între 50 și 200, el depinzând de calitatea suportului izolant și de rezistivitatea conductorului.

3.8. Șocuri de înaltă frecvență

Șocurile de înaltă frecvență sînt bobine de inductanță utilizate pentru creșterea rezistenței electrice în circuite de înaltă frecvență, permițînd în același timp trecerea curentului continuu sau a curentului alternativ de joasă frecvență. Ele se utilizează în special în echipamente de emisie radio și televiziune * pentru alimentarea etajelor de amplificare, respectiv corectarea caracteristicilor amplitudine-frecvență ale amplificatoarelor video.

Deoarece acest tip de bobină prezintă capacități parazite importante, ele trebuie să fie utilizate la frecvențe mult mai mici decît frecvența lor proprie de rezonanță, cînd reactanța are un caracter inductiv.

În circuite de unde scurte (US) și ultra scurte (UUS) se utilizează șocuri de înaltă frecvență într-un strat, cu pas variabil (figura 3.4.a); capătul bobinei corespunzător părții cu pas mare, se leagă la partea de înaltă frecvență a schemei, deoarece capacitatea proprie între spire și această parte a bobinei este minimă.

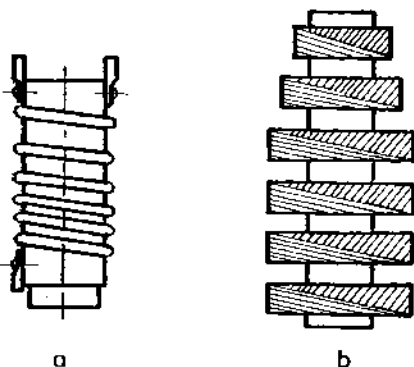


Fig. 3.4. Tipuri de șocuri de înaltă frecvență:
a — pentru UUS cu pas variabil; b — pentru unde
lungi

* În cazul cînd șocurile de înaltă frecvență se utilizează în circuite de încălzire ale tuburilor electronice, ele constituie filtre și „opresc” trecerea curenților de înaltă frecvență în circuitul de încălzire.

3.9. Variometre

Variometrele sînt bobine a căror construcție permite variația continuă în limite largi a inductanței în procesul de exploatare al unui echipament electronic.

Variația continuă a inductanței în variometre se poate realiza în două moduri:

- prin deplasarea unui cursor pe spirele unei bobine de formă cilindrică
 - prin rotirea unei bobine în raport cu cealaltă, în care caz variometrul este constituit din două bobine concentrice și coaxiale (rotorul și statorul).
- Caracteristica principală a variometrelor o constituie gama de variație a inductanței, definită prin raportul dintre inductanța maximă și minimă:

$$K_L = \frac{L_{max}}{L_{min}}.$$

4. Transformatoare și șocuri de alimentare

4.1. Definiție și simboluri grafice

În circuitele de joasă frecvență și de frecvență industrială ale echipamentelor electronice au o largă utilizare bobinele cu inductanță mare (de ordinul zecilor sau chiar sutelor de henry), prin care trec curenți importanți. Aceste bobine, realizate cu miez magnetic (oțel electrotehnic, ferită, permalloy etc) pentru a nu avea dimensiuni mari, sînt șocurile de alimentare și transformatoarele.

Șocurile de alimentare sînt bobine de mare inductanță destinate funcționării în gama frecvențelor joasă (pînă la cîteva zeci de kiloherți). Se utilizează în filtre de alimentare în filtre de joasă frecvență, în stabilizatoare și regulatoare de tensiune (așa numitele șocuri saturate sau șocuri comandate). În scheme electrice șocul de alimentare se notează ca în figura 3.1.b.

Transformatoarele sînt componente (statice) electromagnetice bazate pe fenomenul de inducție electromagnetică, construite pentru a primi puterea electrică sub intensitatea I_p și tensiunea U_p aplicată unui circuit zis primar și a o reda sub o tensiune U_s și o intensitate I_s la bornele unui circuit secundar. În scheme electrice transformatoarele se reprezintă ca în figura 4.1.

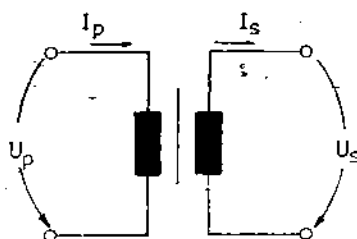


Fig. 4.1. Reprezentarea transformatorului în scheme

4.2. Clasificare

În funcție de destinație, transformatoarele se împart în transformatoare de alimentare și transformatoare de semnal.

● Transformatoarele (autotransformatoarele) de alimentare se utilizează în blocuri de redresare pentru obținerea de tensiuni de valori diferite. De la aceste transformatoare se alimentează circuitele de încălzire a filamentelor tuburilor electronice, electromotoarele etc. În general transformatoarele de alimentare funcționează la frecvențe joase *: 50 Hz (frecvența rețelei); 400 Hz (frecvența rețelelor de bord).

● Transformatoarele de semnal se utilizează într-o gamă (mai) largă de frecvențe, de la câțiva herți la câteva sute de kiloherți. În categoria acestor transformatoare pot fi incluse:

- transformatoarele de adaptare, folosite pentru modificarea impedanței circuitelor (de intrare, de ieșire și de cuplaj),
- transformatoarele de impulsuri, destinate transmiterii impulsurilor în circuitele unde apare necesitatea unei izolări galvanice între circuite.

În practică se utilizează o gamă largă de transformatoare și șocuri de alimentare normalizate/standardizate. Cu toate acestea la realizarea echipamentelor electronice apare adesea necesitatea construirii unor tipuri de transformatoare și șocuri de alimentare speciale. În cele ce urmează se prezintă destul de succint numai transformatoarele și șocurile de alimentare de medie tensiune și de mică putere (câteva sute de volți și câteva sute de volți-amperi).

4.3. Construcția transformatoarelor

Oricare tip de transformator și șoc de alimentare constă din circuit magnetic (sau miez magnetic), bobină și armături de fixare.

4.3.1. Tipuri constructive de miezuri magnetice

În mod curent se utilizează trei configurații de miezuri (figura 4.2): în manta, cu coloane, toroidale.

În funcție de tehnologia de execuție, miezurile se realizează din tole stanțate, din benzi și presate.

* Pentru reducerea volumului și masei transformatoarelor de alimentare, în ultimii ani se utilizează tot mai mult sistemele de conversie a energiei electrice la frecvențe relativ ridicate (20...40 KHz).

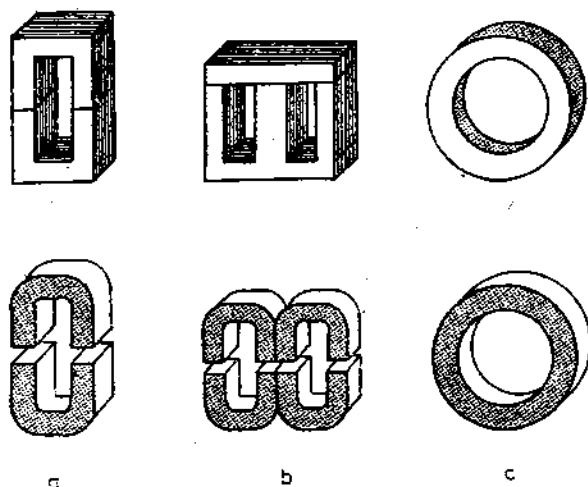


Fig. 4.2. Tipuri de miezuri magnetice:
a — cu coloane; b — în manta; c — toroidale

● *Miezuri din tole ștanțate.* Tolele ștanțate se pot impacheta fie prin țesere (miezuri întrețesute), fie pe o singură parte (miezuri cu întrefier reglabil). Socurile de alimentare se realizează, de obicei, cu întrefier reglabil, constituit dintr-o foaie izolantă introdusă între cele două părți ale circuitului magnetic. Transformatoarele de alimentare au miezuri întrețesute. Configurația cea mai răspândită de miez magnetic este cea în manta, alcătuită dintr-o toală E și o toală I.

● *Miezuri din bandă.* Sunt utilizate pe scară largă datorită calităților deosebite pe care le prezintă. Miezurile se execută dintr-o bandă îngustă de oțel electrotehnic sau dintr-un aliaj special și se realizează cu coloane, în manta și toroidale. Aceste miezuri se fabrică în prezent în serie tipizată pentru puteri de la câțiva amper-volți la sute de amper-volți.

● *Miezuri presate.* Sunt de tipul miezurilor magnetodielectrice. Au configurații variate: cu coloane, în manta, toroidale, în formă de oală etc.

4.3.2. Tipuri constructive de bobinaje

Construcția bobinajului este determinată de: tipul conductorului folosit, tipul carcasei, modul de dispunere al diverselor înfășurări, izolația utilizată, modul de scoatere a capetelor înfășurărilor din bobinaj.

Pentru realizarea bobinajului se utilizează conductoare de cupru (cel mai frecvent) și aluminiu cu secțiunea rotundă sau dreptunghiulară * izolate cu email, bumbac sau mătase; în cazuri speciale se utilizează combinațiile email-mătase, email-bumbac etc.

* Conductoarele dreptunghiulare sub formă de șină sau bandă se utilizează la transformatoarele cu puteri mai mari de 500 VA cu număr mic de spire.

Bobinajul se execută pe un suport numit carcasă, care trebuie să permită montarea ușoară la locul de utilizare, scoaterea comodă a capetelor înfășurărilor și bobinarea în condiții optime. Materialul carcasei trebuie să prezinte o bună rigiditate dielectrică și rezistență mecanică. Materialele cele mai utilizate sînt: preșpanul, pertinaxul, textolitul, polietilena etc.

Bobinarea se poate face în două feluri: în straturi (fig. 3.3.a) și neregulat. Cel mai frecvent se folosește bobinarea în straturi deoarece este mai sigură și mai economică. Bobinarea neregulată constă în înfășurarea, fără o ordine anumită, a conductorului pe carcasă pînă la obținerea numărului de spire dorit.

Ordinea în care se bobinează diversele înfășurări este importantă. Pentru a asigura condiții bune de răcire, se bobinează spre exterior înfășurările parcurse de curenți mari.

Pentru protecția climatică și pentru creșterea rigidității dielectrice, bobinele transformatoarelor se împregnează.

4.4. Transformatoare pentru tehnica circuitelor integrate

Transformatoarele și șcurile de alimentare sînt componentele cele mai grele și mai voluminoase din echipamentele electronice; practic ele ocupă pînă la 20% din volumul echipamentului și pînă la 30...40% din masa sa. Este normal ca prin reducerea dimensiunilor și masei lor să se micșoreze și dimensiunile și masa echipamentelor electronice.

Realizarea de transformatoare de dimensiuni mici este favorizată și de faptul că echipamentele electronice de gabarite mici sînt construite cu tranzistoare și circuite integrate cărora le sînt caracteristice curenți mici la funcționare și tensiuni coborîte, de alimentare. Reducerea dimensiunilor transformatoarelor și șcurilor de alimentare utilizate în aceste echipamente este posibilă prin utilizarea de materiale cu permeabilitate magnetică mare, miezuri cu forme netradiționale și conductoare pentru bobinaje cu secțiune mică ($d \approx 50 \mu$) cu strat de izolație subțire între spire și prin folosirea de carcase (pentru bobine) cu grosimi minime. Pentru astfel de transformatoare de obicei se utilizează tole toroidale și sub formă de benzi.

5. Comutatoare

5.1. Definiție și clasificare

Comutatoarele sînt componente mecanice de circuit, folosite pentru schimbarea legăturilor unor porțiuni de circuit prin altele sau pentru modificarea succesivă a conexiunilor unuia sau ale mai multor circuite.

Comutatoarele se caracterizează prin tensiunea nominală, curentul nominal, numărul de contacte, modul de acționare (rotative, basculante, prin

apăsare etc) și se construiesc de obicei pentru acționare manuală la tensiuni relativ coborîte (sub 500 V).

Comutatoarele se clasifică:

● după mărimea puterii pe care o comută, în comutatoare de mică putere (sub 50 VA), comutatoare de medie putere (de la 60 la 500 VA) și comutatoare de putere (peste 500 VA),

● după felul curentului pe care-l comută, în comutatoare de curent continuu, comutatoare de curent alternativ etc,

● după tipul constructiv, în comutatoare rotative, comutatoare tip claviatură etc.,

● după gabarit, comutatoare normale și comutatoare miniatură.

În tabelul 5.1 se prezintă structura tipurilor actuale de comutatoare.

Tabelul 5.1. Familii de comutatoare

Nr. crt.	Subfamilii de comutatoare	Tipuri de comutatoare ce compun familia
1.	Înterupătoare basculante	— de rețea. — miniatură pentru cablaje imprimate sau convenționale.
2	Înterupătoare prin apăsare	— de rețea, — miniatură, — subminiatură.
3	Comutatoare rotative	— normale și miniatură cu fixare pe șasin, — miniatură pentru implantare pe cablaj imprimat.
4	Comutatoare tip claviatură	— cu clape cu și fără zăvorire mecanică, — cu taste cu și fără zăvor
5	Comutatoare cu translație	— pentru cablaje imprimate cu două poziții — pentru cablaje imprimate cu 4—12 poziții, — pentru cablaje convenționale
6	Comutatoare cu ieșiri codificate și afișare (Thumbwheel)	Cod ieșire: — zecimal. — octal, — binar.

5.2. Caracteristici principale

În echipamentele electronice comutatoarele trebuie să aibă o influență minimă asupra semnalelor electrice pe care le comută. Pentru aceasta ele trebuie să îndeplinească următoarele caracteristici:

● capacitate între contacte mică. În comutatoarele de înaltă frecvență capacitatea aceasta nu trebuie să depășească 0,5...3 pF,

● rezistența de izolație maximă între contacte; această caracteristică prezintă o importanță deosebită în special în cazul utilizării comutatoarelor în circuite de mare rezistență electrică și în circuite de înaltă frecvență,

● viteza de comutare ridicată; importanța acestui parametru rezultă din necesitatea stingerii arcului (electric) care se formează la întreruperea contactului și din necesitatea micșorării scinteierii la închiderea/deschiderea contactului. În comutatoarele utilizate la curenți mari, se folosesc circuite, pentru stingerea arcului, realizate din condensatoare montate în paralel pe contacte,

● contactele comutatorului nu trebuie să creieze surse de potențial de contact.

Contactele comutatoarelor sînt de două feluri: fixe și mobile. Contactele fixe sînt conectate la elementele electrice ale schemei (terminalele rezistoarelor, bobinelor, condensatoarelor etc), iar contactele mobile sînt fixate pe reglete mobile acționare cu ajutorul butoanelor sau clapelor exterioare. Prin această acționare contactele mobile se deplasează față de cele fixe, stabilind sau întrerupînd circuitele electrice respective.

5.3. Tipuri constructive

În echipamentele electronice se utilizează o gamă largă de comutatoare (tabelul 5.1), dintre care cîteva se prezintă în cele ce urmează:

● *comutatoarele basculante*, sînt destinate pentru comutarea circuitelor de curent continuu și curent alternativ cu puteri de ordinul sutelor de volt-amperi. Ele au utilizări largi în circuitele de alimentare ale aparaturii electronice; în tabelul 5.1. se prezintă cîteva variante constructive,

● *comutatoarele prin apăsare* (cîteva forme constructive sînt menționate în tabelul 5.1) sînt destinate pentru comutarea de scurtă durată a circuitelor de curent continuu și de curent alternativ de joasă frecvență,

● *comutatoarele rotative* (cu galeți) sînt destinate pentru comutarea circuitelor de înaltă frecvență, de joasă frecvență, și a circuitelor de curent continuu cu puteri pînă la 60 VA.

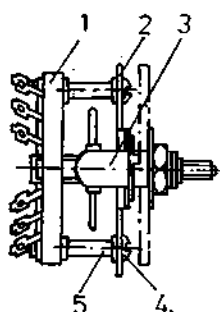


Fig. 5.1. Comutator rotativ cu galeți:
a — montat; b — galeț

Acest tip de comutator (figura 5.1) constă din galețul 1, suportul 2 și știftul de comandă prin rotire 3, solidar cu axul. Cu ajutorul șuruburilor 4 și coloanelor 5 se poate fixa numărul dorit de galeți. Fiecare galeț (figura 5.1. b) constă dintr-o parte fixă, statorul 6 și o parte mobilă, rotorul 9. Pe stator sînt prevăzute două găuri pentru fixarea galețului pe coloanele 5 ale comutatorului și douăsprezece contacte arcuate dispuse la

30° pe circumferință. Pe rotor este fixată placa 8 sub forma unui inel cu o proeminență; la rotirea rotorului această proeminență face legătura cu unul din celelalte unsprezece contacte arcuite de pe stator 7. Contactul lung 10 este comun pentru placa 8. Cu galetul menționat se poate obține comutarea a unsprezece circuite pe o singură direcție (11 poziții \times 1),

● *comutatoare tip claviatură*, sînt destinate pentru comutarea circuitelor electrice de curent continuu și de curent alternativ în aparatura de măsurare și de larg consum. Spre deosebire de comutatoarele cu galetii comutatoarele claviatură utilizate în aparatura de radio sînt prevăzute cu suporturi speciale pentru fixarea bobinajelor; datorită lor se micșorează lungimea conductoarelor de legătură „contacte-bobine” și în consecință cuplajele parazite,

● *comutatoarele cu afișare* se caracterizează printr-o schemă complexă de comutare a ieșirilor și se realizează cu cablaje imprimate. Ele constau din discuri care transformă unghiul de rotire într-un cod binar, zecimal etc.

6. Conectoare

1

6.1. Definiție și clasificare

Conectoarele sînt componente electronice de circuit utilizate pentru realizarea unor legături electrice conductoare demontabile între blocuri, subansamble, cabluri etc.

Legătura electrică în conectoare se asigură prin perechi de contacte de tip „mamă-tată” care constau dintr-un știft (pin) și dintr-un contact elastic, fixate într-un suport izolator a cărui formă conferă conectorului tipul constructiv (tabelul 6.1).

În funcție de tensiunea și frecvența curentului ce trece prin perechea de contacte, conectoarele se clasifică în conectoare de joasă frecvență (de tensiune mică și tensiune mare) și în conectoare de înaltă frecvență.

După modul de conectare a conductoarelor la contactele conectoarelor (tipurile 1, 2, 5, 6 din tabelul 6.1) deosebim: conectoare prin lipire, prin rulare (cunoscută sub denumirea de wrapare de la cuvîntul englez wire wrapping) și prin sertizare.

După felul zonei de contact deosebim: conectoare cu contacte punctiforme, cu contacte liniare și cu contacte de suprafață.

După numărul de elemente care realizează același contact deosebim conectoare: cu un element de contact, cu două elemente de contact și cu mai multe elemente de contact.

Tabelul 6.1. Familii de conectori

Nr. crt.	Familia de conectori	Tipul conectorului
1	Conectori pentru circuite imprimate	
2	Conectori tip rack și de panou	
3	Conectori cilindrice	— standard, — miniatură, — subminiatură
4	Conectori coaxiale	— standard, — miniatură
5	Conectori pentru aplicații speciale	— pentru frecvențe foarte înalte, — pentru medii cu agresivitate chimică ridicată, — rezistente la solicitare termică ridicată, — cu etanșeizare a contactelor, — cu asigurare mecanică
6	Socuri pentru componente de circuit	— pentru circuite integrate, — pentru tranzistoare, — pentru relee, — pentru cristale, — pentru tuburi electronice

Conectorii trebuie să îndeplinească următoarele caracteristici: rezistență de contact mică (de ordinul a $10^{-3}\Omega$), siguranță mare în funcționare, efort mic la asamblare și posibilitate ușoară de demontare etc.

6.2. Tipuri constructive

● *Conectori pentru circuite imprimate.* Au o pondere importantă în prezent datorită utilizărilor lor în echipamentele industriale, tehnică de calcul etc. Probabil că pe măsură ce se va extinde utilizarea în construcția de echipamente electronice a circuitelor integrate pe scară largă și a circuitelor hibride, ponderea acestor conectori va scădea; câteva caracteristici ale acestui tip de conector sînt următoarele:

- tensiune de lucru $160-330 V_{ef}$,
- rezistență de contact $< 15 \cdot 10^{-3}$,
- rezistență de izolație $> 5 \cdot 10^9$,
- capacitate $< 3 pF$.

● *Conectoare de panou.* Se utilizează pentru interconectarea blocurilor funcționale. Ca rezultat al extinderii sistemelor modulare de realizare a echipamentelor ca și al tipizării funcționale a acestora, se prevede o creștere și o diversificare a tipurilor constructive.

● *Conectoare cilindrice.* Ca urmare a tendinței de miniaturizare a echipamentelor electronice, se constată creșterea tipurilor de conectoare cilindrice miniatură * și subminiatură. Se utilizează pentru diverse conexiuni de cablu-echipament în echipamente staționare etc. Carcasa lor este realizată din aliaj de aluminiu eloxat iar corpul izolant din bachelită sau material plastic. Contactele sînt din aliaj de cupru argintate.

● *Conectoare coaxiale.* Datorită tendinței generale de creștere a frecvențelor de lucru în echipamentele electronice, conectările coaxiale au și vor avea utilizări mari în viitor; de exemplu se pot utiliza la conectarea cablurilor coaxiale pentru frecvențe înalte, radiofrecvențe și circuite video pînă la 10 GHz. Corpul și contactele lui sînt realizate din aliaje de cupru, acoperite pentru protecție, cu argint. Materialul izolant este din teflon. Partea fixă care se dispune pe echipament, este prevăzută cu o flanșă pătrată de prindere. Partea de cablu-liberă, are racordul drept sau cotit pentru prinderea cablului. Cuplajul perechii se realizează prin înșurubare. Principalele lui caracteristici sînt următoarele:

- impedanță 50Ω ,
- frecvență $1 \div 10 \text{ GHz}$,
- rigiditate dielectrică $> 1500 \text{ V/cm}$,
- rezistență de izolație $> 10^9 \Omega$.

● *Conectoare pentru aplicații speciale.* Utilizarea acestor conectoare este în creștere datorită folosirii tot mai accentuate a echipamentelor electronice în condiții de lucru dificile (de exemplu în mediul submarin etc).

De obicei tipurile de conectoare din această familie se pot realiza ca variante constructive ale tipurilor menționate mai sus, prin accentuarea gradului lor de profesionalizare.

● *Socluri.* Fabricația de socluri pentru diverse tipuri de componente cunoaște o dezvoltare mare. Soclurile sînt elemente de conectare prin intermediul cărora terminalele („piciorușele”) componentelor electronice (transistoare, circuite integrate, tuburi electronice, rele etc) se conectează în circuitele lor funcționale.

Un soclu este alcătuit, în principal din suport (din bachelită sau material plastic) și contacte elastice (aliaj din cupru, argintat sau aurit).

* Tipul de conector „standard” tinzînd să fie utilizat numai pentru puteri relativ mari.

7. Relee

7.1. Definiție și clasificare

Releele sînt componente electronice de circuit utilizate pentru realizarea unor funcțiuni logice*; pe măsura dezvoltării și perfecționării circuitelor semiconductoare logice, și a dispozitivelor optoelectronice, există tendința înlocuirii lor; ele continuă însă să fie folosite mai ales la separarea unor blocuri care funcționează la tensiuni și puteri mult diferite, și în circuitele în care condițiile de circuit închis sau deschis sînt severe.

Cel mai folosit tip de releu este releul electromagnetic. Există mai multe tipuri de relee electromagnetice, utilizate pentru comanda unor puteri variind între zecimi de volt-amperi și sute de volt-amperi.

Releul electromagnetic, destinat pentru comutarea circuitelor electrice în echipamente electronice, aparatură de automatizare etc, constă din trei părți principale: electromagnetul, armătura și contactele electrice.

Curentul care poate trece prin contactul releului este limitat pentru fiecare tensiune de lucru, pentru a proteja contactele împotriva arderii sau îmbătrînirii premature. Deoarece în intervalul de comutație se produc variații bruște ale curentului prin contacte, pentru ca acestea să nu se deterioreze, între contacte se leagă un condensator de aproximativ $0,1 \mu F$ în serie, cu un rezistor de aproximativ 100Ω .

Releele (electromagnetice) se clasifică:

- după felul curentului de comandă, deosebim relee de curent continuu (polarizate și nepolarizate) și relee de curent alternativ. Funcționarea releelor nepolarizate (sau neutre) nu depinde de sensul curentului în bobina de comandă, în timp ce la cele polarizate depinde,

- după mărimea puterii consumate, se împart în relee foarte sensibile (pînă la $1/100 W$), în relee sensibile (pînă la $1/10 W$) și în rele normale (peste $1/10 W$),

- în funcție de timpul de acționare (timpul de atragere și eliberare al armăturii) se deosebesc relee foarte rapide (pînă la $5 msec$), rele rapide (pînă la $50 msec$), rele normale (pînă la $150 msec$) și rele lente (pînă la $1,2 sec$),

- după mărimea puterii pe care o comută, releele sînt de mică putere (pînă la $50 VA$ în curent continuu sau $120 VA$ în curent alternativ) de medie putere (peste $150 W$ în curent continuu sau $500 VA$ în curent alternativ) și de putere, numite și contactoare (comută puteri peste $500 VA$).

* releul stabilește sau întrerupe o serie de circuite prin acționarea unui număr de contacte care se închid sau se deschid sub acțiunea forțelor exercitate asupra părții mobile (armătura).

7.2. Tipuri constructive

Releul electromagnetic de curent continuu. Schema sa de principiu este prezentată în figura 7.1. a. La trecerea curentului I prin bobina 1 se creează fluxul magnetic Φ , care se închide prin miezul 2, circuitul magnetic 3, armătura 5 și prin întrefierul 4. Deoarece forța de atragere a armăturii este proporțională cu pătratul curentului, care trece prin bobina releului, ea nu depinde de sensul curentului. Sub acțiunea forței de atracție, armătura 5 este atrasă și contactele 4 se închid.

Releul electromagnetic de curent alternativ. În figura 7.1. b este prezentată schema de principiu a acestui releu. Pentru micșorarea pierderilor în circuitul magnetic 3, în armătura 5 și în miezul 2, acestea se execută din tole de oțel electrotehnic.

Când bobina este parcursă de un curent alternativ, în momentele trecerii curentului prin zero, forța de atracție a armăturii electromagnetului devine nulă; în acest caz armătura se eliberează de miez și din nou este atrasă. Dacă nu se iau măsuri speciale, armătura și deci contactele 4 ale releului, vor vibra. Pentru a înlătura acest efect, pe miezul 2, către capătul dinspre întrefier se realizează o creștătură (așa cum se arată în figură) în care se introduce o spiră în scurt-circuit. Fluxul electromagnetic care trece prin miez produce în spira aceasta o tensiune electromotoare și deci un curent electric, al cărui flux magnetic local, Φ_L , nu mai permite eliberarea armăturii în momentele cînd curentul prin bobină trece prin zero.

Releul electromagnetic polarizat. În cazul releului polarizat (figura 7.2) poziția armăturii mobile 5 depinde de sensul curentului electric prin bobina 1. Prin circuitul magnetic al releului 2 trec două fluxuri: unul constant Φ_0 creat de un magnet permanent 3 și unul de comandă Φ_c creat de curentul electric care trece prin bobina 1. Fluxul magnetic Φ_0 creat de magnetul permanent

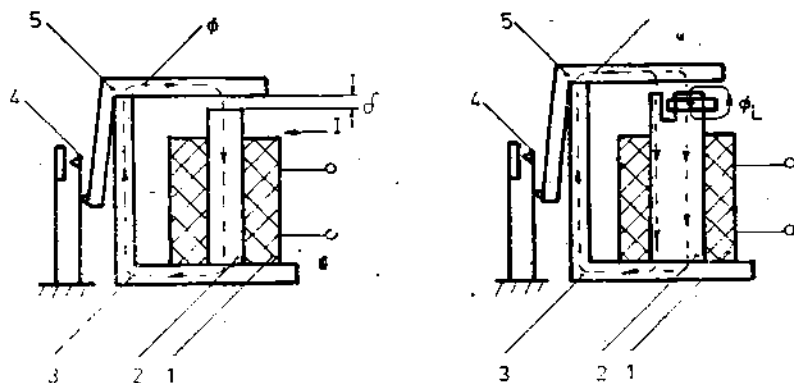


Fig. 7.1. Releu electromagnetic:
a — de curent continuu; b — de curent alternativ

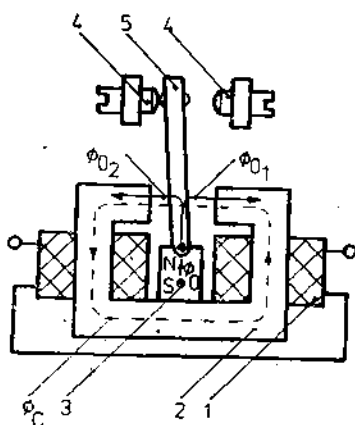


Fig. 7.2. Releu electromagnetic polarizat.

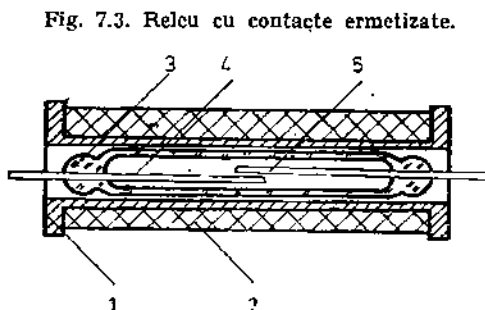


Fig. 7.3. Releu cu contacte ermetizate.

se divide în două fluxuri ϕ_{01} și ϕ_{02} egale și de sensuri opuse; unul din aceste fluxuri coincide ca sens cu fluxul de comandă ϕ_c așa cum rezultă din figură. În final armătura mobilă 5 va închide unul din contactele 4 ale releului.

Relee cu comandă prin cîmp magnetic. Pentru creșterea duratei de funcționare contactele releelor * pot fi introduse în tuburi din sticlă așa cum se arată în figura 7.3. Contactele 4 și 5 se realizează din covar (aliaj cupru, nichel, fier) acoperit cu cupru; aceste contacte se dispun la o distanță de aproximativ 1 mm unul de celălalt. Tubul de sticlă 3 se umple cu gaze inerte (azot de exemplu) sau se videază. Comanda contactelor se realizează prin intermediul cîmpului magnetic creat de bobina 2 prin care trece un curent electric.

Avantajele acestui tip de releu sînt: construcție simplă; rezistența de contact stabilă și suficient de mică (0,1...0,03 Ω); timp de basculare foarte mic.

Dezavantajele acestui releu sînt: puterea mică pe care o comută (sub 15 W); tensiunea mică de străpungere între contacte; rezistență scăzută la vibrații și gabarit relativ mare.

8. Cablaje imprimate

Utilizarea cablajelor imprimate constituie la ora actuală o tehnică universală de (inter) conectare a componentelor electronice atât în echipamentele electronice profesionale, cît și în cele de larg consum. Producția cablajelor imprimate a crescut an de an deoarece ele au avantajele următoare:

— permit reducerea volumului și masei echipamentelor prin creșterea densității de montaj a componentelor electronice,

* La majoritatea releelor electromagnetice contactele sînt supuse acțiunii mediului înconjurător astfel că în cazul unui mediu nociv, contactele se deteriorează relativ repede.

- contribuie la creșterea siguranței în funcționare a echipamentelor prin micșorarea numărului firelor de legătură între componentele electronice,
- contribuie la simplificarea operațiilor de asamblare, la reducerea duratei lor de execuție și permit automatizarea lor în cazul unei producții de (mare) serie,
- concură la reducerea cazurilor de montare eronată a componentelor electronice în scheme și asigură o bună reproductibilitate a montajelor,
- asigură montaje cu o bună comportare la acțiuni mecanice (vibrații, șocuri) și climatice (căldură, umiditate),
- contribuie la miniaturizarea montajelor electronice și deci a echipamentelor în ansamblu,
- face posibilă unificarea și standardizarea construcției blocurilor electronice funcționale care intră în componența echipamentelor electronice și asigură interconectarea ușoară a acestor.

8.1. Clasificare

În funcție de numărul straturilor metalice (conductoare) depuse, cablajelor imprimate se împart în cablaje simplu, dublu și multistrat.

● Cablajele imprimate simplu strat sînt cablaje care își mențin ponderea datorită prețului lor scăzut care permite folosirea lor mai ales în echipamente electronice de larg consum unde compactitatea are un rol secundar. Cu toate acestea, în contextul creșterii ponderii echipamentelor electronice profesionale în ansamblu producției de echipamente electronice, se apreciază că treptat cererea pentru aceste cablaje va scădea, urmînd ca pentru acest gen de echipamente ele să fie înlocuite cu alte categorii de cablaje imprimate; ele se vor folosi încă mult timp pentru bunurile de larg consum.

● Cablajele imprimate dublu strat au ponderea cea mai mare în producția de cablaje deoarece ele asigură o densitate ridicată a componentelor la un preț de cost relativ scăzut. Cu toate că se constată în continuare creșterea acestui tip de cablaj, probabil că în viitor el va fi înlocuit treptat prin cablajul imprimat multistrat.

● Cablajele imprimate multistrat sînt destinate pentru montarea pe ele a circuitelor integrate cu multe terminale în cazul în care acest lucru nu este posibil pe cablaje imprimate dublu strat. Numărul de straturi se determină prin împărțirea schemei electrice (de implantat) pe rețele de circuite funcționale, astfel încît fiecare circuit funcțional să fie dispus pe un strat ca de exemplu, stratul cu circuite de alimentare, stratul cu potențial nul, stratul cu circuite de semnal etc. Evitarea influenței reciproce între straturi se realizează prin dispunerea rațională a straturilor, unul față de altul, sau prin introducerea de straturi ecran. Grosimea cablajului imprimat multistrat se alege în funcție de condițiile mecanice de rigiditate ce se cer plăcii, cît și de numărul de straturi ales.

După *tipul suportului izolant*, cablajele imprimate se impart în cablaje rigide și cablaje imprimate flexibile.

Datorită multiplelor avantaje pe care le au și anume:

- reducerea greutateii și volumul cu cca. 50÷85%,
- disiparea termică îmbunătățită,
- reducerea costului,

cablajele imprimate flexibile tind să înlocuiască atât formele de cablu filare care fac legătura între diversele blocuri ale echipamentelor electronice, cât și cablajele imprimate rigide.

Producția de cablaje imprimate flexibile utilizate la echipamentele electronice profesionale depășește în prezent producția cablajelor imprimate simplu strat iar pentru următoarele decenii se preconizează o creștere a acestei producții.

Grosimea cablajelor imprimate flexibile de obicei nu depășește 0,5 mm; ele se utilizează de regulă în echipamentele de tehnică de calcul sau în echipamente electronice industriale, în special când se dorește să se elimine cablarea interblocuri cu fire de legătură. Cablajele imprimate flexibile permit nu numai să se realizeze o construcție mai compactă și mai fiabilă, ci contribuie în bună măsură la micșorarea, sau chiar eliminarea, reacțiilor reciproce care apar în firele de legătură utilizate în cablarea clasică.

Se menționează, cu caracter de informare generală, și posibilitatea realizării de cablaje imprimate pe suporturi metalice. Avantajele acestor cablaje sînt importante și anume: o mai bună evacuare a căldurii dezvoltate în cablaj; au o mare rigiditate mecanică, permit o fixare mai sigură a componentelor electronice. În astfel de cazuri se utilizează ca suport plăci din aluminiu oxidat.

8.2. Materiale pentru realizarea suportului placat

Materialul semifabricat utilizat pentru realizarea cablajelor imprimate este suportul sau stratificatul placat cu cupru. El se realizează prin lipirea unei folii de cupru pe un suport izolant, cu ajutorul unui adeziv. Placarea cu cupru se poate face pe o față sau pe ambele fețe ale suportului.

Caracteristici ale suportului placat. Dimensiunile suportului placat cu cupru sînt diferite de la fabrică la fabrică; în practică se întîlnesc mai frecvent valorile 900 × 900 sau 900 × 1800 mm. Grosimea placatului este reglementată prin norme sau standarde; în tabelul 8.1. se prezintă valorile uzuale.

Suportul placat cu cupru trebuie să îndeplinească o serie de condiții mecanice și termice și anume:

- aderența foliei pe suport nu trebuie să fie influențată de diversele tratamente termice și chimice impuse de tehnologia de realizare a cablajului imprimat; în general rezistența mecanică la deslipire este de aproximativ 2—2,5 Kg/cm²,

— rezistența la șoc termic trebuie să fie mare. Pentru încercare se introduce un eșantion într-o baie de sudură cu temperatura de 230°C , timp de 10 secunde; după probă eșantionul nu trebuie să prezinte umflături sau porțiuni de folie de cupru dezlipite.

Condițiile electrice pe care trebuie să le satisfacă suportul placat se referă la:

- rezistența electrică superficială a suportului, aproximativ $5 \cdot 10^{10} \Omega/\text{cm}^2$
- rezistența lui de volum are valori de $10^{11} - 10^{12} \Omega \text{ cm}$,

Tabelul 8.1. Grosimi uzuale ale placatului cu cupru

Grosimea Totală a suportului placat (mm)	Toleranța (mm)
0,15—0,30	$\pm 0,05$
0,30—0,80	$\pm 0,075$
0,8—	$\pm 0,1$
1,6	$\pm 0,2$
2,4	$\pm 0,3$
3,2	$\pm 0,3$

Suportul izolat. Ca material dielectric pentru suportul placat se utilizează frecvent pertinaxul și stecloxtolitul.

La alegerea unui anumit tip de material izolat pentru placare cu cupru se are în vedere:

— materialul utilizat ca suport să aibă o rezistență mecanică suficientă pentru a susține componentele montate pe el și pentru a rezista la șocurile mecanice ce se ivesc la utilizare,

— materialul utilizat ca suport să aibă pierderi dielectrice mici la frecvența de lucru a echipamentului și să aibă rezistența de izolație și rezistența de suprafață ridicate.

Adezivi. La lipirea cuprului pe suport trebuie să se țină seama de coeficientul de dilatare al cuprului și al suportului; adezivul trebuie să preia diferența dintre cei doi coeficienți de dilatare și din acest punct de vedere el trebuie să fie elastic.

Adezivii utilizați la placarea stratificatelor placate cu cupru sînt rășini epoxidice plastifiante, cauciucuri etc.

Metallul de placare. Cel mai utilizat material conductor pentru plăcarea stratificatului este cuprul de înaltă puritate ($>99,5\%$ cu grosimea de 0,035 mm, 0,050 mm și 0,070 mm).

Pentru aplicații speciale se folosesc și alte metale pentru placare ca de exemplu nichelul, nichel-cromul și argintul.

8.3. Metode de realizare a cablajelor imprimate

Există multe metode de fabricare a cablajelor imprimate, care se deosebesc între ele prin modul de realizare a stratului conductor pe stratificat; aceste metode pot fi grupate în două categorii:

- metode de corodare, în care conductoarele imprimate se obțin prin corodarea foliei conductoare deja depuse pe suportul izolanț,

- metode de depunere, în care conductoarele imprimate se obțin prin depunerea cuprului electrolitic pe un suport izolanț.

Actualmente, pentru realizarea cablajelor imprimate predomină metodele de corodare, dar există și tendința extinderii procedeelor de depunere, tendință care este legată în primul rând de necesitatea reducerii consumului de metal (cupru) în condițiile crizei de materii prime.

Metode de corodare. Metodele de realizare a cablajelor imprimate prin corodare sînt metode chimice care constau în (fig. 8.1.):

- realizarea desenului de cablaj la o scară mărită ($2 \div 10$ ori),

- realizarea filmului fotografic, în mărime naturală,

- transpunerea (imprimarea) imaginii cablajului de pe filmul fotografic pe suportul placat cu cupru. În practică se utilizează două procedee de imprimare și anume:

- procedeul fotografic. Acest procedeu are avantajul realizării, cu un utilaj necostisitor, a unor trasee de cablaj fine și are dezavantajul unor costuri ridicate, productivitate scăzută, fiind convenabil pentru fabricații de serie mică, de precizie,

- procedeul serigrafic. Este indicat pentru producții de serie mare.

Metode de depunere. În acest caz se pleacă de la suportul izolanț neacoperit cu metal și se urmărește realizarea cablajului imprimat dorit prin depunerea metalizărilor corespunzătoare desenului de cablaj. Depunerea poate fi realizată galvanic sau prin pulverizarea metalului printr-o mască.

8.4. Reguli de realizare a cablajelor imprimate

Pentru simplificarea montajului componentelor se recomandă ca plăcile cu cablajul imprimat să fie pătrate sau dreptunghiulare cu raportul între laturile plăcii cuprins în limitele: $1/1$; $1/2$; $2/3$; $2/5$.

Dimensiunile recomandate pentru plăcile cu circuit imprimat nu trebuie să depășească 240×360 mm* pentru cablajul simplu și dublu placat și 200×240 mm pentru cablajul multistrat.

* Nu sînt indicate dimensiuni mai mari deoarece: 1) rigiditatea mecanică a suportului este mică; 2) cablajul se realizează în condiții dificile; 3) lipirea componentelor (efectuată de obicei prin cufundare într-o baie de aliaj de lipit) se face neuniformă.

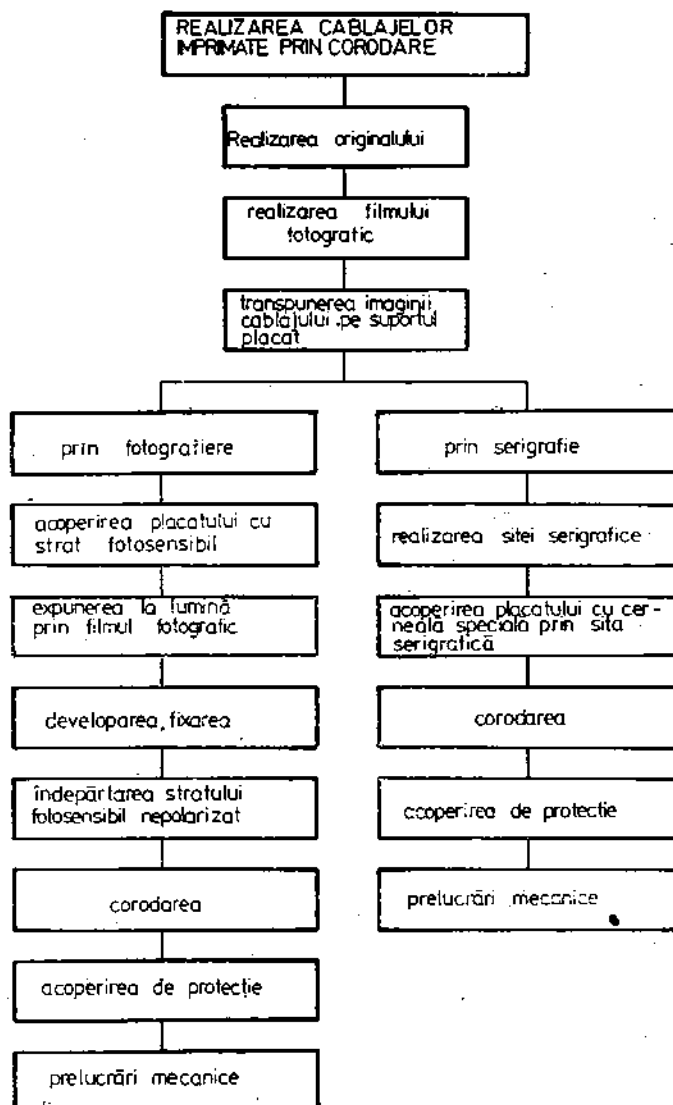


Fig. 8.1. Etape ale fabricației cablajelor imprimate prin corodare.

Tabelul 8.2. Dimensiuni uzuale ale găurilor în cablaj pentru fixarea terminalelor componentelor electronice

Diametrul terminalului componentei (mm)	Diametrul găurii	
	nemetalizate	metalizate
	(mm)	(mm)
0,4	0,6	0,6
0,6	0,8	1,1
0,8	1,0	1,3
1,0	1,3	1,5
1,2	1,5	1,8
1,5	1,8	2,0

în cazul componentelor cu două sau mai multe terminale pot apare următoarele situații:

— centrele găurilor care corespund pasului (sau unui multiplu al pasului) rețelei se fixează în nodurile rețelei, iar centrele celorlalte găuri se dispun așa cum se arată în figura 8.3 a,

— pentru componente cu terminale a căror distanță dintre ele nu este multiplu al pasului rețelei de coordonate, se va fixa în unul din nodurile rețelei de coordonate centrul găurii ce se ia ca bază, iar centrele celorlalte găuri se dispun pe liniile orizontale și verticale ale rețelei, ca în figura 8.3.b.

Conductoarele imprimate se dispun pe liniile rețelei de coordonate.

Cu cât lățimea conductoarelor imprimate este mai mică cu atât densitatea de montaj pe cablaj va fi mai mare, iar procesul de realizare al acestor trasee prin corodare va fi mai dificil.

De regulă conductoarele, imprimate se realizează sub formă dreptunghiulară; se admit, de la caz la caz și alte configurații. În cablajele imprimate simplu și dublu strat și în unele cazuri și în cele multistrat, lățimea conductoarelor trebuie să fie uniformă pe toată lungimea lor. La trecerea prin porțiuni îngustate, se admite reducerea lățimii conductorului până la o valoare minimă.

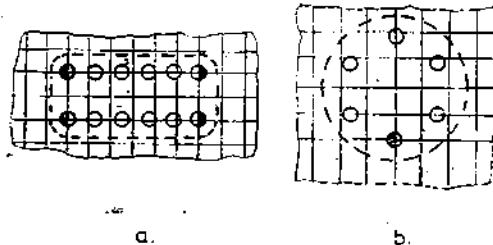


Fig. 8.3. Dispunerea găurilor de fixare pe rețeaua de coordonate.

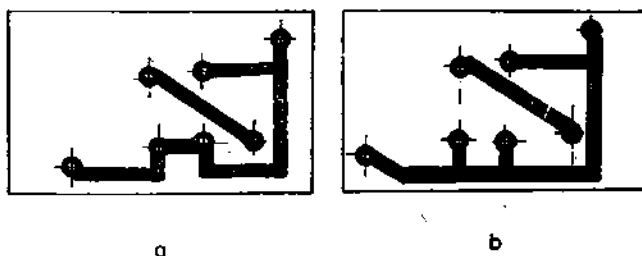


Fig. 8.4. Mod de dispunere a cablajului.

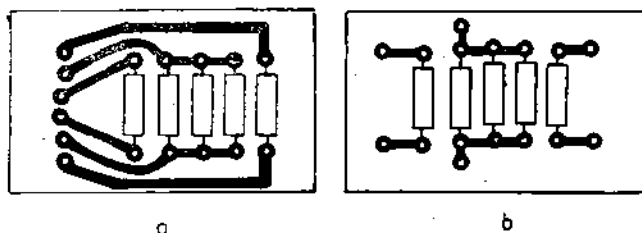


Fig. 8.5. Mod de conectare la cablaj.

Distanța între conductoarele imprimate se alege în funcție de tensiunile de lucru astfel:

U [V]	50	75	100	125	150	175	200	250	300	400	500
S [mm]	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,5	2,5

La dispunerea conductoarelor imprimate pe cablaj trebuie pe cât posibil, să se evite ramificațiile conductoarelor (figura 8.4).

Capetele conductoarelor imprimate, destinate conectării cablajului, se recomandă să se realizeze în așa fel încât să permită legarea comodă cu diverse sisteme de conectare (figura 8.5).

Conductoarele circuitelor sensibile trebuie să se facă pe cât posibil scurte și să nu fie dispuse în apropierea circuitelor de alimentare și de ieșire sau să se separe prin conductoare ecran sau ecrane imprimate.

Ecranele, realizate pe suprafața exterioară a cablajelor sau în interiorul lor (în cazul cablajelor multistrat), se utilizează pentru micșorarea și stabilizarea capacităților parazite ale montajului; ele trebuie să fie de formă dreptunghiulară, ovală, circulară (figura 8.6 a.b.) sau sub formă de rețea (figura 8.6.c).

Suprafața decupărilor în ecrane nu trebuie să fie mai mare de 50% din suprafața totală a ecranului. Dacă în zona ecranului se întâlnesc găuri, este necesar ca în jurul lor să se prevadă zone nemetalizate pe distanțe de 1—1,5 mm de marginea găurilor.

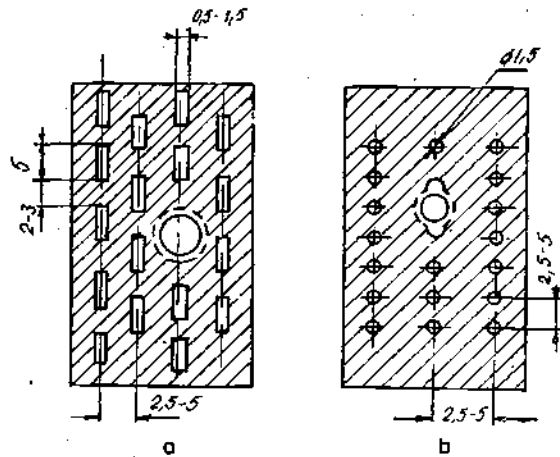


Fig. 8.6. Cablaj ecranat.

8.5. Realizarea cablajelor imprimate simplu și dublu strat prin corodare

În cele ce urmează se prezintă pe scurt etapele cele mai importante ale fabricației cablajelor imprimate, prin corodare (fig. 8.1.).

8.5.1. Realizarea originalului

Pentru realizarea configurației dorite a cablajului imprimat sînt necesare filme fotografice, numite măști, care se obțin după desene originale.

Prin original se înțelege configurația cablajului imprimat realizată la scară mărită (2/1...4/1), pe suport special nedeformabil * în vederea obținerii măștii sau filmului, prin fotografiere,

Originalul se realizează prin mai multe metode; cîteva din acestea se descriu în continuare.

● *Realizarea originalului prin desenare.* Este o metodă încă folosită, care se desfășoară astfel: la început se desenează suprafețele de contact în nodurile rețelei de coordonate, apoi conductoarele imprimate și ecranale, după care celelalte elemente și notațiile.

Desenele se realizează cu mina sau (semi) automatizat. Se utilizează hirtie ciocan sau carton, pe care se marchează rețeaua de coordonate, care, după fotografiere nu mai apare pe film (mască). Deoarece atît hirtia ciocan cît și cartonul au o suprafață aspră, iar calitatea și precizia desenului nu sînt satisfăcătoare, ele nu se utilizează decît pentru realizarea cablajelor din clasa A, care nu necesită o precizie prea mare.

* Hirtie ciocan, material plastic (de exemplu rubilith) etc.

La desenarea cu mina configurația cablajului depinde exclusiv de pregătirea și experiența profesională a proiectantului.

În cazul desenului (semi) automatizat se utilizează instalații speciale de trasare în coordonate (coordonatographe) prevăzute cu dispozitive speciale de trasare și măsurare.

● *Realizarea originalului prin lipire de benzi.* În acest caz desenul original al cablajului se realizează din fragmente de bandă adezivă opacă (de diverse culori) care se lipesc pe un suport transparent (celuloid, sticlă etc) pe care este transpusă rețeaua de coordonate.

Metoda aceasta este suficient de bună pentru realizarea de desene originale cu densitate mică de montaj, utilizate pentru executarea modelelor experimentale de cablaje mono, dublu și multistrat.

● *Realizarea originalului prin tăiere.* Desenul original în acest caz se execută pe un material plastic format din două straturi: unul opac la lumină și celălalt transparent, numit rubilith. Pe acest material configurația cablajului se desenează prin zgrierea stratului opac, după care se înlătură anumite porțiuni din acest strat pentru ca în final să se obțină imaginea dorită a cablajului. Operația se execută pe o instalație specială numită coordonatograf formată dintr-o masă care permite rotirea și deplasarea pe direcții perpendiculare a unui cursor în care este fixat cuțitul de tăiat. Dimensiunile mesei sînt de minimum $1 \times 1 \text{ m}^2$.

Metoda aceasta de realizare a originalelor cablajului permite să se obțină precizii foarte mari și se utilizează pentru cablaje de calitate ridicată. Ea prezintă și dezavantajul că suportul plastic (deoarece se poate electriza în timpul lucrului) atrage din mediul înconjurător praf care înrăutățește calitatea desenului.

8.5.2. Realizarea filmului fotografic

Indiferent de procedeul adoptat pentru fabricarea cablajului imprimat (fotografiere sau serigrafie), este necesar ca, în primul rînd, să se obțină pe un film fotografic, negativul originalului cablajului imprimat. Acest film trebuie să prezinte un foarte bun contrast pentru ca operațiile ulterioare să se execute în bune condiții.

Se realizează de obicei două tipuri de filme: unul de control și unul de lucru. Filmul de control se obține prin contact și se păstrează în arhivă ca etalon, la o temperatură constantă ($20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$) și umiditate 65%.

8.5.3. Transpunerea imaginii cablajului pe suportul placat

Operația aceasta are scopul de a forma pe suprafața suportului placat o mască (o serie de opacități) în vederea corodării selective ale acelor porțiuni de pe folia de cupru nemascate (neopacizate).

Pentru imprimare se folosește metoda fotografică și metoda serigrafică.

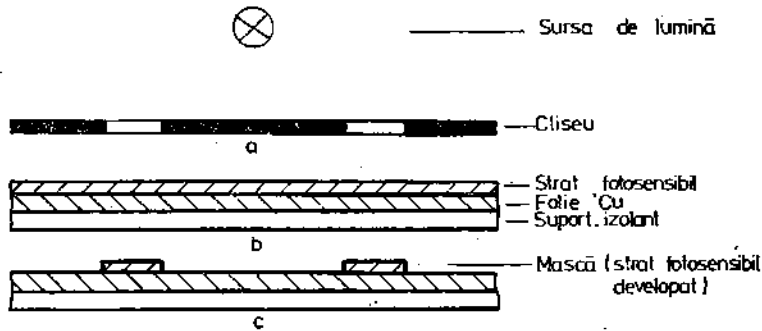


Fig. 8.7. Schemă pentru obținerea cablajului imprimat prin fotografiere.

● *Metoda fotografică sau fotogravura.* Prin acest procedeu masca de pe suprafața suportului placat se realizează cu ajutorul unei substanțe fotosensibile rezistentă la acțiunea unor corodanți chimici; de obicei se folosește fotorezistul sau o soluție de alcool polivinilic sensibilizat cu bicromat de potasiu. Pelicula fotosensibilă se depune într-un strat uniform pe suprafața cuprului. Depunerea se face prin centrifugare. Peste suportul placat acoperit cu pelicula fotosensibilă se aplică filmul fotografic și apoi se expun la o sursă de lumină puternică (figura 8.8) furnizată de o lampă cu arc sau cu vapori de mercur. Prin dezvoltare într-o soluție specifică peliculei fotosensibile folosite, stratul fotosensibil care nu a fost expus (de sub părțile opace ale filmului fotografic) se dizolvă rămânând în final configurația din figura 8.7.b. Placa se introduce apoi într-un fixator pentru a se mări aderența peliculei fotosensibile pe folia de cupru corespunzător zonelor transparente ale filmului fotografic.

Deoarece masca obținută este incoloră, pentru a se putea urmări mai ușor traseele cablajului, placa se colorează, apoi se usucă la 100°C timp de câteva ore.

Metoda fotografică de realizare a cablajelor imprimate asigură o foarte bună precizie de imprimare și nu necesită utilaje complexe. Dezavantajele ei sînt: consum mare de soluție fotosensibilă, ciclu lung de fabricație (productivitate scăzută și necesită personal cu calificare ridicată. Se utilizează de obicei pentru realizarea serilor mici de cablaje (experimentale sau de precizie).

● *Metoda serigrafică.* Prin metoda aceasta, pentru realizarea măștii pe suportul placat, se folosește o pastă specială numită cerneală serigrafică rezistentă la acțiunea de corodare a unor substanțe chimice. Această cerneală se depune pe suprafața cuprului numai pe anumite regiuni (în funcție de configurația cablajului de realizat) prin intermediul unui ecran numit sită serigrafică.

Sita serigrafică este o țesătură de mătase sau nailon cu ochiuri foarte mici, bine întinsă pe un cadru din lemn. Cu cît numărul de ochiuri al sitei este mai mare (100–200 fire/cm) cu atît precizia de realizare a cablajului este mai mare.

În regiunile în care cerneala serigrafică nu trebuie să se aplice pe folia de cupru, ochiurile sitei se obturează. Pentru aceasta este necesar ca desenul cablajului să se imprime pe sita serigrafică. Pentru imprimare, se folosesc soluții fotosensibile similare cu cele utilizate la metoda fotografică. Unul din procedeele utilizate pentru imprimarea desenului cablajului pe sita serigrafică constă în următoarele: soluția de alcool polivinilic sensibilizată cu bicromat de potasiu se întinde cu o pensulă sau prin centrifugare pe sita serigrafică, deja fixată pe cadrul de lemn. După uscare, prin intermediul clișeului pozitiv al cablajului sita se expune la lumina unei lămpi cu arc. Developarea se face în apă caldă. În regiunile care nu au fost expuse soluția depusă pe sită se dizolvă, în timp ce în celelalte regiuni ea devine insolubilă. După uscare, șablonul poate fi folosit pentru depunerea pe folia de cupru a cernei serigrafice. Operația aceasta se realizează cu ajutorul unei raclete; viteza de deplasare și presiunea racletei pe sita serigrafică trebuie să fie uniforme. Pentru ușurința imprimării, cerneala serigrafică se diluează la viscozitatea necesară cu un diluant. Cerneala depusă pe placat trebuie să reprezinte corect imaginea în relief a desenului cablajului. După imprimare, plăcile se usucă după care se supun operației de corodare. Pentru evitarea astupării ochiurilor prin uscarea cernelii, sita trebuie curățată periodic cu un solvent care îndepărtează resturile de cernelă, dar care nu atacă desenul imprimat.

8.5.4. Corodarea

Prin corodare se urmărește îndepărtarea cuprului din regiunile neacoperite cu cerneală serigrafică. Pentru corodare se folosește clorura ferică sau clorura cuprică. Procesul de corodare se desfășoară în instalații speciale în care clorura ferică este improscată pe plăcile imprimate. Viteza de corodare (mai mare în soluții proaspete) depinde de temperatura băii. Corodarea se consideră terminată atunci când apare suportul izolat. Pentru neutralizarea urmelor de clorură ferică, plăcile corodate sînt trecute printr-o serie de băi bazice și sînt spălate în apă curgătoare rece. Cerneala de protecție se îndepărtează în tricloretilenă sau în băi de degresare alcaline.

8.6. Realizarea cablajelor imprimate multistrat

În prezent se cunosc o mulțime de metode de obținere a cablajelor imprimate multistrat, care diferă între ele prin modul în care se realizează conexiunile electrice între straturi.

În practică sînt răspindite două direcții de realizare a cablajelor multistrat: 1) utilizarea de procese chimice (de galvanizare) pentru realizarea conectării straturilor și 2) utilizarea sudurilor și lipiturilor pentru realizarea conectării straturilor.

În cele ce urmează se prezintă fabricația cablajelor multistrat prin metoda realizării găurilor de trecere (prima metodă).

Procesul tehnologic de realizare a cablajelor imprimate multistrat prin această metodă se caracterizează prin aceea că legăturile (conexiunile) între straturile cablajului se realizează prin intermediul găurilor metalizate care fac punți de legătură între straturile exterioare și interioare ale cablajului.

Metoda, cu operațiile descrise în figura 8.8, constă în următoarele:

— alcătuirea pachetului cu stratificate placate și straturi dielectrice intermediare; straturile interioare au deja realizate configurațiile de cablaj dorite (figura 8.8. a, b, c),

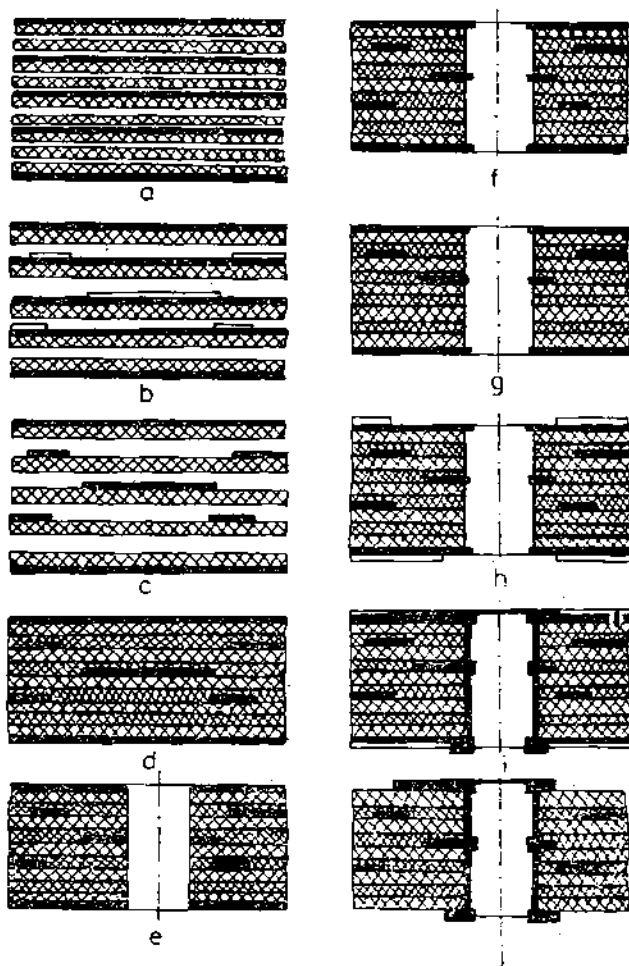


Fig. 8.8. Etape ale procesului de realizare a cablajelor imprimate multistrat.

— presarea simultană a tuturor straturilor împreună cu unele materiale de umplură sau rășini (figura 8.9. d). Se utilizează de obicei procedee de presare la „cald” și la „rece”. Operația aceasta trebuie efectuată cu multă atenție pentru a nu deforma plăcile în contact,

— găurirea pachetului și depunerea galvanică a unui strat de cupru (figura 8.8. e, i). Pentru o metalizare de calitate este necesar ca diametrul găurilor să nu fie mai mic de $1/2$ din grosimea suportului izolator.

9. Componente pasive pentru microunde

Tehnica frecvențelor foarte înalte, (adică a undelor decimetrice, centimetrice și milimetrice), cuprinse în gama 0,3—300 gigaherți (GHz) a căpătat în ultima vreme o dezvoltare rapidă, găsindu-și aplicare în cele mai diverse domenii ale tehnicii: în radiocomunicațiile prin radiorelee și prin sateliți artificiali, în radiolocație, radionavigație, în radioastronomie, în industrie, biologie, medicină, în calculatoarele electronice etc.

După cum se cunoaște, în tehnica frecvențelor relativ joase circuitele sînt formate din rezistoare, bobine și condensatoare, caracterizate prin parametri R , L și C ; astfel de circuite se numesc circuite cu constante concentrate, deoarece în bobină sau în condensator este concentrat cîmpul electric și magnetic.

La frecvențe înalte și foarte înalte, cînd lungimea de undă, este mult mai mică decît lungimea circuitului, se poate considera că circuitul are constantele electrice R , L , C repartizate pe lungimea circuitului.

Componentele electronice ca și echipamentele folosite în tehnica frecvențelor foarte înalte se caracterizează prin condiții de lucru deosebite, motiv pentru care este nu numai necesară dar și deosebit de importantă tipizarea și standardizarea acestor componente și echipamente.

Componentele electronice utilizate în tehnica frecvențelor foarte înalte (microundelor) se împart în componente pasive și în componente active.

În cele ce urmează se va face o scurtă trecere în revistă a componentelor pasive pentru microunde.

9.1. Tipuri constructive

După proprietățile electrice, familia componentelor pasive pentru microunde se divide în:

— componente reciproce (ghiduri, atenuatoare, filtre, circuite de adaptare, defazori etc).

— componente nerekiproce (izolatori, circulatori, giratori).

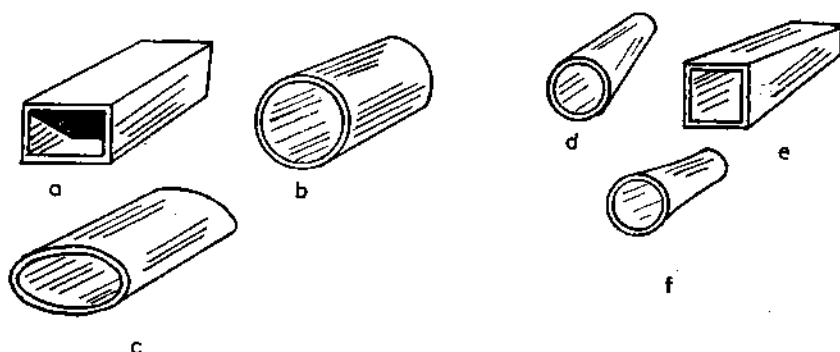


Fig. 9.1. Ghiduri de undă.

Constructiv aceste componente se realizează în următoarele variante tehnologice:

- ghiduri metalice,
- componente cu pelicule subțiri sau groase,
- componente cu constante concentrate.

Ghiduri de undă. Ghidurile de undă sînt tuburi din material conductor folosite la transmiterea undelor electromagnetice; tehnologia lor de realizare se bazează în principal pe mecanica fină.

Ghidurile de undă se clasifică în ghiduri uniforme și în ghiduri de undă neuniforme.

Ghidurile de undă uniforme au secțiunile transversale identice în orice punct pe direcția de propagare (fig. 9.1. *a, b, c*). Ghidurile de undă care nu îndeplinesc această condiție sînt neuniforme (fig. 9.1., *d, e, f*).

Cavități rezonante. Circuitele rezonante formate din inductanțe și capacități nu pot fi folosite în microunde, deoarece, în acest domeniu, inductanța și capacitatea necesare pentru obținerea frecvenței de rezonanță dorită, au valori atât de mici, încît nu pot fi realizate practic sub formă de bobină și condensator.

Acest dezavantaj a condus la realizarea unor componente pasive specifice dispozitivelor rezonante în domeniul microundelor, numite cavități rezonante.

Cavitatea rezonantă este o suprafață metalică închisă, în interiorul căreia se generează un cîmp electromagnetic.

Cavitățile rezonante au fie forme paralelipipedice, cilindrice sau coaxiale, atunci cînd provin din porțiuni de ghid de undă închise prin pereți transversali fie forme sferice.

Atenuatoare. Au rolul de a reduce valoarea puterii transmise prin ghiduri și pot fi folosite pentru micșorarea influenței sarcinii asupra funcționării generatoarelor.

Principalele tipuri de atenuatoare pentru microunde sînt: atenuatoare cu ghid (ghidul atenuator se deplasează în ghidul principal), atenuatoare rezistive (atenuarea se realizează cu ajutorul unui mediu cu pierderi), atenuatoare cu ferită (se realizează prin introducerea unor plăci subțiri de ferită,

de exemplu, într-un ghid dreptunghiular paralel cu pereții laterali; unda electromagnetică, pe măsură ce parcurge această porțiune de ghid, se atenuează datorită pierderilor în ferită).

Filtre. Se utilizează pentru separarea diferitelor canale în sisteme de comunicații din domeniul microundelor, când antenele acestor sisteme (exemplu liniile de radioreleu) au o bandă largă de frecvențe, pentru a transmite sau recepționa simultan programul pe toate canalele prevăzute în spectrul de frecvență.

Constructiv se realizează filtre cu linii *, filtre cu ghiduri și filtre cu cavități rezonante.

Un interes deosebit prezintă tehnologia de realizare a filtrelor cu linii cu benzi care permite realizarea microminiaturizării, creșterea siguranței în funcționare, deci construcția de subsisteme profesionale cu largă aplicare în tehnica telecomunicațiilor, tehnica militară și tehnica spațială. Această tehnologie este aplicabilă pentru subsisteme de putere mică, de ordinul waților și pentru frecvențe mai mari de 4 GHz.

Aceste componente pot fi realizate și în tehnica constantelor concentrate, introdusă în ultimii ani ca urmare a posibilităților tehnologice de obținere a unor componente de dimensiuni extrem de reduse astfel încât chiar în unde centimetrice aceste dimensiuni sînt mult inferioare lungimii de undă. Avantajul principal comparativ cu tehnologia cu pelicule (subțiri și groase) constă în reducerea dimensiunilor întrucît în tehnologia „stripe-line” circuitele acordate trebuie să fie de ordinul $\lambda/4$, iar componentele concentrate reprezintă o fracțiune mult mai mică din lungimea de undă.

* Realizate în tehnologia peliculelor subțiri sau groase (strip-line), pentru o gamă largă de subsisteme pentru microunde, ca de exemplu: segmente de linie, cuploare direcționale, divizoare de frecvență, rezonatori, transformatoare de impedanță.

Componente electronice semiconductoare

Progresele rapide înregistrate în ultimul timp pe plan mondial, în elaborarea de componente microminiaturizate au fost concretizate în dezvoltarea, cu prioritate și în țara noastră, a domeniului componentelor semiconductoare.

Devenite din ce în ce mai specializate, cu performanțe electrice tot mai bune și cu siguranță în funcționare ridicată, componentele electronice semiconductoare au o largă utilizare în construcția de echipamente.

Terminologia de bază utilizată pentru componentele semiconductoare este stabilită în standarde de stat; (în anexa 1 este prezentată și o listă a prescurtărilor utilizate în acest domeniu).

Capitolul de față prezintă unele aspecte privind funcționarea și tehnologia de fabricație cum și caracteristicile principalelor componente semiconductoare utilizate în electronică pornind de la clasificarea propusă în tabelul 1.1.

10. Materiale semiconductoare

Semiconductoarele constituie o categorie de materiale electrotehnice, a căror conductivitate electrică are o valoare intermediară între cea a metalelor și cea a izolatoarelor.

Aplicațiile largi ale semiconductoarelor se datoresc faptului că proprietățile lor electrice (în primul rând conductivitatea), pot fi influențate în limite largi de o serie de agenți fizico-chimici ca de exemplu: 1) prin adaosuri în concentrații mici a unor impurități, 2) prin variația temperaturii, 3) prin acțiuni mecanice, 4) prin radiații electromagnetice și nucleare etc.

10.1. Proprietăți ale materialelor semiconductoare

Semiconductoarele se deosebesc fundamental de conductoare deoarece: conductivitatea lor electrică crește cu temperatura, în timp ce la conductoare scade; valoarea conductivității lor este puternic influențată de defectele existente în structura rețelei cristaline, în timp ce la conductoare prezența acestor defecte de structură nu are practic nici o influență.

În funcție de tipul de impurități, materialele semiconductoare se împart în: semiconductoare fără impurități, denumite și materiale semiconductoare intrinseci, și semiconductoare cu impurități denumite și semiconductoare extrinseci.

10.1.1. Materiale semiconductoare intrinseci

Semiconductoarele intrinseci sînt materiale pure din punct de vedere chimic. La temperatura camerei ($T = 300^\circ\text{K}$)* o fracțiune din numărul total de electroni de valență au energie suficientă pentru a sări în banda de conducție. Prin plecarea unor electroni din banda de valență în cea de conducție, în banda de valență rămîn nivele de energie neocupate, care se numesc goluri. Aceste nivele sau goluri, pot fi ocupate fie de electroni ajunși în banda de conducție, dar care se reintorc în banda de valență în urma pierderii unei părți din energia căpătată inițial, fie de electroni din nivelele inferioare ale benzii de valență. În cazul acesta, locul unui gol din banda de valență va fi ocupat de un alt gol. Imaginea următoare va ajuta să se înțeleagă mai ușor noțiunea de gol. Se presupune că într-un garaj sînt dispuse unul după altul un șir strins de automobile; datorită acestei dispunerii, automobilele nu se pot deplasa. Dacă se va ridica unul din ele la primul etaj, celelalte se vor putea deplasa din aproape în aproape: 3 la locul vacant al lui 2, 4 cel al lui 3 ș.a.m.d. Golul trebuie privit ca o particulă activă în banda de valență după cum electronul este o particulă activă în banda de conducție. Ca și electronul, golul va contribui la conducția curentului electric. Electronii și golurile într-un semiconductor se numesc purtători de sarcină, deoarece sînt particule încărcate cu sarcină electrică.

În absența unui cîmp electric exterior, electronii liberi din banda de conducție și golurile din banda de valență au în interiorul cristalului o mișcare dezordonată în toate direcțiile, asemănătoare mișcării moleculelor unui gaz.

Cînd se aplică un cîmp electric exterior, peste mișcarea dezordonată a purtătorilor se suprapune o mișcare ordonată a acestora în direcția cîmpului electric.

10.1.2. Materiale semiconductoare extrinseci

La semiconductoarele intrinseci nu există nivele energetice în banda interzisă, astfel că electronii din banda de conducție provin exclusiv din banda de valență.

* Grade Kelvin [$^\circ\text{K}$] = $273 + t$ ($^\circ\text{C}$)

În fabricația componentelor semiconductoare se utilizează materiale semiconductoare cu impurități introduse special pentru a obține o serie de efecte dorite. Procedul prin care într-un semiconductor (pur) se introduc impurități se numește *dopare*. În procesul de dopare al cristalelor, atomii impurităților vor substitui o serie de atomi din rețeaua cristalului semiconductor. Cele mai semnificative impurități sînt constituite din elemente chimice care încadrează coloana IV al sistemului periodic al elementelor unde se găsește germaniul și siliciul. Practic se utilizează:

— P; As; Sb*, elemente din coloana V-a care conțin 5 electroni periferici;

— B; Al; In; Ga*, elemente din coloana III-a care conțin 3 electroni periferici.

Cazul I — dopare cu elemente din grupa a V-a. Se presupune că în rețeaua cristalină a semiconductorului în locul unuia din atomii de Ge sau Si pătrund atomi cu cinci electroni de valență (de exemplu As), așa cum se arată în figura 10.1. a. Patru din cei cinci electroni de valență ai As participă la schimbul de electroni cu cei patru atomi de Ge vecini, realizîndu-se astfel legătura As în rețea. Al cincilea electron al atomului de As devine disponibil, întrucît rămîne foarte slab legat de atomul său; chiar la temperaturi obișnuite, datorită agitației termice, acest electron părăsește ușor atomul din care a provenit, căpătînd o mișcare liberă în interiorul cristalului.

Atomii introduși, voiti sau accidental, în semiconductor și care sînt capabili să producă electroni liberi, se numesc donori (donează electronii materialului semiconductor).

Cazul II — dopare cu elemente din grupa a III-a. Dacă în rețeaua cristalină a materialului semiconductor unuia din atomii lui i se substituie un atom cu (numai) trei electroni de valență, una din legăturile rețelei rămîne nesatisfăcută, adică vacantă (figura 10.1. b); în acest caz un electron dintr-o legătură atomică vecină, dacă primește o foarte mică energie suplimentară

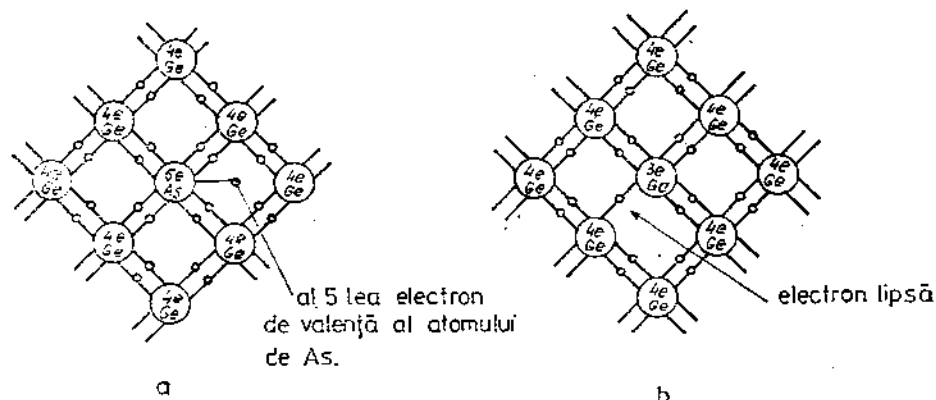


Fig. 10.1. Structura unui semiconductor:
a — de tip n; b — de tip p.

* Fosfor (P); arseniu (As); stibiu (Sb); bor (B); aluminiu (Al); indiu (In); galin (Ga).

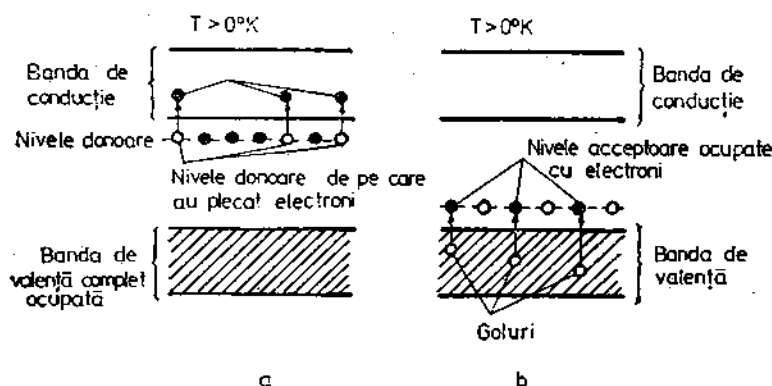


Fig. 10.2. Formarea de electroni liberi și goluri datorită nivelelor de energie din banda interzisă din materialul semiconductor cu impurități:
a — nivele donoare; b — nivele acceptoare.

(de exemplu prin agitație termică), poate eventual completa legătura lipsă, lăsând însă un alt loc „vacant” pentru un electron în atomul din care a plecat. Altfel spus, un astfel de atom trivalent a dat naștere unui gol mobil în materialul semiconductor.

Atomii impurităților care dau naștere golurilor în rețeaua cristalină, prin aceasta putând căpăta sau accepta electroni, se numesc acceptori.

Acțiunea donoare și acceptoare în materialul semiconductor cu impurități se explică prin benzi de energie (fig. 10.2); la introducerea de impurități în materialul semiconductor se constată apariția unor nivele de energie în banda interzisă astfel:

— în figura 10.2. a, atomii donori crează nivele de energie ocupate în banda interzisă în vecinătatea benzii de conducție. În această situație, electronii din nivelele donoare ocupate vor putea trece ușor pe un nivel de energie liber din banda de conducție,

— în figura 10.2. b. se constată că acceptorii crează nivele de energie libere în banda interzisă imediat deasupra benzii de valență complet ocupată a materialului semiconductor. Este evident că aceste nivele de energie libere vor putea fi ușor ocupate de electroni din banda de valență; prin ocuparea lor, în banda de valență vor rămâne locuri „vacante” adică în semiconductor se vor crea goluri.

10.2. Materiale semiconductoare folosite la fabricarea componentelor semiconductoare

În construcția componentelor semiconductoare se utilizează o varietate largă de materiale semiconductoare de mare puritate printre cele mai importante situându-se germaniul și siliciul.

Germaniul. Este un element din coloana a patra a tabelului lui Mendeleev.

Nu se găsește în natură sub formă liberă, ci numai în stare combinată; principalul minereu care-l conține, germanitul, are 0,03—10% germaniu.

Germaniul este un metal alb-argintiu foarte dur și casant; se prelucerează extrem de greu. Cristalizează în sistemul cubic. Este stabil în aer uscat; încălzit la roșu, se acoperă cu o peliculă de oxid. Apa nu are nici-o influență asupra germaniului; hidrogenul se combină cu germaniul formând hidruri. În soluție acidul clorhidric nu atacă germaniul, iar acidul azotic 50% îl oxidează superficial, formând GeO_2 . Într-un amestec de acid azotic și fluorhidric, germaniul se dizolvă chiar la temperatura normală.

Siliciul. Constituie aproximativ 25% din scoarța pământului, fiind al doilea element ca răspândire după oxigen. La temperatura ambiantă este solid, cristalin, cu aspect lucios metalic, de culoare gri cu o ușoară nuanță albastră. Siliciul formează o serie de combinații cu hidrogenul numite silani; aceștia au o mare utilizare în tehnologia componentelor semiconductoare. Florul atacă siliciul chiar la temperatura camerei, formând SiF_4 *; cu clorul siliciul reacționează la temperaturi de 400—450°C.

10.3. Creșterea monocristalelor de germaniu și siliciu

Materialele semiconductoare cristaline nu pot fi utilizate pentru realizarea componentelor semiconductoare datorită structurii imperfecte a rețelei lor cristaline și a distribuției neomogene a impurităților în ele; din motivul acesta este necesar ca materialul semiconductor purificat să fie transformat în monocristal.

Printre cele mai cunoscute metode de creștere a monocristalelor se menționează metodele de creștere prin tragere din topitură și metodele de topire zonală.

Creșterea monocristalelor prin tragere din topitură Este metoda cea mai răspândită de creștere a monocristalelor semiconductoare. Una din variantele acestei metode este cea cunoscută sub denumirea de metoda Czochralski, cu ajutorul căreia se obțin monocristale cu caracteristici corepsunzătoare fabricației de componente semiconductoare. Principiul de tragere al monocristalelor de germaniu și siliciu din topitură constă în: într-un creuzet din cuarț, încălzit, se introduce materialul semiconductor. După topirea materialului și menținerea lui într-o stare de supraîncălzire o perioadă de timp, se coboară temperatura topiturii până la o temperatură apropiată de punctul de cristalizare; acest punct se determină** urmărind apariția și dispariția particulelor solide în zona de cristalizare. După acesta, temperatura topiturii se ridică (puțin) și în topitură se introduce un germene de cristalizare monocristalin***. Pentru obținerea unei simetrii cilindrice a cîmpului de tempera-

* Tetrafluorura de siliciu.

** În prezent instalațiile de tragere funcționează automat.

*** Germenele se obține dintr-un monocristal din același material cu topitura și are forma unei mici bare cilindrice sau paralelipipedice. De perfecțiunea rețelei lui cristaline depinde calitatea monocristalului realizat.

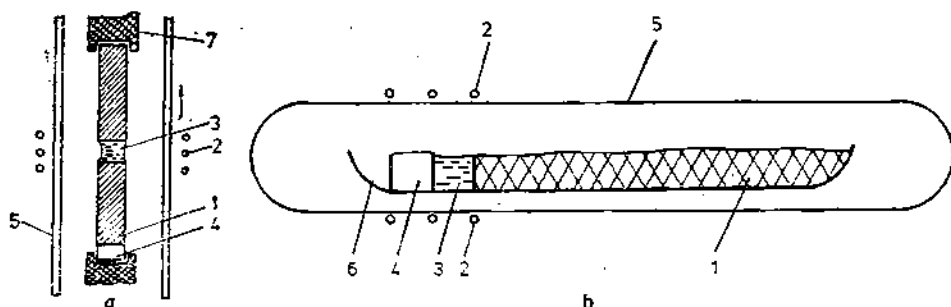


Fig. 10.3. Sisteme de topire zonală:

a — verticală; b — orizontală:

1 — lingou din material semiconductor policristalin; 2 — bobină de încălzire în curent de înaltă frecvență; 3 — zonă topită; 4 — germen monocristalin; 5 — tub din cuarț; 6 — nacelă; 7 — mandrină de fixare.

tură a sistemului germen-topitură precum și pentru realizarea unui amestec omogen al impurităților în topitură (în cazul când se trage un monocristal dotat cu impurități), atât creuzetului cât și germenului de cristalizare li se imprimă o mișcare de rotație.

Când temperatura de topire este aleasă corect, germenul constituie singurul centru de cristalizare în jurul căruia începe creșterea monocristalinului; o supraîncălzire a topiturii conduce la topirea germenului de cristalizare și desprinderea lui de topitură. Prin reglarea temperaturii și a vitezei de tragere se pot obține monocristale cu diametrul dorit.

Topirea zonală în poziție verticală fără creuzet. Se utilizează pentru creșterea sau purificarea monocristalelor de siliciu sub formă de bare. Schema de principiu a metodei este arătată în figura 10.3.a. Zona topită 3 se deplasează pe toată lungimea lingoului de jos în sus.

Topirea zonală în poziție orizontală. Se aplică pentru purificarea și realizarea monocristalelor de germaniu. Principiul metodei, similar cu cazul menționat mai sus, rezultă din figura 10.3.b.

10.4. Pregătirea plachetelor din germaniu și siliciu

Parametrii electrici ai dispozitivelor semiconductoare precum și stabilitatea lor, depind de starea suprafeței materialului semiconductor. Prelucrarea suprafeței materialelor semiconductoare, precum și protecția lor față de influența dăunătoare a mediului înconjurător constituie o problemă tehnologică de cea mai mare importanță.

Tăierea lingourilor în plachete. Monocristalele din germaniu sau siliciu au (de obicei) forma cilindrică. Diametrul lor variază în limite destul de largi; în practică se întâlnesc valorile 50—100 mm. Pentru a putea fi utilizate în fabricația dispozitivelor semiconductoare, monocristalele se taie sub formă de discuri numite plachete; la rindul lor, plachetele se taie în bucăți și mai

mici (figura 10.4) numite pastile sau structuri (cînd pe aceste pastile sînt deja realizate componente electronice).

Tăierea sub formă de plachete se poate face prin unul din procedeele următoare:

- cu disc metallic cu bordură impregnată în diamant sau carbură de siliciu cu viteză mare de rotație; este un procedeu depășit care nu se mai folosește în prezent,

- cu disc metallic sub formă de inel pe a cărui bordură interioară este depus stratul de diamant. Avantajul acestei metode față de metoda anterioară este uniformitatea mai mare în funcționarea discului metallic și micșorarea vibrațiilor, ceea ce face ca plachetele tăiate să aibă suprafețe netede. Pentru buna folosire a discurilor este necesar (ca și în cazul precedent) ca acestea să se răcească pe ambele fețe cu un jet de apă, sau tăierea să se efectueze în apă,
- cu benzi sau sirme de oțel. Instalația utilizată pentru tăierea cu benzi dispuse la distanțe egale una de cealaltă, asigură o productivitate mare de tăiere.

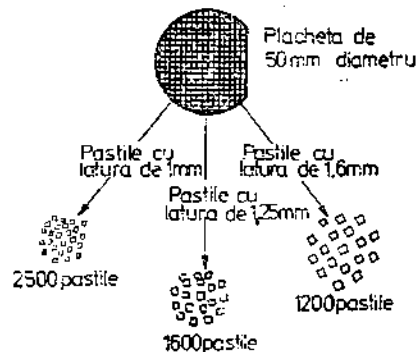


Fig. 10.4. Plachetă și pastile tăiate din monocristal semiconductor.

Șlefuirea plachetelor tăiate. Cînd un cristal de material semiconductor este tăiat în plachete prin acțiunea unui abraziv, suprafața plachetelor obținute se distruge sau se perturbă pe o adîncime care variază între 50 și 75 μ în funcție de dimensiunile materialului abraziv.

Stratul perturbat fizic în timpul tăierii cristalului se îndepărtează prin șlefuirea sau lustruirea mecanică a suprafeței plachetei cu material abraziv de dimensiuni extrem de mici; șlefuirea are următoarele două scopuri:

- să realizeze o suprafață mai netedă;
- să asigure un strat perturbat fizic mai subțire care să poată fi îndepărtat mai ușor prin lustruire și să poată fi corodat chimic.

Alegerea dimensiunii reale a abrazivului * se face în funcție de destinația plachetei de prelucrat cunoscînd că, cu cît dimensiunile particulelor abrazive sînt mai mici, cu atît stratul perturbat este mai subțire și cu atît mai lung este timpul necesar să se îndepărteze acest strat perturbat.

Lustruirea plachetelor șlefuite. Operația de lustruire mecanică se efectuează pe mașini speciale de lustruit, la care se utilizează abrazivi de dimensiuni sub 1 μ , sub formă de emulsie sau paste, care se aplică pe suprafața plachetei de șlefuit.

În prezent se utilizează un procedeu de lustruire mecano-chimică în care se folosește atît abraziv (a cărui granulație depinde de gradul de lustruire dorit) cît și o soluție de corodare (de obicei o soluție de hidroxid de sodiu NaOH).

* pentru șlefuire se alege de obicei abrazivul cu dimensiunile: 25 μ ; 15 μ ; 5 μ ; 1 μ .

Curățirea chimică a plachetelor prelucrate mecanic. În procesul de prelucrare mecanică, plachetele se murdăresc, îngreunând operațiile de corodare chimică ce urmează. Pentru curățire se utilizează detergenți, soluții alcaline și solvenți organici. Cel mai frecvent se utilizează solvenții organici ca tricloretilena, toluenul, tetracolorura de carbon, acetona etc.

Corodarea chimică a plachetelor. Scopul corodării plachetelor este:

- îndepărtarea stratului perturbat care apare la suprafața plachetelor în urma prelucrării mecanice.

- obținerea de plachete cu grosimi determinate,

- punerea în evidență a unor defecte existente în cristalul semiconductor.

În practică pentru corodare se utilizează metode chimice, electrochimice și metode de corodare în gaze și plasmă, cunoscându-se și folosindu-se un mare număr de soluții de corodare a căror compoziție s-a stabilit experimental.

În principiu, în cazul procedeelor chimice, oricare soluție de corodare a germaniului și a siliciului, în mod obligatoriu trebuie să conțină substanțe puternic oxidate, care trec materialul semiconductor în stare de oxid și substanțe compensatoare, care trec oxidul în soluție. În soluțiile de corodare lichide, ca substanțe oxidante se utilizează acidul azotic (HNO_3) și apa oxigenată (H_2O_2), iar ca substanță compensatoare acidul fluorhidric (HF) sau hidroxidul de sodiu sau de potasiu (NaOH), (KOH). În afara acestor două tipuri de substanțe, pentru reglarea vitezei de corodare, în soluția de corodare se mai introduc și substanțe acceleratoare a procesului de corodare (de exemplu iodul și berul) sau substanțe care încetinesc reacția (ca de exemplu, apa, acidul acetic etc). Având în vedere cele de mai sus, rețeta standard a unei soluții de corodare este: „agent oxidant + agent compensator + agent accelerator + agent stabilizator (încetinitor)“.

Ca acțiunea de corodare să fie uniformă pe întreaga suprafață a plachetei, în timpul corodării, placheta se agită încontinuu.

11. Joncțiunea p-n

11.1. Definiție

Acum că se cunoaște semnificația materialelor semiconductoare de tip p și de tip n este indicat să se examineze fenomenele care se produc în cazul când cele două materiale de conductivități diferite se plasează unul lângă celălalt formând joncțiunile $p-n$ (figura 11.1.).

Schematic, structurile cristaline de tip p și de tip n se reprezintă ca în figura 11.2.a, în care se marchează atomii acceptori și donori, golurile și electronii mobili. Cercurile cu semnul $+$ reprezintă atomii donori (semiconductori de tip n); ei sînt marcați convențional prin semnul $+$ deoarece rămîn încărcăți pozitiv prin deplasarea celui de al cincilea electron, nelegat, în rețea. Electronul liber este reprezentat prin puncte. În mod similar, atomii acceptori reținînd un electron de valență au o sarcină negativă și ca atare sînt reprezentați prin cercuri cu semnul $-$. Golul lăsat prin placarea electronului este reprezentat prin cercuri mici.

Dacă cele două regiuni vin în contact (figura 11.2.b) din cauza distribuției neuniforme a purtătorilor, electronii vor difuza din I în II, unde se vor combina cu golurile, care în II sînt purtători majoritari, iar golurile libere din II vor difuza spre I, unde se vor recombină cu electronii. În felul acesta regiunea I rămîne încărcată pozitiv datorită sarcinii pozitive necompensate a donorilor ionizați (cercurile mari cu semnul $+$) și, în mod corespunzător regiunea II se va încărca negativ (figura 11.2.c); cum rezultă din figură, la joncțiune se formează un strat electric dublu, iar cîmpul electric E , (respectiv diferența de potențial U), corespunzător acestui strat dublu se opune în continuare difuziei purtătorilor. Diferența de potențial U , care se stabilește între regiunea n și cea p din semiconductor se numește *diferență de potențial de contact*; ea este de obicei de ordinul voltilor (pentru germaniu 0,2–0,3 V iar pentru siliciu 0,6–0,7 V) și apare ca o barieră de potențial care se opune mișcării electronilor din regiunea n în regiunea p , respectiv a golurilor din regiunea p în cea n . Vor putea trece dintr-o regiune în alta numai purtătorii cu energie suficientă pentru învingerea barierei de potențial, a cărei lărgime este de ordinul micronului.

Printr-o baterie exterioară se poate fie crește mărimea barierei de potențial fie se poate diminua; în acest caz apar următoarele două situații distincte:

— joncțiunea $p-n$ poate fi polarizată în sens direct dacă polul pozitiv al sursei de alimentare este conectat la regiunea p și polul negativ la regiunea n ; în acest caz se aplică tensiunea U_a care va produce un cîmp electric a cărui orientare este de la regiunea p spre regiunea n , deci în sens invers cîmpului electric intern al joncțiunii (de la n la p). Prin aceasta, înălțimea barierei de potențial scade și prin joncțiune trece un curent electric. Se spune că joncțiunea este polarizată în sensul de conducție electrică,

— joncțiunea $p-n$ este polarizată în sens invers, dacă polul pozitiv este conectat la regiunea n iar polul negativ la regiunea p . În cazul acesta, cîmpul electric aplicat din exterior, fiind orientat în sensul cîmpului electric (intern) al joncțiunii, va contribui la creșterea înălțimii barierei de potențial. Ca efect, electronii liberi din regiunea n nu mai pot difuza spre regiunea p

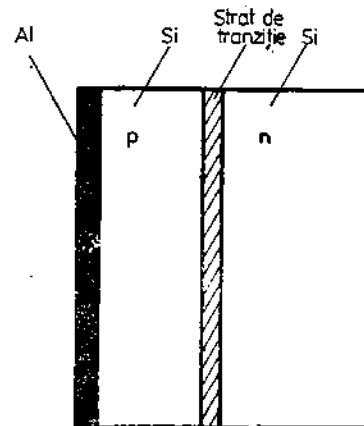
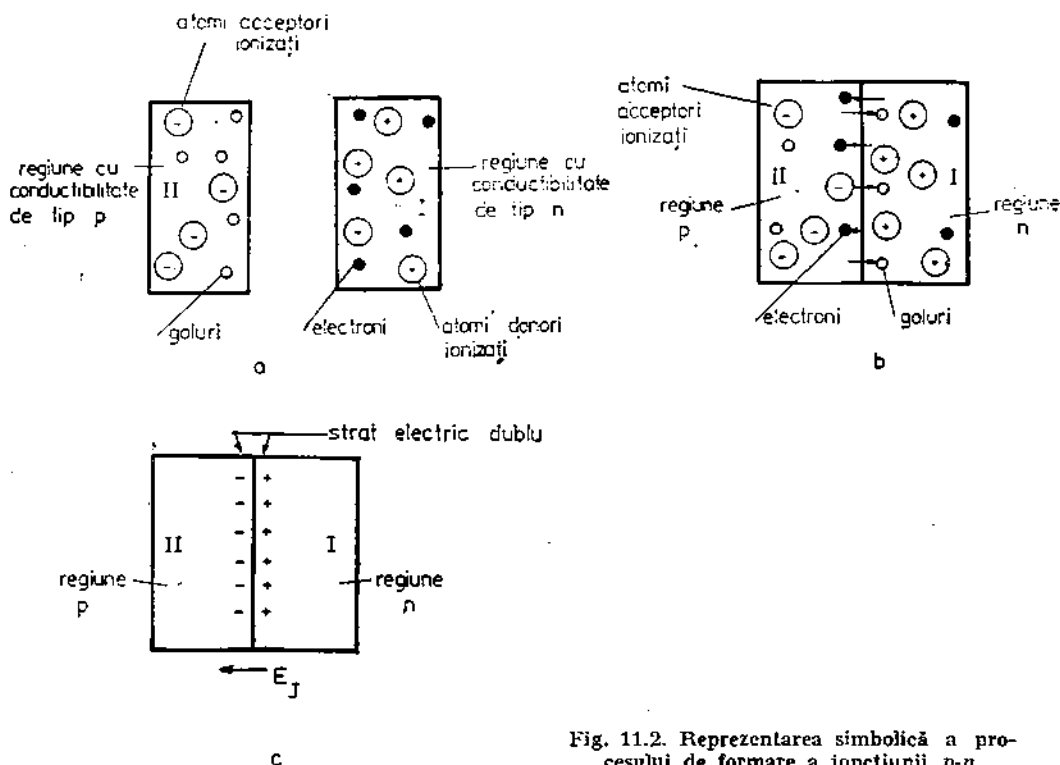


Fig. 11.1. Joncțiune p-n.



și golurile mobile din regiunea p nu pot difuza spre regiunea n și joncțiunea $p-n$ nu conduce. În realitate în circuit se va stabili un curent foarte mic, numit *curent de saturație*. Acest curent se datorește câmpului electric aplicat din exterior care facilitează tracerea unor electroni liberi din regiunea p (unde sînt purtători minoritari) în regiunea n și trecerea unor goluri mobile din regiunea n (unde sînt purtători minoritari) în regiunea p . Acest curent este cu atît mai mare cu cît temperatura mediului ambiant este mai ridicată.

11.2. Capacitatea electrică a joncțiunii p-n

11.2.1. Capacitatea de barieră

În zona de sarcină spațială a joncțiunii $p-n$ există atomi ionizați care constituie noduri ale rețelei cristaline a semiconductorului; cum s-a arătat ei sînt atomi acceptori în regiunea de tip p și atomi donori în regiunea de tip n . Dacă se consideră că în zona aceasta nu există purtători mobili de sarcină, se poate spune că regiunea de sarcină spațială este un izolator per-

fect; aceasta permite să se definească o capacitate caracteristică, numită capacitate de barieră, a cărei valoare se calculează dacă se consideră că limitele regiunii de sarcină spațială a joncțiunii constituie plăcile paralele ale unui condensator plan, pentru care:

$$C_b = \frac{\epsilon S}{W_b}$$

unde C_b este capacitatea barierei de potențial;

S — suprafața joncțiunii;

W_b — lărgimea regiunii de sarcină spațială

ϵ — permitivitatea dielectrică a materialului semiconductor.

Deoarece lărgimea regiunii de sarcină spațială a unei joncțiuni $p-n$ depinde de tensiunea inversă aplicată joncțiunii, valoarea capacității barierei variază cu această tensiune.

11.2.2. Capacitatea de difuzie

Cînd joncțiunea $p-n$ este polarizată direct, se definește o capacitate care este mai mare decît capacitatea barierei deoarece ea se consideră în cazul cînd joncțiunea este polarizată direct cînd lărgimea regiunii de sarcină spațială care apare la numitorul relației ce definește capacitatea, este mult mai mică decît în cazul precedent.

11.3. Fenomene de străpungere în joncțiunea $p-n$

Dacă se trasează caracteristica inversă a unei joncțiuni $p-n$ (figura 11.3) se constată că de la o anumită tensiune, numită tensiune de străpungere, curentul prin joncțiune crește extrem de rapid.

Tensiunea inversă maximă care poate fi aplicată unei joncțiuni $p-n$ este limitată fie de efectul de multiplicare al purtătorilor de sarcină prin avalanșă în joncțiune, fie prin străpungere Zener.

● *în primul caz*: un purtător de sarcină, electron sau gol, deplasîndu-se în regiunea de sarcină spațială a joncțiunii, este accelerat de cîmpul electric. În funcție de lărgimea regiunii de sarcină spațială și mărimea cîmpului electric, purtătorul de sarcină poate obține o energie suficientă ca prin ciocnirea de atomi din rețeaua semiconductorului să creeze perechi electron-gol. Procesul se repetă cumulativ și astfel numărul purtătorilor creați (deci curentul electric) va crește extrem de rapid cu tensiunea aplicată joncțiunii $p-n$.

● *al doilea caz* apare în joncțiuni cu regiuni de sarcină spațială foarte îngustă (spre deosebire de procesul precedent care apărea în regiuni de sar-

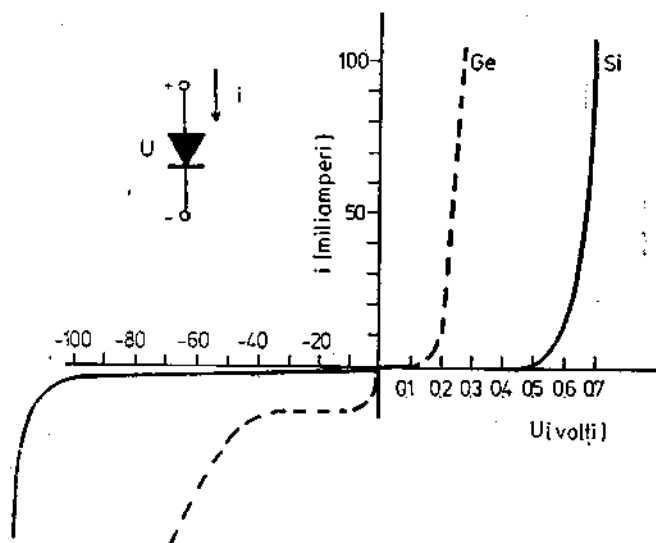


Fig. 11.3. Caracteristica inversă a unei joncțiuni p-n.

cină spațială largi) și la tensiuni joase. Practic, se produce străpungerea Zener atunci când câmpul electric în regiunea de tranziție, depășește o valoare critică (de ordinul a 10^6 V/cm).

11.4. Metode de realizare a joncțiunilor p-n

Se cunosc mai multe procedee tehnologice de realizare a joncțiunilor p-n. În paragrafele următoare se descriu succint câteva din aceste metode.

11.4.1. Realizarea joncțiunilor prin formarea electrică a contactului punctiform

Acest procedeu, care se remarcă printr-o simplitate constructivă și ca atare printr-un preț de cost scăzut, se utilizează pentru realizarea, așa numitelor diode cu contact punctiform și asigură cele mai bune rezultate atunci când în calitate de material semiconductor se utilizează germaniul.

Pentru formarea joncțiunii, se procedează în felul următor:

- se ia plăcuța de germaniu a cărei suprafață este foarte bine curățată,
- pe suprafața plăcuței de germaniu, într-un punct oarecare, se presează o sîrmă metalică ascuțită;
- se formează joncțiunea prin trecerea prin contactul metal-semiconductor a unor impulsuri mari de curent (pînă la cîțiva amperi).

Dacă pînă la formare, plăcuța semiconductoare avea conductibilitate de tip n , atunci, ca rezultat al formării, sub virful metalic apare un strat semiconductor de tip p . Apariția stratului de semn opus se explică prin aceea că la trecerea impulsurilor mari de curent prin contactul punctiform, se produce o încălzire puternică a locului de contact și o dizolvare treptată a capătului sîrmei, din care se produce difuzia de impurități în interiorul semiconductorului. Dacă în cazul germaniului se utilizează sîrma din bronz, atunci difuzantul principal va fi cuprul, care pentru germaniu este acceptor și creează un strat de tip p .

Calitatea joncțiunii formate depinde de forța de apăsare a sîrmei electrodului pe suprafața plăcuței din material semiconductor.

Dacă forța de apăsare este mică, se obțin curenți inverși (de saturație) mici și tensiuni de străpungere mari; o forță de presare mare conduce la creșterea curenților inverși și la micșorarea tensiunii de străpungere. În general, se alege o forță de presare medie.

Procedeul acesta de formare a joncțiunilor are aplicații limitate la realizarea diodelor cu germaniu cu contact punctiform.

11.4.2. Realizarea joncțiunilor prin tragere

Metoda constă în realizarea joncțiunilor concomitent cu tragerea monocristalului; întîi se trage o porțiune de monocristal de semiconductor de tip n , apoi restul materialului topit se impurifică în așa fel încît să devină de tip p . În continuarea primei porțiuni (de tip n) se trage a doua porțiune (de tip p). Monocristalul obținut se taie în mici paralelipiede cu structuri $n-p$ la care se sudează contactele. Această metodă este depășită și nu se mai utilizează.

11.4.3. Realizarea joncțiunilor prin aliere

Această metodă de realizare a joncțiunilor este încă utilizată în fabricația componentelor semiconductoare cu germaniu.

Principiul metodei este următorul: pe o plăcuță de germaniu de tip n , de formă pătrată cu latura 0,5—1,6 mm și grosime cuprinsă între 0,1—0,5 mm, se dispune o bilă sau un disc de metal care constituie impuritatea acceptoare (exemplu indiu). Ansamblul, poziționat într-o casetă de grafit, se introduce într-un cuptor cu vid sau hidrogen la o temperatură în jurul a 500°C. Indiuul se topește cînd a căpătat temperatura $T = 156^\circ\text{C}$; la $T = 500^\circ\text{C}$, se produce dizolvarea germaniului în indiu, obținîndu-se un aliaj InGe saturat. Lăsînd sistemul să se răcească, germaniul saturat cu indiu, recristalizează în același sistem cristalin cu plăcuța de germaniu inițială; se obține astfel o joncțiune $p-n$ a cărei structură este de asemenea monocristalină.

Formarea joncțiunilor prin metoda alierii este folosită mai ales pentru fabricarea tranzistoarelor de joasă frecvență din germaniu sau pentru fabricarea diodelor din siliciu aliate cu aluminiu.

11.4.4. Realizarea joncțiunilor prin difuzie

Această metodă de realizare a joncțiunilor $p-n$ a căpătat o largă utilizare în industria de componente electronice semiconductoare.

Prin difuzie se înțelege procesul de transport al atomilor unui corp dintr-un volum în care se găsesc în concentrație mai mare, în alt volum în care se găsesc în concentrație mai mică, tinzând spre egalizarea concentrațiilor.

Pentru explicarea procesului de difuzie al atomilor se consideră un material semiconductor pe suprafața căruia se află atomi de impurități având concentrația N_s (figura 11.4). Dacă la o distanță oarecare x de suprafață și în interiorul plachetei, concentrația de atomi de impurități este N_1 (N_s fiind mai mare decât N_1) atunci, datorită diferenței de concentrație, atomii de impurități de pe suprafață vor pătrunde în interiorul semiconductorului. În figura 11.4.a se reprezintă în mod disproporționat situația reală, tocmai pentru a se pune în evidență pătrunderea în semiconductor a impurităților. Practic adâncimea x , la care se obțin joncțiunile este de ordinul micronilor sau zecilor de microni, în timp ce diametrul plachetelor poate ajunge la dimensiuni de ordinul centimetrilor. Distribuția impurităților difuzate în plachetă este reprezentată în figura 11.4.b; joncțiunea $p-n$ se formează la adâncimea la care concentrația atomilor difuzați devine egală cu concentrația atomilor din semiconductorul inițial.

Procesele de difuzie se împart în două categorii: procese ce se desfășoară în tub închis și procese ce se desfășoară în tub deschis. Sursele de impurități utilizate la difuzie se împart în trei categorii: surse lichide, surse gazoase și surse solide.

● *Difuzia în tub închis.* În acest sistem plachetele de difuzat și sursa de difuzie sînt închise împreună într-un tub de cuarț, fie în vid, fie într-o

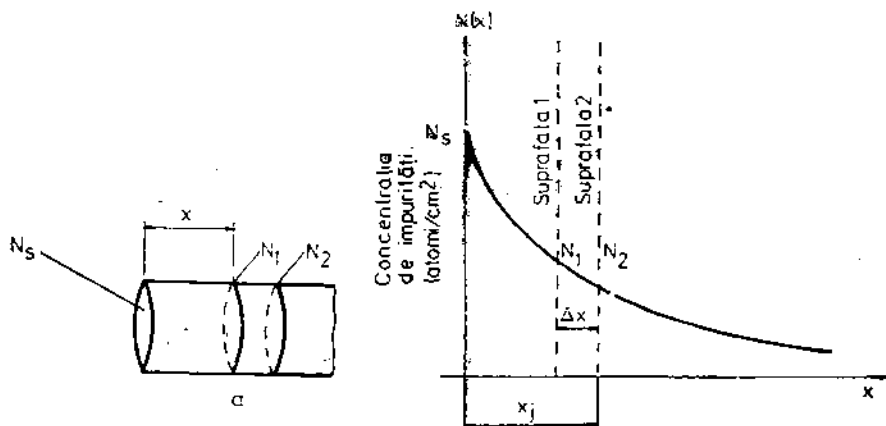
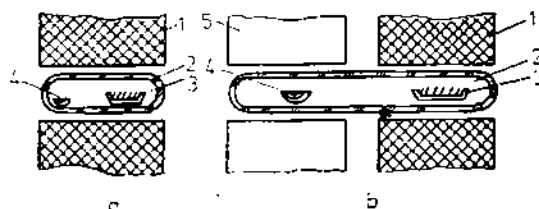


Fig. 11.4. Difuzia impurităților în plachete semiconductoare:

a — plachetă de material semiconductor; b — distribuția impurităților în funcție de adâncime.

Fig. 11.5. Schema instalației de difuzie a siliciului în sistemul cu tub închis:

a — difuzia borului; b — difuzia fosforului; 1 — cuptor cu temperatură ridicată; 2 — tub cuarț; 3 — placetă de siliciu; 4 — nacela cu difuzant; 5 — cuptor cu temperatură coborâtă.



atmosferă neutră (de exemplu argon). Schema unei instalații de difuzie a siliciului în tub închis este reprezentată în figura 11.5. Tubul 2 este încălzit la o temperatură între 900—1300°C o perioadă de timp determinată. În cazul difuziei borului, atît temperatura sursei de impurități cît și temperatura plachetelor sînt aceleași, procesul de difuzie putînd decurge într-un cuptor cu o singură zonă de temperatură (figura 11.5.a). În cazul difuziei fosforului, temperatura sursei de difuzie este mult mai mică (aproximativ 200—300°C) față de temperatura plachetelor (în general peste 1000°C); din motivul acesta se utilizează un cuptor cu două zone de temperatură (figura 11.5.b.).

● *Difuzia în tub deschis.* Este sistemul de difuzie cel mai folosit. În acest caz sursa poate fi solidă, lichidă sau gazoasă.

În figura 11.6 se prezintă schema de principiu a cuptorului de difuzie din surse solide în tub deschis; sistemul prezentat se folosește pentru difuzia fosforului, borului, arsenului, stibiului, galiului.

— Pentru difuzia fosforului se utilizează ca sursă pentaoxidul de fosfor (P_2O_5) care se încarcă într-o cutie din platină sau din cuarț 2; sursa se introduce în zona de temperatură mică a cuptorului (215—300°C). Pentru transportul vaporilor de P_2O_5 de la sursă la plachetele de difuzat se utilizează un gaz purtător; cel mai utilizat este azotul foarte pur.

— Pentru difuzia borului în siliciu se utilizează, ca sursă solidă, oxidul de bor (B_2O_3) sau acidul boric (H_3BO_3) de înaltă puritate.

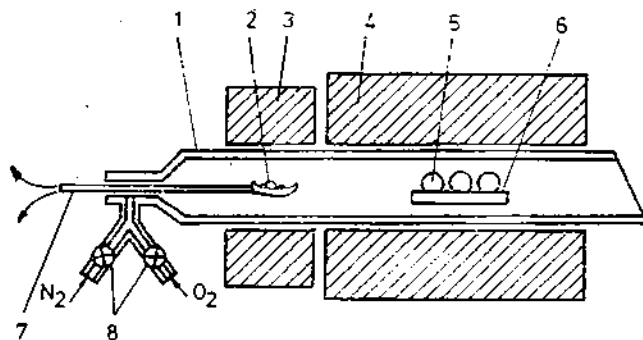


Fig. 11.6. Schema cuptorului cu două zone pentru difuzia din surse solide în tub deschis:

1 — tub de cuarț; 2 — nacelă cu sursa de difuzie; 3 — zonă a cuptorului cu temperatură coborâtă; 4 — zonă a cuptorului cu temperatură ridicată; 5 — placete de siliciu; 6 — nacelă din cuarț; 7 — termocuplu; 8 — robinete.

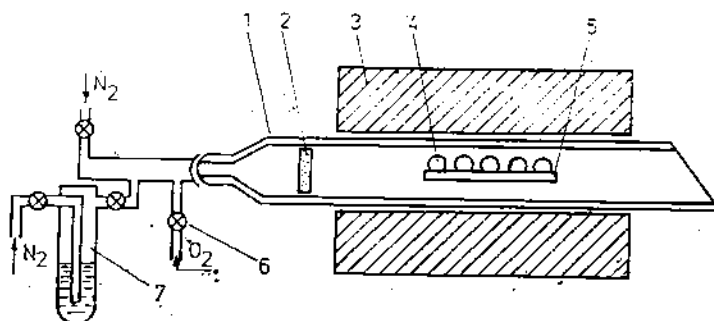


Fig. 11.7. Schema cuptorului de difuzie cu o zonă pentru difuzia din surse lichide în tub deschis:

1 — tub de cuarț deschis; 2 — sistem poros (vată din cuarț) pentru uniformizarea amestecului gazos; 3 — zonă utilă a cuptorului; 4 — plachete din siliciu; 5 — naclă din cuarț; 6 — robinete; 7 — barbotor cu sursa lichidă

În figura 11.7 se prezintă sistemul de difuzie în tub deschis care folosește surse lichide de difuzie.

— Fosforul se difuzează din oxiclorigura de fosfor (POCl_3). Sursa se menține în barbotorul 7 la o temperatură apropiată de temperatura camerei; pentru transportul vaporilor de POCl_3 se utilizează azotul,

— Borul se difuzează din tribromură de bor (BBr_3).

Instalații similare se folosesc pentru difuzia impurităților din surse gazoase. De exemplu, pentru difuzia fosforului se utilizează fosfina PH_3 , iar pentru difuzia borului diboranul (B_2H_6).

11.4.5. Realizarea joncțiunilor prin epitaxie

Cuvintul epitaxie este derivat din cuvintele grecești „epi” care înseamnă „pe” și „teinen” care înseamnă „aranjare”. În felul acesta chiar din titlu rezultă definiția procesului epitaxial: depunerea atomilor, care formează o structură monocristalină, pe un substrat monocristalin, astfel încât structura cristalină a rețelei obținute să fie o continuare exactă a rețelei substratului. În cazul în care structura substratului nu este monocristalină, stratul crescut este policristalin.

Procese de depunere epitaxială se împart în două clase: directe și indirecte.

Procese directe implică un transfer direct de material de la o sursă la substrat în vid (de exemplu prin evaporare sau pulverizare catodică).

Procese indirecte, cele mai utilizate în prezent, sînt acelea în care atomii de siliciu se obțin prin descompunerea în vapori (din acest motiv se întilnește și sub denumirea de descompunere în fază de vapori) a unui compus de siliciu la suprafața substratului. Aceste procese au loc fie la temperaturi ridicate, fie la temperaturi coborîte.

● Depuneri epitaxiale la temperaturi ridicate. Un proces utilizat pentru depunerea straturilor epitaxiale este reducerea tetraclorurii de siliciu (SiCl_4)

utilizând hidrogenul ca gaz purtător și ca agent reductor. Depunerea are loc la temperaturi de 1 150—1 250°C, în instalații de creșteri epitaxiale (schema de principiu prezentată în figura 11.8).

Instalația de creștere epitaxială se compune din următoarele părți:

— reactorul sau camera de reacție 1. Dimensiunile lui variază în funcție de numărul de plachete ce se prelucerează simultan. El poate fi încălzit prin rezistență sau prin inducție 2. Reactorul poate fi orizontal sau vertical; în timpul procesului epitaxial pereții reactorului se răcesc cu apă sau cu aer, pentru ca reacția de descompunere în fază de vapori să aibă loc numai la plachete nu și pe pereții reactorului,

— susceptorul 3 se utilizează ca suport și ca încălzitor a plachetelor substrat în timpul procesului de depunere,

— sistemul de alimentare cu fluide 4, este format dintr-un tablou de distribuție, din robinete și rotametre pentru măsurarea debitelor gazelor folosite,

— sistemul de evacuare al gazelor 5.

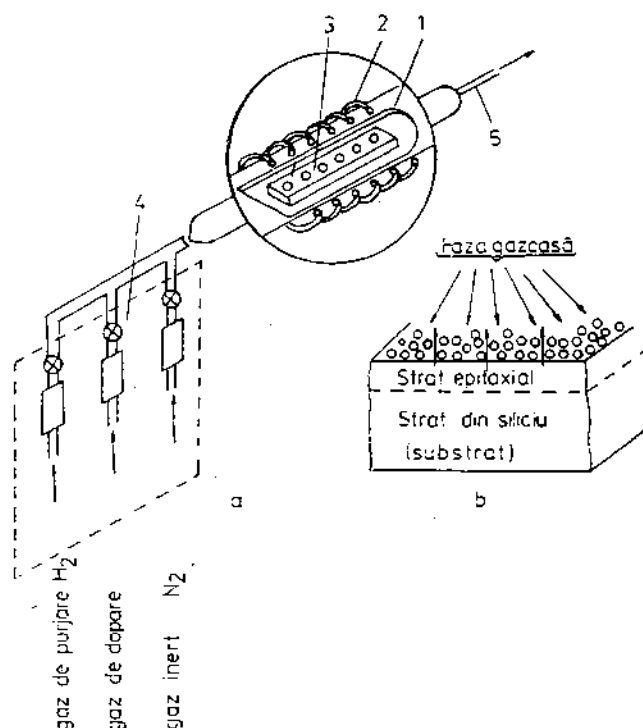
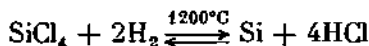


Fig. 11.8. Schema de principiu a unei instalații de creșteri epitaxiale (a) și a unei plachete crescute (b):

1 — reactor epitaxial (cuart); 2 — bobină pentru încălzire prin inducție; 3 — susceptori din grafit; 4 — sistem de alimentare cu gaze; 5 — sistem de evacuare gaze.

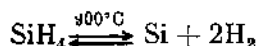
Procesul de creștere epitaxială se realizează în următoarele etape:

- introducerea în reactor a plachetelor de crescut.
- curățirea preliminară a plachetelor în reactor la temperatură ridicată, în atmosferă de hidrogen,
- corodarea suprafeței plachetei cu acid clorhidric, la temperatura de creștere,
- creșterea propriu-zisă, pe baza reacției:



Procesul epitaxial poate fi condus astfel încât, în timpul creșterii, în rețeaua siliciului crescut să se introducă și atomi de impurități. Se obțin astfel straturi crescute de tip *n* sau *p* în funcție de tipul impurității ce se încorporează.

● Depuneri epitaxiale la temperaturi coborâte. Se realizează prin descompunerea pirolitică a silanului (SiH_4) la temperaturi în jurul a 900°C . Instalația de creștere este similară cu cea descrisă; reacția de descompunere a silanului este:



11.4.6. Realizarea joncțiunilor prin implantare ionică

Implantarea cu ioni este un proces prin care ionii de impurități sînt introduși într-un corp solid prin bombardament, ionii fiind accelerați în cimpuri electrice la energii forate mari.

Adîncimile joncțiunilor obținute prin acest procedeu sînt mici (se obțin așa numitele joncțiuni superficiale): de exemplu ionii de fosfor și de bor accelerați la 100 keV implantați în siliciu produc joncțiuni la adîncimi de 0,4 μm , respectiv 0,6 μm . Crescînd energia acestor ioni la 1 MeV, adîncimea joncțiunilor obținute crește la 1,5 μm , respectiv 2 μm .

12. Diode semiconductoare

12.1. Definiție și simboluri grafice

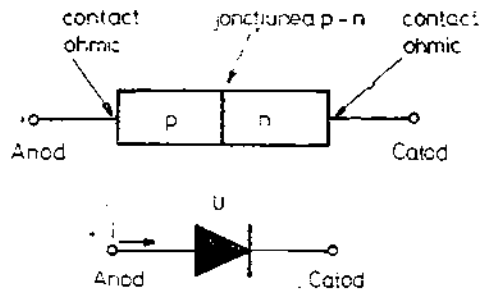
O joncțiune *p-n* prevăzută cu contacte metalice atașate la cele două regiuni și introdusă într-o capsulă din sticlă, metal sau material plastic, pentru a o proteja de mediul exterior se numește diodă semiconductoare.

Fig. 12.1. Structura unei diode și reprezentarea ei în schemă.

Regiunea p a joncțiunii constituie anodul diodei, iar regiunea n , catodul.

Dacă la anod se aplică o tensiune pozitivă, se spune că dioda este polarizată direct. Rezistența electrică directă a diodei este mică și depinde de tipul diodei.

În scheme electrice diodele se notează prin simbolul din figura 12.1; săgeata indică sensul convențional al curentului prin diodă.

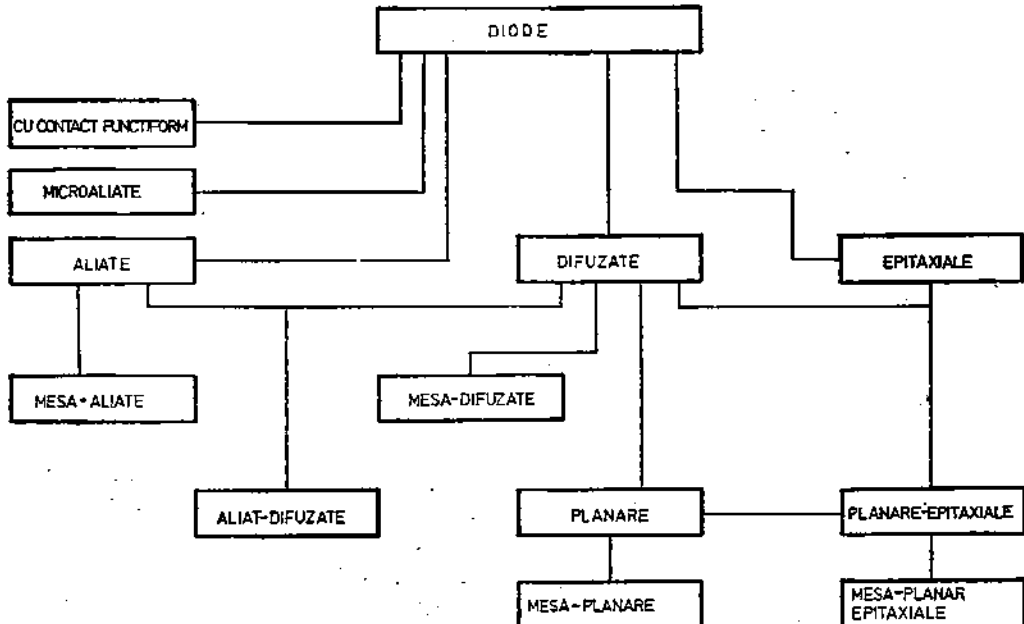


12.2. Clasificare

Clasificarea diodelor semiconductoare se poate face după tehnologia de fabricație și după domeniul de aplicație.

În tabelul 12.1. se prezintă clasificarea diodelor semiconductoare după procesul tehnologic de realizare; o astfel de clasificare este utilă din punctul de vedere al constructorului acestor dispozitive semiconductoare (I.P.R.S.-

Tabelul 12.1. Clasificarea diodelor semiconductoare în tipuri tehnologice.



Băneasa și Institutul de Cercetări pentru Componente Electronice București I.C.C.E.).

În tabelul 12.2. se propune o clasificare a diodelor semiconductoare după funcțiunile pe care acestea le îndeplinesc în circuitele electronice.

12.3. Caracteristici principale ale diodelor semiconductoare

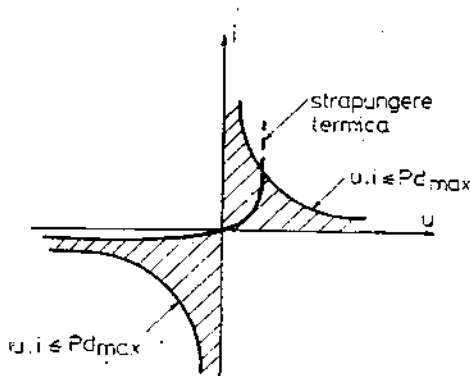
Caracteristica directă. Alura caracteristicii în conducție directă a unei diode semiconductoare este prezentată în figura 11.3. Curentul este egal cu zero, pînă la o anumită valoare numită tensiune de prag, de la care crește rapid cu creșterea tensiunii U ; valori tipice pentru tensiunea de prag sînt cuprinse în limitele 0,2—0,3 V pentru diode cu germaniu și 0,6—0,7 pentru diode cu siliciu.

Caracteristica inversă. La polarizate inversă, diodele semiconductoare sînt parcurse de curenți foarte mici (de ordinul microamperilor sau nanoamperilor). La creșterea tensiunii inverse, curentul invers crește nesemnificativ pînă la o anumită valoare a tensiunii aplicate diodei; peste această valoare, chiar la variații mici ale tensiunii inverse aplicate diodei, curentul (invers) crește rapid. Dacă această creștere a curentului invers nu este evitată sau limitată, dioda se poate distruge. Tensiunea la care apare acest fenomen se numește tensiune de străpungere. Caracteristica inversă a diodelor semiconductoare este puternic dependentă de temperatură; de exemplu, pentru diodele cu siliciu curentul invers se dublează la fiecare creștere a temperaturii joncțiunii cu cîte 10—15°C.

Puterea de disipație maximă. La utilizarea diodelor semiconductoare este necesar să se țină seama de două limitări importante: curentul direct maxim și tensiunea inversă maximă; depășirea acestor mărimi poate produce distrugerea diodei.

Puterea maximă de disipație $P_{d\max}$ este determinată prin produsul:

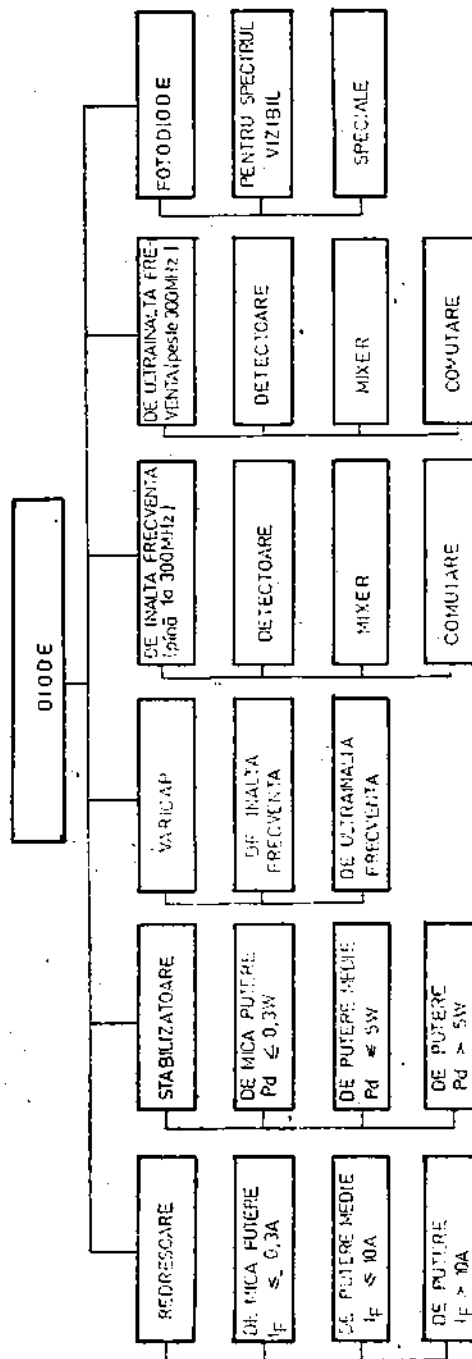
$$i \cdot u \leq P_{d\max}$$



relație care este reprezentată grafic în figura 12.2 unde limitele de funcționare fără pericol ale unei diode semiconductoare sînt hașurate. În relația de mai sus i și u reprezintă curentul ce trece prin diodă respectiv tensiunea la bornele ei la un moment dat în planul i - u .

Fig. 12.2. Hiperbola de disipație pentru o diodă semiconductoare.

Tabloul 12.2. Clasificarea diodelor semiconductoră după funcțiunile lor în circuite electronice



12.4. Diode redresoare

Diodele redresoare utilizează proprietatea joncțiunii $p-n$ de a conduce un curent relativ mare în polarizare directă și un curent mic, neglijabil, în polarizare inversă și sînt folosite pentru transformarea curentului alternativ în curent continuu. Au un domeniu restrîns de frecvențe de funcționare, de exemplu: pentru redresoarele alimentate la rețea, frecvența de lucru este 50 Hz în timp ce pentru unele redresoare, speciale, folosite de obicei la tensiuni înalte, aceste diode redresează tensiuni de frecvență mai ridicată, dar care nu depășește 20–40 KHz.

Pentru fabricarea diodelor redresoare se folosește germaniul (Ge) și siliciul* (Si);

În afara diodelor redresoare care folosesc Ge și Si, se fabrică încă diode redresoare care folosesc oxidul cupros și seleniul.

12.4.1. Parametri limită

Mărimile care limitează funcționarea unei componente electronice într-o anumită gamă de valori se numesc parametri limită. Parametrii limită sînt specificați în cataloagele firmelor constructoare; depășirea acestor mărimi poate conduce la distrugerea componentei semiconductoare. Normal, combinarea tuturor parametrilor limită nu poate fi atinsă simultan.

Pentru componentele semiconductoare parametrii limită se referă în general la patru mărimi fizice: tensiunea, curentul, puterea disipată și temperatura maximă a joncțiunii.

● *Tensiunea.* Valoarea menționată în cataloage ca parametru limită este tensiunea de străpungere notată prin U_{BR} ; ea reprezintă tensiunea inversă aplicată diodei pentru care curentul invers devine mai mare decît o valoare specificată.

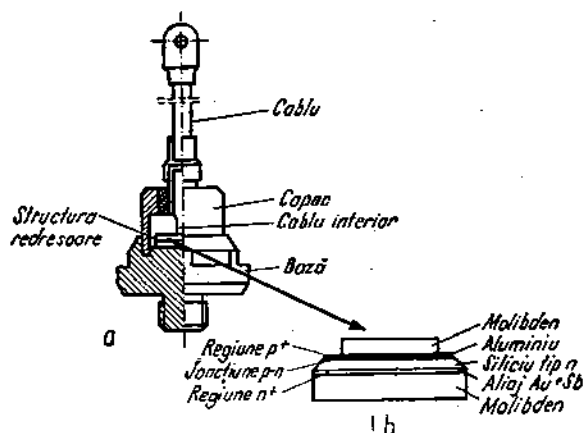
● *Curentul.* Valoarea menționată în cataloage ca parametru limită este curentul direct de vîrf, I_{FM} , care reprezintă amplitudinea unui curent semi-sinusoidal în sens direct în regim permanent.

● *Puterea disipată.* Este valoarea puterii disipate maxime care nu trebuie depășită în funcționare.

● *Temperatura maximă a joncțiunii, T_{max} .* Pentru joncțiunea în funcționare se are în vedere o temperatură maximă posibilă, care depinde de natura materialului semiconductor. Pentru diodele cu siliciu, $T_{max} \approx 175^\circ\text{C}$, iar pentru cele cu germaniu $T_{max} \approx 85^\circ\text{C}$.

* Diodele redresoare fabricate în prezent la IPRS sînt caracterizate prin tensiuni inverse între 50 și 100 V cele de Ge și 50 V și peste 2000 V cele de Si și prin curenți direcți (valoare medie) de la 500 mA la peste 300 A (7 A la cele de Ge).

Fig. 12.3. Diodă redresoare de putere cu siliciu (a) și structura redresoare (b),



12.4.2. Tipuri constructive

Construcția diodelor redresoare semiconductoare depinde de tipul materialului semiconductor utilizat, de caracteristicile impuse și de puterea diodei. În cele ce urmează se fac referiri numai la diodele cu siliciu care sînt cele mai utilizate.

După tehnologia de realizare diodele redresoare se împart în următoarele tipuri: aliate, difuzat-aliate, difuzate (în categoria cărora se includ diodele mesa și diodele planare) și epitaxiale.

Diodele cu siliciu aliate sînt construite dintr-o placuetă de siliciu de tip n căreia i se aliază pe una din fețe o rondelă de aluminiu de tip p , iar pe cealaltă față o rondelă din aliaj aur-stibiu (material de tip n); structura aceasta de tipul p^+nn^+ se închide într-o capsulă din metal (semnul p^+ ; n^+ , indică o concentrație mai mare a acestor impurități).

La diodele difuzate structura p^+nn^+ se realizează prin difuzie; pentru regiunea de tip p^+ se utilizează borul iar pentru regiunea de tip n^+ fosforul. Figura 12.3 prezintă o diodă redresoare de putere cu siliciu.

Pentru creșterea tensiunii de străpungere, pe periferia structurii redresoare se realizează o conturare sub un unghi oarecare, așa cum se arată în figura 12.4.b; dacă această conturare se face în direcția stratului puternic dopat (p^+ în figura 12.4.a), intensitatea cîmpului electric la suprafață crește

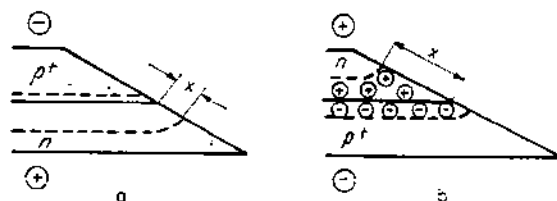


Fig. 12.4. Dependența tensiunii de străpungere de modul de realizare a conturării periferiei structurii:
a — sistem nelăcuit; b — sistem lăcuit

ca urmare a îngustării regiunii de sarcină spațială (lungimea x) și ca atare tensiunea de străpungere a diodei în loc să crească, scade. În cazul în care conturarea se realizează în direcția regiunii slab dopate (în figura 12.4.b) intensitatea cîmpului electric la suprafață devine mai mică decît în cazul precedent, ca urmare a lărgirii stratului de sarcină spațială la suprafață; această soluție se utilizează pentru realizarea diodelor redresoare de putere cu tensiuni mari de străpungere.

12.4.3. Utilizări

Diodele redresoare se utilizează în echipamente de redresare. În tabelul 12.3. se prezintă principalele scheme de redresare cu diode semiconductoare și cîțiva parametri reprezentativi.

Cel mai simplu redresor este redresorul cu o singură diodă. Dioda nu conduce decît în alternanță pozitivă, iar curentul prin sarcină nu trece decît într-un singur sens și anume în cel arătat în figură; este un curent continuu pulsatoriu.

Schema redresorului cu priză mediană în secundar are performanțe superioare față de cel monoalternanță: dublarea componentei de curent continuu, micșorarea componentei de curent alternativ, dublarea frecvenței componentei alternative (filtrare mai ușoară) și un randament ridicat.




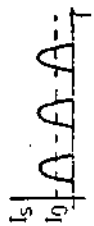

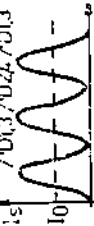
Redresorul în punte este, în multe privințe, similar cu redresorul cu transformator cu priză mediană.

Comparînd cele trei montaje redresoare din punctul de vedere al performanțelor impuse diodelor se constată că: 1) tensiunea inversă maximă pe o diodă este $2\sqrt{2}U_2$ pentru redresoarele mono și dublă alternanță și $\sqrt{2}U_2$ pentru redresorul în punte, unde U_2 este valoarea eficace a tensiunii alternative din secundarul transformatorului; 2) curentul mediu printr-o diodă este egal cu curentul prin sarcină la redresorul monoalternanță și cu jumătate din acest curent la redresorul dublă alternanță și redresorul în punte.


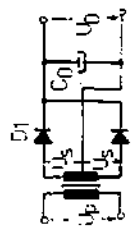
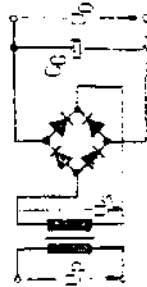
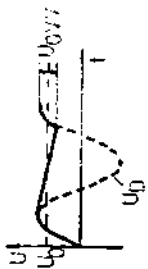

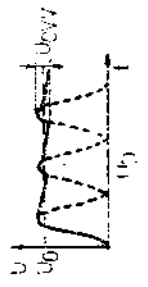
La realizarea schemelor de redresare poate apare necesitatea obținerii unor curenți care depășesc valorile admise de diode. În acest caz se utilizează legarea în paralel a diodelor de același tip. Pentru echilibrarea curenților care trec prin diode, în serie cu acestea se leagă rezistoare suplimentare a căror rezistență este de cîțiva ohmi.

În cazul circuitelor cu tensiuni ridicate diodele redresoare se leagă în serie; prin aceasta tensiunea aplicată se repartizează între diodele înseriate. Pentru asigurarea funcționării diodelor, în paralel cu fiecare diodă se conectează rezistoare (de ordinul a 100 K Ω), pentru echilibrarea rezistențelor lor inverse; în acest caz tensiunile pe diode au aceleași valori.

Tabelul 12.3. Scheme tipice de redresare cu diode semiconductoare, forme de undă și parametri reprezentativi

Tipul redresorului	Mono alternanta	Dialternanta cu prize	Dialternanta în punte
SCHEMA ELECTRICĂ			
FORMA DE VARIATIE IN TIMP A TENSIUNII REDRESATE			
Puterea tipică a transfor- matorului $P_T(VA)$	$P_T = 3,1 \cdot P_o$	$P_T = 1,48 P_o$	$P_T = 1,24 P_o$
Frecvența pulsațiilor f_o	$f_o = 50 \text{ Hz}$	$f_o = 100 \text{ Hz}$	$f_o = 100 \text{ Hz}$
Tensiunea în secundar U_s	$U_s = 2,6 U_o$	$U_s = 1,3 U_o$	$U_s = 1,3 U_o$
Curentul mediu prin diodă	$I_D = 1,0 \cdot I_o$	$I_D = 0,5 I_o$	$I_D = 0,5 I_o$
Tensiunea inversă pe o diodă	$U_R = 2 U_s$	$U_R = 2, 2 U_s$	$U_R = 2 U_s$
Curentul în secundarul transformatorului	$I_t = 1,57 I_o$	$I_t = 0,785 I_o$	$I_t = 1,11 I_o$
Suprafața miezului de fier S_{Fe}	$S_{Fe} = 1,5 P_T$	$S_{Fe} = 1,5 P_T$	$S_{Fe} = 1,5 P_T$
Număr de spire/volt în primar n_p	$n_p = 45/S_{Fe}$	Număr de spire în primar,	$N_p = U_p \cdot n_p$
Număr de spire în secundar	$N_s = n_p \cdot 1,07 \cdot U_s$	Curentul în primar,	$I_p = P_T/U_p$

Tabelul 12.3. Scheme tipice de redresare cu diode semiconductor, forme de undă și parametri reprezentativi

Tipul redresorului	Mono alternanta	Bialternanta cu priză	Bialternanta în punte
SCHEMA ELECTRICA			
FORMA TENSIUNII DUPĂ REDRESARE ȘI FILTRARE CU CONDENSATOR			
Puterea tipică a transformatorului	$P_T = 1,73 P_o$	$P_T = 1,48 P_o$	$P_T = 1,24 P_o$
Tensiune în secundar	$U_s = 0,95 U_o$	$U_s = 0,9 U_o$	$U_s = 0,9 U_o$
Tensiunea inversă pe diodă	$U_R = 2,4 U_o$	$U_R = 2,25 U_o$	$U_R = 1,13 U_o$
Curentul mediu pe diodă	$I_D = 1,0 I_o$	$I_D = 0,5 I_o$	$I_D = 0,5 I_o$
Curentul în secundarul transformatorului	$I_s = 2,1 I_o$	$I_s = 1,1 I_o$	$I_s = 1,57 I_o$
Valoarea condensatorului $C_o[F]$	$C_o \approx 5 \cdot 10^{-3} \cdot I_o / U_o \cdot \tau$	$C_o \approx 2 \cdot 10^{-3} I_o / U_o \cdot \tau$	$C_o \approx 2 \cdot 10^{-3} I_o / U_o \cdot \tau$
Tensiunea maximă pe condens.	$U_o \max = 1,41 \cdot U_s$	$U_o \max = 1,41 U_s$	$U_o \max = 1,41 U_s$
I_D maxim la pornire	$I_{D \max} = 7 \cdot U_s \cdot 10^2 \cdot C_o$	$I_{D \max} = 7 \cdot U_s \cdot 10^2 \cdot C_o$	$I_{D \max} = 7 \cdot U_s \cdot 10^2 \cdot C_o$
Frecvența ripple-ului	$f_o = 50 \text{ Hz}$	$f_o = 100 \text{ Hz}$	$f_o = 100 \text{ Hz}$

12.5. Diode stabilizatoare

12.5.1. Definiție și caracteristici

O diodă semiconductoare, care în regim invers de conducție, are o regiune a caracteristicii curent-tensiune în care variația tensiunii nu depinde de curent și poate fi utilizată în funcționare îndelungată pe această porțiune a caracteristicii inverse, numită caracteristică de stabilizare, se numește diodă stabilizatoare sau diodă zener.

Diodele stabilizatoare se împart în diode stabilizatoare de uz general și în diode stabilizatoare de precizie.

Principalul avantaj al diodelor stabilizatoare în raport cu alte componente care îndeplinesc funcții analoge (exemplu stabilizatoare cu tuburi electronice) este posibilitatea stabilizării tensiunilor într-un interval larg de valori (de la câțiva volți până la sute și chiar mii de volți și curenți de ordinul a câțiva miliamperi până la zeci de amperi). Pentru fabricarea diodelor stabilizatoare se folosește atât alierea, cât și alte metode de realizare a joncțiunilor $p-n$.

Cea mai importantă caracteristică a unei diode stabilizatoare de tensiune este caracteristica tensiune-curent (figura 12.5). În conducție directă această caracteristică nu se deosebește de caracteristica oricărei diode semiconductoare. În conducție inversă ea are forma unei linii aproape verticale, para-

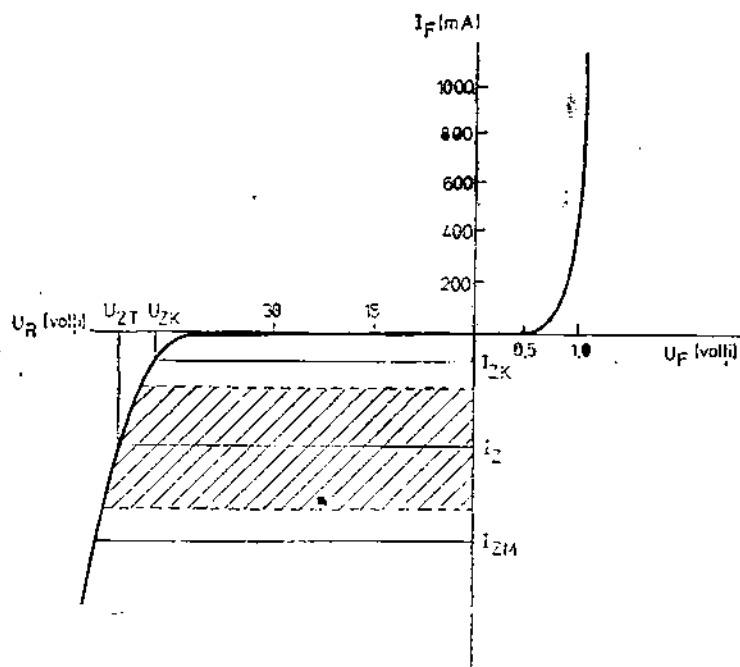


Fig. 12.5. Caracteristica tensiune-curent a unei diode stabilizatoare

lelă cu axa curentului; din motivul acesta la variații în limite largi ale curentului prin diodă, căderea de tensiune pe diodă practic nu se modifică; regiunea hașurată de pe figură reprezintă domeniul de funcționare al acestui tip de diodă semiconductoare.

Parametrii principali ai unei diode stabilizatoare-sînt:

— tensiunea nominală de stabilizare U_{zT} , este tensiunea aplicată în sens invers la bornele diodei, care rămîne practic într-o gamă de curenți debitați.

— curentul de stabilizare I_z este curentul invers continuu corespunzător unui punct de pe caracteristica de funcționare,

— curentul de stabilizare minim, I_{zK} , este limita inferioară a curentului de stabilizare, sub care se consideră că dioda nu-și mai satisface funcția de stabilizare.

— curentul de stabilizare maxim, I_{zM} , este limita superioară a curentului de stabilizare, peste care funcționarea în regim permanent a diodei nu mai este garantată,

— puterea disipată maximă, P_{dmax} este valoarea limită a puterii care poate fi disipată în diodă, în regim permanent la temperatura ambiantă de 25°C,

— rezistența diferențială, r_z , este valoarea $\Delta U/\Delta I$ într-un punct specificat de pe caracteristica de stabilizare.

— coeficientul de stabilizare cu temperatura al tensiunii α_{vz} ; este procentul în care variază tensiunea de stabilizare la o variație de 1°C a temperaturii diodei.

12.5.2. Utilizări

Diodele zener permit realizarea de circuite de stabilizare foarte simple, economice și eficiente. În figura 12.6 se dă o schemă simplă de circuit de stabilizare cu diodă zener. Parametrii care se iau în considerare pentru asigurarea unui reglaj satisfăcător al tensiunii stabilizate sînt următorii:

— raportul curent prin sarcină/curent de stabilizare (I_s/I_z). În general mărimea curentului prin sarcină trebuie să fie aproximativ a patra parte din curentul prin dioda zener.

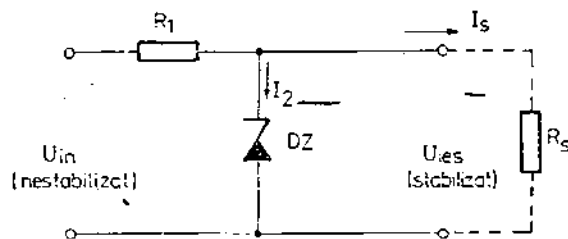


Fig. 12.6. Circuit de stabilizare cu diodă zener.

— raportul tensiune intrare/tensiune de ieșire (U_{in}/U_{out}). Tensiune de intrare nestabilizată, trebuie să fie cât mai mare posibil, astfel încât pentru reducere să se poată utiliza o rezistență serie R_1 cât mai mare posibil.

— curentul pulsatoriu *. Acest curent este cu atât mai redus cu cât valoarea rezistenței serie este mai mare în raport cu rezistența diferențială a diodei;

La alegerea regimului de funcționare al unei diode stabilizatoare trebuie avute în vedere și următoarele aspecte:

— regiunea inițială de străpungere a diodei zener (cotul caracteristicii) realizează cea mai mică stabilizare,

— domeniul curenților de funcționare (porțiunea hașurată în figura 12.7) trebuie să fie limitat la valorile admisibile, menționate în foile de catalog,

— legarea în serie a mai multor diode stabilizatoare este mai indicată decît utilizarea unei singure diode stabilizatoare mai puternice și de tensiune mai mare,

— diodele stabilizatoare de putere trebuie montate pe radiatoare,

— pentru creșterea duratei de viață și a siguranței în funcționare a diodelor stabilizatoare, este indicat ca în exploatare să disipe puteri sub puterea nominală cu 20—30%.

12.6. Diode varactor (varicap)

12.6.1. Definiție și caracteristici

Diodele varactor sau varicap, sînt dispozitive semiconductoare care în circuite electronice se comportă ca o capacitate variabilă cu tensiunea de polarizare.

Diodele varicap se fabrică din siliciu, prin aliere sau prin difuzie.

Caracteristic pentru diodele varicap este variația capacității lor cu tensiunea inversă U_R ce li se aplică la borne (figura 12.7). Pentru diodele aliate, această variație este dată de relația:

$$C_{var}(U_R) = \epsilon_0 \epsilon_r S / \sqrt{U_R}$$

în timp ce pentru diodele difuzate:]

$$C_{var}(U_R) = \epsilon_0 \epsilon_r S / \sqrt[3]{U_R}$$

unde S este suprafața joncțiunii diodei; mărimea capacității nominale este cuprinsă între cîțiva picofarazi și cîteva sute de picofarazi.

Parametrii principali ai diodelor varicap sînt:

— capacitate nominală, C_{nom} ; este capacitatea între terminalele diodei la tensiunea nominală de semnal,

* în unele publicații numit curent ondulatoriu

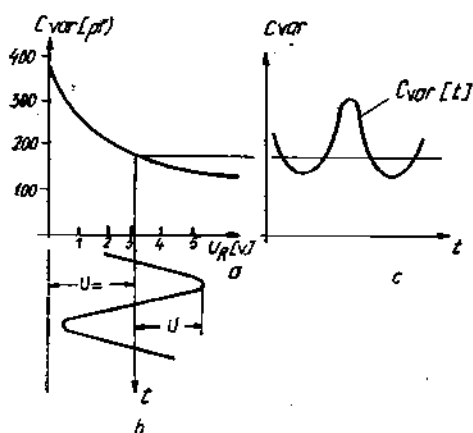


Fig. 12.7. Variația capacității diodei varicap cu tensiunea inversă aplicată (a), variația tensiunii alternative aplicate (b) și variația capacității în timp (c)

— capacitatea maximă, C_{max} ; este valoarea capacității la tensiunea de semnal minimă,
 — capacitatea minimă, C_{min} ; este capacitatea diodei la tensiunea maximă de semnal,
 — factorul de calitate nominal, Q_{nom} ; este raportul dintre reactanța diodei varicap și rezistența ei de pierderi, măsurate la tensiunea de semnal nominală și la o frecvență dată,

— coeficientul de temperatură al capacității, α_c ;
 — puterea maximă de disipație; este valoarea maximă a puterii de disipație pe dioda varicap, la care i se asigură o durată de viață corespunzătoare.

12.6.2. Utilizări

Domeniile principale în care se utilizează diodele varicap sînt următoarele:

— acordul circuitelor electronice în gamele undelor scurte, ultrascurte etc. În figura 12.8 se prezintă schema de conectare a diodei varicap într-un circuit oscilant, format din inductanța L și capacitatea C_{var} a diodei varicap; condensatorul C (condensator de separare), cu o capacitate de cîteva zeci sau sute de ori mai mare decît capacitatea diodei varicap, împiedică scurtcircuitarea, în curent continuu, a diodei varicap prin inductanța L . Tensiunea de comandă în curent continuu se aplică diodei de la potențiometrul R_2 prin rezistorul R_1 , de mare rezistență electrică (uzual $K\Omega \dots$ sute de $K\Omega$). Datorită curentului invers mic al diodei varicap, căderea de tensiune pe R_1 este mică și aproape toată tensiunea de comandă se aplică diodei. Acordul circuitului se realizează prin deplasarea cursorului potențiometrului R_2 . Această schemă are dezavantajul că tensiunea de semnal de înaltă frecvență are influență asupra diodei modificîndu-i capacitatea, dezacordînd astfel circuitul acordat.

Conectarea diodei varicap ca în figura 12.8.b. permite reducerea în mare măsură a dezacordului circuitului sub acțiunea tensiunii de semnal, deoarece prin conectarea în serie a diodelor varicap ca în figură, la variația tensiunii pe circuit, capacitatea unei diode crește iar a celeilalte se micșorează:

— amplificarea și generarea semnalelor, inclusiv a semnalelor de ultra înaltă frecvență (așa numitele diode parametrice),

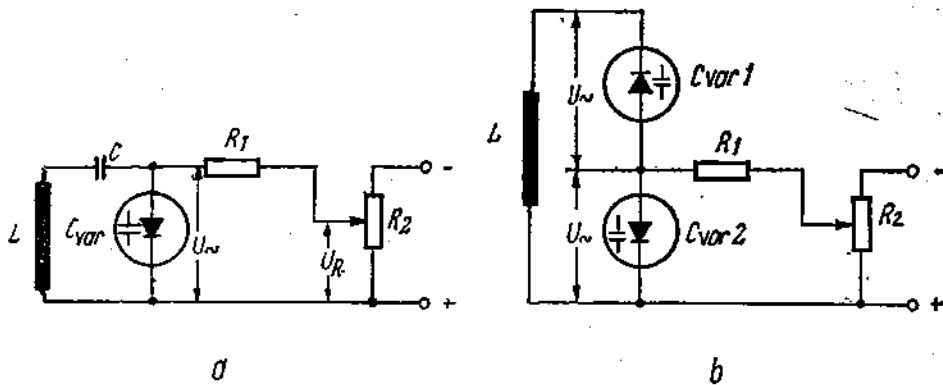


Fig. 12.8. Scheme cu diode varicap pentru acordul circuitelor electronice.

- multiplicarea frecvențelor într-o bandă largă de frecvențe.
- acord și control automat al frecvenței în radio și televiziune,
- în sisteme de automatizare (în special diodele varicap cu capacitate nominală mare; nu mai mică de 1 000 pF).

12.7. Diode de înaltă frecvență

Diodele de înaltă frecvență sînt dispozitive de uz general, care pot fi folosite pentru redresare, detecție și alte aplicații, în game de frecvențe pînă la 1000 MHz. Ele se realizează de regulă din germaniu sau siliciu și au joncțiuni punctiforme, în primul caz sau joncțiuni cu suprafață extrem de mică în cel de al doilea caz.

Diodele de înaltă frecvență, din siliciu, se obțin prin procedee mesa (figura 12.9.a) sau prin procedee planare (figura 12.9.b); în figura 12.10 se prezintă etapele tehnologice mai importante ale fabricației diodelor planar-epitaxiale cu siliciu cu structură n^+pp^+ .

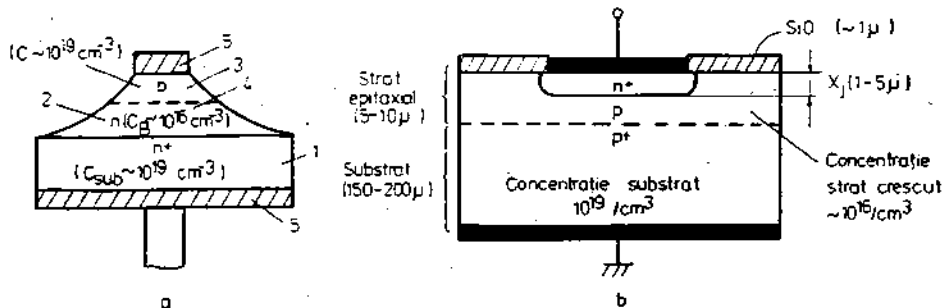


Fig. 12.9.

- a — structură de diodă cu siliciu mesa de înaltă frecvență: 1 — substrat; 2 — strat crescut epitaxial; 3 — strat difuzat; 4 — joncțiune p-n; 5 — contacte metalice, b — structură planară n^+pp^+

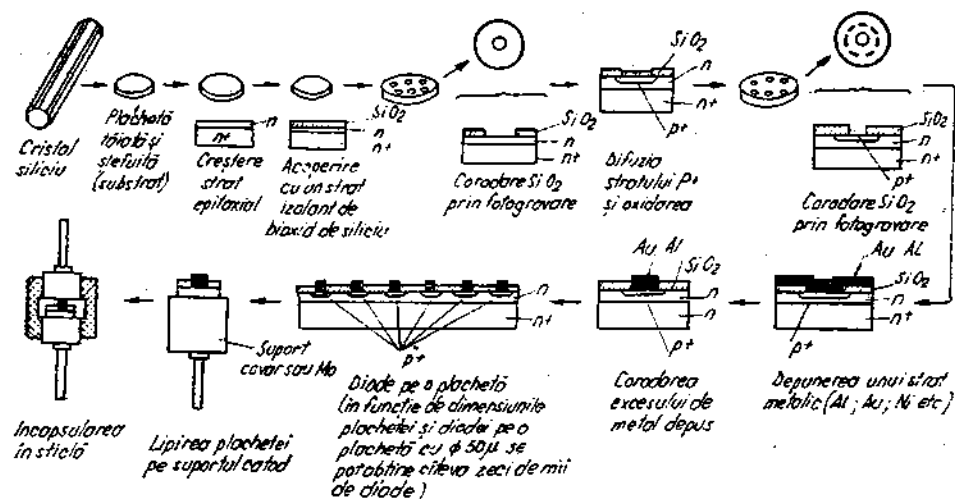


Fig. 12.10. Etapele tehnologice principale pentru realizarea diodelor planar-epitaxiale cu siliciu.

Utilizarea contactului metal-semiconductor a deschis o largă perspectivă pentru realizarea diodelor care funcționează la frecvențe înalte și foarte înalte; pe acest principiu s-au obținut așa numitele diode Schotky. Cum rezultă din figura 12.11, aceste diode sînt realizate dintr-un substrat de siliciu de tip n puternic dopat (rezistivitate $0,02 \div 0,008 \Omega \text{ cm}$), pe care se crește un strat epitaxial foarte subțire și rezistivitate mare (grosime $1 \div 5 \mu$, rezistivitate peste $100 \Omega \text{ cm}$).

● **Caracteristici și parametri ***. În plus față de parametrii caracteristici ai unei diode semiconductoare (curent direct, căderea de tensiune în conducție directă, curent invers, tensiunea inversă maximă, curentul direct maxim), diodele de înaltă frecvență se caracterizează și prin următorii parametri:

— capacitatea proprie a diodei, care reprezintă capacitatea statică între bornele diodei,

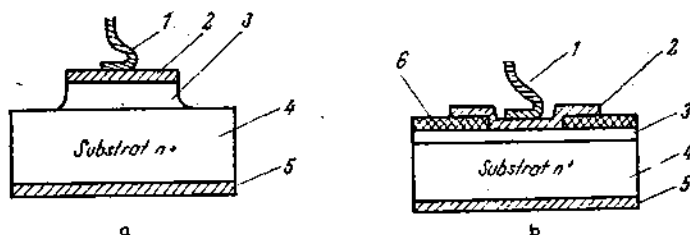


Fig. 12.11. Structuri de diode cu siliciu de tip Schotky:

a — varianta mesa; b — varianta planară; 1 — electrod; 2 — metal depus; 3 — strat crescut epitaxial; 4 — substrat puternic dopat; 5 — contact ohmic; 6 — strat de bioxid de siliciu.

* rezultă din cataloagele firmelor constructoare.

— frecvența maximă de lucru, care este frecvența cea mai mare pentru care mărimea curentului redresat nu scade sub o anumită valoare admisă.

● *Aplicații specifice.* În electronică principala aplicație a diodelor de înaltă frecvență este detectarea semnalelor de înaltă frecvență *.

12.8. Diode pentru microunde

Aceste diode sînt destinate funcționării în gama frecvențelor ultrainalte (unde centimetrice și milimetrice). Ele se realizează într-o varietate deosebit de mare pentru a acoperi un domeniu larg de frecvențe. Pentru fabricația lor se utilizează materiale semiconductoare cu rezistivitate mică.

12.8.1. Clasificare

● Diodele semiconductoare de microunde se clasifică după destinație, în următoarele categorii:

— multiplicatoare, utilizate în scheme de multiplicare și divizare a frecvențelor. În astfel de circuite se utilizează diodele varactor,

— modulatori, utilizate pentru modularea oscilațiilor în domeniul microundelor. În astfel de circuite se utilizează diodele pin,

— generatoare, destinate pentru realizarea oscilatoarelor de microunde. În acest gen de aplicații se utilizează diodele impatt, diodele gunn și diodele tunel,

— convertitoare, destinate pentru circuite de modificare a frecvențelor. În acest gen de aplicații se utilizează diodele varactor, diodele tunel, diodele Schottky,

— parametrice, utilizate pentru amplificarea oscilațiilor în microunde. În aceste aplicații se folosesc diodele impatt,

— comutatoare, destinate pentru comutarea rapidă a circuitelor de microunde. În aceste aplicații se utilizează diodele pin și diodele tunel,

— detecție, destinate pentru detectarea oscilațiilor de microunde; pentru această aplicație se utilizează diodele tunel, diodele Schotky.

Deoarece au apărut câteva denumiri noi de diode folosite în domeniul microundelor, în cele ce urmează se prezintă pe scurt câteva aspecte constructive ale acestora.

12.8.2. Dioda IMPATT

Denumirea provine de la „IMPact Avalanche Transit Time” din limba engleză și se referă la diode (cu siliciu) cu efect pronunțat de avalanșă prin șoc.

Structura diodei este compusă din două regiuni puternic dopate între care se găsește regiunea nedopată, (structură de tipul $n^{++}p^{+}-i-p^{++}$); un

* aceste diode pot fi de asemenea utilizate ca diode limitatoare, rezistențe variabile, dispozitive de comutație etc.

exemplu tipic de diodă IMPATT utilizată în domeniul de frecvență 8...12 GHz)*, are grosimea stratului activ p^+ de aproximativ 10 μm și diametrul structurii de aproximativ 250 μm , tensiunea de străpungere 50 V și capacitatea joncțiunii de cca. 3 pF. Pentru realizarea diodelor IMPATT se utilizează diverse materiale semiconductoare (Ge; Si; GaAs) în tehnologia mesa sau planar.

În circuite dioda este polarizată în sens invers, peste tensiunea continuă fiind suprapusă o tensiune alternativă; cînd cele două tensiuni se însumează are loc o multiplicare prin avalanșă a purtătorilor, producînd impulsuri de curent. Datorită timpului de trecere „impulsurile” sînt defazate față de tensiunea aplicată, dioda prezentînd și o rezistență negativă dacă acest defazaj depășește 90°. Datorită acestui fapt dioda poate produce, într-un circuit rezonant, oscilații de frecvență foarte înaltă (gigahertzi).

12.8.3. Dioda PIN

După cum arată și numele, această diodă are o structură de tipul $p-i-n$ (o regiune de mare rezistivitate- i -cuprinsă între două regiuni puternic dopate- $n-p$). Structura diodei poate fi realizată prin tehnologie planar sau mesa folosind procedeele de difuzie și de epitaxie. Rezistivitatea stratului intrinsec i este de ordinul a 1000—2000 Ωcm . Aceste diode foarte utilizate în domeniul microundelor în circuite de comutație, de modulare etc, se mai numesc și diode cu impedanță (rezistență**) comandată; de aici rezultă și una din principalele lor aplicații și anume aceea de element (rezistență) reglabil în înaltă frecvență comandat în curent continuu sau în curent de joasă frecvență.

12.8.4. Dioda Gunn

Aceste tipuri de diode se deosebesc de cele precedente, care sînt dispozitive planar, prin aceea că funcționarea lor se bazează pe procese care apar în volumul unui semiconductor care nu are joncțiuni pn .

Aceste componente relativ noi, au produs o revoluție în domeniul generării frecvențelor ultraînalte în dispozitive solide, deoarece în gama microundelor ele pot furniza puteri mult mai mari decît oricare dispozitive semiconductoare plane.

Aceste dispozitive, prezintă o rezistivitate negativă pe seama trecerii electronilor sub acțiunea unor cîmpuri electrice puternice dintr-o regiune cu o anumită conductivitate, într-o altă regiune, cu altă valoare de conductivitate, unde mobilitatea lor este mult mai mică.

* Frecvențele la care funcționează dioda IMPATT ajung la peste 100 GHz.

** Cea mai importantă proprietate a diodei PIN este aceea că ea apare ca o rezistență „pură” la frecvențe înalte, valoarea rezistenței putînd fi variată între 1 și 10.000 Ω printr-un curent continuu sau de joasă frecvență. Cînd curentul de control este variat continuu dioda PIN se poate utiliza pentru atenuarea sau pentru modularea în amplitudine a unui semnal de radio frecvență.

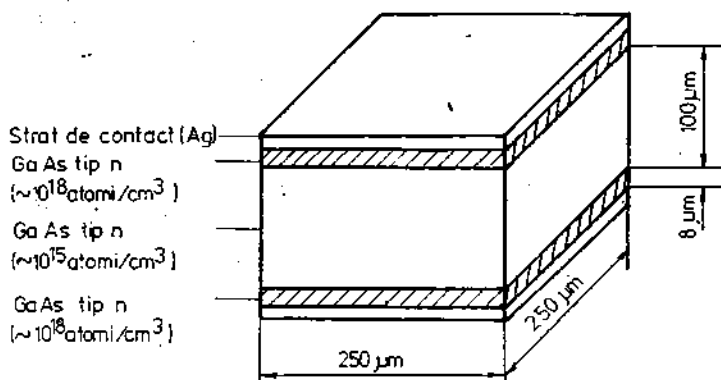


Fig. 12.12. Structură de diodă Gunn realizată epitaxial.

Dioda Gunn a fost realizată de Gunn în anul 1963 folosind ca material semiconductor GaAs. *

Practic, o diodă Gunn se obține prin creștere (mai rar) și prin epitaxie (cel mai frecvent); în figura 12.12 se prezintă schematic o diodă Gunn, care funcționează în gama 1–2 GHz, realizată prin epitaxie. Această diodă poate furniza o putere în impuls de cca 25 W.

12.8.5. Dioda tunel

Principiul de funcționare al acestor dispozitive se bazează pe folosirea efectului tunel, care apare atunci când o particulă traversează bariera de potențial a unui joncțiunii p-n: conform celor discutate, electronii pot trece bariera de potențial numai în cazul când energia lor devine suficient de mare. Dacă însă grosimea joncțiunii p-n este foarte mică, există posibilitatea ca electronii care posedă energii mai mici decât înălțimea barierei de potențial a joncțiunii p-n, să treacă această barieră de potențial; o astfel de trecere prin barieră se numește efect tunel.

Efectul tunel este posibil numai în cazul unor regiuni de trecere extrem de înguste, care se obțin prin impurificarea puternică a materialelor n și p ce formează joncțiunea p-n. De exemplu concentrația regiunilor p și n ajunge până la $10^{21}/\text{cm}^3$, iar grosimea joncțiunii p-n, 100 Å.

Caracteristica volt-amperică a diodei tunel (figura 12.13) poate fi împărțită în trei regiuni:

- regiunea I corespunde unei tensiuni directe mici când numărul de electroni care trec prin bariera de potențial ca urmare a efectului tunel crește cu creșterea tensiunii directe,
- regiunea II, reprezintă porțiunea de caracteristică cu rezistență negativă în care curentul direct se micșorează pe măsură ce crește tensiunea directă,

* Galia-Arseniu (arsenură de galie)

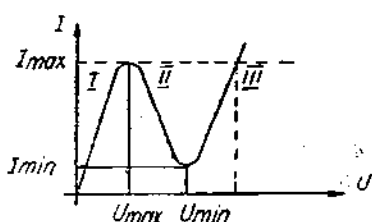


Fig. 12.13. Caracteristica tensiune-curent a diodei tunel.

— regiunea III, corespunde caracteristicii directe a unei diode semiconductoare obișnuite.

Pentru realizarea diodelor tunel se folosește germaniul sau arseniura de galiu; dioda se obține prin aliere. După aliere, suprafața joncțiunii $p-n$ se micșorează (pentru îmbunătățirea caracteristicilor de frecvență ale diodei), printr-o corodare și structura se montează într-o capsulă specială (metal-ceramică).

Parametrii principali ai diodei tunel, menționați în cataloagele firmelor constructoare sînt următorii:

- curentul și tensiunea punctului maxim al caracteristicii I_{max} , respectiv U_{max} ,
- curentul și tensiunea punctului minim al caracteristicii I_{min} , respectiv U_{min} ,
- capacitatea diodei, C_a , suma dintre capacitatea joncțiunii și capacitatea capsulei măsurată la o tensiune dată,
- excursia de tensiune, definită ca tensiunea dintre punctul maxim al caracteristicii și punctul corespunzător aceluiași curent de pe caracteristică în regiunea III.

13. Tranzistoare bipolare

Realizările din ultimul timp pe plan mondial în elaborarea sistemelor electronice integrate, au fost însoțite permanent de progrese în domeniul tranzistoarelor, care au devenit din ce în ce mai specializate, cu performanțe electrice mai bune și cu siguranță în funcționare ridicată.

În construcția tranzistoarelor eforturile pe linia perfecționării tehnologiilor de fabricație s-au axat pe următoarele direcții:

- ridicarea performanțelor frecvență-putere,
- îmbunătățirea proprietăților de comutare,
- creșterea tensiunilor de străpungere,
- reducerea zgomotului,
- creșterea siguranței în funcționare.

13.1. Definiție și clasificare

Tranzistoarele bipolare * sînt dispozitive semiconductoare cu două joncțiuni care funcționează pe baza injectiei de purtători minoritari; ele sînt tranzistoare „obișnuite” folosite pe scară largă în electronică, de cele mai multe ori fiind denumite simplu „tranzistoare” spre deosebire de tranzistoarele monopolare, care sînt denumite „tranzistoare cu efect de cîmp”. De fapt denumirea de „tranzistoare cu joncțiuni” pentru tranzistoarele bipolare este improprie deoarece și tranzistoarele monopolare au joncțiuni.

În funcție de semnul tensiunii de polarizare aplicată electrozilor, tranzistoarele bipolare sînt de tip $p-n-p$ și de tip $n-p-n$.

Din punct de vedere constructiv tranzistoarele se împart în tranzistoare cu contacte punctiforme ** și tranzistoare cu joncțiuni.

După materialul semiconductor utilizat, deoarece materialele semiconductoare frecvent folosite sînt germaniul și siliciul ***, tranzistoarele bipolare se împart în tranzistoare cu germaniu și tranzistoare cu siliciu.

Din punct de vedere al puterii disipate, tranzistoarele se împart convențional, în următoarele grupe:

- tranzistoare de mică putere: $P \leq 0,3 \text{ W}$,
- tranzistoare de medie putere: $0,3 \text{ W} < P \leq 5 \text{ W}$,
- tranzistoare de putere: $P > 5 \text{ W}$.

Din punctul de vedere al frecvențelor de funcționare în circuite electronice, tranzistoarele pot fi clasificate convențional în categoriile:

- tranzistoare de frecvențe joasă $f < 30 \text{ MHz}$,
- tranzistoare de frecvențe înalte: $30 \text{ MHz} < f \leq 300 \text{ MHz}$,
- tranzistoare de frecvențe foarte înalte: $f > 300 \text{ MHz}$.

În continuare se prezintă o clasificare a tranzistoarelor bipolare pe (principalele) tipuri tehnologice. Se reamintește faptul că tehnologiile actuale de realizare a tranzistoarelor bipolare sînt foarte variate și complexe; de aici a rezultat o diversificare mare în modul în care producătorii își denumesc tranzistoarele pe care le fabrică, ajungîndu-se la a-i „încurca” pe electroniștii de circuite, atunci cînd sînt în situația de a-și alege un tranzistor nou pentru aplicații. La crearea acestei stări de fapt au contribuit în bună măsură, și interesele comerciale ale fabricanților care și-au denumit tipurile noi de tranzistoare prin denumiri de efect ca „mesa”, „planar”, „epitaxial”, „overlay”, „hometaxial etc.

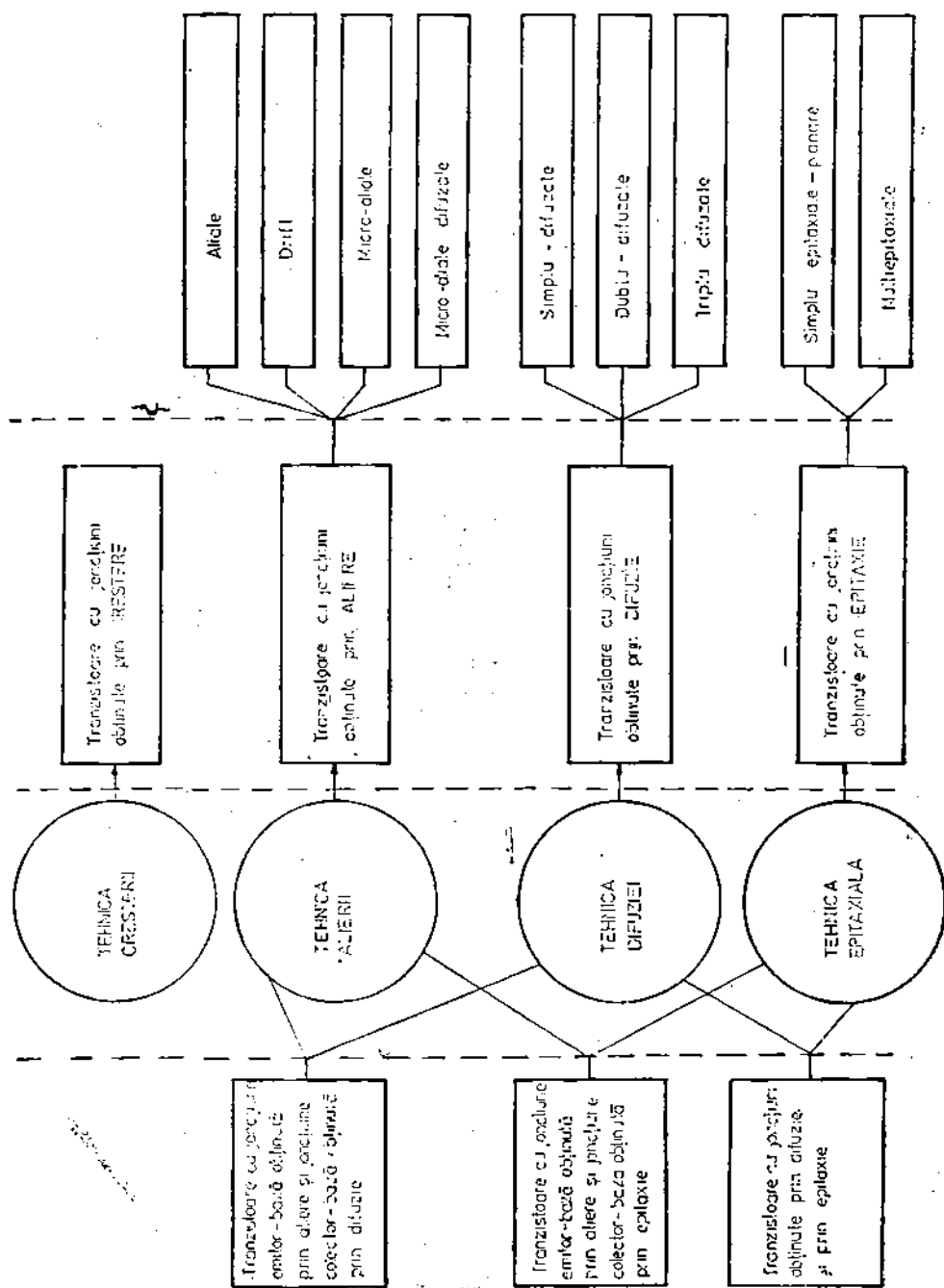
Conform tehnologiei de realizare tranzistoarele bipolare se împart în clase tehnologice conform datelor din tabelul 13.1. Se observă că apartenența în clasa tehnologică este determinată numai de operația tehnologică prin care se formează joncțiunile, în timp ce alte operații tehnologice care com-

* Din punctul de vedere al principiului de funcționare tranzistoarele se împart în două mari categorii: tranzistoare bipolare și tranzistoare monopolare (unipolare).

** Acest tranzistor prezintă doar interes istoric fiind primul tranzistor inventat în anul 1948 de Shockley, Brattain și Bardeen.

*** Se încearcă din ce în ce mai mult utilizarea la realizarea tranzistoarelor și a altor materiale, care au caracteristici (mai) favorabile în anumite condiții de lucru. Se menționează materialele semiconductoare compuse ca de exemplu GaAs și semiconductoarele organice.

Tabela 13.1. Clasificarea tranzistoarelor după tehnologia de realizare.



pletează numai denumirea tipului, ca de exemplu: tranzistoare drift (tranzistor difuzat-aliat) aparține clasei tranzistoarelor aliate, deși, la fabricația lui, intervine și procesul de difuzie iar tranzistorul micro-aliat-difuzat aparține clasei tranzistoarelor aliate.

13.2. Principiu de funcționare

În figura 13.1 este reprezentată structura unui tranzistor bipolar. Regiunea centrală, de tip p , numită bază, este cuprinsă între două regiuni de tip n , numite emitor, respectiv colector. Această structură se numește tranzistor de tip $n-p-n$. Dacă pentru regiunile emitorului și colectorului se alege un semiconductor de tip p și pentru regiunea bazei un semiconductor de tip n , atunci se obține structura tranzistorului complementar de tip $p-n-p$. În ambele cazuri, tranzistorul bipolar are două joncțiuni $p-n$ între care se găsește regiunea bazei.

În funcționare normală, joncțiunea emitor-bază se polarizează în sens direct, iar joncțiunea colector-bază se polarizează în sens invers.

Concentrația purtătorilor în emitor este mult mai mare decât concentrația lor în bază. Din acest motiv, la aplicarea unei polarizări directe joncțiunii emitor-bază curentul prin aceasta, în cazul unei structuri $p-n-p$, va fi determinat în esență de golurile care trec din emitor în bază; în bază se produce deci o injecție de goli. Cum baza este foarte subțire, numai o mică parte din goli se va recombină cu electronii din bază; celelalte goli trecând prin bază vor fi colectate de colector, proces favorizat și de potențialul aplicat acestuia. Apare, în acest fel, un curent relativ intens în circuitul colectorului, cu toate că joncțiunea colector-bază este polarizată în sens invers. Variații mici ale tensiunii de polarizare a joncțiunii emitor-bază vor produce variații mari ale curentului în circuitul colectorului. Deci apariția unui semnal electric în circuitul emitorului va conduce la apariția unei variații corespunzătoare a curentului în circuitul colectorului și deci la apariția unei tensiuni variabile pe un rezistor intercalat în circuitul colectorului. În felul acesta într-un tranzistor se obține o amplificare a curentului și a puterii; factorul de amplificare în curent poate atinge valori de ordinul a 10^3 .

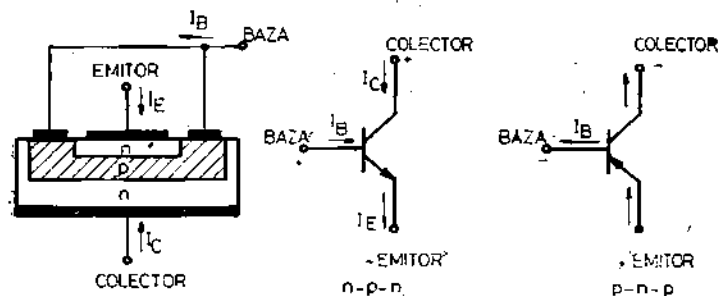


Fig. 13.1. Structura unui tranzistor bipolar (a) și reprezentarea sa în scheme (b; c).

13.3. Tipuri constructive și tehnologie de realizare

Tranzistorul bipolar este o componentă semiconductoră de circuit care se fabrică, în diverse variante tehnologice, în producție de masă.

Tehnologia de fabricație a tranzistoarelor bipolare este reprezentativă pentru fabricația tuturor componentelor semiconductoare, inclusiv a circuitelor integrate.

Independent de varianta tehnologică adoptată, principalele etape ale procesului de fabricație ale unei componente semiconductoare sînt cele menționate în tabelul 13.2, unde s-a luat ca exemplu realizarea unui tranzistor bipolar, prin tehnologia planar.

Tabelul 13.2. Etape ale fabricației unei componente semiconductoare

	Realizare monocristale				
Prelucrări mecanice	Tăiere slefuire lustruire				
Prelucrări chimice	Corodare spălare				
Prelucrări termice	Oxidare	Difuzie bază	Difuzie emitor	Depunere aluminiu și aliere	
Operații de foto - mascare	Fotomascare I (fereastră bază)	Fotomascare II (fereastră emitor)	Fotomascare III (fereastră contacte)	Fotomascare IV (realizare contacte)	
Prelucrări chimice	Spălare	Spălare	Spălare	Spălare	
Montaj măsurători încercări				Decupare montaj măsurători	

13.3.1. Tranzistoare bipolare cu joncțiuni obținute prin aliere

Imposibilitatea de a realiza prin aliere a grosimi de bază de ordinul micrometrului ca și imposibilitatea de a obține arii de colector și emitor foarte mici, limitează domeniul de frecvență al tranzistoarelor aliate la aproximativ 15

MHz; cu unele artificii, cum ar fi impurificarea gradată a bazei, în vederea creării unui cîmp accelerator, se poate ajunge la frecvențe de ordinul $30 \div 100$ MHz (tranzistorul drift).

Tranzistoarele cu joncțiuni aliate, cu germaniu, se pot folosi în bune condițiuni în domeniul amplificării audio în radioreceptoare și televizoare pînă la puteri de 8–10 W, în amplificatoarele industriale care lucrează la temperaturi moderate ale mediului ambiant, în circuite de comutare lentă și în circuite care funcționează la tensiuni de alimentare coborîte. De asemenea, pot fi folosite la amplificatoare de frecvență intermediară sau ca oscilator-convertoare în receptoare de unde lungi (UL), medii (UM) și scurte (US), pînă la aproximativ 15 MHz.

În condițiile țării noastre, capacitatea de producție existentă în fabricația de tranzistoare aliate cu germaniu se folosește (în continuare) pentru acoperirea necesarului în domeniul radio și televiziune și în unele aplicații industriale. Solicitări importante pentru export, adresate I.P.R.S.-Băneasa pentru aceste tranzistoare atestă faptul că o serie de țări, dezvoltate din punct de vedere industrial, folosesc cantități însemnate de tranzistoare de fabricație românească.

Din această categorie fac parte tranzistoarele cu germaniu aliate (de mică putere și de putere), tranzistoarele drift și tranzistoarele cu germaniu microaliate*:

● *tranzistoare cu germaniu de mică putere aliate*. Această familie cuprinde tranzistoarele destinate preamplificării și amplificării finale audio, de tipul EFT 323 (*pn*p) și EFT 373 (*np*n), Ac 180 (*pn*p) și AC 181 (*np*n). În figura 13.2 se prezintă o secțiune prin acest tip de tranzistor. Partea principală a tranzistorului este capsula de germaniu 2 de tip *n* respectiv *p* (pentru tipul *np*n) cu cele două joncțiuni *p-n* (4 și 5), dispuse de o parte și de cealaltă a pastilei de germaniu. Întregul sistem formează o structură *pn*p sau *np*n; de pastila

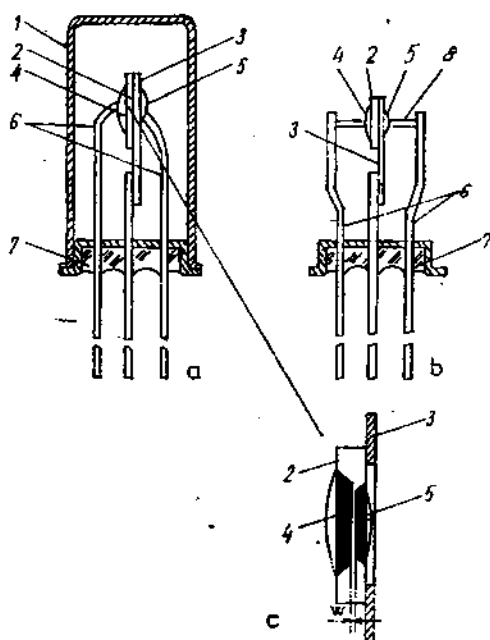


Fig. 13.2. Tranzistor cu germaniu aliat, de mică putere:

a; b — secțiune transversală; c — structură *p-n-p* aliată

* Considerate ca aparținând unei clase speciale, a tranzistoarelor „formate electrochimic”, ele sînt de fapt tranzistoare aliate; se deosebesc de tranzistoarele curent denumite aliate, prin aceea că realizarea structurii lor este mai delicată, de unde și denumirea de tranzistoare microaliate. Deși de mare răsunet la realizare (1953) tehnologia microalierii nu se mai folosește industrial.

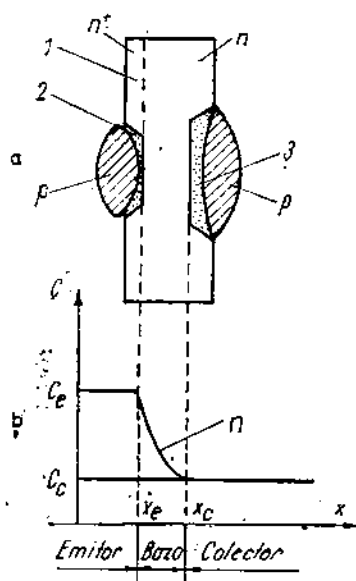


Fig. 13.3. Secțiune prin structura unui tranzistor drift (a) și variația concentrației impurităților în bază (b);

1 — pastilă de germaniu; 2 — regiunea emitorului; 3 — regiunea colectorului.

Figura 13.3, prezintă structura și variația concentrației impurităților în regiunea bazei tranzistorului drift.

de germaniu și de cele două regiuni p , respectiv n externe, se sudează conexiuni metalice, iar întregul sistem se închide într-o capsulă metalică, 1.

● *tranzistoare cu germaniu de putere aliate.* Această familie cuprinde tranzistoare pentru puteri de 5–10 W de tipul AD152 și AD155 pentru etajele finale și tranzistoare pentru puteri de 30–50 W de tipul AD130, 131, 132 și ASZ 15, 16, 17, 18, pentru etajele finale audio, sursele de tensiune stabilizate convertizoare de curent continuu — curent alternativ etc.

● *tranzistoare drift.* Termenul „drift” care definește acest tip de tranzistor a apărut pentru a descrie acțiunea de „antrenare” a purtătorilor minoritari în câmpul electric din bază (se mai numește și tranzistor cu „câmp intern”).

Tranzistoarele drift sînt destinate folosirii în circuitele amplificatoare de frecvență intermediară ($f_i = 450$ KHz) și mixer-oscilator în gamele de UL, UM și US și aparțin clasei tranzistoarelor aliate, deoarece joncțiunile lor se formează prin aliere, deși la fabricarea lor intervine și procesul de difuzie.

În țara noastră se realizează următoarele tipuri de tranzistoare drift: EFT 317, 319, 320.

13.3.2. Tranzistoare bipolare cu joncțiuni obținute prin difuzie-epitaxie

Tehnologia difuziei s-a impus net în fabricația tranzistoarelor bipolare cu siliciu.

În practică tehnica difuziei se utilizează singură sau împreună cu tehnica alierii (în special pentru tranzistoare cu germaniu de tip mesa) și a epitaxiei, pentru realizarea tranzistoarelor cu siliciu pentru o gamă foarte largă de aplicații.

În continuare se vor prezenta câteva din cele mai utilizate tipuri de tranzistoare la care se folosesc tehnicile difuziei și epitaxiei.

Tranzistoare bipolare cu siliciu de mică putere. Realizările actuale în domeniul tranzistoarelor bipolare de mică putere cu siliciu se datoresc tehnologiei planar. Flexibilitatea acestei tehnologii la care se poate adopta practic orice formă geometrică pentru emitor ca și posibilitatea de a modifica ușor profilele de impurități în joncțiuni, permite realizarea de tranzistoare cu frecvențe de funcționare de ordinul gigaherților.

Se fabrică două tipuri de tranzistoare cu siliciu, de mică putere în tehnologia planar: tranzistoarele planar și tranzistoarele planar-epitaxiale. Figura 13.4 prezintă principalele etape tehnologice pentru executarea tranzistoarelor planar și planar-epitaxiale, și anume:

a) *prelucrarea plachetelor de siliciu*; în funcție de tipul tranzistorului de realizat, plachetele pot fi din siliciu de tip n (pentru tranzistoare npn) sau de tip p (pentru tranzistoare pnp). Rezistivitatea monocristalului de

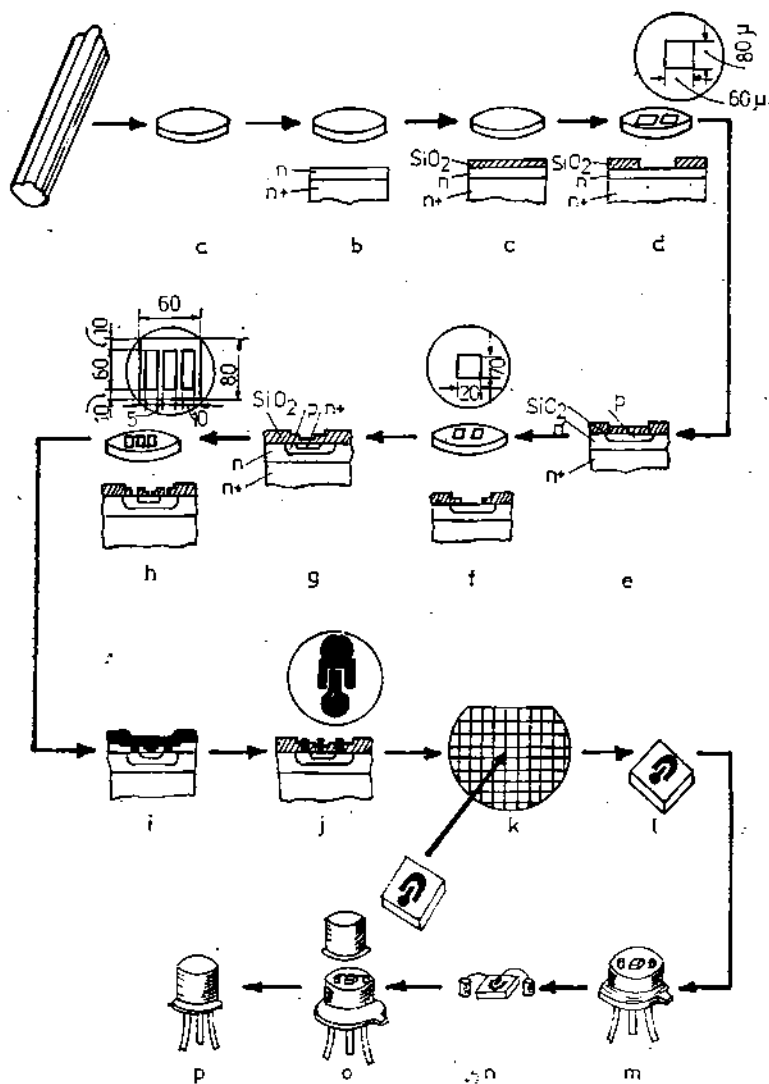


Fig. 13.4. Etape tehnologice pentru fabricarea tranzistoarelor planar și planar-epitaxiale.

siliciu este de ordinul a $1-10 \Omega\text{cm}$ pentru tranzistorul planar, sau de ordinul $0,005-0,05 \Omega\text{ cm}$ pentru tranzistorul planar-epitaxial. Grosimea plachetei de siliciu este de ordinul $120-160 \mu\text{m}$ pentru tranzistorul planar, sau de ordinul a $225 \mu\text{m}$ pentru tranzistorul planar-epitaxial.

b) creșterea epitaxială deoarece tranzistoarele planar epitaxiale au performanțe mai bune decât cele planar (de exemplu tensiune de saturație mică, $0,3 \text{ V}$ față de cca. IV), există tendința ca toate tipurile de tranzistoare să se realizeze în construcția planar-epitaxială. Rezistivitatea stratului crescut se alege între $1-10 \Omega\text{ cm}$ valoare dependentă de mărimea tensiunii de străpungere a joncțiunii colector-bază,

c) oxidarea siliciului: în tehnologia producerii componentelor semiconductoare planar, procesul de oxidare a siliciului este unul din procedeele tehnologice de bază care are o mare influență asupra caracteristicilor finale ale acestor componente. Stratul de bioxid de siliciu (SiO_2) servește ca suport izolator pentru contactele ohmice ale bazei și emitorului tranzistoarelor și protejează de acțiunea mediului înconjurător joncțiunile p-n. Peliculele de SiO_2 se obțin prin două procedee principale:

— *prin creștere.* În acest caz stratul de SiO_2 se obține prin oxidarea siliciului fie în vapori de apă, fie în oxigen uscat, fie în oxigen umed, fie prin oxidare anodică. Procesul de oxidare în acest caz se efectuează în cuptoare de oxidare speciale la temperaturi ridicate (peste 800°C), sau prin electroliză în cazul oxidării anodice,

— *prin depunere.* În acest caz, stratul de SiO_2 se obține pe placheta de siliciu, fie prin evaporarea în vid a monoxidului de siliciu, fie prin descompunerea chimică în fază de vapori al unui compus de siliciu (de exemplu silanul),

d, f, h, j) fotomascarea: Pe drept cuvânt se consideră că tehnologia planar s-a realizat ca urmare a îmbinării a două procedee de bază: difuzia și fotomascarea. Cu ajutorul proceselor de difuzie se realizează cu precizie grosimi și concentrații de impurități drite, în timp ce fotomascarea permite să se formeze configurațiile drite în plan pentru componentele semiconductoare.

Procesul fotomascării cuprinde câteva etape importante și anume: depunerea pe plachetă a stratului de fotorezist și uscarea fotorezistului, expunerea, dezvoltarea și corodarea.

— *depunerea stratului de fotorezist.* Destinația principală a fotorezistului este de a crea regiuni de protecție a suprafeței siliciului, a stratului de bioxid de siliciu sau a suprafețelor metalice, cu configurația drită. Regiunile acestea se creează, ca urmare a acțiunii luminii care, căzând pe anumite porțiuni ale stratului de fotorezist îi schimbă proprietățile care le avea înainte de a fi expus. Astfel, porțiunile luminate nu se dizolvă în anumiți solvenți, în timp ce porțiunile neexpuse la lumină pot fi ușor îndepărtate.

În funcție de modul de formare a regiunii de protecție, fotorezistul se împarte în două clase; negativ și pozitiv. Fotorezistul negativ formează sub acțiunea luminii regiuni de protecție (figura 13.5. b) care rămân pe suprafața substratului pe care a fost depusă; regiunea rămasă reprezintă negativul măștii. Fotorezistul pozitiv din contră, sub acțiunea luminii repetă configura-

rația porțiunilor netransparente ale măștii (figura 13.5. a). După expunere, proprietățile fotorezistului pozitiv se modifică în așa fel încât părțile expuse pot fi înlăturate foarte ușor.

Asupra calității stratului de fotorezist depus o mare influență o are gradul de curățire a suprafeței pe care se face depunerea (a substratului).

Depunerea fotorezistului poate fi făcută prin centrifugare sau prin pulverizare.

— *expunere*. Procesul de expunere se realizează cu lămpi cu cuarț cu putere 250—1000W. Timpul de expunere depinde de sensibilitatea luminoasă a fotorezistului, de puterea sursei de lumină, de distanța de la sursă la placheta ce se expune, de grosimea stratului de fotorezist depus precum și de alți factori.

O importanță deosebită pentru expunere o are calitatea măștii; măștile se realizează din sticlă optică specială cu o bună planeitate a suprafeței.

Operația de expunere se efectuează pe instalații speciale de aliniere măști, cu o precizie extrem de mare. Elementele principale ale unei astfel de instalații sînt următoarele:

— masă pentru fixarea plachetei de siliciu; fixarea se face prin vidare. Pe masă sînt prevăzute posibilități pentru deplasarea micrometrică în sistemul de axe de coordonate și posibilități de rotire precisă, atât pentru placheta de siliciu cît și pentru mască,

— un sistem optic cu microscop atât pentru observarea în lumină normală a imaginilor de expus cît și pentru expunere cu lumină ultravioletă;

— o hotă de protecție împotriva particulelor de praf.

— *developarea și uscarea*. Procesul de developare constă în îndepărtarea porțiunilor de fotorezist neexpuse la lumină în cazul fotorezistului negativ sau a regiunilor expuse la lumină în cazul fotorezistului pozitiv.

— *corodarea*. După ce s-a obținut configurația dorită în pelicula de fotorezist, urmează operația de corodare a acelor porțiuni ale substratului care nu sînt protejate de fotorezist. Agentul de corodare depinde de felul substratului.

În cazul corodării bioxidului de siliciu (pentru realizarea măștilor pentru difuzie) se poate utiliza o soluție de acid fluorhidric.

În cazul corodării siliciului, se folosesc corodanți standard sub formă de amestec de acid fluorhidric, cu acid azotic, cu adaos de acid acetic (v paragraful 10.4.5).

În cazul corodării aluminiului care este materialul cel mai folosit pentru contactele ohmice obținute prin depunere în vid pe suprafața siliciului sau a bioxidului de siliciu, se folosesc soluții pe bază de bioxid de potasiu.

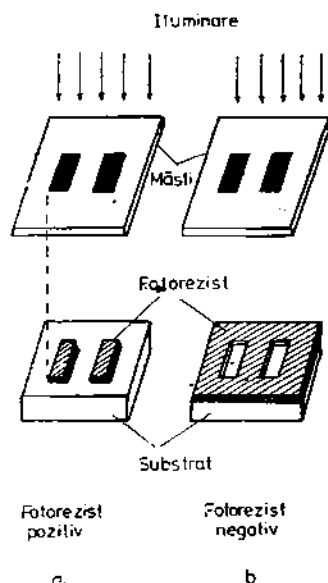


Fig. 13.5. Formarea regiunilor de protecție cu fotorezist: a — pozitiv; b — negativ.

e, g) difuzia: particularitatea operației este aceea că pentru tranzistoarele planar difuzia se face prin ferestrele realizate în oxid în timpul procesului de fotomascare. Impuritățile cele mai frecvent utilizate pentru difuzie, borul și fosforul, nu trec prin stratul de oxid. Grosimea peliculei de SiO_2 pentru masca de difuzie se alege între 0,5–1 μm ,

i) depunerea contactelor ohmice și alierea: pentru tranzistoarele planar, la formarea contactelor ohmice se folosește aluminiu. El se depune, în vid înăntat, pe suprafața plachetei cu structuri, după care se aliază (la temperaturi în jurul a 500°C),

k, l) controlul și tăierea în structuri: după aliere plachetele cu structuri se controlează electric și se marchează structurile defecte pentru a fi îndepărtate. Controlul se realizează automat. Plachetele se taie în pastile,

n) atașarea conexiunilor: se realizează prin termocompresiune, pe instalații speciale, în general automate,

o, p) încapsularea: structura tranzistorului se închide într-o capsulă metalică sau se mulează în material plastic. Principalele tipuri de capsule utilizate pentru încapsularea unor componente semiconductoare sînt date în cataloagele întreprinderilor producătoare.

Tranzistoare bipolare cu siliciu de putere. La realizarea dispozitivelor semiconductoare de putere se pun o serie de probleme legate atât de necesitatea formării de joncțiuni cu suprafețe mari, cît și de încapsulare.

Dezvoltarea actuală a acestui domeniu se face pe două direcții: a) realizarea de tranzistoare de putere la frecvențe ridicate și b) realizarea de tranzistoare de putere la tensiuni ridicate.

Cîteva tipuri constructive sînt menționate în tabelul 13.3 și anume:

- tranzistorul simplu difuzat (structura hometaxială): se realizează prin difuzarea simultană a impurităților pe ambele fețe ale unei plachete uniform dopate inițial. Regiunea emitorului se delimitează printr-o corodare mesa pe una din fețele plachetei difuzate. Această structură are performanțe bune la frecvențe ridicate și are o rezistență de colector foarte mică;

- tranzistorul dublu difuzat mesa: se caracterizează prin tensiuni mari de colector în cazul în care rezistivitatea siliciului inițial (care constituie colectorul tranzistorului) este mare. În acest tip de tranzistor joncțiunile emitorului și bazei sînt formate de aceeași parte a plachetei prin procedee de fotomascare în bioxid de siliciu și difuzie în ferestre. Pentru delimitarea ariei joncțiunii colector bază se face o corodare mesa;

- tranzistorul dublu difuzat planar: acest tranzistor prezintă avantajele joncțiunilor emitor-bază și colector-bază protejate de oxid;

- tranzistorul triplu difuzat planar: structura anterioară, dublu difuzată planar, prezintă o rezistență de colector mare. Tranzistorul triplu difuzat planar are o regiune difuzată pe fața de jos a siliciului care reduce efectiv grosimea regiunii de colector de mare rezistivitate, pînă la o valoare care se alege în funcție de mărimea tensiunii de străpungere a joncțiunii colector-bază. Cu această structură se realizează tranzistoare de curent mare de colector, dar cu tensiuni colector-emitor relativ coborîte.

- tranzistorul dublu epitaxial planar: această structură, cu o regiune de colector de rezistivitate mare, se utilizează la realizarea tranzistoarelor

Tabelul 13.3. Tipuri de tranzistoare bipolare de putere

<p>Secțiune prin tranzistorul "homotaxial"</p>	<p>Secțiune prin tranzistorul planar, triplu difuzat.</p>
<p>Secțiune prin tranzistorul dublu difuzat "mesa"</p>	<p>Secțiune prin tranzistorul dublu epitaxial planar.</p>
<p>Secțiune prin tranzistorul dublu difuzat planar</p>	<p>Secțiune prin tranzistorul triplu epitaxial planar</p>

de putere de tensiuni ridicate (tipuri reprezentative BUX 97 cu $U_{CE} = 400\text{ V}$ și $I_c = 6\text{ A}$ sau BUW 46 cu $U_{CE} = 450\text{ V}$ și $I_c = 15\text{ A}$),

● tranzistorul triplu epitaxial planar: această structură are colectorul compus din trei straturi epitaxiale crescute unul peste celălalt;

— primul strat epitaxial are grosimea 10 micrometri și rezistivitatea $2\ \Omega\text{ cm}$, are rolul de a reduce tensiunea de saturație a tranzistorului, $U_{CE(sat)}$;

— cel de al doilea strat epitaxial gros de 22 micrometri are rezistivitatea $7\ \Omega\text{ cm}$;

— cel de al treilea strat epitaxial, cu rezistivitatea $50\ \Omega\text{ cm}$, are grosimea 30 micrometri și are rolul de a crește tensiunea de străpungere colector bază U_{CBO} la valori de 750–1000 V (tip reprezentativ tranzistorul RCA, 2N 6678 la curenți de peste 15 A),

● tranzistorul overlay *. Este un tranzistor dublu difuzat epitaxial și este tipic pentru frecvențe înalte și putere; utilizează o structură unică de bază în care se găsește un număr foarte mare de emitoare separate, legate între ele prin regiuni difuzate și metalizate așa cum se vede în figura 13.6.

Principalele operații tehnologice pentru realizarea tranzistoarelor overlay se succed după cum urmează. Pe o plachetă substrat de tip n^{++} , foarte puternic dopată, se crește un strat epitaxial gros de 15–20 micrometri de tip n cu rezistivitatea 5 Ω cm. Placheta se oxidează, după care, prin procedee de fotomascare, se realizează în oxid ferestre dreptunghiulare (figura 13.6. a) cu dimensiunile de aproximativ 320×400 micrometri (cazul tranzistorului 2N 3375). În aceste ferestre se difuzează borul, obținându-se un strat de tip p adânc de aproximativ 2,5 μm , care reprezintă baza tranzistorului. Simultan cu difuzia borului în fereastra bazei se crește și un strat de oxid. Urmează o nouă operație de fotomascare în stratul de oxid care acoperă regiunea de tip p difuzată anterior; prin această operație se înlătură oxidul de pe întreaga suprafață a regiunii bazei cu excepția unui număr de 156 pătrate cu dimensiunile $17,5 \times 17,5$ μm , așa cum rezultă din figura 13.6. b. Pentru a avea o imagine cu privire la precizia cu care trebuie efectuată această operație de fotomascare se menționează că lățimea regiunilor din care se înlătură oxidul (sau altfel spus, distanța dintre două pătrate succesive) este de 7,5 μm (această dimensiune se reduce și mai mult, atunci când numărul emitoarelor crește). În regiunile neprotejate de oxid se efectuează o nouă difuzie p^+ cu bor, de data aceasta la o concentrație superficială mult mai mare, și, ca atare, în aceste porțiuni difuzate cu bor se obține regiunea bazei puternic dopată, ceea ce contribuie la micșorarea rezistenței serie a bazei tranzistorului. În fiecare din cele 156 pătrate care reprezintă partea activă a bazei, dopată mai slab, se realizează un număr egal de emitoare (156), de asemenea prin fotomascare (figura 13.6.c). Dimensiunile emitorului sînt $12,5 \times 12,5$ μm (pătratul emitorului trebuie să se înscrie foarte precis în cel al bazei, cu dimensiunile $17,5 \times 17,5$ μm); rezultă că distanța dintre toate laturile regiunii emitorului pînă la baza puternic dopată este de numai 2,5 μm , ceea ce necesită utilizarea unor instalații de aliniere măști cu o precizie foarte mare (± 1 μm). Adîncimea de difuzie a fosforului pentru emitor este de 1,8 μm . Simultan cu difuzia fosforului are loc și creșterea oxidului în pătratele emitoarelor. Urmează o nouă operație de fotomascare pentru realizarea contactelor bazei și emitorilor; pentru aceasta în fiecare emitor se corodează ferestre de $7,5 \times 7,5$ μm , iar pentru bază se corodează o fereastră ai cărei dinți pătrund în regiunile puternic dopate p^+ ale bazei (figura 13.6. d). După corodarea oxi-

* Termenul overlay s-ar putea traduce în context ca „tranzistoare învelite”. Tehnologia overlay (patentată în 1963) a fost adoptată de toate firmele producătoare de tranzistoare de putere de frecvențe înalte. S-au realizat tranzistoare cu frecvențe peste 100 MHz la puteri de ordinul zecilor de wați (tipuri de catalog ICCE, 2N 3375 cu $P_c = 7,5$ W și $f_T = 500$ MHz; 2N 3632 cu $P_c = 13,5$ W, și $f_T = 400$ MHz).

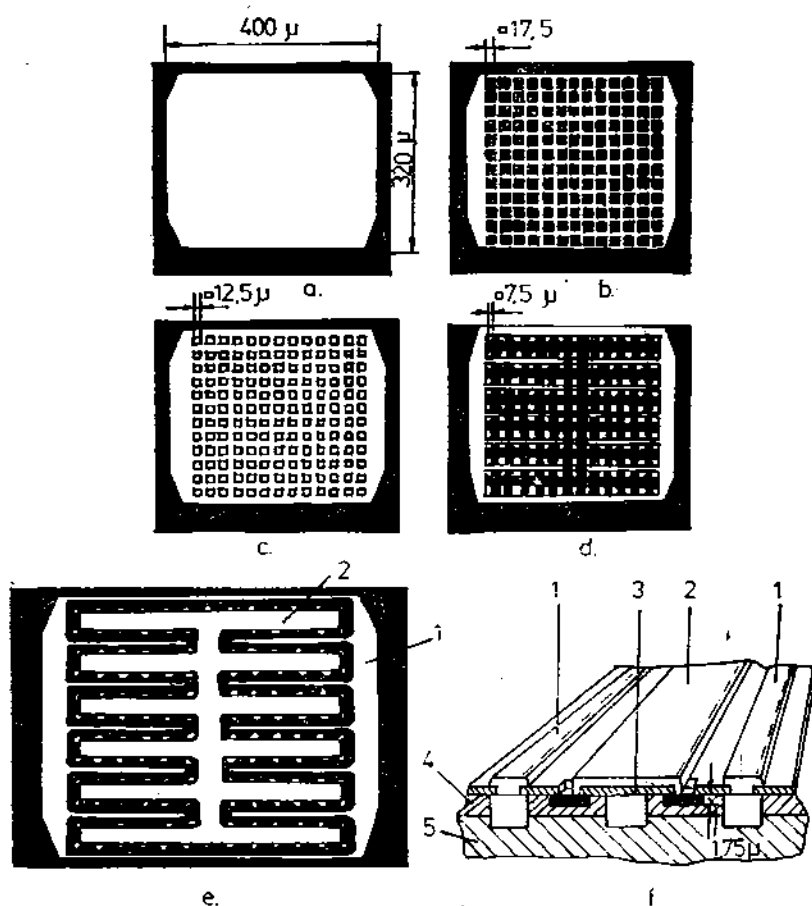


Fig. 13.6. Tranzistorul overlay de tipul 2N3375 (ICCE):

a — realizarea ferestrei bazei; b — realizarea regiunii bazei puternic dopată (în afara pătratelor negre care reprezintă bazele slab dopate pentru un număr de 156 tranzistoare); c — realizarea celor 156 emitoare prin difuzie; d — realizarea ferestrelor în stratul de SiO_2 pentru metalizare; e — structura tranzistorului cu contactele bazei și emitorului depuse; f — structura unei celule a tranzistorului multiemitor:
 1 — metalizarea bazei cu aluminiu; 2 — metalizarea emitorului; 3 — peliculă izolatoare de SiO_2 ; 4 — regiunea bazei (tip p); 5 — colector.

dului în regiunile menționate anterior, pe întreaga suprafață a plachetei se depune, în vid, aluminiu. Urmează a 5-a operație de fotomascare pentru înlăturarea aluminiului din regiunile unde nu este necesar, astfel că în final se obține o structură ca în figura 13.6. e.

Se menționează că realizarea celor mai moderne tipuri de tranzistoare de putere, de înaltă frecvență, nu este mai ușoară decât obținerea unor circuite integrate.

13.4. Moduri de conectare în circuite electrice

Tranzistorul bipolar poate fi conectat în etaje de amplificare în trei moduri distincte (figura 13.7) care se deosebesc între ele după felul în care se leagă la masă electrodul comun al intrării și ieșirii; citeva particularități funcționale ale celor trei scheme sînt menționate în tabelul 13.4.

● În schema cu bază comună (BC) semnalul de intrare se aplică pe terminalele emitor și bază, iar sursa de alimentare a colectorului și rezistența de sarcină între terminalul colectorului și bază. Etajul de amplificare realizat cu această schemă are rezistența de intrare mică (de ordinul unităților de ohmi) și rezistența de ieșire mare (de ordinul sutelor de kilohmi). Rezistența mică de intrare a acestei configurații constituie unul din dezavantajele ei care se resimte în cazul montajelor cu mai multe etaje de amplificare în care această rezistență (de intrare) reduce, printr-o acțiune de șuntare, rezistența de ieșire a etajului precedent, micșorîndu-i amplificarea în tensiune. Din motivul acesta, între etajele de amplificare cu tranzistoare legate în configurația BC se conectează rețele speciale de adaptare (de exemplu transformatoare coboritoare), ceea ce limitează domeniul de utilizare al acestei scheme. Scheme BC permit realizarea de amplificatoare cu amplificare în putere și în tensiune pînă la 1000. Amplificarea în curent în cazul acestui montaj (α) definită prin raportul dintre variația curentului de colector ΔI_C și variația curentului de emitor ΔI_E este dată de expresia:

$$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$$

● În schema cu emitorul la masă (EC) semnalul de intrare se aplică între terminalele emitor și bază, iar sursa de alimentare a colectorului și rezistența de sarcină se leagă între terminalele colector și emitor. Caracteristic schemelor EC este faptul că mărirea de intrare o constituie curentul de bază, de valoare foarte mică așa cum s-a arătat mai înainte, și nu curentul de emitor; aceasta face ca rezistența de intrare a montajului EC să fie mai mare decît în cazul montajului BC, ajungînd la valori de ordinul sutelor de ohmi. Rezistența de ieșire a schemei EC este de asemenea suficient de mare, ajungînd la valori de ordinul zecilor de kilohmi. Într-o serie de situații practice pot fi realizate amplificatoare cu mai multe etaje cu tranzistoare în configurația EC fără rețele speciale de adaptare între etaje. Amplificarea în curent

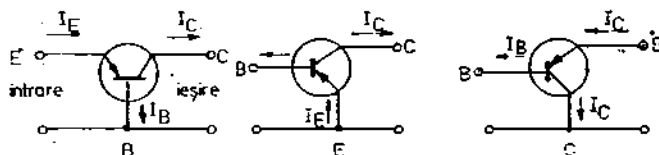


Fig. 13.7. Moduri de conectare a tranzistorului bipolar în circuite electronice:

a — schema cu baza comună (BC), b — schema cu emitorul comun (EC), c — schema cu colectorul comun (CC).

În acest caz, notată prin β , este definită prin raportul dintre variația curentului de ieșire (I_c) și variația curentului de intrare (I_b),

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

● În schema cu colectorul comun (CC), curentul de intrare este curentul de bază, iar curentul de ieșire, care străbate rezistorul de sarcină, este curentul de emitor. Coeficientul de amplificare în curent, A_I , al etajului de amplificare în configurația CC este dat de relația:

$$A_I = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_c - \Delta I_c} = \frac{1}{1 - \frac{\Delta I_c}{\Delta I_c}}$$

sau

$$A = \frac{1}{1 - \alpha}$$

Rezistența de intrare a montajului CC este foarte mare (de ordinul zecilor și sutelor de kilohmi), iar rezistența de ieșire, foarte mică (de ordinul zecilor sau sutelor de ohmi). Din motivul acesta etajul de amplificare cu tranzistorul montat în configurația CC are un factor de amplificare în tensiune subunitar (0,9—0,95), iar amplificarea în putere ceva mai mare. Acest montaj se utilizează în practică mai rar decât schemele EC și BC și în general se folosesc pentru adaptarea rezistențelor între ieșirea amplificatoarelor și rezistoare de sarcină de rezistență mică.

Tabelul 13.4. Caracteristici ale etajelor de amplificare cu tranzistoare bipolare

Parametrul etajului de amplificare	Schema de conectare a tranzistorului		
	BC	EC	CC
Rezistența de intrare [Ω]	mică	medie	mare
	unități	sute	zeci de mii
Rezistența de ieșire [Ω]	mare	medie	mică
	sute de mii	sute	zeci
Amplificarea în curent	sub 1	10—100	peste 10
Amplificarea în tensiune	până la 1000	peste 100	sub 1
Amplificarea în putere	până la 1000	până la 10 000	10

13.5. Caracteristici electrice ale tranzistoarelor bipolare

Pentru calculul montajelor cu tranzistoare bipolare se consideră patru mărimi caracteristice: tensiunea și curentul de intrare cu tensiunea și curentul de ieșire; rezultă deci patru familii de curbe pentru reprezentarea completă a funcționării unui tranzistor. Majoritatea constructorilor publică familii de curbe caracteristice de intrare și de ieșire în configurația tranzistorului EC și BC.

13.5.1. Regimul static

În schemele cu tranzistoare în configurația BC, caracteristica de intrare reprezintă dependența curentului de emitor în funcție de tensiunea dintre emitor și bază U_{EB} la tensiune constantă între colector și bază U_{CB} : $I_E = f(U_{EB})$ la $U_{CB} = \text{constant}$. În aceeași configurație, caracteristica de ieșire reprezintă dependența curentului de colector de tensiunea de colector la curent de emitor constant: $I_C = f(U_{CB})$ la $I_E = \text{constant}$.

În schemele cu tranzistoare în configurația EC caracteristica statică de intrare reprezintă variația curentului de bază în funcție de variația tensiunii bază-emitor la tensiuni colector-emitor constante: $I_B = f(U_{EB})$ la $U_{CB} = \text{const}$. În aceeași configurație caracteristica de ieșire reprezintă dependența curentului de colector de tensiunea colector-emitor la curenți de bază constanți: $I_C = f(U_{CE})$ la $I_B = \text{const}$.

13.5.2. Regimul dinamic

Regimul de funcționare al tranzistorului în sarcină se numește regim dinamic. La funcționarea tranzistorului în această situație, curenții și tensiunile pe electrozii lui sînt mărimi variabile. Tensiunea sursei de alimentare E_C (figura 13.8) se divide între rezistența de sarcină R_C și între colector-emitor conform relației:

$$U_{CE} = E_C - I_C R_C$$

Această relație reprezintă ecuația regimului dinamic pentru circuitul cu tranzistor considerat în figura 13.8. *a*. În figura 13.8. *b* este reprezentată dreapta de sarcină caracterizată prin următoarele două puncte:

$$U_{CE} = E_C \quad \text{pentru} \quad I_C = 0$$

$$I_C = \frac{E_C}{R_C} \quad \text{pentru} \quad U_{CE} = 0$$

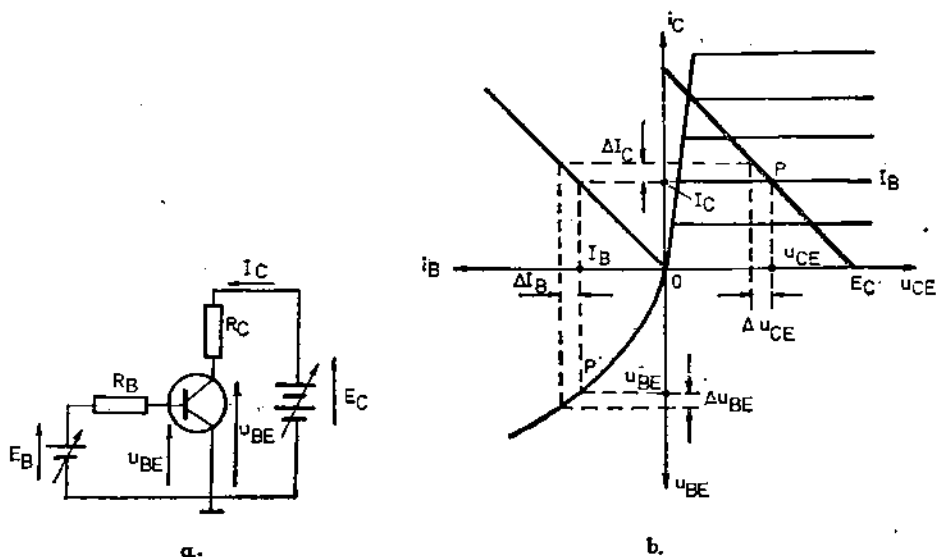


Fig. 13.8. Montaj pentru explicarea regimului de funcționare dinamic (a) și reprezentarea dreptei de sarcină (b).

Pentru determinarea punctului de funcționare P este necesar să se găsească coordonatele punctului de întâlnire dintre dreapta de sarcină cu caracteristica de ieșire a tranzistorului corespunzător unui curent de bază I_B dat.

13.6. Scheme echivalente

Se obișnuiește ca tranzistorul să se reprezinte printr-un cuadripol activ (figura 13.9) la a cărei intrare se aplică tensiunea alternativă U_1 și curentul alternativ i_1 , la ieșire rezultând tensiunea alternativă u_2 și curentul alternativ i_2 . În această reprezentare, valabilă pentru semnale mici de curent alternativ, nu apar tensiunile continue de polarizare. Cuadripolul poate fi asimilat cu o cutie cu patru borne: două de intrare (1-1) și două de ieșire (2-2).

Deoarece această reprezentare pune în evidență două circuite distincte (circuitul de intrare și circuitul de ieșire), se pot aplica relații de calcul cunoscute din electrotehnică (de exemplu legile lui Kirchhoff) din care rezultă două ecuații care leagă între ele cele patru mărimi variabile u_1 , i_1 , u_2 , i_2 .

Rezolvarea sistemului de două ecuații sub forma:

$$u_1 = z_{11}i_1 + z_{12}i_2$$

$$u_2 = z_{21}i_1 + z_{22}i_2$$

permite determinarea parametrilor impedanță ai cuadripolului, respectiv ai tranzistorului.

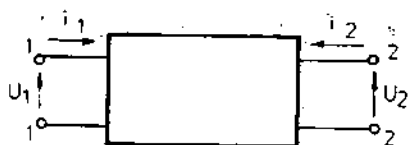


Fig. 13.9. Reprezentarea tranzistorului printr-un cuadripol.

Rezolvarea sistemului de ecuații sub forma:

$$i_1 = y_{11}u_1 + y_{12}u_2$$

$$i_2 = y_{21}u_1 + y_{22}u_2$$

permite determinarea parametrilor admitanță ai tranzistorului (utilizați în special pentru calculul circuitelor de înaltă frecvență cu tranzistoare):

În practică, în special în domeniul frecvențelor joase, sistemul de două ecuații menționat poate fi pus și sub forma:

$$u_1 = h_{11}i_1 + h_{12}u_2$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}u_2$$

din care rezultă așa numiții parametri hibridi ai tranzistorului:

Nu trebuie confundați parametrii dinamici și parametrii statici. Astfel, h_{11} este panta tangentei la caracteristica $i_B = f(U_{BE})$ în punctul de funcționare P_0 (figura 13.8), în timp ce $h_{11E} = U_{BE}/I_B$ — impedanța de intrare statică (sau rezistența în regim continuu), este panta dreptei OP (figura 13.8).

13.7. Utilizări ale tranzistoarelor bipolare

Tranzistoarele se utilizează în cele mai diverse domenii ale electronicii. Printre acestea se menționează: amplificatoarele, oscilatoarele, comutatoarele, blocurile de alimentare etc.

În cele ce urmează se prezintă câteva scheme tipice de utilizare a tranzistoarelor în domeniile menționate.

13.7.1. Amplificatoare * de curent continuu

Amplificatoarele de curent continuu sînt utilizate pentru amplificarea în tensiune și în putere a semnalelor de curent continuu și de curent lent variabil, în instalațiile de reglare automată, în aparatele de măsurare, în instalațiile de calcul analogice etc.

Amplificarea semnalelor de curent continuu se poate realiza în două moduri: 1) direct, în curent continuu și 2) prin transformarea (intermediară) curentului continuu în curent alternativ. Deoarece cel de al doilea procedeu

* Semnalele electrice, furnizate de diferite transductoare electrice (termocuple, microfoane, doze piezo-electrice, antene de recepție, componente optoelectronice etc) sînt destul de mici încît nu întotdeauna pot fi folosite direct, pentru comandă altor transductoare (electromecanice, acustice, luminoase etc) decît dacă sînt amplificate. Amplificarea acestor semnale, care se poate face în curent, tensiune sau putere, poate varia în limite foarte largi (în practică se întîlnesc amplificări de la cîteva unități la sute de mii sau milioane).

este relativ complicat (conține pe lângă amplificatorul propriu zis și o serie de elemente suplimentare) curent se utilizează primul mod de amplificare.

În practică sînt cunoscute diverse scheme de amplificatoare de curent continuu; toate folosesc cuplajul galvanic (direct sau rezistiv, fără elemente reactive — de exemplu capacități și inductanțe) între etaje.

În figura 13.10 se prezintă schema unui amplificator de curent continuu de tip diferențial. Se constată că R_1, R_2, T_1, T_2 formează o punte, în ale cărei diagonale sînt conectate tensiunea de alimentare E_C și rezistența de sarcină (de pe care se culege tensiunea de ieșire u_{ies}). Cu potențiometrul P_1 se realizează echilibrarea brațelor punții astfel încît la $u_{intr} = 0, u_{ies} = 0$. Tranzistorul T_3 , al cărui regim de lucru este fixat prin rezistorul R_5 , rezistorul R_4 și prin tranzistorul T_4 legat ca diodă, în funcționare dinamică este echivalent cu un rezistor de mare rezistență electrică (zeci și sute de kilohmi).

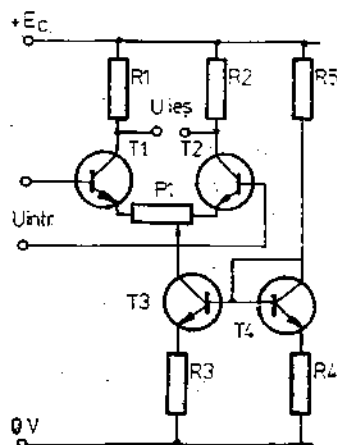


Fig. 13.10. Amplificator diferențial de curent continuu cu tranzistoare bipolare.

13.7.2. Amplificatoare de curent alternativ

În echipamentele electronice, în majoritatea cazurilor este necesară numai amplificarea semnalelor de curent alternativ la care spectrul de frecvență poate fi cuprins într-o bandă de frecvență relativ îngustă (cazul amplificatoarelor selective) sau într-o bandă mare de frecvență (cazul amplificatoarelor de bandă largă).

Dat fiind diversificarea tipurilor constructive ca și multiplele lor utilizări în practică, amplificatoarele de curent alternativ se clasifică după diverse criterii și anume:

După gama de frecvențe de funcționare, amplificatoarele de curent alternativ se pot clasifica în:

- amplificatoare de joasă frecvență (10 Hz ÷ 100 KHz);
- amplificatoare de medie frecvență (100 KHz ÷ 40 MHz);
- amplificatoare de înaltă frecvență (40 MHz ÷ 400 MHz);
- amplificatoare de foarte înaltă frecvență ($f > 400$ MHz).

După mărimea semnalului de comandă în circuitul de intrare:

— amplificatoare de semnale mici, numite și amplificatoare de tensiune sau de curent;

— amplificatoare de semnale mari, numite și amplificatoare de putere,

După modul de cuplare a etajelor unui lanț de amplificare:

- cu cuplaj rezistor-capacitor (RC),
- cu cuplaj prin inductanță-capacitor (LC),

- cu cuplaj prin transformator,
- cu cuplaj prin circuite acordate,

După regimul de funcționare al amplificatorului:

— amplificatoare clasă *A* (la funcționarea amplificatorului în clasă *A*, curentul de ieșire are forma unei sinusoid, elementul amplificator fiind în conducție pe toată durata semnalului; prin urmare în clasă *A* vor funcționa toate amplificatoarele de semnale mici de tensiune sau de curent și mai rar cele de putere),

— amplificatoare clasă *B* (în acest caz curentul are forma unei jumătăți de sinusoidă deoarece elementul amplificator conduce numai o jumătate de perioadă. Semnalul de ieșire este deformat față de semnalul de intrare, dar randamentul etajului de amplificare este mare, motiv pentru care acest gen de montaj se utilizează în amplificatoarele de putere),

— amplificatoarele de clasă *AB* (au o funcționare intermediară între primele două clase, curentul de ieșire având forma unui impuls cu o durată mai mare decât $T/2$, T fiind perioada semnalului de intrare),

— amplificatoare clasă *C* (la funcționarea amplificatorului în clasă *C*, durata curentului de ieșire este mai mică decât $T/2$, el având forma unor vîrfuri de sinusoidă. Caracteristic acestei funcționări este randamentul foarte ridicat și o deformare mare a formei semnalului de ieșire. În general acest mod de lucru se întilnește la amplificatoare de frecvență înaltă).

În figura 13.11 se prezintă grafic cele patru regimuri de funcționare ale amplificatoarelor; din grafice rezultă poziția punctului static de funcționare în fiecare caz în parte.

Performanțele amplificatoarelor se exprimă printr-o serie de caracteristici între care se menționează:

— coeficientul de amplificare în tensiune, sau amplificarea în tensiune, A_u : este raportul dintre tensiunea la ieșirea amplificatorului și tensiunea la intra-

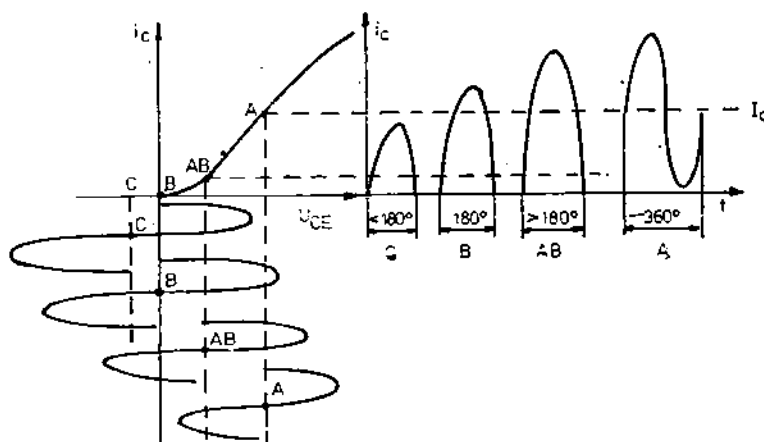


Fig. 13.11. Prezentarea grafică a principalelor regimuri de funcționare ale amplificatoarelor.

rea lui, $A_u = u_{ieq}/u_{intr}$. Exprimată în decibeli * se utilizează expresia $A_u = 20 \log u_{ieq}/u_{intr}$ (dB).

— coeficientul de amplificare în putere, utilizat pentru aprecierea puterii amplificatoarelor de putere, este raportul între puterea la ieșirea amplificatorului și puterea aplicată la intrarea lui, $A_p = P_{ieq}/P_{intr}$ sau, în dB, $A_{dB} = 10 \lg P_{ieq}/P_{intr}$,

— caracteristica de frecvență a unui amplificator reprezintă dependența coeficientului de amplificare A , de frecvența f a semnalului amplificat. De obicei, caracteristica de frecvență se reprezintă grafic în planul $A-f$,

— raportul semnal/zgomot al unui amplificator este raportul dintre tensiunea de ieșire produsă de semnalul amplificat și tensiunea de zgomot propriu. Tensiunea de zgomot a unui amplificator este tensiunea măsurată la ieșirea lui când bornele de intrare li sînt scurtcircuitate; ea se datorește pe de o parte zgomotului componentelor semiconductoare și al componentelor pasive, iar pe de altă parte unor cauze constructive: tensiuni de alimentare insuficient filtrate, cîmpuri electrice și magnetice perturbatoare neecranate etc. Raportul semnal/zgomot se exprimă în dB.

• În continuare se prezintă cîteva exemple de amplificatoare de curent alternativ realizate cu tranzistoare.

Etaje amplificatoare de tensiune. Într-un amplificator format din mai multe etaje, (se consideră cazul amplificatoarelor de joasă frecvență), primele etaje constituie așa numitul amplificator de tensiune, cunoscut și sub denumirea de preamplificator. Rolul preamplificatorului este de a amplifica nedistorsionat tensiunea alternativă aplicată la intrare; tensiunea alternativă amplificată, de unul sau mai multe etaje preamplificatoare, comandă cea de a doua parte a amplificatorului și anume etajul amplificator de putere sau amplificatorul de ieșire.

Schema tip a unui etaj (pre)amplificator RC este prezentată în figura 13.12. Semnalul de intrare u_{intr} , prin condensatorul de separare C_B se aplică între baza și emitorul tranzistorului T , modificînd curentul de colector care trece prin rezistența de sarcină R_C . Tensiunea de ieșire amplificată u_{ieq} se culege între colector și emitor. Rezistențele R_1 și R_2 , legate în serie, pe sursa de alimentare E_c , constituie un divizor de tensiune, prin intermediul căruia se alimentează joncțiunile colector-bază și emitor-bază ale tranzistorului. În circuitul emitorului este conectat rezistorul R_E (pentru început se consideră că C_E nu este în schemă); tensiunea pe acest rezistor, proporțională cu curentul de emitor, este o tensiune de sens contrar pentru joncțiunea emitor-bază. Ca atare, în această

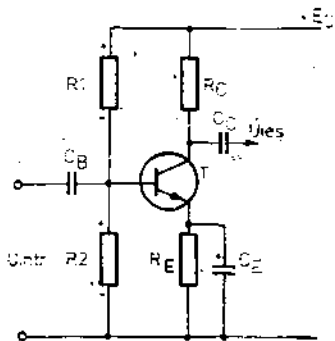


Fig. 13.12. Etaj amplificator cu cuplaj RC.

* Unitate submultiplu zecimal al unității bel ($1 \text{ dB} = 10^{-1} \text{ bel}$). În telecomunicații decibelul e unitatea folosită pentru măsurarea nivelului de transmitere a semnalelor, a atenuării, a amplificării (alături de neper egal cu $20/\ln 10 \approx 0,8686 \text{ dB}$). Belul este unitate de măsură a nivelului de transmitere a semnalelor.

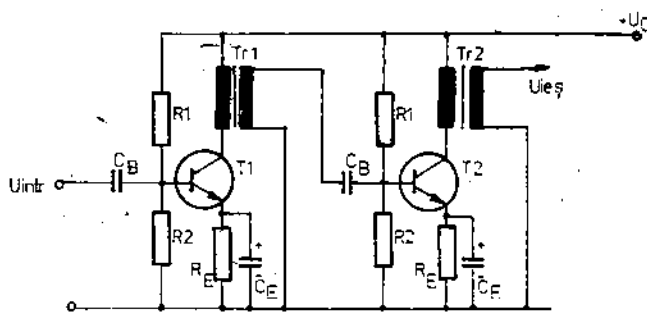


Fig. 13.13. Etaj de amplificare cu cuplaj prin transformator.

schema există o reacție negativă în curent care stabilizează automat regimul de funcționare al etajului la variația parametrilor, tranzistorului. De exemplu, dacă dintr-o cauză oarecare curentul de colector crește atunci și curentul de emitor crește ($I_E = I_C + I_B$) și ca atare crește și tensiunea pe R_E . Creșterea tensiunii inverse în circuitul emitor-bază al tranzistorului conduce la reducerea curentului de bază I_B , care la rîndul lui acționează asupra curentului de colector, reducîndu-l ($I_C = \beta I_B$). Invers dacă dintr-un motiv oarecare curentul de colector se micșorează, atunci se micșorează și tensiunea inversă ce se aplică joncțiunii emitor-bază, crește curentul de bază și prin urmare crește și curentul de colector.

În majoritatea cazurilor R_E se șuntează printr-un condensator C_E de capacitate mare (de ordinul zecilor de μF); prin aceasta se evită reacția negativă în curent alternativ, care în fapt, conduce la micșorarea coeficientului de amplificare în tensiune al etajului.

În figura 13.13 se prezintă schema unui amplificator cu cuplaj prin transformator; avantajul acestui montaj este ușurința cu care se asigură adaptarea etajelor. Condensatorul C_B are rolul de a evita punerea la masă a bazei tranzistorului T_2 prin secundarul transformatorului de cuplaj Tr_1 . Pentru calculul coeficientului de transformare n al transformatorului de cuplaj trebuie cunoscute valorile rezistențelor de intrare și de ieșire ale etajelor cuplate ($R_{i_{n2}}$ și $R_{i_{q1}}$), astfel că $n = \sqrt{R_{i_{n2}}/R_{i_{q1}}}$.

În figura 13.14 se prezintă schema unui (pre)amplificator de tensiune cu posibilitate de corectare a caracteristicii de frecvență. Comutatorul K în poziția a (pentru microfon) introduce o reacție negativă constantă în întreaga bandă. În pozițiile b și c reacția introdusă corectează caracteristica unui cap de magnetofon pentru vitezele 4,76 cm/s respectiv 9 cm/s.

Etaje amplificatoare de putere de joasă frecvență. Etajele amplificatoare de putere trebuie să furnizeze o putere la ieșire suficientă pentru a putea acționa circuitul de sarcină (difuzor, motor, releu etc), cu un randament energetic ridicat și cu distorsiuni minime. Se realizează în două variante: cu un tranzistor (figura 13.15. a) și în contratimp (figura 13.15. b). În marea majoritate a cazurilor, ambele variante folosesc ca circuit de cuplare cu sarcina R_S , transformatorul. În etajele de putere tranzistorul se conectează de obicei cu emitorul comun deoarece în acest caz puterea de comandă pe

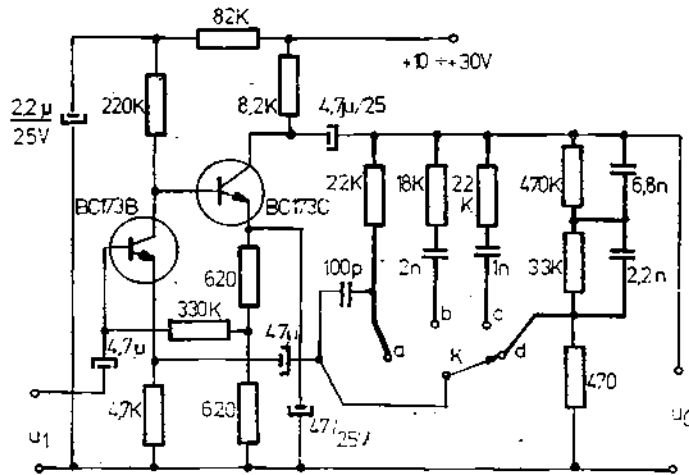


Fig. 13.14. (Pre) amplificator cu corecție fixă a caracteristicii de frecvență.

bază este mai mică decât în cazul celorlalte configurații. Etajul de amplificare în contratimp furnizează putere dublă față de etajul de amplificare cu un tranzistor; transformatorul de ieșire lucrează fără componentă continuă de magnetizare și admite tensiuni alternative de semnal mai mari decât tensiunea de alimentare, în plus, funcționează într-un regim energetic economic, deoarece la fiecare semiperioadă a semnalului de intrare un tranzistor este blocat. În tabelul 13.5 se prezintă câteva caracteristici funcționale ale etajelor de amplificare cu un tranzistor și în contratimp. Etajul de amplificare în contratimp prezentat în figura 13.15 b funcționează în clasă B, fiind comandat, în contratimp, de un amplificator clasă A prin intermediul unui transformator defazor (comanda poate fi realizată și prin cuplaj RC). Cele două tranzistoare finale sunt polarizate din divizorul format din rezistoarele

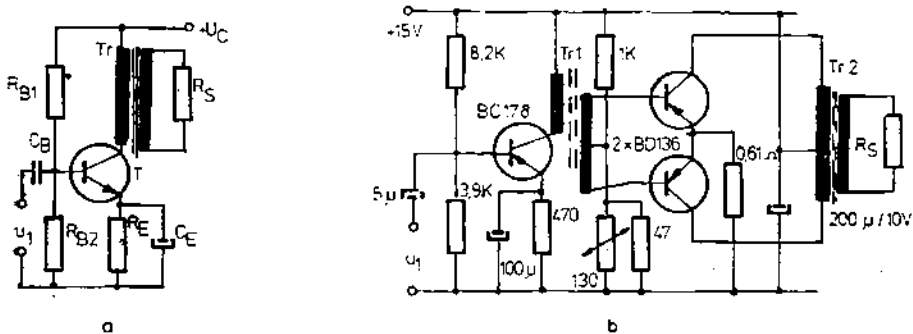


Fig. 13.15. Amplificator de ieșire:
a — cu un tranzistor; b — în contratimp.

de $1\text{ K } \Omega$ și de $47\text{ } \Omega$ cu termistorul de $130\text{ } \Omega$ legat în paralel cu rezistorul de $47\text{ } \Omega$; termistorul se utilizează pentru compensarea cu temperatura a variațiilor tensiunilor U_{BE} ale tranzistoarelor finale și se montează direct pe radiatorul pe care sînt montate tranzistoarele. Rezistența din emitor, de $0,61\text{ } \Omega$, contribuie la creșterea stabilității.

Amplificatoarele cu cuplaj prin transformator au următoarele avantaje față de cele cu cuplaj direct cu sarcina:

- separă galvanic amplificatorul față de sarcină,
- furnizează puteri la tensiuni sau curenți mari, care nu sînt limitate de tensiunea de alimentare a amplificatorului sau de curentul maxim prin tranzistoare.

Tabelul 13.5. Caracteristici funcționale ale etajelor de amplificare în putere, cu tranzistoare bipolare

Parametri	Cuplaj transformator		Cuplaj direct	
	Clasa A	clasa B	Clasa A	Clasa B
Tensiunea de alimentare E_C	$2\sqrt{2}u_0 \cdot n_{01}$	$2\sqrt{2}u_0 \cdot n_{01}$	$2\sqrt{2}u_0 \cdot n_0$	$2\sqrt{2}u_0$
Curentul prin tranzistor I_C	1,25i	0,6i	1,1i	0,55i
Puterea pe un tranzistor P_T	1,15P	0,3P	1,1P	0,28P
Tensiunea max. pe un tranzistor, $U_{CE\max}$	E_C	$2 \cdot E_C$	E_C	E_C

Ele au însă dezavantajele:

- pe transformator apar pierderi suplimentare, de putere,
- transformatorul este costisitor, are gabarit mare și contribuie la îngustarea caracteristicii de frecvență a amplificatorului.

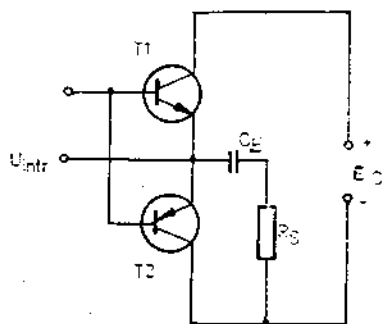


Fig. 13.16. Etaj de amplificare cu tranzistoare complementare fără transformator de ieșire.

O largă utilizare în practică au căpătat-o amplificatoarele finale în contratimp fără transformator; printre schemele cele mai folosite sînt cele care utilizează tranzistoarele complementare ($p-n-p$ și $n-p-n$). Ca exemplu, în figura 13.16 se prezintă schema unui amplificator fără transformator cu tranzistoare complementare. Din figură se vede că tranzistoarele sînt legate în serie cu sursa de alimentare și unul cu celălalt din punct de vedere al curentului continuu, în timp ce intrările și ieșirile lor sînt legate în paralel din punct de vedere al semnalului alternativ.

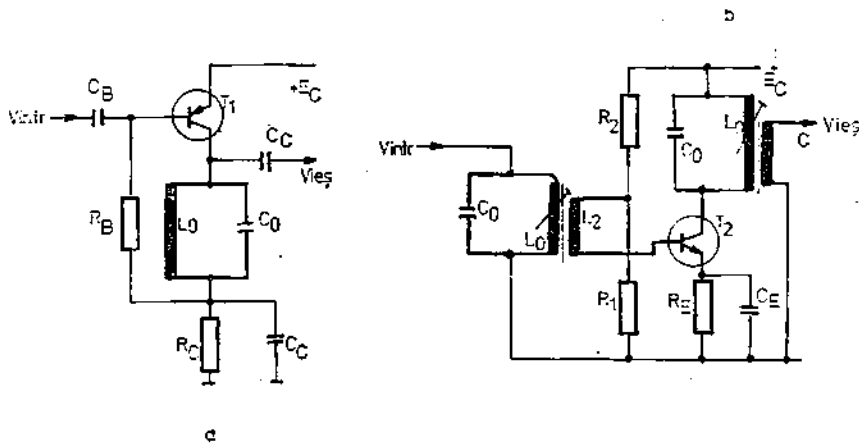


Fig. 13.17. Amplificatoare acordate:

a — cu cuplaj prin condensator; b — cu cuplaj prin circuite acordate.

Amplificatoare acordate. Aceste amplificatoare sînt destinate amplificării oscilațiilor electrice într-o bandă îngustă de frecvențe. Ca sarcină ele folosesc circuite rezonante, acordate pe frecvența de lucru.

În figura 13.17, se prezintă două exemple de amplificatoare acordate. Intrarea și ieșirea semnalelor se poate realiza prin cuplaj capacitiv (figura 13.17 a) sau prin cuplaj cu circuite acordate (fig. 13.17 b).

Circuitul acordat paralel C_0L_0 la frecvența de acord f_0 , se prezintă ca o rezistență suficient de mare în comparație cu parametrul h_{11} al tranzistorului. Tranzistorul T_1 cu polarizare automată prin R_B și R_C (figura 13.17 a) sau tranzistorul T_2 (cu polarizarea în c.c. dată de R_1 , R_2 și R_E) avînd ca rezistență de sarcină circuitele acordate L_0C_0 (figura 13.17 b) amplifică numai componenta de frecvență f_0 . Amplificarea va fi cu atît mai mare cu cît Q -ul circuitului este mai mare.

În cazul în care amplificarea dată de un singur etaj de amplificare nu este suficientă se conectează în serie mai multe etaje.

O schemă practică de amplificator acordat pe frecvența de 455 KHz este dată în figura 13.18; ea constă din două amplificatoare în serie cuplate

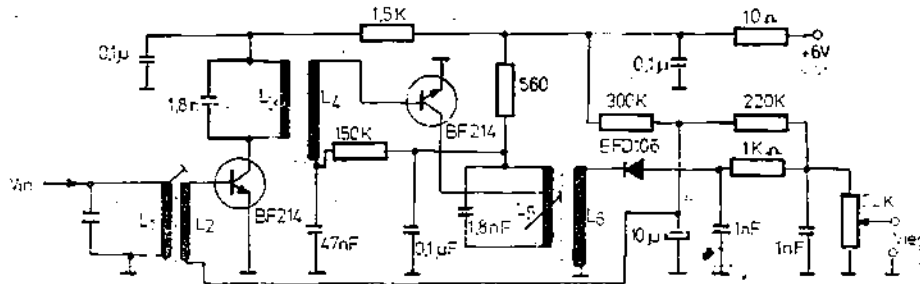


Fig. 13.18. Amplificator de medie frecvență.

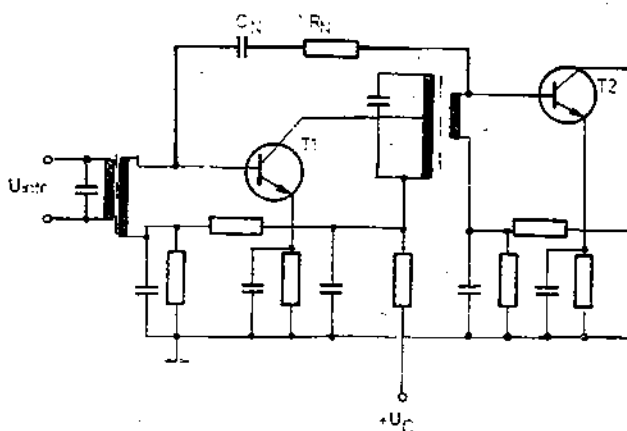


Fig. 13.19. Schema unui etaj de amplificare realizat cu tranzistoare și circuite acordate, neutrodinat.

inductiv. Amplificatorul este prevăzut și cu control automat al amplificării primului tranzistor, a cărei polarizare depinde de mărimea semnalului detectat de diodă. Constructiv, pentru frecvența dată, $L_1 = L_3 = 69 \mu\text{H}$; $L_5 = 800 \mu\text{H}$; $n_2 L_2 / n_1 L_1 = 7 \cdot 10^{-2}$; $n_6 L_6 / n_5 L_5 = 0,6$; L_5 cu priză la $1/2$.

La realizarea amplificatoarelor de înaltă frecvență cu circuite acordate cu tranzistoare, în majoritatea cazurilor se impun măsuri de neutralizare (compensare) a reacției (interne) existente între ieșirea tranzistorului și intrarea sa, reacție care conduce la funcționarea instabilă a întregului amplificator. Compensarea acestei reacții (interne) se realizează prin introducerea din exterior a unei reacții echivalente (neutrodinare) dar de semn contrar. În figura 13.19 se prezintă un etaj tipic amplificator de înaltă frecvență cu circuite acordate, neutrodinat prin rețeaua de reacție $R_N C_N$. Valorile R_N și C_N se aleg astfel încât tranzistorul să devină unidirecțional (impedanțele interne de intrare și ieșire ale cuadripolului „tranzistor + circuit de neutrodinare” nu mai depind de impedanța de sarcină și de impedanța sursei de semnal).

În figura 13.20 se prezintă un exemplu de amplificator selectiv de joasă frecvență; acest tip de amplificator se utilizează în sisteme de automatizare, în telemetrie, comandă la distanță și în tehnica măsurării. Acest amplificator folosește ca rețea de reacție un filtru RC de tipul „dublu T”.

Amplificatoare de bandă. Spre deosebire de amplificatoarele acordate, care amplifică, numai frecvențe fixe cu amplitudine variabilă, amplificatoarele de bandă amplifică semnale a căror amplitudine și frecvență variază între anumite limite fără a distorsiona forma lor de variație în timp. De exemplu, în amplificatoarele receptoarelor cu modulație de frecvență banda lanțurilor de amplificatoare de radiofrecvență sau de frecvență intermediară trebuie să fie de 300 KHz iar la cele de televiziune banda este de 6,5 MHz. În acest caz se utilizează amplificatoare cu tranzistoare în conexiunea EC prevăzute cu corecții la frecvențe joase și la frecvențe înalte; tranzistoarele

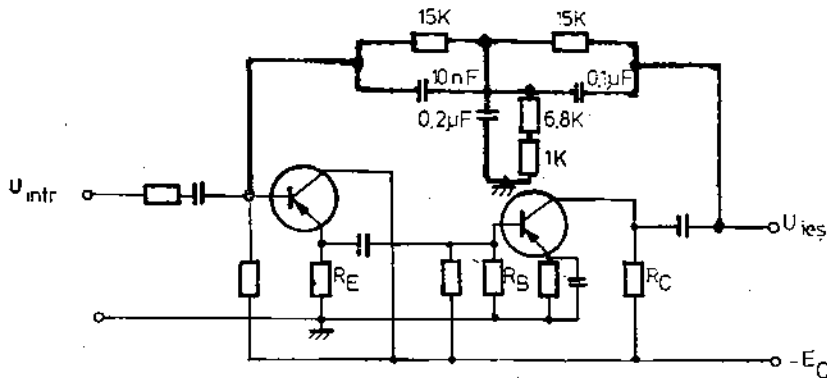


Fig. 13.20. Amplificator selectiv de joasă frecvență cu filtru „dublu T”.

utilizate sînt tranzistoare de înaltă frecvență. În figura 13.21 se prezintă două exemple de amplificatoare de bandă largă cu rețele de corecție.

În schema din figura 13.21 *a*, rolul circuitului de corecție la frecvențe joase este îndeplinit de componentele pasive R_1 și C_1 ; pe măsura reducerii frecvenței semnalului aplicat pe baza tranzistorului, reacțanța condensatorului C_1 , ($X_{C1} = 1/\omega_{iF} \cdot C_1$), crește și ca atare crește rezistența de sarcină echivalentă a tranzistorului și implicit se mărește amplificarea etajului. Creșterea amplificării amplificatorului în domeniul frecvențelor joase compensează influența negativă pe care o are asupra amplificării, atât condensatorul de cuplaj C_B , cit și condensatorul de blocare din emitorul tranzistorului, C_E . Alegerea judicioasă a mărimilor R_1 și C_1 asigură corectarea reducerii amplificării la frecvențe joase, contribuind la creșterea benzii de frecvență (spre frecvențe joase) a amplificatorului.

În schema din figura 13.21 *b* este prezentat modul de corectare a benzii de frecvență a amplificatorului de bandă largă spre frecvențe înalte. Corecția se realizează cu inductanța L_1 , legată în serie cu rezistorul de sarcină R_C din colectorul tranzistorului de înaltă frecvență. Așa cum se vede în figură

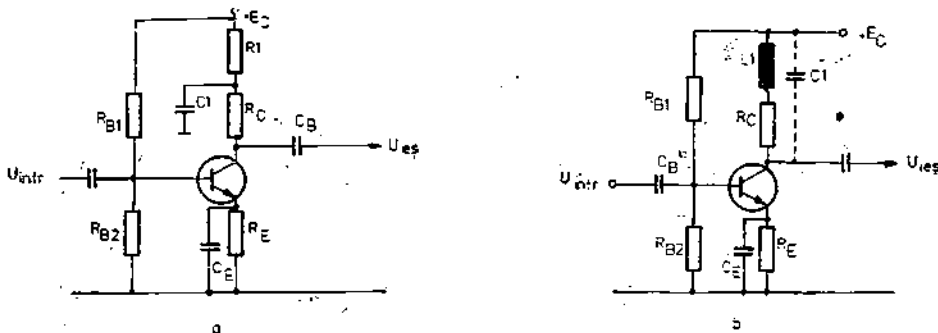


Fig. 13.21. Amplificator de bandă largă:

a — cu corecție la frecvențe joase; *b* — cu corecție la frecvențe înalte.

spre frecvențe înalte, inductanța L_1 formează un circuit acordat cu capacitatea C_1 (în unele cazuri o capacitate parazită sau în alte cazuri o capacitate de valoare mică introdusă în circuit). Pe măsură ce frecvența semnalului aplicat pe baza tranzistorului crește spre frecvența de rezonanță a circuitului $L_1 C_1$, rezistența echivalentă a acestuia crește și ca atare crește și amplificarea etajului. Prin aceasta se asigură lărgirea (spre frecvențe înalte) a caracteristicii de frecvență a amplificatorului.

13.7.3. Oscilatoare cu tranzistoare bipolare

Oscilatoarele se clasifică după mai multe criterii:

După frecvența tensiunii generate, ele se împart în:

- oscilatoare de joasă frecvență: $f = 0,01 \div 100$ KHz,
- oscilatoare de înaltă frecvență: 100 KHz $< f < 100$ MHz,
- oscilatoare de foarte înaltă frecvență: $f > 100$ MHz.

După structura rețelei de reacție oscilatoarele se împart în:

- oscilatoare RC,
- oscilatoare LC,

După modul de generare a semnalului oscilatoarele se împart în:

- oscilatoare cu rezistență negativă (realizate cu componente care prezintă rezistență negativă: diode tunel; tranzistoare unijuncțiune etc),
- oscilatoare cu reacție.

Deosebirea dintre un oscilator și un amplificator este aceea că unui amplificator i se aplică la intrare un semnal din exterior pe care-l amplifică, iar unui oscilator nu i se aplică nici un fel de semnal, oscilația de la ieșirea lui fiind produsă de însuși circuitul electronic alimentat de la surse de curent continuu.

În continuare se prezintă câteva tipuri de oscilatoare cu tranzistoare utilizate mai des în aplicații.

Oscilatoare LC cu cuplaj prin transformator. În figura 13.22 se prezintă schema de principiu a unui oscilator LC cu cuplaj prin transformator. Polarizarea bazei tranzistorului se realizează în prezența oscilațiilor, prin rezistorul din bază R_B prin care trece componenta continuă a curentului de bază. În momentul aplicării tensiunii de alimentare, în circuitul acordat din colectorul

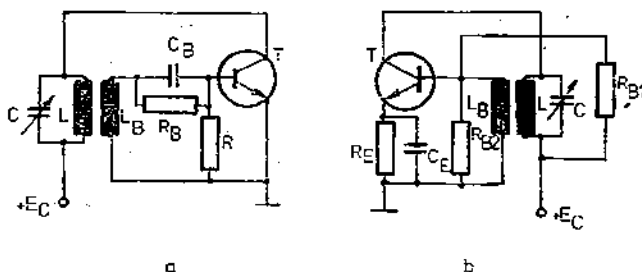


Fig. 13.22. Schema de principiu a unui oscilator cu tranzistor bipolar cu cuplaj inductiv (prin transformator):

a — polarizare automată serie a joncțiunii emitor-bază; b — polarizare automată paralel a joncțiunii emitor-bază.

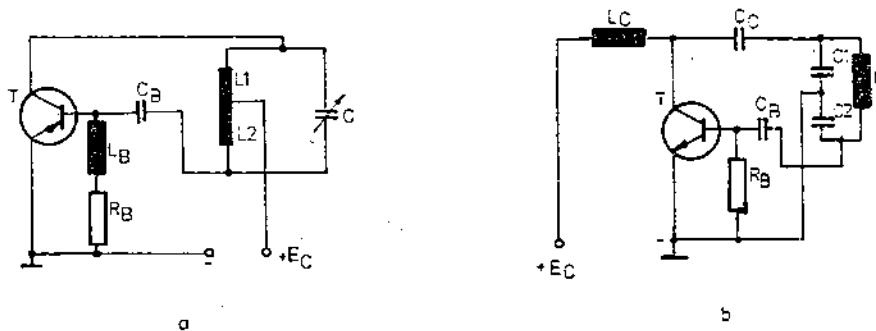


Fig. 13.23. Oscilator în trei puncte:

a — cu cuplaj inductiv (tip Hartley), b — cu cuplaj capacitiv (tip Colpittz)

tranzistorului iau naștere oscilațiile electrice, care se transmit în circuitul bază-emitor al tranzistorului. Frecvența de oscilație a acestui generator este dată de relația $f = 1/2\pi\sqrt{LC}$.

Oscilator LC cu cuplaj prin autotransformator. În figura 13.23 a se prezintă schema unui oscilator cu tranzistor bipolar, de tip Hartley, cu cuplaj inductiv prin autotransformator. Oscilatorul funcționează pe baza unei reacții pozitive puternice spre circuitul bază-emitor. În practică acest tip de oscilator este mai ușor de realizat și mai economic, față de schema cu cuplaj prin transformator, deoarece necesită o singură bobină și în plus, are avantajul unei reglări simple a factorului de reacție prin schimbarea prizei bobinei.

Oscilator LC cu cuplaj prin condensator. În figura 13.23 b) este dată schema de principiu a unui oscilator în trei puncte cu cuplaj prin condensator (reacție capacitivă); la acest montaj cele trei puncte sînt localizate pe ramura capacitivă a circuitului acordat. Condensatorul C_2 este condensatorul de reacție, iar tensiunea la bornele lui este tensiunea de reacție care se aplică pe bază.

Oscilator RC cu rețea de defazare. Pentru gama frecvențelor joase se utilizează în mod curent oscilatoare RC.

În figura 13.24 se prezintă două tipuri de oscilatoare RC cu rețea de defazare. Deoarece rețeaua de defazare (cele trei celule RC) introduce și o atenuare,

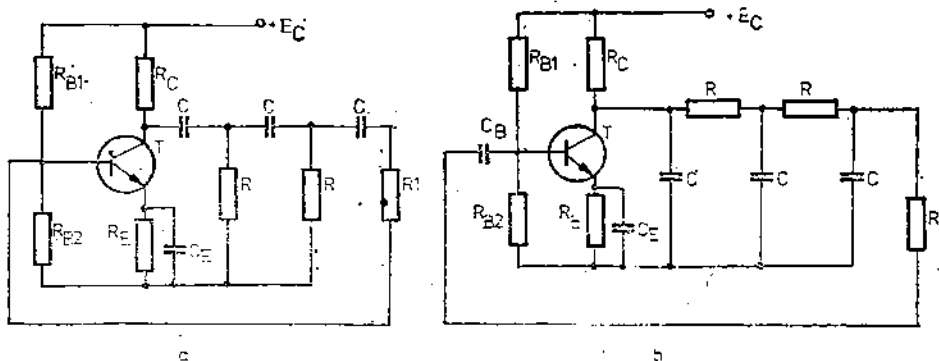


Fig. 13.24. Oscilator cu rețea de defazare RC:

a — cu rețea trece sus; b — cu rețea trece jos.

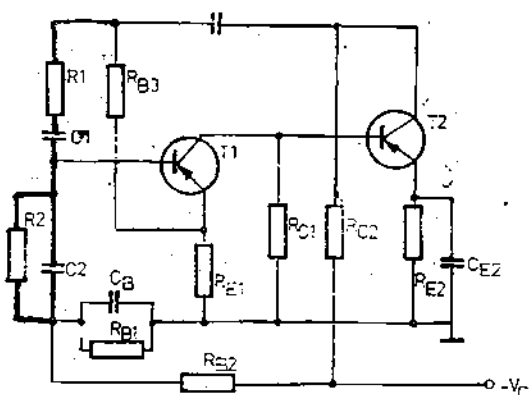


Fig. 13.25. Oscilator cu punte wien.

asigurarea reacției pozitive). Frecvența de oscilație pentru acest tip de oscilator este dată de relația:

$f = 1/2\pi(\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2})$ sau, pentru $R_1 = R_2 = R$ și $C_1 = C_2 = C$, $f = 1/2\pi = \sqrt{RC}$. Rezistoarele R_1 și R_2 au de obicei rezistența fixă și determină gama de frecvențe. Condensatoarele C_1 și C_2 sunt identice și variabile, montate pe același ax, și se utilizează pentru modificarea lentă a frecvenței generatorului în mod continuu.

13.7.4. Schimbătoare de frecvență

Circuitele schimbătoare de frecvență (cunoscute și sub denumirea de convertoare de frecvență) realizează adunarea sau scăderea în frecvență a două sau mai multe semnale electrice.

Avantajul practic al schimbării de frecvență constă în aceea că semnalele a căror frecvență variază într-o bandă largă, pot fi amplificate cu circuite acordate într-o bandă îngustă eliminându-se astfel numărul mare de circuite acordate continuu variabile.

Schema de principiu a unui circuit schimbător de frecvență cu diodă este prezentată în figura 13.26. Sursa de semnal eg_1 , generează un semnal de frecvență f_1 de amplitudine mare. Sursa de semnal eg_2 , generează semnal de frecvență f_2 , cu o amplitudine mult mai mică decât a semnalului generat de eg_1 . Semnalul dat de eg_1 face ca conductanța diodei D_1 să varieze odată cu frecvența f_1 . Pentru semnalul dat de eg_2 și aplicat pe dioda D_1 prin R_2 , dioda se comportă ca o rezistență variabilă în timp. Din această cauză, curentul prin diodă are o formă complicată, care conține și un semnal a cărei frecvență este $f_2 \pm f_1$. Separarea, acestui semnal se poate face cu ajutorul circuitului LC acordat pe frecvența $f_2 - f_1$, conectat în derivație pe rezistența de sarcină R_3 . Toate semnalele care diferă ca frecvență de $f_2 - f_1$ se „scurg” prin circuitul derivație. Raportul între amplitudinea semnalului de frec-

nuare a tensiunii de ieșire a tranzistorului pentru a se satisface condiția de amorsare și menținere a oscilațiilor trebuie ca factorul de amplificare în curent al tranzistorului să fie relativ mare ($\beta > 50$).

Oscilatoare RC cu circuite selective. Aceste oscilatoare utilizează rețele de reacție de tip RC și au proprietatea că la o anumită frecvență oscilează. În figura 13.25 se prezintă schema unui oscilator cu punte Wien. Oscilatorul necesită două etaje de amplificare (al doilea etaj se utilizează pentru

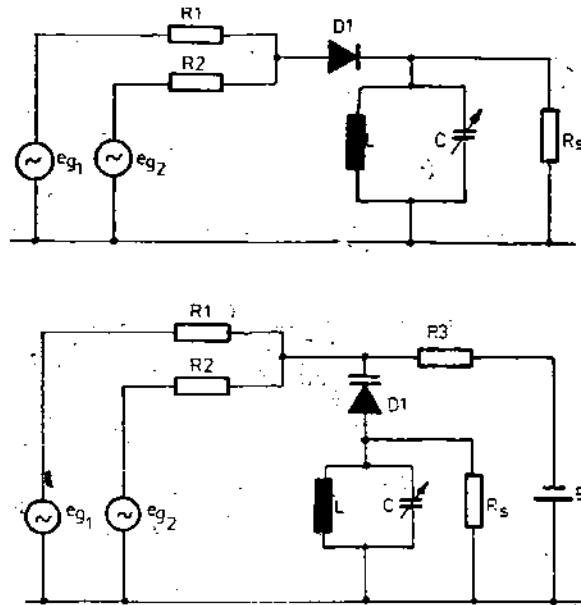


Fig. 13.26. Schimbător de frecvență cu diodă.

vență ($f_2 - f_1$) și amplitudinea celorlalte semnale de frecvențe diferite de ($f_2 - f_1$) depinde de amplitudinea acestora și mai ales de „Q-ul” circuitului acordat.

În figura 13.26.b este prezentată schema unui schimbător de frecvență cu diodă varicap. Funcționarea acestui circuit este în esență aceeași ca în cazul circuitului precedent cu diodă; utilizarea diodei varicap prezintă avantajul unei caracteristici neliniare capacitate-tensiune pe care o prezintă dioda, ceea ce contribuie la creșterea considerabilă a eficienței circuitelor de schimbare a frecvenței, deoarece față de circuitele cu diode obișnuite (dioda fiind polarizată în direct o parte din putere se pierde pe ea) dioda varicap fiind polarizată în invers din punct de vedere teoretic nu produce pierderi de putere activă în circuit, randamentul ajungând pînă la 90%.

În figura 13.27 se prezintă schema de principiu a unor circuite schimbătoare de frecvență cu tranzistoare. În cazul figurii 13.27 a se arată un circuit amestecător de tip aditiv la care cele două semnale ale generatoarelor g_1 și g_2 de frecvență f_1 și f_2 se introduc în baza tranzistorului. Deoarece joncțiunea bază-emitor a tranzistorului se comportă ca o diodă deschisă au loc aceleași fenomene ca și la amestecătoarele cu diodă. Curentul prin joncțiunea bază-emitor, fiind curentul de bază al tranzistorului, va fi regăsit amplificat cu factorul β , în curentul de colector. Cu ajutorul circuitului LC acordat, din colector, se selectează din spectrul curentului de colector, numai

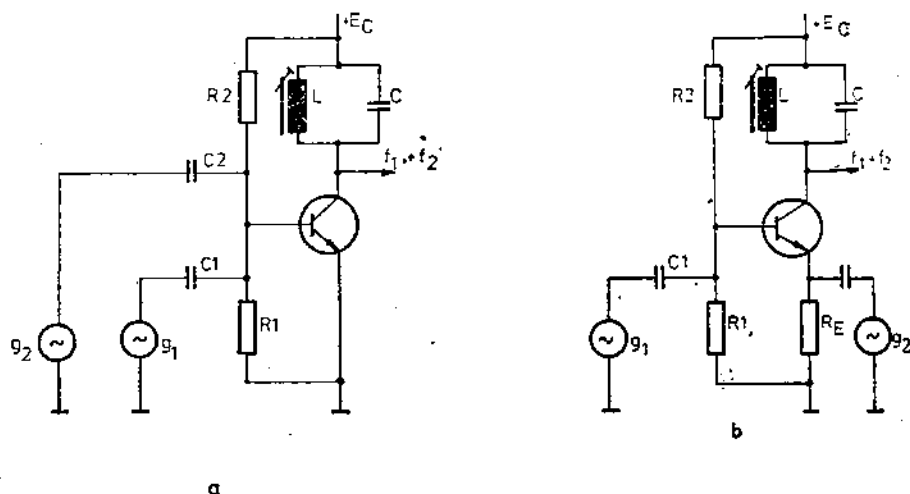


Fig. 13.27. Amestecător de frecvență cu tranzistoare bipolare:
a — de tip aditiv; b — de tip diferențial.

componenta dorită. Circuitul amestecător din figura 13.27 b, de tip diferențial, se bazează pe același principiu, cu deosebirea că cele două semnale se introduc în bază respectiv în emitor, realizând astfel și separarea generatorului g_1 de generatorul g_2 .

Printre avantajele circuitelor schimbătoare de frecvență cu tranzistoare față de cele cu diode se menționează:

- selectivitatea ridicată a circuitului acordat datorită impedenței de ieșire relativ mare a tranzistorului,
- amplitudinea mare a semnalului rezultat în urma mixării de joncțiunea bază-emitor.

Câteva tipuri de circuite schimbătoare de frecvență practice cu tranzistoare sînt arătate în figura 13.28.

13.7.5. Circuite modulatoroare

Prin modulare se înțelege procedeul de modificare a amplitudinii, a frecvenței sau a fazei unei oscilații armonice, numită oscilație purtătoare. Circuitele prin intermediul cărora se realizează modularea se numesc circuite modulatoroare. Oscilația purtătoare sau modulată, este o oscilație electromagnetică.

Semnalul util corespunzător mesajului transmis cu ajutorul frecvenței purtătoare (f_0) se numește semnal modulator (f_m) sau semnal de modulație.

Dacă printr-un procedeu oarecare se modifică unul din parametrii caracteristici ai unde electromagnetice, amplitudinea, frecvența sau faza, în ritmul semnalului modulator se obține o oscilație cu modulație în amplitudine (MA), sau cu modulație de frecvență (MF) sau cu modulație de fază (MP).

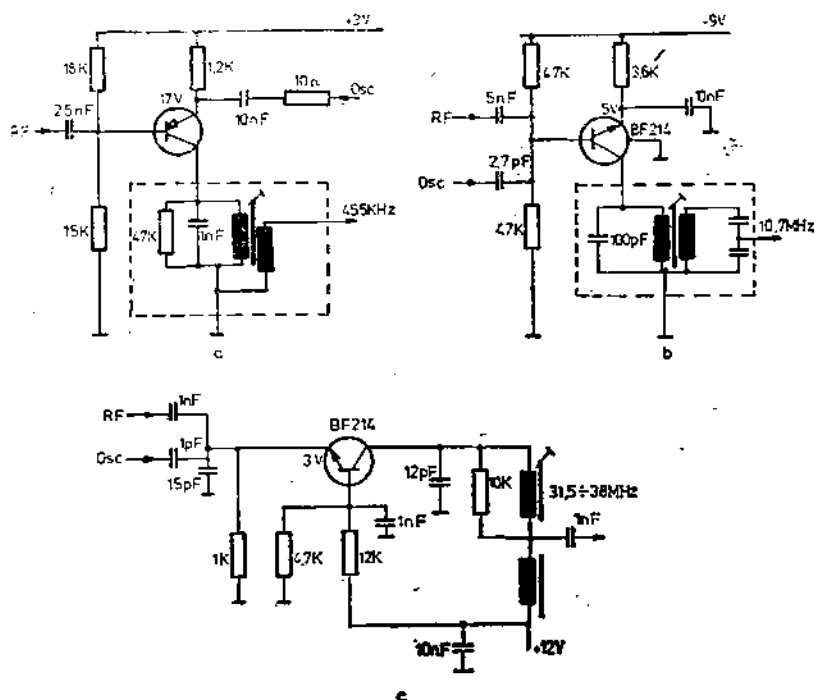


Fig. 13.28. Schimbătoare de frecvență folosite în receptoare:
a, b, — de radio, c — de televiziune.

Modulatoare de amplitudine. În figura 13.29 a se prezintă un circuit modulator de amplitudine cu diode varicap. Amplitudinea semnalului purtător furnizat de generatorul de curent (i_0) variază în ritmul semnalului modulator (U_m) prin modificarea caracteristicilor circuitului acordat L_0C_0 la variația capacității diodei varicap conectată în paralel cu C_0 . Condensatorul de 1 nF este un condensator de separare.

În figura 13.29 b este dată schema unui circuit modulator de amplitudine cu tranzistor bipolar. Procesul de modulare de amplitudine în acest

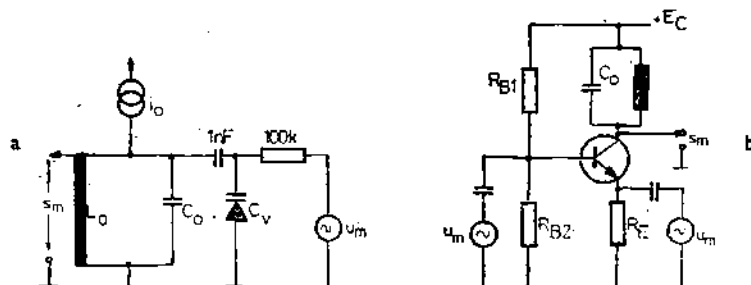


Fig. 13.29. Circuit modulator în amplitudine.

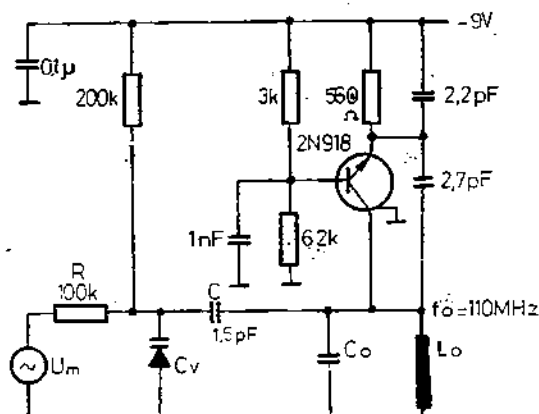


Fig. 13.30. Circuit modulator de frecvență cu diodă.

caz se bazează pe dependența factorului de amplificare în curent (β) al tranzistorului, de curentul de colector I_c . În figură, prin rezistențele R_{B1} , R_{B2} se alege punctul static de funcționare al tranzistorului într-o regiune unde β depinde semnificativ de I_c . În felul acesta, semnalul cules în colectorul tranzistorului își modifică amplitudinea în ritmul semnalului modulator (U_m) aplicat în emitor.

● *Modulatoare de frecvență.* Circuitele modulatoare de frecvență realizează variația frecvenței semnalului purtător în ritmul semnalului modulator.

În figura 13.30 se prezintă schema unui circuit modulator MF cu diodă varicap. Semnalul modulator (U_m) se aplică, prin rezistența R , diodei varicap modificându-i capacitățile în ritmul său de variație. Dioda varicap este conectată în paralel pe circuitul acordat $L_o C_o$ al oscilatorului realizat cu tranzistorul 2N918. Prin variația capacității varicap C_v , în ritmul semnalului (U_m) rezultă modificarea frecvenței oscilatorului în același ritm.

În figura 13.31 sînt prezentate două scheme de modulatoare MF cu tranzistor de reactanță. Ca în cazul precedent, în aceste scheme elementul variabil în ritmul semnalului modulator (U_m) este capacitățile joncțiunii colector-bază a tranzistorului, BC 108 (figura 13.31 a) sau BC 178 (figura 13.31 b). Față de schema precedentă aceste montaje asigură o amplitudine mai mare a semnalului modulator și o mai bună stabilitate în funcționare.

13.7.6. Circuite demodulatoare

Prin demodulare (sau detecție) se înțelege procesul de extragere a oscilației modulate din semnalul modulat; este un proces invers față de procesul de modulare.

● *Demodulator MA.* Cel mai simplu demodulator MA este detectorul cu diodă.

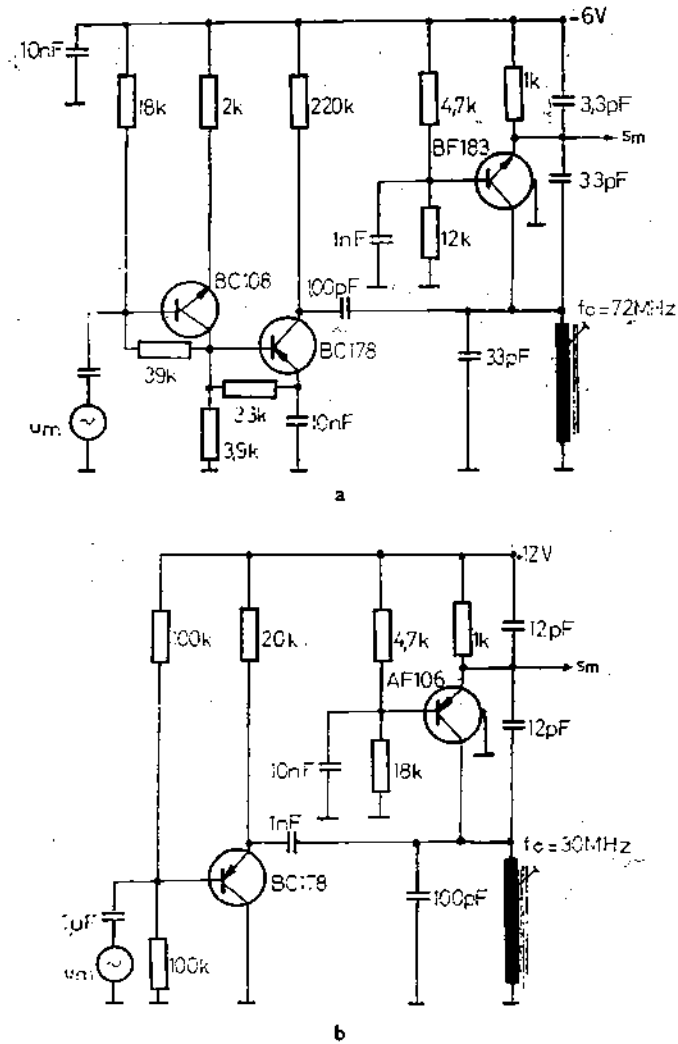


Fig. 13.31. Circuit modulator de frecvență cu tranzistor de reactanță.

În figura 13.32 se prezintă schema unui circuit demodulator MA cu tranzistor. Dacă tranzistorul este polarizat în clasă B, deci la limita de deschidere a joncțiunii bază-emitor, atunci alternanțele negative ale semnalului modulat (s_m) care se aplică pe bază, vor deschide tranzistorul; curenții injectați în bază se regăsesc amplificați în circuitul de colector unde apar semnale de o singură polaritate, amplificate (alternanțele pozitive blochează și mai mult tranzistorul, astfel că ele nu au contribuție asupra curentului

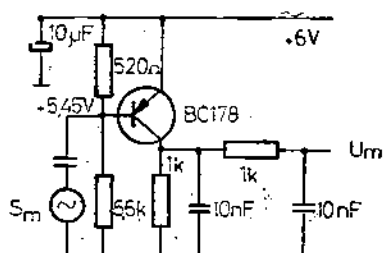


Fig. 13.32. Circuit demodulator de amplitudine.

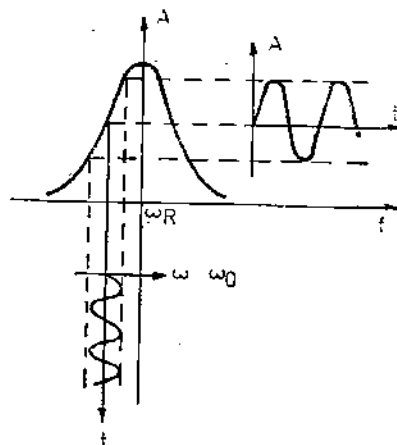


Fig. 13.33. Principiul de realizare al discriminatorului cu circuit dezacordat.

de colector). Filtrind semialternanțele din circuitul colectorului, ca și în cazul detectorului cu diodă, la ieșire apare numai semnalul modulator (U_m). Avantajul circuitului demodulator cu tranzistoare, față de circuitul demodulator cu diode, constă în posibilitatea pe care o are primul (e drept cu un grad mai mare de distorsionare) de a furniza semnale amplificate.

Demodulatorul MF. Demodularea semnalelor modulate în frecvență se poate realiza prin transformarea lor în semnale modulate în amplitudine și apoi detecția acestora cu ajutorul unuia din montajele examinate mai înainte. Montajele folosite la detecția semnalelor modulate în frecvență se numesc discriminatori.

În scopul evitării perturbațiilor legate de modulațiile de amplitudine parazite, între circuitul de antenă și discriminator se introduce un etaj limitator.

Un etaj limitator este un cuadripol a cărui amplitudine a tensiunii la ieșire rămâne constantă după ce tensiunea la intrarea lui atinge o anumită valoare de prag.

Semnalul furnizat de etajul limitator este un semnal modulat în frecvență cu amplitudinea constantă.

Semnalul de joasă frecvență este reconstituit sub forma unui semnal modulat în amplitudine cu ajutorul unui circuit electronic al cărui câștig este o funcție liniară de frecvență.

Un circuit oscilant a cărui frecvență de rezonanță ω_R este ușor decalată față de frecvența purtătoare ω_0 poate constitui un circuit discriminator (figura 13.33), dacă se admite că flancul curbei de răspuns este liniar pentru variații mici ale frecvenței în jurul frecvenței ω_0 . În aceste condiții semnalul la ieșire este modulat în amplitudine și în frecvență; este suficient să se detecteze acest semnal cu ajutorul circuitelor clasice de detecție MA.

În practică se utilizează două tipuri de discriminatori.

— În figura 13.34 a se prezintă un discriminator cu două circuite oscilante dezacordate, cu același factor de calitate, cu frecvențele de rezonanță ω_1 și ω_2 simetrice față de frecvența purtătoare ω_0 . Fiecare din cele două

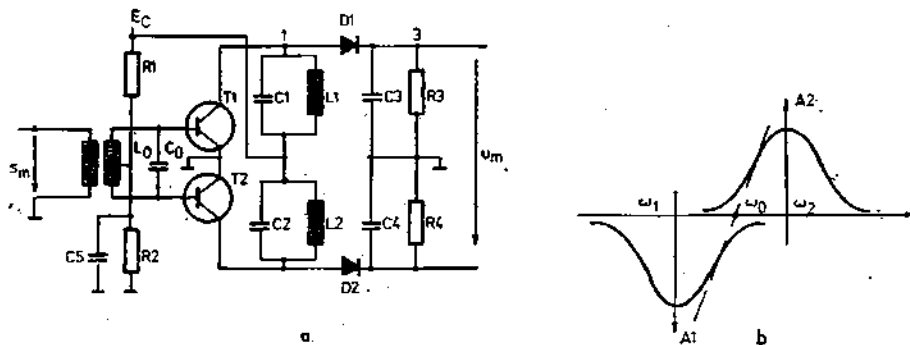


Fig. 13.34. Circuit demodulator de frecvență.

circuite oscilante este legat la un detector cu diodă; deoarece tensiunile detectate sînt de semne contrare, suma lor este nulă atunci cînd sînt egale în valoare absolută. Amplitudinea tensiunii detectate U_m rezultă din constituirea curbelor de răspuns ale celor două circuite oscilante montate în antifază (figura 13.34.b).

— În figura 13.35 se prezintă un discriminator cu două circuite oscilante acordate pe frecvența purtătoarei ω_0 . Este cel mai utilizat în radio-receptoarele MF cu componente discrete. Prin intermediul acestui circuit oscilația MF se transformă într-o oscilație MA care este demodulată prin diodele EFD 106.

13.7.7. Utilizarea tranzistoarelor bipolare în circuite de alimentare

Tranzistoarele au o largă utilizare în sistemele de alimentare ale echipamentelor electronice ca filtre de netezire, stabilizatoare de tensiune, convertitoare de tensiune etc.

● *Filtre de netezire cu tranzistoare.* Pentru filtrarea tensiunilor în practică se utilizează și tranzistoarele. Față de filtrele cu bobină cu miez (filtru

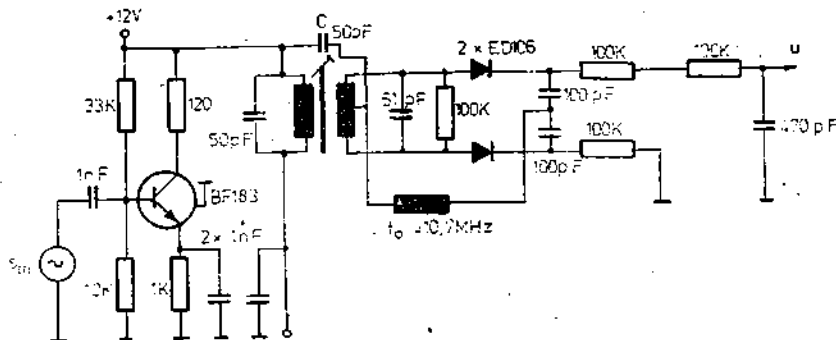


Fig. 13.35. Circuit demodulator de frecvență cu discriminator de fază.

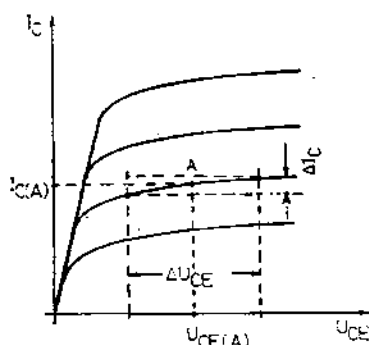


Fig. 13.36. Determinarea rezistențelor de ieșire în curent continuu și în curent alternativ pentru un tranzistor bipolar, folosind caracteristicile de ieșire $I_C - U_{CE}$.

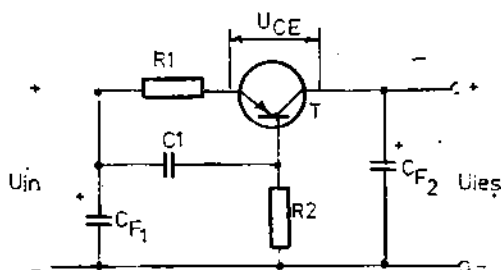


Fig. 13.37. Filtru de netezire cu tranzistor bipolar.

LC), filtrele cu tranzistoare au un gabarit și masă reduse și nu creează cimpuri magnetice înconjurătoare, care pot fi surse de perturbații. Față de filtrele RC, filtrele cu tranzistoare au pierderi de putere redresată minime.

Utilizarea tranzistorului ca filtru de netezire se bazează pe proprietatea lui de a prezenta, între emitor și colector, reactanță mare în curent alternativ și rezistență mică în curent continuu. În figura 13.36 se prezintă caracteristica de ieșire a tranzistorului în configurația EC din care rezultă că în punctul de funcționare A, rezistența electrică în curent alternativ $R_{CE(\infty)} = \Delta U_{CE(A)} / \Delta I_{C(A)}$ este foarte mare față de rezistența electrică în curent continuu $R_{CE(=)} = U_{CE(A)} / I_{C(A)}$.

Avind în vedere caracteristicile menționate, tranzistorul poate fi utilizat ca filtru de netezire (figura 13.37). Eficacitatea filtrului cu tranzistor este cu atât mai mare cu cât $R_{CE(\infty)} \gg R_{CE(=)}$.

● **Stabilizatoare cu tranzistoare.** Stabilizatorul de tensiune/curent este un circuit electronic, conectat între sursa de energie și sarcină (consumator), care servește la micșorarea variațiilor tensiunii/curentului de alimentare până la limitele impuse de consumator.

În funcție de mărimea electrică stabilizată, deosebim: stabilizatoare de tensiune, stabilizatoare de curent și stabilizatoare de tensiune-curent.

Stabilizatoare de tensiune. Acestea mențin constantă tensiunea la ieșire în cazul cînd variază tensiunea la intrare, rezistența de sarcină și temperatura mediului ambiant. Modul de obținere a unui stabilizator de tensiune simplu cu diodă Zener este arătat în figura 12.6. În cazul în care factorul de stabilizare nu este suficient de mare se poate recurge la conectarea în cascadă a două „celule” de stabilizare, așa cum se arată în figura 13.38; în acest caz factorul de stabilizare în tensiune al montajului este dat de produsul factorilor de stabilizare ai celor două celule. Acest tip de stabilizator, numit și stabilizator parametric, nu asigură curenți mari în sarcină, decît cu randamente energetice mici (datorită pierderilor de putere în rezistențele serie R_1 , R_2 și în diodele Zener). Pentru obținerea unui curent mai mare în

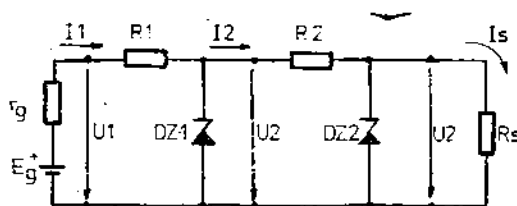


Fig. 13.38. Stabilizator de tensiune cu două celule de stabilizare cu diode zener.

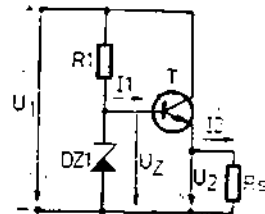


Fig. 13.39. Stabilizator cu diodă zener și tranzistor bipolar.

sarcină, se poate folosi schema din figura 13.39, în care tranzistorul T funcționează ca amplificator de curent conectat ca repetor pe emitor. Tensiunea pe dioda DZ_1 din baza tranzistorului T este regăsită la ieșire cu mărimea $U_2 = U_z - U_{BE}$. Variația curentului în sarcină (I_2) produce o variație de h_{21E} ori mai mică a curentului de bază I_1 ; pentru acest tip de stabilizator dioda Zener poate să aibă puterea disipată admisibilă mult mai mică decât în cazul stabilizatorului prezentat în figurile 12.6 și 13.38, chiar în cazul când curentul în sarcină variază în limite largi. Tranzistorul T lucrând ca repetor pe emitor rezistența de ieșire a stabilizatorului este mult mai mică decât rezistența r_z a diodei Zener DZ_1 .

În cazul în care diferența între tensiunea de intrare U_1 și tensiunea de ieșire U_2 este mică, pentru ca diodei Zener DZ_1 să i se asigure un curent corespunzător (v. caracteristica din figura 12.5), iar tranzistorului T un curent de bază suficient de mare, rezistențele R_1 trebuie să fie de valoare mică. În acest caz U_z va fi puternic influențat de variațiile tensiunii U_1 și ca atare factorul de stabilizare al stabilizatorului scade. Inconvenientul acesta poate fi redus dacă se utilizează montajul din figura 13.40 în care față de schema anterioară se introduce încă un etaj repetor pe emitor. Prin acest montaj se asigură un curent în sarcină mult mai mare decât în cazul anterior, fără a se obține o scădere a factorului de stabilizare.

Creșterea factorului de stabilizare se realizează fie prin mărirea rezistenței rezistorului R_1 prin care se polarizează dioda DZ (în cazul stabilizatoarelor parametrice cu dioda zener de tipul celor prezentate în figura 12.6), fie prin utilizarea unui stabilizator de tensiune cu amplificator de eroare.

În primul caz efectul acesta se obține prin creșterea tensiunii de intrare U_1 ; această metodă are dezavantajul unui consum suplimentar de energie electrică, așa cum s-a văzut în schemele prezentate mai înainte.

În al doilea caz se utilizează schema bloc din figura 13.41. Detectorul de eroare compară tensiunea U_2 cu tensiunea de referință U_{REF} ; diferența între aceste tensiuni este amplificată și comandă elementul de reglare serie pentru obținerea stabilizării necesare.

În figurile 13.42 și 13.43 se prezintă două scheme de stabilizare din această categorie.

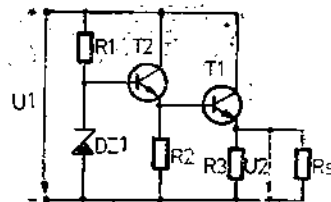


Fig. 13.40. Stabilizator cu diodă zener și cu două tranzistoare bipolare.

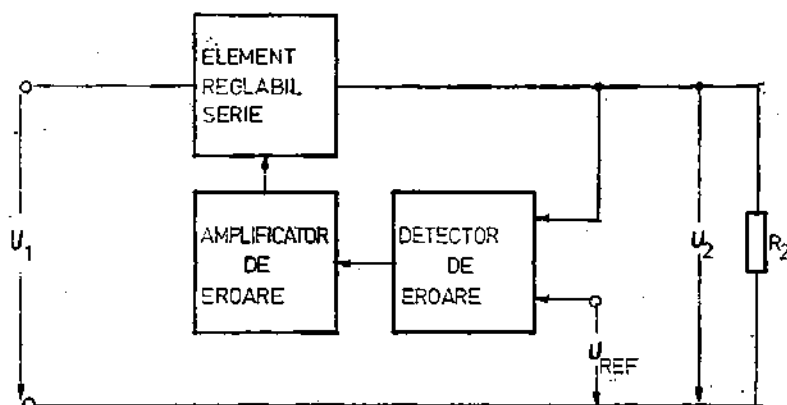
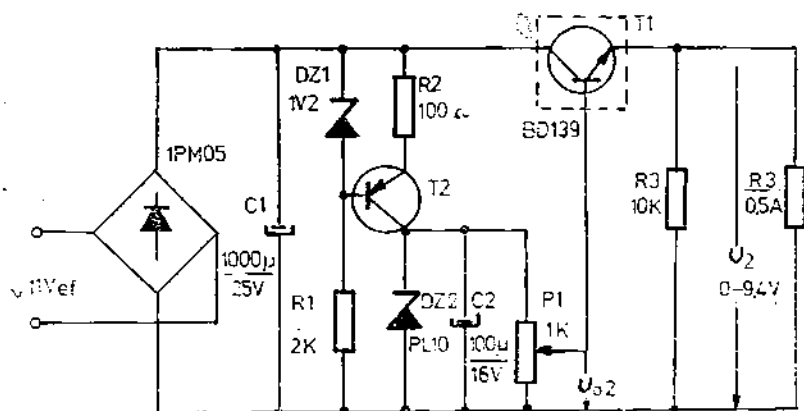


Fig. 13.41. Schema bloc a sistemului de stabilizare cu amplificator de eroare.

În cazul figurii 13.42, grupul $DZ1$; $R1$; $R2$; $T2$, formează un generator de curent prin intermediul căruia se alimentează cu curent constant dioda $DZ2$. Generatorul de curent împreună cu dioda Zener $DZ2$ formează o referință de tensiune (cu performanțe ridicate față de grupul simplu R - DZ). Cu potențiometrul $P1$ se reglează tensiunea U_{02} în intervalul $0V \div 10V$, tensiune care se regăsește, în mărimea $U_2 = 10V - U_{BE} = 9,4V$, la ieșirea stabilizatorului. Curentul prin sarcină depinde de tipul tranzistorului serie $T1$; pentru montajul propus acest curent este de $0,5A$.

În montajul din figura 13.43, ca și în cazul precedent, se constată stabilizatorul de tensiune parametric format din grupul $D1$ - $R1$ - $R2$ - $T2$ - $DZ2$. Amplificatorul de eroare este format din tranzistorul $T4$ și generatorul de curent format din grupul $R3$ - $T3$. Elementul de reglaj serie este format din $T1$ - $T5$; $R4$ se introduce pentru îmbunătățirea stabilității termice la curenți de sarcină mici. Rezistorul $R5$ și tranzistorul $T6$ formează un circuit de protecție. Acest circuit acționează la un curent prin sarcină mai mare de

Fig. 13.42. Schemă de circuit stabilizator de tensiune reglabilă ($0 \div 9,4V$)

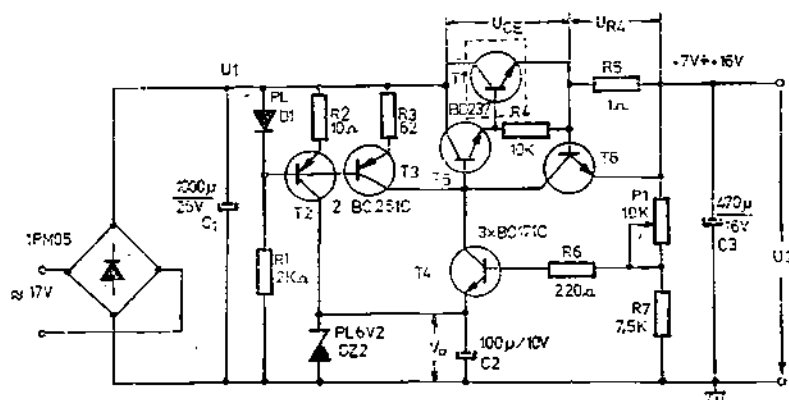


Fig. 13.43. Stabilizator de tensiune reglabil cu protecție de curent.

0,6/R5 V cind pe $R5 = 1 \Omega$ apare o cădere de tensiune mai mare de 0,6 V care deschide tranzistorul $T6$; în acest caz o parte din curentul furnizat de tranzistorul $T3$ trece direct la ieșire și curentul ce se injectează în baza tranzistorului $T5$ scade și deci scade și curentul prin $T1$ (curent de sarcină). Aceasta face ca și curentul prin $R5$ să scadă pînă la valcarea care blochează tranzistorul $T6$, stabilindu-se un echilibru care menține curentul prin sarcină constant indiferent de mărimea tensiunii $U1$. Tensiunea la ieșire, $U2$, se reglează cu potențimetrul $P1$ în limitele $U_0 + 0,6 \text{ V}$ și $U_1 - U_{CE(sat)} - U_{R5}$. Rezistorul $R6$ protejează joncțiunea bază-emitor a tranzistorului $T4$, în special la pornirea sursei de alimentare, cind cursrul potențimetrului $P1$ se găsește la extremitatea pentru care $R_{P1} = 0$.

Stabilizatoare de curent*. O schemă de stabilizator de curent este prezentată în figura 13.44. Stabilizatorul acesta este simplu, putîndu-se

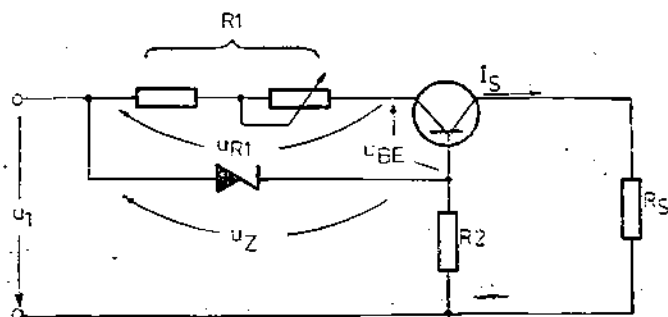


Fig. 13.44. Circuit simplu pentru stabilizarea curentului.

* Cel mai simplu, și încă utilizat, stabilizator de curent este stabilizatorul cu bareter. Bareterul este format dintr-un balon de sticlă în care este lăsat un fir de oțel în atmosferă de hidrogen. Stabilizatoarele cu baretoare se întrebunțează de obicei pentru a menține constant curentul de încălzire al catodilor tuburilor electronice.

realiza cu un tranzistor T , care îndeplinește atât funcția de amplificator al semnalului de eroare ($U_z - U_{R1}$), cât și de element regulator. Dacă tranzistorul T are un factor de amplificare mare ($h_{21E} \gg 1$), curentul prin sarcină I_s este egal cu curentul prin tranzistorul $R1$; cum $U_{R1} = U_z - U_{BE} = \text{constant}$, rezultă că $I_s = U_{R1}/R_1 = \text{constant}$. Reglarea curentului prin sarcină se realizează prin modificarea mărimii rezistenței rezistorului $R1$.

● **Convertoare cu tranzistoare.** Convertorul este un dispozitiv electronic cu ajutorul căruia se poate converti energia electrică dintr-o formă în alta prin intermediul unor circuite electronice.

Un sistem convertor* cu tranzistoare poate fi realizat în două configurații de bază: comandate (convertorul comandat este constituit dintr-un amplificator de putere și din circuitul de control, în general un oscilator) și autooscilante.

În continuare se prezintă pe scurt două tipuri de convertoare autooscilante, unul utilizat pentru aprinderea lămpilor fluorescente și unul utilizat ca sursă de putere de gabarit redus.

În figura 13.45 se prezintă un convertor autooscilant pentru aprinderea tuburilor fluorescente. El funcționează la 20 KHz și comandă un tub fluorescent de 15–20 W, deci o sarcină cunoscută, fixă. Circuitul se bazează pe un oscilator bloching, a cărui frecvență de funcționare depinde de rezistoarele R_1 și R_3 , de condensatorul C_2 și de inductanța transformatorului (pe un miez de bară de ferită, tip antenă, cu $N_1 = 100$ spire, $N_2 = 40$ spire, $N_3 = 540$ spire; $N_4 = 40$ spire; $N_5 = 40$ spire). La intrarea tranzistorului în conducție, începe procesul de oscilație pînă cînd curentul de colector se limitează la valoarea $\beta \cdot IB$, cînd tranzistorul se blochează. Rezistorul din bază, R_3 , se utilizează atât pentru prevenirea oscilațiilor parazite cât și pentru protejarea joncțiunii bază-emitor a tranzistorului. Dioda D_1 se utilizează pentru protejarea tranzistorului la o eventuală conectare greșită a sursei

de alimentare, iar condensatorul C_1 pentru o decuplare suplimentară a sursei de alimentare. Bobinajele N_4 și N_5 se utilizează pentru încălzirea filamentelor tubului fluorescent. Tranzistorul utilizat trebuie să poată suporta tensiuni colector-emitor de minimum 80 V și curenți de colector de 2 A.

În figura 13.46 se prezintă un exemplu de utilizare a unui convertor autooscilant ($f \approx 25$ KHz) cu tranzistoare de tensiune ridicată, pentru realizarea surselor de putere, alimentate direct de la rețeaua de curent alter-

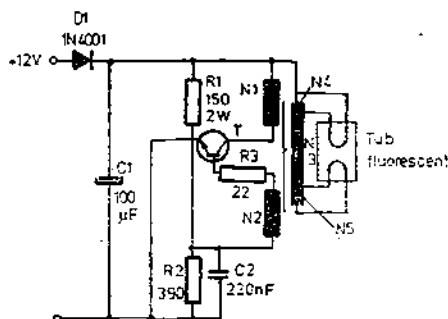


Fig. 13.45. Convertor autooscilant pentru aprinderea tuburilor fluorescente.

* Tendința actuală în concepția convertoarelor de putere este aceea de a utiliza componente semiconductoare (tranzistoare și tiristoare) care să funcționeze la frecvențe ridicate conectate direct la rețeaua de 50 Hz, fără transformator, utilizarea frecvențelor de funcționare ridicate reduce nu numai dimensiunile și greutatea componentelor magnetice ci și dimensiunile condensatoarelor de filtrare.

Fig. 23.12

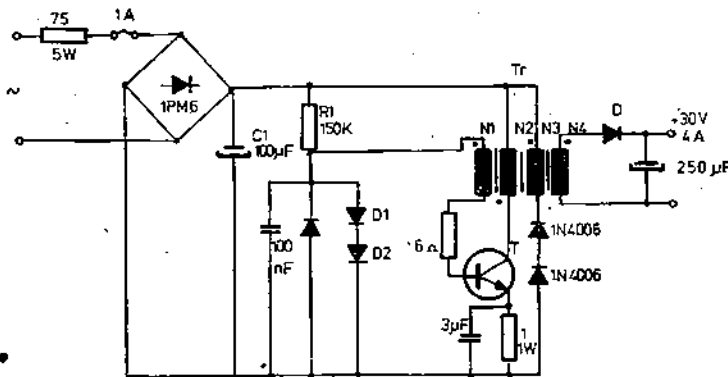


Fig. 13.46. Sursă de tensiune de putere utilizând convertoare autobasculante.

nativ de 220 V (prin intermediul punții 1PM6. Polarizarea inițială a tranzistorului (BUY 70 B) se realizează prin intermediul rezistorului R_1 și a diodelor D_1 , D_2 . Bobinajele N_1 , N_2 ale transformatorului Tr asigură condiția de oscilație a convertorului, prin aducerea tranzistorului T în condiția de blocare sau de saturație. Când tranzistorul este în situația „blocat”, energia se transmite prin N_4 circuitului redresor cu diodă. Curentul de colector al tranzistorului are valoarea de aproximativ 2,5 A, iar virfurile tensiunii colector-emitor ajung la 700 V; din motivul acesta în montajul menționat se introduc circuite suplimentare de protejare a tranzistorului. Astfel de surse de tensiune se utilizează în toate cazurile în care greutatea și volumul lor trebuie să fie reduse și când li se cer randamente ridicate (peste 90%).

14. Tranzistoare monopolare

14.1. Definiții și clasificare

Tranzistoarele monopolare, sau cu efect de cîmp (TEC) sînt componente semiconductoare la care modificarea intensității curentului electric se datorește unui cîmp electric exterior, transversal pe direcția de curgere a acestuia. Curentul electric circulă printr-un canal din material semiconductor, de tip p sau n , la conducția lui contribuind un singur tip de purtători, goluri respectiv electroni.

Capetele canalului semiconductor se numesc sursă (S), respectiv drenă (D), iar curentul care circulă prin el se numește curent de drenă. Electroductul de comandă, prin intermediul căruia se aplică cîmpul electric exterior, se numește poartă (G).

După modul de realizare a canalului se cunosc două tipuri de TEC:

- *tranzistoare cu efect de cîmp cu poartă joncțiune (TEC-J)* în care canalul se află în volumul semiconductorului și este înconjurat din toate părțile de o zonă de tip opus din punct de vedere al conductivității electrice, zonă care reprezintă poarta și care, deci, formează cu canalul o joncțiune,

- *tranzistoare cu efect de cîmp cu poartă izolată* în care canalul se află la suprafața semiconductorului, iar cîmpul electric exterior se aplică pe o placă metalică izolată de suprafață. Pe direcția de aplicare a cîmpului electric exterior se remarcă o structură „Metal-Izolator-Semiconductor” ceea ce conferă acestui tip de tranzistor și denumirea de TEC-MIS sau TEC-MOS, în cazul în care stratul izolator este bioxidul de siliciu.

14.2. Principiul de funcționare și caracteristici statice

Cu toate că sînt deosebite din punct de vedere constructiv cele două tipuri de TEC au comportări electrice similare.

14.2.1. Tranzistorul cu efect de cîmp cu poartă joncțiune (TEC-J)

În figura 14.1 se prezintă schema constructivă a unui TEC-J cu canal n. Electrozii sursă (S) și drenă (D) constituie capetele canalului; poarta (G) este formată din regiunile p^+ , care delimitează canalul în interiorul semiconductorului cu care formează o joncțiune p^+n .

Mărimea curentului în canal, numit curent de drenă I_D , depinde de tensiunea U_{DS} aplicată între drenă și sursă (figura 14.2), de rezistența de sarcină R_D și de rezistența canalului. Dacă U_{DS} și R_D sînt constante, curentul I_D depinde numai de suprafața transversală efectivă a canalului. Tensiunea U_{GS}

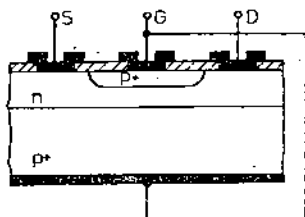


Fig. 14.1. Schema constructivă a TEC-J cu canal p.

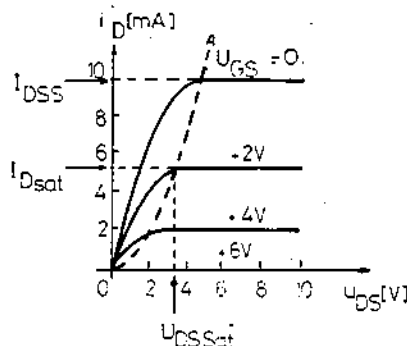


Fig. 14.2. Caracteristicile de ieșire ale TEC-J.

aplicată între poartă și sursă, creează pe poartă un potențial negativ ceea ce conduce la creșterea lărgimii joncțiunii $p-n$ * și deci la reducerea secțiunii canalului conductor. Odată cu micșorarea secțiunii canalului se mărește rezistența acestuia și se reduce mărimea curentului de drenă. La micșorarea tensiunii aplicate porții se reduce rezistența canalului în timp ce curentul I_D crește.

Conectînd în serie cu sursa de tensiune U_{GS} o sursă de tensiune alternativă, se poate modifica mărimea curentului I_D după legea de variație a tensiunii alternative aplicate pe poartă TEC-J. Curentul I_D trecînd prin rezistența de sarcină conectată în circuitul de drenă al tranzistorului, produce pe aceasta o cădere de tensiune, care de asemenea, variază după legea de variație a tensiunii aplicate pe poartă tranzistorului.

Alegînd în mod corespunzător mărimea rezistenței R_D se poate obține o tensiune de ieșire U_c (în circuitul de drenă) mult mai mare în raport cu tensiunea de intrare U_{in} (aplicată în circuitul de poartă), adică, se obține o amplificare de semnal.

În figura 14.2 se prezintă caracteristicile de ieșire (i_D , u_{DS}) ale TEC-J, care pun în evidență o regiune de variație liniară, pentru tensiuni u_{DS} mici, și o regiune de saturație pentru tensiune u_{DS} mai mari decît limita dată de curba 0.4. Cel mai mare curent de drenă într-un TEC-J se obține în condiții de saturație, la $u_{GS} = 0$, și se notează I_{DSS} .

Curentul de intrare (i_G) al tranzistorului este foarte mic, joncțiunea poartă - canal fiind blocată; valori tipice de $10^{-9} - 10^{-11}$ A asigură TEC-J impedanțe de intrare foarte mari.

Modul de notare în scheme electrice ale TEC-J este dat în figura 14.3.

	Canal tip p		Canal tip n	
TEC	cu grilă joncțiune			
		$U_D \geq 0 \quad I_D \leq 0$ $U_G \geq 0$	$U_D \geq 0 \quad I_D \geq 0$ $U_G \leq 0$	
TEC cu grilă	izolată			
		$U_D \leq 0 \quad I_D \leq 0$ $U_G \leq 0 \quad U_B \geq 0$	$U_D \geq 0 \quad I_D \geq 0$ $U_G \geq 0 \quad U_B \leq 0$	
	canal indus			
		$U_D \leq 0 \quad I_D \leq 0$ $U_G < 0 \quad U_B \geq 0$	$U_D \geq 0 \quad I_D \geq 0$ $U_G > 0 \quad U_B \leq 0$	

Fig. 14.3. Simboluri pentru tranzistoare cu efect de câmp.

* crește lărgimea regiunii de sarcină spațială.

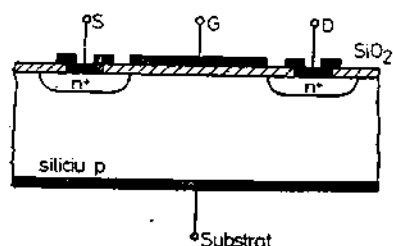


Fig. 14.4. Schema constructivă a tranzistorului MOS cu canal indus.

14.2.2. Tranzistorul MOS cu canal indus

Schema constructivă a acestui tip de tranzistor este prezentată în figura 14.4. Materialul inițial este siliciul de tip p , care constituie substratul. Sursa și drenă sunt constituite din două regiuni n^+ realizate prin difuzie. La suprafața siliciului este crescut un strat subțire de bioxid de siliciu, deasupra căruia, între sursă și drenă, se poziționează electrodul metalic de poartă G .

Pentru funcționare, pe drenă și pe poarta tranzistorului MOS cu canal n indus se aplică o tensiune pozitivă ($U_{GS} > 0$, $U_{DS} > 0$).

La $U_{GS} = 0$ curentul de drenă este practic nul, datorită polarizării inverse a joncțiunii drenă-substrat.

Crescând tensiunea U_{GS} , golurile, care sînt majoritare în substratul de tip p , sînt respinse de la suprafață, concomitent cu atragerea la suprafață a purtătorilor minoritari — electronii. La o anumită valoare a tensiunii de poartă, numită tensiune de prag, U_p , concentrația de electroni la suprafață depășește pe cea a golurilor; în această situație, la suprafața semiconductorului devine de tip n , ceea ce constituie un canal conductor care leagă cele două regiuni n^+ ale sursei și drenei. În acest caz curentul de drenă este proporțional cu tensiunea de drenă și crește odată cu creșterea tensiunii de poartă.

Curentul de comandă, pe poartă, este extrem de mic, 10^{-14} — 10^{-16} A, datorită calității de izolanț excelent a bioxidului de siliciu; în categoria componentelor semiconductoare, tranzistorul MOS are, din această cauză, cea mai mare impedanță de intrare.

Regimul de funcționare al tranzistorului MOS cu canal indus se numește regim de îmbogățire datorită fenomenului de creștere a concentrației de purtători în canal odată cu creșterea tensiunii de poartă.

Simbolurile de reprezentare în scheme ale tranzistorului MOS cu canal indus se dau în figura 14.3.

14.2.3. Tranzistorul MOS cu canal inițial

Tehnologic se pot realiza tranzistoare MOS care să prezinte canal chiar la tensiune de poartă nulă ($U_{GS} = 0$); acest tip se numește tranzistor MOS cu canal inițial. El funcționează atât la tensiuni de poartă pozitive, cât și negative și comportă două regiuni:

- de îmbogățire, atunci cînd concentrația de purtători de sarcină din canal crește (ca și la tranzistorul MOS cu canal indus) și
- de sărăcire, atunci cînd concentrația de purtători de sarcină din canal scade, regim care se extinde pînă la dispariția completă a canalului.

Caracteristicile grafice ale acestui tranzistor sînt prezentate în figura 14.5.

În figura 14.3 se prezintă simbolul tranzistorului MOS cu canal inițial; spre deosebire de cazul anterior se observă că linia sursă-drenă ce reprezintă canalul conductor este continuă, pentru a arăta că la tensiune de poartă nulă, $U_{DS} = 0$, curentul prin tranzistor nu este nul.

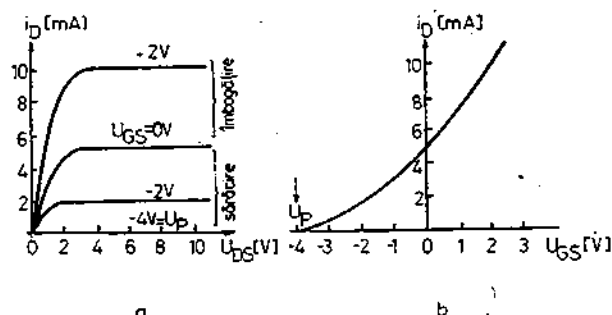


Fig. 14.5. Caracteristici statice ale tranzistorului MOS cu canal inițial:
a — caracteristici de ieșire; b — caracteristică de intrare.

14.3. Circuite de polarizare în curent continuu a tranzistoarelor cu efect de câmp

Considerînd doar conexiunea cu sursa comună, cea mai utilizată în practică, se disting două moduri de polarizare și anume:

- tensiunea de poartă și tensiunea de drenă au semne contrarii (TEC-J, MOS cu canal inițial în regim de sărăcire). Acest mod de polarizare este prezentat în figura 14.6. Modul de alimentare prezentat în figura 14.6.b se numește polarizare automată datorită furnizării tensiunii de poartă chiar de curentul de drenă prin căderea de tensiune ce o determină pe rezistența R_S .

- tensiunea de poartă și tensiunea de drenă au același semn (MOS cu canal indus, MOS cu canal inițial în regim de îmbogățire). În acest caz se folosește schema din figura 14.7. Tensiunea de alimentare a porții se obține prin divizorul de tensiune R_1, R_2 .

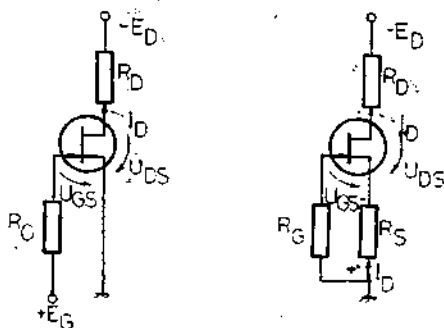


Fig. 14.6. Circuite de polarizare ale TEC-J și MOS cu canal inițial:
a — utilizarea a două surse; b — utilizarea unei surse

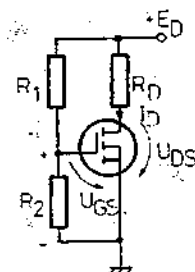


Fig. 14.7. Circuit de polarizare pentru tranzistoare MOS cu canal indus și MOS cu canal inițial în regim de îmbogățire:

În toate schemele de polarizare prezentate, rezistențele care asigură alimentarea porții (R_G , R_1 , R_2) au valori mari — sute de $K\Omega$ — zeci de $M\Omega$ sau mai mult — pentru a nu micșora impedanța de intrare a montajului.

14.4. Dependența de temperatură a caracteristicilor electrice statice

Tranzistoarele cu efect de câmp atit cele cu poartă jonctiune cit și cele cu poartă izolată se comportă similar la variații ale temperaturii mediului în care funcționează.

Dependența de temperatură a curentului de drenă este determinată de scăderea mobilității purtătorilor de sarcină din canal cu creșterea temperaturii.

Influența temperaturii asupra caracteristicii i_D , u_{GS} este prezentată în figura 14.8. Curba cu linie continuă corespunde, de exemplu temperaturii $+25^\circ C$, iar curba cu linie întreruptă, la $60^\circ C$. Se observă că cele două curbe se intersectează într-un punct corespunzător curentului de drenă I_{D0} și tensiunii de poartă U_{G0} .

Dacă TEC-ul se utilizează în aceste condiții, temperatura nu va avea nici o influență asupra curentului de drenă; este vorba de un fenomen caracteristic tranzistoarelor cu efect de câmp cu jonctiune și MOS. Se menționează însă faptul că chiar în cazul în care se utilizează un TEC în acest punct de funcționare, temperatura mediului înconjurător îi va influența totuși regimul de lucru în sensul că atit panta cit și rezistența lui de intrare se vor micșora.

14.5. Utilizări ale tranzistoarelor monopolare

În figura 14.9 se prezintă schema unui amplificator de curent continuu cu TEC, compensat în temperatură. Mărimea curentului I_{D0} se fixează prin potențiometrul P .

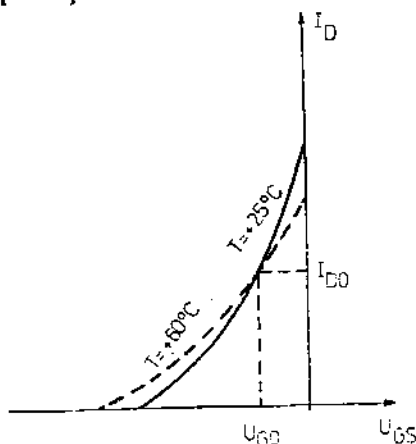


Fig. 14.8. Caracteristica $I_D - U_{GS}$ la două temperaturi diferite.

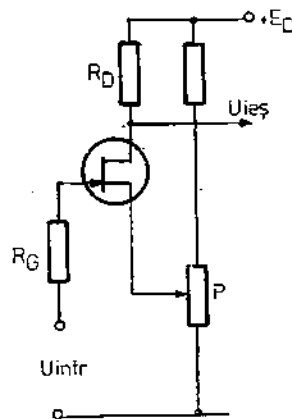


Fig. 14.9. Amplificator de curent continuu cu TEC.

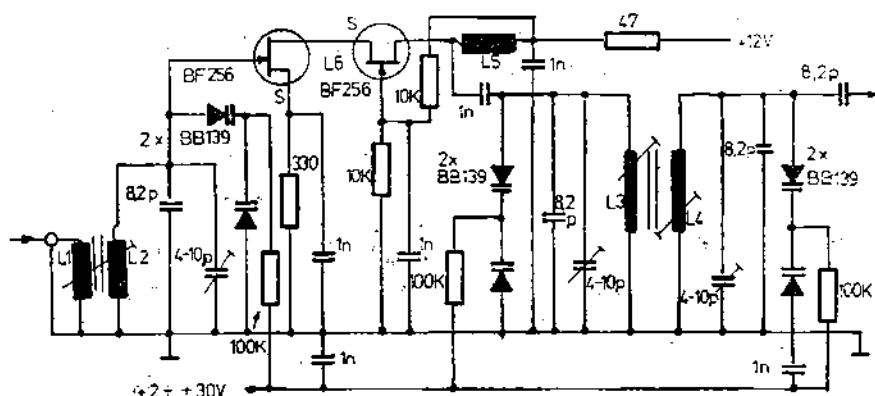


Fig. 14.10. Amplificator de înaltă frecvență cu TEC.

Figura 14.10 prezintă schema unui amplificator de înaltă frecvență cu banda de 300 KHz cu acord continuu între 64 și 74 MHz. Montajul utilizează două TEC în serie (așa numitul montaj cascod). Banda se obține prin decalarea frecvenței de acord a celor două circuite acordate L1—L2 și L3—L4. Acordul continuu în bandă se realizează cu ajutorul diodelor varicap BB139.

În figura 14.11 se prezintă un etaj schimbător de frecvență cu TEC-MOS. Cele două semnale de înaltă frecvență se aplică pe poarte TEC-MOS.

Figura 14.12 prezintă schema de principiu a unui etaj schimbător de frecvență cu TEC-MOS cu două porți. În acest caz fiecare din cele două semnale de înaltă frecvență (semnalul de intrare și semnalul local) se aplică pe câte o poartă a tranzistorului.

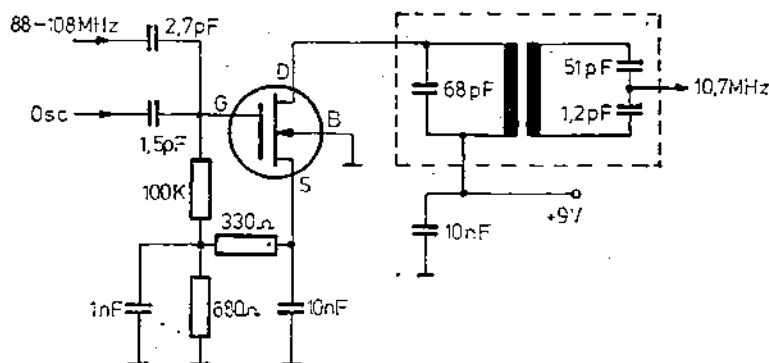


Fig. 14.11. Etaj schimbător de frecvență cu TEC-MOS.

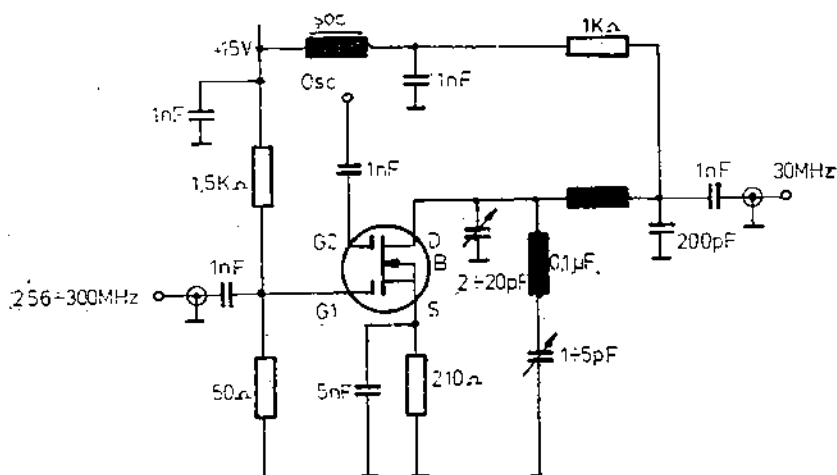
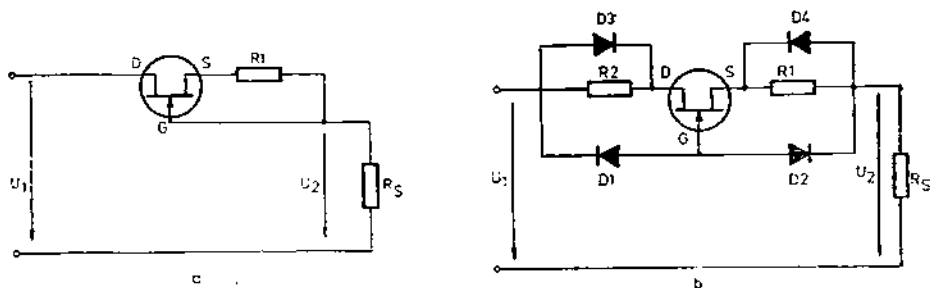


Fig. 14.12. Etaj schimbător de frecvență cu tetrodă MOS.

Cu un TEC se poate realiza un stabilizator de curent continuu simplu, așa cum se arată în figura 14.13 *a*. Curentul prin sarcina R_s , parcurgând rezistorul R_1 va modifica rezistența canalului drenă-sursă R_{DS} , datorită tensiunii de polarizare ce apare pe poarta tranzistorului; variația rezistenței R_{DS} , datorită tensiunii de polarizare ce apare pe poarta tranzistorului; variația rezistenței R_{DS} va prelua variațiile tensiunii de la intrare respectiv de la ieșire, asigurând în felul acesta stabilizarea curentului în sarcină.

În figura 14.13 *b* se prezintă schema unui stabilizator de curent alternativ realizat cu un TEC simetric (caracteristicile lui nu se modifică dacă se inversează sursa cu drena). Diodele D_3 și D_4 elimină efectul rezistoarelor R_2 și respectiv R_1 , iar D_1 și D_2 asigură izolarea porții.

Fig. 14.13. Stabilizator de curent continuu (*a*) și de curent alternativ (*b*) cu TEC.

14.6. Manipularea tranzistoarelor MOS

Tranzistoarele MOS se pot defecta prin străpungere în timpul montajului în circuite electronice; aceste străpungeri se datoresc impedanței extrem de mari de intrare care, la acumulări de sarcini electrostatice, provoacă diferențe mari de potențial pe poartă care conduc la străpungerea oxidului de poartă; în general 20–40% din defectările circuitelor cu tranzistoare MOS se datoresc supratensiunilor accidentale.

Modul de manipulare al unui tranzistor este una din cauzele de străpungere a porții lui. De exemplu, un om se poate încălca până la câteva mii de volți numai prin plimbarea pe un covor din material plastic; această acumulare de potențial electrostatic este distructivă pentru un tranzistor MOS, a cărui poartă se străpunge la maxim 100V. O altă sursă de potențiale electrostatice dăunătoare, o constituie containerele din plastic (spumă stiren) care în general se utilizează pentru transportarea componentelor semiconductoare. Tensiuni tranzistorii suficient de mari pentru a străpunge oxidul de poartă pot fi generate și de echipamentul de testare sau de ciocanul de lipit dacă acestea nu sînt puse la pămînt în mod corespunzător.

Pentru manipularea tranzistoarelor MOS se fac următoarele recomandări:

- pentru minimalizarea sarcinii statice în terminalele de intrare, tranzistoarele se stochează în cutii din material conductor electric, astfel ca toate terminalele să fie scurtcircuitate împreună,
- carcasa ciocanelor de lipit se pune la pămînt,
- orice terminal de intrare al tranzistorului care nu se utilizează, se conectează la masa circuitului,
- nu se depășesc, tensiunile tranzistorii din foaia de catalog specificate la „valori absolute maxime“.
- nu se scot și nu se introduc tranzistoarele în circuite sub tensiune.

14.7. Tranzistoare cu efect de cîmp, de putere

14.7.1. Introducere

Tranzistoarele de putere atît cele bipolare cît și cele cu efect de cîmp, cunosc, de cîțiva ani o evoluție rapidă, fiind tot mai utilizate într-o serie de aplicații de mare siguranță în funcționare.

Această evoluție tehnologică, legată în primul rînd de solicitările constructorilor de echipamente electronice, a condus la lărgirea gamei de tranzistoare bipolare de putere fabricate în țară (la IPRS Băneasa) și la elaborarea de noi tehnologii de fabricație (tehnologia V-MOS *, la ICCE-București).

* De la apariția primelor TEC de putere cu aproximativ patru ani în urmă, performanțele lor s-au îmbunătățit continuu; în prezent se realizează tranzistoare în tehnologia V-MOS, utilizate în audio frecvențe, la tensiuni de 400 V și curenți de peste 10 A cît și în radiofrecvență, la puteri de peste 100 W.

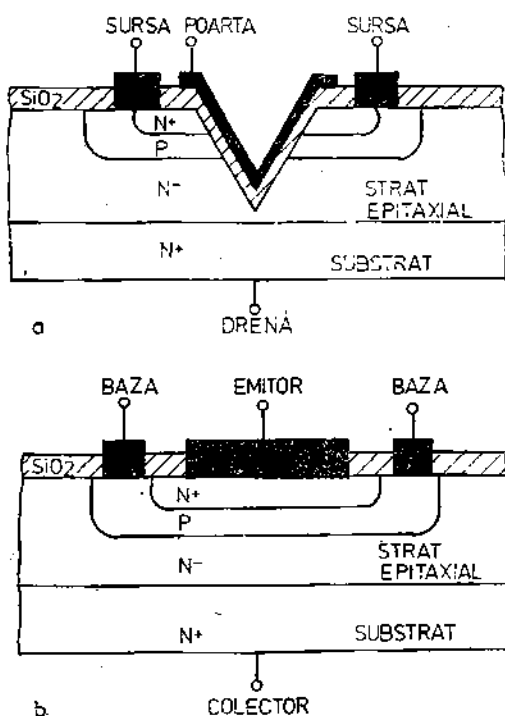


Fig. 14.14. Secțiune printr-un tranzistor V-MOS (a) și bipolul (b).

sarcină, minoritari, trecînd prin bază spre joncțiunea colectorului, polarizată invers.

● tranzistorul V-MOS, cu canal n prezentat în figura 14.14 *a* conduce cînd tensiunea poartă-sursă este pozitivă, caz în care „înduce” un canal conductor între sursă și drenă.

14.7.3. Utilizări

Utilizarea tranzistoarelor cu efect de cîmp de putere oferă o serie de avantaje, față de tranzistoarele bipolare și anume:

● au viteză de comutație mare (în general de 10 la 100 ori mai rapide decît tranzistoarele bipolare de putere), fapt care, în funcționare în generatoare de impulsuri, reduce semnificativ puterea de disipație în timpul comutării.

● au impedanță de intrare extrem de mare și de aceea se comandă cu puteri foarte mici (curenți de intrare de ordinul zecilor de nanoamperi);

14.7.2. Funcționare și construcție

În figura 14.14 *a* se prezintă, în comparație cu tranzistorul bipolar planar (figura 14.14 *b*), o secțiune prin tranzistorul de putere V-MOS.

În ambele tipuri de tranzistoare curentul circulă „vertical”, de la sursă la drenă, în primul caz, respectiv de la emitor la colector în cel de al doilea caz.

Cum rezultă din figură, cele două structuri de tranzistoare sînt similare; ambele au configurații n^+ , p , n^- și n^+ , iar curentul circulă de la stratul n^+ de la suprafața structurii, spre regiunea n^+ a substratului.

Funcționarea celor două dispozitive prezintă particularități specifice:

● tranzistoarele bipolare (figura 14.14 *b*) conduc cînd joncțiunea emitor-bază este polarizată în direct, purtătorii de

tranzistoarele V-MOS de putere pot fi comandate direct și cu circuite MOS complementare.

Tranzistoarele de putere de tip V-MOS au numeroase aplicații în electronică și anume: convertoare de tensiune, circuite de comandă electromotoare, comutatoare etc.

15. Tranzistoare unijonctiune

15.1. Definiție și simbol grafic

Tranzistorul unijonctiune (TUJ) este o componentă semiconductoare cu trei terminale care prezintă o caracteristică de tip N stabilă (rezistență negativă) între terminalul de emitor (E) și baza-unu (B1) când între cele două baze ale sale (B1 și B2) se aplică o tensiune pozitivă.

În figura 15.1 se prezintă o secțiune printr-o structură de TUJ de tip bară și de tip planar, și simbolul de reprezentare al acestuia în scheme electrice.

Tranzistoarele unijonctiune se fabrică într-o mare varietate de tipuri la ICCE.

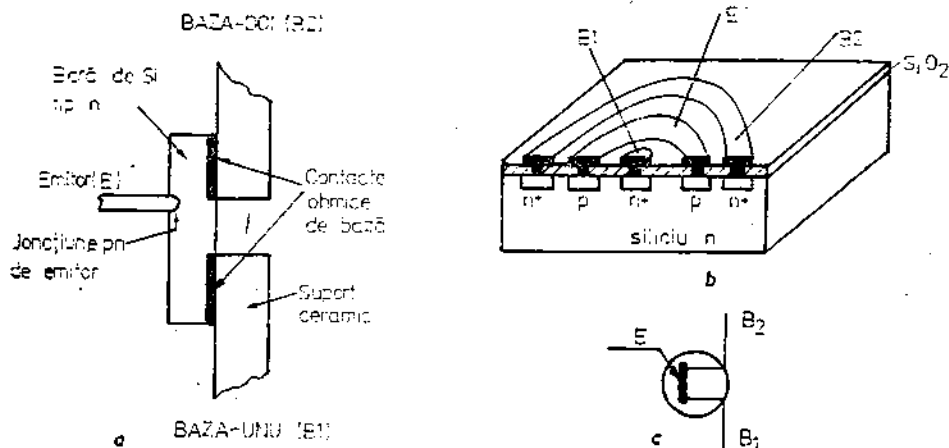


Fig. 15.1. Secțiune printr-un TUJ.

a — structură bară; b — structură planară; c — reprezentare simbolică

15.2. Construcție

Construcția tranzistoarelor unijuncțiune a evoluat permanent de la descoperirea lor (1952) până în prezent.

Cele mai folosite tipuri de structuri de TUJ sînt structurile bară (figura 15.1. a) și structura planară (figura 15.1. b).

Joncțiunea emitorului este localizată în mod uzal în apropierea bazei-doi, astfel încît dispozitivul nu este simetric; dispozitive simetrice se obțin în cazul în care emitorul se localizează la distanță egală de cele două baze, dar astfel de dispozitive nu au caracteristici convenabile pentru majoritatea aplicațiilor.

Rezistivitatea siliciului folosit la realizarea TUJ-ului, este cuprinsă în limite relativ largi: 50—1200 Ω cm.

15.3. Funcționare

Funcționarea TUJ-ului se bazează pe principiul modulării conductivității barei de siliciu între joncțiunea emitorului și contactul B_1 . Între cele două baze se aplică o tensiune electrică de curent continuu $+U_{BB}$ (figura 15.2.) În raport cu emitorul bara de siliciu se comportă ca un divizor de tensiune, astfel încît între baza B_1 și emitor apare o fracțiune din tensiunea U_{BB} egală cu $\eta \cdot U_{BB}$; η se numește raport intrinsec și depinde de distanțele dintre emitor și bazele B_1 și B_2 . El este determinat prin construcția TUJ-ului.

Dacă tensiunea de emitor U_E crește de la valoarea 0 (potențialul de referință al bazei B_1) pînă la o tensiune, numită tensiune de vîrf (figura 15.3 rezistența emitor-bază B_1 este foarte mare (joncțiunea $p-n$ a emitorului este polarizată invers și nu este parcursă decît de un foarte mic curent rezidual I_{E0}). Crescînd în continuare tensiunea emitorului, joncțiunea $p-n$ se polarizează

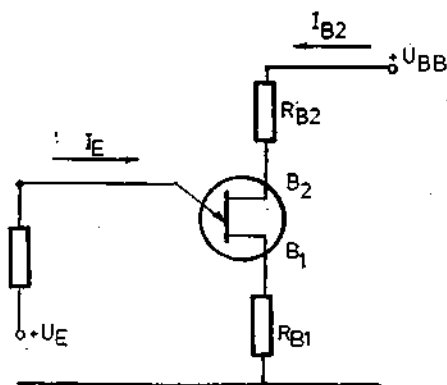


Fig. 15.2. Mod de polarizare a TUJ.

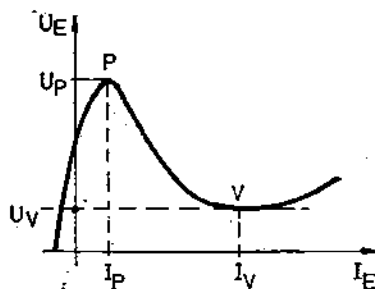


Fig. 15.3. Caracteristica statică $I_E = f(U_E)$ a TUJ.

în direct și rezistența emitor-bază B_1 devine foarte mică, iar curentul de emitor I_E crește foarte repede, în timp ce tensiunea U_{E-B_1} scade pînă la o valoare minimă numită tensiune de vale. Caracteristica tensiune-curent de emitor prezintă o pantă negativă într-o regiune cuprinsă între tensiunea de vîrf U_p și tensiunea de vale U_v ; aceasta se numește regiunea de rezistență negativă a TUJ-ului. Regiunea de la dreapta punctului de vale se numește regiune de saturație.

15.4. Tranzistorul unijonțiune programabil (TUP)

Tranzistorul unijonțiune programabil este o componentă semiconductoră cu trei joncțiuni (figura 15.4), asemănătoare cu un tiristor de mică putere de care se deosebește prin modul de legare al porții. Raportul intrin-

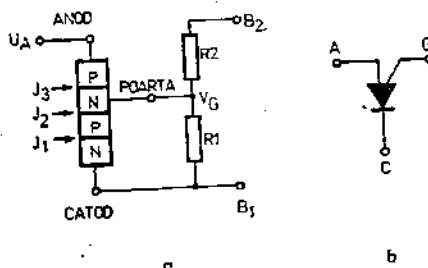


Fig. 15.4. Structura tranzistorului unijonțiune programabil (a) și reprezentarea lui în scheme (b).

sec este dat de expresia: $\eta = R_2/(R_1 + R_2)$ iar tranzistorul devine conductor cînd $U_A = U_G = U_{B_2B_1}$. Rezultă posibilitatea reglării complete printr-un circuit exterior a condițiilor de conducție de unde și denumirea (improprie) de tranzistor unijonțiune programabil).

Tranzistorul unijonțiune programabil poate înlocui TUJ-ul în aproape toate aplicațiile, el prezentînd și următoarele avantaje:

- sensibilitate mare,
- curent rezidual redus,
- posibilitate de programare a caracteristicilor proprii (η , I_V , I_V , R_{BB}),
- tensiunea de străpungere ridicată.

15.5. Aplicații ale tranzistoarelor unijonțiune

Majoritatea aplicațiilor practice ale TUJ-urilor utilizează una sau mai multe din următoarele lor proprietăți: (1) tensiune U_p (de basculare) stabilă și egală cu o fracțiune din tensiunea aplicată între baze; (2) valoare sufi-

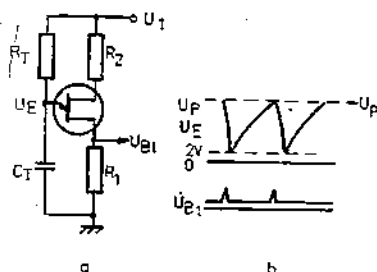


Fig. 15.5. Oscilator de relaxare cu TUJ (a) și forma de undă (b).

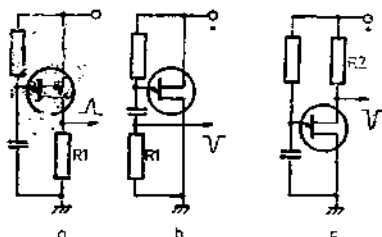


Fig. 15.6. Configurații de oscilatoare de relaxare utilizate ca generatoare de impulsuri.

cient de mică a curentului I_p (de basculare); (3) caracteristică tip N (rezistență negativă) uniformă (pe loturi întregi) și stabilă în timp și cu variația temperaturii; (4) posibilități de a suporta impulsuri mari de curent și (5) cost coborât. Aceste proprietăți recomandă utilizarea TUJ-urilor în oscilatoare, circuite basculante, relee de timp, unde ele pot înlocui, în majoritatea cazurilor, funcțiile a doua tranzistoare convenționale.

În continuare se prezintă, ca aplicație a TUJ-ului, un oscilator de relaxare, a cărui schemă de principiu este reprezentată în figura 15.5. este o schemă de bază pentru multe aplicații ale TUJ-ului, în special în relee de timp, generatoare de impulsuri circuite de basculare sau generatoare de tensiune linear variabilă (în dinți de fierăstrău).

Funcționarea schemei este următoarea: inițial joncțiunea emitorului este polarizată invers și nu conduce. Pe măsură ce capacitorul C_T se încarcă prin rezistorul R_2 , tensiunea pe emitor U_E crește exponențial spre valoarea tensiunii de alimentare U_1 . Când tensiunea pe emitor atinge valoarea de vîrf U_P , joncțiunea emitorului, polarizată direct de data aceasta, conduce și rezistența dinamică între emitor și baza — unu ($B1$) cade la valoarea sa minimă (R_S). În acest moment capacitorul C_T începe să se descarce prin circuitul de emitor. Când tensiunea pe emitor atinge o valoare de aproximativ 2V, joncțiunea emitorului se blochează și ciclul se reia. Perioada de oscilație, în cazul cînd R_1 și R_2 au valori mici, este dată de relația $T \approx R_T C_T \ln [1/(1-\gamma)]$.

În figura 15.6 se prezintă cîteva variante de scheme de oscilatoare de relaxare utilizate ca generatoare de impulsuri (pozitive sau negative). În configurațiile (a) și (b) se utilizează curentul de descărcare al unui condensator pentru generarea impulsului și ca atare impedanța lor de ieșire este mică. În configurația (c) se utilizează curentul bazei-doi pentru generarea impulsului și ca atare schema prezintă o impedanță de ieșire ridicată.

În cazul în care se utilizează un tranzistor unijoncțiune programabil schema oscilatorului de relaxare este cea prezentată în figura 15.7, funcționarea sa este similară cu funcționarea nontajului cu TUJ.

În figura 15.8 se prezintă o schemă de principiu care pune în evidență posibilitatea utilizării unui TUJ ca generator de tensiune linear variabilă (TLV) cu frecvență variabilă. Condensatorul $C2$ se încarcă prin intermediul

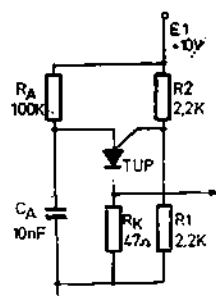


Fig. 15.7. Oscilator de relaxare cu TUJ.

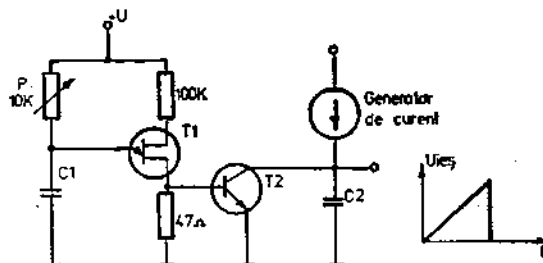


Fig. 15.8. Generator de tensiune linear variabilă cu TUJ.

unei surse de curent constant, I , furnizind în felul acesta la ieșire tensiunea U_{tes} , crescătoare. De fiecare dată când TUJ-ul basculează (frecvența lui de basculare se stabilește cu circuitul C1-P), condensatorul C2 se descarcă prin tranzistorul T2 aproape de potențialul masei. Tensiunea la ieșire își reîncepe ciclul când tranzistorul T2 se blochează.

16. Tiristoare

16.1. Definiție și funcționare

Tiristoarele fac parte din categoria dispozitivelor semiconductoare cu mai multe joncțiuni, utilizate pentru comanda sau reglarea tensiunilor și a curenților electrici.

Apărute relativ recent (1957—1958), ele au căpătat o largă utilizare în cele mai diferite domenii ale electronicii și electrotehnicii; tiristoarele înlocuiesc în multe scheme relele, amplificatoarele magnetice, tuburile electronice etc.

În prezent se fabrică o gamă largă de tiristoare, de curenți mari sau foarte mari (sute de amperi), folosite pentru transformarea curentului alternativ în curent continuu și tiristoare de curenți mici, utilizate în scheme de impulsuri, circuite logice etc.

Tiristorul este o componentă semiconductoare compusă dintr-o pastilă de siliciu în care sint realizate patru straturi alternative de tip p și de tip n . Aceste straturi formează trei joncțiuni J_1 , J_2 și J_3 (figura 16.1 a). Conexiunile anodului și catodului sint realizate pe straturile exterioare ale structurii, în timp ce conexiunea de poartă este legată la unul din straturile intermediare.

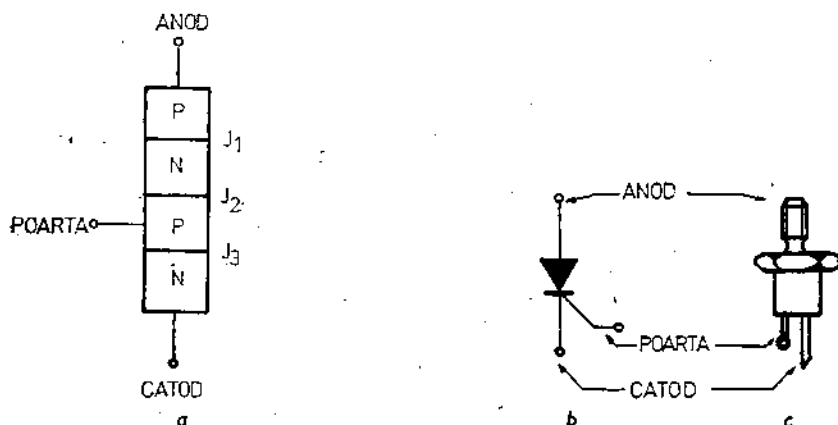


Fig. 16.1. Schema de principiu a unei structuri de tiristor (a) reprezentarea în scheme (b) și forma constructivă (c).

În figura 16.1. b este dat modul de reprezentare în scheme a tiristorului, iar în figura 16.1. c forma sa exterioară.

În figura 16.2 este dat un exemplu de realizare practică a unui tiristor. Structura tiristorului este constituită dintr-un disc de siliciu de tip N (grosimea 0,4—0,5 mm și diametrul variabil în funcție de curentul ce trece prin tiristor). Joncțiunile J_2 și J_3 sînt realizate prin difuzie cu galiu, iar joncțiunea J_1 prin difuzie sau prin aliere (contact aur-stibiu).

În figura 16.3 se prezintă două variante constructive ale structurii unui tiristor; structura din figura 16.3 a se realizează pornind de la placheta de siliciu de tip p în care se difuzează simultan pe ambele fețe clte un strat de tip n (fosfor), urmînd apoi o aliere a unui strat de tip p (aluminiiu) în unul din straturile difuzate.

Structura din figura 16.3. b, realizată numai prin difuzie, se obține prin difuzia simultană în ambele fețe ale plachetei de siliciu de tip n a unor stra-

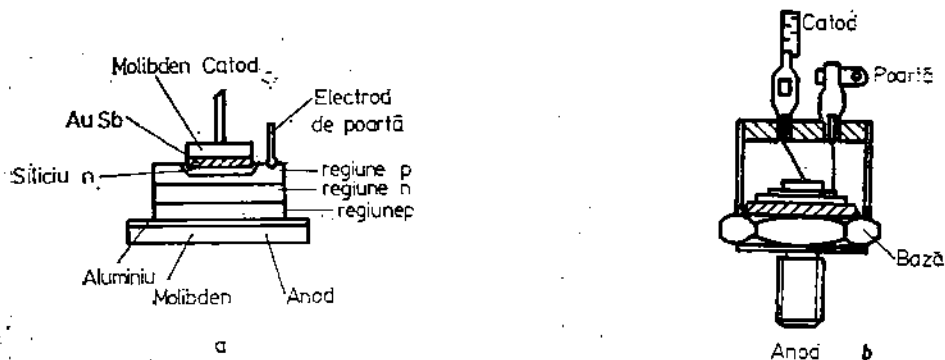


Fig. 16.2. Structură de tiristor (a) și mod de încapsulare (b).

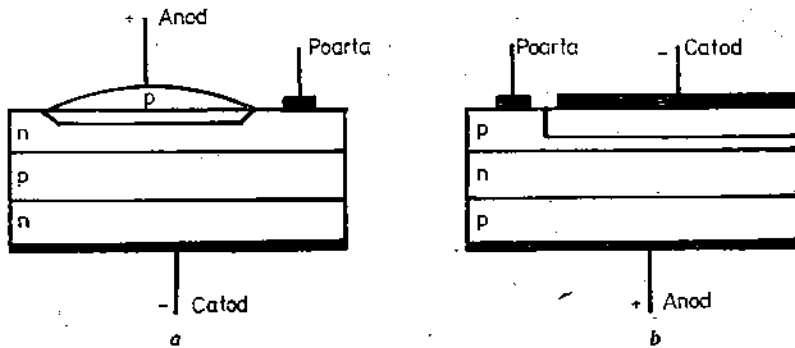


Fig. 16.3. Structuri de tiristoare.

turi de tip p (galiu sau bor) urmată apoi de difuzia numai pe o față a stratului de tip n (fosfor).

Ambele structuri pot fi realizate și prin procedeul epitaxial-difuzat, dacă straturile care se realizează prin difuzie se obțin prin creșteri epitaxiale.

Tiristorul prezentat în figura 16.1 c este un tiristor cu structură numită „normală”: anodul este sudat la capsulă și este dispus spre partea filetată a acesteia. Există și tiristoare cu structură inversă la care catodul este sudat la capsulă; din motive tehnologice, marea majoritate a tiristoarelor se realizează cu structură „normală”.

În funcție de modul de polarizare, se disting două regimuri de funcționare.

Tiristorul polarizat invers. În acest mod de polarizare, catodul este pozitiv față de anod, și joncțiunile J_1 și J_2 sunt polarizate în invers; tiristorul se comportă ca o diodă polarizată în invers și nu lasă să treacă prin el decât un curent foarte mic, curentul rezidual. Caracteristica sa $I-U$ este similară cu cea a unei diode.

Tiristorul polarizat direct. În această situație tensiunea anod-catod este pozitivă, joncțiunile J_1 și J_3 sunt polarizate în direct și joncțiunea J_2 în invers. Dacă se urmărește variația curentului prin tiristor în funcție de tensiunea aplicată (figura 16.4) se constată că:

— porțiunea OA a caracteristicii ($U < U_{BO}$) corespunde stării blocate în direct a tiristorului și curentul care trece prin el este egal cu curentul de saturație al joncțiunii J_2 polarizată în invers,

— în apropierea punctului A apare străpungerea prin avalanșă a joncțiunii J_2 polarizată în invers. Tensiunea și curentul corespunzătoare punctului A de pe caracteristică se numesc tensiune de comutare, respectiv curent de comutare. Apariția străpunerii prin avalanșă în joncțiunea J_2 conduce la creșterea bruscă a curentului prin dispozitiv și punctul de funcționare A sare în B ,

— pe porțiunea AB dispozitivul prezintă o rezistență diferențială negativă și punctul de funcționare pe această porțiune are o poziție instabilă; datorită acestui fapt, punctul de funcționare se va deplasa pe caracteristica BC ,

corespunzătoare stării de conducție a unei diode obișnuite; în acest caz tensiunea continuă pe tiristor este relativ mică (1 V – 2 V).

Tiristorul fiind o diodă comandată, realizată pe baza structurii cu patru straturi la care se adaugă un electrod de comandă, se constată că la diverse valori ale tensiunii de comandă pe poartă, pe măsură ce această tensiune crește, tensiunea de comutare a tiristorului scade.

16.2. Caracteristici statice

Caracteristica tensiune-curent în blocare. Caracteristicile care trebuie cunoscute în mod obligatoriu, indiferent de montajul în care se utilizează tiristorul, sînt tensiunile directe și inverse în stare blocată; aceste valori sînt date de constructor la temperatura maximă de funcționare (de obicei 125°C).

Tensiunea directă în stare blocată U_{BO} (figura 16.4) numită și tensiune de întoarcere, este valoarea tensiunii pozitive aplicate pe anod care provoacă conducția tiristorului, circuitul de poartă fiind deschis. Valoarea tensiunii U_{BO} scade pe măsură ce temperatura crește. Tensiunea inversă în stare blocată notată prin U_R , este tensiunea continuă aplicată tiristorului care se află în starea blocată în invers care nu trebuie depășită deoarece tiristorul se distruge.

Curentul de menținere, I_H , este valoarea curentului direct sub care tiristorul nu mai poate să rămână în conducție. Valori tipice: I_H variază de la 1mA

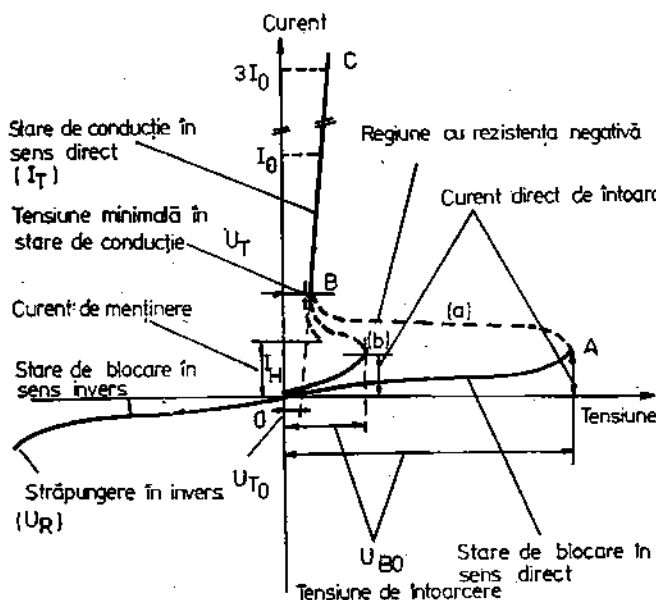


Fig. 16.4. Caracteristica $I-U$ a tiristoarelor.

(de exemplu pentru tiristoare de 1 A ef) la 100 mA (pentru tiristoare de 300 A ef); I_H scade pe măsură ce temperatura de funcționare crește.

Caracteristica tensiune-curent în conducție. Această caracteristică este analoagă cu caracteristica directă a unei diode; căderea de tensiune pe tiristor în stare de conducție U_T este cuprinsă între 1V și 2V în vecinătatea curentului nominal la temperatura ambiantă de 25°C și reprezintă tensiunea anodică în stare de conducție pentru o valoare dată a curentului anodic. Acestei mărimi îi corespunde curentul continuu direct cînd tiristorul este în stare de conducție, notat I_T .

16.3. Parametri limită

Valorile limită ale tensiunilor indicate în cataloage, pentru tiristoare sînt următoarele:

- tensiunea de vîrf de lucru în stare de blocare, în conducție directă, U_{DM} , este valoarea maximă a tensiunii în stare de blocare în sens direct,
- tensiunea inversă continuă, U_R , este valoarea tensiunii continue aplicate tiristorului aflat în stare de blocare în conducție inversă,
- tensiunea directă de vîrf de poartă, U_{FGM} , este valoarea instantanee maximă a tensiunii directe pe poartă.

Pentru curenți se definesc următoarele valori limită:

- curentul mediu redresat în stare de conducție, I_O , este valoarea medie a curentului în stare de conducție,
- curentul de vîrf, repetitiv în stare de conducție, I_{TRM} ,
- curentul de suprasarcină în stare de conducție, I_{TSM} ,
- curentul direct de vîrf de poartă, I_{FGM} .

16.4. Caracteristici dinamice

Aceste caracteristici se referă atît la timpii de amorsare (intrare în conducție) și de blocare ai tiristorului, așa numiții parametrii de comutare, cît și la vitezele de creștere a tensiunii pe anod $\Delta U/\Delta t$ și a curentului de conducție $\Delta I/\Delta t$.

Caracteristica de amorsare (aprindere). Cînd pe poarta tiristorului se aplică un impuls suficient de mare pentru a-l amorsa, se constată că tiristorul nu intră instantaneu în conducție (nu se amorsează sau nu se aprinde instantaneu). Timpul de aprindere, controlat prin intermediul porți, t_{gt} , este, timpul necesar ca tensiunea să scadă de la valoarea U_{BO} la valoarea U_T ,

respectiv timpul necesar pentru creșterea curentului direct prin tiristor de la 0, la o valoare I_T specificată. Acest timp variază între 1 și 5 μ s pentru majoritatea tiristoarelor.

Pentru a fi siguri că tiristorul se aprinde, trebuie ca impulsul de tensiune aplicat pe poartă să nu fie prea scurt și practic trebuie avut în vedere că durata lui să fie cel puțin egală cu timpul t_{gt} .

Caracteristica de blocare. Într-un tiristor în stare de conducție poarta nu mai are nici un rol; ca atare, tiristorul poate fi blocat fie prin aplicarea unei tensiuni de curent continuu inverse pe anod, fie în momentul cînd alternanța tensiunii pozitive aplicate pe anod scade la zero.

Timpul de blocare al unui tiristor se definește ca fiind timpul care se scurge între momentul cînd curentul său anodic devine nul, după comutarea exterioară a curentului anodic, și momentul în care tiristorul este capabil să admită o tensiune anodică specifică, fără să se reamorseze (tensiunea directă de blocare).

Tiristoarele rapide au timpi de blocare sub 10 μ s, însă nu suportă tensiuni ridicate (de exemplu peste 500–600 V).

Tiristoarele de putere (de curenți mari, de ordinul sutelor de amperi) au timpi de blocare de ordinul a 100 μ s.

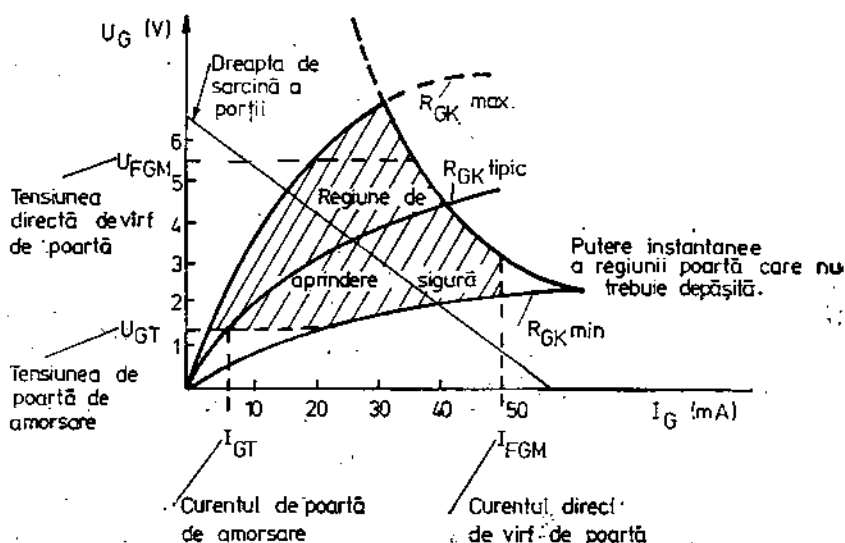
Viteza critică de creștere a tensiunii de blocare $\Delta U/\Delta t$. Tensiunea de aprindere U_{BO} a unui tiristor scade pe măsură ce viteza de creștere a tensiunii ce se aplică pe anodul său crește. De exemplu, dacă un tiristor poate suporta în stare blocată o tensiune continuă de 500 V, el poate să se aprindă independent de starea în care se găsește poarta, sub această valoare, dacă tensiunea ce i se aplică pe anod are o variație mare în timp, de exemplu $\Delta U/\Delta t > 100 \text{ V}/\mu\text{s}$.

De aici rezultă necesitatea definirii unei viteze critice de creștere a tensiunii în stare de blocare $\Delta U/\Delta t$, care este valoarea maximă a mărimii $\Delta U/\Delta t$ care nu antrenează amorsarea tiristorului.

Acest parametru este foarte variabil, începînd cu 20 $\text{V}/\mu\text{s}$ și terminînd cu 1000 $\text{V}/\mu\text{s}$ (tiristoarele fabricate de IPRS se clasifică după acest parametru în 11 clase marcate prin literele A...K).

Viteza critică de creștere a curentului în stare de conducție $\Delta I/\Delta t$. Un tiristor conduce dacă în poarta sa se injectează un curent I_{GT} , numit curent de poartă de amorsare, în sensul poartă catod, anodul său fiind pozitiv în raport cu catodul.

Impulsul aplicat pe poartă trebuie să fie suficient de mare în tensiune și în curent pentru a produce în mod sigur aprinderea tiristorului. Din motivul acesta, constructorii indică pentru fiecare clasă de tiristoare în afară de caracteristica $I_G U_G$ și zona limită în planul $I_G U_G$ în care tiristorul poate fi aprins în mod sigur (figura 16.5). Cele două limite din figură R_{Gmin} și R_{Gmax} sînt determinate cu relația $R_{GK} = U_G/I_G =$ rezistența directă a diodei poartă-catod.



În general, se menționează următorii parametrii ai circuitului de poartă:

- curentul I_{GT} , ca fiind valoarea minimă a curentului de poartă necesar pentru a produce aprinderea tiristorului,
- tensiunea U_{GT} care corespunde curentului I_{GT} .

În practică, se utilizează diverse circuite de protecție care limitează semnalele aplicate pe poartă la valori inferioare valorilor maxime indicate (de exemplu prin folosirea de diode în serie sau în paralel pe poartă).

16.5. Procedee de aprindere

În practică există un număr mare de montaje electronice utilizate pentru aprinderea tiristoarelor.

Din punct de vedere funcțional, montajele de aprindere ale tiristoarelor se clasifică în următoarele tipuri principale:

- montaje de comandă în curent continuu,
- montaje de comandă în curent alternativ,
- montaje de comandă în impulsuri.

În funcție de tipul componentelor electronice prin intermediul cărora se realizează comanda tiristoarelor, deosebim următoarele tipuri de circuite de aprindere:

- cu componente pasive (rezistoare, rezistoare și capacitare),
- cu semiconductoare (diode, tranzistoare uniunijonțiune, diacuri etc).

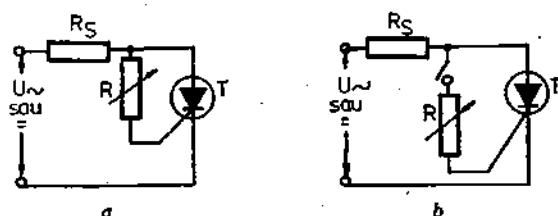


Fig. 16.6. Circuite de comandă a tiristoarelor prin rezistor.

La elaborarea oricărui tip de circuit de comandă trebuie avute în vedere următoarele precauții:

- să nu se depășească puterea maximă disipată pe poartă, indicată în cataloage,
- circuitul de comandă trebuie să furnizeze tensiunile și curenții necesari aprinderii (v. figura 16.5),
- mărimile reziduale ale curenților și tensiunilor circuitelor de comandă trebuie să aibă valori care să nu provoace aprinderi accidentale ale tiristoarelor.

În figura 16.6 se prezintă două tipuri de scheme de comandă cu rezistor. Acest tip de comandă poate fi aplicat atât circuitelor de curent alternativ, cât și celor de curent continuu.

În circuitul din figura 16.6 *a*, poarta se alimentează direct de la anod, în timp ce circuitul din figura 16.6 *b*, dispune de un întrerupător (un relee, un tranzistor), prin intermediul căruia se alimentează poarta; utilizarea întrerupătorului permite întreruperea alimentării porții, după ce tiristorul a intrat în conducție.

Valoarea rezistenței R se determină astfel încât mărimea curentului de poartă să nu depășească valoarea maximă menționată în cataloage.

În cazul montajului din figura 16.7 utilizat în curent alternativ, dioda D din circuitul de comandă are rolul de a împiedica aplicarea unei tensiuni (negative) pe poartă în timpul alternanței negative; din motivul acesta ea trebuie să poată suporta tensiunea inversă de rețea. Unghiul de întârziere a aprinderii tiristorului variază cu valoarea rezistenței R ; el poate fi reglat practic între 0 și 90° .

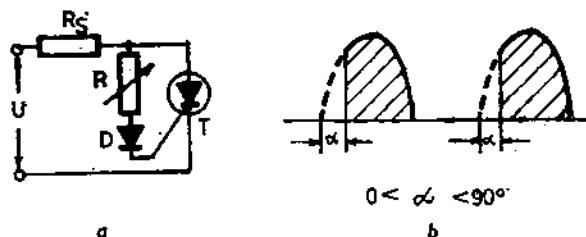


Fig. 16.7. Circuit de comandă al tiristorului în curent alternativ prin rezistor și diodă:

a — schema electrică; *b* — forma de undă a tensiunii în sarcină.

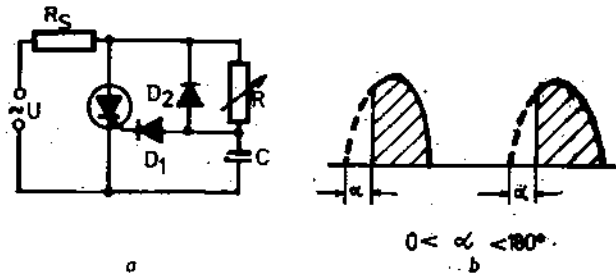


Fig. 16.8. Schema de comandă a tiristorului cu rețea RC (a) și forma de undă a tensiunii în sarcină (b).

Figura 16.8 prezintă un circuit de comandă al tiristorului prin rețea RC. Aprinderea tiristorului este produsă de tensiunea de alimentare, iar unghiul de întârziere la amorsare se poate regla prin constanta de timp RC a circuitului. Cu ajutorul acestui circuit se poate obține o comandă totală a unei alternanțe.

Capacitatea C se încarcă în timpul alternanței pozitive până la tensiunea de amorsare, într-un timp care depinde de constanta de timp RC și de viteza de creștere a tensiunii pe anodul tiristorului. În timpul alternanței negative, armătura superioară a condensatorului C se încarcă negativ prin dioda D_2 până la valoarea de vîrf a tensiunii de alimentare, astfel că acest condensator poate din nou să se încarce în alternanța următoare (pozitivă).

Cel mai utilizat dispozitiv de comandă al tiristoarelor este TUJ-ul, deoarece el permite realizarea de oscilatoare de relaxare cu foarte puține componente pasive.

În figura 16.9 se prezintă montajul obișnuit de comandă cu TUJ. Transistorul uni joncțiune se alimentează prin intermediul unui redresor dublă alternanță ale cărui vîrfuri de tensiune se limitează cu ajutorul unei diode zener DZ (pe figură sînt arătate formele de undă care se obțin în diverse puncte ale schemei). La începutul fiecărei perioade condensatorul C se încarcă

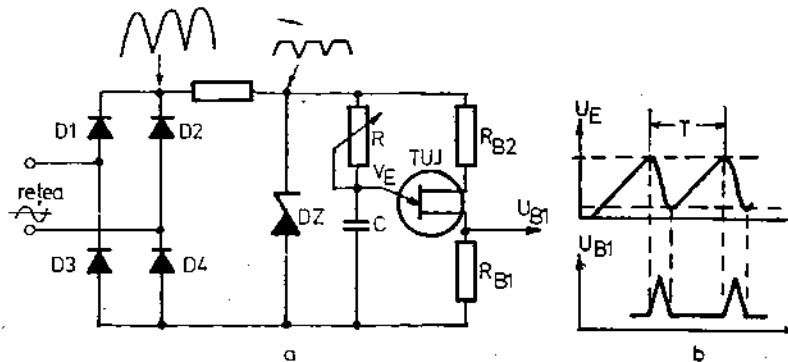


Fig. 16.9. Circuit de comandă a tiristorului cu TUJ (a) și formele de undă ale tensiunii (b).

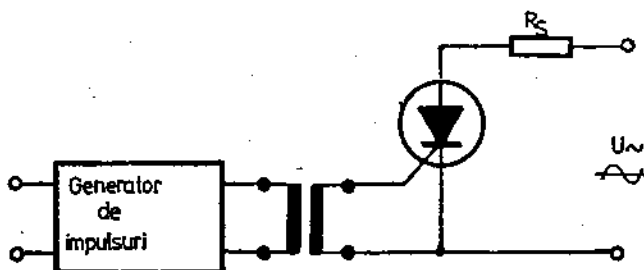


Fig. 16.10. Comanda tiristorului prin intermediul unui transformator de impulsuri.

Într-un timp ($t = RC$) reglabil, prin modificarea rezistenței R pînă la tensiunea de amorsare a TUI-ului, și în momentul respectiv condensatorul C se descarcă prin rezistența R_{B1} , producînd impulsul de tensiune pentru comanda tiristorului. La sfîrșitul perioadei scăderea tensiunii între bazele B_1, B_2 ale TUI-ului are ca efect descărcarea condensatorului pînă la zero. Condensatorul descărcîndu-se (timpul de descărcare $t = CR_{B1} < CR$), există siguranță că la începutul semiperioadei următoare, încărcarea condensatorului C începe de la zero în felul acesta asigurîndu-se sincronizarea cu frecvența rețelei condiție necesară pentru funcționarea tiristorului. Formele de undă ale tensiunii la bornele capacității C și la intrarea montajului, respectiv pe poarta tiristorului, sînt date în figura 16.9 b.

În cazul în care un montaj necesită izolarea electrică a sursei de comandă de tiristor, se poate utiliza sistemul de comandă a porții cu transformator de impulsuri (figura 16.10). Transformatoarele utilizate în acest scop au raportul de transformare 1/1.

17. Triacul

17.1. Definiție și simbol grafic

Triacul este o componentă semiconductoare, analoagă cu două tiristoare montate în antifază în aceeași pastilă semiconductoare, prevăzută cu o singură poartă și cu două borne pentru curentul principal.

În figura 17.1. c, se arată structura internă a triacului, în comparație cu figurile 17.1. a și b, din care rezultă analogia triacului cu două tiristoare

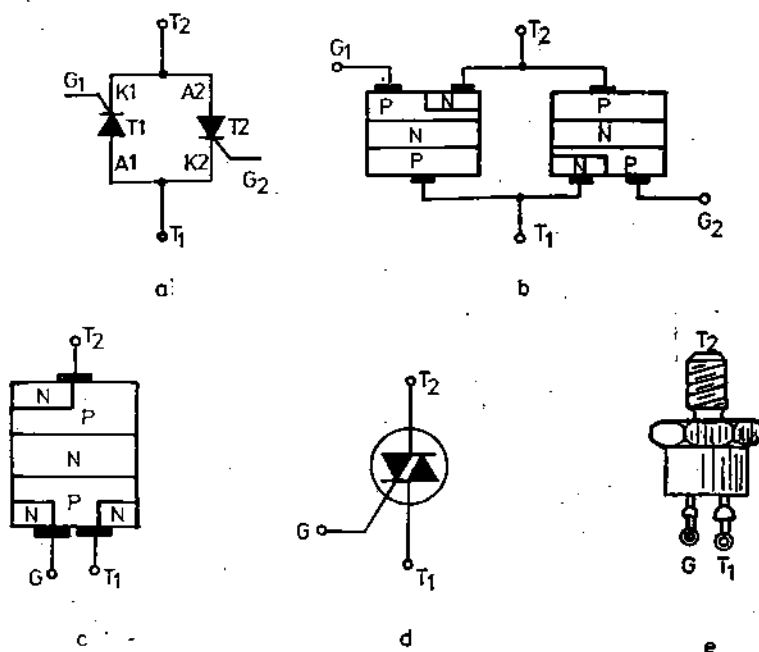


Fig. 17.1. Triac.

montate în antifază; în figura 17.1. *d* se arată modul de reprezentare în scheme al triacului, (acest simbol cuprinde simbolul obișnuit al tiristorului combinat cu cel al tiristorului complementar). Forma exterioară a triacului (fig. 17.1 *e*) nu diferă de forma tiristorului.

17.2. Caracteristica tensiune-curent a triacului

Pentru definirea caracteristicii tensiune-curent a triacului, reprezentată în figura 17.2, se consideră ca referință borna $T1$. Caracteristica din primul cadran corespunde cazului în care tensiunea aplicată pe borna $T2$ este pozitivă în raport cu $T1$, iar cea din cadranul III situației inverse.

Ca și în cazul tiristorului, în absența semnalului de poartă, $I_g = 0$, se definește o tensiune de blocare U_{BR} ; această tensiune trebuie să fie mai mare decât amplitudinea tensiunii alternative aplicate între bornele $T2$ și $T1$, pentru a putea avea un control asupra triacului prin poartă. Așa cum rezultă din figura 17.2, pe măsură ce crește curentul de comandă aplicat pe poartă, triacul poate bascula la tensiuni din ce în ce mai mici.

Triacul este blocat în ambele sensuri atît timp cît $I_g = 0$ și tensiunea aplicată între bornele $T1 - T2$ nu depășește tensiunea U_{BR} . El se amor-

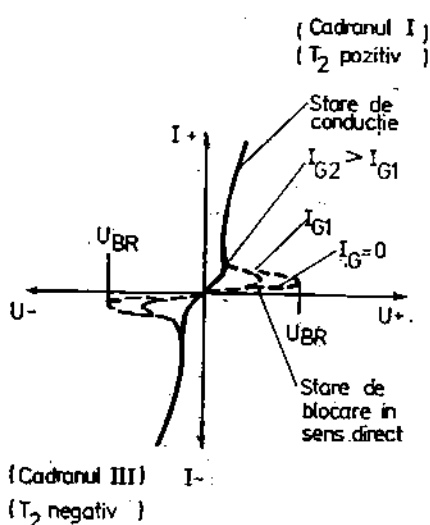


Fig. 17.2. Caracteristica tensiune-curent al triacului.

sează * într-un sens sau celălalt (cadrantul I și III) la aplicarea unui semnal de polaritate oarecare și de energie mică, aplicat pe poartă.

Triacul poate fi pus în conducție prin impulsuri pozitive și negative aplicate pe poartă, în cadrantul I și III, după cum se comandă semialternanța pozitivă sau semialternanța negativă.

În funcție de polaritatea tensiunii aplicate pe cei doi electrozi T_1 și T_2 , sint posibile următoarele moduri de amorsare ale triacului.

Cadrantul I ($U_{T2} > 0$)	$\left\{ \begin{array}{l} \text{modul } I^+ : \text{ valori pozitive ale tensiunii și curentului de poartă,} \\ \text{modul } I^- : \text{ valori negative ale tensiunii și curentului de poartă,} \end{array} \right.$
Cadrantul III ($U_{T2} < 0$)	$\left\{ \begin{array}{l} \text{modul } III^+ : \text{ valori pozitive ale tensiunii și curentului de poartă,} \\ \text{modul } III^- : \text{ valori negative ale tensiunii și curentului de poartă.} \end{array} \right.$

Triacul amorsat va rămâne în conducție atit timp cit pe poarta sa rămîne aplicat semnalul; dacă semnalul este întrerupt, triacul rămîne în conducție pînă la sfîrșitul semialternanței în curs.

* Trebuie remarcat că triacul este autoprotejat contra supratensiunilor eventuale directe sau inverse, deoarece la apariția acestora triacul se amorsează prin depășirea tensiunii de străpungere U_{BR} , lucru posibil în ambele sensuri; în acest caz triacul conduce pînă la terminarea alternanței în timpul căreia s-a produs supratensiunea. Această proprietate face triacul mai sigur în exploatare decît tiristorul.

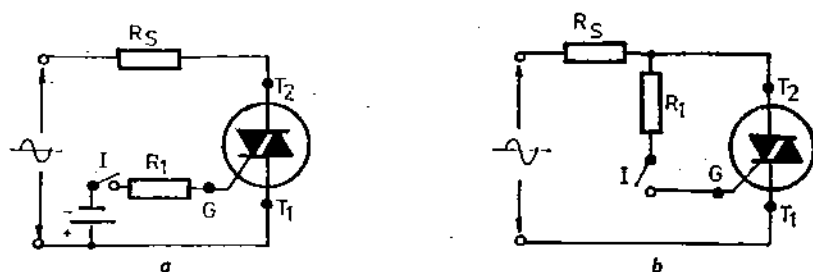


Fig. 17.3. Circuite de comandă pentru triac:
a — prin curent continuu; b — prin curent alternativ.

17.3. Circuite de comandă pentru triac

Amorsarea unui triac poate fi obținută prin curent continuu, prin curent alternativ, prin curent alternativ redresat și prin impulsuri (furnizate de un TUJ sau un diac).

În figura 17.3 a se prezintă schema de comandă a triacului prin curent continuu aplicat pe poartă. Dacă întrerupătorul I este deschis pe poartă nu se aplică nici-un curent și triacul este blocat. Închizând întrerupătorul tensiunea continuă de polarizare furnizează un curent de poartă prin intermediul rezistenței R amorsind în felul acesta triacul atit în cadranul I (I⁺) cit și în cadranul III (III⁻).

Figura 17.3 b prezintă o schemă de amorsare în curent alternativ. Cind întrerupătorul I este deschis triacul este blocat. La închiderea întrerupătorului, la începutul fiecărei alternanțe tensiunea între bornele T2 și T1 crește rapid, astfel că în momentul cind atinge valori de 5—6 V să asigure un curent de poartă suficient ca, aplicat prin intermediul rezistorului R_I, să amorseze triacul. În acest moment tensiunea între T2 și T1 scade la aproximativ 1,5—2 V, blocind curentul de poartă; triacul amorsat va rămâne în conducție pînă la sfîrșitul semialternanței respective, cind triacul se blochează. Procesul se repetă în timpul semialternanței următoare, triacul reamorsindu-se imediat la începutul acesteia.

Atita timp cit întrerupătorul I este închis, triacul este continuu în conducție și toată tensiunea rețelei se găsește practic pe sarcina R_S.

În figura 17.4 se prezintă o schemă de comandă a triacului în curent alternativ redresat. În acest caz deoarece curentul de poartă circulă numai în timpul unei semialternanțe, triacul este amorsat numai în timpul alternanței pozitive (I⁺) și este blocat în timpul alternanței negative. Acest mod de comandă conferă triacului un mod de funcționare similar cu cel al tiristorului.

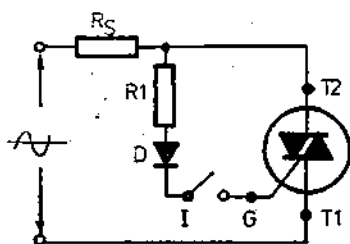


Fig. 17.4. Comanda triacului în curent alternativ redresat.

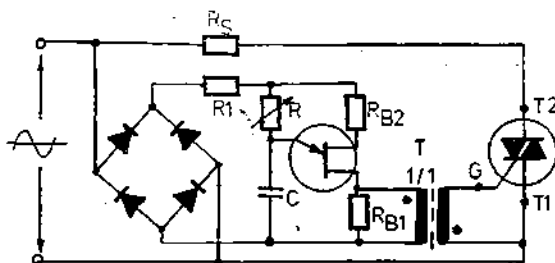


Fig. 17.5. Comanda triacului cu TUJ.

În figura 17.5 se prezintă un circuit de comandă al triacului cu TUJ. Montajul se realizează astfel încît prin intermediul transformatorului 1 să se aplice pe poarta triacului, impulsuri negative. În felul acesta triacul va fi amorsat în modul I⁻ și III⁻.

18. Diacul*

18.1. Definiție și simbol grafic

Diacul este o diodă simetrică (figura 18.1 a) care prezintă în ambele sensuri, începînd de la o anumită tensiune U_{BR} (în general cuprinsă între 25 și 40 V) o rezistență negativă (figura 18.1 b).

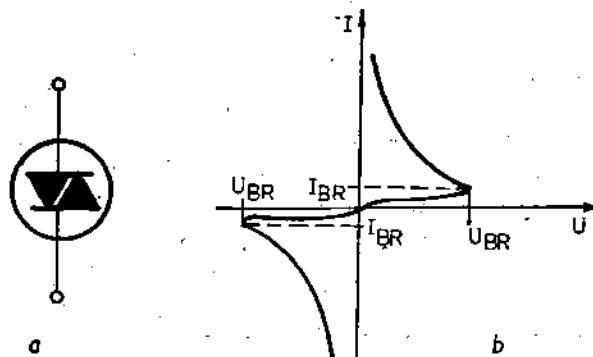


Fig. 18.1. Reprezentarea simbolică a diacului (a) și caracteristica lui volt-amperică (b).

* Diode Alternative Current switch (DIAC).

18.2. Utilizare în scheme

Diacul poate fi utilizat într-o serie de aplicații practice. În cele ce urmează se vor prezenta câteva scheme simple cu diac.

În figura 18.2 se prezintă schema unui oscilator de relaxare cu diac, care funcționează în felul următor. După conectarea tensiunii de alimentare U_0 , care trebuie să fie mai mare decât U_{BR} , condensatorul C începe să se încarce prin rezistorul R_1 ; tensiunea pe acesta va crește până ajunge la valoarea de basculare a diacului U_{BR} . În acest moment diacul intră în conducția și condensatorul se descarcă prin el. Dacă rezistența rezistorului R_1 se alege astfel încît $U_0/R_1 < I_{BR}$, atunci după descărcarea condensatorului diacul din nou revine în starea blocat și ciclul descris mai înainte se reia. Rezistorul $R_2 < R_1$ se conectează în circuit pentru limitarea curentului de descărcare al condensatorului în vederea protejării diacului. Forma de undă a tensiunii la bornele condensatorului C este reprezentată în figura 18.2 *b*, iar cea de la bornele rezistorului R_2 (unde se obțin impulsuri scurte pozitive) este reprezentată în figura 18.2 *c*.

În figura 18.3 se prezintă schema electrică a unui circuit basculant astabil (multivibrator) cu diac. Ea comportă doar un condensator de comutare. Tensiunea de alimentare se alege astfel încît să fie îndeplinită condiția $U_0 > U_{BR}$. Pe scurt, montajul funcționează în felul următor. La conectarea tensiunii de alimentare, unul din diacuri este blocat și celălalt este în conduc-

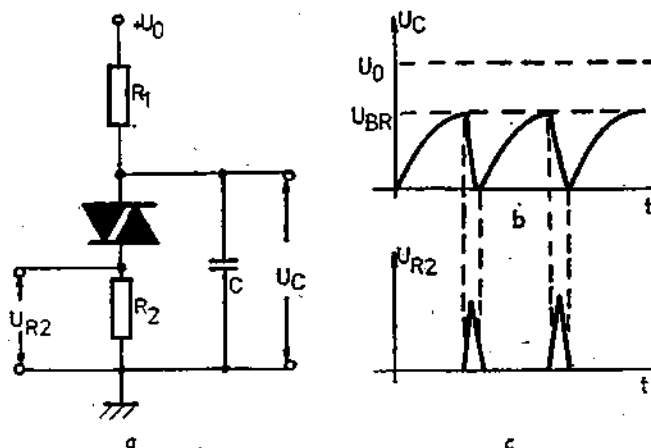


Fig. 18.2. Generator de tensiune linear-variabilă cu diac:
a — schemă de principiu; *b* — forma tensiunii la bornele condensatorului; *c* — forma tensiunii la bornele rezistorului R_2 .

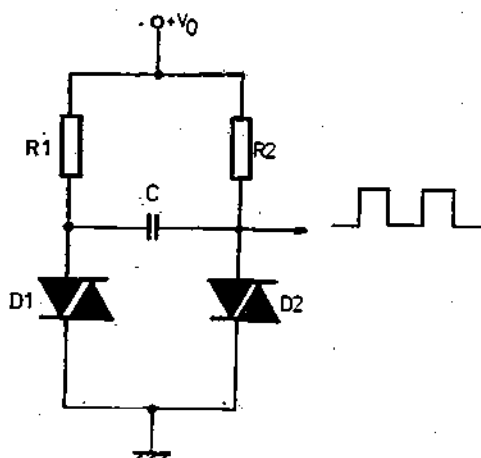


Fig. 18.3. Schema unui circuit basculant stabilizat realizat cu diaci.

egală cu U_{BR1} , diacul D_1 intră (din nou) în conducție iar D_2 se blochează. În continuare ciclul se reia.

În cazul multivibratorului simetric, $R_1 = R_2 = R$; $U_{BR1} = U_{BR2} = U_{BR}$, tensiunea la ieșire are forma dreptunghiulară simetrică.

În figura 18.4 se prezintă o schemă de amorsare a unui triac, prin diac. În acest caz, la punerea în funcțiune a montajului, capacitatea C începe să se încarce; când tensiunea la bornele ei atinge valoarea tensiunii de basculare a diacului, acesta se deblochează și condensatorul se descarcă, furnizând circuitului de poartă un impuls de curent care amorsează triacul. Diacul furnizează două impulsuri de semn contrar, defazate unul față de celălalt la 180° . Defazajul acestor impulsuri în raport cu tensiunea de comandă U_c , depinde de constanta de timp CR , reglabilă în cazul prezentat în figura 18.4 a, b.

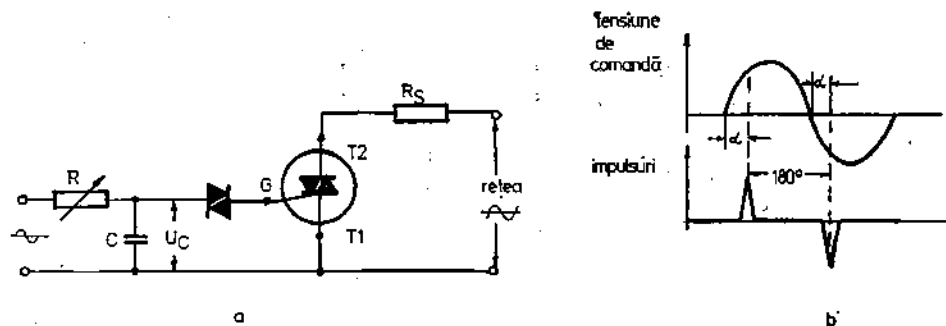


Fig. 18.4. Comanda triacului cu diac:

a — circuit de comandă; b — forma impulsurilor de comandă.

ție; presupunem că D_1 este în conducție și D_2 blocat. În acest caz condensatorul C începe să se încarce și curentul de încărcare trecind prin R_2 , coboară tensiunea pe diacul D_2 , împiedicind și în acest mod să conducă simultan cu primul. Când tensiunea pe condensator atinge valoarea U_{BR2} , a diacului D_2 , acesta intră în conducție iar D_1 se blochează; în felul acesta multivibratorul își schimbă starea. De data aceasta condensatorul C se încarcă prin R_1 și prin diacul D_1 . Când tensiunea pe condensator devine

19. Circuite integrate logice

În tehnica actuală de producție a semiconductoarelor se disting două mari familii de circuite integrate fabricate pe scară industrială sau semiindustrială: circuite integrate monolitice și circuite integrate hibride.

În tehnica monolitică, toate elementele componente ale schemei electronice se realizează în interiorul sau pe suprafața unei pastile mici de siliciu; legăturile între componentele de pe pastilă se obțin prin intermediul peliculelor conductoare metalice, depuse prin măști de configurații determinate. Introducând componentele electronice individuale ale schemelor monolitice nu pot fi separate, schemele monolitice se numesc și scheme sau circuite integrate.

În tehnica hibridă componente electronice separate se fixează pe suporturi izolate și se leagă între ele fie prin pelicule conductoare metalice depuse prin măști de configurație determinată, fie prin fire conductoare metalice.

Circuitele integrate se deosebesc de circuitele electronice discrete prin aceea că elementele lor componente, atât cele pasive, cât și cele semiconductoare, se execută pe un același suport sau substrat; în cazul circuitelor monolitice, ca substrat se folosește siliciul.

În cele ce urmează se vor prezenta circuitele integrate monolitice în care, componentele electronice sînt realizate simultan în corpul unei (mici) pastile de siliciu, numită „cip” prin tehnica planar; componentele circuitului sînt interconectate prin trasee metalice depuse prin evaporare în vid peste un strat de bioxid de siliciu crescut la suprafața pastilei de siliciu. Se va prezenta totodată o clasificare a circuitelor integrate și succint se vor face referiri la principalele lor caracteristici și utilizări.

19.1. Clasificarea circuitelor integrate semiconductoare

Principalele criterii de clasificare a circuitelor integrate semiconductoare sînt: gradul de integrare, funcția în circuite, tehnologia de realizare și viteza de răspuns.

În funcție de gradul de integrare (numărul de componente pe cip) convențional circuitele integrate se clasifică în (tabelul 19.1):

- circuite integrate cu nivel mic de integrare (numite și CI din generația I-a); acestea conțin sub 100 elemente pe cip,

- circuite integrate pe scară medie (CI din generația II-a); conțin 100—1000 elemente pe cip,

- circuite integrate pe scară largă (CI din generația III-a); conțin 1000—10.000 elemente pe cip,

- circuite integrate pe scară foarte largă (CI din generația IV-a); conțin peste 10.000 elemente pe cip.

Tabelul 19.1. Clasificarea circuitelor integrate după gradul de integrare

Tipul	Număr de componente pe „cip”	Exemple de aplicare		
		digitale	mixte	liniare
CI Standard (generația I)	100	— Porți logice — Circuite basculante simple		— Amplificatoare operaționale, — Reglatoare de tensiune, — Multiplicatoare — Circuite pentru, radio și TV
CI pe scară medie (generația II)	100—1000	— Numărătoare — Registre — Memorii 256 biți	Convertitoare A/D—D/A	— Decodare stereo, — Amplificatoare video și demodulatoare pentru receptoare TV
CI pe scară largă (generația III)	1000—10000	— Calculatoare de buzunar, — Microprocesoare de 8 biți, — Memorii RAM de 1—8 Kbiți — Ceasuri digitale		— Filtre CCD
CI pe o scară foarte largă (generația IV)	peste 10 000	— Microprocesoare 16, biți, — Memorii RAM cu 64 K biți — Procesoare monolitice	Procesor cu convertor A/D	— Matrice fotosensibile cu CCD

Ca urmare a progresului tehnicii și tehnologiei de fabricație dimensiunile geometrice ale elementelor componente ale circuitelor integrate se micșorează sistematic; de exemplu, în ultimii 5—6 ani, dimensiunile componentelor active s-au redus cu un ordin de mărime (figura 19.1). Aceasta, la rîndul său, a condus la creșterea numărului de tranzistoare pe cip cu două ordine de mărime; după prognozele cele mai optimiste, numărul de componente active pe cip, în anul 1980 va depăși cu mult cifra de 100.000.

Din punct de vedere funcțional circuitele integrate se clasifică în:

- circuitele integrate digitale (logice); sînt circuite care prelucreză semnale binare pentru realizarea unor funcțiuni logice și/sau de memorare,

- circuitele integrate liniare (analogice); sînt circuite integrate care prelucreză sau generează semnale continue, pentru realizarea unor funcțiuni ca amplificare, modulare/demodulare etc.

În funcție de tehnologia de realizare CI se clasifică în CI bipolare și CI-MOS (tabelul 19.2).

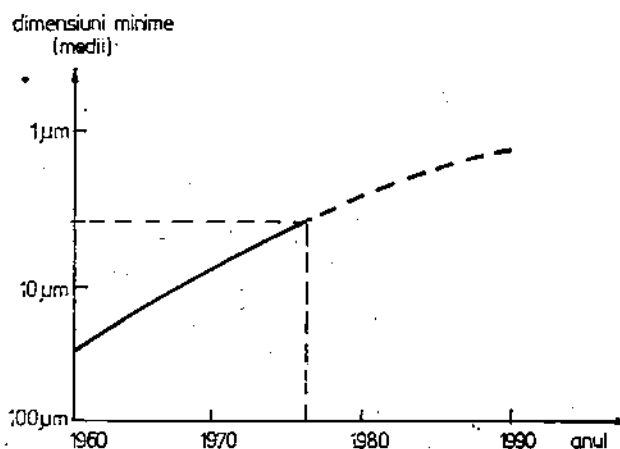
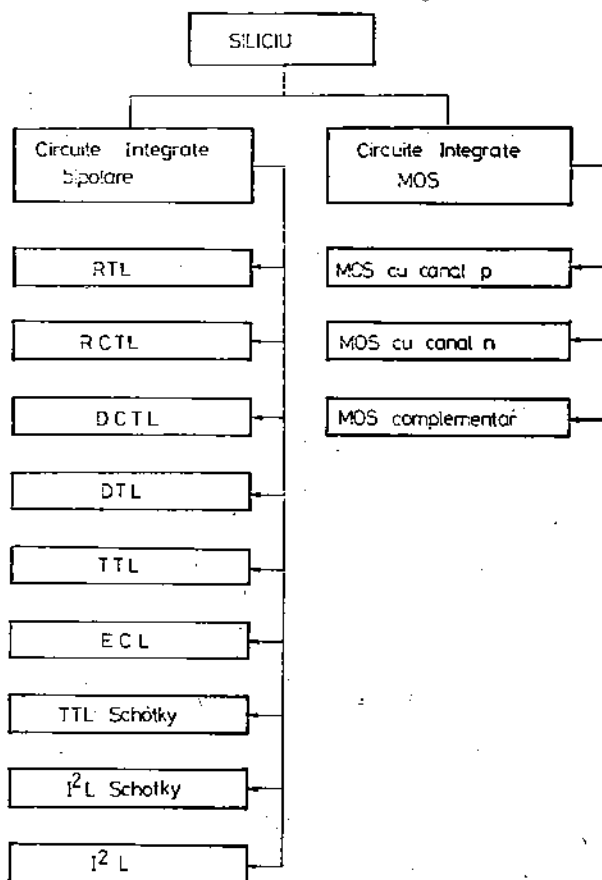


Fig. 19.1. Evoluția în timp a dimensiunilor geometrice ale componentelor electronice integrate.

Tabelul 19.2. Principalele variante tehnologice ale CI monolitice



După viteza de răspuns CI se clasifică în:

- circuite de foarte mare viteză sau ultrarapide (timpul de răspuns sub 5 nsec),
- circuite de mare viteză (timp de răspuns 5—10 nsec),
- circuite de viteză medie (timp de răspuns 10—50 nsec),
- circuite lente (timp de răspuns peste 50 nsec).

Tabelul 19.1 rezumă primele două moduri de clasificare prezentate mai sus, menționind în același timp și câteva din aplicațiile practice ale circuitelor integrate, iar tabelul 19.2 cel de al treilea mod de clasificare.

19.2. Realizarea componentelor de circuit monolitice

Elementele circuitelor integrate monolitice, tranzistoare, diode semiconductoare, rezistoare, capacități, se execută prin procese de difuzie selectivă specifice tehnologiei planar.

19.2.1. Tehnici de izolare folosite în fabricația CI monolitice

Circuitele integrate se deosebesc de circuitele cu componente electronice discrete prin aceea că elementele lor componente, atât cele pasive cât și cele active, se realizează pe un același suport sau substrat. În cazul circuitelor integrate monolitice, ca substrat se folosește placheta semiconductoare. Între elementele active și pasive ale schemei integrate monolitice trebuie asigurată o izolare electrică în vederea micșorării reacțiilor parazite între acestea.

În momentul de față se cunosc mai multe metode de izolare a componentelor circuitului integrat monolitic două dintre acestea au căpătat importanță practică și se utilizează în fabricație: metoda de izolare prin joncțiuni $p-n$ polarizate invers și metoda de izolare cu strat de bioxid de siliciu (SiO_2).

În tehnica de izolare cu ajutorul joncțiunii $p-n$ polarizate invers, fiecare element de circuit este realizat „într-o insulă” în pastila de siliciu; tipul de conductibilitate al „insulei” diferă de conductibilitatea substratului. Fiecare insulă este izolată de substrat printr-o joncțiune $p-n$ care va trebui să fie tot timpul polarizată invers, așa cum se arată în figura 19.2 a; în figura 19.2 sînt prezentate principalele etape tehnologice de realizare a acestui tip de izolare. Izolarea între componente și substrat este relativ bună la frecvențe joase; la frecvențe înalte, datorită capacității joncțiunii „insulă-substrat” apare un cuplaj între elemente ceea ce face ca această metodă să nu poată fi folosită în circuite integrate de înaltă frecvență.

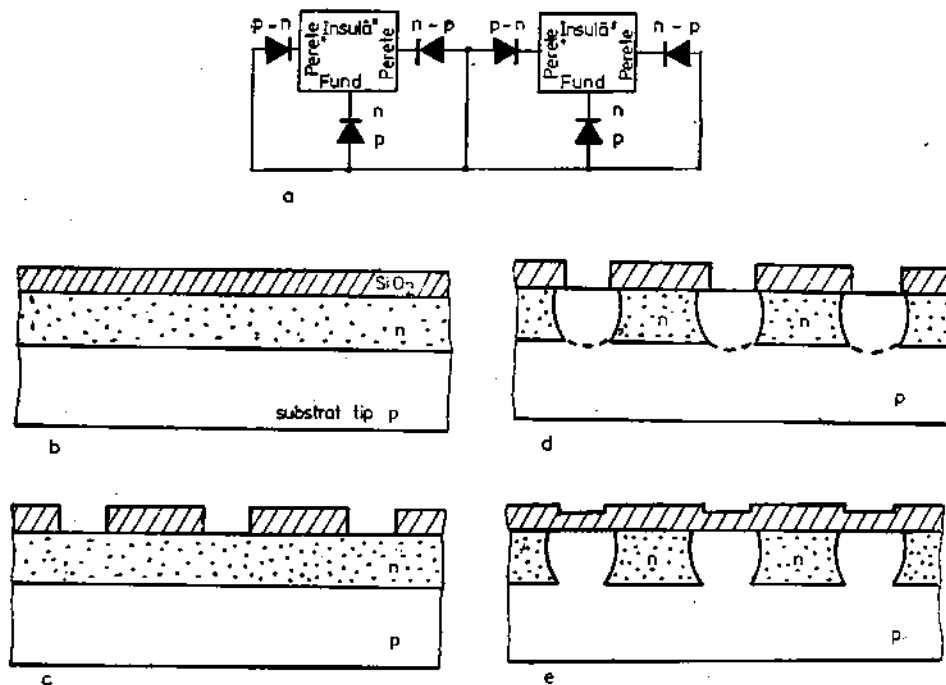


Fig. 19.2. Izolarea electrică a componentelor unui circuit:

a — integrat monolitic prin joncțiuni p-n polarizate invers; b — la suprafața substratului de tip p se crește un strat epitaxial de tip n a cărui suprafață se oxidează; c — practicarea fereștelor în oxid pentru realizarea difuziilor de izolare; d — realizarea difuziilor de izolare prin difuzia impurităților de tip p, a căror adâncime depășește grosimea stratului epitaxial; e — reoxidarea suprafeței; regiunile n reprezintă insule, în care urmează să se realizeze componentele circuitului.

Posibilitățile de funcționare ale CI bipolare au fost extinse la frecvențe ridicate atunci când izolarea cu joncțiune p-n a fost înlocuită prin așa numita izolare cu bioxid de siliciu.

În tehnica aceasta insulele din materialul semiconductor în care urmează să se realizeze fiecare element al circuitului se izolează de substrat și între ele printr-un strat de bioxid de siliciu. Această metodă, pe lângă avantajul că asigură o bună izolare atât la frecvențe joase, cât și la frecvențe înalte, nu necesită menținerea unei polarizări între substrat „și” „insulele” semiconductoare.

Există mai multe procedee de obținere a plachetelor de siliciu izolate cu oxid; unul din aceste procedee este ilustrat în figura 19.3. În final poate fi obținut un circuit cu configurația din figura 19.3 b în care în fiecare insulă izolată prin straturi de SiO_2 există fie componente active, fie componente pasive.

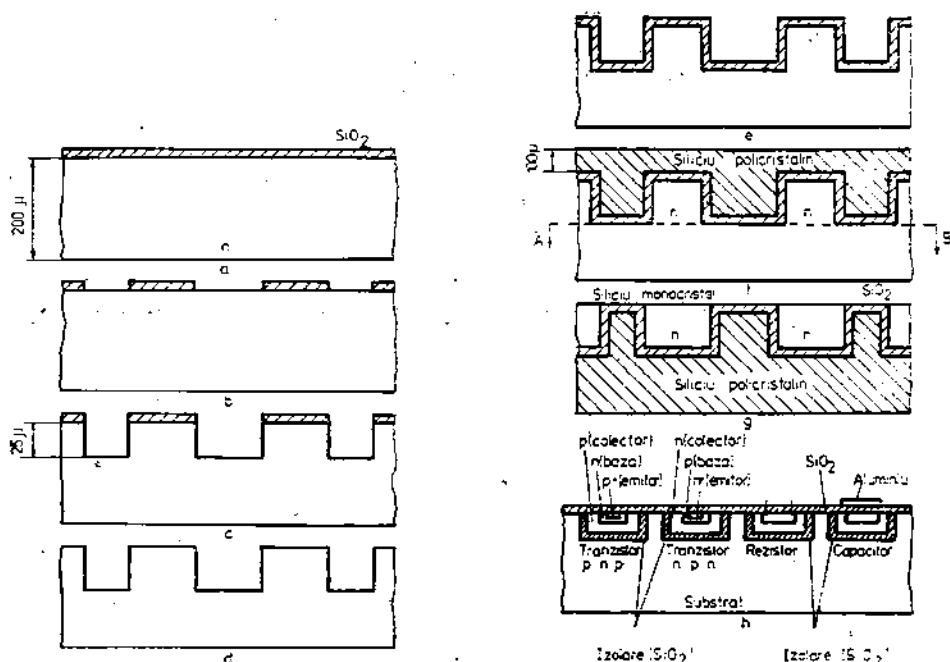


Fig. 19.3. Izolarea electrică cu strat de oxid:

a — la suprafața stratului de tip n se crește un strat de oxid; b — practicarea ferestrelor în oxid pentru delimitarea insulelor izolate; c — corodarea siliciului expus în ferestre pe o adâncime de 10—40 μ; d — înlăturarea oxidului prin corodare; e — reoxidarea plachetelor; f — peste stratul de oxid se crește un strat de siliciu policristalin gros de peste 100 μ; g — corodarea siliciului pe partea opusă astfel încât în final să rămână doar siliciul monocristalin, de tip n, care delimitează „insula” izolată în care urmează să se realizeze componentele circuitului; h — exemplu de circuite integrate monolitice, cu izolare prin SiO_2 .

19.2.2. Realizarea tranzistoarelor bipolare

Pentru toate tipurile de CI monolitice, tranzistoarele sînt componentele cele mai importante și cele mai complexe. Pentru realizarea unui tranzistor npn sau pnp integrat se aplică tehnica planar descrisă la fabricarea tranzistorului bipolar discret.

În figura 19.4 se prezintă principalele tipuri de tranzistoare bipolare utilizate în tehnologia CI monolitice, iar în tabelul 19.3 principalele lor caracteristici.

Tranzistoarele cu factor de amplificare foarte ridicat (tranzistoare super β) sînt componente tipice pentru CI, unde au utilizări practice; realizarea lor cu un factor de amplificare în curent atît de mare (2000—4000) la curenți de bază foarte mici (sub 3 μA) se asigură numai prin reducerea tensiunii de străpungere a joncțiunii colector-bază, tensiune care pentru acest tip de tranzistor poate ajunge la 3—4 V. De aceea realizarea tranzistoarelor super β are sens practic numai în CI monolitic unde ele pot fi utilizate împreună cu tranzistoarele bipolare obișnuite, cu tensiuni de străpungere colector-bază de 40—100 V, de a căror structură nu diferă.

Tabelul 19.3. Principalele caracteristici ale tranzistoarelor bipolare utilizate la realizarea CI monolitice

Parametrul	Valori tipice
Tensiunea de străpungere (V)	6
— între bază și emitor	6
— între colector și bază	40–100
Factorul de amplificare în curent	50, pentru tranzistoare n-p-n,
	0,1–20, pentru tranzistoare laterale p-n-p,
	4000, pentru tranzistoare superbeta n-p-n.

La realizarea tranzistoarelor bipolare de tip p-n-p, apar în general dificultăți tehnologice. Din acest motiv se recurge la utilizarea așa numitului tranzistor „p-n-p lateral” (figura 19.4 b). Se constată că el este realizat din două difuzii de tip P care servesc de emitor, respectiv de colector. Curentul trece de la emitor la colector paralel cu suprafața structurii, zona de tip n interioară servind de bază.

În tehnica CI monolitice se întâlnesc și tranzistoare de tip particular și anume tranzistoarele multiemitor și tranzistoarele cu barieră Schottky.

Tranzistoarele multiemitor (fig. 19.4 c) pot fi realizate cu pină la opt emitoare. Ele se utilizează în circuitele integrate logice.

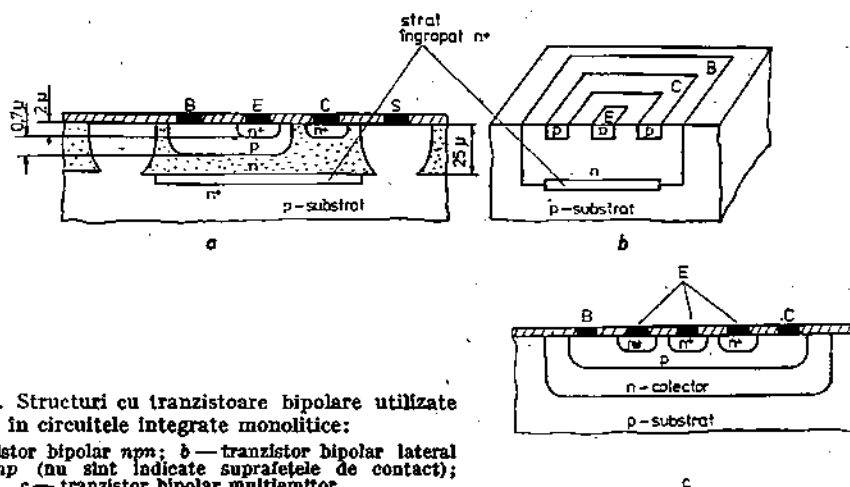


Fig. 19.4. Structuri cu tranzistoare bipolare utilizate în circuitele integrate monolitice:

a — tranzistor bipolar npn; b — tranzistor bipolar lateral de tip pnp (nu sînt indicate suprafețele de contact); c — tranzistor bipolar multiemitor.

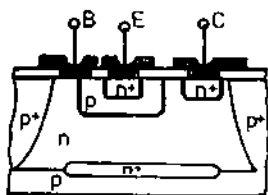


Fig. 19.5. Structură de tranzistor Schottky.

Tranzistoarele de tip Schottky (figura 19.5) care folosesc în structura lor dioda Schottky sînt similare cu tranzistoarele $n-p-n$ obișnuite. Deosebirea apare în aceea că în structura tranzistorului Schottky se realizează un contact de bază lărgit, care, în parte, acoperă și regiunea colectorului. Dioda Schottky se formează în locul de contact al metalului cu regiunea de colector de mare rezistivitate; această diodă este conectată în paralel cu joncțiunea colectorului.

19.2.3. Realizarea diodelor

În circuitele integrate monolitice diodele se realizează prin tehnologia planar odată cu obținerea tranzistoarelor. În tabelul 19.4. sînt prezentate cinci variante de utilizare a tranzistoarelor bipolare ca diode. Fiecare din aceste structuri permite să se obțină diverși parametri și caracteristici pentru diode astfel încît să se poată alege configurația corespunzătoare schemei concrete.

În funcție de caracteristicile pe care trebuie să le îndeplinească dioda în CI, se alege una din structurile de tranzistor prezentate în tabel. De exemplu, prin conectarea tranzistorului conform variantelor A, B din tabel se folosește joncțiunea emitor-bază; la o astfel de conexiune purtătorii de sarcină se acumulează în bază. Deoarece grosimea bazei este foarte mică (de ordinul micronilor), procesul de descărcare al capacității joncțiunii colector-bază va fi rapid ceea ce permite să se obțină viteze de funcționare mari. În această configurație mărimea curenților inverși ai diodei este minimă deoarece această conexiune utilizează numai joncțiunea emitor-bază a cărei suprafață este mică. Cea mai mare valoare a curenților inverși o are configurația C din tabel, deoarece în acest caz ambele joncțiuni ale tranzistorului sînt conectate în paralel; în acest caz capacitatea dispozitivului este mare și ca atare viteza sa de răspuns scade. Configurațiile D și E din tabel datorită tensiunilor inverse mari, pot fi folosite ca diode discrete și în cazul tranzistoarelor bipolare discrete.

19.2.4. Realizarea rezistoarelor

În CI monolitice rezistoarele se execută prin metoda difuziei locale a impurităților în „insule” create prin fotogravură în stratul epitaxial de siliciu; din aceste motive rezistoarele se realizează în același timp cu difuzia regiunilor de bază și/sau de emitor al tranzistoarelor.

Tabelul 19.4. Caracteristicile ale tranzistoarelor în configurație de diodă

Structura diodei	Modul de conectare					
	A	B	C	D	E	
Parametrii						
Căderea de tensiune în conducție directă (V)	I_a $I = 0,7 \text{ mA}$	0,68	0,60	0,60	0,60	
	I_a $I = 5 \text{ mA}$	0,68	0,68	0,67	0,68	
Tensiune de străpungere (V)	5,8	5,8	5,8	40	40	
Curentul invers al joncțiunii (mA)	5	5	5	0,1	0,1	
Neglijabil						

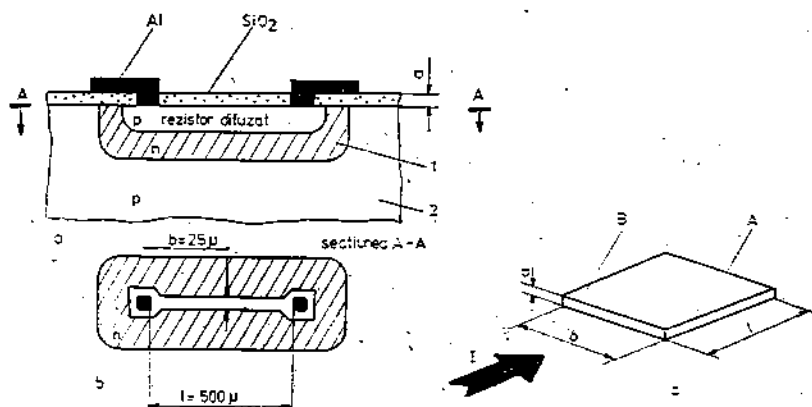


Fig. 19.6. Rezistor difuzat obținut în timpul difuziei bazei:
a — secțiune transversală; b — forma în plan; c — schița pentru explicarea noțiunii „ Ω/\square ”

În procesul difuziei emitorului se realizează rezistoare cu rezistență specifică (rezistivitate) mică, de ordinul a (0,5–5) ohmi/pătrat Ω/\square * iar în procesul difuziei bazei aproximativ 100 Ω/\square .

Valoarea rezistivității unui strat limitează valoarea rezistenței care urmează să se realizeze în stratul respectiv. De exemplu o rezistență de 10 Ω este mai ușor de realizat într-un strat cu rezistența specifică de 3 Ω/\square decât într-un strat cu rezistența specifică de 400 Ω/\square și invers pentru a obține o rezistență de 40 K Ω .

Gama valorilor nominale a rezistențelor difuzate este cuprinsă între 10 Ω și 50 K Ω , cu toleranțe de \pm (10–20)%. Rezistoarele difuzate funcționează pînă la frecvențe de 10–20 MHz; în cazul cînd circuitele trebuie să funcționeze la frecvențe mai mari de 20 MHz, rezistoarele se realizează în „însule” izolate cu strat de oxid. Coeficientul de temperatură al rezistențelor difuzate este cuprins în limite $(1-3) \cdot 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$.

În figura 19.6 se prezintă un rezistor difuzat planar realizat în regiunea bazei; el este izolat de celelalte elemente ale schemei prin joncțiunea p-n (regiunile 1 și 2).

* Pentru a explica noțiunea de rezistență superficială a rezistorului difuzat p, măsurată în Ω/\square se consideră figura 19.6 a și c. Conductorul cu dimensiunile din figură, cu rezistența specifică ρ , între punctele A și B (figura 19.6 c) prezintă rezistența:

$$R = \rho \frac{1}{a \cdot b}$$

În cazul cînd conductorul are forma pătrată, atunci $1 = b$ și:

$$R = \rho' [\Omega/\square]$$

unde: $\rho' = \rho/a$ se măsoară în Ω/\square .

Din relațiile de mai sus se vede că rezistența rezistoarelor realizate la suprafața substratului de siliciu, se determină din numărul de pătrate de suprafață și nu depinde de dimensiunile pătratului unitar.

Este recomandat ca să se utilizeze un minis de 10 pătrate pentru realizarea unui rezistor.

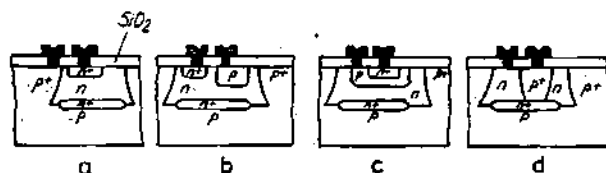


Fig. 19.7. Realizarea capacităților prin joncțiuni p-n în tehnologia circuitelor integrate monolitice:

a — condensator joncțiune colector-substrat; b — condensator cu joncțiune colector-bază polarizată invers; c — condensator joncțiune emitor-bază polarizată invers; d — condensator joncțiune p⁺-n⁺ format prin difuzie de separare.

19.2.5. Realizarea condensatoarelor

Condensatoarele folosite în tehnica circuitelor integrate monolitice sînt de două tipuri: 1) cu joncțiuni pn și 2) cu bioxid de siliciu. În ambele cazuri valorile capacităților realizate sînt (pentru dimensiuni practice ale cîmpurilor) în limitele 100–300 pF cu toleranțe $\pm 20\%$.

● Structura unui condensator cu joncțiuni p-n se regăsește în figura 19.7 a–d.

În prezent condensatoarele realizate pe baza joncțiunilor p-n se utilizează pe scară largă. Această răspundere se explică prin aceea că aceste tipuri de condensatoare, se pot obține, ca și rezistoarele, în timpul difuziei regiunilor tranzistoarelor bipolare. Pentru aceste condensatoare se utilizează joncțiunile: colector-substrat, colector-bază, emitor-bază; în afară de aceste tipuri, poate fi realizat încă un tip de condensator (figura 19.7) d) în timpul difuziei de izolare (figura 19.2).

Dezavantajele condensatoarelor de tip joncțiune p-n sînt: 1) necesită suprafețe relativ mari pentru obținerea unor capacități importante (practic se realizează capacități specifice de ordinul a 1500 pF/mm² în cazul joncțiunii emitor-bază și de ordinul a 200–300 pF/mm² în cazul joncțiunii (colector-bază și 2) capacitatea lor depinde de tensiunea de polarizare aplicată pe joncțiune.

● Structura unei capacități cu dielectric SiO₂, numită și capacitate metal-oxid-semiconductor (MOS) este reprezentată în figura 19.8. În comparație cu condensatorul cu joncțiuni pn, condensatorul MOS prezintă avan-

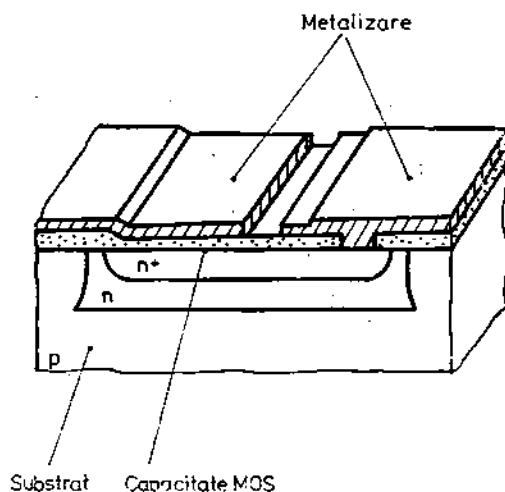


Fig. 19.8. Capacitor tip MOS.

tajul de a fi mai stabil, de a avea o valoare a capacității independentă de tensiunea de polarizare și de a necesita o suprafață mai mică pentru obținerea unei aceleași capacități.

19.2.6. Realizarea inductanțelor

Cercetările întreprinse până în prezent nu au creat posibilități tehnice de realizare a unor inductanțe de valori acceptabile și cu factor de calitate ridicat, compatibile tehnologiei circuitelor integrate monolitice. Ținând seama de aceste considerente, în tehnologia CI monolitice se evită, prin proiectare, utilizarea de inductanțe ca elemente de circuit, în primul rând prin realizarea unor scheme electronice mai complexe.

Cu toate acestea există și posibilități de rezolvare a acestei probleme în cazul în care nu se poate evita utilizarea componentelor inductive (de exemplu în cazul circuitelor acordate etc). Rezolvarea se obține pe câteva căi și anume:

- utilizarea de componente inductive miniatură care se cuplează în exteriorul circuitului; notele de aplicație ale CI dau indicații de utilizare pentru aceste elemente;

- realizarea de inductanțe de valori mici (nanohenry) cu un factor de calitate moderat, prin depunerea pe suprafața oxidului a unui strat subțire metalic într-o configurație de spirală; fiind cuplată capacitiv cu substratul de siliciu, factorul de calitate al acestei inductanțe scade la frecvențe înalte,

- crearea de componente electronice specifice tehnologiei CI, care să îndeplinească funcții analoge componentelor inductive. Astfel,

- utilizarea tranzistorului inductiv (figura 19.9), este o soluție care permite analogia cu componente inductive într-o gamă largă de frecvențe (de la zeci de kiloherți la mii de megaherți), cu factor de calitate ridicat (peste 100). Rezistența de ieșire a tranzistorului conectat în montajul colector-comun, prezintă și o componentă inductivă,

- utilizarea tranzistorului de reactanță, realizat prin conectarea tranzistorului ca în figura 19.9 b, asigură caracterul inductiv al impedanței de ieșire; factorul de calitate al acestui montaj este mic (sub 10).

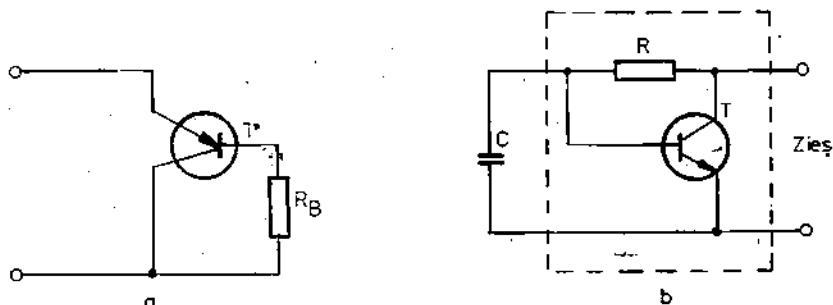


Fig. 19.9. Tranzistor inductiv.

19.3. Clasificarea circuitelor integrate logice (digitale)

Circuitele digitale se caracterizează prin aceea că tensiunile lor, de intrare sau de ieşire, nu pot avea decât două valori care se reprezintă convenţional printr-un 0 şi printr-un 1, ceea ce face ca ele să fie de tipul „totul sau nimic“.

Circuitele integrate digitale actuale acoperă o gamă largă de aplicaţii în construcţia echipamentelor electronice. Ele se împart în circuite logice combinaţionale şi circuite logice secvenţiale.

Circuitele combinaţionale se caracterizează prin aceea că semnalele la bornele lor de ieşire la un moment dat depind numai de semnalele aplicate în acelaşi moment la bornele lor de intrare. Exemple de circuite combinaţionale sînt: portile, care sînt circuite care îndeplinesc funcţii logice de bază: SI; NU; SAU; SI-NU; NICI; SAU EXCLUSIV.

Circuitele secvenţiale sînt circuite al căror semnal la ieşire la un moment dat depinde atît de semnalele aplicate în acelaşi moment la bornele lor de intrare, cît şi de semnalele aplicate la momente de timp anterioare. Ca exemple de circuite logice secvenţiale se menţionează: circuitele basculante, registrele, numărătoarele etc.

În cele ce urmează se va face o trecere sumară în revistă a principalelor tipuri de circuite integrate logice utilizate în echipamente electronice, accentul fiind pus pe circuitele în fabricaţie curentă în ţară.

19.4. Circuite logice de bază

Circuitele logice sînt circuite a căror mărime de ieşire este legată de mărimea/mărimile de intrare printr-o relaţie logică. Ele au două proprietăţi importante; 1) dispun de o ieşire şi un număr limitat de intrări şi 2) operează cu mărimi binare, adică mărimi care au numai două valori distincte reprezentate simbolic prin cifrele 0 şi 1.

Orice funcţie algebrică logică (numită funcţie booleană) poate fi exprimată cu ajutorul următoarelor funcţii fundamentale: SAU; SI; NU; SAU-NU SI-NU (tabelul 19.5) numite operatori.

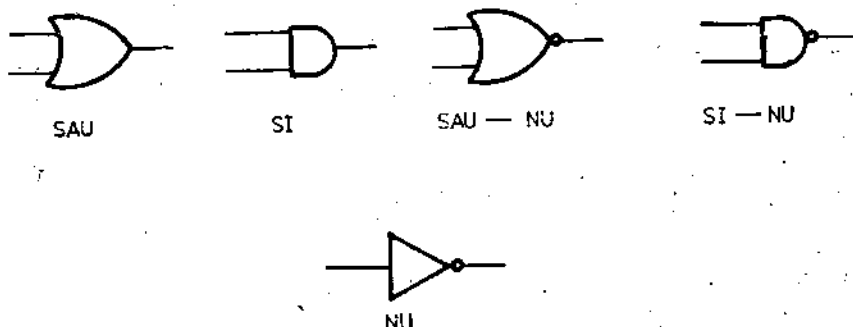
Operatorul SAU. Circuitul electric care materializează funcţia logică SAU (în engleză OR) se numeşte operator SAU; are două sau mai multe intrări şi o singură ieşire. Funcţionarea sa se caracterizează prin:

— ieşirea sa ia valoarea logică 1 dacă una sau mai multe din intrările sale iau valoarea logică 1.

— ieşirea sa ia valoarea logică 0 dacă toate intrările sale iau simultan valoarea logică zero.

Operatorul SAU se reprezintă printr-un simbol matematic (care leagă între ele variabilele de la intrare) un simbol grafic (utilizat în schemele elec-

Tabelul 19.5. Funcții logice elementare



Variabile			SAU	SI	SAU-NU	SI-NU
A	B	C	$F = A + B + C$	$F = ABC$	$F = \overline{A + B + C}$	$F = \overline{A \cdot B \cdot C}$
0	0	0	0	0	1	1
0	0	1	1	0	0	1
0	1	0	1	0	0	1
0	1	1	1	0	0	1
1	0	0	1	0	0	1
1	0	1	1	0	0	1
1	1	0	1	0	0	1
1	1	1	1	1	0	0

tronice), o ecuație logică (ce leagă între ele variabilele de intrare cu variabila de ieșire) și un tabel de adevăr, după cum urmează:

- simbolul matematic: $+$ (semnul plus),
- simbol grafic: (v. tabelul 19.5),
- ecuația logică $A + B + C = F$, ecuația care se citește: „ F este egal cu A sau B sau C ”.

Operatorul SI. Circuitul electric care prezintă funcția logică SI (în engleză AND) se numește operator SI; are două sau mai multe intrări și o singură ieșire. Funcționarea sa se caracterizează prin:

- ieșirea sa ia valoarea logică 1 dacă toate intrările iau simultan valoarea logică 1,
- ieșirea sa ia valoarea logică 0 dacă una sau mai multe din intrările sale iau valoarea logică 0.

Operatorul SI se reprezintă prin:

- simbol matematic. (punctul)
- simbol grafic: (v. tabelul 19.5),
- ecuația logică: $A \cdot B \cdot C = F$, ecuația care se citește „F este egal cu A și B și C”.

Operatorul NU. Circuitul electric care materializează funcția logică NU (în engleză NOT) se numește operator NU sau inversor și are o singură intrare și o singură ieșire. Funcționarea sa se caracterizează prin:

- ieșirea inversorului ia valoarea logică 1 dacă intrarea sa ia valoarea logică 0,
- ieșirea inversorului ia valoarea logică 0 numai dacă intrarea sa are valoarea logică 1.

Operatorul NU se reprezintă prin:

- simbolul matematic: \bar{A} (bară orizontală deasupra variabilei),
- simbol grafic (conform tabelului 19.5),
- ecuația logică: $A \cdot \bar{A} = 0$

Operatorul SAU-NU. Circuitul SAU-NU (în engleză NOR) este echivalent unui circuit SAU urmat de un inversor.

Expresia tensiunii la ieșirea circuitului este:

$$F = \overline{A + B + C}$$

Operatorul SI-NU. Circuitul SI-NU (în engleză NAND), este echivalent unui circuit SI urmat de un inversor,

Tensiunea la ieșirea unui astfel de circuit, în cazul a trei intrări, are expresia:

$$F = \overline{ABC}$$

19.5. Familii tehnologice de CI bipolare

Circuitele logice bipolare sînt primele circuite integrate apărute și în prezent larg răspîndite;

Principalele variante tehnologice ale circuitelor integrate bipolare sînt prezentate în tabelul 19.2. În cele ce urmează se fac scurte referiri la fiecare din variantele menționate, insistîndu-se în special la familiile de circuite existente în fabricație la IPRS.

19.5.1. Circuitele RTL (Resistor Transistor Logic) *

Sînt copia exactă a circuitelor logice realizate cu componente discrete. În figura 19.10 se prezintă o poartă SI-NU (NAND) cu trei intrări în tehnologia RTL.

* Se mențin inițialele originale din limba engleză, deoarece în prezent acestea sînt denumirile universal utilizate în literatura tehnică de specialitate.

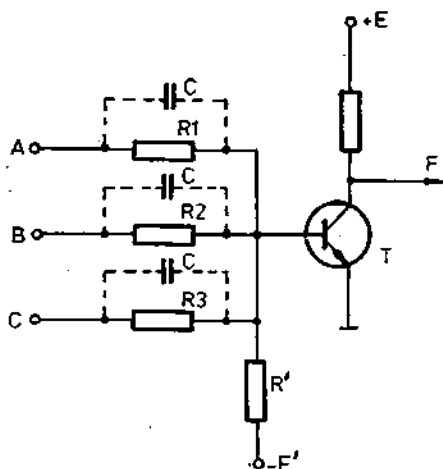


Fig. 19.10. Circuite logice bipolare RTL/RCTL.

Rezistoarele R_1, R_2, R_3 au aceeași valoare R . Valorile lor, ca și a rezistorului R' și a tensiunii $-E'$, se aleg astfel încât tranzistorul T să nu fie deblocat decât dacă toate cele trei intrări A, B, C sînt simultan la potențial pozitiv, corespunzător nivelului logic 1.

Dacă una din intrări este adusă la potențial zero (nivel logic 0) celelalte două fiind la potențial pozitiv (nivel logic 1), tranzistorul T este blocat. Bineînțeles că, și mai mult, tranzistorul va fi blocat dacă două din intrările sale sînt aduse la potențial zero și numai a treia intrare se găsește la potențialul pozitiv. Dacă toate trei intrările sînt la potențial nul, cu atît mai mult tranzistorul T va fi blocat.

Printre limitările circuitului RTL prezentat se menționează:

- prezența unui mare număr de rezistoare în componența circuitului, limitează tehnologic numărul de intrări la trei,
- circuitul trebuie alimentat la două tensiuni: una pozitivă, $+E$, și alta negativă, $-E$.

19.5.2. Circuite RCTL (Resistor-Capacitor-Transistor-Logic)

Au prevăzute în plus față de circuitele RTL condensatoare legate în paralel pe rezistoarele de intrare (menționate cu linie întreruptă în figura 19.10), mărindu-le prin aceasta viteza de comutație.

19.5.3. Circuite DCTL (Direct-Coupled-Transistor-Logic)

Sînt circuite la care tranzistoarele sînt cuplate direct.

Circuitul din figura 19.11 *a*, în care tranzistoarele sînt cuplate în serie, realizează funcția SI-NU (NAND): aplicînd în același timp pe bazele celor două tranzistoare semnale pozitive, corespunzătoare nivelului logic 1, tranzistoarele se deschid și tensiunea la ieșire scade pînă la nivelul logic 0.

Circuitul din figura 19.11 *b*, în care tranzistoarele sînt conectate în paralel, realizează funcția SAU-NU (NOR): în lipsa semnalelor la cele două intrări A, B (nivel logic 0), tranzistoarele sînt blocate și ieșirea se găsește la nivelul logic 1; dacă uneia din intrări i se aplică un semnal pozitiv, corespunzător nivelului logic 1, tranzistorul respectiv se deschide și la ieșire potențialul scade la nivelul logic 0.

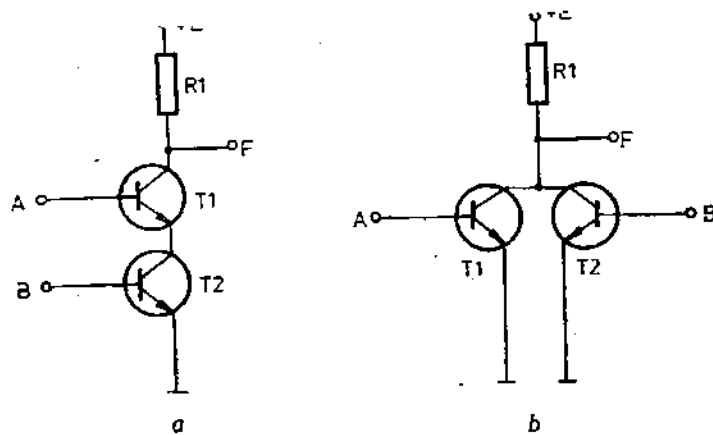


Fig. 19.11. Circuite logice bipolare DCTL.

19.5.4. Circuite DTL (Diode Transistor Logic)

În figura 19.12 se prezintă un circuit SI-NU (NAND) în tehnologia DTL, a cărei funcționare este următoarea:

— cînd toate intrările (A, B, C) sînt la potențial $+E$ (nivel logic 1), curentul trecînd prin rezistorul R , nu poate traversa nici una din diodele $D1$ (catodul lor fiind la potențialul $+E$). În schimb acest curent poate traversa dioda $D2$, putînd astfel debloca tranzistorul T . În acest caz ieșirea circuitului se va găsi la un potențial coborît (nivel logic 0),

— dacă una din intrări (A , sau B , sau C sau două din intrări sau toate trei) se găsește la potențialul masei (nivel logic 0), curentul care trece prin R se va închide la masă prin dioda de intrare respectivă; nemaitrecînd prin baza tranzistorului T , acesta se blochează și ieșirea sa se găsește la potențialul $+E$ (nivel logic 1).

Diodele D_1 trebuie să fie de comutație.

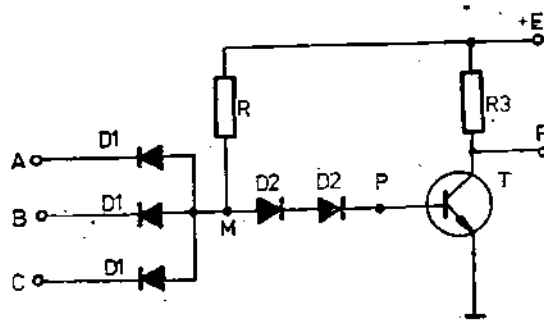


Fig. 19.12. Circuit logic bipolar DTL.

Diodele D_2 se numesc diode de prag și sînt indispensabile pentru a asigura o bună blocare * a tranzistorului T cînd pe una din intrări se aplică nivelul logic 0.

Printre avantajele circuitelor DTL se menționează:

- poate fi realizat cu un număr oricît de mare de intrări,
- utilizează numai o sursă de alimentare, $+E$, care în toate cazurile practice are valoarea 5V,
- poate fi ușor realizat în varianta integrată, circuitul necomportînd decît două rezistoare.

19.5.5. Circuite TTL (Transistor Transistor Logic)

Dacă variantele menționate mai sus pot fi realizate și cu componente discrete, circuitele TTL nu pot fi realizate decît în varianta integrată, avînd în vedere faptul că în construcția lor se folosește tranzistorul multiemitor.

Circuitele integrate bipolare TTL actuale sînt produse în două mari serii: 1) seria clasică din care fac parte circuitele TTL de viteză medie (>10 ns, 10 mW), circuitele TTLH de viteză mare (6 nsec, 24 mW) circuitele TTLL lente (>50 ns, 2 mW) și 2) seria ultrarapidă cu diode Schottky, TILS, (3 ns, 20 mW).

Familia circuitelor TTL se compune dintr-un mare număr de module integrate ** pe scară mică, medie, largă și foarte largă. În cele ce urmează se vor prezenta (numai) cîteva din circuitele care se fabrică la IPRS-Băneasa.

* Este necesar ca tranzistorul T să fie perfect blocat cînd una din intrările lui (sau mai multe din ele) se găsește la nivel logic 0; fie aceasta intrarea A . Dar pe dioda D_1 , ca în toate diodele care funcționează în direct, curentul care o parcurge produce la bornele ei o cădere de tensiune, care este de ordinul a 0,6 V (pentru siliciu); deci anodul său (punctul D_2) este pozitiv în raport cu catodul său (punctul A). Altfel spus, cînd potențialul punctului A este nul potențialul punctului M este pozitiv și egal cu $+0,6$ V.

Dacă acest punct (M) ar fi legat direct la baza tranzistorului T , acesta ar fi aproape la limita de conducție dioda emitor-bază se deschide la un potențial în jurul a $+0,6$ V; deci este suficientă o creștere foarte mică a potențialului punctului A (variația care apare frecvent în funcționare) ca să antreneze, printr-o variație corespunzătoare a potențialului punctului M , deblocarea tranzistorului T .

Prezența diodei D_2 face ca tranzistorul T să nu se blocheze decît dacă potențialul punctului M atinge aproximativ $+1,3$ V (în cazul unei singure diode D_2 sau $+2$ V pentru două diode D_2 legate în serie) adică, trebuie ca la bornele diodei D_2 să se ajungă la un potențial minim de 0,6–0,7 V (respectiv 1,4 V pentru două diode D_2 în serie) pentru ca această diodă să intre în conducție. Astfel se asigură blocarea tranzistorului T în cazul cînd una sau mai multe din intrările sale sînt la nivelul logic 0.

** Numărul de funcții logice care pot fi definite este foarte mare; practic nu se utilizează decît un număr mic de funcții logice elementare, pe baza cărora se poate implementa orice funcție logică. Ușual se lucrează cu funcțiile: SI, SI-NU; SAU-NU; SI-SAU-NU descrise prin relațiile:

$F_1 = \overline{AB}$	SI
$F_2 = \overline{A \cdot B}$	SI-NU
$F_3 = \overline{A + B}$	SAU-NU
$F_4 = \overline{AB + CD}$	SI-SAU-NU

Operatorul SI-NU (NAND).

În țară se realizează o gamă largă de circuite integrate din această categorie; se menționează tipurile CDB 400 și CDB 400 H*, (operator SI-NU cu două intrări) CDB 403; CDB 410 și CDB 410 H (operator triplu SI-NU cu trei intrări); CDB 420; CDB 430 și CDB 430 H (operator SI-NU cu opt intrări); CDB 440 și CDB 440 H (operator dublu de putere SI-NU cu patru intrări). În figura 19.13 se prezintă opera-

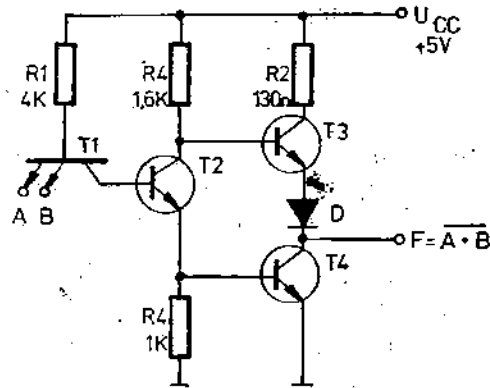


Fig. 19.13. Operator TTL-SI-NU (CDB 400).

torul SI-NU cu două intrări caracterizat prin prezența la intrare a tranzistorului multiemitor T_1 . Fiecare joncțiune bază-emitor a acestui tranzistor formează o diodă; aceste diode, împreună cu rezistența R_1 , îndeplinesc o funcție similară funcției diodelor D și rezistenței R din schema porții DTL (figura 19.12). Joncțiunea bază-colector a tranzistorului multiemitor joacă rolul uneia din diodele D_2 din schema porții DTL. Deplasarea de nivel realizată la operatorul DTL de cealaltă diodă, D_2 este asigurată în cazul operatorului TTL de joncțiunea bază-emitor a tranzistorului T_2 , care îndeplinește în același timp și funcția de amplificator, comandând în contratimp tranzistoarele T_3 și T_4 de la ieșirea circuitului TTL; în pauză unul din aceste tranzistoare este blocat și celălalt saturat. Funcționarea circuitului din figura 19.13 se explică astfel:

— dacă una sau toate intrările (emitoarele) tranzistorului T_1 se găsesc la nivel logic 0 (de exemplu 0,3 V), prin joncțiunea/joncțiunile emitor-bază ale tranzistorului va trece un curent a cărui valoare depinde de mărimea rezistenței R_1 și tranzistorul T_1 intră în conducție; tensiunea colectorului T_1 , fiind cu câțiva milivolți mai mare decât tensiunea pe emitorul lui, va ține tranzistorul T_2 blocat. Baza tranzistorului T_3 fiind conectată la U_{cc} prin R_4 , tranzistorul T_3 va conduce (va fi saturat) și semnalul se transmite la ieșire prin intermediul diodei D ; baza tranzistorului T_4 nefiind polarizată tranzistorul T_4 va fi blocat. Ca atare, în situația: semnal logic 0 la intrare T_2 , T_4 blocați, T_3 saturat și semnalul la ieșire este logic 1 (de exemplu $+U_{cc}$).

— dacă pe toate intrările (emitoarele) se aplică un semnal logic 1 (de exemplu $+U_{cc}$), joncțiunile emitor-bază ale tranzistorului T_1 vor fi blocate și joncțiunea bază-colector polarizându-se direct se injectează curent în baza tranzistorului T_2 care începe să conducă. Potențialul colectorului lui T_2 va scădea, iar al emițătorului va crește. Baza tranzistorului T_4 fiind polarizată pozitiv, acest tranzistor va conduce, saturându-se. Ca atare, în situația: semnal logic 1 pe intrări, T_2 , T_4 saturați, T_3 blocat și semnalul la ieșire este logic 0.

Operatorul SI-SAU-NU. În țară se realizează mai multe variante constructive între care se menționează tipurile CDB 450, CDB 451 și CDB 451 H

* Indicele H indică seria rapidă

(operatori dubli SI-SAU-NU cu cîte două intrări). Acest circuit realizează funcția logică:

$$F = \overline{AB + CD}$$

Schema conexiunilor capsulei circuitului integrat CDB 450 este dată în figura 19.14 *a*, iar schema electrică de principiu în figura 19.14 *b*. Funcționarea circuitului, și deci funcția logică notată mai sus, poate fi dedusă pe baza următoarelor observații simple:

- Tranzistorul T_5 este în conducție numai dacă tranzistoarele T_2 și T_3 sînt blocate,
- Tranzistorul T_5 este blocat dacă cel puțin una din intrările A , B se găsește la nivel logic inferior, adică dacă $AB = 0$ sau $\overline{A \cdot B} = 1$,
- Similar tranzistorul T_4 este blocat dacă cel puțin una din intrările C , D se găsește la nivel logic inferior, adică dacă $C \cdot D = 0$ sau $\overline{C \cdot D} = 1$

$$F = \overline{AB \cdot CD} = \overline{A \cdot B + C \cdot D}$$

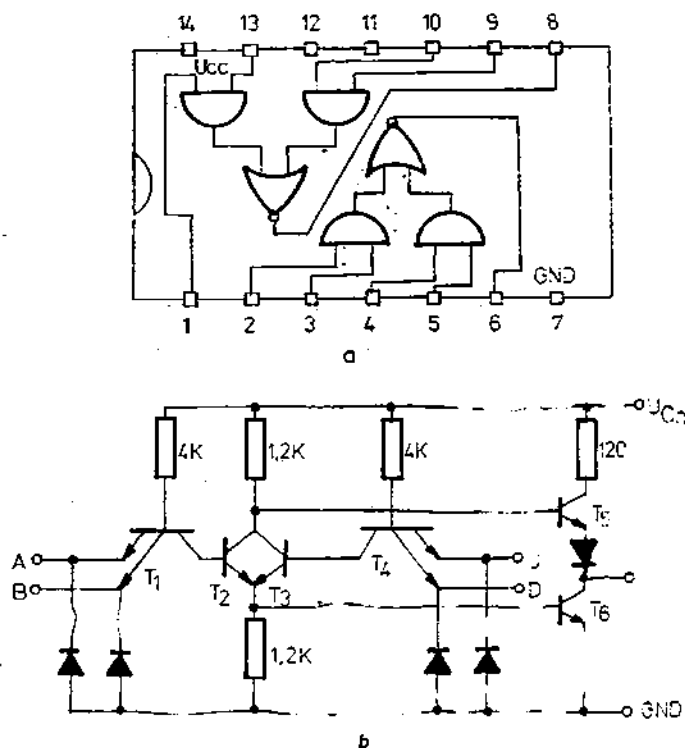


Fig. 19.14. Circuit TTL SI-SA-NU (CDB 450):
a — schema capsulei; *b* — schema de principiu,

19.5.6. Circuitele TTL cu diode Schottky

Sînt circuite logice bipolare ultrarapide rezultate din seria rapidă a familiei TTL prin introducerea unor diode Schottky de evitare a saturației tranzistoarelor. În figura 19.15 *a* se prezintă operatorul SI-NU din seria TTL cu diodă Schottky; iar în figura 19.15 *b, c*, este dată reprezentarea în schemă a tranzistorului Schottky. Seria TTL cu diode Schottky prezintă un timp de propagare de aproximativ 3 ns la un consum foarte mic (aproximativ 20 mW pe operator); această serie se utilizează în mod frecvent în aplicațiile care necesită comutări rapide.

19.5.7. Circuite ECL (Emitter Coupled Logic)

Sînt circuite logice bipolare integrate cu cuplaj pe emitor. Fac parte din categoria circuitelor logice ultrarapide, deoarece asigură timpi de pro-

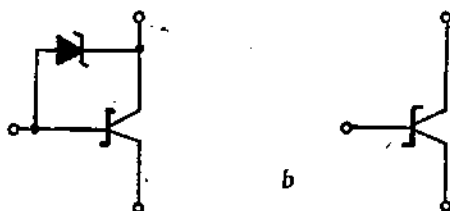
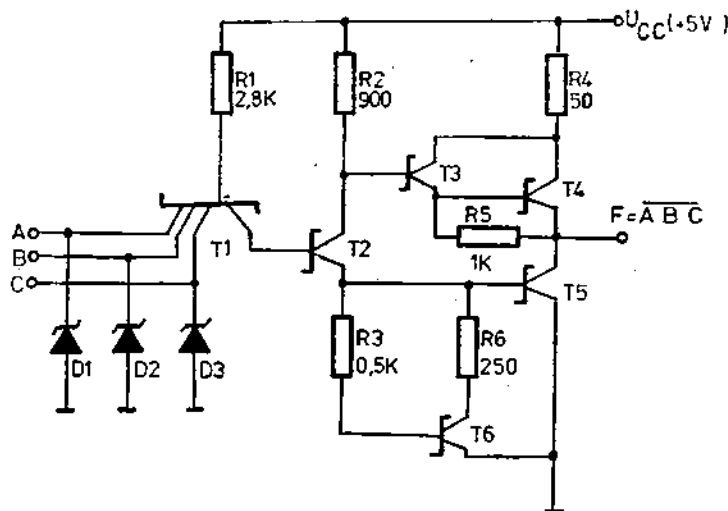


Fig. 19.15. Circuit integrat TTL cu diode Schottky:

a — operator SI-NU; *b, c* — reprezentarea în schemă a tranzistorului Schottky.

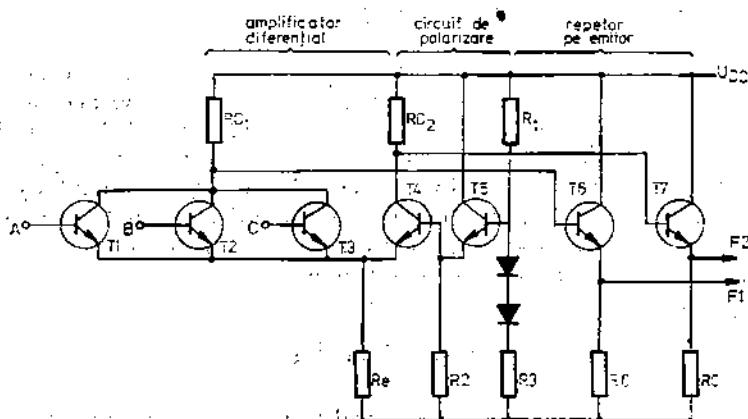


Fig. 19.16. Circuit integrat bipolar ECL.

pagare extrem de reduși (1—4 ns) în detrimentul unui consum de putere relativ ridicat.

În figura 19.16 se prezintă un operator ECL de tipul SAU și SAU-NU*. El este format din trei grupe de circuite.

Amplificatorul diferențial de intrare care cuprinde mai multe tranzistoare legate în paralel T_1 , T_2 , T_3 și tranzistorul T_4 , asigură o impedanță de intrare mare circuitului și o bună stabilitate la fluctuațiile tensiunii de alimentare.

Circuitul de polarizare, care furnizează tensiunea de polarizare pentru baza tranzistorului T_4 , elimină necesitatea unei surse separate de tensiune de polarizare și prezintă avantajul că reglează în mod automat tensiunea bazei acestui tranzistor.

Două repetitoare pe emitor; ele prezintă o impedanță redusă la ieșire, ceea ce permite o încărcare mare a circuitului.

Circuitul ECL cuprinde un număr mare de tranzistoare, dar acest lucru nu este un dezavantaj în cazul circuitelor integrate. Nivelele de tensiune nu sînt determinate de mărimile rezistențelor R_{C1} și R_{C2} ci de raporturile R_{C1}/R_e și R_{C2}/R_e ceea ce constituie un alt avantaj, deoarece toleranțele raporturilor de rezistență pot fi reduse la $\pm 1\%$ la circuitele integrate, în timp ce valorile nominale ale unei rezistențe separate sînt realizate cu toleranțe de pînă la $\pm 20\%$.

Pentru stabilirea funcționării logice a circuitului se constată că tranzistorul T_4 este comandat de tranzistorul T_3 ; cum tranzistorul T_3 este legat în paralel cu alte tranzistoare (T_1 , T_2) tranzistorul T_4 poate conduce numai dacă toate tranzistoarelor T_1 , T_2 , T_3 sînt blocate respectiv dacă la toate intrările lor se aplică nivele logice 0. Este suficient ca la o singură intrare

* Existența a două ieșiri complementare la care se obțin simultan funcțiile SAU și SAU-NU, constituie un avantaj esențial al circuitelor ECL, avantaj, care în funcție de aplicații, se traduce printr-o reducere a numărului de circuite logice necesare în schemele electronice.

să se aplice nivelul logic 1 pentru ca tranzistorul respectiv să conducă, blocând astfel tranzistorul T_4 . Având în vedere acest lucru, circuitul realizează funcțiile logice:

$$F_1 = A + B + C, \text{ respectiv } F_2 = \overline{A + B + C}$$

19.5.8. Circuite I²L (Integrated Injection Logic)

Aceste circuite realizate în ultima vreme, au față de circuitele TTL avantajele prezentate în tabelul 19.6.

Principial, un operator elementar logic (de exemplu invertorul) realizat în tehnologia I²L constă dintr-o pereche de tranzistoare complementare așa cum se vede în figura 19.17; schema electrică este formată din tranzistorul „vertical” multicolector T_2 (similar tranzistorului multiemitor din tehnologia TTL), de tip npn care funcționează ca inversor și din tranzistorul lateral T_1 de tip pnp, care funcționează ca generator/injector de curent.

Tabelul 19.6. Performanțe caracteristici ale circuitelor TTL și I²L

Caracteristica	Tipul de circuit integrat	
	TTL	I ² L
Densitatea (elemente pe mm ²)	20	100–200
Timp de comutație	10	25–250
Putere disipată (mW/Ci)	10	10 ⁻¹ –10 ⁻³
Tensiune de alimentare (V)	3–7,5	1–15
Curent de funcționare (mA)	2	10 ⁻⁶ –1

Caracteristic schemei prezentate este faptul că nu conține nici-un rezistor; absența în acest tip de circuit integrat a rezistoarelor (inclusiv a rezistoarelor de mare rezistență), care în circuitele TTL ocupă suprafețe mari și disipă puteri importante, constituie unul din avantajele deosebite ale circuitelor integrate I²L. Un alt avantaj al acestui gen de circuit rezultă din însăși structura sa tehnologică (figura 19.17. b); regiunea bazei tranzistorului multicolector T_2 , coincide cu regiunea colectorului tranzistorului injector de curent T_1 a cărui regiune de bază coincide la rândul său cu regiunea de emitor a tranzistorului T_2 . Datorită unui astfel de dispuneri a elementelor structurii, întregul circuit I²L ocupă pe un substrat de siliciu, suprafața unui tranzistor multiemitor (din tehnologia TTL). Conectarea inversă a tranzistorului T_2 (figura 19.17. a, b) nu mai necesită operații suplimentare de izolare a componentelor circuitului (așa cum se fac în cazul tehnologiei TTL), deoa-

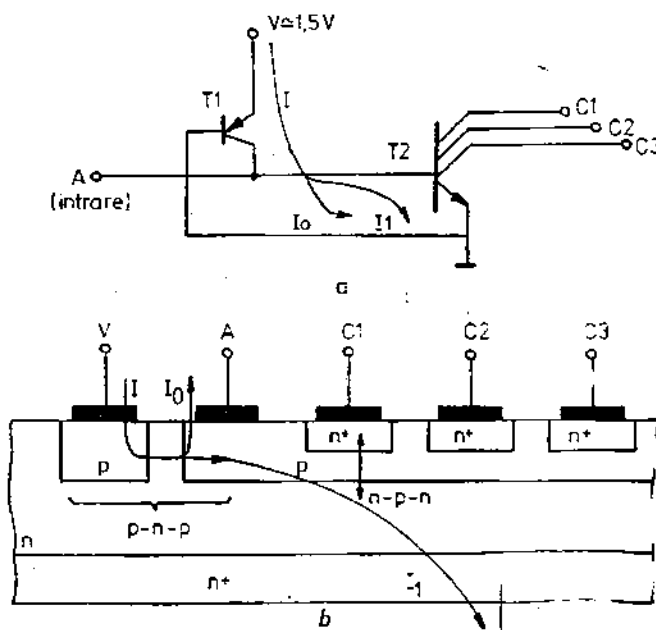


Fig. 19.17. Circuit I^2L :
a — schema electrică; b — structura integrată.

rece în acest caz componentele schemei sînt autoizolante. Toate particularitățile menționate fac ca tehnologia I^2L să fie mult mai simplă decît tehnologia TTL și în felul acesta să fie utilizată pentru realizarea circuitelor integrate din generațiile III și IV.

19.6. Familii tehnologice de CI-MOS

Tranzistoarele cu efect de cîmp cu poartă izolată de tip MOS au o sferă largă de aplicații în ultimii ani, înlocuind tranzistoarele bipolare în anumite aplicații. Sub formă integrată ele sînt în multe privințe mai avantajoase decît tranzistoarele bipolare, în special în condițiile în care sînt utilizate în circuite ca: memorii semiconductoare (integrate), microprocesoare etc.

Circuitele integrate tip MOS posedă o serie de avantaje în raport cu circuitele integrate bipolare. Printre cele mai semnificative avantaje se menționează următoarele:

— circuitele integrate tip MOS sînt simple, deoarece conțin numai tranzistoare MOS, fără rezistoare sau condensatoare, ceea ce contribuie la creșterea densității de integrare pe pastilă din următoarele considerente de ordin tehnic: 1) CI-MOS nu necesită izolarea unul de celălalt a tranzistoarelor

MOS realizate pe același substrat, excepție făcând numai tranzistoarele MOS complementare. De exemplu, în CI bipolare aproximativ 30% din suprafața utilă a pastilei este ocupată cu „insule de izolare” a componentelor schemei ceea ce reduce substanțial densitatea pe „cip” a acestor circuite; 2) rezistoarele folosite în CI bipolare, obținute prin difuzie sau depuneri metalice în vid, ocupă suprafețe mari. De exemplu, un rezistor difuzat de 20 K Ω ocupă o suprafață de aproximativ 0,2 mm²; în CI-MOS ca rezistoare se utilizează tranzistoare MOS a căror suprafață este cu un ordin de mărimea mai mică decât suprafața ocupată de rezistorul difuzat,

— tehnologia de realizare a CI-MOS este mai simplă decât tehnologia folosită la CI bipolare. Așa de pildă pentru realizarea unui CI-MOS sînt necesare, numai o operație de difuzie și patru operații de fotomascare, față de patru operații de difuzie și minim șase operații de fotomascare, aplicate în cazul CI-bipolare,

— un CI-MOS înregistrează un consum mai redus de energie electrică și are dimensiuni mai mici comparativ cu un circuit echivalent realizat cu tranzistoare bipolare; circuitele integrate bipolare sînt mai rapide și pot comanda curenți mai mari,

— amplificarea tranzistoarelor MOS este controlată prin dimensiunile lor geometrice; aceasta ușurează calculul circuitelor integrate MOS și contribuie la creșterea preciziei de realizare a configurației suprafeței lor.

Primul CI-MOS (un circuit logic cu 16 tranzistoare MOS pe o pastilă de siliciu cu dimensiunile 1,25 × 125 mm) a fost realizat în anul 1962 la RCA*; în prezent s-a ajuns la densități de integrare în domeniul CI-MOS de peste cîteva mii de tranzistoare MOS pe 1 mm², limita teoretică pînă la care se va ajunge putînd fi de 1 milion tranzistoare pe 1 mm².

În practică se utilizează CI-MOS cu canal de aceeași polaritate (n sau p) și CI-MOS complementare.

19.6.1. Circuite integrate MOS cu canal n și p

Inversorul MOS. Reprezintă circuitul de bază utilizat în toate părțile logice. Este constituit din două TEC-MOS; tranzistorul de comandă T_1 și tranzistorul T_2 (figura 19.18) care funcționează ca „rezistor de sarcină”. Tranzistorul T_1 este blocat cînd la intrare se aplică o tensiune mai mică (în valoare absolută) decât tensiunea de prag U_T și se saturează în momentul în care la intrare se aplică o tensiune mai mare (în valoare absolută) decât tensiunea U_T .

● *Operatorul SI-NU (NAND).* Se realizează prin legarea în serie a tranzistoarelor MOS ca în figura 19.19 a. Tranzistoarele T_1 , T_2 , acționează ca tranzistoare de comandă, iar T_3 ca rezistor de sarcină. Cînd una sau toate

* Radio Corporation of America

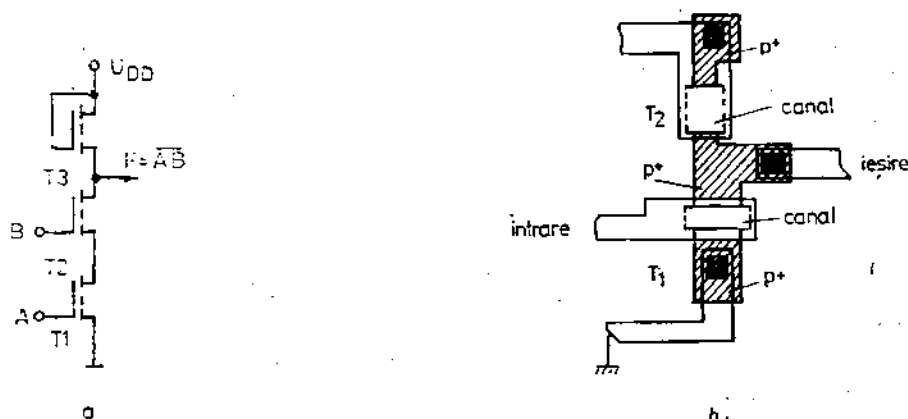


Fig. 19.18. Inversor MOS.

intrările sînt la potențial minim, nivel logic 0, tranzistoarele de comandă sînt blocate și tensiunea la ieșire este apropiată de valoarea U_{DD} , (nivel logic 1). Dacă intrările se găsesc la nivele logice 1, tensiunea la ieșirea porții scade la minim (nivel logic 0).

● **Operatorul SAU-NU (NOR).** În figura 19.19 *b* se reprezintă o poartă SAU-NU cu trei intrări, realizată cu tranzistoare MOS cu canal *p* indus. Tranzistoarele T_1 , T_2 și T_3 acționează ca tranzistoare de comandă, iar T_4 ca rezistor de sarcină. Cînd cele trei intrări sînt la potențialul minim, nivel logic 0, tranzistoarele de comandă sînt blocate și tensiunea la ieșire este apropiată de tensiunea U_{DD} , nivel logic 1. Dacă una sau toate intrările se găsesc la nivel logic 1, tensiunea la ieșirea porții scade la valoarea minimă (nivel logic 0).

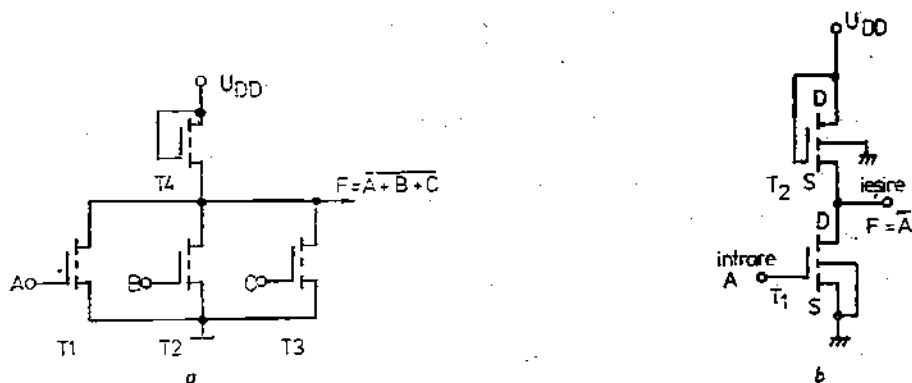


Fig. 19.19. Circuite integrate MOS:
a — operator ȘI-NU; b — operator SAU-NU

19.6.2. Circuite integrate cu tranzistoare MOS complementare (COS-MOS)

Aceste circuite conțin tranzistoare MOS cu canale de ambele polarități pe aceeași pastilă de siliciu, conectate în serie. Ele se caracterizează prin 1) consum redus de energie, deoarece în ambele stări logice, curentul total care trece prin circuit este egal cu curentul tranzistorului MOS blocat, 2) rezistență mică de ieșire. În general, circuitele logice cu tranzistoare MOS complementare necesită mai multe tranzistoare, și prin urmare o suprafață mai mare decât circuitele similare realizate în tehnologia pMOS sau nMOS. Strict vorbind, dacă o poartă logică integrată de tipul pMOS sau nMOS folosește $(n + 1)$ tranzistoare, o poartă echivalentă cu tranzistoare MOS complementare folosește $2n$ tranzistoare. Numărul total de interconexiuni, cum și spațiul necesar între dispozitivele n și p , care cresc în acest caz, contribuie de asemenea la creșterea suprafeței ocupate de circuit.

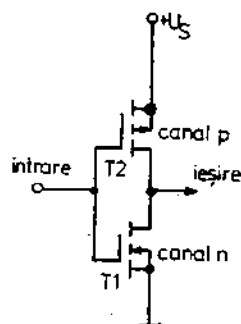


Fig. 19.20. Circuit inversor cu tranzistoare MOS complementare

● *Inversorul COS-MOS.* Schema circuitului inversor cu tranzistoare MOS complementare este prezentată în figura 19.20. Sursa și substratul tranzistorului T_1 sînt conectate la masă, în timp ce sursa și substratul tranzistorului T_2 sînt conectate la tensiunea pozitivă de alimentare $+U_s$. Cele două porți sînt legate împreună și formează intrarea inversorului; ieșirea o constituie drenele celor două tranzistoare.

Cînd tensiunea de intrare este nulă (nivel logic 0) tensiunea între poarta și sursa tranzistorului T_2 (cu canal p) este egală și de semn contrar cu tensiunea de alimentare $(+U_s)$, care, deci, polarizează acest tranzistor în starea de conducție, tranzistorul T_1 (cu canal n) fiind blocat, deoarece tensiunea pe poarta lui este nulă. În acest caz tensiunea la ieșire este egală cu U_s fiind la nivel logic 1.

Cînd tensiunea de intrare este $+U_s$ (nivel logic 1), tranzistorul T_2 este blocat, iar T_1 conduce; în această situație tensiunea la ieșire este minimă, corespunzătoare nivelului logic.

● *Operatorul SAU-NU.* Se formează prin legarea tranzistoarele MOS cu canal n și cu canal p ca în figura 19.21.a. Ieșirea circuitului se află la nivel logic 1, numai dacă sînt blocate toate tranzistoarele cu canal n, T_4 , T_5 , T_6 ; pentru aceasta este necesar ca la toate intrările să se aplice nivele logice 0.

● *Operatorul SI-NU.* Schema de principiu reprezentată în figura 19.21 b. de schema precedentă prin schimbarea rolurilor între tranzistoarele cu canal p și n. Tensiunea la ieșire se găsește la nivel superior în cazul cînd conduce cel puțin unul din tranzistoarele cu canal p; pentru aceasta este necesar ca la cel puțin una din intrări să se aplice nivel logic 0. Pentru ca tensiunea

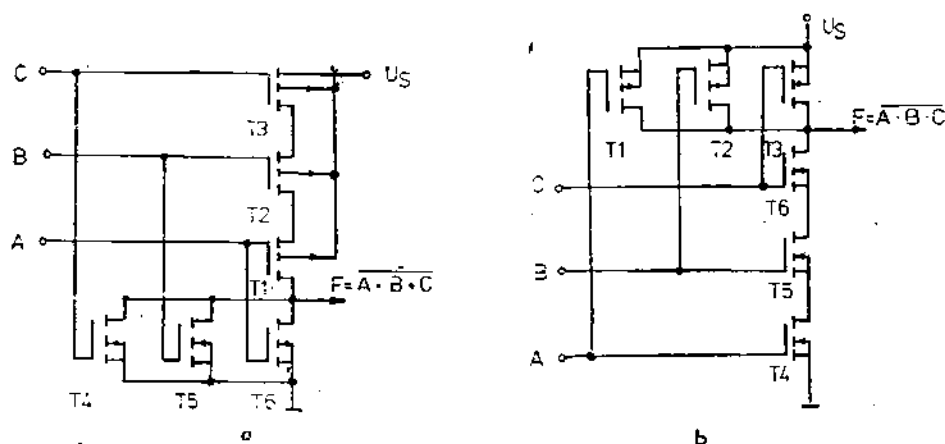


Fig. 19.21. Circuite logice cu tranzistoare MOS complementare:

a — circuit SAU-NU; b — circuit ȘI-NU

la ieșire să se găsească la nivelul inferior este necesar să conducă toate tranzistoarele cu canal n, adică trebuie ca la toate intrările lor să se aplice nivele superioare de tensiune, caz în care toate tranzistoarele cu canal p sînt blocate.

19.6.3. Dispozitive cuplate prin sarcină, CCD (Charge Coupled Devices)

În anul 1970 s-a publicat pentru prima oară realizarea unei noi clase de dispozitive semiconductoare cu structura de tipul metal-oxid-semiconductor. Principiul lor de funcționare se bazează pe fixarea sarcinii purtătorilor minoritari în „gropi de potențial”, formate la suprafața semiconductorului prin acțiunea cîmpului electric exterior, și pe deplasarea acestei sarcini în lungul suprafeței, prin decalarea potențialelor „gropilor de potențial”. Structura dispozitivelor acestea este prezentată în figura 19.29; ele sînt constituite dintr-un substrat de siliciu de tip n acoperit cu un strat de oxid gros (aproximativ 0,1...0,12 μ), peste care se depun electrozi metalici ce constituie porți. Dacă pe poarta unei structuri MOS realizată astfel se aplică o tensiune negativă, la suprafața semiconductorului se formează regiuni sărăcite de purtători, care sînt „gropi de potențial” pentru purtătorii de sarcină minoritari; de aceea sarcina golurilor injectate în „groapa de potențial”, poate fi stocată. Prezența sau absența sarcinii caracterizează două stări logice ale dispozitivelor CCD.

Deplasarea sarcinii (deci a informației) în dispozitivul CCD se realizează astfel: se admite că în regiunea porții C_1 , care se găsește sub potențialul U_1 ,

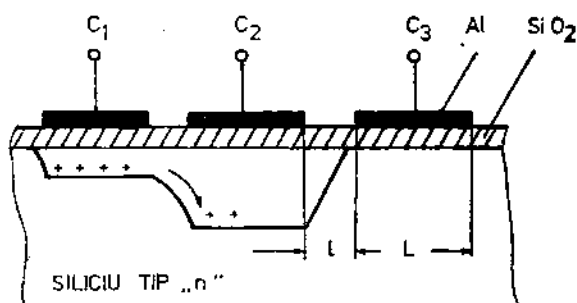


Fig. 19.22. Dispozitiv cuplat prin sarcină.

este localizată sarcina minoritară (datorată golurilor) Q_p . Dacă pe poarta C_3 se aplică potențialul $U_3 > U_1$, golurile din regiunea C_1 se deplasează în regiunea C_2 caracterizată printr-o „groapă de potențial mai adincă”. Sarcina poate fi transferată mai departe de regiunea C_2 , prin aplicarea pe poarta C_3 a unui potențial $U_3 > U_2$.

Tehnologic dispozitivele CCD sînt simple, ele nenescitind difuzii*; de aceea aceste dispozitive se caracterizează printr-un înalt nivel de integrare (mult mai mare decît al circuitelor integrate MOS). Timpul de răspuns al acestor dispozitive depinde de dimensiunile porților; de exemplu, pentru lungimi ale porții $L = (5-10) \mu$ și pentru distanțe între porți $1 = (2-3) \mu$, aceste dispozitive pot funcționa la frecvențe de ordinul zecilor de megaherți.

20. Circuite basculante

Circuitele prezentate în capitolul 19 fac parte din categoria circuitelor combinaționale; cu alte cuvinte, o dată determinată combinația tensiunilor prezente pe diversele lor intrări, tensiunea la ieșire este cunoscută fără dubiu, fără a se ține seama de „istoricul” tensiunilor de la intrare.

Circuitele care urmează să se prezinte în acest capitol sînt de tip secvențial ceea ce înseamnă că, pentru o combinație dată a tensiunilor de in-

* Difuziile se fac numai pentru asigurarea schimbului informației: de exemplu la intrarea dispozitivului, pentru crearea/injectarea sarcinii de purtători minoritari și la ieșirea dispozitivului, pentru detectarea/captarea acestei sarcini.

trare, tensiunea la ieșirea lor nu este neapărat cunoscută; ea poate depinde de ceea ce s-a întâmplat înainte ca tensiunile de intrare să ajungă la „configurația dată”.

Circuitele basculante sînt circuite care au două stări stabile distincte, trecerea dintr-o stare în alta făcîndu-se fie prin aplicarea unor semnale de comandă din exterior, fie în urma unor procese de variație a mărimilor electrice caracteristice circuitului.

Circuitele basculante stau la baza realizării a două importante categorii de circuite digitale cu multiple aplicații în prelucrarea numerică a informației: registrele și numărătoarele.

După numărul stărilor stabile distincte, circuitele basculante se clasifică în circuite basculante bistabile, circuite basculante monostabile și circuite basculante astabile.

20.1. Circuite basculante bistabile

20.1.1. Definiție și clasificare

Sînt circuite care au două stări stabile distincte. Trecerea dintr-o stare în alta se produce prin aplicarea unui impuls de comandă din exterior.

Acest tip de circuit, întîlnit și sub denumirile FLIP-FLOP, trigger sau circuit Eccles-Jordan, poate fi utilizat ca circuit de memorie, circuit de numărare, registru de deplasare, circuit de divizare a frecvenței.

Schema de principiu a circuitului basculant bistabil este dată în figura 20.1. Circuitul are două stări stabile distincte, stări în care unul din tranzistoare este blocat, iar celălalt se află în saturație. Pentru a se trece dintr-o stare în alta trebuie să se aplice din exterior un semnal de comandă care să producă fenomenul de basculare; acest semnal deschide tranzistorul blocat și blochează tranzistorul saturat.

Realizat în tehnica integrată, un circuit basculant poate fi compus (figura 20.2 și figura 20.3) fie:

- din două circuite SI-NU (NAND),
- din două circuite SAU,-NU (NOR).

În funcție de modul în care sînt comandate, circuitele basculante bistabile sînt de mai multe feluri, adecvate diverselor aplicații în care sînt utilizate: cele mai uzuale sînt tipurile:

- bistabil RS,
- bistabil J-K,
- bistabil D,
- bistabil T.

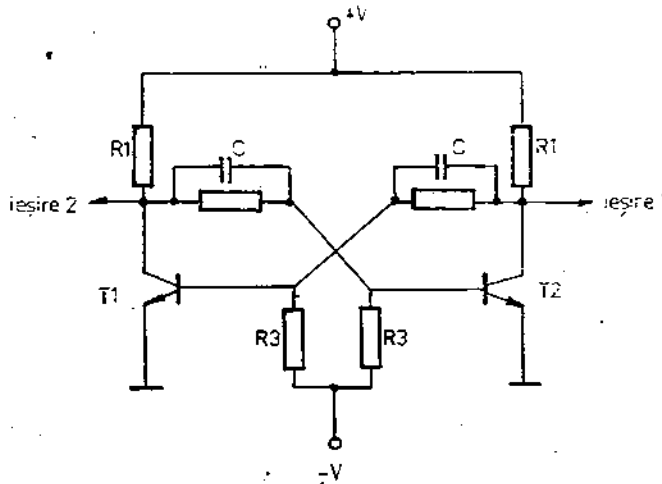


Fig. 20.1. Circuit basculant bistabil.

Trecerea într-o anumită stare poate fi determinată fie de semnalul care prezintă informația ce trebuie înscrisă în bistabil, fie de un semnal numit semnal de ceas (CLOCK) sau semnalul de tact, notat în scheme, CL sau T, care determină comutarea în funcție de semnalul pe intrările de informație notate prin R , S , D , J , K .

20.1.2. Circuitul basculant tip RS

Acest tip de circuit are două stări posibile, trecerea dintr-o stare în alta putându-se comanda printr-un semnal aplicat pe una din intrări, în timp ce trecerea inversă este comandată prin aplicarea unui semnal pe cealaltă intrare.

Pentru desemnarea celor două stări de funcționare ale unui circuit basculant se utilizează notațiile: 0 pentru starea de repaus și 1 pentru starea de funcționare.

Comanda care permite aducerea basculantului din starea de repaus în starea de funcționare se notează prin litera S (în engleză set — punere în poziție). Comanda inversă, care aduce basculantul în starea de repaus, se notează prin litera R (în engleză reset — punere la zero).

În figura 20.2 se prezintă un bistabil R-S realizat cu două circuite NAND. Pentru explicarea principiului de funcționare al circuitului se consideră următoarele situații:

● pe ambele intrări \bar{S} și \bar{R} se consideră nivelul logic 1. Deoarece în aceste condiții atât NAND-ul 1 cit și NAND-ul 2 sînt inversoare și ieșirile lor sînt la nivelul logic 0, montajul nu poate funcționa ca circuit basculant,

● pe intrarea \bar{S} se aplică nivelul logic 0 și pe intrarea \bar{R} nivelul logic 1 (bascularea în sens direct). Orice NAND, având un 0 pe intrare, furnizează un 1 pe ieșirea sa; rezultă deci $Q = 1$ și NAND-ul 2 primește un 1 pe intrarea sa superioară (cea legată la Q) având deja un 1 pe intrarea sa inferioară legată la \bar{R} . Rezultă că ieșirea Q' este la nivelul logic zero ($Q' = 0$). Deoarece $Q' = 0$, pentru NAND-ul 1 există o a doua intrare cu nivelul zero (prima $\bar{S} = 0$), ceea ce nu schimbă cu nimic ieșirea sa. Dacă acum se revine în situația $\bar{S} = 1$ (situația anterioară), cum ieșirea Q' a NAND-ului 2 aplică un 0 la intrarea inferioară a NAND-ului 1, ieșirea sa Q își păstrează valoarea 1; la fel și ieșirea Q' își păstrează valoarea 0. Rezultă că o acțiune pe intrarea S a circuitului basculant bistabil, face ca acesta să basculeze în starea de funcționare — Set ($Q = 1, Q' = 0$), cu condiția ca el să nu se fi găsit în această stare la aplicarea impulsului de acționare ($\bar{S} = 0, \bar{R} = 1$),

● pe intrarea \bar{R} se aplică nivelul logic 0 și pe intrarea \bar{S} nivelul logic 1 (bascularea în sens opus). În acest caz ieșirea Q' a circuitului NAND 2 va ajunge la nivelul logic 1. Circuitul NAND 1 primind cite un 1 pe cele două intrări ale lui (pe \bar{S} și pe intrarea inferioară legată la Q'), va furniza la ieșirea sa un nivel logic 0 ($Q = 0$); acest zero va fi aplicat la intrarea superioară a NAND-ului 2. Dacă în această situație facem $\bar{R} = 1$, starea $Q' = 1$ la ieșirea NAND-ului 2 se va menține; revenind la situația $\bar{R} = 0$ circuitul nu va fi influențat. În schimb el va fi sensibil dacă se acționează pe intrarea \bar{S} , în sensul că dacă se face $\bar{S} = 0$ și apoi $\bar{S} = 1$ sistemul va bascula. Rezultă că o acțiune pe intrarea \bar{S} , în sensul că dacă se face $\bar{S} = 0$ și apoi $\bar{S} = 1$ sistemul va bascula. Rezultă că o acțiune pe intrarea \bar{R} a circuitului basculant bistabil, face ca acesta să basculeze în starea de repaus-

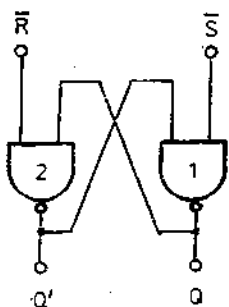


Fig. 20.2

Fig. 20.2. Reprezentare simbolică a unui circuit bistabil:

— realizat cu două circuite (SI-NAND.)

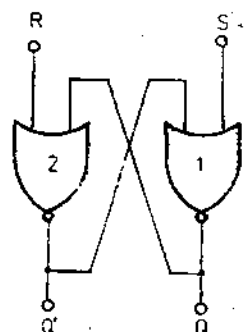


Fig. 20.3. Reprezentarea simbolică a unui circuit bistabil:

— realizat cu două circuite SAU-NU (NOR).

-Reset ($Q = 0$, $Q' = 1$), cu condiția ca el să nu se fi găsit în această stare la aplicarea impulsului de acționare ($\bar{S} = 1$, $\bar{R} = 0$).

Barele aplicate variabilelor de la intrare atrag atenția asupra faptului că nivelul coboritor este cel activ, cu alte cuvinte starea dorită la ieșire se obține aplicând pe intrare nivel logic zero.

În figura 20.3 se prezintă schema bloc a unui circuit basculant R - S cu două circuite NOR.

Explicarea funcționării este simplă dacă se reamintește că un circuit NOR cu două intrări nu furnizează tensiune la ieșirea sa decît dacă are nivele logice zero, simultan pe cele două intrări ale lui. În acest caz, fiecare circuit NOR avînd una din intrări la nivel logic 0, joacă rolul unui inversor. Dacă acum pe intrarea S se aplică nivelul logic 1, automat ieșirea Q devine zero (în afara cazului în care ea se găsea deja în această stare), zero ce se transmite prin bucla de reacție la intrarea circuitului NOR 2, ceea ce produce apariția unui nivel logic 1 pe ieșirea Q' .

În acest caz literele R și S nu au bare, deoarece, pentru basculare, pe ele se acționează cu nivelul logic 1.

20.1.3. Circuite basculante bistabile sincronizate

În practică, în majoritatea cazurilor se dorește controlul momentului cînd datele aplicate la intrarea bistabililor sînt transferate la ieșire. Pentru aceste cazuri, bistabilii sînt prevăzuți cu intrări pentru impulsul de tact (Clock, în engleză), celelalte devenind intrări pentru date (Data inputs).

În cele ce urmează se prezintă cîteva tipuri de circuite bistabile din această categorie.

● *Bistabilul RST (figura 20.4).* În figură NAND-urile 3 și 4 au roluri similare cu cele din figura 20.2. Cînd intrarea impulsului de tact T se menține la nivel logic 0, ieșirile a și b ale NAND-urilor 1 și 2 se găsesc la nivel logic 1 și ansamblul NAND-urilor 3 și 4 formează un bistabil R - S clasic*, ale cărui ieșiri se găsesc în una din următoarele două stări posibile:

$$Q = 0 \text{ și } \bar{Q} = 1 \text{ (starea 0);}$$

$$Q = 1 \text{ și } \bar{Q} = 0 \text{ (starea 1).}$$

Pentru explicarea funcționării circuitului se consideră următoarele două cazuri:

— se presupune $T = 1$.

Dacă $S = 1$ și $R = 0$, ieșirea a va ajunge la nivelul logic zero (la intrarea NAND-ului 2 se aplică două nivele logice 1), iar ieșirea b va avea nivelul logic 1 (pe una din intrările NAND-ului 1 se aplică un zero). Cum a

* a și b joacă rolurile intrărilor \bar{S} , respectiv \bar{R} , ale circuitului din figura 20.2.

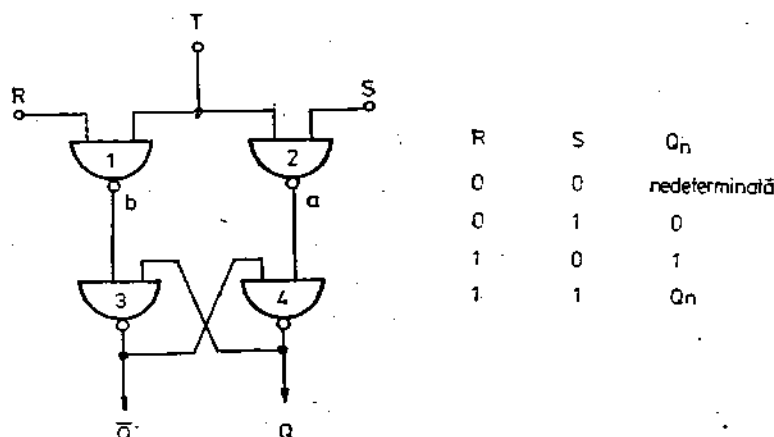


Fig. 20.4. Circuit basculant bistabil cu semnal de tact.

și b joacă rolurile intrărilor \bar{S} respectiv \bar{R} ale bistabilului 3; 4, rezultă că circuitul RST va trece în starea de funcționare (set).

Dacă $S = 0$ și $R = 1$ situația anterioară se modifică și bistabilul RST trece în starea de repaus (Reset).

Rezultă că pe întregul interval în care $T = 1$, orice modificare a lui R sau S se transmite asupra stării bistabilului.

— Se presupune $T = 0$.

În acest caz indiferent de nivelele logice ale intrărilor S și R , $a = b = 1$ (pe una din intrările NAND-urilor 1, 2 se aplică un nivel logic zero) și bistabilul 3, 4 nu-și modifică starea și schimbările care apar la intrare rămân fără efect pînă cînd impulsul de tact capătă valoarea logică 1.

Se constată că diferența între bistabilul RST și bistabilul RS e legată de faptul că intrările lui de comandă R și S nu acționează decît în cazul în care T este la nivelul logic 1.

Bistabilul RST se mai numește și semiregistrul de decalaj (half shift register, în engleză).

● *Bistabilul RS stăpîn-sclav (master — slave)*. Este alcătuit din două semiregistre de decalaj comandate în antifază de impulsul de tact (figura 20.5). Bistabilul „stăpîn” format din circuitele SI-NU, 3, 4 este comandat de impulsul de tact, iar bistabilul „sclav”, compus din circuitele SI-NU 7 și 8, este comandat de impulsul de tact inversat, prin intermediul inversorului I și al porților 5 și 6.

La acest bistabil funcționarea este dictată de pragurile care se definesc pe impulsul de tact (figura 20.6) și nu de durata impulsurilor de comandă. Funcționarea acestui circuit este următoarea:

Cînd impulsul de tact este la 0 logic ($\bar{T} = 0$; $T = 1$), porțile de intrare sînt blocate și porțile de transfer sînt deschise; informația conținută în bistabilul stăpîn este transformat în sclav, deci la ieșire.

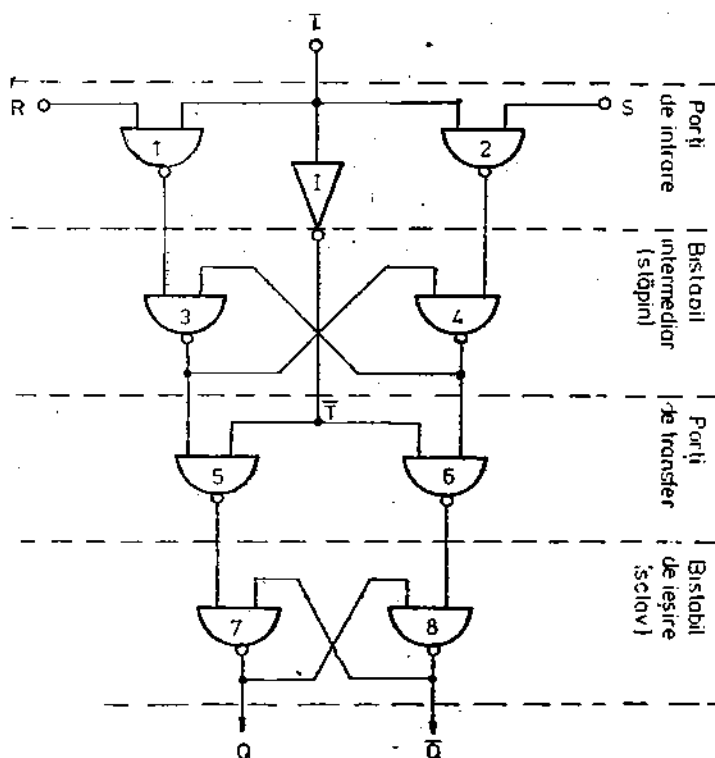


Fig. 20.5. Bistabil RS „Master-Slave”.

Dacă impulsul de tact începe să crească ($T = 1$; $\bar{T} = 0$), când ajunge la valoarea corespunzătoare punctului 1, porțile de transfer se blochează, sclavul izolându-se de stăpîn. În punctul 2 se deschid porțile de intrare și informația are acces în stăpîn pînă la punctul 3. De aici porțile de intrare încep să blocheze accesul altor informații în stăpîn. Informația care trebuie transferată la ieșire rămîne stocată în bistabilul stăpîn; în acest interval de timp sclavul deci și ieșirea, sînt complet izolate. Începînd din punctul 4 porțile de transfer se deschid și permit transferul informațiilor din stăpîn în sclav, adică la ieșire.

● *Bistabilul JK.* Acest tip de bistabil poate fi realizat în mai multe variante tehnice, printre care și „stăpîn-sclav”. Deoarece se utilizează larg la realizarea numărătoarelor și registrelor, se poate afirma că este cel mai

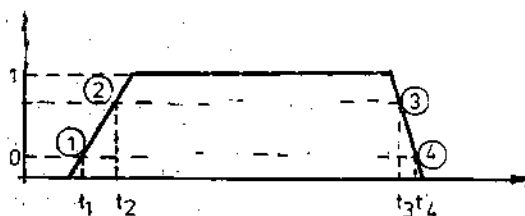


Fig. 20.6. Definirea pragurilor de funcționare ale unui bistabil stăpîn-sclav pe impulsul de tact.

răspîndit tip de bistabil (tipuri realizate în țară CDB 472E, 472EM, CDB 473E, 473EM, CDB 476E); scopul urmărit la realizarea lui este legat și de găsirea unui tip de bistabil care să poată fi comandat cu un semnal unic (de exemplu T din figura 20.5), fără ca bistabilul să prezinte stări nedeterminate.

În figura 20.7 se prezintă schema bistabilului JK. Se observă că este tot un bistabil RS ale cărui ieșiri sînt aduse la porțile de intrare, evitîndu-se prin această rebucare dezavantajul bistabililor RS legat de posibilitatea apariției stării de nedeterminare.

Pentru explicarea funcționării bistabilului JK se consideră că intrările \bar{R} și \bar{S} se mențin la nivelul logic 1 (este ca și cum aceste intrări nu ar exista). Se menționează următoarele cazuri:

— cazul $J = K = 1$.

Aplicînd nivele logice 1 pe intrările J și K (în realitate pot exista mai multe intrări J și mai multe intrări K de exemplu J_1, J_2, J_3 și K_1, K_2, K_3 pentru circuitul CDB 472 E), este ca și cum aceste intrări suplimentare nu există și montajul este identic cu cel din figura 20.5. La fiecare comandă completă aplicată pe intrarea T se va obține o basculare care va modifica starea bistabilului.

— cazul $J = K = 0$.

În acest caz NAND-urile 1 și 2 furnizează la ieșirea lor tensiuni care sînt în mod constant la nivel logic 1, indiferent de nivelul logic al intrării T și bistabilul este blocat în poziția în care se găsea indiferent de comanda ce se efectuează pe intrarea T .

— cazul în care J și K sînt diferite.

Acesta este un caz mai complex și pentru explicarea modului în care se comandă bistabilul se presupune că în starea de repaus $Q = 0, \bar{Q} = 1$.

Se presupune $J = 0$ (adică una din intrările J , sau două sau toate trei se găsesc la nivel logic 0) și $K = 1$. NAND-ul 2 primind un 0 pe una din intrări, nivelul său de ieșire se va găsi în permanență la 1, chiar și în cazul în care pe intrarea T se aplică o comandă oarecare. NAND-ul 1 primind un 0 pe intrarea sa de jos (s-a presupus $Q = 0$), ieșirea sa va rămîne în permanență la nivelul logic 1, chiar cînd pe intrarea T se va aplica un semnal oarecare de comandă. Rezultă că pentru $J = 0$ și $K = 1$, dacă bistabilul se găsește în starea de repaus, rămîne în acea stare, fiind insensibil la comenzile aplicate în T .

Considerînd în continuare bistabilul în stare de repaus ($Q = 0, \bar{Q} = 1$) se presupune $J = 1$ și $K = 0$. De data aceasta NAND-ul 2 are nivele logice 1 pe toate intrările lui, cu excepția lui T (care poate fi oricare, după dorință), iar NAND-ul 1 va avea unul sau mai multe nivele 0 pe intrările lui K ceea ce face ca nivelul său de ieșire să fie în permanență 1. În această situație se presupune că se aplică o comandă pe intrarea \bar{T} . Cînd tensiunea în \bar{T} ajunge la pragul 1 (fig. 20.6) ieșirea T a inversorului 1 va „deconecta” sau izola bistabilul sclav 7, 8, de intrările sale. Semnalul \bar{T} continuînd să crească, el depășește pragul 2 (figura 20.6) moment în care tensiunea de ieșire a NAND-ului

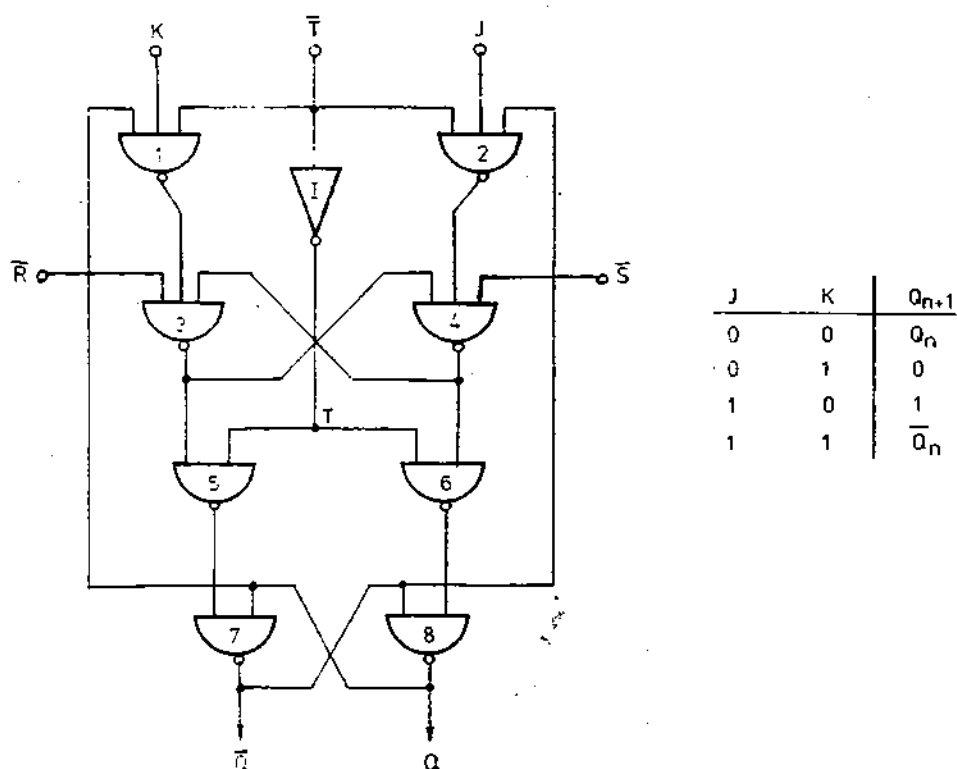


Fig. 20.7. Circuit bistabil JK și tabelul său de adevăr.

2 se anulează iar tensiunea la ieșirea NAND-ului 4 devine 1 și informația se poate afișa la ieșirile NAND-urilor 3 și 4. Dacă acum se coboară semnalul în T , când acesta ajunge în 3 (figura 20.6) bistabilul stăpîn (format din 1, 2, 3, și 4) va fi izolat de bistabilul sclav. În momentul cînd \bar{T} va trece pragul 4 (figura 20.6), deschizîndu-se porțile de transfer 5, 6, informația va fi trecută din stăpîn în sclav adică la ieșire (de la ieșirea NAND-urilor 3 și 4 la ieșirile Q , \bar{Q}). Rezultă că în cazul $J = 1$ și $K = 0$, bistabilul fiind în starea inițială de repaus, o comandă completă în T (creștere-descrere) provoacă bascularea.

În mod similar se pot deduce următoarele două situații dacă se presupune că inițial bistabilul se găsea în starea de funcționare ($Q = 1$, $\bar{Q} = 0$) și anume:

- Dacă $J = 0$ și $K = 1$, bistabilul trece în starea de repaus la sfîrșitul comenzii în \bar{T} , cînd semnalul de comandă depășește pragul 4 (figura 20.6).
- Dacă $J = 1$ și $K = 0$, bistabilul este insensibil la acțiunea unei comenzi în \bar{T} .

● *Bistabilul tip D.* Într-o serie de cazuri de utilizare a bistabililor JK se dorește să se aplice două tensiuni complementare pe intrările J și K . În

20.2. Circuite basculante monostabile

Sînt circuite basculante caracterizate prin două stări, dintre care una stabilă, iar alta instabilă. Starea stabilă se menține atîta timp cît din afară nu se aplică un semnal. La aplicarea din exterior a unui semnal adecvat, monostabilul își schimbă starea însă numai pentru o perioadă de timp determinată de constantele proprii circuitului respectiv, ca după aceea să revină singur în starea inițială stabilă.

Circuitele basculante monostabile se folosesc frecvent ca elemente de memorie temporară, dispozitive de marcare intervale de timp, ca elemente de întârziere a unor impulsuri standardizate sau pentru generarea unor impulsuri de durată dată.

În figura 20.10 se prezintă o schemă de monostabil realizată cu porți integrate (de tipul CDB 400 E). Funcționarea circuitului este următoarea: pentru $A = 0$, rezultă $B = D = 1$. Dacă A trece în 1, B trece în 0, dar datorită întârzierii date de circuitul RC , punctul 0 mai rămîne în 1 pe durata, $t = RC$, de descărcare a condensatorului; în acest interval t , ieșirea rămîne pe 0, revenind apoi în 1 cînd D ajunge la nivel logic 0.

20.3. Circuite basculante astabile

Numite și multivibratoare, aceste circuite sînt caracterizate prin două stări, ambele instabile; trecerea dintr-o stare în alta se face fără semnale aplicate din exterior, la momente de timp determinate de parametrii circuitului. Circuitul basculant astabil este de fapt un oscilator care produce semnale dreptunghiulare la ieșirea sa. El are aplicații largi în tehnica circuitelor logice fiind utilizat pentru generarea semnalelor de sincronizare sau de tact (CLOCK). Un circuit basculant astabil se poate ridica legînd în reacție un număr impar de circuite inversoare.

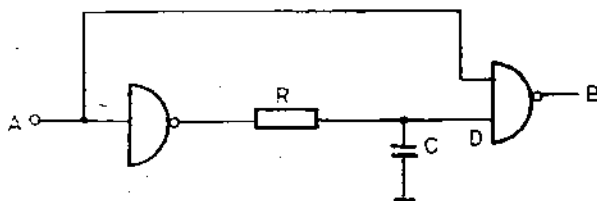


Fig. 20.10. Circuit basculant monostabil.

21. Registre

21.1. Definiție și clasificare

Registrele sînt circuite electronice care primesc, stochează și transferă informații în cod binar *, la dorința utilizatorului, prin simpla acționare a unei comenzi speciale.

Pentru a putea scrie o informație cu n biți într-un registru, acesta trebuie să cuprindă n circuite bistabile, cîte unul pentru fiecare bit; în acest caz registrul are capacitatea de n biți.

După modul de înscriere a informațiilor, registrele se împart în trei tipuri:

- registre paralel;
- registre serie;
- registre paralel-serie.

Un registru poate fi „static” dacă oprind acțiunea de comandă, informația stocată în diversele celule (figura 21.1) nu dispăre; în acest caz informația nu se deplasează în registru ci se conservă.

* În calculul electronic se utilizează sistemul de numărare în baza 2, numit sistem binar. El nu comportă decît două cifre simbolice: 0 și 1; deci fiecare cifră semnificativă denumită cifră binară sau bit (denumirea de bit provine de la prescurtarea cuvintelor „binary digit”, care în limba engleză înseamnă cifră binară) folosită în scrierea numărului are una din două valori posibile: 0 sau 1. Acest mod de numărare se acomodează perfect cu utilizarea circuitelor logice.

Conversia unui număr scris în cod binar în expresie zecimală este simplă. De exemplu:

numărul în cod binar		numărul în cod zecimal
1 1 0 1 0 0 1 0 1		
1	1×2^0	1
1	0×2^1	0
0	1×2^2	4
1	0×2^3	0
0	0×2^4	0
1	1×2^5	32
0	0×2^6	0
1	1×2^7	128
1	1×2^8	256
		<hr/> 421

Expresia unui număr dat în cod binar, comportă, așa cum se vede, mai multe cifre (în medie de trei ori mai mult) decît expresia lui sub formă zecimală. Dar cum aceste cifre au sînt decît 0 și 1, este foarte simplu pentru a le traduce sub formă electrică. De aici și interesul aritmeticii binare în calculatoare electronice.

Un registru este „dinamic” dacă informația pe care o conține nu poate fi menținută decât dacă se „împrospătează” cu o cadență oarecare, fără de care ea ar dispărea.

21.2. Principiu de funcționare

Se consideră un ansamblu de zece bistabili (figura 21.1.), numerotați de la dreapta la stânga, de la 1 la 10. Se presupune că în acest șir de bistabili (figura 21.1 a) este stocat numărul 10110 (în cod zecimal corespunde numărului 22).

Dacă se acționează pe o comandă specială, fiecare digit va progresa cu cite o celulă de la dreapta la stânga, ajungându-se în situația din figura 21.1 b unde digitul 1 care ocupa celula a doua (în a) se găsește acum în celula a treia.

După un al doilea impuls de comandă se obține situația din figura 21.1 c. Continuând să se aplice impulsuri de comandă, se poate ajunge la dispariția numărului afișat inițial în cele zece celule.

Exemplul menționat care reprezintă un registru de deplasare dreapta-stînga de zece biți, este un caz particular și anume cazul în care între fiecare comandă nu se introduce nici-o informație la intrarea lui.

Introducerea informației în registru se poate face fie simultan, în toate celulele deodată, fie succesiv, poziție cu poziție.

În mod similar extragerea informației din registru se poate face simultan sau succesiv.

Se zice că un registru de deplasare posedă intrări paralele cînd ele dispun de atîtea comenzi de intrare cîți biți are, fiecare comandă permițînd introducerea unei date 1 într-unul din bistabilii corespunzători. De exemplu, registrul cu zece celule din figura 21.1. va avea zece intrări paralele care permit să se afișeze 1 în celula unde se dorește, fără intervenția comenzilor de acționare.

Se zice că un registru are o intrare serie cînd permite să se afișeze în celula sa numărul 1 (figura 21.1), un 1 sau un 0, care poate fi deplasat în continuare; în acest tip de registru se poate afișa orice număr, cifră cu cifră după cadența următoare (figura 21.1 a):

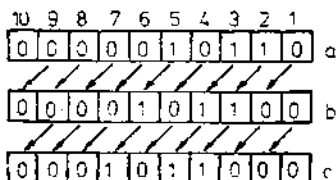


Fig. 21.1. Principii de funcționare ale unui registru.

- se afișează un 1 în celula numărul 1,
- se deplasează acest 1,
- se afișează un 0 în celula numărul 1,
- se deplasează 1 și 0,
- se afișează un 1 în celula numărul 1,
- se deplasează numărul 101 afișat,
- se afișează un 1 în celula numărul 1,
- se deplasează numărul 1011 afișat,
- se afișează un 0 în celula numărul 1.

21.3. Structura unui registru de deplasare

În figura 21.2. se prezintă un ansamblu de cinci bistabili JK, fiecare din ei acționând prin ieșirile Q și \bar{Q} intrările J și K ale bistabilului de la stînga sa. Comanda comună de acționare (tact) este aplicată pe intrările \bar{T} ale bistabililor JK. La intrarea J a primului bistabil se aplică tensiunea de intrare, U_{in} , iar la intrarea K , tensiunea \bar{U}_{in} .

Comenzile \bar{R} ale bistabililor se leagă împreună la borna comună A , destinată, ca printr-o comandă corespunzătoare, să aducă toți bistabilii JK în starea de repaus, caracterizată prin $Q = 0$ (pentru toți bistabilii).

Bistabilii JK dispun de intrările paralele în 1-In 5; alimentate la tensiune pozitivă, ele acționează pe intrările S ale bistabililor.

Registru menționat are ieșiri (Ieș 1 — Ieș 5) paralel, fiecare bistabil JK fiind legat separat cu exteriorul.

Pentru explicarea funcționării acestui registru se consideră următoarele două situații:

● se presupune că intrarea J , (U_{in}) se menține la nivelul logic zero, iar pe una din intrările paralele (de exemplu) In2) se aplică un nivel logic 1 care va aduce bistabilul JK în starea de funcționare: tensiunea la ieșirea sa va căpăta nivelul logic 1 adică Ieș 2 este 0.

La acționarea impulsului de tact, care acționează simultan pe toate intrările \bar{T} , a bistabililor JK, după fiecare impuls de comandă, impulsul se va transfera dintr-un bistabil în următorul. Deoarece $U_{in} = 0$, după o comandă a impulsului de tact, bistabilul JK numărul 1 se găsește în starea de repaus (chiar și în cazul cînd o comandă inițială pe In 1 l-ar fi condus în prealabil în starea de funcționare).

După 5 impulsuri de tact, cele 5 bistabile JK, vor afișa nivele 0 la ieșirile lor.

Rezultă deci că pentru a șterge complet indicația unui registru de deplasare, este suficient să se acționeze cu un număr de impulsuri de tact cel puțin egal cu numărul lui de celule.

● se presupune că pe borna J se aplică impulsuri de intrare. În acest caz va fi posibil să se introducă o informație în bistabilul numărul 1, fără să se mai utilizeze intrarea paralel In 1. De exemplu, dacă se presupun toți bistabilii în starea de repaus și se face $U_{in} = 1$, la aplicarea unui impuls de tact, la borna de ieșire Ieș 1 va apare o tensiune 1.

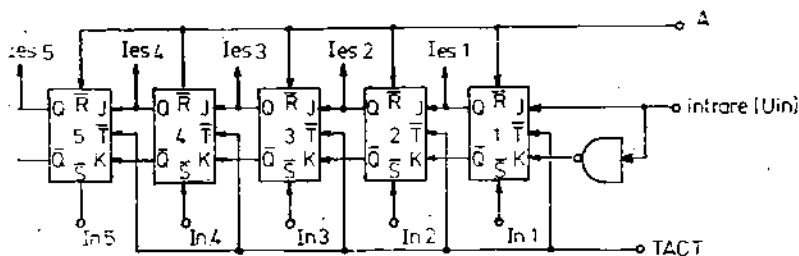


Fig. 21.2. Realizarea unui registru de deplasare cu bistabil J-K.

Schema reprezentată în figura 21.2. este un registru care poate fi utilizat:

- cu intrări paralele ($I_{n1} + I_{n5}$),
- cu ieșiri paralele ($I_{es1} + I_{es5}$),
- cu o intrare serie (U_{in}),
- cu o ieșire serie (I_{es5}).

În figura 21.3 se prezintă registrul de deplasare CDB 495 fabricat la IPRS-Băneasa. Acest registru de tip paralel și serie, este compus din patru bistabili RS stăpîn-sclav, patru porți SI-SAU-NU, o poartă SI-SAU și șase inversori. Interconexiunile interne ale acestor funcțiuni realizează un registru de tip serie sau paralel. Un număr de registre de acest tip pot fi conectate în serie pentru a forma un registru de n biți; în figura 21.4, se prezintă un registru de stocare de 8 biți realizat cu două circuite CDB 495 E.

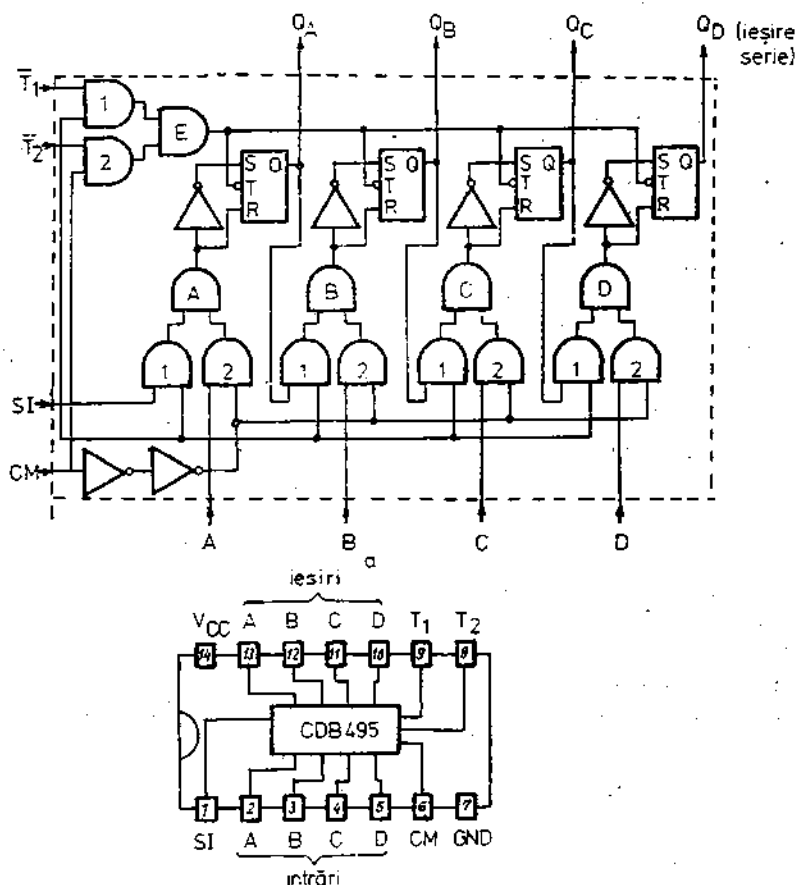


Fig. 21.3. Schema bloc internă a registrului de deplasare CDB (495) (a) și legăturile la capsule (b).

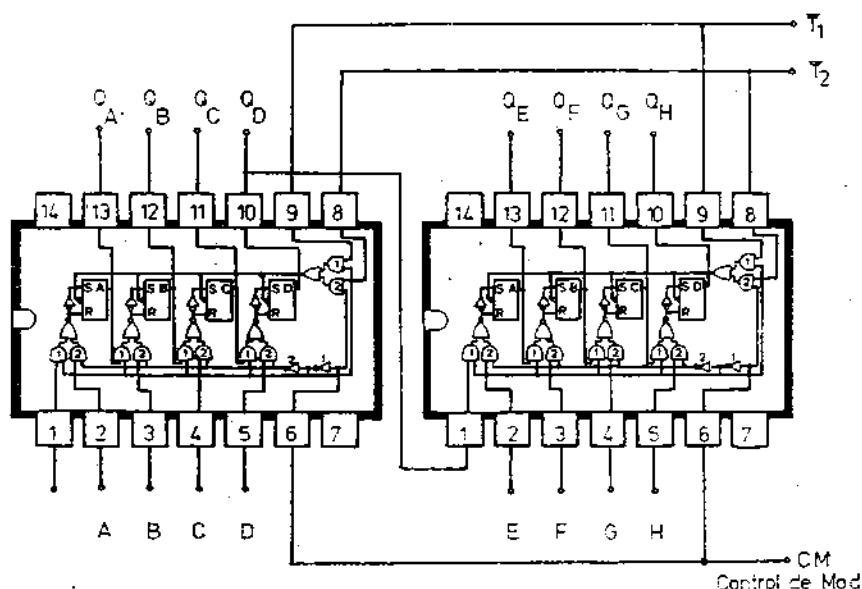


Fig. 21.4. Registrul de stocare de 8 biți cu CDB 495 E.

Când un nivel logic 0 se aplică pe intrarea control de mod (CM) porțile SI numerotate 1 permit accesul serie al datelor iar porțile 2, pentru acces paralel, sînt inhibate. Registrul funcționează cu deplasarea la dreapta a datelor în ritmul impus de tactul $\bar{T}1$, ieșirea fiind posibilă în paralel (Q_A, Q_B, Q_C, Q_D) sau serie (Q_D).

Când $CM = 1$, porțile 1 sînt inhibate și porțile 2 permit introducerea informației în paralel, la comanda tactului $\bar{T}2$.

21.4. Registre de deplasare în tehnologia MOS

Registrul prezentat în figura 21.2 este un registru de deplasare static.

În cele ce urmează se prezintă structura unui registru de deplasare dinamic realizat cu componente semiconductoare de tip MOS.

Pentru a înțelege mai bine principiul de funcționare al acestui tip de registru mai întîi se va prezenta un model similar realizat cu inversoare MOS.

21.4.1. Registru realizat cu întrerupătoare

Se consideră structura din figura 21.5 în care sînt reprezentate patru inversoare MOS (a, b, c, d), a căror impedanță de intrare este foarte mare și cinci întrerupătoare ($1 + 5$).

La intrarea fiecărui circuit se plasează un condensator ($C1 - C4$).

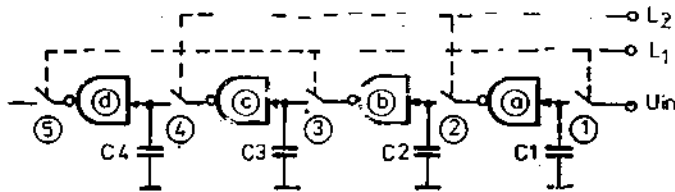


Fig. 21.5. Structură simplificată de registru dinamic de deplasare cu dispozitive MOS.

Ieșirile fiecărui circuit pot fi conectate la intrările circuitului următor prin întrerupătoarele 1–5. Linia $L1$ comandă întrerupătoarele de rang impar (1, 3, 5...), iar linia $L2$ comandă întrerupătoarele de rang par (2, 4, 6...).

Dacă se aplică tensiunea U_{in} la intrare și se închide întrerupătorul 1 (prin acționarea liniei $L1$), condensatorul $C1$ se încarcă pînă la tensiunea U_{in} și la ieșirea inversorului a se regăsește tensiunea U_{in} . Dacă acum se deschid întrerupătoarele de rang impar, starea inversorului a se menține datorită sarcinii condensatorului $C1$ și a impedanței mari de intrare a inversorului a .

Dacă acum se închid întrerupătoarele de rang par (prin acționarea liniei $L2$), tensiunea U_{in} este transferată la intrarea inversorului b și păstrată în condensatorul $C2$; în acest caz la ieșirea lui b se afișează tensiunea U_{in} (inversul lui U_{in}).

O nouă închidere a întrerupătoarelor de rang impar transferă informația în condensatorul $C3$ și așa mai departe dacă se acționează alternativ cele două linii $L1$ și $L2$; în final informația ajunge la ieșirea registrului.

Se menționează că nu trebuie să se închidă simultan întrerupătoarele de rang par și de rang impar deoarece în acest caz informația U_{in} va trece direct de la intrarea la ieșirea lanțului de inversoare.

21.4.2. Registre de deplasare dinamice cu tranzistoare MOS

În figura 21.6 este transpusă schema anterioară într-o schemă similară care utilizează numai tranzistoare MOS.

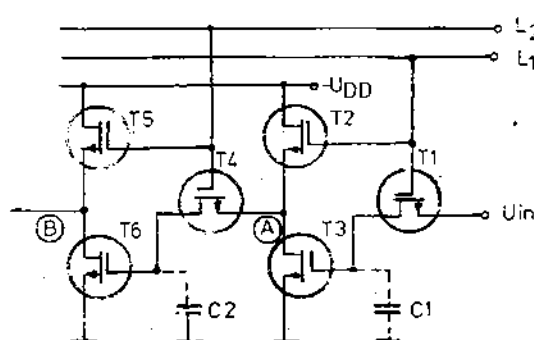
Tranzistoarele $T1$ și $T4$ joacă rolul întrerupătoarelor 1 și 2 din figura 21.5; ele reprezintă porți de transmisie și permit trecerea semnalului prin ele numai în cazul cînd pe porțile lor se aplică nivele logice 1 (deci cînd se acționează liniile de comandă $L1$ respectiv $L2$).

Tranzistoarele $T2$, $T3$ joacă rolul primului inversor, a , din figura anterioară.

Dacă se aplică tensiunea U_{in} la intrare și se acționează linia $L1$ (pe poarta lui $T1$ se aplică o tensiune negativă mai mare decît tensiunea lui de prag), tensiunea U_{in} se transmite prin $T1$ pe poarta lui $T3$ și se regăsește inversată în punctul A . Dacă se decuplează linia $L1$, informația prezentă în A persistă deoarece ea se află înmagazinată în capacitatea de intrare a tranzistorului $T3$ (în capacitatea $C1$).

Aplicînd o comandă pe linia $L2$, informația din A va trece prin $T4$, care devine conductor (prin acționarea liniei $L2$),

Aplicînd o comandă pe linia $L2$, informația din A va trece prin $T4$, care devine conductor (prin acționarea liniei $L2$), spre poarta lui $T6$,



stocându-se în capacitatea $C2$, după încetarea comenzii liniei $L2$.

Deci, informația U_{in} se găsește egală și de același semn, în B .

Mai multe celule de felul celor prezentate în figura 21.6 vor constitui un registru de deplasare dinamic complet cu tranzistoare MOS.

Fig. 21.6. Realizarea schemei din figura 21.5 cu tranzistoare MOS.

22. Numărătoare

Se numesc numărătoare de impulsuri circuitele care stabilesc numărul de impulsuri aplicate la intrarea lor și care, de obicei, mențin acest număr în absența unor impulsuri de intrare.

În țară se produc câteva tipuri de circuite integrate numărătoare și anume: numărătoare asincrone zecimale (CDB 490 E), numărătoare asincrone divizoare prin 12 (CDB 492 E), numărătoare asincrone binare de 4 biți (CDB 493 E), numărătoare sincrone zecimale reversibile (CDB 4192 E), numărătoare sincrone binare reversibile (CDB 4193 E).

Clasificarea numărătoarelor se face după mai multe criterii:

- în funcție de modul de aplicare al impulsurilor de comandă, numărătoarele se clasifică în: asincrone și sincrone;
- în funcție de sensul numărării se clasifică în numărătoare directe, inverse și reversibile.

22.1. Numărătoare asincrone

Numărătoarele asincrone sînt numărătoare în care informația se transmite de la intrare spre ieșire pas cu pas. Ele se realizează prin conectarea în cascadă a unei serii de circuite basculante bistabile.

De exemplu numărătorul asincron CDB 493 E, se compune din patru bistabili JK (figura 22.1). Impulsurile aplicate în T (primul bistabil) se divid cu 2 (la ieșirea A), cu 4 (la ieșirea B), cu 8 (ieșirea C) și cu 16 (ieșirea D). Avantajul acestui circuit constă în simplitatea lui, datorită realizării cu un număr minim de conexiuni între circuite. Dezavantajul său îl constituie timpul lung de propagare al impulsurilor pe întregul lanț al circuitelor

bistabile (fiecare bistabil „așteaptă” comanda de la bistabilul precedent).

În mod similar, numărătoarele asincrone CDB 490E și CDB 492E prin interconectări adecvate pot fi utilizate ca divizioare cu un număr oarecare, $N \leq 16$.

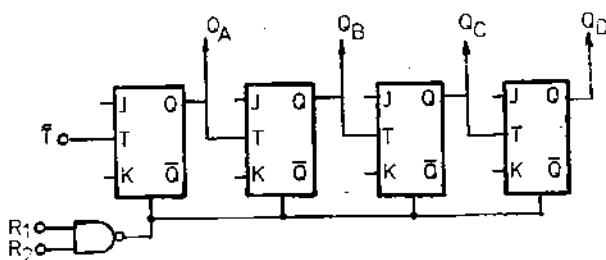


Fig. 22.1. Schema bloc a numărului CDB 493 E.

22.2. Numărătoare sincrone

Numărătoarele sincrone au particularitatea că circuitele basculante bistabile ce le compun, fiind conectate în cascadă, comută pe rând datorită întârzierilor produse pe fiecare celulă în propagarea tactului T .

În figura 22.2 se prezintă schema bloc a unui numărător binar cu două circuite basculante. Funcționarea lui este următoarea:

- circuitul basculant $B1$ își schimbă starea la fiecare semnal aplicat la intrarea sa T . În schimb circuitul basculant $B2$ nu-și va modifica starea la aplicarea unui semnal în T , decât dacă ambele lui intrări J și K se găsesc în starea 1, adică dacă ieșirea Q a bistabilului $B1$ este 1,

- începând cu starea 0 (ieșirile Q în starea 0) un semnal aplicat la intrare nu va acționa decât bistabilul $B1$, deoarece $B2$ are pe bornele sale $J-K$ starea 0; deci $B1$ basculează, $B2$ nu basculează.

- impulsul al doilea va acționa simultan pe $B1$ și $B2$, acesta din urmă primind în timpul celui de al doilea impuls și nivelul 1 pe intrările $J-K$. Deci $B1$ este în starea 0 și $B2$ în stare 1. Ca atare din nou intrările $J-K$ ale lui $B2$ sînt în starea 0,

- impulsul al treilea la intrare, nu va acționa decât asupra lui $B1$, pe care-l aduce în starea 1. Deci acum intrările $J-K$ ale bistabilului $B2$ se găsesc în stare 1,

- impulsul al patrulea va acționa simultan cele două bistabile, aducându-le în starea 0.

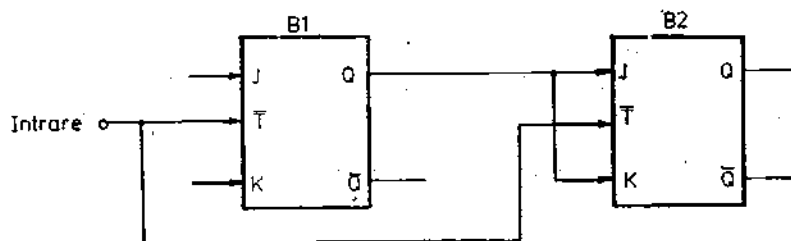


Fig. 22.2. Schema bloc a unui numărător sincron cu două etaje.

23. Circuite integrate semiconductoare liniare

23.1. Clasificare

Circuitele integrate care vor fi examinate în cele ce urmează se deosebesc fundamental de circuitele integrate logice atât prin structura lor cât și prin modul de utilizare; ele se numesc „circuite liniare” sau „circuite analogice”.

Possibilitățile actuale ale tehnicii planar pe siliciu permit realizarea unei game largi de CI liniare; se va începe prin prezentarea tipului care reprezintă de departe marea majoritate a circuitelor liniare ce se fabrică industrial, amplificatoarele operaționale.

Circuitele integrate liniare se fabrică într-o mare varietate de tipuri, clasificarea lor făcându-se după domeniul și modul lor de folosire. Astfel principalele tipuri de CI liniare se pot clasifica după domeniul de utilizare în următoarele categorii:

1. CI amplificatoare operaționale, sînt amplificatoare de curent continuu (realizate pe un singur cip) care datorită parametrilor de intrare și ieșire buni, pot fi folosite (ca amplificatoare de bandă largă, integratoare analogice, filtre active, operatoare aritmetice analogice, amplificatoare de eroare, comparatoare, oscilatoare) în echipamentele industriale și din ce în ce mai mult și aparatura de larg consum. Ca exemple de asemenea circuite integrate operaționale realizate în țară (I.P.R.S., I.C.C.E.) pot fi date: 3A741; ROB 101; ROB 709; CLB 2711;

2. CI liniare pentru telecomunicații, sînt circuite amplificatoare sau prelucrătoare de semnal care împreună cu un număr foarte mic de componente pasive sînt folosite la realizarea unor blocuri din circuitele de radio- comunicații, din receptoarele de TV și din echipamentele industriale. În momentul de față în țară se realizează o gamă largă de CI din această clasă printre care se pot enumera: TDA 440 (amplificator FI imagine); TBA 950 (sincroprocesor); TAA 661 (amplificator FI sunet); 3E 565 (circuit PLL.); μ A 758 (decodor stereo); etc

3. CI liniare pentru aparatura de măsurare, sînt circuite amplificatoare de instrumentație la a căror construcție se iau măsuri speciale pentru mărirea stabilității termice, a impedanțelor de intrare, a puterilor disipate, pentru lărgirea gamelor de temperatură. Asemenea circuite se realizează și în țară (exemplu: ROB 715; ROB 725; μ A 740; ROB 748; etc);

4. CI liniare de putere, sînt circuite amplificatoare în curent continuu sau în impulsuri folosite atât în echipamentele industriale cât și în aparatura de larg consum. Ca exemplu de CI liniare de putere se pot enumera: TBA 790; TBA 120; MH 810; MH 820; etc.

*) PLL — Phase—Locked Loop (bucă cu calare de fază)

23.2. Amplificatoare operaționale

23.2.1. Definiție

Amplificatoarele operaționale constituie principala clasă de circuite integrate liniare cu câștig mare în tensiune.

Amplificatorul operațional este un circuit electronic care întrunește următoarele proprietăți:

- câștig în tensiune foarte mare; de ordinul sutelor de mii;
- rezistență de intrare foarte mare; de ordinul megohmilor;
- rezistență de ieșire foarte mică; de ordinul zecilor de ohmi;
- bandă de frecvențe transmise fără distorsiuni de la curent continuu până la o frecvență cit mai ridicată.

În scheme amplificatorul operațional se reprezintă printr-un triunghi (figura 23.1. c) în care se notează cu minus (-) intrarea inversoare a amplificatorului operațional și cu plus (+) intrarea lui neinversoare.

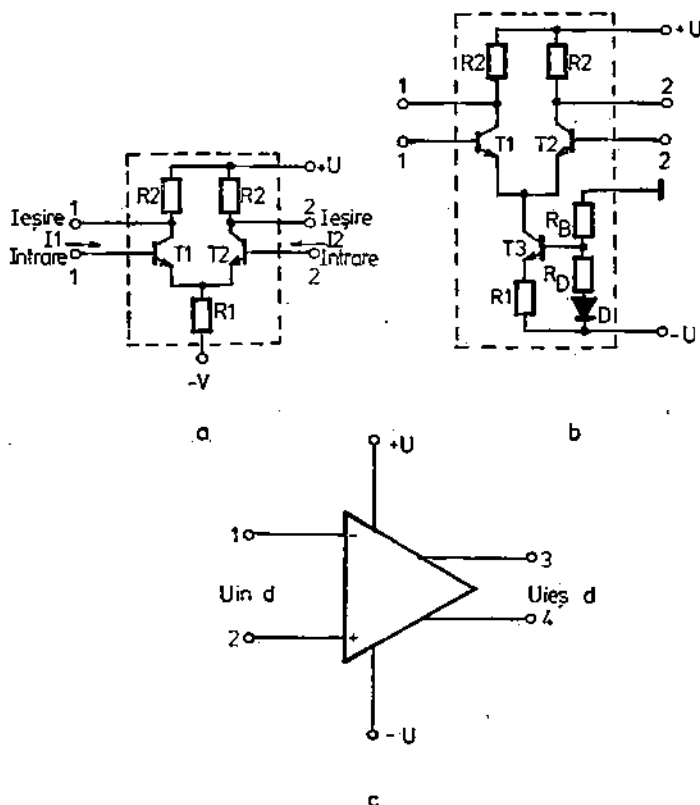


Fig. 23.1. Etaje de amplificare diferențiale:

a — cu polarizarea emitorului prin rezistor; b — cu polarizare emitorului prin sursă de curent; c — reprezentare în schemă.

23.2.2. Schema de principiu a unui amplificator operațional integrat

În configurația amplificatoarelor operaționale se găsesc etaje de intrare, care sînt de obicei amplificatoare diferențiale, etaje de deplasare a nivelelor de tensiune și etaje finale.

Etajul amplificator diferențial după cum arată și numele său, amplifică diferența a două semnale de intrare. Aceste semnale se aplică pe două intrări diferite și diferența între ele se numește tensiunea de intrare diferențială $U_{in,dif}$.

Amplificatorul diferențial are două ieșiri de pe care poate fi cules semnalul de ieșire.

Utilizarea amplificatoarelor diferențiale ca etaje de intrare în amplificatoarele operaționale prezintă avantaje deoarece:

- prin realizarea integrată a unei perechi de tranzistoare pe un substrat comun, se asigură identitatea parametrilor celor două tranzistoare; prin aceasta influența unor factori externi (de exemplu temperatura și tensiunea de alimentare) asupra etajului diferențial și deci asupra întregului amplificator este minimă,

- asigură la ieșire semnale egale și de polarități opuse,

- permite obținerea ușoară a diferenței a două semnale,

- din punct de vedere al aplicațiilor, amplificatorul operațional cu intrare diferențială este mai versatil decît un amplificator cu o singură intrare datorită flexibilității pe care o oferă în alegerea configurației de reacție; la un amplificator cu o singură intrare se poate aplica un singur tip de reacție.

În figura 23.1. a se prezintă o schemă simplă de amplificator diferențial cu tranzistoare bipolare.

Dacă la bornele de intrare 1 și 2 se aplică două tensiuni, atunci diferența lor $U_{in,dif}$ se amplifică și între bornele de ieșire apare tensiunea diferențială, $U_{ieș,dif}$. În cazul în care ambele intrări au același potențial în raport cu masa, caz în care tensiunea diferență de intrare este nulă $U_{in,dif} = 0$, tensiunea diferență la ieșire este de asemenea nulă indiferent de mărimea factorului de amplificare al circuitului, $U_{ieș,dif} = 0$. În general, un amplificator diferențial furnizează la ieșirea sa o tensiune de ieșire care depinde de diferența celor două tensiuni de intrare, adică:

$$U_{ieș} = A(U_{in1} - U_{in2})$$

unde A este amplificarea etajului.

Cu alte cuvinte, dacă, de exemplu se aplică $U_{in1} = 1,001$ V și $U_{in2} = 1,000$ V, la ieșire se obține aceeași tensiune ca în cazul în care intrarea 2 se menține la potențialul zero și pe intrarea 1 se aplică o tensiune de 1 mV. Amplificatoarele diferențiale au două tensiuni de alimentare (figura 23.1 c), una pozitivă și cealaltă negativă; un astfel de amplificator nu are conexiune de masă. Tensiunea la ieșire $U_{ieș}$ poate varia între o valoare maximă (care) este mai mică decît tensiunea de alimentare pozitivă cu aproximativ 1,5–2 V și o valoare minimă (mai mare cu cca 1,5 V–2 V decît tensiunea de alimentare negativă); de exemplu, pentru un amplificator alimentat la tensiunile $U_+ = +15$ V și $U_- = -15$ V, tensiunea la ieșire poate varia în limitele -13 și $+13$ V.

În cazul în care amplificatorul operațional necesită impedanțe mari de intrare, pentru etajul diferențial se utilizează trei configurații tipice; configurația cu tranzistoare cu efect de cimp (figura 23.2), configurația Darlington sau cu tranzistoare comune (figura 23.3) și configurația cu tranzistoare superbeta.

Deoarece valoarea rezistenței R_1 din circuitul de emitor (figura 23.1 a) este foarte mare, fapt care conduce la creșterea atât a suprafeței ocupate pe substratul de siliciu cât și a puterii disipate în rezistor, pentru înlăturarea acestui inconvenient se utilizează montajul din figura 23.1 b, respectiv cel din figura 23.2 pentru configurația cu TEC. În acest caz tranzistorul T_3 are rolul unui rezistor echivalent de valoare foarte mare. Regimul de funcționare al acestui tranzistor se fixează prin divizorul de tensiune R_B, R_D, D_1 ; dioda D_1 (în unele cazuri se introduc două diode în serie) este introdusă pentru compensarea variației cu temperatura a tensiunii bază-emitor (U_{BE}) a tranzistorului T_3 .

Pentru realizarea de amplificatoare operaționale integrate cu coeficienți mari de amplificare, etajele de amplificare diferențiale care intră în componența lor se conectează în cascadă; prin această conectare, ieșirile primului etaj de amplificare se cuplează direct cu intrările celui de al doilea etaj de amplificare și așa mai departe. Astfel, ieșirea ultimului etaj diferențial se găsește la un potențial de curent continuu ridicat față de masă și nu poate fi utilizată ca bornă de ieșire a amplificatorului operațional, deoarece prin aceasta se limitează amplitudinea și se înrăutățește liniaritatea excursiei

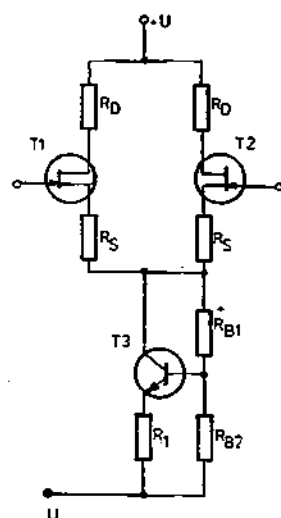


Fig. 23.2. Etaj de intrare diferențial cu TEC.

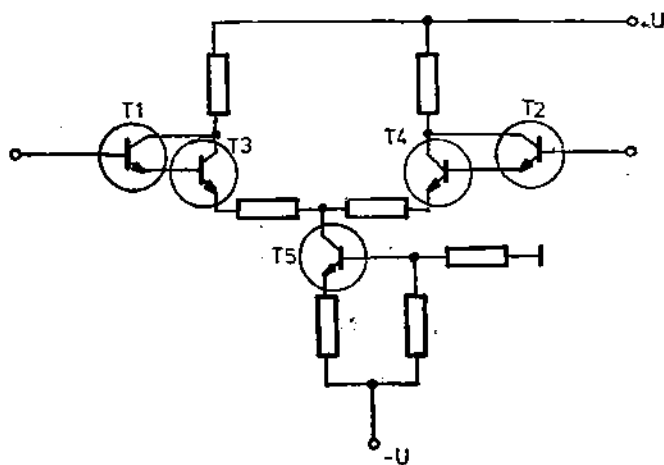


Fig. 23.3. Schemă de amplificator diferențial cu Darlington la intrare.

de tensiune de ieșire. Se impune deplasarea spre zero volți, în raport cu masa, a acestui potențial. Pentru aceasta se utilizează etajul de deplasare a nivelului (de curent continuu) între etajele de amplificare (în general circuite de divizare a tensiunii) care au rolul de a coborî nivelele de curent continuu de ieșire cu minimum de atenuare a semnalului de curent alternativ.

În figura 23.4 se arată un etaj repetor pe emitor utilizat pentru deplasarea nivelului de tensiune la ieșirea etajului precedent (diferențial) de amplificare. În acest caz la o alegere corectă a componentelor schemei, suma dintre căderile de tensiune pe tranzistorul T și rezistorul R_A , este egală cu $+U$ iar căderea de tensiune pe R_B este egală cu $-U$ și potențialul la ieșire (punctul E) este egal cu zero în raport cu masa. Rezultate mai bune se obțin dacă se utilizează schema de deplasare a nivelului din figura 23.5. În acest caz, în locul combinației R_B și $-U$ se alege configurația cu tranzistorul $T2$. Și în acest caz potențialul punctului E este apropiat de potențialul masei. Schema funcționează astfel: dacă potențialul pozitiv în punctul B crește atunci pe tranzistorul $T1$ va cădea o tensiune mai mică în timp ce căderea de tensiune pe $T2$ crește, producând deplasarea potențialului de la ieșire spre valori crescătoare (pozitive). În cazul în care potențialul punctului B se deplasează spre valori descrescătoare (negative) căderea de tensiune pe $T1$ crește iar pe $T2$ scade, ceea ce deplasează potențialul punctului E spre valori descrescătoare (negative).

Cu toate că prin utilizarea circuitului de deplasare a nivelului de tensiune potențialul în punctul B (figura 23.5) nu mai este atât de ridicat (în valoare pozitivă) ca potențialul pe colectorul etajului (diferențial) precedent, punctul E (figura 23.4) nu se folosește ca bornă de ieșire a amplificatorului operațional. De obicei se utilizează un etaj de ieșire a cărui schemă de principiu

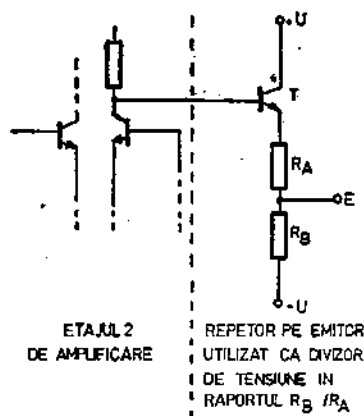


Fig. 23.4. Metodă de deplasare a nivelului de tensiune cu ajutorul unui etaj repetor pe emitor.

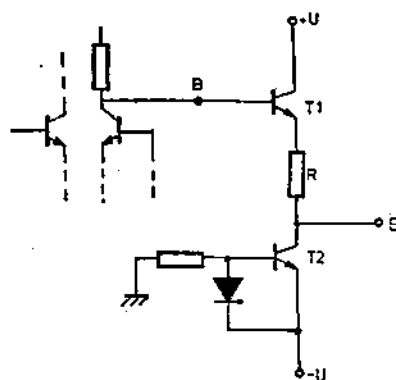


Fig. 23.5. Metodă de deplasare a nivelului de tensiune cu ajutorul tranzistorului $T2$.

este dată în figura 23.6. Tranzistorul T_3 amplifică semnalul din punctul B și atacă tranzistoarele T_4 , T_5 . Un astfel de etaj de ieșire se caracterizează prin aceea că:

— furnizează la borna de ieșire E o tensiune nulă, sau aproape nulă, în raport cu masa, la tensiune diferențială nulă de intrare,

— asigură amplitudinea maximă a semnalului la ieșire (borna E) în cazul când la intrare se aplică tensiunea $U_{in. dif}$, diferită de zero; cu alte cuvinte semnalul de ieșire în punctul E poate varia în sensul pozitiv până la o valoare apropiată de tensiunea $+U$ și în sensul negativ, până la o valoare apropiată de $-U$. În figura 23.6 *b, c* se prezintă două configurații de amplificatoare de ieșire mai utilizate în amplificatoarele operaționale.

În figura 23.7 se prezintă o schemă tipică de amplificator operațional integrat, realizată pe baza etajelor componente menționate mai înainte.

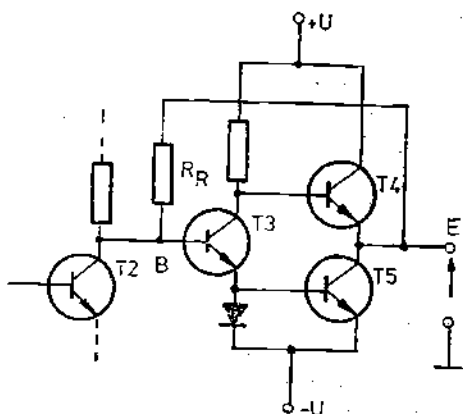


Fig. 23.6. Etaje de ieșire ale amplificatorului operațional.

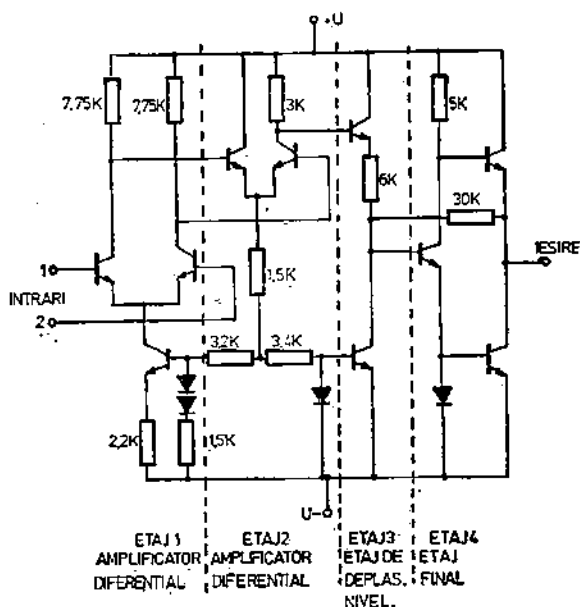


Fig. 23.7. Schemă tipică de amplificator operațional integrat.

23.2.3. Parametri principali

În continuare se vor prezenta definițiile principalilor parametri ai unui amplificator operațional.

● *Ciștigul diferențial în buclă deschisă*, reprezintă raportul dintre variația tensiunii de ieșire și tensiunea diferențială de la intrare $A = -U_{ies}/U_{in d}$; semnul minus arată că U_{ies} și U_{in} sînt în antifază. Valoarea lui A pentru tipurile de amplificatoare operaționale mai răspindite este cuprinsă în intervalul 5000 (aproximativ 74 dB) și peste 100.000 (> 100 dB) *.

● *Tensiunea de decalaj (offset)*. La conectarea unui amplificator operațional la sursele de alimentare, în lipsa unor tensiuni sau curenți aplicate la bornele de intrare, la ieșire apare practic o tensiune diferită de zero. În aceste condiții se definește tensiunea de decalaj la intrare (U_{DI}) care trebuie aplicată la una din intrările circuitului (cealaltă intrare fiind conectată la masă) pentru ca potențialul de ieșire, U_{ies} , să devină nul. Valoarea tensiunii de decalaj este de cîtiva mV și ea se echilibrează în toate aplicațiile în care se urmărește în mod special precizia amplificării.

Tensiunea de decalaj de obicei se echilibrează prin componente ajustabile montate în circuite exterioare amplificatorului operațional.

Montajele de echilibrare a tensiunii de decalaj diferă de la un tip de amplificator operațional la altul, prin valoarea componentelor utilizate și prin tensiunea ce se folosește la echilibrare. În figura 23.8. se prezintă cîteva circuite de echilibrare folosite la amplificatoarele operaționale mai uzuale.

Tensiunea de decalaj variază cu temperatura ambiantă la care funcționează amplificatorul operațional; această variație, exprimată în $\mu V/^{\circ}C$, poate lua valori mari (în jurul a 50 $\mu V/^{\circ}C$) la amplificatoarele de uz general și valori deosebit de mici (5 $\mu V/^{\circ}C$) la cele industriale.

● *Curentul de polarizare I_B (input bias current)* este curentul de polarizare, necesar la intrarea unui amplificator operațional pentru a se obține o tensiune de ieșire nulă, în absența semnalului de intrare.

● *Curentul de decalaj I_D (input offset current)* este diferența între cei doi curenți de polarizare.

● *Banda de frecvențe*. Amplificatorul operațional conține capacități concentrate sau distribuite ale componentelor lui de circuit. Din motivul acesta ciștigul său, A , este funcție de frecvență și ca o consecință există o frecvență de tăiere, adică o frecvență pentru care $A = 0$, caracteristică fiecărui tip de amplificator operațional.

Banda de frecvențe se definește ca intervalul de frecvențe în care tensiunea la ieșirea amplificatorului operațional, nu se micșorează cu mai mult de 0,707 din valoarea sa maximă, cînd amplitudinea tensiunii la intrare este constantă.

* Faptul că U_{ies} poate fi de 5000–100 000 de ori mai mare decît $U_{in d}$ nu înseamnă că U_{ies} poate fi oricît de mare. În scheme reale valorile pozitive și negative ale amplitudinii tensiunii la ieșire sînt limitate de mărimile tensiunilor de alimentare pozitivă și negativă a amplificatorului operațional.

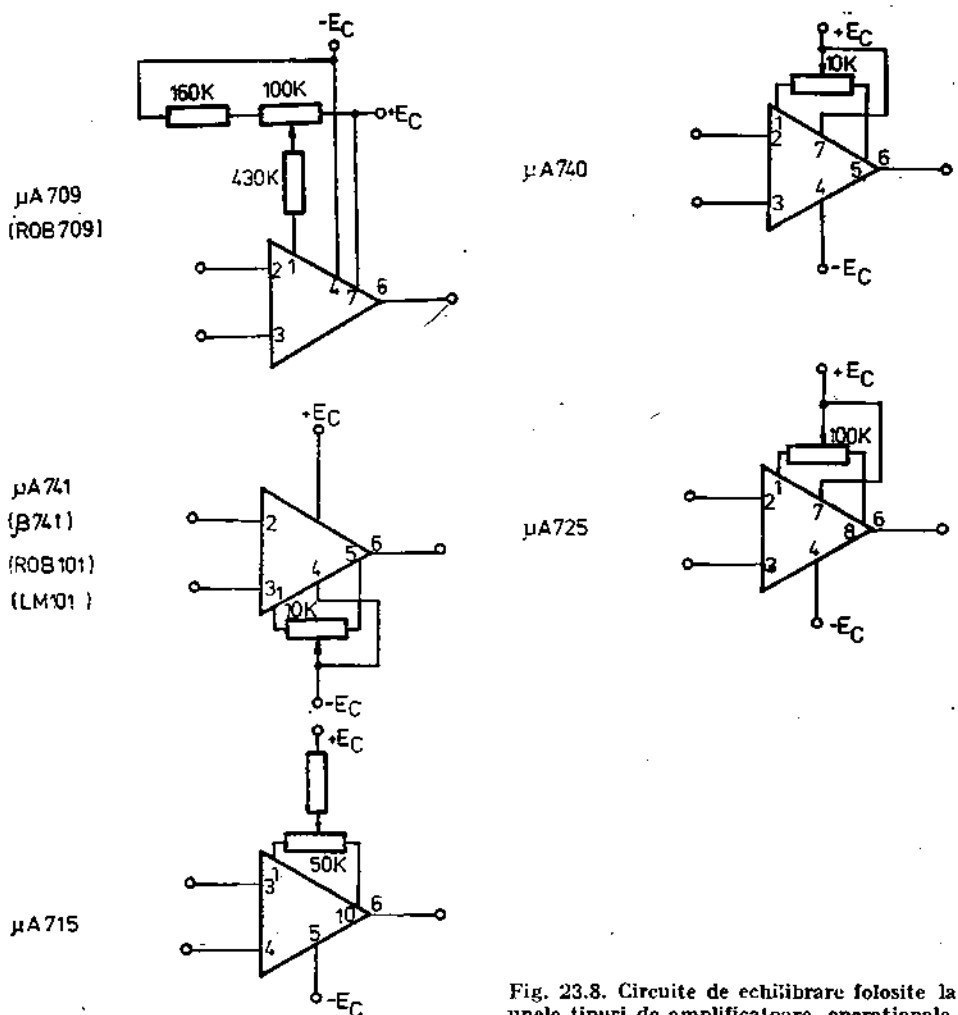


Fig. 23.8. Circuite de echilibrare folosite la unele tipuri de amplificatoare operaționale.

Banda de frecvențe și câștigul unui amplificator operațional sînt legate între ele printr-o relație inversă; cu cît este mai mare câștigul, cu atît este mai mică banda și invers.

Banda de frecvențe a unui amplificator operațional poate fi corectată cu ajutorul unor circuite de corecție; practic, circuitele de compensare ale amplificatoarelor integrate constau în capacități de valoare mică, sau în capacități și rezistențe înseriate, conectate între anumite borne ale schemei, sau între bornele de intrare și masă, așa cum se arată în figura 23.9, în cazul circuitului $\mu A 709$. În notele de aplicații ale fabricilor constructoare sînt prezentate pentru fiecare tip de amplificator operațional varianta corespunzătoare de circuit de corecție. Se menționează și faptul că pentru unele am-

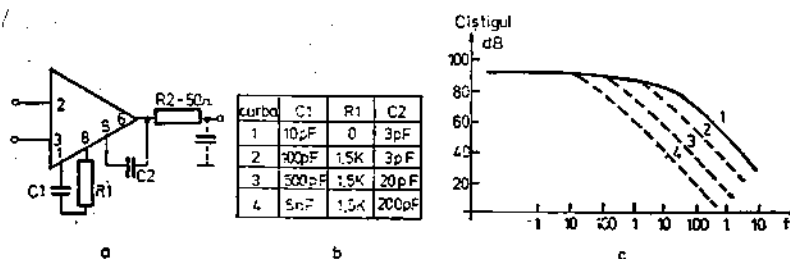


Fig. 23.9. Efectul asupra caracteristicii amplificare-bandă (c) a circuitelor de corecție (a, b).

plicatoare operaționale (de exemplu μA 741) compensarea în frecvență este realizată intern. În acest caz, caracteristica amplificare-frecvență nu poate fi modificată de utilizator decât în mică măsură (la bornele de intrare sau prin reacție).

● *Viteza de variație a semnalului de ieșire* (slew rate, în engleză), exprimă viteza de variație a semnalului la ieșirea circuitului când la intrare se aplică un impuls treaptă. Amplificatoarele operaționale mai utilizate au acest parametru în limitele $0,1 \text{ V} + 100 \text{ V}/\mu\text{s}$.

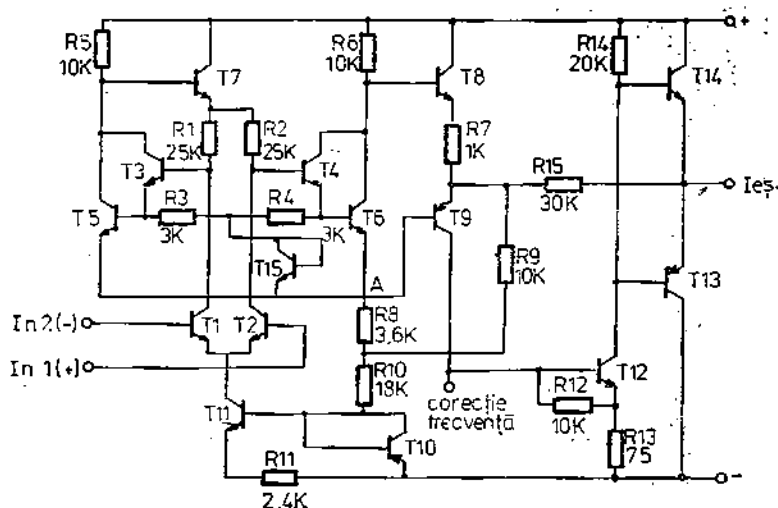
23.2.4. Tipuri de amplificatoare operaționale integrate

În prezent se fabrică un mare număr de amplificatoare operaționale integrate monolitice. În cele ce urmează se prezintă câteva din aceste tipuri în primul rând cele existente în fabricație în țara noastră.

● *Amplificatorul μA 709 (ROB709)**. Schema de principiu a acestui circuit este prezentată în figura 23.10. Circuitul are două etaje diferențiale. Primul diferențial e format din tranzistoarele $T1$ și $T2$ ale căror emitoare sînt alimentate prin intermediul tranzistorului $T11$. Cel de al doilea diferențial constă din cîte două tranzistoare compuse, de tip Darlington ($T3$ cu $T5$ și $T4$ cu $T6$); prin această conectare cel de al doilea etaj diferențial nu are practic nici-o influență asupra primului etaj. Emitoarele tranzistoarelor $T3$ și $T4$ se alimentează prin punctul A, prin intermediul circuitelor de stabilizare $T9$, $R7$, $R9$ și $T12$, $T13$, $R15$, $R9$.

Tranzistorul $T15$, conectat ca diodă, are rolul de a compensa variațiile cu temperatura a tensiunii emitor-bază a tranzistoarelor $T5$ și $T6$. Tranzistorul $T7$ este un filtru care înlătură eventualele influențe ale tensiunii de alimentare U_{CC} asupra intrărilor celui de al doilea etaj diferențial (asupra bazelor tranzistoarelor $T3$ și $T4$). Tranzistoarele $T8$ și $T9$, complementare, formează un tranzistor compus; funcția acestor tranzistoare este aceea de a deplasa nivelul semnalului amplificat în etajele precedente, pînă aproape de nivelul potențialului $E1$.

* Este primul amplificator operațional monolitic, realizat în anul 1965 de firma Fairchild Semiconductor (SUA).

Fig. 23.10. Amplificator operațional μA 709.

Etajul de ieșire $T12$, $T13$, $T14$ prezintă o puternică reacție negativă prin rezistoarele $R15$ și $R7$ și tranzistorul repetor pe emitor $T9$ (tranzistor pnp lateral); prin această reacție negativă se stabilizează câștigul etajului final.

● **Amplificatorul μA 741 ($B A741$).** Față de μA 709 acest amplificator are avantajele:

- absența circuitului de compesare cu frecvență,
- ieșire protejată împotriva scurtcircuitului,
- compensare ușoară a tensiunii de decalaj.

Schema electrică a amplificatorului μA 741 este prezentată în figura 23.11.

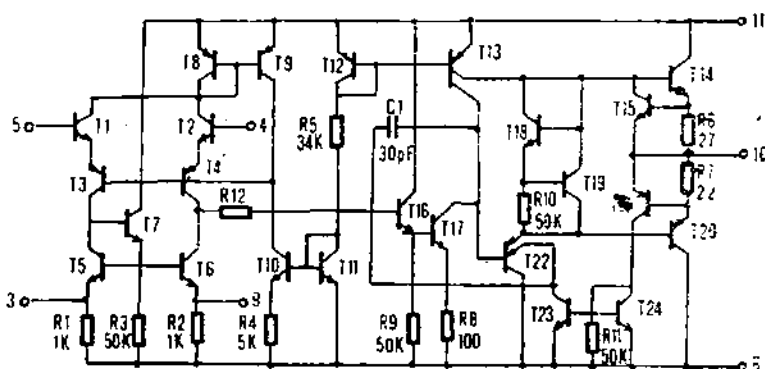
Etajul diferențial de intrare este constituit din tranzistoarele $T1$ și $T2$ care funcționează în montaj de repetor pe emitor, cu sarcina formată din tranzistoarele $p-n-p$ $T3$ și $T4$. Tranzistoarele $T5$ și $T6$ constituie sarcina activă a tranzistoarelor $T3$ și $T4$.

Configurația celor șase tranzistoare menționate, pe lângă faptul că asigură intrarea diferențială pentru amplificatorul operațional, mai îndeplinește și următoarele două roluri:

- asigură deplasarea nivelului de tensiune spre potențialul sursei de alimentare negativă, deoarece colectoarele tranzistoarelor pnp laterale $T3$ și $T4$, se găsesc la un potențial apropiat de potențialul acestei surse,
- prin utilizarea tranzistoarelor $T5$ și $T6$ ca sarcină activă, se asigură o conversie ușoară „intrare diferențială — ieșire nediferențială”, fără pierderi în câștig.

Sursa de curent formată din $T10$, $T11$, $R4$ și $R5$ polarizează atât bazele tranzistoarelor $T3$ și $T4$ cât și colectoarele tranzistoarelor $T1$ și $T2$.

Al doilea etaj de amplificare este format din tranzistoarele $T16$ și $T17$ în montaj Darlington, în scopul obținerii unei amplificări ridicate. Genera-

Fig. 23.11. Amplificator operațional μA 741.

torul de curent T_{12} și T_{13} injectează curent în etajul de ieșire și în tranzistorul T_{17} pentru care are funcția de sarcină activă.

Tranzistorul T_{19} , cu R_{10} și T_{18} asigură polarizarea etajului de ieșire, constituit din tranzistoarele T_{14} și T_{20} ; protecția la scurtcircuit a acestui etaj este asigurată de R_6 și T_{15} (*nnp*) pentru alternanța pozitivă și de R_7 , T_{24} , T_{23} și T_{21} (*pnp*) pentru alternanța negativă a tensiunii la ieșire.

● **Amplificatorul LM 101 (ROB 101).** Schema de principiu a acestui amplificator este dată în figura 23.12.

Primul etaj de amplificare este un etaj diferențial cu sarcini active, format din tranzistoarele Q_1 și Q_2 . Aceste tranzistoare au cîștig ridicat (minimum 500) pentru a asigura un curent de polarizare mic și o impedanță de intrare ridicată. Prin intermediul tranzistoarelor Q_3 și Q_4 (tranzistoare *p-n-p* laterale) se realizează legătura cu sarcina amplificatorului, constituită din generatorul de curent Q_5 , Q_6 , Q_7 și R_5 ; datorită rezistenței mari de sarcină, amplificarea etajului este suficient de mare. Tranzistoarele Q_5 și Q_6 au caracteristici electrice identice ceea ce înseamnă că avînd tensiunea bază-emitor aceeași, au curenți de colector identici. În mod normal tranzistorul Q_5 ar fi putut fi legat ca diodă în schema generatorului de curent. Deoarece o astfel de conectare ar fi condus în mod nedorit la dezechilibrarea în curent a etajului, în schemă, s-a introdus tranzistorul Q_7 care contribuie la reducerea acestui dezechilibru; aceasta se obține prin alegerea curentului de colector al tranzistorului Q_5 mult mai mare decît curentul de bază al tranzistorului Q_7 .

Etajul de intrare se polarizează cu un generator de curent constant în componența căruia intră tranzistorul cu efect de cîmp cu joncțiune T_{15} .

Al doilea etaj de amplificare asigură cea mai mare parte a amplificării circuitului. Pentru a realiza o impedanță de intrare mare tranzistorul Q_9 se dispune într-un montaj repetor pe emitor. Din emitorul tranzistorului Q_9 , semnalul se aplică pe baza tranzistorului Q_{17} (realizat într-o configurație mai deosebită, multicolector, acest tranzistor realizează un cîștig redus dar constant în curent), care constituie un generator de curent ce polarizează tranzistoarele Q_{14} și Q_{13} . Tranzistorul Q_{10} comandă etajul complementar constituit din tranzistorul de putere Q_{16} de tip *nnp* și din tranzistorul de

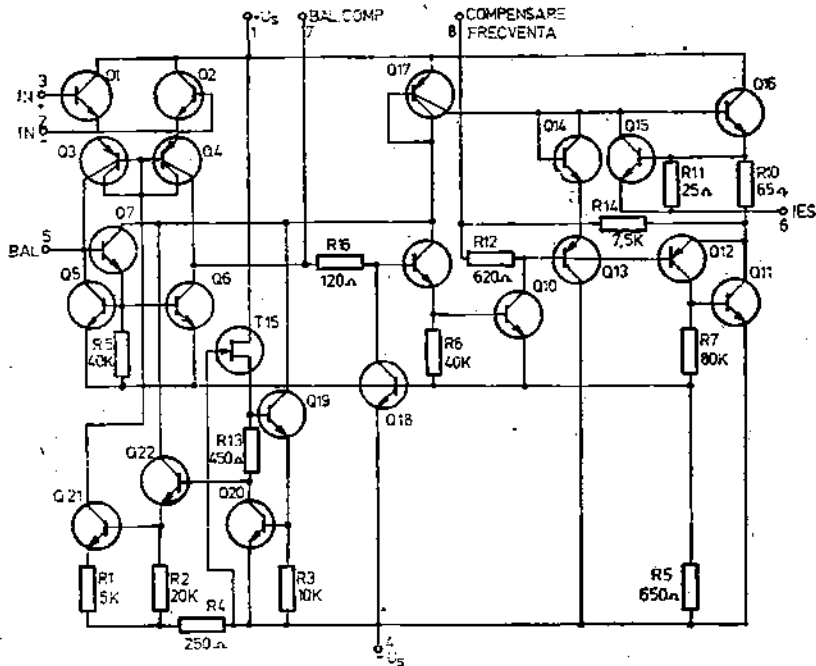


Fig. 23.12. Amplificatorul operațional LM 101.

putere $Q12-Q11$ de tip *pnp* (acesta este un tranzistor compus de tip *pnp* format dintr-un tranzistor *pnp* lateral și dintr-un tranzistor *nnp* clasic; această configurație se utilizează ori de câte ori se dorește să se obțină un tranzistor *nnp* cu câștig mare). Tranzistoarele finale sunt polarizate în clasă *AB* și ca atare se caracterizează printr-un curent de colector de repaus coborât; această polarizare se realizează deoarece căderea de tensiune pe joncțiunile emitor-bază ale tranzistoarelor $Q13$ și $Q14$ este insuficientă pentru a deschide complet tranzistoarele $Q12$ și $Q16$, deoarece și pe rezistența $R10$ va exista o cădere de tensiune. Baza tranzistorului $Q13$ este accesibilă din exterior pentru compensarea în frecvență a circuitului.

Etajul final al amplificatorului este protejat la scurtcircuit atât pentru excursia pozitivă cât și pentru cea negativă; grupul $Q15$, $R11$ asigură protecția pentru excursia pozitivă; când curentul debitat de $Q16$ crește exagerat de mult căderea de tensiune pe $R11$ deschide tranzistorul $Q15$ care scurtcircuitază intrarea lui $Q16$ și astfel curentul se reduce.

23.2.5. Alimentarea amplificatoarelor operaționale

Amplificatoarele operaționale se alimentează (aproape) în toate cazurile cu două tensiuni: una pozitivă U^+ și cealaltă negativă U^- .

Este esențial ca cele două tensiuni să fie perfect decuplate în raport cu masa * prin condensatoare; aceste condensatoare trebuie să fie dispuse cât mai aproape de circuit.

În același timp este necesar să se lege o rezistență de valoare mică (câțiva ohmi) între borna de ieșire a CI și punctul care se va utiliza ca bornă de ieșire; prin aceasta se va mări puțin rezistența de ieșire a amplificatorului, dar va fi redusă tendința pe care acesta o are de a intra în oscilații.

Valorile tensiunilor de alimentare, trebuie alese în acord cu specificațiile constructorului.

23.2.6. Metode de protecție

Pentru a aduce un amplificator operațional în starea de saturație este suficient să i se aplice între bornele de intrare (inversoare și neinversoare) o tensiune de câțiva milivolți; dacă i se aplică o tensiune (mai) mare, amplificatorul se poate distruge.

În cazul în care există probabilitatea aplicării (voit sau accidental) la intrarea unui amplificator operațional a unor tensiuni mai mari decât cele menționate în foile de catalog, trebuie ca intrarea amplificatorului să se protejeze (tabelul 23.1 a). Deoarece la semnale de intrare ridicate, diodele D_1 și D_2 intră în conducție, tensiunea aplicată amplificatorului se limitează la câteva sute de milivolți (căderea de tensiune în direct a unei diode).

În cazul în care amplificatoarele operaționale nu sînt protejate la ieșire * (de exemplu tipurile ROB 709; LM 301, LM 307, LM 207; μA 749 etc) se recomandă ca la ieșire (tabelul 23.1. b) să se introducă un rezistor R care limitează curentul, protejînd prin aceasta amplificatorul. Pentru ROB 709 $R \approx 200 \Omega$.

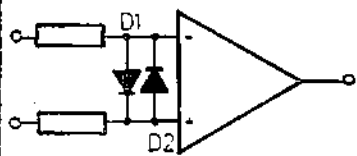
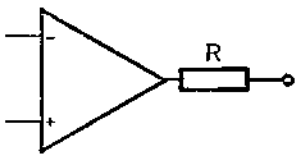
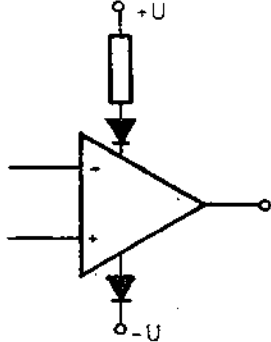
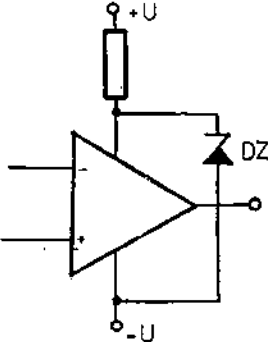
Pentru protejarea amplificatoarelor operaționale în cazul în care sursele de alimentare s-ar putea conecta greșit, se recomandă montajul din tabelul 23.2c.

Cînd un amplificator operațional se alimentează de la o sursă de tensiune nestabilizată, pentru a-l proteja de eventuale supratensiuni, se utilizează schema din tabelul 23.2. d. Dacă de exemplu în nota de aplicații a amplificatorului se menționează că sursa de alimentare are valori de ± 15 V, trebuie ca dioda zener DZ utilizată pentru protecție să nu aibă U_z mai mare de 30 V.

* Se poate considera ca punct de masă punctul comun al celor două surse de alimentare.

* Unele amplificatoare din această categorie (exemplu ROB 709), nu pot suporta decât scurtcircuite de scurtă durată la ieșire fără să se defecteze.

Tabelul 23.1. Metode de protecție a amplificatoarelor operaționale

	
a. Protecția intrărilor la străpungere	b. Protecția ieșirii la scurt circuit
	
c. Protecția la conectarea greșită a polarității surselor de alimentare	d. Protecția la variații ale tensiunilor de alimentare

23.3. Aplicații ale amplificatoarelor operaționale

Utilizarea amplificatoarelor operaționale în electronică asigură: 1) un grad ridicat de unificare a blocurilor echipamentelor electronice; 2) reducerea numărului de operații manuale de montaj în producție și 3) îmbunătățirea caracteristicilor echipamentelor (creșterea siguranței în funcționare, reducerea masei și volumului și scăderea prețului de cost).

În cele ce urmează se prezintă câteva aplicații ale amplificatoarelor operaționale în electronică.

Amplificatoare de curent alternativ. În tabelul 23.2.a se prezintă schema unui amplificator neinvertor de curent alternativ. Montajul utilizează condensatoare de separare, C , care evită posibilitatea de amplificare a componentei de curent continuu de la etaj la etaj. Rezistorul R_2 se utilizează pentru asigurarea trecerii curentului continuu (de polarizare) I_{B2} între intrarea neinvertoră și masă; fără acest rezistor, condensatorul de separare C se poate încărca prin curentul I_{B2} , făcând posibilă apariția la intrarea amplificatorului a unei tensiuni de curent continuu și deci apariția unei tensiuni de decalaj la ieșire. Amplificarea schemei menționate este dată de expresia:

$$A \approx \frac{R}{R_1} + 1$$

Limita inferioară a benzii de frecvență este determinată în principal de rezistența de intrare și de mărimea capacității C .

În tabelul 23.2.b se prezintă schema de montaj a CI operaționale ca amplificator de curent alternativ inverter. Dacă reactanța condensatorului C este suficient de mică, amplificarea acestui montaj este dată de expresia:

$$A \approx -\frac{R}{R_1}$$

În acest caz, dacă se cer valori mari ale amplificării, (rezistență de reacție mare), pentru reducerea decalajului la ieșire și a derivei, între intrarea neinvertoră și masă se conectează un rezistor de rezistență R .

Amplificatoare sumatoare. Schema din tabelul 23.2.c realizează operația de adunare sau de scădere a tensiunilor aplicate la intrare. Valoarea și semnul tensiunii la ieșire U_{ies} se determină din suma tensiunilor de intrare $U_1 \dots U_n$ și din valoarea rezistoarelor $R_1 \dots R_n$.

$$U_{ies} \approx -\frac{R}{R_R} (U_1 + U_2 + \dots + U_n)$$

Integrator analogic Amplificatorul operațional prezentat în tabelul 23.2.d este conectat în regim de integrator. Tensiunea la ieșirea lui reprezintă integrala semnalului de intrare cu semnul minus, pentru anumite valori ale lui R și C .

$$U_{ies} = -\frac{1}{RC} \int U_{intr} dt$$

sau, pentru:

$$R \cdot C = 1,$$

$$U_{ies} = -\int U_{intr} dt$$

Etaj de diferențiere. Amplificatorul operațional poate fi conectat astfel încât să poată funcționa ca circuit de diferențiere (tabelul 22.3e). În

acest caz tensiunea la ieșirea lui reprezintă diferențiala tensiunii aplicate la intrare.

$$U_{ies} = -RC \frac{d(U_{intr})}{dt}$$

Amplificatorul operațional în scheme de stabilizare a tensiunii. În nenumărate cazuri practice, amplificatorul operațional poate fi utilizat ca sursă de tensiune stabilizată, cu schema de principiu prezentată în tabelul 22.2 f. Dacă tensiunea de referință furnizată de dioda Zener DZ este constantă, tensiunea la ieșirea amplificatorului U_{ies} va fi, de asemenea constantă, indiferent dacă variază rezistența de sarcină R_s . Schema menționată se alimentează de la sursa de tensiune pozitivă, în care caz terminalul $-U$ al amplificatorului operațional se leagă la masă. Mărimea curentului stabilizat este determinată de elementul serie (în cazul schemei prezentate, tranzistorului T).

Schema menționată funcționează în felul următor: curentul care trece prin dioda stabilizatoare DZ, asigură la borna de intrare neînversoare a amplificatorului operațional o tensiune stabilizată (dependentă de calitatea diodei DZ). Această tensiune produce la ieșirea amplificatorului operațional tensiunea U_{ies} , mai mare decât tensiunea la intrare de A ori (A este amplificarea operaționalului). Această tensiune, U_{ies} , se aplică pe baza tranzistorului T și-i polarizează în direct joncțiunea emitor-bază; tensiunea la ieșirea stabilizatorului U_{ies} , care se culege din emitorul tranzistorului T , va fi egală cu tensiunea la ieșirea amplificatorului operațional minus tensiunea bază-emitor (a cărei valoare este de 0,6–0,7 V pentru tranzistoare cu siliciu).

Filtre active. Filtrele se utilizează în electronică în toate cazurile în care se dorește să se slăbească sau să se întărească semnale de diverse frecvențe.

În montajele electronice clasice filtrele se realizează cu componente pasive – inductanțe și capacități.

În prezent, datorită amplificatoarelor operaționale, cu gabarite mici și ieftine, se acordă o atenție tot mai mare realizării și utilizării în electronică a așa numitelor filtre active.

În tabelul 23.2.g se prezintă schema de principiu a unui filtru activ trece jos. Funcționarea acestui filtru este ușor de înțeles; atât timp cât frecvența tensiunii de intrare este suficient de mare pentru ca la respectiva frecvență reactanța capacitivă a condensatorului C să fie mică în raport cu R , curentul traversează rezistența R_1 și trece în cea mai mare parte prin C . Montajul în acest caz funcționează ca un integrator. Când frecvența semnalului aplicat la intrare se micșorează suficient de mult, reactanța lui C crește, devenind de același ordin de mărime cu R ; în acest caz montajul funcționează ca un amplificator cu reacție în curent cu amplificarea $\frac{R}{R_1}$, ca și când condensatorul C n-ar exista.

Schema unui filtru trece sus este redată în tabelul 23.2.h, iar a unui filtru trece bandă în tabelul 23.2.i.

Tabelul 23.2. Aplicații tipice ale amplificatoarelor operaționale

a. Amplificator neinvertor de curent alternativ	d. Amplificator operațional conectat ca integrator	g. Realizarea unui filtru activ trece jos cu amplificator operațional
b. Amplificator invertor de curent alternativ	e. Etaj de diferențiere cu amplificator operațional	h. Filtru activ trece sus cu amplificator operațional
c. Schema de principiu a unui sumator	f. Stabilizator de tensiune cu amplificator operațional.	i. Filtru trece bandă cu amplificator operațional.

23.4. Comparatoare

Circuitele integrate liniare, numite comparatoare, au o largă utilizare în sistemele de automatizare și în tehnica de măsurare pentru compararea semnalelor.

Un comparator de tensiune sesizează polaritatea relativă a tensiunii diferențiale aplicate între cele două intrări ale lui.

Ieșirea unui comparator de tensiune (ideal) va fi la nivel de tensiune 1 logic ori de câte ori diferența de tensiune existentă între intrarea neinvertoare și cea inversoare este pozitivă, (figura 23.13) și va fi la nivel logic 0, când această diferență este negativă, adică:

$$U_{ies} = 1, \text{ pentru } (U_{in+} - U_{in-}) > 0,$$

$$U_{ies} = 0, \text{ pentru } (U_{in+} - U_{in-}) < 0.$$

Starca comparatorului de tensiune se schimbă când: $U_{in+} = U_{in-}$ (figura 23.13). În general comparatorul de tensiune este un amplificator diferențial cu câștig mare care lucrează în buclă deschisă, care pilotează un etaj de ieșire, astfel realizat încît să furnizeze (la ieșire) nivele de tensiune compatibile cu 1 și 0 logic.

În mod obișnuit structura unui comparator de tensiune include trei configurații de circuit așa cum se arată în figura 23.14.

În figura 23.15 se prezintă schema de principiu a unui comparator de tipul SFC 2710 (Sescosem).

El constă din două etaje diferențiale realizate cu tranzistoarele $T1$, $T2$ și $T3$, $T4$, din etajul de ieșire, repetor pe emitor, realizat cu tranzistorul $T7$, din diodele stabilizatoare $D1$ și $D2$, folosite pentru deplasarea nivelului de tensiune și din dioda limitatoare $D3$.

Circuitul de emitor al etajului diferențial de intrare este alimentat prin generatorul de curent realizat cu tranzistorul $T6$. Acest prim etaj atacă

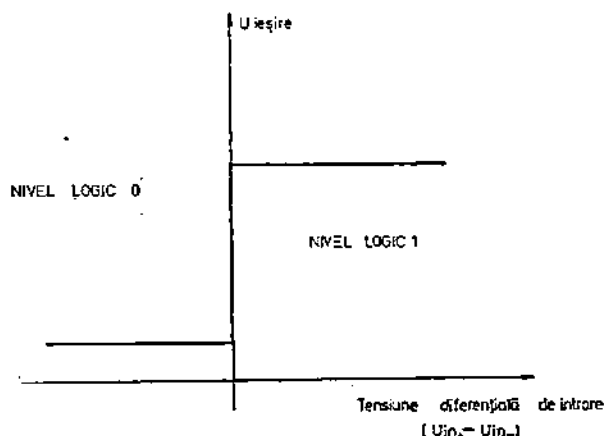


Fig. 23.13. Caracteristica intrare-ieșire a unui comparator de tensiune ideal.

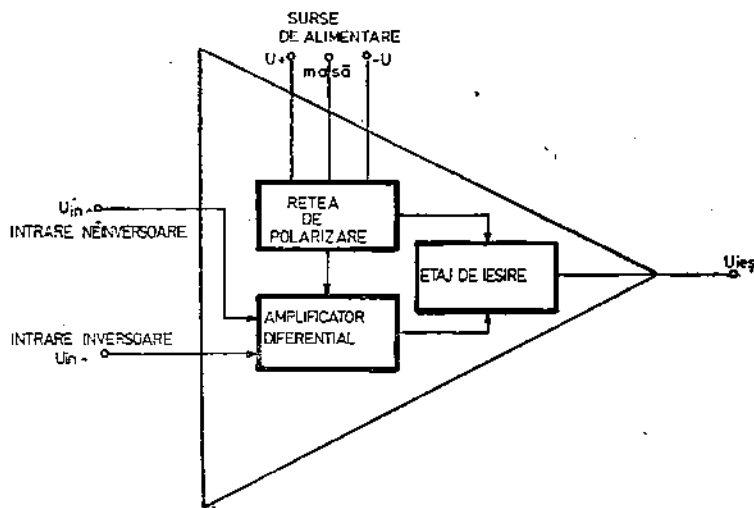


Fig. 23.14. Schema bloc a unui comparator de tensiune.

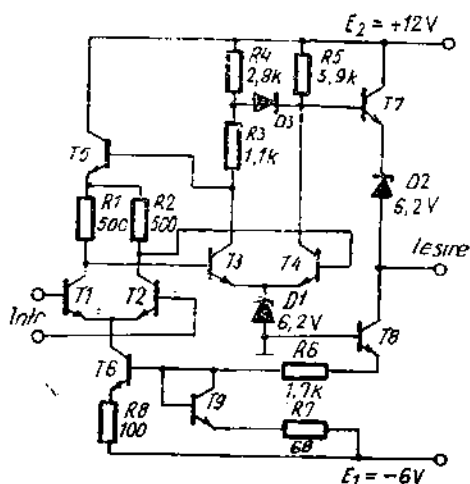


Fig. 23.15. Structura internă a unui circuit integrat monolitic comparator.

etajul al doilea ($T3, T4$) ai cărui emitori se găsesc la un potențial fix în raport cu masa, datorită diodei stabilizatoare $D1$.

Dioda $D3$, cu rolul de limitator, împiedică un dezechilibru între potențialele colectorilor celor două tranzistoare, $T3, T4$, iar tranzistorul $T5$, în configurația collector comun, comandă tensiunea de alimentare a celor două rezistoare montate în colectoarele primului etaj de amplificare. Scopul tranzistorului $T5$ este de a mări câștigul etajului diferențial $T3, T4$; când potențialul colectorului $T4$ se micșorează, potențialul colectorului $T3$ crește. Același lucru se va întâmpla cu potențialul emitorului lui $T5$ care acționează asupra potențialelor colec-

toarelor lui $T1$ și $T2$, obținind în felul acesta un câștig mai mare.

Tensiunea de pe colectorul tranzistorului $T4$ se aplică etajului de ieșire (realizat cu tranzistorul $T7$ în montajul collector comun) și diodei Zener $D2$ de deplasare a nivelului de tensiune; în felul acesta, chiar dacă tensiunea pe colectorul lui $T4$ ajunge pînă la un potențial apropiat de $+E$, potențialul la ieșire nu va (putea) depăși valoarea $E - U_{z2}$.

Față de un amplificator operațional, comparatorul are și o bornă de masă, (baza tranzistorului $T8$), în raport cu care se definește tensiunea la ieșire, iar amplificarea lui este mult mai mică (exemplu 1500 față de 40.000) *.

În figura 23.16 se prezintă schema de principiu a comparatorului dublu CLB 2711 (realizat la IPRS-Băneasa). În principiu el este realizat din două comparatoare simple ale căror ieșiri se aplică pe două intrări ale unui circuit logic SAU (figura 23.16 a).

Faptul că ieșirile celor două comparatoare componente nu sînt disponibile individual, ci prin intermediul unui circuit SAU, prezintă unele inconveniente, de exemplu: dacă tensiunea la ieșirea comparatorului dublu este ridicată (nivel 1), aceasta, datorită circuitului SAU, poate fi datorată fie primului comparator, fie celui de al doilea, fie ambelor. Acest inconvenient este înlăturat datorită prezenței bornelor 2 și 8, de eșantionare (strobe în engleză). Utilizarea acestor intrări de eșantionare permit utilizatorului de exemplu, cînd tensiunea la ieșirea circuitului SAU este ridicată, să știe de la care comparator provine. Astfel:

— dacă intrarea „eșantionarea 1” este la nivel 0, tensiunea la ieșire datorită comparatorului 1 se anulează, ceea ce înseamnă că numai comparatorul 2 (și numai el) ar mai putea duce ieșirea la nivel înalt (nivel logic 1),

* Amplificarea comparatoarelor de viteză este mult mai mare (de ordinul sutelor de mii).

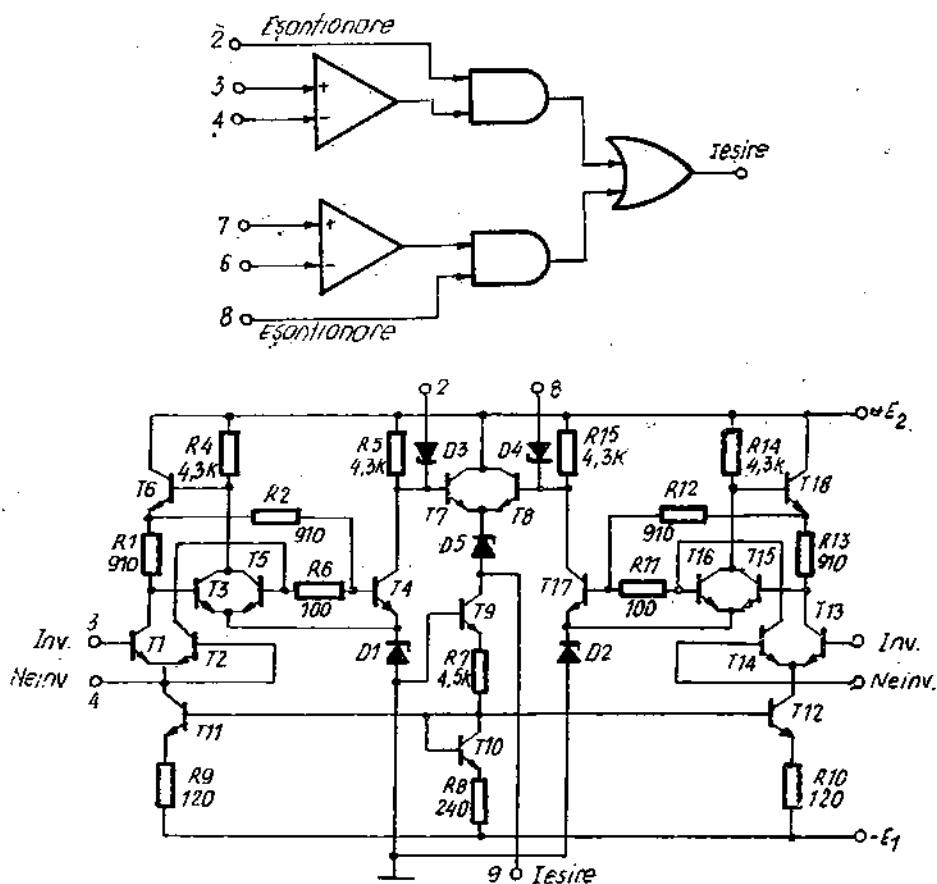


Fig. 23.16. Comparatorul dublu CLB 2711:
a — circuitul logic; b — schema de principiu.

— dacă intrarea „eșantionarea 2” este la nivel logic 0, tensiunea la ieșire datorită comparatorului 2 se anulează și aceasta înseamnă că numai comparatorul 1 (și numai el) are posibilitatea să ducă ieșirea la nivel logic 1,

— dacă nu se poate aduce ieșirea comparatorului dublu la nivel logic 0 decât în cazul cind ambele intrări de eșantionare sînt la nivel logic 0, aceasta înseamnă că ieșirile celor două comparatoare 1 și 2 sînt simultan la nivel logic 1.

În figura 23.17 se prezintă schema comparatorului de precizie ROB 311 (LM 311) realizat la ICCE. El este alcătuit dintr-un circuit de intrare și două etaje de amplificare, un circuit de ieșire, din circuitul de echilibrare și eșantionare și din circuitul de polarizare.

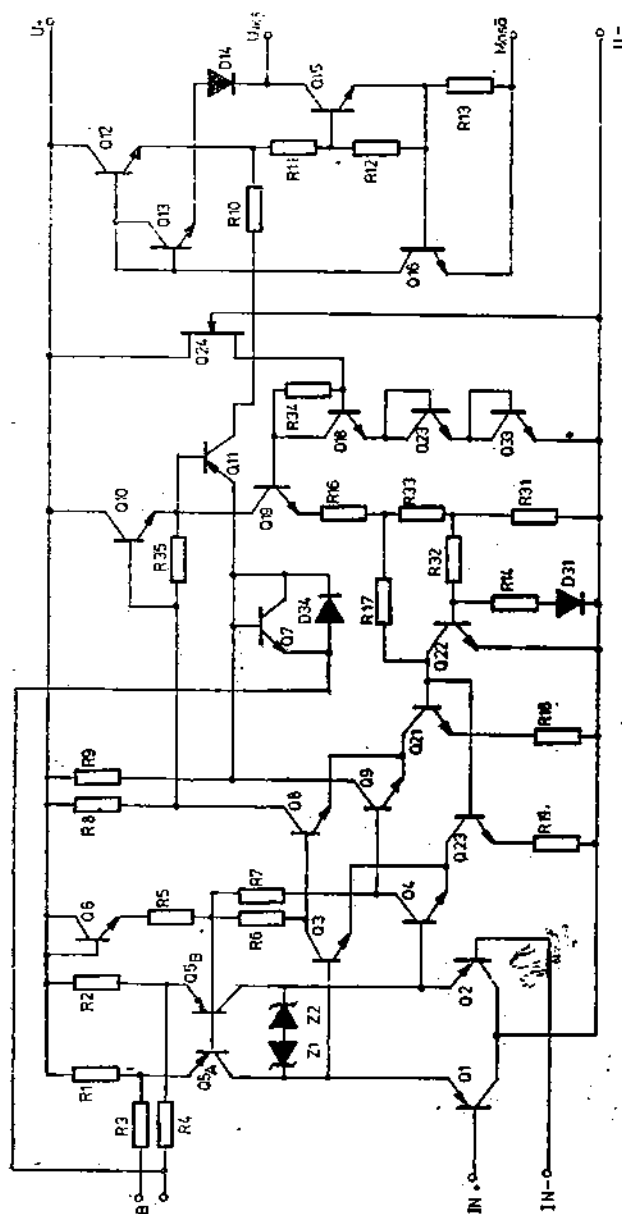


Fig. 23.17. Schema de principiu a comparatorului de precizie ROB 311.

Etajul de intrare este un repetor de tensiune diferențial ($Q1, Q2$) cu sarcini active în circuitul lor de emitor ($Q5_A, Q5_B$); rezistoarele $R1, R2$ se utilizează pentru limitarea curenților prin tranzistoarele de intrare. Limitarea excursiei de tensiune, la o valoare maximă de 6 V, se realizează cu diodele Zener $Z1, Z2$.

Etajele, intermediare, de amplificare, de tipul diferențial cu sarcină rezistivă R_6, R_7 , respectiv R_8, R_9 , sint realizate cu tranzistoarele Q_3, Q_4 , respectiv Q_8, Q_9 . Tranzistorul Q_6 , legat cu diodă și rezistorul R_5 , se utilizează atît pentru polarizarea etajului de intrare, cit și pentru limitarea excursiei de tensiune pe semnal mare la ieșirea primului amplificator diferențial (Q_3, Q_4).

Etajul de ieșire are în componența sa mai multe componente. Tranzistorul de ieșire Q15 este polarizat prin intermediul tranzistorului Q12 și a rețelei rezistive R10, R11, R12. Tranzistorul Q16 este un limitator de curent care acționează la o anumită valoare (de saturație a tranzistorului Q15) a curentului la ieșire, sesizată prin rezistorul R13.

Circuitul de echilibrare este compus din rezistoarele R_3, R_4 . Cuplind un potențiomtru între cele două borne B ale rețelei de echilibrare, cu cursorul legat la $+U$, se pot modifica mărimile curenților în circuitul de intrare, corectînd în acest fel tensiunea de decalaj (la intrare).

Circuitul de polarizare are la bază un generator de curent realizat cu un tranzistor cu efect de câmp cu canal n , Q24, care alimentează lanțul de tranzistoare legate ca diode, Q18, Q32, Q33.

In figura 23.18 se prezintă comparatorul ROB 339 (LM339), realizat la ICCE.

Etajul de intrare este format din tranzistoarele *pnp* compuse *Q1*, *Q2* și *Q3*, *Q4* cu sarcină activă *Q5*, *Q6*. Tranzistoarele *Q5*, *Q6* care formează sarcina activă a etajului diferențial, asigură la o intrare diferențială, o ieșire nediferențială, fără pierdere în câștig pentru etajul următor. Orice tensiune

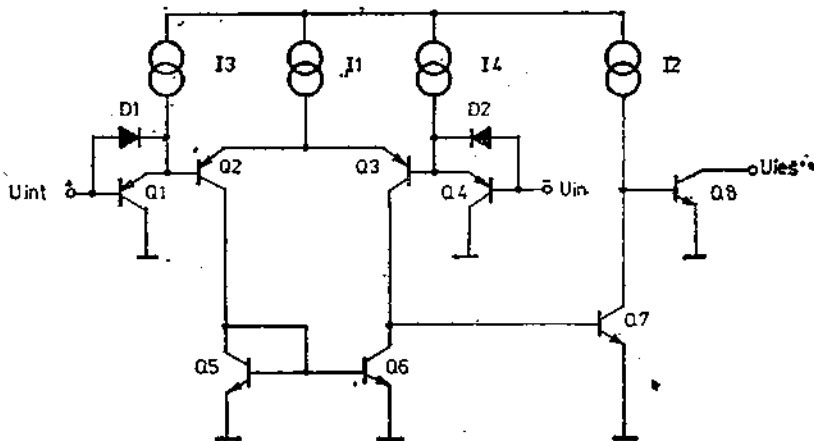


Fig. 23.18. Schema de principiu a comparatorului ROB 339.

diferențială aplicată între bazele tranzistoarelor $Q1$ și $Q4$ (la intrare), determină blocarea sau conducția tranzistorului $Q6$, în funcție de polaritatea semnalului.

Etajul de ieșire, alcătuit din tranzistoarele $Q7$, $Q8$, are două funcțiuni: 1) contribuie la creșterea câștigului întregului circuit și 2) furnizează nivelele de tensiune compatibile cu logicile RTL, DTL, TTL, ECL, MOS, CMOS, nivelele care pot fi obținute prin conectarea corespunzătoare pe sarcină a tranzistorului cu colectorul în gol $Q8$.

Generatoarele de curent $I3$ și $I4$ (realizate cu tranzistoarele, nementionate în schemă) se utilizează pentru a contribui la încărcarea capacităților parazite din emitorii tranzistoarelor $Q1$, $Q4$, deci pentru îmbunătățirea vitezei de comutare a etajului de intrare. Diodele $D1$, $D2$ se utilizează pentru creșterea vitezei de variație a potențialelor din emitorii tranzistoarelor $Q1$, $Q4$, în cazul unor variații în limite largi a semnalului aplicat la intrarea comparatorului.

23.5. Stabilizatoare de tensiune integrate

Aceste circuite, destinate reglajului tensiunilor de alimentare, fac parte din categoria circuitelor integrate liniare specializate.

Stabilizatorul (regulatorul) de tensiune este circuitul care are posibilitatea de a menține constantă tensiunea unui generator de energie electrică fie în cazul în care curentul pe care aceasta îl furnizează variază în limite largi, fie când tensiunea lui are fluctuații.

Regulatoarele de tensiune monolitice, pe lângă volumul redus, prezintă și avantajele unor performanțe superioare celor realizate cu componente discrete, precum și un preț de cost scăzut.

După modul de funcționare, regulatoarele monolitice sînt de două tipuri: 1) cu nivelul tensiunii de ieșire ajustabil, și 2) cu nivelul tensiunii de ieșire fix (în trei puncte).

După semnul tensiunii furnizate la ieșire, regulatoarele monolitice se împart în: 1) regulatoare de tensiune pozitivă; 2) regulatoare de tensiune negativă și 3) regulatoare care pot livra atât tensiune pozitivă cît și tensiune negativă (duale).

În figura 23.19 se prezintă un circuit simplu de stabilizator de tensiune realizat cu trei tranzistoare, o diodă Zener și două rezistoare, integrate.

Potențiometrul P (componentă care, împreună cu condensatorul C se adaugă în exteriorul circuitului integrat) se utilizează pentru fixarea mării tensiunii stabilizate care se cere la ieșire (U_{ies}).

Dioda Zener D furnizează tensiunea de referință: curentul invers, al acestei diode trece prin rezistorul $R2$.

Tranzistorul $T3$ compară două mărimi: tensiunea de pe baza lui, proporțională cu tensiunea de ieșire $U_{ieș}$ și tensiunea de referință U_z de pe emitor, furnizată de dioda Zener.

Dacă tensiunea $U_{ieș}$ variază dintr-un motiv oarecare, se va modifica mărimea curentului prin rezistorul $R1$, precum și curentul emitor-colector al tranzistorului $T3$.

Tranzistoarele $T1$ și $T2$ sînt conectate în montaj Darlington. Cînd $T3$ conduce mai puternic, căderea de tensiune pe rezistorul $R1$ tinde să reducă tensiunea disponibilă circuitului emitor-bază al perechii de tranzistoare $T1$, $T2$ și deci tranzistorul $T1$ va conduce mai puțin (și crește rezistența dinamică); în felul acesta tensiunea la ieșire $U_{ieș}$ se modifică.

Condensatorul $C1$ se utilizează pentru eliminarea eventualelor posibilități de oscilare ale circuitului.

În figura 23.20 se prezintă schema de principiu a regulatorului dual, cu nivelul de tensiune de ieșire ajustabil ROB723 (μA 723) realizat în ICCE iar în figura 23.21 schema lui electrică.

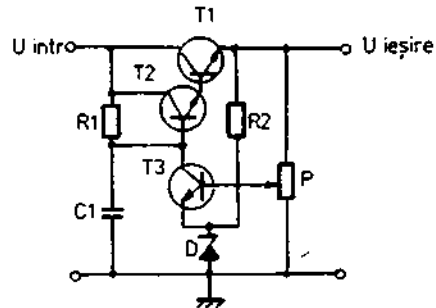


Fig. 23.19. Circuit simplu stabilizator de tensiune.

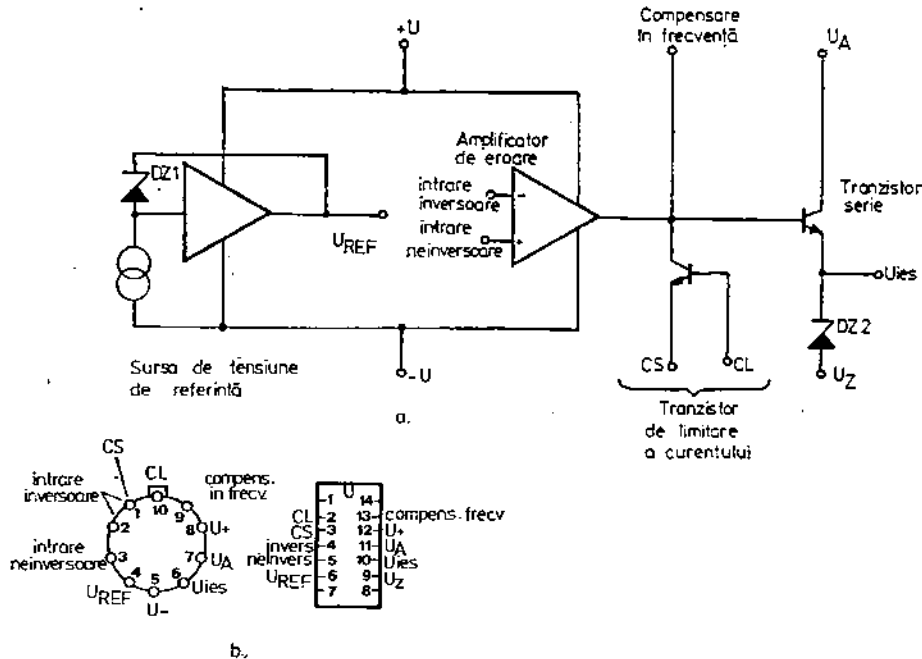


Fig. 23.20. Schema de principiu a regulatorului ROB 723 (a) și legăturile la capsule (b).

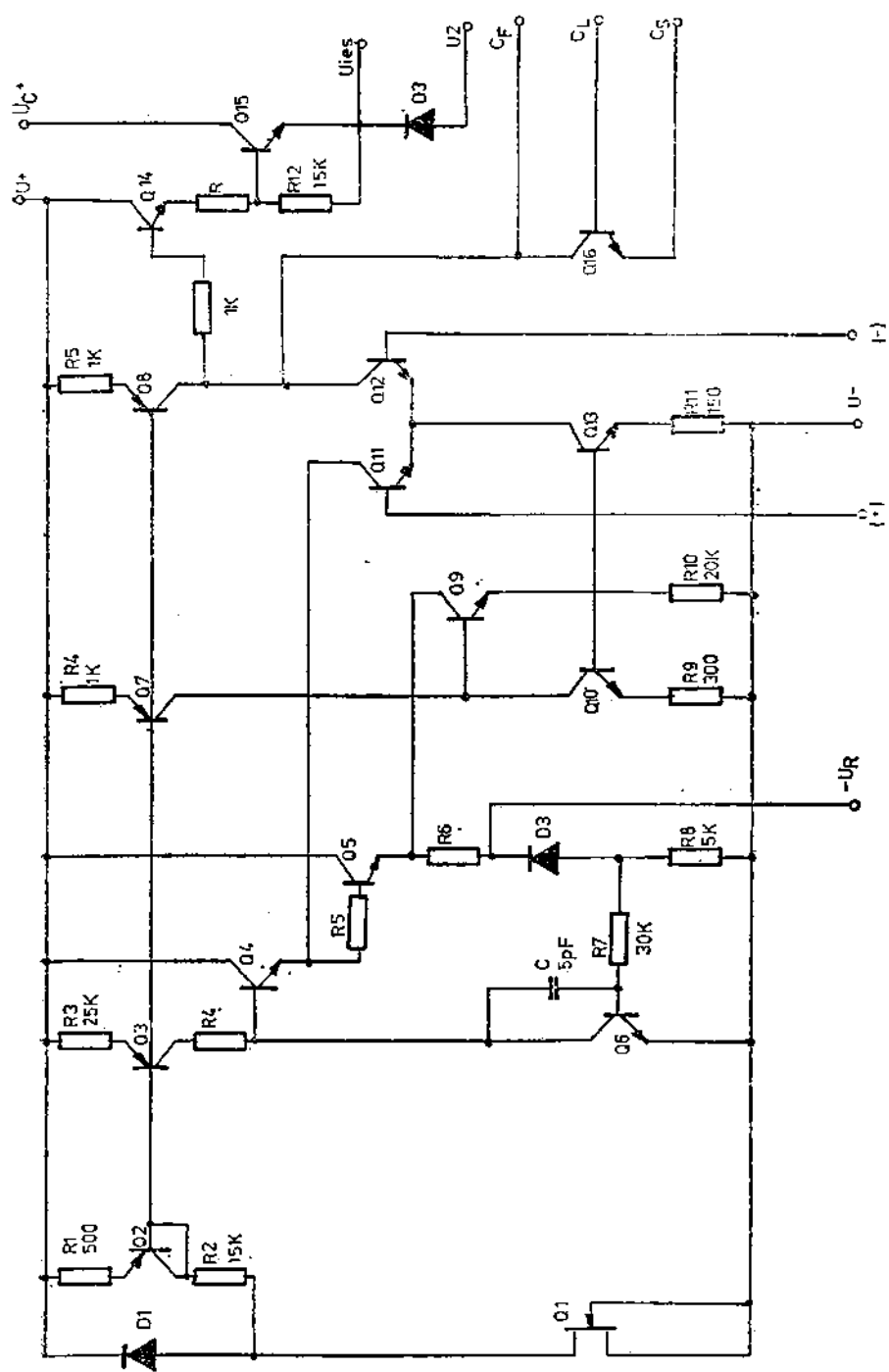


Fig. 23.21. Schema electrică a regulatorului ROB 723.

Amplificatorul de eroare compară nivelul de tensiune de ieșire cu nivelul de tensiune, riguros constantă, obținută de la sursa de tensiune de referință U_{REF} . El este constituit dintr-un amplificator diferențial realizat cu tranzistoarele $Q11$, $Q12$, cu sarcinile active $Q8$ și $Q4$. În emitorul acestui etaj este cuplat generatorul de curent de mare impedanță, $Q10$, $Q13$, $R9$, $R11$, utilizat pentru reducerea variației tensiunii de alimentare. Polarizarea acestui circuit se realizează cu o rețea alcătuită din generatorul de curent $Q7$ și din tranzistorul $Q9$, care, fixând tensiunea colector-bază a tranzistorului $Q10$, asigură alimentarea bazei lui $Q13$ la o tensiune riguros constantă, indiferent de variațiile tensiunii rețelei.

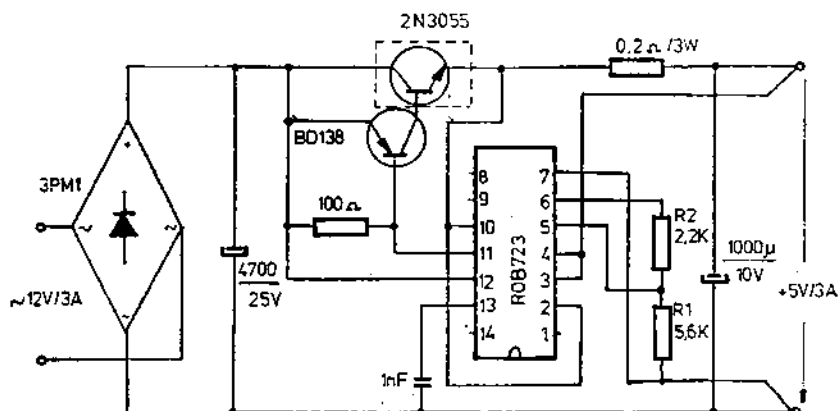
Pentru evitarea oscilațiilor cauzate de amplificarea mare în buclă deschisă a amplificatorului de eroare, circuitul este prevăzut cu o bornă de compensare în frecvență.

Sursa de tensiune de referință este alcătuită dintr-un amplificator care are în bucla de reacție două stabilizatoare DZ . Amplificatorul este realizat din două etaje. Primul etaj conține tranzistorul $Q6$ cu sarcina, în colector, formată din generatorul de curent cu tranzistoarele pnp laterale $Q2$, $Q3$. Pentru reducerea influenței variațiilor tensiunii de intrare asupra nivelelor de curent, generatorul de curent $Q2$, $Q3$ este alimentat la tensiune constantă prin intermediul diodei Zener $Z1$, al cărui punct de funcționare este stabilizat prin menținerea constantă a curentului său I_Z , de generatorul de curent realizat cu tranzistorul cu efect de câmp cu joncțiune $Q1$, care funcționează în saturație. Parte esențială a stabilizatorului, sursa de tensiune de referință, prezintă caracteristici deosebit de bune, în primul rând un coeficient de temperatură practic nul. Prin introducerea diodei zener în bucla de reacție, impedanța de ieșire a montajului devine extrem de mică. Datorită accesibilității din exterior la borna U_R , utilizatorul poate modifica nivelul tensiunii de referință (de exemplu printr-un divizor potențiometric exterior), și poate reduce zgomotul (inerent unor montaje) prin cuplarea unui condensator.

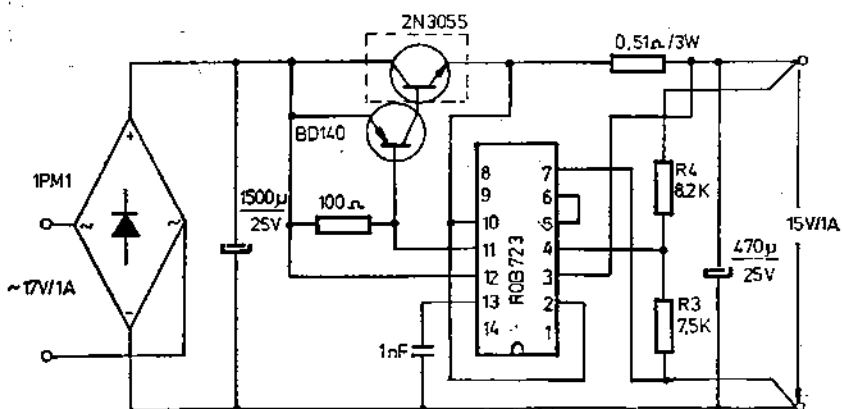
Etajul de ieșire este realizat cu tranzistorul compus $Q14$, $Q15$. În cazul în care se preferă ieșirea prin intermediul unei diode zener, circuitul are integrată dioda $Z3$; în acest caz curentul de ieșire se limitează la maximum 25 mA. Utilizarea tranzistorului integrat $Q16$ și accesul la emitor și baza sa permit, prin conectarea din exterior a unei rezistențe, limitarea curentului de ieșire al regulatorului la o valoare dorită.

În figurile 23.22 și 23.23 se prezintă două surse de alimentare stabilizate, care folosesc circuitele stabilizatoare ROB 723 și ROB 305 fabricate la ICCE.

În figura 23.24 se prezintă schema bloc de principiu a regulatorului de tensiune în trei puncte ROB 323 realizat la ICCE (echivalent LM 323). Acest circuit poate livra la ieșire o tensiune fixă de +5V și un curent de 3A în gama temperaturilor de funcționare și se utilizează (în special) pentru alimentarea circuitelor logice TTL.



a



b

Fig. 23.22. Sursă de tensiune stabilizată cu circuitul integrat ROB 723.

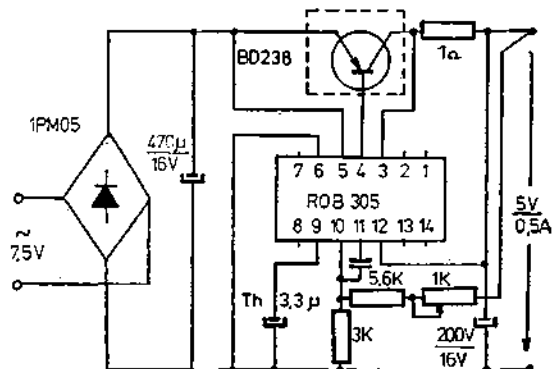


Fig. 23.23. Sursă de tensiune stabilizată cu circuitul integrat ROB 305.

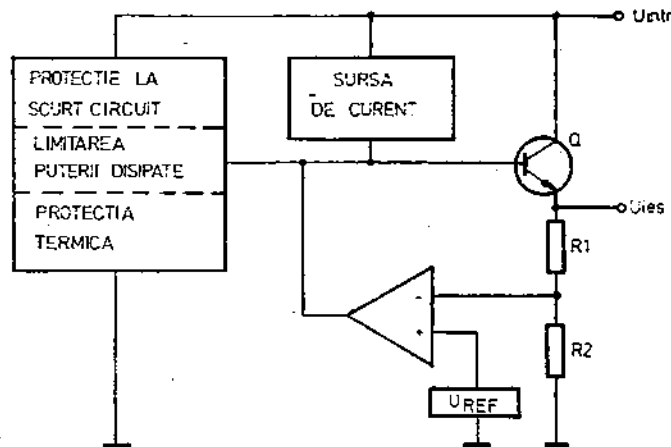


Fig. 23.24. Stabilizator în trei puncte ROB 323.

Se disting următoarele blocuri funcționale: tranzistorul de putere, referința de tensiune, amplificatorul de eroare și blocul de protecție.

Tranzistorul de putere determină în mare măsură performanțele regulatorului. El ocupă mai mult de jumătate din suprafața circuitului integrat; pentru a asigura la ieșire curentul mare, menționat în foaia de catalog, tranzistorul de putere trebuie să aibă un cîștig minim în curent de 25 la curenți mari.

24. Memorii semiconductoare

24.1. Introducere

Complexitatea operațiilor efectuate de un calculator, ca și viteza sa de calcul, depind — în principal — de capacitatea, viteza și organizarea memoriei sale; de fapt istoric vorbind, evoluția calculatoarelor electronice, prin cele patru generații, a fost determinată în mare măsură de creșterea capacității și vitezei memoriei lor.

Piața internațională pentru memoriile interne ale calculatoarelor a fost mult timp dominată de memoriile realizate pe bază de ferite (la noi în țară se realizează la ITC-Timișoara și echipează calculatoarele electronice FELIX).

Realizarea memoriilor cu ferite conține operații laborioase, cu o mare cantitate de muncă manuală. Se menționează că dimensiunile, performanțele și prețul de cost al acestor memorii au ajuns la saturație; din acest motiv există tendința înlocuirii lor, în principalele domenii de aplicație, prin memoriile semiconductoare.

Ideea folosirii memoriilor semiconductoare derivă din circuitele basculante bistabile dezvoltate în scopul utilizării lor în calculatoare, încă în era tubului electronic.

Realizarea circuitelor integrate bipolare de tip TTL a facilitat obținerea de circuite basculante bistabile, relativ ieftine și de dimensiuni reduse pentru a putea fi utilizate ca circuite de memorie în calculatoarele din generația III-a. Totuși memoria centrală a acestor calculatoare a rămas pe bază de ferite pînă în momentul cînd a devenit posibil să se integreze mai multe circuite basculante bistabile pe un singur cip pentru a se obține în acest mod o memorie semiconductoare.

Memoriile semiconductoare au două mari avantaje față de memoriile cu ferite; acestea se referă la:

- se realizează în condiții de mare serie la preț de cost redus, în tehnologia circuitelor integrate la capacitatea de la 1 bit la 64 Kbiți;
- tehologic și electric sînt compatibile cu microprocesoarele cu care formează (micro)sisteme de calcul, cu aplicații tehnice nelimitate.

24.2. Definiție și parametri

Pentru a se memora informația logică 0 sau 1 se poate utiliza un circuit basculant bistabil (figura 24.1), care constituie o celulă de memorie.

Circuitul basculant bistabil se poate afla numai în una din următoarele două stări posibile: 1) elementul din stînga conduce iar cel din dreapta este blocat (figura 24.1.a) sau 2) situația inversă (figura 24.1.b).

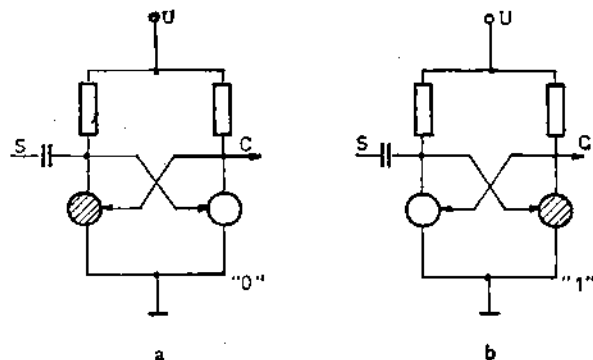


Fig. 24.1. Celulă de memorie cu circuitul basculant bistabil.

Pentru a se citi conținutul acestei celule se măsoară potențialul punctului C (citește):

dacă $C = U$, avem „1” logic,

dacă $C = 0$, avem „0” logic.

Pentru a înscrie o informație binară în celulă, se comandă punctul S (scrie).

Ideea de mai sus stă la baza oricărei celule de memorie.

Pentru a se realiza o memorie, mai multe celule se aranjează sub forma unui tablou cu mai multe coloane și rânduri (figura 24.2).

În acest tablou, fiecare celulă capătă un număr de ordine (adresă) cu ajutorul căruia poate fi găsită.

Dispunerea celulelor în tablou se realizează astfel încât să formeze „cuvinte”; fiecare cuvânt constă dintr-un număr de celule sau de biți.

Lungimea unui cuvânt poate fi egală cu o celulă, cu patru celule sau cu opt celule; rezultă că un cuvânt poate stoca (memora) 1 sau 4 sau 8 biți dintr-o informație binară. Cuvântul cu lungimea egală cu opt celule de memorie se numesc octet sau bait (byte, în engleză).

Pentru selectarea din tablou a celulei dorite se utilizează liniile de adresare X și Y , corespunzătoare rândului și coloanei. Fiecare celulă se află la intersecția unui anumit rând X , și a unei anumite coloane Y . Pentru a opera cu o celulă oarecare din tablou (scrie sau citește), celula se selectează prin rândurile X și coloanele Y corespunzătoare.

Selectarea celulei dorite și efectuarea operației de citire sau de scriere necesită o anumită desfășurare în timp a semnalelor de comandă și de aceea se definesc următoarele caracteristici generale ale unei memorii:

● timpul de acces, sau de adresare care reprezintă intervalul de timp între solicitarea unei celule (locații) în memorie și momentul când conținutul

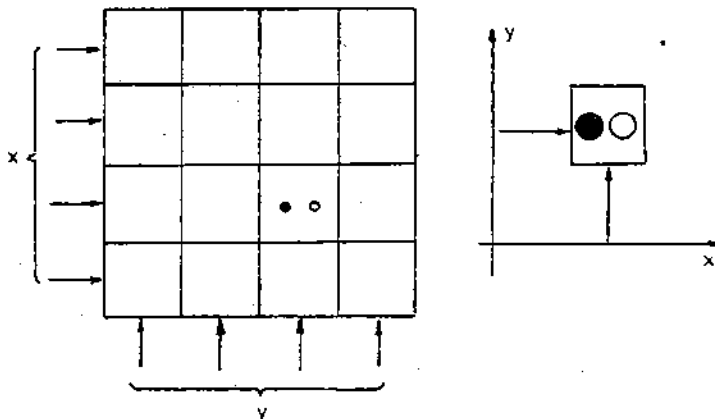


Fig. 24.2. Matrice cu celule de memorie.

locației respective poate fi citit. Timpul de acces caracterizează viteza de răspuns a memoriei. Acest timp variază de la un tip de memorie la altul în limitele:

- 30–60 ns pentru memorii TTL,
- 100–500 ns pentru memorii MOS,
- 400–600 ns pentru memorii cu ferite.

Există două moduri de organizare a unei rețele de celule de memorie pentru a permite accesul din exterior la celula dorită,

— acces serie sau secvențial la care timpul necesar pentru localizarea unei adrese nu este constant ci depinde de poziția adresei în rețea (tablou, figura 24.2),

— acces aleator (Random acces), la care timpul de acces pentru o celulă oarecare din memorie, nu depinde de poziția celulei în rețea.

● Capacitatea (de înmagazinare). Numărul de celule pe care-l conține memoria este totdeauna o putere a lui 2 (de exemplu $2^{10} = 1024$), și se măsoară în biți. Capacitatea este egală cu produsul dintre numărul de cuvinte de memorie și numărul celulelor de memorie cuprinse în fiecare cuvint.

Capacitatea memoriei se măsoară în kilobiți (Kbit), unde 1 Kbit = $= 2^{10} = 1024$ biți (se întâlnește și în notația 1 K = 1024 biți). Actualmente se realizează memorii semiconductoare de mare capacitate: de 1024 biți (1K) de 2048 biți (2K), de 4096 biți (4K), de 16 384 biți (16 K) și de 64 K.

Puterea electrică consumată de o memorie se raportează la un bit și se măsoară în miliwați pe bit (mW/bit). Această putere variază în limite largi în funcție de tipul memoriei: 1 mW/bit la memorii TTL; 0,1 mW/bit la memorii MOS; 0,01 mW/bit la memorii executate în tehnologia MOS complementar etc.).

Costul unei memorii se raportează de asemenea la 1 bit și are tendința de a scădea cu creșterea capacității.

24.3. Clasificare

După modul de funcționare, memoriile semiconductoare se impart în:

● memorii statice; se caracterizează prin aceea că rețin informația stocată atâta timp cât memoria este alimentată de o sursă de tensiune. Celula de bază pentru acest tip de memorie este circuitul basculant bistabil,

● memorii dinamice; sint memorii care, chiar în condițiile în care sint alimentate de la o sursă de tensiune stochează informația numai pe o perioadă limitată de timp (de obicei 1 ... 2 milisecunde). Din motivul acesta conținutul memoriei se regenerează din timp în timp *.

* În acest caz informația nu mai este stocată de un circuit basculant bistabil, ci este menținută sub formă de sarcină electrică pe poarta unui tranzistor MOS. Deoarece această sarcină are tendința să se piardă, trebuie complicată schema electrică de comandă pentru a permite regenerarea periodică a informației în celule.

În funcție de posibilitățile de modificare a conținutului, memoriile semiconductoare se împart în:

- memorii numai citește (Read-only memory, ROM); acest tip de memorie păstrează în permanență aceeași informație. Conținutul ei după ce a fost inițial definit, nu mai poate fi modificat ci poate fi numai citit,

- memorii citește-scrie (Read/write memory, sau Random access memory, RAM); sînt memorii al căror conținut poate fi modificat de nenumărate ori sub o acțiune exterioară,

- memorii semipermanente sau (re)programabile, (Read-mostly memory) realizate pentru a îmbina avantajele primelor două categorii; conținutul acestei categorii de memorii poate fi citit și poate fi modificat cu oarecare dificultăți. În acest caz timpul de acces la scriere este cu multe ordine de mărime mai lung decît timpul de acces la citire. În afară de aceasta, numărul de reprogramări pe care-l poate suporta o astfel de memorie este adesea limitat.

24.4. Memorii numai citește (ROM)

24.4.1. Definiție

Sînt memorii de (un) tip special, în care informație se „înscrie” chiar în timpul fabricării circuitului integrat (de memorie). Odată realizată, într-o memorie din această categorie nu se mai poate înscrie nici-o altă informație; în schimb conținutul ei se poate citi de cîte ori se dorește. În practică se mai întîlnește și sub denumirile: memorie fixă, memorie cu program fixat, memorie moartă, memorie nealterabilă, sau memorie permanentă.

Aceste memorii se utilizează ori de cîte ori este necesară o informație complexă, care se repetă de multe ori, de exemplu valoarea, exprimată în cod binar, a unor constante matematice (numărul π , numărul e), sau înregistrarea unor programe fixe de test a unor componente semiconductoare etc.

24.4.2. Mod de adresare

Se consideră memoria ROM sub forma tabloului din figura 24.2; ea conține X rînduri și Y coloane (în general numărul rîndurilor este egal cu numărul coloanelor, $X = Y$), ceea ce totalizează un număr de XY celule de memorie, sau un număr de XY biți.

Organizarea memoriei sub această formă (sub formă de matrice), permite reducerea numărului intrărilor de adresare la un număr mai mic decît numărul informațiilor stocate. De exemplu cu 16 intrări (8 rînduri și 8 coloane) se pot stoca 64 informații.

Deoarece numărul liniilor de adresare este destul de mare, în special pentru memoriile de mare capacitate ($16 + 16 = 32$ pentru o memorie de

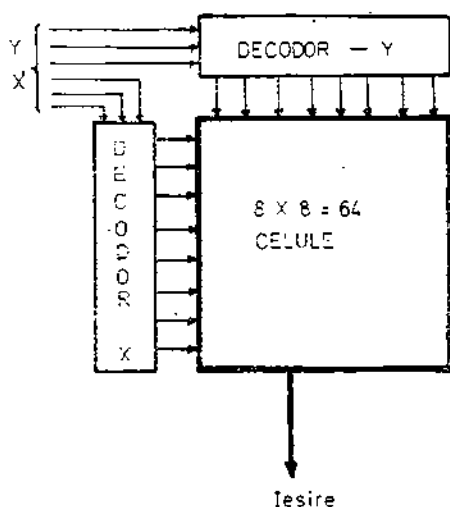


Fig. 24.3. Mod de organizare a adresării în cod binar pentru o memorie de 64 biți.

În cazul în care se dorește să se adreseze o memorie cu 32 de rânduri și 32 de coloane, circuitul de memorie se va completa cu două decodificatoare cu câte 5 intrări și 32 ieșiri, pentru adresarea rândurilor respectiv coloanelor memoriei. Acest mod de adresare, în cod binar, este utilizat atât în cazul „memoriilor numai citește” (ROM) cât și în cazul memoriilor citește-scrie” (RAM).

În figura 24.3 se prezintă modul de adresare în cod binar pentru o memorie de 64 biți. Cele 64 de celule ale memoriei sînt dispuse pe 8 rânduri și 8 coloane; decodificatorii pentru X și pentru Y au fiecare câte 3 intrări.

Adresa, formată din 6 biți ($2^6 = 64$) selectează, prin intermediul celor două decodificatoare o celulă; conținutul acestei celule poate fi extras la ieșire.

256 biți, $32 + 32 = 64$ pentru 1024 biți, $64 + 64 = 128$ pentru 4 Kbiți etc), tehnologie nu este convenabilă realizarea unui circuit integrat cu acest număr de terminale.

Se poate micșora numărul terminalelor necesare pentru adresare, cînd se realizează un sistem de adresare în cod binar, utilizînd circuite de decodificare. Dacă în interiorul circuitului integrat de memorie se introduce un decodificator cu 4 intrări pentru adresarea coloanelor, este posibil să se adreseze una din cele 16 coloane ale memoriei, aplicînd tensiuni corespunzătoare pe cele 4 intrări ale decodificatorului. În mod analog se poate realiza în interiorul circuitului de memorie un decodor avînd 4 intrări și 16 ieșiri pentru adresarea rîndurilor.

24.4.3. Memorie ROM în tehnologia MOS

În figura 24.4. se prezintă o regiune a unei memorii ROM cu tranzistoare MOS; cu titlu de exemplu se menționează 3 coloane (numerele 2, 3, 4) și 3 linii (5, 6, 7).

Între cele nouă tranzistoare reprezentate, corespunzătoare intersecțiilor coloanelor 2-3-4 și rîndurilor 5-6-7, există patru tranzistoare MOS reale T_1, T_2, T_6, T_7 și cinci tranzistoare MOS false, T_3, T_4, T_5, T_8, T_9 .

Pentru explicarea modului de funcționare al acestei memorii se consideră:

● dacă se aplică o tensiune negativă pe coloana 2 și pe linia 7, fiind vorba de tranzistoare MOS cu canal p , între rîndul 7, și masă, prin interme-

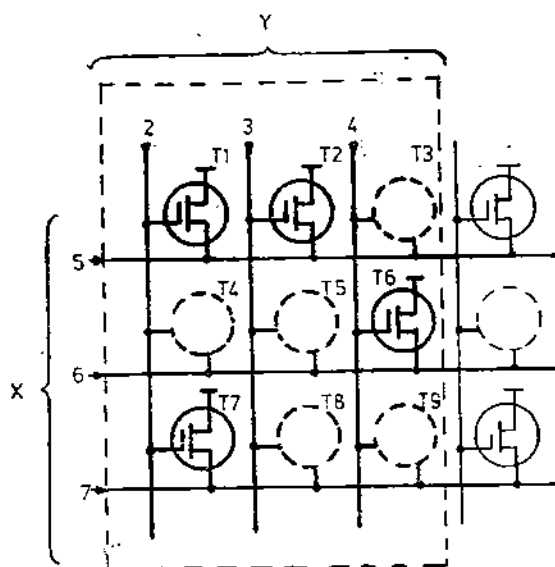


Fig. 24.4. Memorie ROM cu tranzistoare MOS.

diul tranzistorului $T7$, va trece un curent electric, deci la ieșire va apare semnal,

● dacă se aplică o tensiune negativă pe coloana 3 și pe rîndul 6. Cum tranzistorul $T5$, nu există, în acest caz între rîndul 6 și masă nu va trece nici-un curent, și deci la ieșire nu apare semnal;

cu alte cuvinte, memoria răspunde „da” (adică semnal ieșire) la adresarea:

- coloanei 2 și rîndului 5,
- coloanei 2 și rîndului 7,
- coloanei 3 și rîndului 5,
- coloanei 4 și rîndului 6.

Această memorie răspunde „nu” la adresarea:

- coloanei 2 și rîndului 6,
- coloanei 3 și rîndului 6 sau rîndului 7,
- coloanei 4 și rîndului 5 sau rîndului 7.

Tehnologic, coloanele verticale sînt linii de metalizare pe întreaga suprafață a curentului; ele reprezintă porțile tranzistoarelor MOS.

Cînd o astfel de metalizare acoperă complet un canal de tranzistor (de exemplu zona cuprinsă între două regiuni N^+ din figura 14.4) și cînd grosimea oxidului între această metalizare și canal este suficient de mică, se obține un tranzistor MOS real.

Dacă metalizarea nu acoperă întregul canal, sau dacă grosimea stratului de oxid este suficient de mare, atunci tranzistorul MOS nu se deschide prin aplicarea unei tensiuni normale pe poartă (în cazul de față a unei ten-

siuni negative), astfel că, se poate spune că în regiunea respectivă nu există tranzistor MOS, sau există un tranzistor MOS fals.

În concluzie se poate spune că un tranzistor MOS fals, pentru o memorie ROM, se poate obține în două moduri:

- prin realizarea unui strat de oxid de siliciu mai gros deasupra canalului tranzistorului fals.

- prin neacoperirea întregii regiuni a canalului tranzistorului fals.

Memoriile semiconductoare ROM se realizează la comanda unui beneficiar. De exemplu, dacă utilizatorul dorește o memorie ROM cu un program particular, el completează un tablou cu XY pătrate (X rinduri, Y coloane) în care pune 1 sau 0 după dorință (conform programului care urmează să fie înscris în memorie).

Pornind de la acest tablou fabricantul de circuite integrate MOS, va modifica masca de oxid subțire, sau masca de metalizare*, în funcție de cerința utilizatorului (va realiza o memorie programată prin mască sau va realiza o mască la care informația este „gravată” în circuit).

În tehnologia MOS se fabrică memorii ROM de mare capacitate. Se menționează deja memoriile de 32 K și 64 K realizate în anul 1979 și se apreciază că în anul 1980 vor fi realizate memorii de 256 Kbiți, cu timpi de acces de 80 nanosecunde.

24.4.4. Memorie ROM cu diode

În figura 24.5 se prezintă un circuit simplu de memorie realizat cu o rețea de diode semiconductoare. Starea celulei de memorie este determinată de prezența sau absența unei diode într-unul din nodurile rețelei.

24.4.5. Memorie ROM cu tranzistoare bipolare

În mod curent se realizează memorii ROM în tehnologia bipolară cu capacități de 16 K, cu timpi de acces sub 100 nanosecunde. Pentru reducerea acestor timpi (de acces) ca și pentru micșorarea puterii consumate aceste memorii se realizează în tehnologia Schottky TTL.

În prezent sînt în curs de realizare memorii ROM în tehnologia bipolară de 32 K și 64K.

Într-o memorie ROM cu tranzistoare bipolare, informația stocată este determinată de prezența sau de absența unei legături electrice între emitorul tranzistorului și rezistența de sarcină, așa cum se arată în figura 24.6.

* De exemplu, desenul măștii de metalizare se împarte în XY pătrate care se pot optura în toate locurile indicate de utilizator prin 1. În continuare se fac reducerile corespunzătoare pînă se obține masca de metalizare dorită.

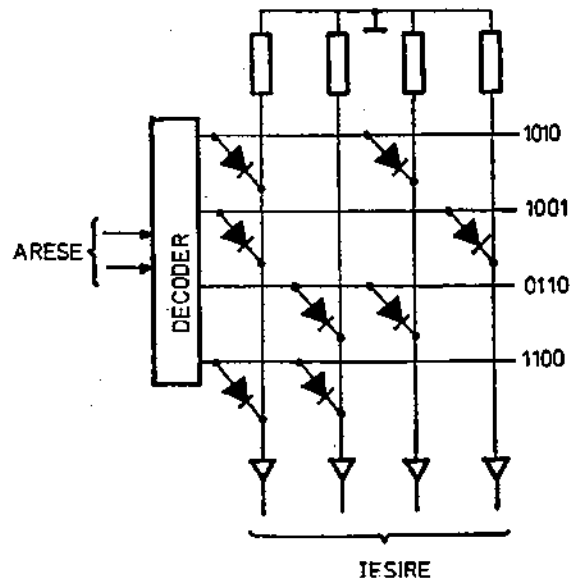


Fig. 24.5. Memorie ROM de 4×4 biți cu diode semiconductoare.

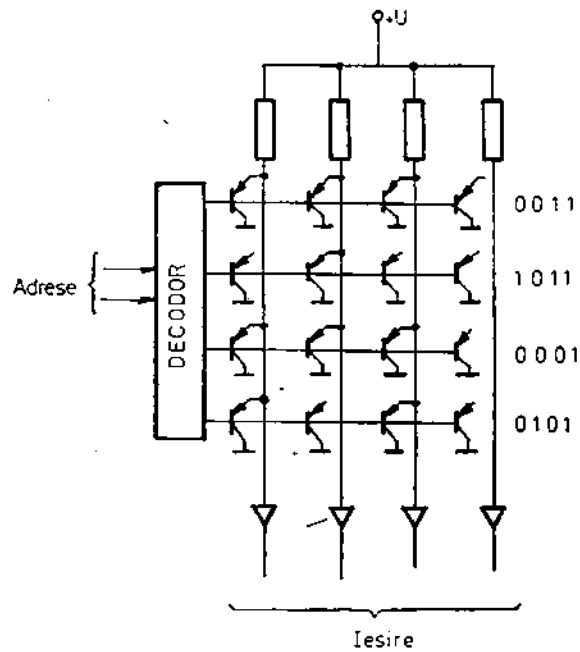


Fig. 24.6. Memorie ROM cu tranzistolare bipolare.

24.5. Memorii ROM programabile (PROM, REPROM)

Prin utilizarea unei tehnologii speciale se pot realiza memorii ROM al căror conținut se poate programa (cazul memoriilor PROM) sau chiar schimba de utilizator. (în cazul memoriilor REPROM).

24.5.1. Tehnici de realizare

Memoriile PROM se realizează în tehnologia bipolară și în tehnologia MOS.

Memoriile PROM bipolare rețin informația stocată pe baza modificării permanente a unor legături electrice direct pe cip. În practică există două tehnici specifice acestui mod de realizare a memoriilor PROM bipolare: 1) cu fuzibil metalic (în mod normal dintr-un aliaj crom-nichel) sau cu fuzibil din siliciu policristalin *, și 2) cu joncțiuni pn care se distrug (scurtcircuitează) prin străpungere.

Memoriile PROM de tip MOS rețin informația stocată sub formă de sarcină electrică și de aceea pot fi „șterse” și reprogramate (cazul memoriilor REPROM).

24.5.2. Memorii PROM bipolare

Majoritatea memoriilor PROM bipolare sînt de tipul cu fuzibil metalic, realizate în tehnologia Schottky TTL, pentru a avea timpi de acces mici (30—90 nsec) și putere consumată redusă.

În prezent se realizează memorii din această categorie cu capacități de 16 K (exemplu tipul INTEL 8748 și 8755).

În figura 24.7. se prezintă o memorie bipolară cu fuzibile.

La realizarea circuitului integrat de memorie, toate tranzistoarele, celulelor de memorie sînt interconectate, prin fuzibile metalice sau din siliciu policristalin.

În timpul programării memoriei, efectuată cu ajutorul unui dispozitiv special de programare, comandat de calculator, fuzibilul oricărei celule de memorie poate fi distrus prin traversarea unui tren de impulsuri de curent cu valori de 0,1 ... 1 A. O legătură ruptă determină memorarea unei stări binare (0 în cazul din figură), iar una care nu a fost ruptă, memorarea celeilalte stări binare (1 în cazul menționat).

Starea celulelor nu mai poate fi modificată în cazul în care siguranțele au fost intrerupte.

Conținutul unei memorii de 1 K bit poate fi programat în câteva minute.

* Procedeu utilizat de firma INTEL.

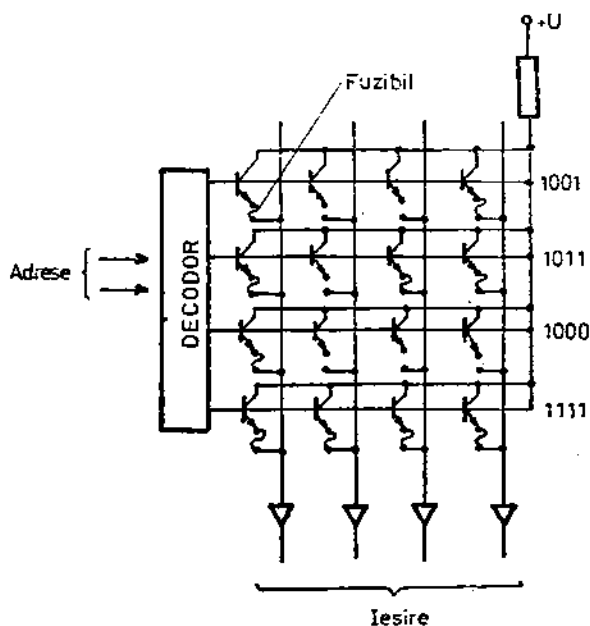


Fig. 24.7. Memorie PROM bipolară cu fuzibile.

Memoria PROM programată prin joncțiuni pn este similară cu cea descrisă, deosebirea apărând în modul de întrerupere a joncțiunilor (emitor-bază) nedorite, care în acest caz, se realizează prin aplicarea unor tensiuni exterioare suficient de mari pentru străpungerea joncțiunii în avalanșă.

24.5.3. Memorii REPR0M de tip MOS

Unul din dezavantajele memoriilor ROM se întâlnește și la memoriile PROM. Informația odată înscrisă într-o memorie ROM nu mai poate fi modificată. Acest dezavantaj este resimțit și la majoritatea memoriilor PROM. Pentru înlăturarea acestui dezavantaj s-au realizat memoriile ROM reprogramabile sau REPR0M.

Se utilizează câteva tipuri de memorii REPR0M cu tranzistoare MOS. În cele ce urmează se va prezenta tipul mai folosit, realizat cu o rețea de tranzistoare MOS, numite cu poartă flotantă*.

* Tipul celălalt de memorie REPR0M, cu posibilitate de reprogramare electrică, utilizează de asemenea, tranzistoare MIS la care dielectricul de poartă este nitru de siliciu. Aceste memorii, întâlnite și sub denumirea EAROM (electrically alterable ROM), au timpi de acces lungi (1...5 μ secunde), se programează ușor, își păstrează programul (până la o nouă reinscriere) îndelung de mult și au utilizări speciale: domeniul militar, tehnici aerospațiale etc.

În prezent se realizează memorii REPR0M cu capacități pînă la 32 K, cu timpi de acces pînă la 450 nanosecunde, alimentate la tensiuni de 5 V.

Fiecare celulă a unei memorii REPR0M de tip MOS este un tranzistor MOS în care poarta este izolată într-un strat de bioxid de siliciu. Poarta nu are nici-o legătură electrică exterioară (figura 24.8.a).

Cînd celula nu este programată sau cînd este „ștearsă”, pe poarta TEC nu există nici-o sarcină electrică și rezistența sursă-drenă, R_{SD} , este extrem de mare (figura 24.8.a).

După ce o celulă se programează (figura 24.8.b) pe poarta tranzistorului MOS respectiv apare sarcina electrică Q , care induce, între sursă și drenă, un canal de tip P. În acest caz R_{SD} scade foarte mult, valoarea ei fiind invers proporțională cu sarcină Q .

Ca să se programeze o celulă, se aplică între sursa și drena tranzistorului respectiv o tensiune de aproximativ 30 V. Această tensiune produce o străpungere prin avalanșă a joncțiunilor P+N sursă-substrat, drenă-substrat. Electronii care trec prin joncțiunea respectivă, căpătînd energii foarte mari, pătrund în stratul de SiO_2 , colectînd pe poarta din siliciu flotantă sarcini electrice (negative în figura 24.8.b). Cantitatea de electricitate ce se acumulează pe poartă crește cu creșterea tensiunii aplicate între sursă și drenă.

Sarcina negativă acumulată pe poarta flotantă produce un canal conductor între sursă și drenă, așa cum se arată în figură.

Dacă sursa de tensiune, de programare, se înlătură, izolația porții este suficientă pentru a menține sarcina colectată pe o perioadă de peste 10 ani.

Ștergerea memoriei, deci îndepărtarea sarcinii, se realizează prin iradiere cu raze ultraviolete; în acest scop, circuitul de memorie este prevăzut cu o fereastră de cuarț care permite trecerea razelor ultraviolete.

Memoria poate fi programată de un număr de ori, practic nelimitat, fără ca performanțele ei să sufere modificări.

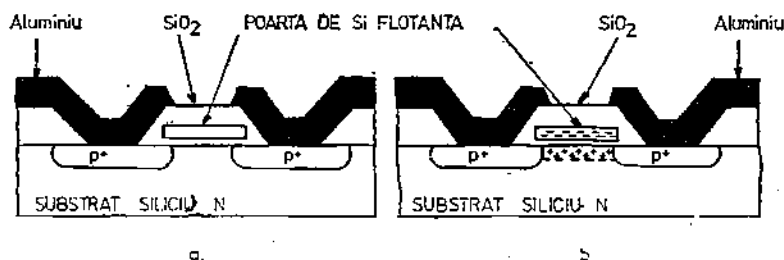


Fig. 24.8. Celulă de memorie REPR0M cu TEC-MOS cu poartă flotantă:
a — celula este neprogramată sau „ștearsă”; b — celula este programată.

24.6. Memorii RAM

24.6.1. Caracteristici

Memoriile RAM (Random Access Memory sau memorii citește-scrie) se realizează atât în tehnologia bipolară cit și în tehnologia MOS.

Celulele de memorie bipolare sînt de tip static, deoarece ele rețin informația stocată atîta timp cît celula este alimentată la o sursă de tensiune.

Celulele de memorie de tip MOS pot fi, fie statice, fie dinamice.

Memoriile MOS dinamice au două avantaje importante, față de memoriile statice:

- puterea consumată în repaus, adică puterea consumată de circuit cînd nu se fac operații de scriere-citire, este mult mai mică,
- numărul de tranzistoare pe celula de memorie este mai mic; în felul acesta pot fi realizate memorii (dinamice) de capacitate mai mare pe cip la un preț de cost mai mic.

24.6.2. Tipuri de celule de memorie ROM

În figura 24.9 se prezintă o celulă tipică de memorie statică realizată în tehnologia bipolară. Ea este constituită dintr-un circuit basculant bistabil realizat cu două tranzistoare multiemitor. Celula este prevăzută cu trei borne exterioare: o bornă de SELECTARE A CELULEI (dorite) din memorie și două borne de DATE (biți).

Celula prezentată funcționează astfel:

- pentru adresarea celulei în vederea citirii informației se pune la masă borna „SELECTARE CELULĂ”. În acest caz, crește curentul prin tranzistorul aflat în conducție și se modifică mărimea curentului la una din bornele de date, normală sau complementară; se obține o indicație a stării celulei, adică se citește informația memorată,

- pentru înscrierea informației, după adresarea celulei, se aplică tensiuni complementare pe liniile de bit (cea normală și cea complementară ei), forțînd blocarea sau aducerea la saturație a tranzistoarelor T_1 , T_2 .

În figura 24.10 se prezintă o celulă de memorie statică realizată cu tranzistoare MOS (cu canal p sau cu canal n).

În ambele tipuri de celule de memorie prezentate, puterea electrică în repaus este ridicată (de regulă 500 mW pentru o memorie de 1 kbit), deoarece unul din tranzistoarele celulei este permanent în conducție.

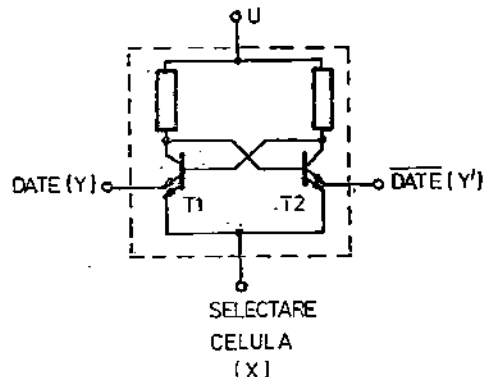


Fig. 24.9. Celulă de memorie statică, cu tranzistoare bipolare.

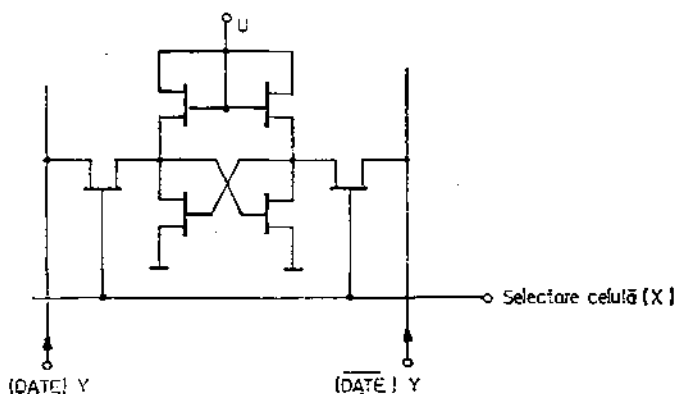


Fig. 24.10. Celulă de memorie statică, cu tranzistoare MOS.

Puterea consumată se reduce la aproximativ 1 mW/1 kbit în cazul utilizării celulelor de memorie statice cu tranzistoare MOS complementare (figura 24.11).

Așa cum s-a arătat, densități mai mari pe un singur circuit integrat se obțin în cazul memoriilor MOS dinamice, care funcționează pe principiul înmagazinării informației sub forma unei sarcini, folosind ca element de memorie capacitatea poartă-substrat a unui tranzistor MOS.

În acest caz nu se poate menține informația permanent, deoarece, datorită curenților reziduali condensatorul cu rol de memorie se descarcă în timp.

Pentru a conserva informația în memoriile dinamice, ea trebuie reîmprospătată la intervale variabile de timp.

Procesul de reîmprospătare constă în citirea periodică a informației și reinscrierea ei în aceleași celule ale memoriei.

În figura 24.12 se prezintă o celulă de memorie dinamică cu patru tranzistoare MOS. Condensatoarele $C1$ și $C2$ constituie elementul de memorie. Tranzistoarele $T1$ și $T2$ formează un circuit bistabil cu rolul de a bloca

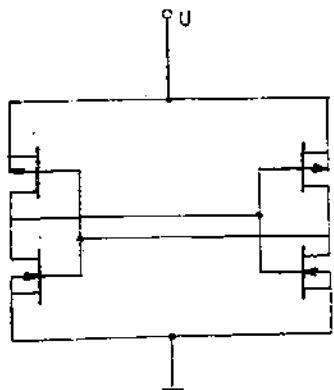


Fig. 24.11. Celulă de memorie statică, cu tranzistoare MOS complementare.

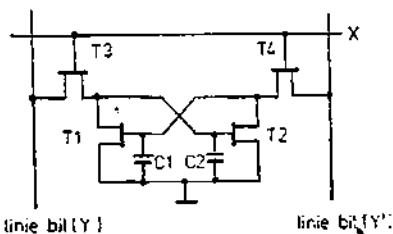


Fig. 24.12. Celulă de memorie RAM dinamică, cu tranzistoare MOS.

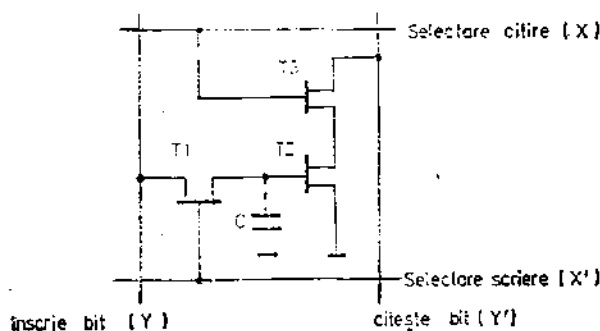


Fig. 24.13. Celulă de memorie RAM dinamică realizată cu trei tranzistoare MOS.

informația memorată, iar tranzistoarele $T3$, $T4$ se utilizează pentru selec-tarea celulei de memorie.

Pentru a citi informația se aplică un semnal logic 1 pe linia X ; prin aceasta, tranzistoarele $T3$, $T4$ devin conductoare. Curentul este sesizat în mod diferentiat pe cele două linii Y , Y' (linii de bit); de exemplu, dacă $T1$ devine conductor, linia bit asociată lui, împreună cu tranzistorul $T3$ vor fi parcurse de un impuls important de curent, în timp ce cealaltă linie bit (Y') nu conduce. În același timp condensatorul $C1$ se reîncarcă (prin intermediul tranzistorului $T4$ deoarece tranzistorul $T2$ nu conduce) deci informația se reîmprospătează. De asemenea condensatorul $C2$ este reîmprospătat prin $T3$ și linia bit corespunzătoare (Y). Rezultă că procesul de citire asigură și reîmprospătarea memoriei.

Pentru scriere, informația dorită și complementul ei sînt transmise liniilor bit în timp ce linia X este la nivel logic 1; în acest timp curentul prin tranzistoarele $T3$ și $T4$ forțează bistabilul la starea dorită.

În figura 24.13 se prezintă o celulă de memorie RAM dinamică realizată cu trei tranzistoare MOS. Elementul de memorie este constituit de condensatorul C , urmat de circuitul inversor $T2$, $T3$; ca urmare, linia Y' (citește bit) conține complementul informației memorată în condensator. Pentru citirea informației, linia „selectare citire” este activată la valoarea logică 1. Pentru operația de înscriere se activează linia selectare înscriere, transferînd nivelul logic prezentat pe linia înscriere bit în condensatorul C .

25. Convertoare

25.1. Introducere

Mărimile electrice (tensiune, curent) furnizate de majoritatea traductoarelor (de presiune, de temperatură, de umiditate etc) se prezintă sub formă analogică. Dezvoltarea tehnicilor numerice a impus utilizarea ca cir-

cuite de interfață a convertoarelor analog-digitale (A/D) și digital analogice (D/A), deoarece informația convertită sub formă numerică poate fi ușor afișată, memorizată și prelucrată matematic; în plus, o informație poate fi mai ușor transmisă sub formă numerică.

Convertoarele A/D (pentru achiziționarea informației) și D/A (pentru restituire) sînt deci indispensabile în aplicații practice ca de exemplu: controlul proceselor tehnologice, testarea automată etc.

În viitor tehnicile digitale vor fi din ce în ce mai mult utilizate, pentru realizarea echipamentelor electronice deoarece evoluția tehnologică a CI digitale este mult mai rapidă decît a CI analogice. Costul din ce în ce mai scăzut și dimensiunile tot mai reduse ale echipamentelor realizate cu CI logice, obligă pe electronistul utilizator să aleagă între tehnica analogică și cea numerică. Succesul de care se bucură în prezent micropocesoarele confirmă cu atît mai mult această evoluție.

Această mutație este la originea acestui proces pe care-l cunoaște convertoarele de date, a cărei producție s-a triplat între 1975 și 1980 *.

25.2. Convertoare D/A

25.2.1. Definiție și parametri

Convertorul numeric-analogic este un circuit funcțional complex, care furnizează la ieșire o mărime analogică proporțională cu numărul aplicat la intrare sub formă de combinații de valori de variabile binare.

Parametrii ** principali ai unui convertor D/A sînt:

- rezoluția; se referă la numărul de biți sau la numărul corespunzător de nivele de ieșire discrete. Ea se definește ca cea mai mică creștere care trebuie aplicată la intrarea convertorului pentru a se obține o modificare a tensiunii la ieșire. Rezoluția se poate exprima în procente sau în părți per milion (ppm) din întreaga scară, sau în numere de biți. Astfel, cum un convertor D/A de 10 biți poate da la ieșire un număr de $2^{10} = 1024$ nivele diferite, se zice că acest convertor are o rezoluție de 10 biți sau 0,1%.

- precizia; exprimă diferența maximă dintre valoarea teoretică și cea reală a mărimii analogice de la ieșire, raportată la valoarea maximă a acesteia. Se exprimă în procente din întreaga scală, în milivolți sau în microvolți,

- viteza de conversie; reprezintă timpul necesar stabilizării tensiunii de ieșire în raport cu momentul aplicării numărului N la intrare.

* În urmă cu 20 ani, un convertor A/D de 10 biți cu precizie de 0,05% capabil să efectueze 50 000 conversii pe secundă, costa 40 000 Franci, disipa 400 W și ocupa un volum de 1000 litri. În prezent, un convertor A/D cu aceleași performanțe costă 250 Franci, disipă 20 mW și este încapsulat într-o capsulă cu 28 de terminale. Această comparație ilustrează evoluția tehnologică considerabilă în domeniul convertoarelor A/D și D/A în cîțiva ani.

** Este evident că nu se poate obține o conversie ideală în primul rînd datorită imperfecțiunii componentelor electronice utilizate la realizarea convertoarelor. Din motivul acesta se definesc o serie de parametri care să caracterizeze această imperfecțiune de conversie.

25.2.2. Scheme de convertoare D/A

Majoritatea convertoarelor D/A conțin rețele rezistive de precizie, comutatoare, de tensiune sau de curent, surse de tensiune de referință și amplificatoare operaționale.

În practică se utilizează frecvent două scheme de convertoare D/A, cu rezistoare cu valori ponderate în cod binar și cu rețea cu rezistențe fixe de tipul R și $2R$.

În figura 25.1. se prezintă schema de principiu a unui convertor D/A cu rezistoare cu valori ponderate. Ea constă dintr-o serie de comutatoare (1—4), un amplificator operațional utilizat ca circuit de însumare și dintr-o rețea de rezistoare cu valori ponderate. Comutatoarele pentru un număr (bit) oarecare sunt închise când acesta este 1 și sunt deschise când numărul este 0. În situația din figură, comutatoarele indică numărul binar 0011.

Schema menționată prezintă o rezoluție coborâtă (5 biți) deoarece ea necesită o gamă largă de valori de rezistențe și este destul de dificil să se realizeze rezistoare într-un raport mai mare de 20:1.

Mai utilizată este schema din figura 25.2, realizată cu o rețea de rezistoare de tipul R și $2R$.

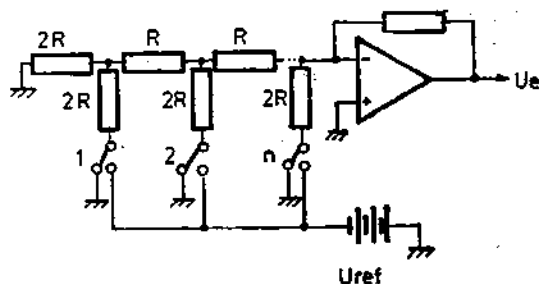


Fig. 25.1. Schema de principiu a unui convertor D/A cu rezistoare cu valori ponderate binar.

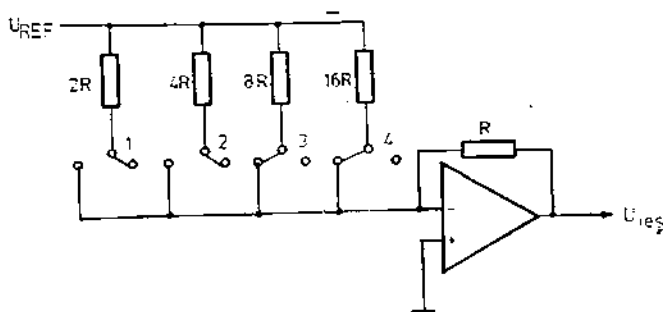


Fig. 25.2. Schema de principiu a unui convertor D/A cu rețea R și $2R$.

25.3. Convertoare A/D

25.3.1. Definiție și parametri

Convertorul analog-numeric este un circuit funcțional complex care furnizează la ieșire un număr dependent de valoarea mărimii analogice aplicate la intrarea sa.

Parametrii principali ai unui convertor A/D sint:

- rezoluția; reprezintă tensiunea minimă care trebuie aplicată la intrare pentru a se obține la ieșire o modificare de cod numeric,
- precizia; este diferența maximă între tensiunea de intrare teoretică necesară pentru obținerea unui cod dat la ieșire și tensiunea efectivă care trebuie aplicată pentru obținerea aceluiasi cod.
- viteza de conversie, este intervalul de timp necesar efectuării unei conversii.

25.3.2. Scheme de convertoare A/D

În practică se utilizează mai multe tipuri de scheme de convertoare A/D; în cele ce urmează se prezintă doar două tipuri pentru înțelegerea principiului lor de funcționare.

Schema din figura 25.3. prezintă schema unui convertor A/D cu numărător; este un exemplu de convertor utilizat în voltmetrele electronice numerice.

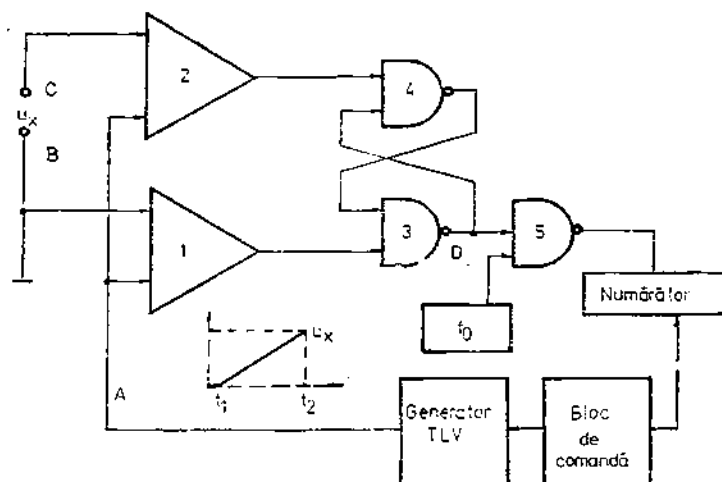


Fig. 25.3. Schema de principiu a unui convertor A/D prin aproximări succesive.

Se presupune că se dorește să se măsoare cu acest montaj tensiunea U_x ; această tensiune se aplică la intrarea comparatorului * simplu 2. La intrarea comparatorului * 1 se aplică o tensiune liniar-variabilă în timp (TLV), cu care se compară tensiunea U_x ; în figură se prezintă modul de variație a TLV. La începutul perioadei de conversie, tensiunea liniar-variabilă pornește de la zero (tipul t_1) fiind comandată de blocul de comandă, menționat în figură.

La timpul t_1 , cind potențialul punctului A începe să crească de la zero (referință pentru măsurarea tensiunii U_x) tensiunea la ieșirea comparatorului 1 scade rapid, provocind bascularea bistabilului R-S constituit din NAND-urile 3 și 4. Tensiunea în punctul D devine pozitivă, deblocind NAND-ul 5 utilizat ca circuit poartă. Prin aceasta se permite aplicarea impulsurilor generatorului de frecvență f_0 la intrarea numărătorului N, care, inițial a fost adus la zero de un semnal al blocului de comandă. În acest timp numărătorul numără impulsurile generate de f_0 .

În momentul t_2 , potențialul punctului A devine egal sau depășește potențialul punctului C și tensiunea la ieșirea comparatorului 2 scade, provocind rebascularea bistabilului R-S și aducerea la zero a tensiunii în punctul D. În acest moment numărătoarea se oprește.

Generatorul de impulsuri f_0 a fost conectat deci la numărător în intervalul de timp $t_2 - t_1$; durata de numărare este deci cu atât mai mare cu cât mărimea tensiunii U_x este mai mare. Dacă tensiunea liniar-variabilă este liniară, această durată este riguros proporțională cu U_x . Se impune ca și frecvența generatorului f_0 să fie stabilă. Prin aceasta se afișează sub formă numerică, mărimea tensiunii U_x .

În figura 25.4 se prezintă schema unui convertor A/D cu reacție.

La începutul intervalului de conversie se deschide poarta P și se permite aplicarea impulsurilor de tact, furnizate de generatorul f_0 , la intrarea numărătorului N adus în prealabil în starea inițială. Ca urmare, la ieșirea convertorului D/A se obține o tensiune crescătoare în trepte, proporțională

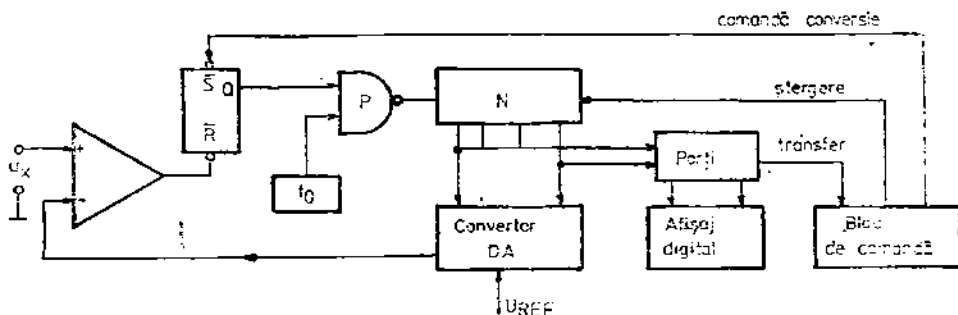


Fig. 25.4. Schema unui convertor A/D simplă rampă.

* În practică se poate utiliza și un amplificator operațional.

cu numărul de impulsuri aplicate la intrarea numărătorului. Circuitul peartă P se blochează în momentul în care tensiunea la ieșirea convertorului D/A devine egală sau depășește tensiunea U_* aplicată la intrare. Numărul de impulsuri înregistrate de numărătorul N pe durata deschiderii porții P reprezintă informația numerică a mărimii tensunii U_x .

26. Microprocesoare

În acest capitol se face o descriere sumară a structurii și funcționării microprocesoarelor, componente cu largi aplicații în echipamentele electronice moderne și se prezintă principalele lor caracteristici și utilizări.

Progresul deosebit de rapid obținut în ultimele decenii în domeniul tehnologiei planar, au condus la fabricarea pe scară industrială a unei clase de componente semiconductoare integrate numite microprocesoare (μP).

Microprocesorul este un circuit logic universal, programabil de utilizator pentru a realiza cele mai diverse funcții, care, în condițiile tehnologiei actuale, constituie o componentă electronică standard de mare serie realizabilă la un cost coborât.

Primul calculator electronic digital, bazat de tehnologia tuburilor electronice, s-a realizat în anul 1951, la universitatea din Pennsylvania.

Începînd cu anul 1960, apar pe piață calculatoarele digitale cu componente semiconductoare discrete (tranzistoare, diode).

În anul 1971 firma Intel Corporation introduce primul microprocesor, realizat sub forma unui „cip” de circuit integrat pe scară largă, tipul 4004, împreună cu circuitul 4001 (memorie ROM) și circuitul 4002 (memorie RAM), pentru a forma un microcalculator.

În prezent se fabrică peste cincizeci de tipuri de microprocesoare; în general, toate fabricile constructoare de componente semiconductoare, realizează cipuri pentru microprocesoare.

Domeniile în care microprocesoarele își găsesc o largă utilizare sint practic nelimitate.

Microprocesoarele se folosesc în două mari categorii de aplicații:

- pentru controlul proceselor („dedicated control”); în figura 26.1. se prezintă schema de principiu a unui sistem de control de proces cu microprocesor,

- pentru prelucrarea datelor („data processing”); în figura 26.2. se prezintă schema de principiu a unui sistem de prelucrare a datelor cu microprocesor.

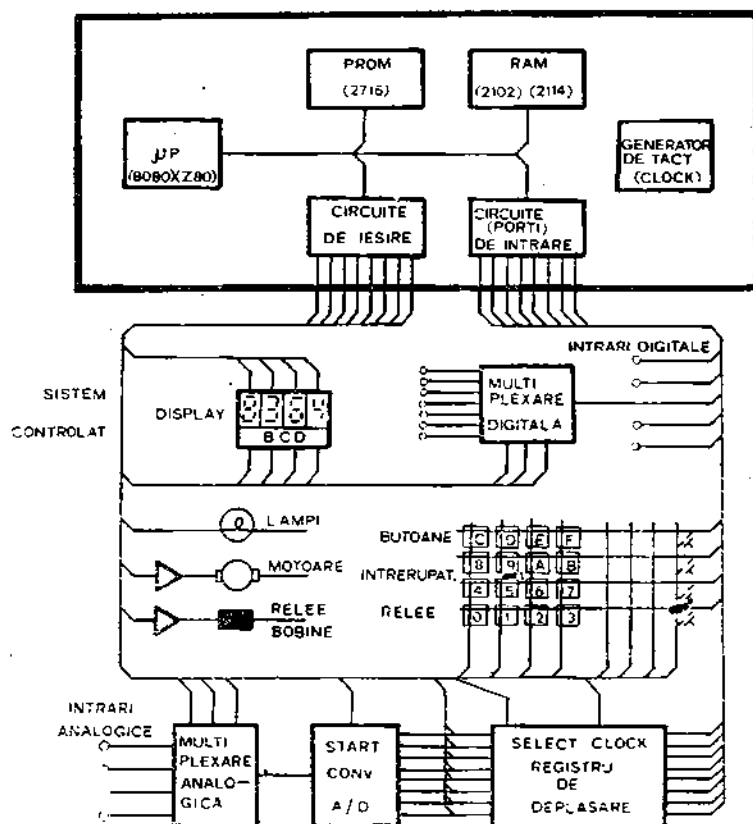


Fig. 26.1. Sistem cu microprocesor pentru controlul proceselor tehnologice.

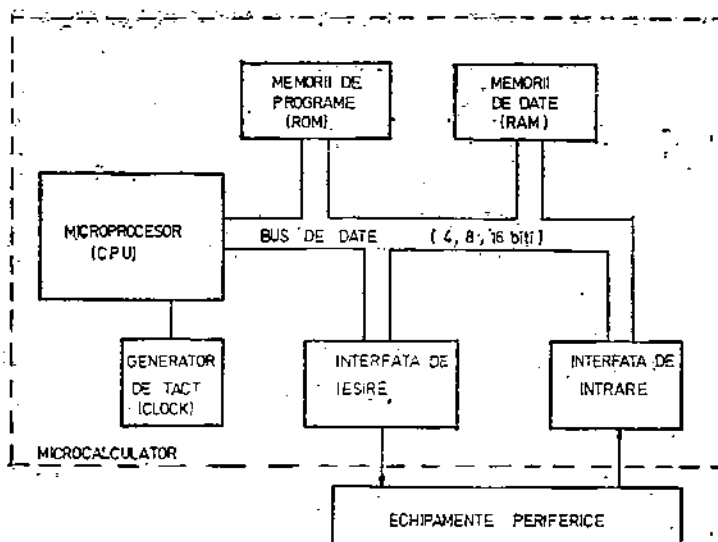


Fig. 26.2. Sistem cu microprocesor pentru prelucrarea datelor.

26.1. Structura de bază a unui microprocesor

Decosebim doi factori de bază care influențează construcția și funcționarea unui microprocesor:

- arhitectura sa internă sau componentele lui fizice care constituie așa numitul hard (hardware),

- programul său sau softul (software)

Arhitectura microprocesorului definește tipul blocurilor electronice (interne) din care el este realizat, precum și modul în care aceste blocuri lucrează împreună, pe baza programului furnizat de operator.

Majoritatea microprocesoarelor care se fabrică în prezent au o configurație generală standard diferențierea între diversele tipuri fiind evidențiată prin viteza de prelucrare și prin lungimea cuvintului.

Principalele blocuri componente interconectate ale unui microprocesor sînt: unitatea aritmetică și logică, unitatea de control și registre. Vom prezenta în continuare cîteva caracteristici ale acestor părți:

- *Unitatea aritmetică și logică*, UAL (Aritmetic-logic Unit, ALU, în engleză), este un ansamblu de circuite logice combinaționale capabile să efectueze operații aritmetice și logice (exemplu SI, SAU, ADUNARE, SCĂDERE etc) cu numere binare.

- *Registre*. Microprocesorul conține cîteva tipuri de registre. Deoarece fiecare din ele are funcții diferite, ele au denumiri specifice; cîteva din aceste registre sînt următoarele:

- *Registrul de instrucțiuni* (Instruction register, IR). Este constituit dintr-un sistem de circuite basculante bistabile cu acces paralel, în care se înscrie fiecare instrucțiune extrasă din memorie pe durate egale cu timpul în care instrucțiunea se execută,

- *Acumulatorul AC*, este un registru special în care se înscriu datele intermediare în curs de derulare; din acest motiv el trebuie să comunice cu UAL și cu memoriile de date. El este constituit din circuite basculante bistabile cu acces paralel, cu posibilitate de decalare și conține date,

- *Numărătorul de program* (Program Counter, PC). Este un registru realizat din circuite basculante bistabile cu acces paralel. El conține adresele instrucțiunilor * care trebuie executate și are rolul de a transmite memoriei adresele acestor instrucțiuni.

- *Registre tampon* (Bufer register BR). Servesc ca circuite tampon între microprocesor și exterior. Ele sînt registre cu acces paralel.

* Microprocesorul trebuie să fie apt să găsească instrucțiunile de executat, dispuse în memoria de instrucțiuni (memoria program). Fiecare instrucțiune fiind reperată prin adresa sa în memorie, microprocesorul trebuie să dispună de un registru, care să conțină în fiecare moment adresa instrucțiunii de executat. Acest registru se numește numărător de program sau simplu numărător.

Majoritatea microprocesoarelor au mai mult de șase tipuri de registre. Pentru simplitate s-au menționat numai patru tipuri.

● *Unitatea de control*, constituie un sistem de circuite logice de control care decodează instrucțiunile furnizate microprocesorului pentru a fi executate de celelalte blocuri ale microprocesorului, în ritmul unui semnal de tact. Cu alte cuvinte, unitatea de control „indică” * celorlalte organe ale microprocesorului inclusiv perifericelor, operațiile pe care trebuie să le execute în conformitate cu programul de lucru. Ea generează impulsuri proprii de control pentru întregul sistem.

Prin intermediul unității de control sau controlerului, microprocesorul obține informația din blocul de memorie, o stochează în registrul de instrucțiuni, o interpretează și apoi generează semnale de control corespunzătoare.

Figura 26.3. prezintă modul de asamblare ale blocurilor menționate pentru a constitui un microprocesor împreună cu schema de conectare la capsulă (figura 26.3.b).

Comunicarea între diversele blocuri ale microprocesorului se realizează prin busuri.

Busul de adrese (16 biți) este independent de busul de date (în general 8 biți pentru microprocesoarele uzuale).

26.2. Clasificarea microprocesoarelor

Marea diversitate pe piața mondială a microprocesoarelor impune acordarea unei atenții deosebite clasificării lor după o multitudine de criterii, așa cum rezultă din cele ce urmează:

26.2.1. Clasificarea după tipul unității de control

După tipul unității de control, microprocesoarele se împart în două mari categorii: microprocesoare monobloc și microprocesoare multibloc.

● Microprocesoarele monobloc sau monolitice (one-chip sau single chip în engleză) care reprezintă categoria cea mai răspândită în prezent grație

* Funcția unității de control este oarecum analoagă cu cea a unui „păpușar” care manevrează, prin intermediul „sforilor”, un număr de păpuși pentru a dansa într-un anumit ritm. Într-un microprocesor UAL și celelalte blocuri componente „constituie păpușile”, iar unitatea de control este „păpușarul”.

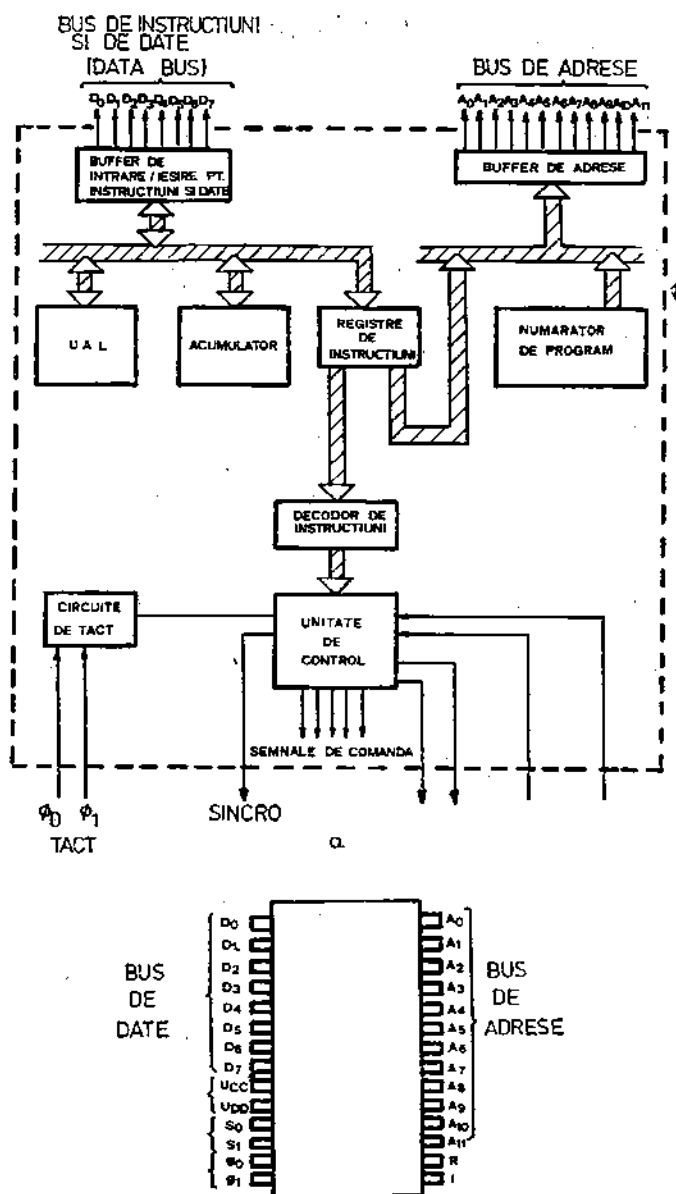


Fig. 26.3. Schema de principiu a unui microprocesor (a) și legăturile la capsulă (b).

și accesibilități utilizării lor în practică, sint realizate de obicei în tehnologia MOS, așa cum rezultă din tabelul 26.1.

Unitatea de control a microprocesoarelor de acest tip este realizată în interiorul modului. Ea reprezintă un ansamblu de circuite secvențiale definite odată pentru totdeauna de constructor. Figura 26.3. prezintă schema de principiu a acestui tip de μP .

Tabelul 26.1. Tipuri de microprocesoare monolitice

Tipul	Firma construct.	Tehnologie de realizare	Anul de comercializare	Generația	Lungime	Observații
4004	Intel	P-MOS	1971	I	4 Biți	Primul μP apărut
4040	Intel	P-MOS	1974	II		
PPS-4	Rockwel	P-MOS	1973	I		
8008	Intel	P-MOS	1972	I	8 biți	Primul μP de 8 biți apărut
8080	Intel	N-MOS	1973	II		
8080A	Intel	N-MOS	1975	III		
6800	Motorola	N-MOS	1974	II		
2650	Signetics	N-MOS	1974	II		
Z80	Zilog	N-MOS	1975	III		
F8	Fairchild	N-MOS	1975	II		
IMP16	National sc	P-MOS	1974		16 Biți	Primul μP 16-biți apărut (necesită mai multe capsule)
PAGE	National Sc	P-MOS	1975			
68000	Motorola	H-MOS	1978			
8086	Intel	H-MOS	1977			
Z8000	Zilog	1978				

● Microprocesoare multibloc. În acest caz unitatea de control este un modul distinct, separat de modulul „unității de calcul”, care conține UAL și celelalte registre (acumulator, numărator de program etc.).

În tabelul 26.2 se prezintă câteva tipuri de μP multibloc.

Tabelul 26.2. Tipuri de microprocesoare multibloc

Tipul	Firma constructoare	Tehnologie de realizare	Anul de comercializare
3002	INTEL	TTL	1975
SBP0400	TEXAS INSTRUMENTS	I ² L	1975
2900	A.M.D. (American Micro Devices)	TTL/LS	1975
3000	INTEL	TTL/S	1974

26.2.2. Clasificarea după capacitatea de prelucrare a informației

Criteriul capacității de prelucrare a informațiilor prezintă o importanță deosebită, deoarece el condiționează mărimea „cuvintelor” pe care le poate prelucra microprocesorul (4, 8, 16 biți). Potrivit acestui criteriu se deosebesc următoarele tipuri de μP .

● Microprocesoare de 4 biți. Tipurile reprezentative, menționate în tabelul 26.1, deși de capacitate mică, pot fi utilizate într-o serie de aplicații, ca de exemplu controlul proceselor pentru:

- automatizări industriale simple,
- automatizări în domeniul unor aplicații pentru marele public (aparatură casnică, controlul traficului la intersecțiile de străzi etc),

● Microprocesoare de 8 biți (tabelul 26.1.). Sunt în prezent foarte răspândite în nenumăratele aplicații și anume:

- controlul proceselor (automatizări complexe, aparatură de măsurare etc),
- prelucrarea datelor.

● Microprocesoare de 16 biți (tabelul 26.1). Prin capacitatea lor, aceste μP pot concura cu minicalculatoare electronice.

26.2.3. Clasificarea după tehnologia de realizare

Tehnologiile de fabricare a microprocesoarelor se aleg astfel încât să permită realizarea pe un singur cip a cel puțin 2000 de părți, complexitate minimă pentru un microprocesor de 4 biți. Majoritatea microprocesoarelor realizate într-un singur cip (monobloc) utilizează circuite logice de tip MOS care asigură densități de montaj corespunzătoare acestui deziderat.

Decarece circuitele de tip MOS sint relativ lente, pentru viteze mai mari de prelucrare a datelor se utilizează și alte circuite logice — mai rapide — ca de exemplu cele realizate în tehnologia bipolară (este cazul microprocesoarelor multibloc).

În continuare se prezintă pe scurt caracteristicile principalelor tehnologii utilizate la fabricarea microprocesoarelor.

● Tehnologia MOS cu canal P (P-MOS) este tehnologia utilizată pentru realizarea primelor microprocesoare apărute pe piață (INTEL 4004 și 8008). Această tehnologie asigură randamente mari de fabricație la un cost relativ scăzut, în condițiile unei producții de masă.

Tipul de execuție al unei instrucțiuni în cazul acestei tehnologii este de 4...20 μ s.

● Tehnologia MOS cu canal N (N-MOS). Este tehnologia cea mai utilizată în microprocesoare „de succes” ca de exemplu INTEL 8080 MOTOROLA 6800, FAIRCHILD F8 etc. Viteza de comutație în cazul acestei tehnologii este mai mare decît în cazul tehnologiei P-MOS: 1,5...4 μ s.

● Tehnologia H-MOS (High density short channel MOS, MOS cu canal scurt, de mare densitate de montaj). Face parte de asemenea din sistemul tehnologiilor MOS cu canal N, cu ajutorul căreia s-a reușit să se realizeze pe un singur cip microprocesoare de 16 biți, cum ar fi de pildă tipul MOTOROLA 68000 (care conține peste 68000 de componente active pe cip) sau tipul INTEL 8086 etc.

Microprocesoarele realizate în această tehnologie au viteză de prelucrare a datelor mai mare decît în cazul tipului precedent: 0,5...2 μ s.

● Tehnologia MOS-complementar (C-MOS). În condițiile aplicării acestei tehnologii la realizarea unei celule elementare se utilizează o combinație formată dintr-un tranzistor N-MOS și unul P-MOS. Ca atare caracteristicile de viteză (1...10 μ s.), sint intermediare între cele ale tehnologiilor P-MOS și N-MOS.

Calitățile esențiale ale tehnologiei C-MOS sint consumul foarte mic de putere (de ordinul a 0,01W) și insensibilitatea la zgomot.

Evidențiem ca tipuri reprezentative în tehnologia C-MOS microprocesoarele COSMAC, fabricate de firma RCA și microprocesorul IMG 100, fabricat de firma Intersil.

● Tehnologia bipolară. Pentru realizarea microprocesoarelor rapide se utilizează cîteva variante ale acestei tehnologii:

— TTL/S și TTL/LS*. Calitatea esențială a acestei tehnologii rezidă în viteza mare de lucru (0,1...0,3 μ s).

Dezavantajele ei principale sint legate de consumul ridicat de putere electrică și de densitatea relativ mică de integrare, impusă de izolarea individuală a fiecărui tranzistor pe cip.

Ca exemplu de microprocesoare realizate în această tehnologie se menționează microprocesorul MACROLOGIC al firmei Fairchild sau microprocesoarele 3001/3002 ale firmei Intel.

— ECL. Este tehnologia care permite realizarea de microprocesoare posedînd viteze deosebit de mari de funcționare (0,05...1 μ s).

* Schottky și Low Schottky power (Schottky de consum redus).

Dezavantajele ei majore sînt consumul ridicat de putere, densitatea mică de integrare și sensibilitatea mare la semnale parazite.

— I^2L . Se caracterizează printr-o viteză de comutație medie ($0,2...3 \mu s$), printr-o densitate mare de integrare (mai mare) decît în cazul tehnologiei N-MOS) și un consum de putere electrică foarte mic.

În prezent, pentru realizarea microprocesoarelor se elaborează tehnologia I^2L Schottky, cu ajutorul căreia vitezele de comutație vor crește simțitor.

Pentru a face o comparație din punctul de vedere al caracteristicilor menționate (densitate, consum de putere, viteză de funcționare etc) în figura 26.4 vom prezenta cîteva performanțe ale tehnologiilor mai utilizate la realizarea microprocesoarelor.

26.2.4. Clasificarea după anul de apariție

Cu toate că elaborarea primelor microprocesoare este de dată relativ recentă, se cunosc totuși cîteva etape (generații) în evoluția lor.

● Prima generație, apărută în anii 1971—1972 o constituie microprocesoarele de 4 și 8 biți realizate în tehnologia P-MOS, în capsulă cu 18 terminale. Reprezentanții principali ai acestei generații sînt microprocesoarele 4004 și 8008 ale firmei INTEL.

Aceste microprocesoare cu performanțe modeste, necesită un număr mare de circuite externe, pentru a fi utilizate într-un sistem de prelucrare,

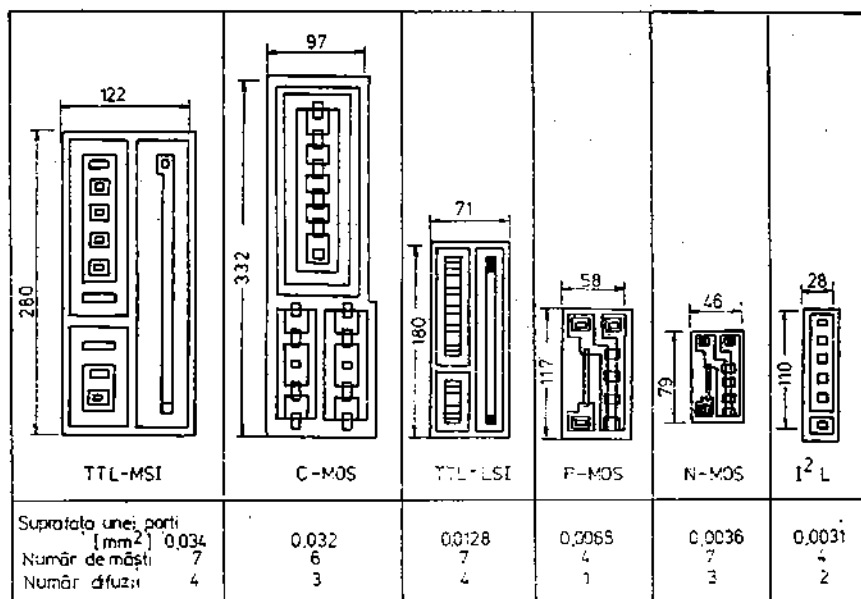


Fig. 26.4. Performanțe comparative ale principalelor tehnologii de realizare a microprocesoarelor.

● A doua generație de microprocesoare, apărută în anii 1973—1974, a fost realizată în tehnologia N-MOS, în capsule de 40 de terminale. Ele sînt mai rapide și au un grad mai mare de integrare.

În această categorie sînt incluse microprocesoarele de 8 biți, cele mai cunoscute fiind tipurile INTEL 8080 și MOTOROLA 6800,

● Generația a treia a apărut în perioada 1974—1975. În această perioadă s-au evidențiat două tendințe în elaborarea microprocesoarelor și anume:

— necesitatea creșterii vitezei de calcul, tendință materializată prin apariția microprocesoarelor multibloc în tehnologia bipolară 2900 AMD, 3000 INTEL, SBPO400 TEXAS INSTRUMENTS,

— necesitatea creșterii gradului de integrare ca microprocesoarele să realizeze mai multe funcții interne astfel încît pentru constituirea unui sistem să utilizeze un număr minim de module externe. Din această categorie fac parte microprocesoarele Z-80 ZILOG, TMS 9900 TEXAS INSTRUMENTS etc.

● Generația a patra o constituie microprocesoarele de 16 biți realizate în tehnologia H-MOS. Din această categorie pot face parte următoarele tipuri de microprocesoare: 8086 INTEL, Z8000, ZILOG, 68.000 TEXAS INSTRUMENTS.

26.3. Funcționarea unui sistem cu microprocesor

Ne propunem să prezentăm pe scurt modul de lucru al unui sistem cu microprocesor.

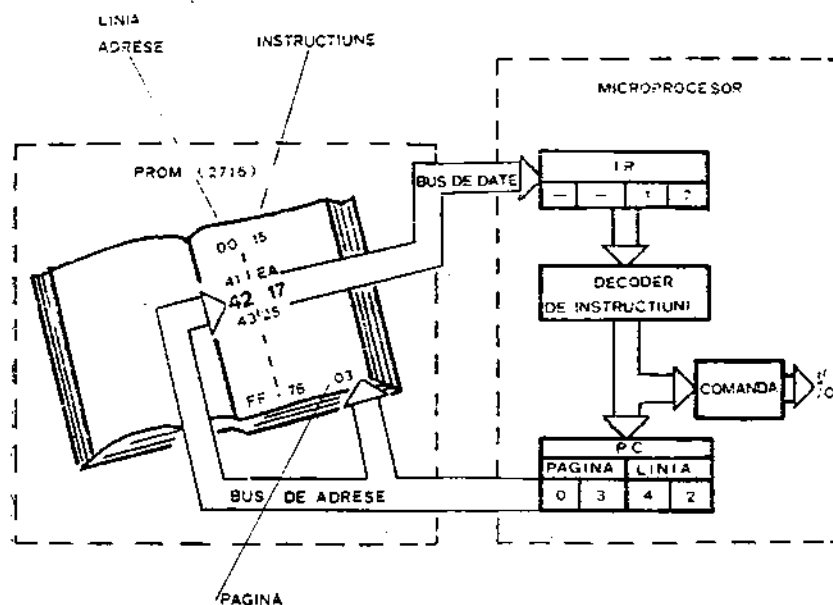
Pentru aceasta se consideră un sistem care conține intrări și ieșiri, memorii (ROM și RAM), generator de tact, microprocesor (figura 26.2.).

Microprocesorul funcționează pe baza programului „încărcat” în memoria PROM/EPROM (de pe bandă sau disc magnetic, bandă perforată, consolă); el „citește electric” memoria PROM tot așa cum o persoană citește „optic” o rețetă.

Analiza și execuția unei instrucțiuni într-un microprocesor necesită două cicluri calitative: ciclul de aducere (din memorie a instrucțiunii, FETCH în limba engleză) și ciclul de execuție al instrucțiunii.

Cele două cicluri menționate se realizează în următoarele etape:

● la un moment dat, microprocesorul transmite din numărătorul de program, prin busul de adrese, conținutul instrucțiunii de executat. Figura 26.5. sugerează modul în care microprocesorul „citește” un PROM; numărătorul de program determină care linie a PROM-ului trebuie citită, transmițînd o serie de semnale binare pe busul de adrese (uzual de 16 biți) și conectează microprocesorul la PROM. În figură adresa de 16 biți este dată într-o reprezentare hexazecimală sub forma 0342 (din considerente practice, adesa se prezintă sub forma din figură, adică: pagina 03, linia 42),

Fig. 26.5. Modul în care un μP „citește” un PROM.

● după un timp de ordinul sutelor de nanosecunde, care constituie timpul de acces, memoria răspunde la solicitarea microprocesorului, transmițând pe busul de date (8 biți în cazurile uzuale) o succesiune de semnale binare. Aceste semnale, care reprezintă o instrucțiune se stochează de microprocesor în registrul de instrucțiuni IR,

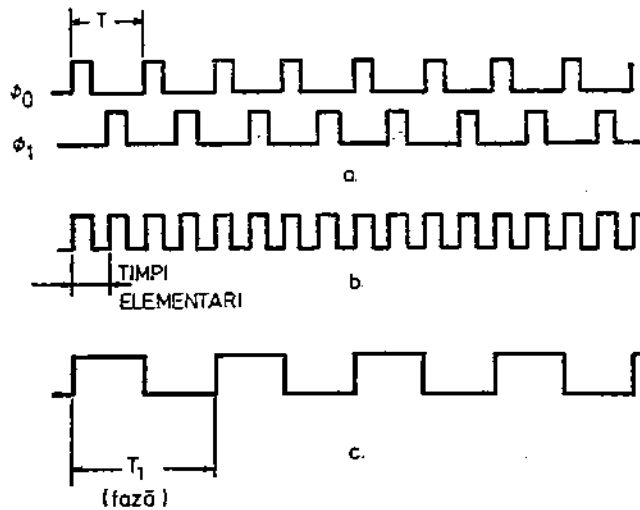
● transmiterea instrucțiunii unității de control, care elaborează și comandă organelor de lucru ale sistemului, comenzile pentru executarea ei.

După ce o instrucțiune s-a executat, un proces identic cu cel descris mai sus se repetă pentru instrucțiunea următoare, a cărei adresă se găsește în numărătorul de program, și așa mai departe.

Etapele menționate se realizează în ritmul unor impulsuri de tact. În funcție de complexitatea instrucțiunii, executarea ei necesită un număr mai mare sau mai mic de semnale de tact.

În figura 26.6. se prezintă forma semnalelor de tact în ritmul cărora lucrează microprocesorul. În general aceste tacturi sunt furnizate microprocesorului sub forma a doua semnale periodice Φ_0 și Φ_1 (figura 26.3. a), de aceeași perioadă T , decalate (figura 26.6. a), a căror succesiune, în timpi elementari, este dată în figura 26.6. b

Etapele în ritmul cărora se execută instrucțiunile de către microprocesor, sunt determinate de un tact generat de microprocesor, mult mai lent decât tactul elementar (figura 26.6 b), numit tact de sincronizare (figura 26.6 c); fiecare perioadă a tactului de sincronizare constituie o fază sau o stare (state).

Fig. 26.6. Semnale de tact pentru sincronizarea funcțiunii μP .

Timpul în care se realizează o instrucțiune (căutare-execuție) constituie un ciclu de execuție (figura 26.7) sau ciclu de mașină.

Așa cum s-a arătat mai înainte durata unui ciclu de execuție variază în funcție de tehnologia de realizarea a microprocesorului (MOS, bipolar) între câteva sute de nanosecunde și câteva zeci de microsecunde.

Exemplu. În continuarea celor spuse mai sus se prezintă sub formă de exemplu o operație de adunare.

Se presupune că programul înscris în memorie este cel menționat în tabelul 26.3. De asemenea se presupune că pe panoul de control se află două butoane: unul notat START (pornește) și celălalt notat STEP (pas). Sistemul funcționează astfel:

● se apasă pe butonul STEP.

Prin aceasta blocul de control aduce INSTRUCTIUNEA la ADRESA 0 (vezi tabelul 26.3),

● se apasă pe butonul START.

În acest caz blocul de control generează un semnal care șterge (CLEAR) registrul PC (numărător de program); acest registru conține adresa instrucțiunii de executat. Ca rezultat, PC este la zero și indică această stare a instrucțiunii prestocate în me-

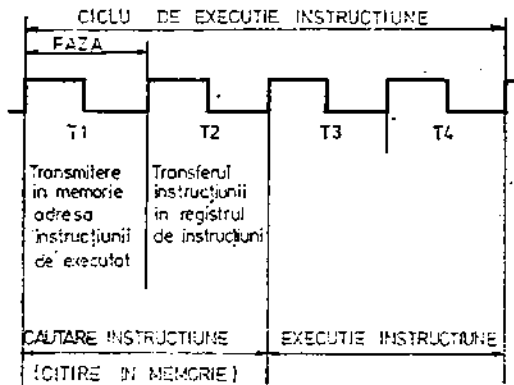


Fig. 26.7. Realizarea unei instrucțiuni în cursul unui ciclu de mașină.

morie la ADRESA = 0; în tabel această instrucțiune se notează „Clear register AC”,

● se apasă butonul STEP. Prin aceasta se comandă aducerea (FETCH) INSTRUCȚIUNII la ADRESA = 0 (vezi tabelul 26.3) și o deplasează în registrul de instrucțiuni IR, INTERPRETEAZĂ INSTRUCȚIUNEA și șterge (CLEAR) AC, crescînd (incrementînd) conținutul registrului PC cu o unitate. Această operație se efectuează în două etape (figura 26.7).

- căutare și interpretare,
- execuție instrucțiune,

Tabelul 26.3. Conținutul memoriei program

Adresa	Conținutul	Clasificare
0	„Clear” register AC	instrucțiune
1	Add data to AC	instrucțiune
2	2	data
3	Add data to AC	instrucțiune
4	8	data
5	Store content of AC to the memory at address 6	instrucțiune

● se apasă butonul STEP. La această comandă, se aduce (ADD) data de la ADRESA-2 cu conținutul registrului AC (acumulator) prin intermediul UAL, conținutul fiind transferat în registrul AC; în tabel această instrucțiune se notează „ADD data to AC”,

● se apasă butonul STEP. Prin aceasta se efectuează operația aritmetică „2” plus „8” = „10”, numărul „10” transferîndu-se în registrul AC,

● se apasă butonul STEP. În acest caz blocul de control stochează (store) „10” în memorie la ADRESA = 6.

Se menționează că în cazul în care în locul apăsării succesive pe butonul STEP, se utilizează o secvență de semnale de tact operațiunea menționată se realizează automat.

26.4. Clasificarea instrucțiunilor

Setul de instrucțiuni al unui microprocesor * poate fi clasificat după funcțiunile lor în următoarele subgrupe mari;

● *instrucțiuni de transfer* (Register transfer instructions). Aceste instrucțiuni fac ca blocul de control să genereze semnalele de control pentru a

* În general nu există două tipuri de microprocesoare care să aibă același set de instrucțiuni.

deplasa conținutul dintr-un registru în altul. Acest tip de instrucțiune specifică adresele registrului inițial și registrului de destinație. Unul din registre poate fi un cuvânt în memorie sau în interfața intrare/ieșire. O instrucțiune tipică din această categorie se poate scrie `MOV r1, r2` și specifică transferul conținutului registrului `r2` în registrul `r1`,

● *instrucțiuni aritmetice și logice*. Aceste instrucțiuni fac ca microprocesorul să realizeze operații aritmetice (adunare, scădere) sau logice (`AND`, `OR`, complement, comparație etc.) operații asupra datelor din registrul `AC` cu date dintr-un alt registru sau memorie. Aceste instrucțiuni manipulează sau modifică date. Un exemplu de astfel de instrucțiune este `ADD r` și specifică adunarea conținutului acumulatorului (`AC`) cu conținutul unui registru `r`,

● *instrucțiuni de ramificare* (`skip`, `jump` or `branch instructions`). Au rolul de a efectua salturi, apel și revenire,

● *instrucțiuni pentru control*. Acestea sînt destinate comunicării cu echipamentele sistemului; ele sînt de tipul `HALT` (oprire), `WAIT` (așteptă), `STOP`.

Reprezentarea sau codificarea setului de instrucțiuni. Pentru a furniza microprocesorului o serie de „sarcini” de executat, este necesar un set de instrucțiuni mai extins și mai flexibil decît ceea ce s-a reprezentat în tabelul 26.3). Lucrul acesta este cu atît mai mult necesar cu cît: 1) este cunoscut faptul că microprocesorul nu răspunde decît la o simplă înșiruire de „1” și „0”, iar 2) utilizarea unui set de instrucțiuni reprezentat simbolic este comodă pentru personalul de deservire.

Rezultă că fiecare microprocesor are un set de instrucțiuni bine definit, care este codificat în binar tot așa cum alfabetul este o reprezentare simbolică pentru utilizator (om).

În tabelul 26.4. se prezintă o parte (numai cu titlu de exemplu) a setului de instrucțiuni al microprocesorului Intel 8080.

Tabelul are trei coloane:

- prima coloană prezintă instrucțiunile sub formă de „mnemonic” *, care este o prescurtare, pentru programator a unor termeni în limba engleză,
- a doua coloană, descrie modul de executare al mnemonicelor,
- a treia coloană reprezintă limbajul mașinii codificat binar.

De obicei proiectantul va pregăti programul ce trebuie stocat în memorie pe o coală de hirtie sub formă de mnemonice, apoi îl translatează în limbaj binar pentru a fi introdus în memoria sistemului.

Este necesar ca la alegerea unui microprocesor, utilizatorul să cunoască setul său de instrucțiuni după care, folosind acest set să realizeze sistemul dorit.

* Un simbol format din două la patru caractere.

Tabelul 26.4. Reprezentarea unei părți a setului de programe al $\mu P 3030$

Mnemonic	Descriere	Codul instrucțiunii							
		D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
MOV r_1, r_2	Move register to register	0	1	0	0	0	S	S	S
MOV M, r	Move register to memory	0	1	1	1	0	S	S	S
MOV r, M	Move memory to register	0	1	0	0	0	1	1	0
HLT	Halt	0	1	1	1	0	1	1	0
MVI r	Move immediate register	0	0	0	0	0	1	1	0
MVIM	Move immediate memory	0	0	1	1	0	1	1	0
INR r	Increment register	0	0	0	0	0	1	0	0
DCR r	Decrement register	0	0	0	0	0	1	0	1
INRM	Increment memory	0	0	1	1	0	1	0	0
DCFM	Decrement memory	0	0	1	1	0	1	0	1
ADD r	Add register to A	1	0	0	0	0	S	S	S
ADC r	Add register to A with carry	1	0	0	0	1	S	S	S
SUB r	Subtract register from A	1	0	0	1	0	S	S	S
SBB r	Subtract register from A with borrow	1	0	0	1	1	S	S	S
—		—	—	—	—	—	—	—	—
—		—	—	—	—	—	—	—	—
—		—	—	—	—	—	—	—	—

26.5. Microsisteme cu microprocesor

Gradul înalt de tehnicitate la care s-a ajuns în acest domeniu se reflectă și prin independența diferitelor tipuri de microsisteme cu microprocesoare. Așa de pildă, printre variantele constructive larg utilizate amintim în principal, microsistemele realizate cu microprocesoarele 8080 INTEL, 6800 MOTOROLA, 2650 SIGNETICS

Pentru ilustrare și edificare figura 26.8 a prezintă un microsistem realizat cu microprocesorul 8080 INTEL, care cuprinde următoarele blocuri componente:

- circuitul generator al semnalelor de tact, de tipul INTEL 8224. Acest circuit conține un oscilator controlat de un cuarț exterior, un numărător divizor și o serie de porți logice. În microsistem are următoarele funcții:

- generează semnalele Φ_1 și Φ_2 ,
- generează semnalul STB, strob; acest semnal provine din semnalul de sincronizare, SYNC, furnizat de microprocesor și se formează la începutul fiecărui ciclu mașină și acționează direct asupra modului 8228;
- generează semnalul RESET, al cărui rol este de a aduce microprocesorul la starea inițială, ori de câte ori sistemul este pus sub tensiune;
- modulul de comandă bus, INTEL 8228; de menționat că acest circuit, pe lângă funcția de amplificare, generează toate semnalele necesare pentru a conecta în microsistem circuitele de memorie ROM și RAM, precum și circuitele de interfață cu perifericele.

În figura 26.9 se prezintă un microsistem cu microprocesorul 6800 MOTOROLA. Acest microsistem este format din șase module funcționale și anume:

- Microprocesorul MC 6800,
- Memoria ROM, MC 6830, de 1024×8 biți,
- Memoria RAM, MC 6810 de 128×8 biți,
- Circuite de interfață de tipul:
 - PIA (Peripheral Interface Adapter), 6820, circuit care permite interfața în paralel pe 8 biți,
 - ACIA (Asynchronous Communications Interface Adapter), MC 6850, circuit care efectuează conversiunea serie/paralel a interfeței, fiind utilizat pentru periferice de tipul modem, teleimprimator, imprimantă.
 - generatorul de tact, furnizează cele două semnale de tact necesare executării secvențiale a programului.

În condițiile actuale ale revoluției informatice, concomitent cu tehnologia și funcționalitatea programelor de calcul o mare actualitate pentru specialistul electronist o prezintă cunoașterea formelor, sub care se comercializează elementele componente ale unui microsistem cu microprocesor.

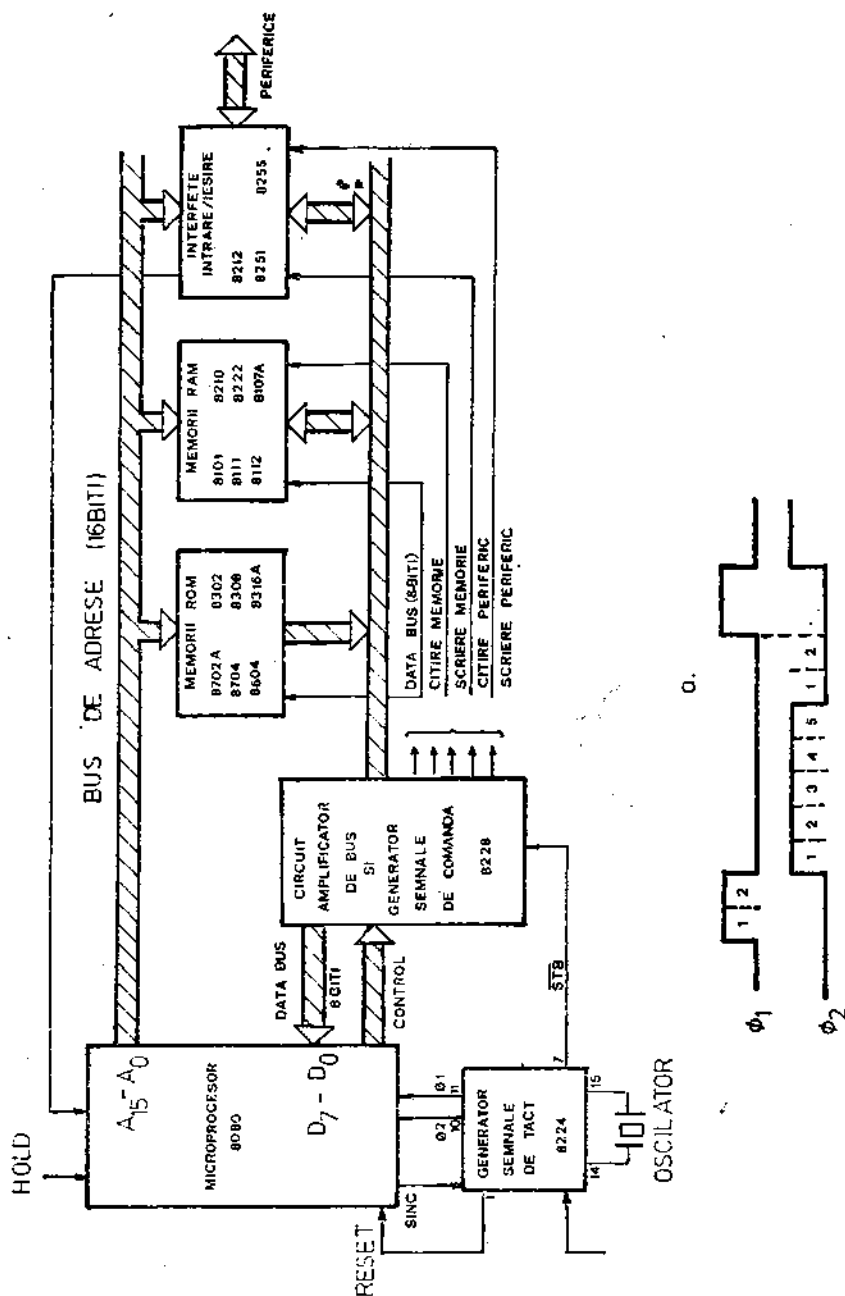
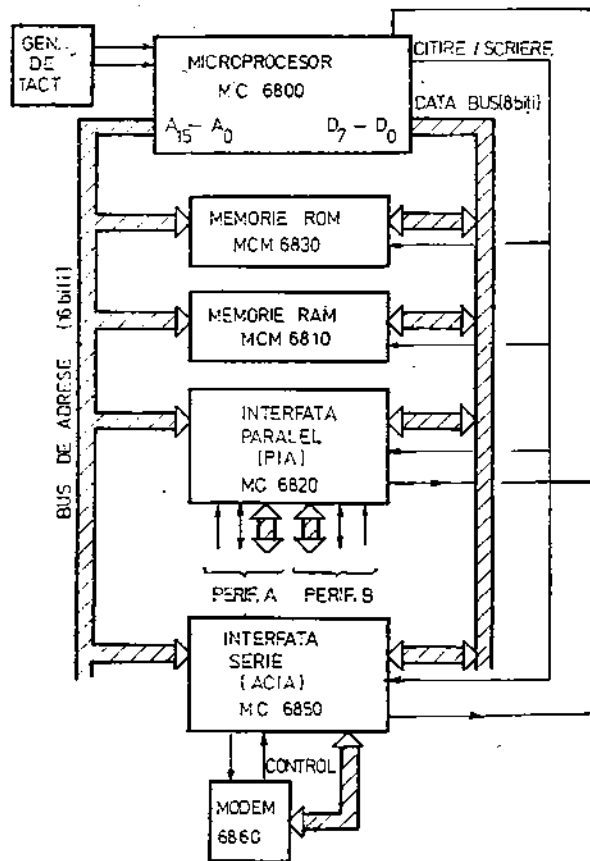


Fig. 26.8. Microsistem realizat cu pP 8080.

Fig. 26.9. Microsistem realizat cu μP 6800.

Prin rețeaua comercială, în mod curent, pot fi achiziționate separat toate modulele ce pot fi conectate cu microprocesorul cu ajutorul cărora electronistul poate realiza microsistemul pe un cablaj imprimat realizat chiar de el.

Pentru a ușura folosirea numeroaselor module componente fabricanții de microprocesoare propun utilizatorilor electroniști două moduri de procurare a elementelor cu ajutorul cărora să realizeze microsisteme cu microprocesor și anume:

- **Kitul.** Acest mod de prezentare este destinat în primul rînd pentru studiul microprocesorului respectiv.

Kitul se prezintă sub forma unei plăci de cablaj imprimat pe care pot fi dispuse modulele de bază și anume: microprocesorul memoriei semiconductoare, interfațe pentru unul sau mai multe periferice, cum ar fi consola, cititorul de bandă etc.

Cu ajutorul Kitului pot fi realizate programe și aplicații simple ca de exemplu automatizarea unor procese tehnologice, testarea parametrilor unor componente electronice etc.

În prezent se comercializează astfel de Kituri pentru micro procesoarele 8080 INTEL, 6800 MOTOROLA, 2650 SIGNETICS, F8 FAIRCHILD etc.

● Microsistem complet. Pentru un microprocesor dat este de preferat să se utilizeze ansamblul complet de blocuri pentru a forma un microsistem cu posibilități multiple de funcționare (interfață cu mai multe periferice în special cu memorii externe, ca de exemplu discuri și benzi magnetice și programare de utilizator).

27. Dispozitive optoelectronice

27.1. Introducere

Concomitent cu avântul electronicii asistăm la un proces continuu de dezvoltare a optoelectronicii a cărei caracteristică principală rezidă în utilizarea cuplajului prin fascicule luminoase între o sursă de lumină și un element sensibil la variațiile de iluminare. Acest tip de cuplaj oferă o serie de avantaje, considerabile în comparație cu cuplajele electrice directe utilizate până în prezent (de exemplu cuplaje galvanice, cuplaje prin condensatoare, cuplaje prin transformatoare etc), ca de exemplu:

- creșterea capacității de informații ce pot fi recepționate pe canalele optice, datorită frecvenței foarte mari a radiației luminoase* ($f = 10^{13} - 10^{15}$ Hz), de $10^3 - 10^6$ ori mai mare decât frecvențele maxime utilizate în radio-tehnică; încă de pe acum se pune întrebarea dacă nu cumva în viitor lumina nu va înlocui electricitatea în domeniul teletransmiterii de informații,

- posibilitatea de modulare a fasciculului luminos, oferă căi nebanuite pentru prelucrarea și transmiterea în paralel a informațiilor,

- utilizarea în optoelectronică, pentru transmiterea informațiilor, a fotonilor (particule neutre din punct de vedere electric) oferă cuplaje electrice fără contacte (mecanice și electrice), ideale din punct de vedere al constructorului de echipamente electronice. Optoelectronica oferă astăzi, ceea ce tehnica tranzistoarelor și a circuitelor integrate nu a putut realiza: rezolvarea problemei microminiaturizării componentelor electronice pasive tradi-

* De exemplu un fascicul laser ce poate purta un semnal cu o lungime de bandă de 100.000 MHz ar putea transporta o cantitate de informații echivalentă cu cea transmisă de toate canalele de comutații radio existente în prezent.

ționale ca transformatoarele de impulsuri, releele, cablurile, potențioetrele, conectoarele etc, prin realizarea de componente (optoelectronice) specifice, fără contacte mecanice mobile, cu volum mic, cu preț de cost redus și cu mare siguranță în funcționare.

Optoelectronica va constitui în țara noastră în viitorul apropiat o industrie nouă și importantă, care va afecta în mod deosebit industria de calculatoare electronice prin realizarea de memorii optice cu densitate foarte mare de stocare a informațiilor, industria grafică (în cadrul căreia se vor realiza echipamentele de copiat, de imprimat etc), telecomunicațiile (dispozitivele optoelectronice integrate și utilizarea fibrelor optice în telecomunicații vor contribui în primul rând la reducerea dimensiunilor canalelor de transmitere a datelor și la economii de materiale), precum și dezvoltarea industriei componentelor optoelectronice.

Un sistem (practic) optoelectronic se compune dintr-o sursă/generator de lumină (laser, diodă electroluminiscentă etc.) și dintr-un receptor de lumină (fotodiodă, fototranzistor etc).

Optoelectronica se bazează pe dispozitivele care realizează una din următoarele funcții:

— transformă direct energia electrică în radiația electromagnetică (a cărei lungimi de undă se află în domeniul spectrului vizibil și infraroșu); componentele electronice caracteristice pentru acest gen de transformare sînt diodele electroluminiscente,

— transformă direct radiația electromagnetică în energie electrică; componentele specifice acestui mod de funcționare sînt celulele solare, dispozitivele fotovoltaice etc,

— detectează radiația electromagnetică; componentele electronice care îndeplinesc această funcție sînt tuburile fotoelectronice, fotodioda, fototranzistorul etc.

27.2. Surse de lumină

Sursele de lumină folosite în optoelectronică sînt foarte diferite. În cele ce urmează vor fi prezentate două categorii de surse și anume: laserele și diodele semiconductoare electroluminiscente.

27.2.1. Laserul *

Laserul este un generator și amplificator de lumină care lucrează în domeniul lungimilor de undă corespunzătoare spectrului vizibil. În funcție de mediul în care se formează fasciculul laser, se deosebesc lasere cu gaze și lasere cu semiconductori; laserele cu gaze avînd dimensiuni mari față de

* Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER) — amplificator de lumină prin emisie stimulată de radiații (engl).

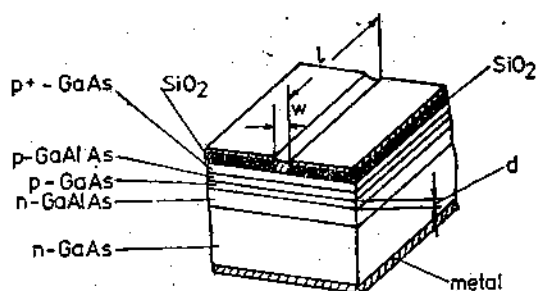


Fig. 27.1. Laser cu semiconductori de tipul GaAs-GaAlAs.

cele cu semiconductori (raport de gabarit 1/10—1/100), nu sînt răspîndite în optoelectronică. Primul laser, realizat în 1960, era format dintr-o bară de rubin (lungime 4 cm, diametru 0,5 cm) impurificat 0,05% cu crom. Capetele barei le aveau argintate, unul pînă la opacitate completă, celălalt pînă la o transparență 4%. Bara de rubin este introdusă în lungul unui tub cu descărcare în

gaze (neon sau amestec neon-crypton) care emite lumină verde, întregul ansamblu fiind introdus într-un cilindru acoperit cu un strat reflectant de oxid de magneziu (are rol de rezonator multiplicator optic). Sub acțiunea radiației verzi, ioni de impuritate de crom sînt excitați, emițind radiații luminoase; datorită reflexiilor succesive suferite de radiația luminoasă pe extremitățile reflectante ale barei de rubin, intensitatea emisiei stimulate (fascicul laser) crește.

Primele tipuri de lasere lucrau sub formă de impulsuri cu durata de 1 milisecundă și aveau puterea de impuls de pînă la 1 KW. Ulterior s-au obținut pulsuri mult mai puternice (pînă la 50 MW), prin modificarea dimensiunilor și formei cavității rezonante.

În figura 27.1 se prezintă structura unui laser cu semiconductori de tipul GaAs-GaAlAs. În acest caz rolul de rezonator optic este preluat de suprafețele structurii perpendiculare pe joncțiunea p-n, lustruită oglindă; fasciculul laser se stimulează, prin injectarea unui curent în joncțiunea p-n. Intensitatea fasciculului laser (puterea lui de iradiere) de acest tip depinde de suprafața regiunii active ($w \times L$).

27.2.2. Dioda electroluminiscentă

Dioda electroluminiscentă (LED) *, reprezintă o joncțiune p-n polarizată direct, realizată dintr-un material semiconductor compus, de exemplu GaAs, GaAsP etc. În funcție de tipul structurii și de impuritățile folosite (figura 27.2 a, b) se poate obține o radiație luminoasă care să aibă maximul situat la o anumită lungime de undă (deci o anumită colorație).

În aplicații practice dioda electroluminiscentă este utilizată ca indicator de lumină; în acest caz schema de montaj în circuit este dată în figura 27.3 a, pentru alimentare în curent continuu și în figura 27.3 b pentru alimentarea în curent alternativ. Din figură rezultă și modul de calcul ale rezistenței serie de limitare a curentului prin diodă.

* Light Emitting Diode (LED) — diodă emițătoare de lumină (engl.).

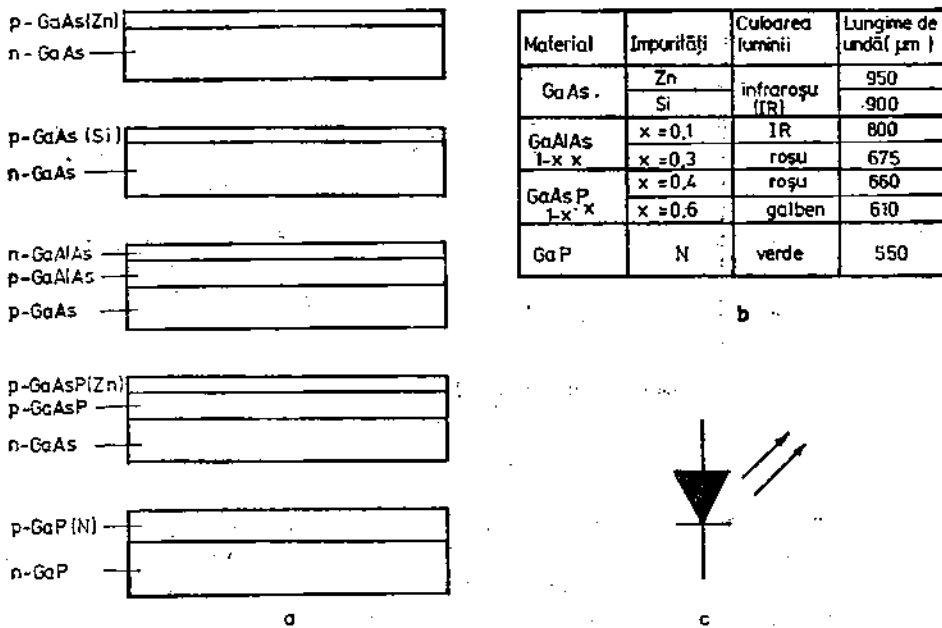


Fig. 27.2. Modul de realizare a joncțiunilor diodelor electroluminiscente (a) caracteristicile lor spectrale (b) și simbolul utilizat în schema (c).

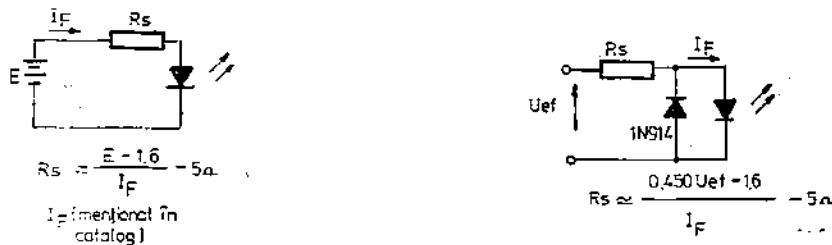


Fig. 27.3. Circuite de alimentare a diodei electroluminiscente: a — în curent continuu; b — în curent alternativ.

Parametrii principali ai diodelor electroluminiscente sînt:

- luminozitatea diodei, măsurată în candel/m², definită la curentul direct maxim (valori tipice cuprinse în intervalul 10–15 cd/m²);
- tensiunea continuă directă, definită la curentul direct maxim admis (valori tipice 1,6–4 V). În figura 27.4. a se prezintă caracteristica directă $U-I$ a unei diode electroluminiscente, iar figura 27.4 b) circuitul său echivalent. Faptul că această diodă prezintă o rezistență serie echivalentă mică și o tensiune de deschidere relativ ridicată, face posibilă utilizarea acestei

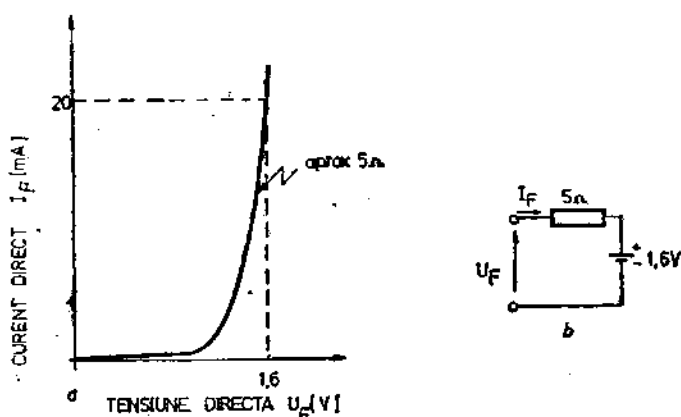


Fig. 27.4. Caracteristica directă a diode electroluminiscente (a) și schema echivalentă (b).

diode în unele aplicații, ca de exemplu tensiune de referință (relativ stabilă) la tensiuni mai mari de 0,7 V (valoarea caracteristică diodelor cu siliciu)

- puterea totală de iradiere (cuprinsă în limitele 0,5–2 mW),
- tensiunea inversă maximă (valori tipice, 5–20 V).

27.3. Dispozitive fotoreceptoare

Sînt dispozitive * care transformă semnalele luminoase în semnale electrice. Dată fiind importanța lor pentru optoelectronică, în acest paragraf se vor prezenta în special dispozitivele realizate (unele și la ICCE-București), prin tehnologia siliciului.

27.3.1. Fotodioda

Este o joncțiune $p-n$ de construcție specială, polarizată invers, al cărui curent electric variază sub influența radiației luminoase incidente. În figura 27.5 a, se prezintă o structură de fotodiodă realizată după cum urmează: pe o față a unei plăchete de siliciu de mare rezistivitate (2–20 $K \Omega \text{ cm}$) se crește un strat epitaxial de mică rezistivitate n^+ (0,002 $\Omega \text{ cm}$) gros de 30–50 μm . Apoi, cealaltă față a plăchetei se șlefuieste pînă cînd grosimea materialului de mare rezistivitate ajunge la 50–60 μm ; pe această față a plăchetei se crește un strat epitaxial p^+ gros de 2–4 μm . Placheta se oxidează și prin fotomascare se realizează ferestre pentru contactul pe stratul

* Din această categorie mai fac parte și tubul fotoelectronic cu vid, tubul fotoelectronic cu gaz și fotoamplificatorul.

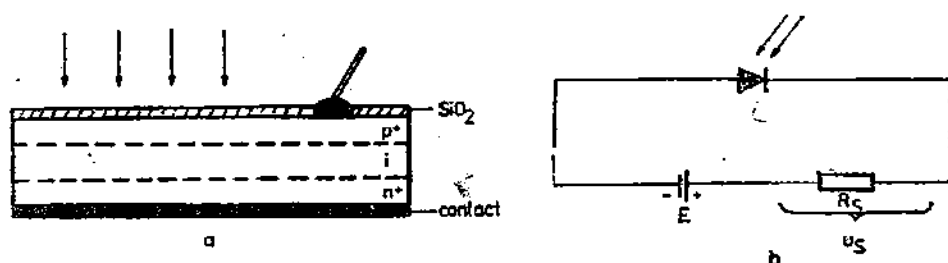


Fig. 27.5. Structură de fotodiodă (a) și montarea ei în circuite (b).

p^+ . După metalizare, structura se închide într-o capsulă căreia i se montează un capac cu fereastră.

Schema de conectare a fotodiodei în circuite este dată în figura 27.5 b, iar simbolul său în figura 27.2 c; tensiunea sursei de alimentare se aplică fotodiodei în sens invers direcției. Când fotodioda nu este luminată, prin circuit trece curentul invers al joncțiunii $p-n$, numit curent de întinerie (valoarea acestui curent este de ordinul zecilor de microamperi la fotodiode cu germaniu și sub un microamper la fotodiode cu siliciu). La iluminarea fotodiodei curentul electric în circuitul ei exterior crește. La alegerea corectă a rezistenței de sarcină R_s și a tensiunii sursei de alimentare E , acest curent depinde numai de iluminarea diodei. În acest caz căderea de tensiune (pe rezistența de sarcină, proporțională cu intensitatea luminii), poate fi folosită pentru comanda prin intermediul luminii a unor circuite electrice.

Se menționează că fotodioda poate fi conectată în schema și fără sursă de alimentare; în acest caz ea funcționează ca fotoelement sau fotocelulă, sau celulă solară. Tensiunea pe care poate să o furnizeze în acest caz este, în gol, 0,6 V, scăzând în sarcină la 0,4–0,5 V; mărimea curentului debitat în acest caz depinde de suprafața diodei. Legat de aceste fotocelule, se remarcă faptul că în prezent se realizează baterii de fotoelemente cu diametrul de 100 mm, dispuse în serie și paralel, care furnizează 16 W la 8 V sau 33 W la 15 V.

Principalii parametri ai unei fotodiode sînt:

- sensibilitatea, definită prin raportul dintre curentul electric I prin diodă (numit și fotocurent) și intensitatea luminii Φ , $S = I/\Phi$,
- tensiunea de lucru, definită ca tensiunea aplicată fotodiodei pentru care se asigură parametrii nominali ai diodei în funcționare de lungă durată, în condiții de exploatare date,
- curentul de întinerie, definit ca fiind curentul care trece prin fotodiodă la o tensiune de lucru dată, în absența intensității luminoase.

27.3.2. Fototranzistorul

Fototranzistorul este un dispozitiv optoelectronic cu trei straturi și două joncțiuni $p-n$, care are proprietatea de a amplifica fotocurentul datorită unui flux luminos, ce cade pe una din cele trei regiuni ale sale: regiunea bazei, a emitorului sau a colectorului.

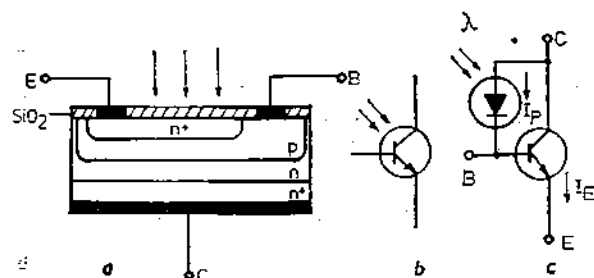


Fig. 27.6. Fototranzistor (a), reprezentare în schema (b) și schema echivalentă (c).

Fototranzistorul se realizează prin tehnologia planară; în figura 27.6 este dată structura sa, împreună cu reprezentarea simbolică și schema echivalentă.

Fototranzistorul poate fi legat în scheme cu două borne, baza rămânând liberă ($I_B = 0$), sau cu trei borne asemănător cu un tranzistor obișnuit.

În primul caz, la iluminarea bazei, în dispozitiv se crează electroni și goluri libere; în cazul tranzistorului $n-p-n$, în bază electronii sînt purtători de sarcină minoritari, fiind antrenati în cimpul joncțiunii colectorului și contribuind la creșterea curentului de colector, deci a curentului electric în circuitul exterior tranzistorului. Purtătorii de sarcină majoritari din bază, golurile creează o sarcină spațială care reduce bariera de potențial a joncțiunii emitorului; prin aceasta tot mai mulți electroni din emitor trec în bază și apoi în colector ceea ce contribuie în și mai mare măsură la creșterea curentului de colector ce trece prin rezistența de sarcină. În felul acesta, chiar și în cazul cînd fluxul luminos ce cade pe bază este redus, curentul de colector este suficient de mare, rezultînd deci o mare sensibilitate a fototranzistorului (de ordinul sutelor de miliamperi pe lumen). Ua astfel de fototranzistor se deosebește de fotodiodă numai prin sensibilitatea mult mai mare pe care o are.

Fototranzistoarele care dispun de trei terminale, au posibilități suplimentare de utilizare, deoarece, pe intrarea lor (bază), pe lângă fluxul luminos poate fi aplicat și un semnal electric.

O variantă constructivă a fototranzistorului este așa numitul fotodarlington, a cărui schemă de principiu și schemă echivalentă sînt date în figura 27.7. Aceste dispozitive, realizate în aceeași capsulă se caracterizează printr-un factor mare de amplificare ($h_{FE} = 10^3 - 10^5$).

Parametrii principali ai fototranzistorului sînt:

- curentul de întuneric, este curentul prin fototranzistorul neluminat, la tensiunea de lucru nominală (valori tipice pentru fototranzistoare sînt în jurul a câțiva microamperi; aceste valori sînt sensibil mai mari în cazul fotodarlingtonului),

- sensibilitatea, reprezintă raportul dintre curentul ce trece prin fototranzistor cu tensiunea de lucru aplicată și fluxul luminos (valori tipice cuprinse în intervalul 100—1000 mA/lumen, sensibil mai mari în cazul fotodarlingtonului),

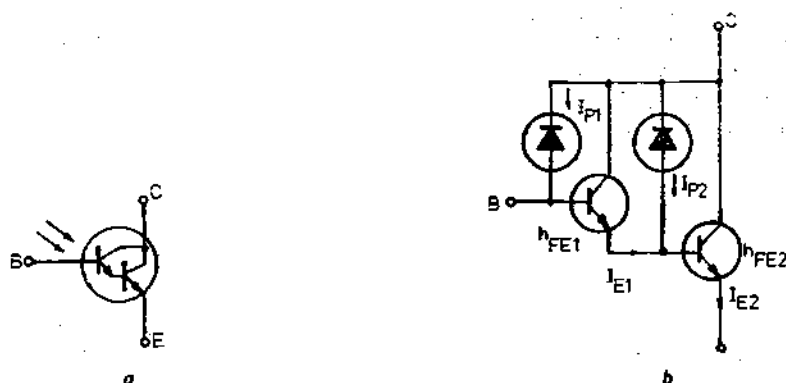


Fig. 27.7. Fotodarlington (a) și schema lui echivalentă (b).

- puterea de disipație, este puterea disipată pe un tranzistor în condiții de exploatare îndelungată,
- curentul prin fototranzistor în condiții de iluminare, este curentul prin fototranzistorul iluminat, la bornele cărui este aplicată tensiunea de lucru nominală (pentru fototranzistoare acest curent este de ordinul zecilor de miliamperi).

27.3.3. Fototiristorul

Fototiristorul este un tiristor a cărei conducție se realizează ca urmare a acțiunii unei radiații luminoase aplicate din exterior pe regiunea bazei structurii. În figura 27.8 se prezintă structura, simbolul, schema echivalentă și caracteristica sa $I-U$.

Fiind un dispozitiv capabil să comute curenți și tensiuni mari, fototiristorul are un câmp larg de aplicații:

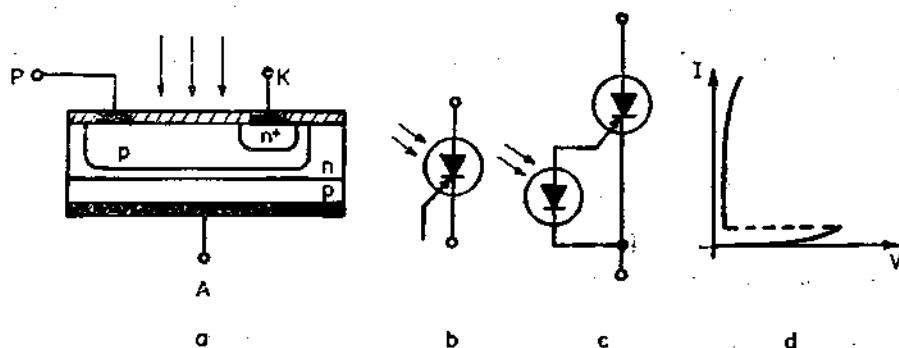


Fig. 27.8. Fototiristor:

a — Structură; b — reprezentare simbolică; c — Schema echivalentă; d — caracteristică voltamperică.

— în domeniul curenților „tari“, fototiristoarele se utilizează pentru comanda fără contacte a redresoarelor și convertoarelor de putere, controlul liniilor de înaltă tensiune etc,

— în domeniul curenților „slabi“ se utilizează în special proprietatea pe care o are fototiristorul de a-și menține starea de conducție după îndepărtarea sursei de lumină (prezența memoriei).

27.4.4. Alte dispozitive fotoreceptoare

În electronică se utilizează și alte componente fotosemiconductoare, unele realizate cu ani în urmă (fotorezistorul), altele foarte moderne, ca de exemplu fotovaricapul, fototranzistorul cu efect de cimp etc.

Dioda fotovaricap. Este un dispozitiv fotoelectronic care permite transformarea energiei luminoase în semnal electric prin intermediul variației capacității sale și amplificarea parametrică a acestui semnal. Variația capacității fotovaricapului, sub influența luminii este similară cu variația capacității unei joncțiuni $n-p$ sub acțiunea unei tensiuni electrice aplicate. Fotodiodele varicap se realizează fie din siliciu, fie din GaAs.

Dispozitive cuplate prin sarcină fotosensibile. Sunt componente electronice care într-un viitor apropiat vor rezolva problema înlocuirii tubului catodic captor de imagini (tubul vidicon) utilizat în televiziune printr-un sistem de elemente semiconductoare. Aceste dispozitive, a căror principiu de funcționare a fost descris mai înainte prezintă o mare sensibilitate, consum redus de energie, (practic numai în timpul cind sînt baleiate de fasciculul de lumină), frecvență de tact mare (ceea ce le permite să înmagazineze o cantitate mare de informații) și se realizează relativ ușor.

Fotorezistoare. Fotorezistoarele sînt constituite din benzi semiconductoare a căror rezistență electrică se modifică sub acțiunea luminii. Materialele cele mai utilizate pentru elementul semiconductor sînt PbS; PbSe; CdS.

Principalele caracteristici ale fotorezistoarelor sînt:

— sensibilitatea; este valoarea medie a raportului dintre fotocurent și fluxul luminos incident, la tensiunea de lucru aplicată fotorezistorului,
— rezistența la întuneric; este rezistența dispozitivului neluminat la $t_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$.

Fotorezistoarele se utilizează ca traductoare fotoelectrice într-o gamă largă de aplicații.

27.5. Elemente de afișare

27.5.1. Elemente de afișare cu semiconductoare

În elementele de afișare cu semiconductoare (cu diode electroluminiscente) se utilizează două configurații de bază; configurația cu șapte segmente (figura 27.9 a) care permite realizarea celor zece cifre și unele litere (indica-

tor cifric) și configurația matricială (figura 27.9 b) cu un număr de 36 de puncte ($7 \times 5 + 1$), cu care se obțin toate cifrele, literele și semnele (indicator universal alpha-numeric sau hexazecimal).

Elementele de afișare de dimensiuni mici (exemplu seria multidigit cu șapte segmente ROL81 realizată la ICCE, înălțimea unei cifre 2,79 mm) utilizează tehnologia monoclitică.

Elementele de afișare de dimensiuni mari (exemplu seria cu șapte segmente ROL 77 realizată la ICCE — dimensiunile unei cifre fiind 7,6 mm), utilizează o tehnologie hibridă, în cadrul căreia se realizează dispunerca pe un suport special din ceramică (figura 27.10) a structurilor individuale de diode electroluminiscente. Pentru creșterea gradului de luminozitate, diodele se dispun ca în figura 27.11, folosind o serie de suporturi conice, realizate din material plastic, pereții interiori ai acestor suporturi se metalizează iar în partea lor superioară se dispun lentile din masă plastică, pentru a le uniformiza strălucirea.

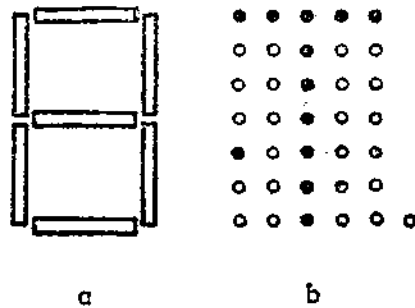


Fig. 27.9. Sistem de afișare cu șapte segmente (a) și sistem universal matricial (b).

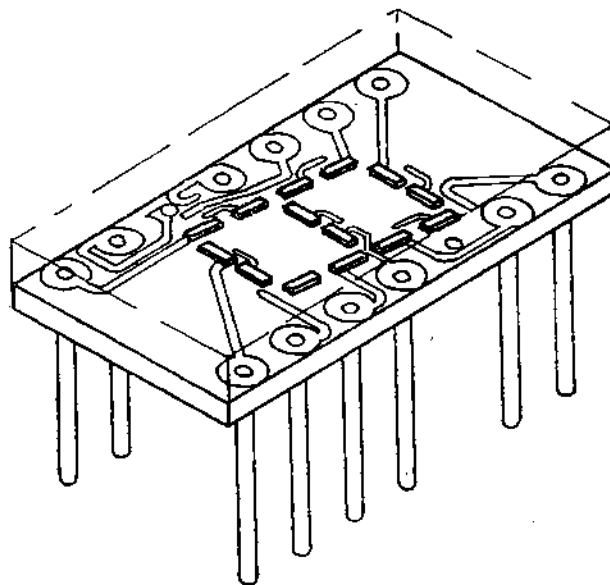


Fig. 27.10. Mod de dispunere a cipurilor cu diode electroluminiscente într-un element de afișare cu șapte segmente.

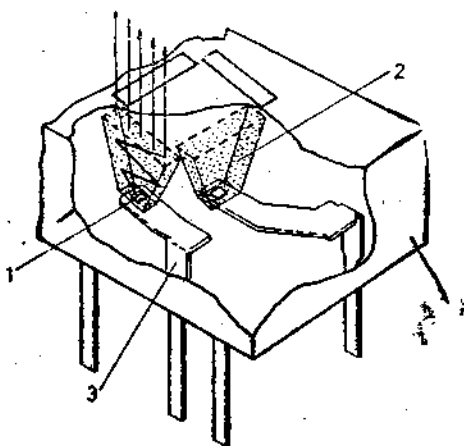


Fig. 27.11. Sistem de încapsulare a unui afișor cu diode electroluminiscente:

1 — diodă electroluminiscentă; 2 — suport conic special; 3 — suport metalic; 4 — corp din material plastic.

27.5.2. Elemente de afișare cu cristale lichide

Alături de materialele semiconductoare, cristalele lichide (LCD) * s-au impus în tehnologia componentelor electronice.

Spre deosebire de un cristal solid (obișnuit) „cristalul lichid“ este un lichid anizotrop care se află în stare intermediară (numită mezofază sau mezomorfază) situată între starea solidă, caracteristică unui cristal solid, și cea lichidă, caracteristică unui lichid normal, izotrop. Cristalele lichide sînt formate din molecule organice, aparținînd unor compuși organici ușor de sintetizat pe cale chimică. Un cristal lichid curge și poate lua forma vasului în care este pus, dar moleculele sale sînt așezate una față de alta într-un mod care amintește ordinea dintr-o rețea cristalină ceea ce îi conferă proprietăți utile cînd trece lumina prin el.

În ultimii ani sistemele de afișare cu cristale lichide se utilizează tot mai mult și în special în ceasurile digitale și calculatoarele de buzunar, unde ele au devenit un concurent serios pentru sistemele de afișare cu diode electroluminiscente.

Necesitînd tensiuni reduse de alimentare și consumuri foarte mici de energie, ele asigură durate mari de funcționare pentru sursele de alimentare în condițiile unui afișaj permanent.

Fiînd perfect citibile, chiar și în condiții de lumină (solară) totală, afișoarele cu cristale lichide se utilizează și în aparatura de măsurare (în special cea portabilă) și trebuie spus că progresele actuale în domeniul perfecționării lor (extinderea plajei temperaturilor de funcționare, creșterea duratei de viață etc) vor contribui în mod suplimentar la utilizarea acestor afișoare în noi aplicații.

În tabelul 27.1 sînt prezentate cîteva caracteristici ale afișoarelor cu cristale lichide, în comparație cu alte tipuri de afișoare, pentru a scoate în evidență unele dintre avantajele pe care ele le oferă în aplicațiile practice.

* Liquid Crystals Devices (engl.).

Tabelul 27.1. Comparațiile între diverse tipuri de afișare

Tipul Afișorului	Putere consumată	Alimentare	Viteza	Gama de temperatură	Înălțimea cifrei	Durata de viață
Cristal lichid	0,045	1 μ A — 10 V	medie	-10 la + 50	50,8	10 000 — 50 000
Diodă electro-luminescentă	15	5 V — 10 mA	rapid	-55 la + 85	15,4	100 000
Lampă incandescentă	250	4,5V — 2 mA pe segment	rapid	0 la + 65	20,3	50 000 — 200 000
Tub cu descărcare în gaz	275	180V — 2 mA pe segment	rapid	0 la + 65	20,3	100 000 — 200 000
Tub cu descărcare în gaz cu efect de memorie	750	200V — 2 mA pe segment	rapid	0 la + 70	12,7	25 000 — 100 000
Fluorescent	90	18 V — 1,3 mA plus alimentare filament și grila	rapid	0 la + 70	25,4	10 000 — 150 000

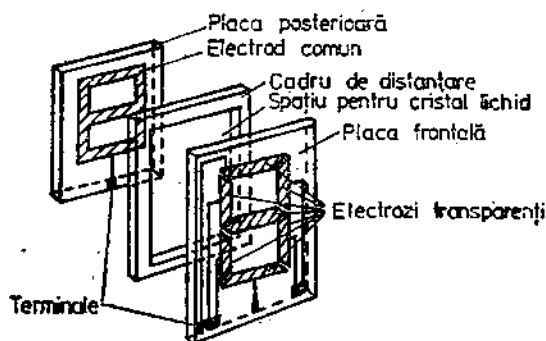


Fig. 27.12. Afișor cu cristale lichide.

În figura 27.12 se prezintă un sistem/celulă de afișare cu 7 segmente cu cristale lichide. El este realizat din două plăci de sticlă plan paralele, cu rol de suport, pe care se depun electrozi transparenti (pelicule subțiri de oxid de indiu sau de oxid de staniu). Între cele două plăci de sticlă se intercalează un cadru de distanțare gros de 10–20 μm . Placa suport frontală are electrozi dispuși sub formă de 7 segmente cu terminale individuale care pot fi introduse într-un conector. Placa de sticlă posterioară are un singur electrod, comun, al cărui contur (suprafață) corespunde cu suprafața formată, de cele 7 segmente depuse pe placa de sticlă frontală. La montare între cele două plăci se introduce cristalele lichide a cărui grosime este delimitată de distanța dintre cele două plăci de sticlă (10–20 μm). Întregul sistem se etanșează cu rășini epoxidice.

27.6. Cuploare optoelectronice

Cuploarele optoelectronice * sînt constituite dintr-o sursă de lumină (de obicei diodă electroluminiscentă) și un receptor/detector de radiații (de obicei fotodiodă, fototranzistor, fototiristor).

În montaje electronice optocuplorul îndeplinește funcția unui element de cuplaj, el permițînd o cale de transfer a semnalelor electrice de la dioda electroluminiscentă, prin intermediul luminii, la fotodetector.

În figura 27.13 a se prezintă schema de realizare a unui optocuplor în care dispozitivul emițător este o diodă electroluminiscentă iar dispozitivul receptor o fotodiodă, iar în figura 27.13 b–f, este dat modul de reprezentare simbolică în schema electrică în funcție de tipul receptorului. Avantajul principal pentru montajele electronice care utilizează optocuplorul, este tensiunea de izolație deosebit de mare între emițător și receptor care are valori curențe de 2000–50000 V.

* Photocoupleur (franceză); optoisolator (engl.), optron (rusă), optische koppler (germană), optocupleare sau fotocupleare (română).

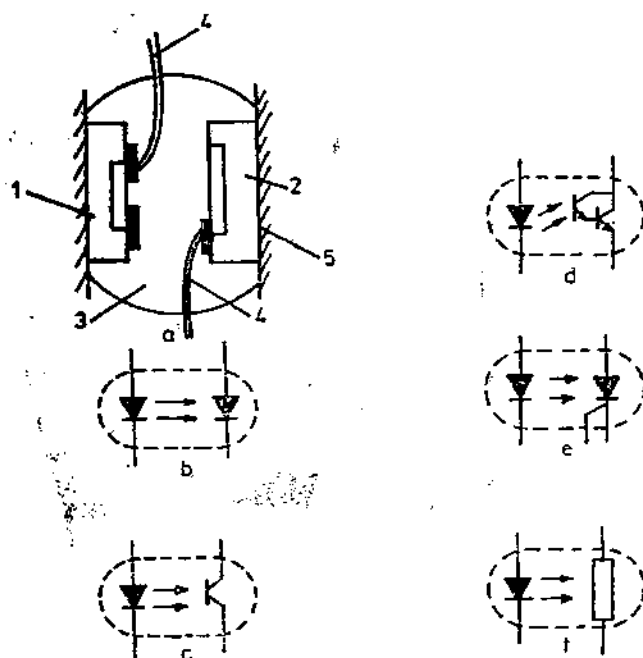


Fig. 27.13. Schema de principiu a unui optocuplor (a) și reprezentarea în scheme electrice (b-f),

b — cu fotodiodă; c — cu fototranzistor; d — cu fotodarlington;
e — cu fotorezistor; f — cu fotorezistor; 1 — emițător; 2 — receptor;
3 — mediu optic; 4 — terminale 5 — capsula.

27.7. Aplicații ale dispozitivelor optoelectronice

Prin combinarea judicioasă a surselor și receptoarelor de radiații prezentate în paragrafele anterioare, pot fi realizate circuite și dispozitive cu caracteristici tehnice noi, cu largi aplicații în construcția de echipamente electronice.

În cele ce urmează vor fi prezentate numai câteva aplicații ale acestor dispozitive în scopul evidențierii posibilităților oferite de ele pentru constructorii de echipamente și circuite electronice.

27.7.1. Aplicații ale fototranzistoarelor *

În figura 27.14 se prezintă două aplicații ale fototranzistorului (ROL 31, ROL 32) în circuite de comutare; în aceste aplicații nu este necesar să se conecteze terminalul bazei tranzistorului, din care motiv rezultă circuite

* Pentru alegerea tipului de fototranzistor cel mai convenabil pentru o aplicație dată, trebuie avute în vedere următoarele caracteristici: 1) sensibilitatea, 2) viteza de răspuns, 3) dimensiunile și tipul capsulei.

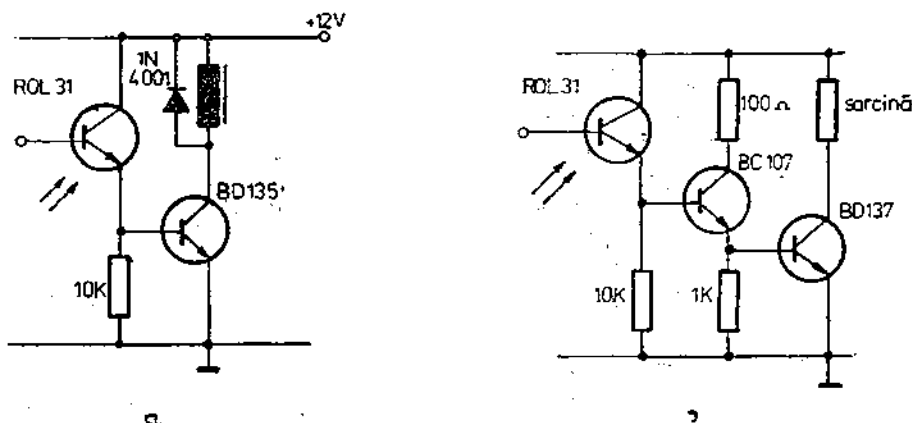


Fig. 27.14. Utilizarea fototranzistorului în circuite de comutare

relativ simple. Parametrii schemei trebuie să se aleagă în funcție de intensitatea luminii și de curentul necesar pentru acționarea releului; la curenti mai mari de acționare ai acestuia se utilizează etaje suplimentare de amplificare (figura 27.14. b). Dioda se utilizează pentru limitarea tensiunii induse de bobina releului cind curentul de colector se întrerupe brusc.

În figura 27.15 se prezintă schema de principiu a unui circuit cu fototranzistor ROL 31, ROL 32, utilizat ca schimbător automat de faze de lumină, de conducătorii auto, în condițiile unui trafic de noapte intens.

Fototranzistorul ROL 31 (ROL 32) plasat în masca din față a automobilului, comandă un circuit de basculare format din tranzistoarele BC 171 și BD 138. În absența luminii, fototranzistorul este blocat, iar tranzistoarele BC 171 și BD 138 sînt saturate, datorită polarizării prin rezistoarele de $22\text{ K}\Omega$ și de $10\text{ M}\Omega$. În această situație prin bobina releului trece curent electric și contactele FL ale acestuia sînt închise menținînd în funcție farurile de fază lungă. La apariția unui fascicul de lumină, mai mare de 0,5 candelă în fața fototranzistorului, acesta intră în conducție blocînd cele două tranzistoare ale schemei schimbînd starea releului, în sensul că circuitul fazei lungi se va

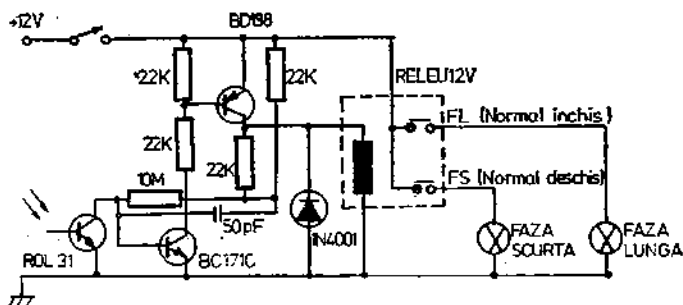


Fig. 27.15. Utilizarea fototranzistorului ROL 31 pentru schimbarea automată a fazelor.

întrerupe și se va forma, prin intermediul contactelor FS ale releului, circuitul fazei scurte. La dispariția fascicului de lumină circuitul revine la starea inițială, caracterizată prin: fototranzistor blocat, tranzistoarele BC 171, BD 138 în saturație, contactele FL ale releului închise, fază lungă aprinsă. Condensatorul de 50 nF împreună cu rezistența de 10 M Ω produc o întârziere de 1,5 sec, pentru a evita schimbările fazelor la semnale luminoase parazite.

27.7.2. Aplicații ale fotodiodelor

În figura 27.16 se prezintă o schemă de măsurare a intensității unui flux luminos folosind o fotodiodă ROL 22 și un circuit operațional ROB 101.

Fluxul luminos care cade pe fotodiodă mărește curentul electric invers prin acesta, curent care în rezistența de 1 M Ω produce o tensiune, care este amplificată de 10 ori de amplificatorul operațional.

În absența luminii se reglează tensiunea „zero” la ieșire astfel: prin variația potențialului de 10 k Ω se fixează polaritatea diodei astfel încât curent rezidual prin diodă să fie egal cu curentul de polarizare al circuitului ROB 101. În această situație tensiunea pe rezistența de 1 M Ω este nulă. Dia potențiometrul de 50 k Ω se reglează offsetul de tensiune al amplificatorului operațional, astfel încât la ieșirea sa tensiunea să fie nulă. Calibrarea se realizează cu ajutorul potențiometrului de 5 k Ω .

În figura 27.17 se prezintă un circuit cu triac comandat prin fotodiodă pentru iluminarea în afara sau în interiorul încăperilor. Dacă lumina cade pe fotodioda FD, aceasta își micșorează rezistența directă și nu permite capacitorului C să se încarce pînă la valoarea de basculare a diacului D. În această situație triacul este blocat și lampa L, este stinsă. Cînd lumina este îndepărtată fotodioda își mărește rezistența, iar tensiunea pe capacitorul C poate crește pînă la valoarea necesară basculării diacului D. Descărcarea conden-

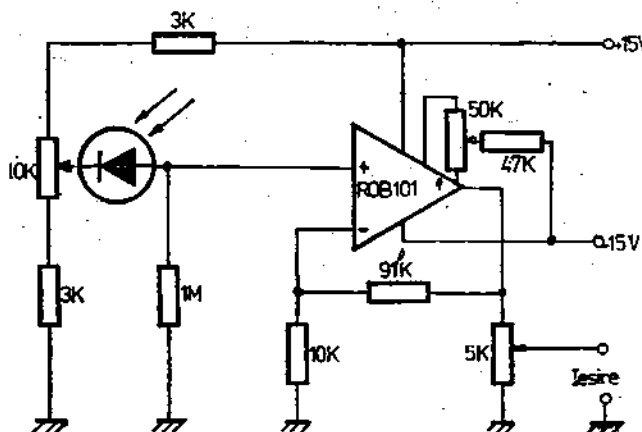


Fig. 27.16. Montaj cu fotodiodă pentru măsurarea fluxului lumines.

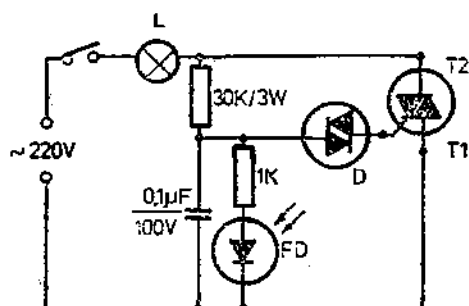


Fig. 27.17. Circuit cu fotodiodă pentru aprinderea automată a luminii.

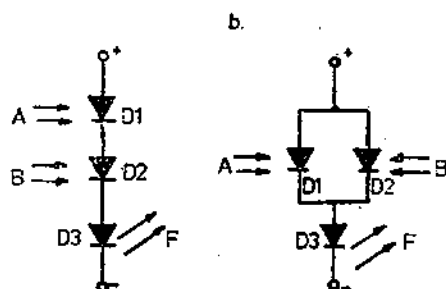


Fig. 27.18. Circuite logice cu dispozitive optoelectronice:

a — circuit, ȘI b — circuit, SAU,

saterului pe circuitul porții amorsează triacul și lampa L se aprinde. Triacul este în stare de conducție la fiecare semiperioadă a tensiunii de alimentare atita timp cit rezistența fotodiodului este mare (cînd nu este luminată). Cînd lumina cade din nou pe fotodiodă, rezistența acesteia scade și capacatorul C nu mai poate comanda, prin descărcare pe circuitul de poartă, amorsarea triacului, blocîndu-l.

27.7.3. Aplicații ale optocuploarelor

În tabelul 27.2. se prezintă cîteva posibilități oferite de optocuploare în cazul în care sînt folosite în calitate de componente electronice pasive.

În continuare se vor prezenta cîteva aplicații ale optocuploarelor.

În figura 27.18 a, b, sînt reprezentate circuitele logice simple ȘI și SAU realizate cu dispozitive optoelectronice. În circuitul din figura 27.18 a apare semnal luminos la ieșire, pe dioda electroluminiscentă $D3$, numai dacă sînt luminate simultan cele două fotodiodice $D1$ și $D2$; în felul acesta se realizează funcția $F = A \cdot B$. În mod similar, la bornele diodei electroluminiscente $D3$ din circuitul din figura 27.18, b apare lumină dacă este luminată fotodioda $D1$ sau dacă este luminată fotodioda $D2$; în felul acesta se realizează funcția logică elementară $F = A + B$.

O largă utilizare în aplicațiile de electronică industrială o au optocuploarele la realizarea de relee cu componente semiconductoare (tranzistoare de putere, tiristoare, triacuri), în care circuitele de comandă și de forță sînt complet izolate (tensiuni de izolare 1000—2500 V). Aceste relee pot comanda curenți de pînă la 100 A cu curenți de ordinul zecilor de mA. Schema de principiu a unui astfel de relee (realizat sub formă compactă) este dată în figura 27.19.

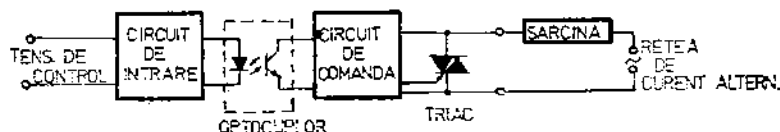
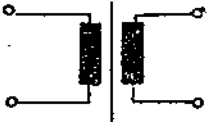
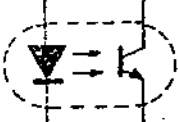

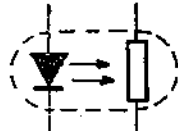

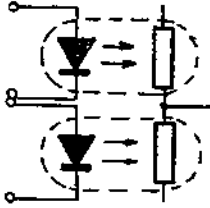
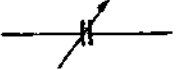


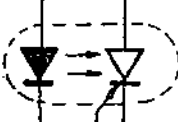

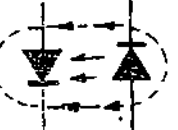


Fig. 27.19. Relee electronic cu izolare galvanică realizat cu optocuplor.

Tabelul 27.2. Moduri de utilizare a optocuploarelor în calitate de componente pasive

Tipul de componentă electronică pasivă		Dispozitivul Optoelectroni canal	
Denumire	Reprezentare simbolică	Denumire	Reprezentare simbolică
Transformator de impulsuri		Optocuplor cu fotodiodă sau cu fototranzistor	
Rezistor variabil (Potentiometru)		Optocuplor cu fotorezistor dublu	
Rezistor reglabil		Optocuplor cu fotorezistor	
Condensator variabil		Optocuplor cu foto-varicap	
Înterupător		Optocuplor cu fototranzistor sau fototristor	
Conector		Optocuplor	

28. Circuite integrate hibride

Una din direcțiile actuale de dezvoltare a tehnologiei în microelectronică o reprezintă circuitele integrate hibride (CIH). Concepția specifică, de un mare grad de fiabilitate a CIH presupune ca toate componentele electronice și legăturile dintre acestea să se realizeze nemijlocit prin pelicule depuse, iar elementele active, în general componente semiconductoare discrete și integrate monolitice, să se adauge din afară.

Circuitele electronice realizate pe această cale se disting prin dimensiuni de gabarit reduse, siguranță în funcționare mult mai mare în raport cu circuitele realizate cu componente electronice discrete și prin posibilități de funcționare la frecvențe înalte și foarte înalte (domeniul microundelor).

În condițiile tendinței permanente de reducere a volumului circuitelor electronice, fără ca să fie afectați principalii lor parametri — siguranță mare în funcționare și costuri de fabricație reduse — o etapă importantă pe calea miniaturizării a constituit-o tehnica micromodulelor. Pentru această tehnică nu pot fi obținute densități mari de integrare a componentelor electronice (densitatea de montaj în micromodule este în jurul a 20–40 componente pe 1 cm²), motiv pentru care această tehnică a fost părăsită trecându-se la procedee noi și anume la procedee de integrare a componentelor electronice, creându-se astfel CIH.

Printre avantajele CIH se menționează:

- avantaje de ordin tehnic; cu ajutorul lor pot fi realizate circuite electronice complexe sau speciale, care se obțin greu prin integrare monolitică ca de exemplu circuitele de putere,

- avantajele de ordin economic; dezvoltarea unei tehnologii de CI monolitice este scumpă în raport cu tehnologia CIH,

- prezintă o mare flexibilitate; circuitele integrate hibride pot fi „reparate” în timp ce circuitele monolitice nu dispun de această posibilitate.

În figura 28.1 se prezintă modul în care a evoluat concepția de realizare a CIH cu componente semiconductoare: în perioada de început s-au realizat CIH cu componente semiconductoare discrete. Funcțiile electronice obținute s-au integrat monolitic, realizându-se circuite integrate monolitice de complexitate mai mare. Cu acestea se realizează CIH de mare complexitate și așa mai departe, ajungându-se la obținerea de circuite integrate hibride care folosesc și CI monolitice din generația III și IV. Un exemplu de CIH realizat conform celor spuse mai sus este memoria de 64 k-biți M-1834, realizată de Thomson CSF. Aceasta conține 16 memorii MOS de 4 K-biți, 3 circuite integrate de comandă și o rețea de 16 rezistoare; întregul circuit are dimensiunile 64 × 38 × 3 mm.

Circuitele integrate hibride se împart în două mari categorii: circuite integrate hibride cu straturi subțiri (grosimea stratului depus sub 1 μ) și circuite integrate hibride cu straturi groase (cu grosimea stratului depus mai mare de 10 μ).

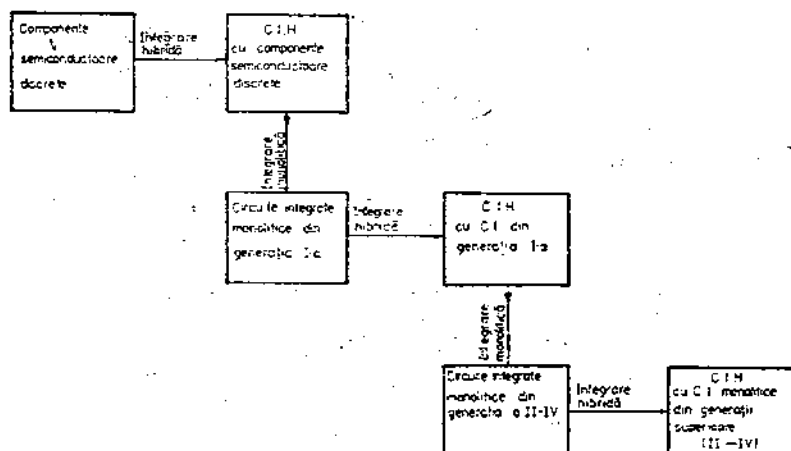


Fig. 28.1. Evoluția circuitelor integrate hibride realizate cu componente semiconductoare.

28.1. Circuite integrate cu straturi subțiri

Noțiunea de circuit integrat hibrid cu straturi/pelicle subțiri se referă la circuitele care se obțin prin depunerea în vid a peliclelor conductoare, rezistive și dielectrice pe un substrat izolator.

Elementele circuitului cu pelicle subțiri pot fi aranjate într-un singur plan, sau într-o structură stratificată, acesta din urmă utilizându-se pentru ridicarea la un nivel maxim a densității de integrare/asamblare; aceste circuite asigură densități de montaj de peste 200 elemente/cm² și o precizie mare a valorilor nominale ale mărimilor ce caracterizează componentele depuse.

Se disting următoarele părți principale ale unui circuit hibrid cu pelicle subțiri: substratul, conductoarele împreună cu suprafețele de contactare, componentele pasive și componentele semiconductoare.

Realizarea constructivă, a CI hibride constă într-o îmbinare de soluții de proiectare, tehnologice și constructive.

În continuare se prezintă principalele etape de realizare a CIH.

28.1.1. Analiza schemei electrice de principiu

Prima etapă în realizarea unui CI hibrid este analiza schemei electrice de principiu și găsirea posibilităților de realizare a acestei scheme sub forma unui circuit integrat hibrid cu pelicle subțiri. În această etapă se determină tipurile și caracteristicile componentelor utilizate, se precizează care din aceste componente se realizează în tehnica peliclelor subțiri și care se utilizează sub formă de componente discrete și se definește numărul contactelor

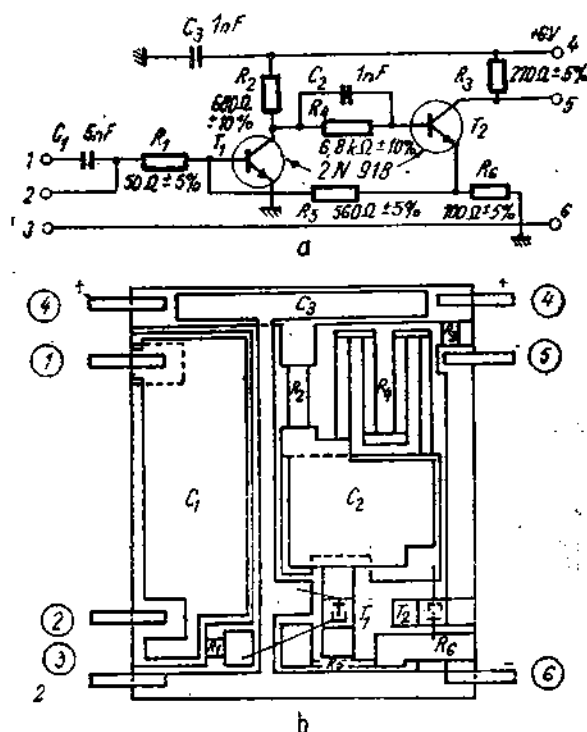


Fig. 28.2. Schema unui amplificator de bandă largă (a) și mod de dispunere topologică a componentelor sale (b).

și dispunerea suprafețelor pentru contacte. Această etapă constă în transpunerea schemei electrice de principiu într-o schemă care conține numai elemente pasive și suprafețele de contact; figura 28.2. prezintă, pentru exemplificare, schema unui amplificator de bandă largă realizat în varianta cu straturi subțiri.

28.1.2. Elaborarea structurii topologice a circuitului

Configurația geometrică a circuitului se determină prin dispunerea topologică a elementelor componente peliculare (rezistoare, condensatoare, trasee, suprafețe de contactare) pe suprafața substratului; el determină forma și dimensiunile CIH.

Pentru alcătuirea desenului topologic este necesar să se calculeze mai întâi dimensiunile geometrice ale tuturor elementelor peliculare și pe baza lor să se determine suprafața substratului. Substratul pentru CIH are de regulă forma pătrată sau dreptunghiulară. Se va avea în vedere să se aleagă un substrat cu dimensiuni normalizate. Desenul topologic se recomandă să se realizeze pe hirtie milimetrică, la o scară de 10:1 sau 20:1.

În continuare trebuie rezolvată problema dispunerii optime pe substrat a tuturor componentelor circuitului; deoarece pentru această operație nu pot fi date rețete șablon, electronistul proiectant trebuie să modifice dispunerea (relativă) elementelor schemei până va găsi varianta optimă, care să corespundă atât constructiv și tehnologic cit și funcțional. Se menționează că în cazul circuitelor complexe (cu multe componente electronice) există posibilitatea apariției unor forme de cuplaje parazite; deoarece elaborarea pe bază de intuiție a desenului topologic nu poate ține seama în toate situațiile de toți factorii care influențează asupra circuitului, în special pentru circuitele electronice complexe, pentru elaborarea desenului topologic este indicat să se utilizeze calculatorul electronic.

În general la alcătuirea desenului topologic trebuie avute în vedere următoarele particularități:

- toate componentele CIH, în afara componentelor active (semiconductoare), să se dispună cu o densitate maximă pe suprafața substratului astfel, încât influențele reciproce parazite și încălzirea să nu împiedice funcționarea circuitului,

- toate componentele CIH, în afara componentelor active (semiconductoare), să se realizeze într-un singur ciclu tehnologic.

Circuitele peliculare pot fi realizate nomostat sau multistrat*; creșterea numărului de straturi permite reducerea volumului circuitului integrat și creșterea densității de montaj, până la câteva sute de componente într-un centimetru cub dar pune o serie de dificultăți tehnologice. Din aceste considerente se recomandă să se utilizeze la maximum suprafața substratului cu un număr minim de straturi, așa cum s-a arătat mai înainte.

28.1.3. Realizarea măștilor

Pe baza desenului topologic se realizează măștile ale căror dimensiuni geometrice corespund cu dimensiunile geometrice ale circuitului integrat.

28.1.4. Depunerea componentelor pasive și a conexiunilor

Realizarea rezistoarelor peliculare. Din punct de vedere constructiv rezistorul pelicular constă dintr-o peliculă rezistivă, care are o configurație determinată și suprafețe de contact.

În figura 28.3. sînt arătate câteva configurații de rezistoare mai utilizate în construcția CIH. Ele trebuie să îndeplinească următoarele caracteristici:

- să fie stabile în timp,
- să ocupe o suprafață mică pe substrat,
- să aibă un coeficient de temperatură mic,
- să aibă o putere de disipație corespunzătoare,
- să aibă un nivel de zgomot redus.

* În acest caz peliculele care necesită tratamente termice la temperaturi ridicate se depun primele; de regulă, pentru o bună disipație a puterii, pe suprafața substratului se depun peliculele rezistive, apoi peliculele conductoare (ale interconexiunilor și armăturilor condensatoarelor) și în continuare peliculele dielectrice.

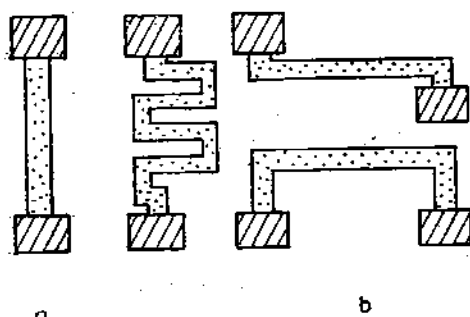


Fig. 23.3. Configurații de rezistoare peliculare:
a — linii drepte; b — linii scrinate.

Realizarea constructivă a rezistoarelor peliculare se începe cu alegerea materialului rezistiv. Se utilizează următoarele categorii de materiale rezistive:

- metale și aliajele lor (tantal, crom, titan, nichel, nichel-crom etc),
- cermeturi (ceramică-metal).

Realizarea condensatoarelor peliculare. Ca și rezistoarele, condensatoarele au o largă răspundere în CIH.

Constructiv, condensatoarele peliculare constau din trei straturi: două armături (electrozi) metalice și stratul dielectric dintre ele. Pentru dimensionare se folosește formula care exprimă capacitatea unui condensator plan cu suprafața armăturii superioare egale cu 1 cm^2 , scrisă sub forma:

$$C_0 = \frac{0,0885 \cdot \epsilon_r}{d} [\text{pF/cm}^2]$$

din care rezultă că mărimea capacității specifice depinde de permitivitatea și de grosimea dielectricului utilizat.

Materialele folosite pentru armături trebuie să aibă următoarele proprietăți: rezistivitate mică, temperatură de evaporare coborâtă, să nu se corodeze, coeficient de dilatare apropiat de cel al substratului și al dielectricului, posibilitate de lipire, aderență bună la substrat și dielectric, stabilitate mecanică. Se folosesc următoarele materiale: Al; Ag; Au; Cu etc.

Pentru realizarea dielectricului condensatoarelor peliculare se utilizează SiO_2 , SiO etc.

Realizarea straturilor și a suprafețelor conductoare. Componentele unui CIH se leagă între ele prin intermediul straturilor conductoare.

Suprafețele conductoare se utilizează pentru legarea conexiunilor externe ale CIH (terminalele) și a conexiunilor componentelor care se aplică din afară.

Pentru straturile conductoare se aleg materiale care să îndeplinească următoarele caracteristici:

- să aibă o bună aderență la substrat,
- să permită o ușoară lipire/sudură a terminalelor componentelor electronice,
- să prezinte rezistență electrică mică ($< 0,01 \Omega/\square$).

Pentru obținerea de contacte de mare conductivitate se utilizează metale pure * ca Au, Cu, Ag.

* Deoarece metalele pure au proprietăți slabe de aderență la substrat, pentru îmbunătățirea aderenței între substrat și stratul metalic depus se utilizează strate intermediare subțiri care să îmbunătățească această caracteristică; pentru aceste straturi intermediare se utilizează metale de mare activitate chimică. De exemplu se utilizează cuplul: materialul stratului conductor/ materialul intermediar = Au/Mo, Cr, Ta sau Ag/Cr, Ti sau Cu/Ti, Mn sau Al/Mo, etc.

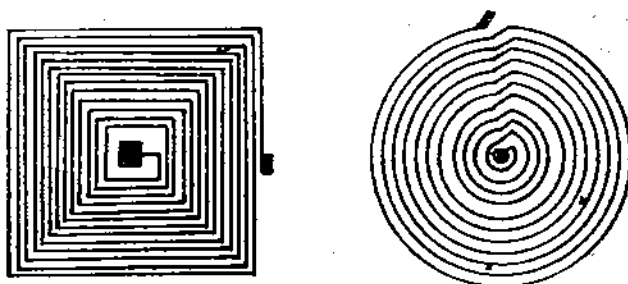


Fig. 28.4. Forme de bobine peliculare.

La realizarea straturilor conductoare, trebuie ținut seama că:

- creșterea lățimii benzilor conductoare conduce la micșorarea inductanței lor, dar în același timp conduce la creșterea capacității lor față de masă,
- materialele cu rezistență specifică mică, au caracteristici slabe de aderare la substrat.

Realizarea inductanțelor peliculare. În unele CIH (generatoare cu circuite oscilante, amplificatoare cu filtre de bandă etc) este necesar să se utilizeze componente inductive.

În sistemul circuitelor integrate cu straturi subțiri se pot realiza, prin depuneri din vid, bobine cu inductanțe cuprinse în domeniul $0,1-10 \mu\text{H}$, cu factor de calitate $50-200$ la frecvențe de $20-250 \text{ MHz}$. În cazul când sînt necesare valori de inductanțe mai mari se utilizează bobine discrete atașate în afara circuitului.

Bobințele au forma de spirale cu configurațiile menționate în figura 28.4.; forma din figura 28.4.a. asigură o mai bună utilizare a spațiului disponibil pe substrat.

Realizarea structurilor RC. În CIH se utilizează o serie de tipuri de rețele pasive în care rezistorul și condensatorul nu se realizează concentrat în regiuni bine determinate, ci distribuit * pe întreaga configurație peliculară.

În cazul cel mai simplu o rețea RC cu parametri distribuiți reprezintă un condensator (cu pelicule subțiri) la care armătura superioară este înlocuită printr-un strat rezistiv.

28.1.5. Dispunerea componentelor discrete

Componentele discrete utilizate în tehnologia CIH, în marea lor majoritate sînt componente semiconductoare (diode, tranzistoare, circuite integrate) sub formă de pastile, uneori încapsulate.

* Circuitele cu parametri distribuiți permit să se realizeze circuite pasive cu caracteristici specifice; astfel de rețele RC au o largă utilizare la elaborarea amplificatoarelor selective, a filtrelor, a oscilatoarelor etc.

Componentele neîncapsulate, caracterizate prin masă și gabarite reduse sînt de două feluri:

— cu terminale elastice (au structura dispusă pe un suport metalic și acoperită cu o rășină, pentru protejare mecanică și sînt prevăzute cu terminale din sîrmă, similare cu terminalele componentelor semiconductoare discrete),

— fără terminale *; acestea, la rîndul lor pot fi de două tipuri: cu sfere de contact (figura 28.5.a) și lipite pe suporturi ceramice speciale (figura 28.5.b).

Pînă la faza de montaj terminat componentele semiconductoare neîncapsulate sînt relativ vulnerabile și ca atare trebuie să fie manipulate cu multă precauție, astfel că pînă la dispunerea lor pe substrat, se recomandă ca:

— pastilele/structurile să se stocheze în cutii închise, într-o încăpere/du-lap cu atmosferă uscată,

— să se evite lovirea sau spargerea structurilor în timpul operațiilor de montaj,

Pentru dispunerea componentelor semiconductoare cu montajul peli-cular se utilizează mai multe tehnici:

— sudura/lipirea cu eutectic,

— sudura moale,

— lipirea prin intermediul unor rășini sau sticle speciale.

Sudura cu eutectic. Este o metodă foarte răspîdită. Sudura se reali-zează la aproximativ 380°C prin intermediul unui suport aurit (bandă de covar), obținindu-se astfel eutecticul aursiliciu. Metoda se poate utiliza pentru toate tipurile de pastile pînă la dimensiuni de aproximativ $4 \times 4 \text{ mm}$, care pot funcționa la puteri disipate relativ mari; pentru aceasta se dispune între suportul de covar și pastilă o rondelă din molibden care joacă rolul de interfață de dilatare.

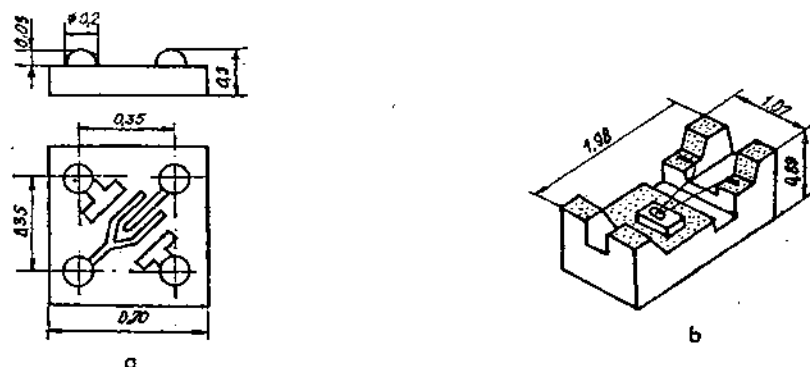


Fig. 28.5. Componente discrete active neîncapsulate utilizate la CIH.

* Aceste tipuri de componente au avantajul că permit montajul lor automat pe substratul ceramic și îmbunătățesc siguranța în funcționare a CIH realizat cu ele.

Tipul precedent (cu terminale) nu are cele două avantaje menționate mai sus.

Sudura moale. Acest procedeu utilizează o preformă din aur-indiu sau argint-indiu și permite suduri la temperaturi joase. Se utilizează pentru CIH de larg consum (amplificatoare audio de putere etc) unde nu apar temperaturi ridicate în timpul funcționării.

Lipire cu rășini (paste conductoare). Este o metodă care poate fi utilizată pentru toate tipurile de structuri și se realizează la temperaturi de 100—120°C. Se utilizează rășini epoxidice impregnate cu paste de aur sau argint pentru a li se mări conductibilitatea electrică. Aceasta este o metodă de lipire care probabil se va generaliza pentru elaborările viitoare de CIH, datorită simplității ei.

28.1.6. Legarea conexiunilor

Pentru legarea conexiunilor componentelor semiconductoare neîncapsulate (sub formă de structuri) cu regiunile/suprafețele de contact ale circuitului se utilizează mai multe metode de lipire și sudură între care se amintesc: termocompresia, sudura cu ultrasunete, sudura cu laser, sudura cu fascicul electronic etc).

28.2. Circuite integrate hibride cu straturi groase

Circuitele integrare hibride cu straturi groase au componentele de circuit pasive (rezistoarele, unele tipuri de condensatoare și conductoarele) realizate prin imprimarea serigrafică pe substrat ceramic a unor pelicule de paste speciale preparate.

Straturile groase diferă de straturile subțiri, atât prin grosime cât și prin metodele de obținere și materialele folosite; straturile groase sînt materiale sau paste cu proprietăți conductoare, rezistive sau dielectrice, cu grosimi în general mai mari de 5μ. Pastele sînt formate din pelicule anorganice (metale și oxizi metalici) amestecate cu pulbere de sticlă, lianți organici, și solvenți. Depunerea lor se realizează prin procedeul serigrafiei folosind site fine confecționate din oțel inoxidabil; pe suprafața sitei este imprimată configurația circuitului care urmează să se obțină.

Circuitele integrate hibride realizate prin tehnologia straturilor groase au o serie de avantaje, față de tehnologia CIH cu straturi subțiri între care se menționează următoarele:

- procesul tehnologic simplu,
- echipamente tehnologice simple și relativ ieftine,
- costuri de fabricație reduse.

În continuare se prezintă principalele etape tehnologice de realizare a circuitelor integrate cu straturi groase.

28.2.1. Implantarea schemei

Pornind de la schema electrică a circuitului, proiectantul va realiza desenul de implantare a tuturor elementelor circuitului la o scară mărită (20/1; 10/1 sau 5/1). Pentru acesata va ține seama de:

- puterea disipată în fiecare rezistor,
- necesitatea evitării încrucișării traseelor,
- dimensionarea elementelor componente folosind pe cât posibil o singură pastă * rezistivă și un singur dielectric.
- repartizarea uniformă a surselor de putere,
- realizarea de conductoare cât mai scurte,
- necesitatea utilizării pe cât posibil a unei singure fețe a substratului (de menționat că utilizarea ambelor fețe ale substratului conduce la micșorarea randamentelor de fabricație),
- orientarea rezistoarelor în sensul axelor x și y (nu sub un unghi careare față de acestea), pentru a ușura ajustarea lor ulterioară,
- evitarea plasării conductoarelor la periferia substratului,
- evitarea pe cât posibil a utilizării rezistoarelor în zig-zag, întrucât se ajustează dificil, iar unghiurile ascuțite conduc la gradienti de temperatură mari,
- să se țină seama că distanța minimă între rezistoare sau traseele de contacte și marginea substratului nu trebuie să fie mai mică de 0,5 mm,
- lățimea traseelor conductoare trebuie să fie convenabilă pentru a se elimina rezistența lor ohmică (minimum 0,5 mm).

28.2.2. Realizarea ecranelor (măștilor)

Executarea ecranelor este similară cu cea de la circuitele integrate monolitice până la faza de reducere fotografică la dimensiunile finale. În continuare placa fotografică obținută este folosită la realizarea unei măști de tip serigrafic aplicând următorul procedeu: pe o sită foarte fină din metal sau din nylon încadrată într-o ramă rigidă, se întinde o emulsie fotosensibilă care are proprietatea de a polimeriza în momentul în care este expusă la lumină ultravioletă. Emulsia este apoi pusă în contact cu masca fotografică a circuitului și este expusă la lumina ultravioletă. Porțiunile emulsiei expuse (regiunile transparente ale măștii fotografice) polimerizează și rămân fixate în ochiurile sitei, iar porțiunile neexpuse se îndepărtează prin spălare.

28.2.3. Realizarea componentelor prin serigrafie

Imprimarea se realizează prin așezarea măștii serigrafice pe substrat și pensularea pastei serigrafice peste ea. Pasta serigrafică poate fi conductoare, rezistivă sau dielectrică. Ordinea în care se realizează procesele suc-

* Utilizarea unui număr mare de paste pentru un același tip de componentă (de exemplu rezistoare) necesită un număr corespunzător de ecrane serigrafice și de tratamente termice.

cesive de imprimare și de ardere (tratament termic) a pastelor depuse este dictată de temperaturile maxime din timpul arderii fiecărei paste în parte; procedeul trebuie să se desfășoare într-o ordine de temperaturi descrescătoare pentru ca să nu se producă modificări ale straturilor depuse anterior.

● *Pastele pentru conductoare* sînt constituite pe bază aur, aur-platină, argint, argint-paladiu; pastele de bază de aur se folosesc la circuitele la care se atașează componentele semiconductoare neincapsulate, pentru a permite sudura ușoară a conexiunilor prin termocompresiune sau ultrasunete. Pastele pe bază de aur-platină au bună conductivitate electrică, permit lipirea ușoară a componentelor exterioare folosind aliaje de lipit, prezentînd totuși dezavantajul unui cost ridicat. Pastele pe bază de argint sînt mai ieftine au însă dezavantajul că se corodează în atmosferă. În prezent utilizarea cea mai mare în procesul de fabricație o au pastele pe bază de argint-paladiu care întrunesc simultan condițiile de tehnicitate și economicitate.

După depunere, pelicula conductoare imprimată pe substrat usucă, (la cca. 120°) și se arde în cuptor la aproximativ $800-1\,000^{\circ}\text{C}$; prin aceasta pasta se întărește și aderă bine pe substrat.

● *Pastele pentru rezistoare* (paste rezistive) sînt realizate pe bază de amestecuri de argint, paladiu, împreună cu oxizi de ruteniu, sau taliu și sticlă. Aceste materiale trebuie să asigure rezistoarelor stabilitate bună, coeficient de temperatură coborît și factor de zgomot mic. Pastele rezistive se depun prin procedee similare cu depunerea pastelor conductoare. Ele se ard la temperaturi de $700-800^{\circ}\text{C}$.

● *Pastele pentru dielectrice* (pentru condensatoare și treceri suprapuse în cazul circuitelor hibride multistrat), sînt realizate pe bază de titanat și oxid de bariu, oxid de zirconiu și calciu, sticlă etc.

Pentru condensatoare se utilizează paste dielectrice cu permitivitate mare*. Pentru izolarea traseelor suprapuse se utilizează straturi din sticlă, care să asigure o capacitate parazită mică, permitivitate dielectrică mică și pierderi mici între cele două straturi conductoare.

● *Pastele pentru glazuri de protecție*. Se utilizează pentru protecția straturilor groase depuse, cu excepția locurilor unde se atașează componente exterioare sau terminale. Ele asigură protecția climatică și chimică a circuitului și se realizează pe bază de sticlă ușor fuzibilă.

28.2.4. Măsurarea și ajustarea rezistoarelor

Aplicarea acestui procedeu are ca scop principal să asigure ajustarea mărimii rezistenței electrice a rezistoarelor depuse. Ajustarea se realizează fie prin jet de aer care antrenează pulberi abrazive, fie prin procedee moderne și în special cu laser.

* În practică, pastele pentru realizarea condensatoarelor se împart în trei grupe: paste cu permitivitate dielectrică mică și factor de calitate mare, paste cu permitivitate dielectrică mare și factor de calitate mic și paste cu caracteristici medii.

28.2.5. Atașarea componentelor discrete și a terminalelor

Pentru realizarea funcției de circuit propuse, pe circuitul cu pelicule groase se pot aplica tranzistoare, circuite integrate monolitice, diode, condensatoare etc.

Atașarea componentelor, se realizează, fie prin sudură cu aliaj de sudură staniu plumb (SnPb), fie prin lipire.

28.3. Alegerea substratului

Substratul CIH joacă rolul de suport mecanic, de disipator termic și de izolator electric. Suprafața lui trebuie să fie perfect plană pentru ușurarea depunerii straturilor subțiri/groase. Printre caracteristicile pe care trebuie să le îndeplinească substratele se numără: rezistența mecanică bună, coeficientul de dilatare foarte apropiat de coeficientul de dilatare al siliciului; căldura specifică și conductivitatea termică ridicate, rezistența electrică mare și valoare mică a tangentei unghiului de pierderi. În mod curent se utilizează sticla, ceramica cu alumina și ceramica cu oxid de beriliu (se utilizează mai rar deoarece are un preț de cost ridicat).

Dimensiunile standard * ale substratelor circuitelor integrate hibride sînt: 60×48 ; 30×48 ; 30×24 ; 30×16 etc, iar grosimea acestora 0,6 ; 1 și 1,6 mm.

28.4. Încapsularea

Se utilizează trei tipuri de protecție/încapsulare a circuitelor integrate hibride; mularia în plastic (mulare sau introducere în cutii din plastic), închiderea în cutii din metal și închiderea în cutii din ceramică. Protecția în cutii metalice sau ceramice se recomandă să se utilizeze în cazul în care circuitul funcționează în condiții atmosferice dificile (de exemplu umiditate).

Capsulele circuitelor integrate hibride trebuie să dispună de o rigiditate mecanică suficient de mare, masă și gabarite reduse și să prezinte o izolare electrică bună; în plus în interiorul lor trebuie să se mențină condiții de temperatură suficient de stabile. Se utilizează următoarele tipuri: capsulă cilindrică de tipul TO, capsule metal-ceramice, capsule metal-sticlă și capsule ceramice. Capsulele cilindrice de tipul TO au 8, 10 sau 12 terminale, au o rigiditate mecanică suficient de bună; au dezavantajul că nu li se utilizează volumul în totalitate.

* În practică se întâlnesc și alte dimensiuni de substrat atît cele care permit încapsularea în capsule metalice TO5 sau în capsule de circuit integrat „dual in line” (în acest caz substratul ceramic are dimensiunile $8,3 \times 8,3$ mm²), cît și dimensiuni propuse de client.

Tehnologia de realizare a echipamentelor electronice

Tehnologia de fabricație a echipamentelor electronice a cunoscut de-a lungul timpului o evoluție dinamică. Principalele etape ale creațiilor tehnice în acest domeniu își au originea în invenția triodei (1906), construirea primelor amplificatoare și oscilatoare cu tuburi electronice (1913), ca să atingă un ritm accelerat de dezvoltare din 1948, când componentele semiconductoare revoluționează tehnica punând bazele unei noi epoci a electronicii, atât sub aspect calitativ, cit și al economicității, caracterizată prin performanțele obținute pe unitatea de volum.

Primul echipament electronic, realizat sub forma unei cutii din lemn, în care componentele principale, tuburile electronice și bobinele, erau dispuse la întâmplare, a fost receptorul radio.

Procedeul tehnologic de a dispune elemente componente pe un suport (numit șasiu) și a butoanelor de manevrare pe un panou (frontal) a apărut în jurul anului 1920, de când această aparatură s-a generalizat cu o mare rapiditate, la proporțiile unui proces de industrializare a fabricației.

Introducerea tetrodei (1924) și a pentodei (1928), care au permis obținerea unor coeficienți înalți de amplificare, a condus la apariția procedeelor de ecranare în aparatura electronică (performanțele acestei tehnici sînt evidente în radio receptoarele superheterodină, unde utilizarea etajelor de amplificare ecranate a condus la micșorarea reacțiilor parazite, ceea ce justifică utilizarea și în prezent de ecrane pentru bobinele etajelor de amplificare de înaltă și medie frecvență).

În anul 1930 s-a generalizat utilizarea șasiului metalic protejat împotriva corodării.

Problema funcționării sigure a echipamentelor electronice s-a pus pentru prima oară la amplificatoarele utilizate în telefonie. În acest scop s-a introdus sistemul modular * de asamblare, lățimea unui modul fiind de 482 mm (sau de 19 țoli).

O influență hotărîtoare asupra caracteristicilor echipamentelor electronice a exercitat-o nevoia presantă de aparatură electronică în perioada celui de al doilea război mondial, cînd a ieșit în evidență că siguranța în funcționare a echipamentelor electronice reprezintă unul din parametrii de primă importanță.

* Introducerea acestui sistem în anul 1930, de firma General Radio Corporation (RCA), a stimulat standardizarea carcaselor/cutiilor și a dulapurilor echipamentelor electronice și a contribuit la reducerea costurilor de fabricație.

În ultima perioadă, utilizarea tranzistoarelor și a circuitelor integrate a rezolvat problema realizării de echipamente electronice ieftine și compacte, la performanțe tehnice ridicate.

Prin echipament se înțelege un ansamblu constituit din blocuri funcționale, mecanisme sau dispozitive inclusiv elementele de legătură sau conexiune (pirghii, cabluri, conductoare electrice etc), care îndeplinește o anumită funcțiune într-un proces tehnologic, la o mașină, într-o instalație.

Formarea și dezvoltarea industriei de echipamente electronice în țara noastră are în vedere următoarele considerente:

- realizarea de echipamente electronice cu gabarit, masă și consum de energie (cît mai) reduse,
- realizarea unui raport preț/performance (cît mai) scăzut,
- realizarea de echipamente electronice cu o siguranță în funcționare ridicată,
- îmbunătățirea esteticii.

Particularitățile de construcție și de tehnologie ale echipamentelor electronice sînt corelate atît cu numărul mare de repere, componente și subansambluri distincte care intră în componența lor *, cît și cu unificarea și normalizarea (tipizarea) acestora.

29. Caracteristici constructive și tehnologice ale echipamentelor electronice

● Precizia caracteristicilor echipamentelor electronice este influențată de schema electronică și de calitatea materialelor și a componentelor utilizate.

● Echipamentele electronice se caracterizează printr-o siguranță în funcționare ridicată, deoarece ele realizează de obicei funcții statice sau deplasări și eforturi mici și deci uzura lor mecanică este neînsemnată,

● Echipamentele electronice folosesc atît componente și subansambluri tipizate, specifice domeniului industriei electronice cît și unele materiale utilizate de obicei în alte domenii (de exemplu mase plastice, metale, materiale magnetice etc.).

* Pentru realizarea echipamentelor electronice:

- se utilizează un număr foarte mare de materiale variate,
- se folosește un mare număr de procedee tehnologice,
- se utilizează un mare număr de utilaje și echipamente tehnologice specializate.

● Deoarece funcțiile echipamentelor electronice sînt realizate prin schema electronică, majoritatea elementelor componente mecanice au de obicei, rol de susținere, de montaj etc.; din motivul acesta ele se pot realiza cu toleranțe nu prea strinse pe mașini semiautomate și automate cu productivitate ridicată (de exemplu prin ștanțare, presare etc.),

● Asamblarea subansamblurilor și ansamblurilor ca și a elementelor mecanice componente, nu pune probleme deosebite de manipulare, deoarece, în general, gabaritele și masa lor sînt mici,

Tehnologia de fabricație a unui echipament electronic cuprinde următoarele faze:

● aprovizionarea cu materii prime, materiale, piese și subansambluri executate în alte întreprinderi,

● realizarea pieselor mecanice și a reperelor din material plastic,

● montarea pieselor mecanice și a componentelor electronice pe subansambluri sau ansambluri și montarea pieselor componentelor și subansambluri pe echipamentul electronic,

● reglarea subansamblurilor echipamentului electronic,

● controlul * final al echipamentului și încercarea în funcționare,

● pregătirea pentru livrare.

29.1. Siguranța în funcționare a echipamentelor electronice

Prin siguranța în funcționare a unui echipament electronic se înțelege proprietatea echipamentului de a îndeplini toate funcțiunile pentru care a fost conceput, în conformitate cu cerințele impuse prin normele tehnice și standardele în vigoare în condiții de exploatare date, într-o perioadă de timp determinată, precum și proprietatea de a putea fi reparat în caz de defectare.

Intervalul de timp în care funcționează un echipament reprezintă durata lui de viață; în acest interval de timp pot apare diverse defecțiuni a căror înlăturare trebuie să aducă echipamentul în stare de funcționare normală. Exploatarea unui echipament, într-un interval de timp mai mare decît durata de viață este nes economică deoarece atrage după sine efectuarea unor reparații capitale.

Siguranța în funcționare a unui echipament electronic depinde în principal de condițiile de exploatare: cu cît aceste condiții sînt mai dificile cu atît siguranța lui în funcționare va fi mai mică.

Procesul de asimilare în fabricație, trierea și selecționarea proiectelor și lansarea echipamentelor electronice, ca de altfel și a componentelor electronice precum și a majorității produselor tehnice, parcurge următoarele

* Controlul se efectuează în toate etapele procesului de fabricație a echipamentului electronic și cuprinde: 1) controlul materiilor prime, materialelor și componentelor; 2) controlul operațiilor intermediare; 3) controlul final.

etape succesive: elaborare (realizare prototip, proiectare, stabilire tehnologie); producție, achiziție de beneficiar și exploatare. Primele două etape sînt hotărîtoare pentru realizarea nivelului anteproiectat de siguranță în funcționare. Dacă în aceste etape problemele de siguranță în funcționare nu sînt luate în considerare, acest lucru iese la iveală în etapa de exploatare. Din acest motiv nivelul dorit de siguranță în funcționare trebuie asigurat încă din perioada de realizare a prototipului, garantat de tehnologia adoptată și urmărit printr-un control corespunzător în procesul de fabricație.

Tempul de exploatare este influențat în mod deosebit de concepția de realizare a echipamentului; cînd componentele echipamentului sînt puse să funcționeze într-un regim dificil (suprasarcină electrică, temperaturi ridicate, umiditate), timpul de exploatare normală se reduce. Dimpurtivă timpul de exploatare crește în cazul în care componentele sînt utilizate sub regimul nominal.

Un rol determinant, în creșterea siguranței în funcționare a unei echipament electronice, revine componentelor electronice, care fiind mai numeroase și mai complexe decît elementele mecanice, constituie de obicei sursa principală de defectare.

Căile de creștere a siguranței în funcționare. Metodele de creștere a siguranței în funcționare a unui echipament electronic pot fi împărțite în metode cu caracter general și în metode cu caracter special.

Metodele cu caracter general se utilizează în timpul realizării echipamentului (proiectare și producție) și se asigură prin:

- simplificarea la maximum a schemelor de principiu și reducerea numărului de componente în primul rînd a componentelor cu siguranță redusă în funcționare (de exemplu: tuburile electronice);

- alegerea atentă a componentelor electronice și a elementelor mecanice care în condițiile de exploatare date au o siguranță în funcționare ridicată. Dacă aceste componente nu pot să asigure această condiție se vor utiliza diverse metode pentru reducerea influenței exercitată de acțiunile externe ca de exemplu: ermetizare, amortizare, acoperiri de protecție, răcire etc.;

- utilizarea pe scară largă a elementelor tipizate; în această categorie se include și tipizarea schemelor electronice prin folosirea cablajelor imprimare, a circuitelor integrate semiconductoare și a circuitelor integrate hibride;

- creșterea calificării celor ce elaborează echipamente, și menținerea unei discipline tehnologice rigide,

- folosirea tuturor informațiilor privind exploatarea echipamentelor realizate anterior.

Metodele cu caracter special se realizează pe calea „ușurării” regimului de lucru a elementelor de circuit, prin, „îmbătrînire” artificială a componentelor electronice și prin redundanță (prin utilizarea elementelor și a sistemelor de rezervă); de exemplu:

- utilizarea unor regimuri de lucru lejere pentru componentele electronice reduce numărul defectelor acestora în timp. În practică, pentru a pune în evidență avantajele care rezultă se utilizează coeficientul de încărcare, definit ca raportul între puterea (tensiunea sau curentul) de regim de func-

ționare și valorile nominale corespunzătoare acestor mărimi ale componentei electronice respective. Se pot utiliza următorii coeficienți de încărcare:

- pentru tranzistoare și diode 0,3—0,6
- pentru rezistoare 0,4—0,6
(încărcări mai mari, de exemplu 0,8—0,9, pot suporta rezistoarele bobinate),
- pentru condensatoare 0,3—0,5,
- pentru relee, comutatoare 0,5—0,8,

— „îmbătrânirea” artificială a componentelor electronice se realizează în scopul depășirii etapei inițiale în care apare majoritatea defectelor. „Îmbătrânirea” nu trebuie să se efectueze cu un coeficient ridicat de încărcare, deoarece apare uzura componentelor supuse acestui procedeu. De obicei acest proces se realizează cu valori minime ale coeficienților de încărcare cu toate că în aceste situații timpul de „îmbătrânire” artificială se lungeste,

— redundanța: este una din căile posibile de îmbunătățire a gradului de siguranță în funcționare a unui echipament electronic; ea prevede conectarea în montaj a unor elemente, blocuri sau circuite de rezervă. Redundanța poate fi totală (cînd întregul bloc principal are o rezervă) sau pe elemente componente.

Pentru a explica modul de aplicare al redundanței totale se consideră ca exemplu un emițător de radiocomunicații de mare redundanță compus din două blocuri identice care funcționează în paralel. Orice defect într-unul din ele nu afectează calitatea celui alt fie pentru că este comutat automat fie pentru că sint cuplate cu antena comună prin sisteme de tip circulator sau prin cupluri direcționale. Sistemul este în prezent foarte răspîndit în radiodifuziune și televiziune.

Aplicarea redundanței conduce inevitabil la creșterea greutateii și dimensiunilor echipamentelor electronice; de exemplu în cazul unor avioane de mare viteză, a rachetelor etc, fiecare kilogram de prisos în echipamentul de bord, conduce la încărcarea suplimentară cu zeci sau sute de kilograme de combustibil. Din motivul acesta, la proiectarea echipamentelor electronice, utilizarea redundanței este indicată doar atunci cînd s-au epuizat toate celelalte procedee, mai simple, de mărire a siguranței în funcționare.

29.2. Influența mediului înconjurător asupra echipamentelor electronice

Mediul înconjurător acționează asupra echipamentelor electronice în cele mai variate forme, contribuind la modificarea caracteristicilor, scurtarea duratei de funcționare, sau chiar scoaterea lor din uz. Pentru realizarea unor echipamente capabile să funcționeze în condiții variate de mediu înconjură-

tor se preconizează protecția (climatică) în funcție de zonaclimatică * unde funcționează echipamentul.

Influența principalilor factori climatici asupra echipamentelor electronice se manifestă după cum urmează:

Umiditatea. Umiditatea din atmosferă apare, prin condensare, la suprafața corpurilor sub forma unei pelicule de grosime variabilă, în general crescătoare cu temperatura.

Această peliculă intră în porii materialelor, dilatându-se prin înghețare și se manifestă după cum urmează:

- asupra metalelor acționează prin coroziune,
- asupra materialelor izolante acționează prin micșorarea rezistenței de izolație și prin reducerea tensiunii lor de străpungere,
- asupra circuitelor electrice acționează prin modificarea parametrilor lor electrici.

Temperatura. Temperatura acționează asupra proprietăților materialelor, și a componentelor electronice după cum urmează:

- la temperaturi ridicate metalele se deformează prin dilatare, iar componentele electronice își modifică parametrii electrici,
- la temperaturi scăzute materialele își înrăutățesc caracteristicile (de exemplu materialele plastice devin casante) iar componentele electronice își modifică proprietățile funcționale (de exemplu sub -20°C , cristalele lichide nu mai funcționează),

Radiațiile solare. Radiațiile solare acționează prin temperatura ridicată pe care o realizează pe echipamente, și prin acțiunea de accelerarea unor reacții chimice de descompunere a materialelor izolatoare de protecție etc.

Măsuri de protecție. În ceea ce privește măsurile constructive pentru asigurarea protecției climatece, acestea se referă, în principal, la stabilirea tipului de protecție și la alegerea materialelor. În cele ce urmează, se vor prezenta, cu caracter orientativ, câteva date privind această problemă.

În alegerea tipului de protecție constructivă se are în vedere că o construcție închisă are avantajul că ferește de pătrunderea în interiorul echipamentelor a prafului, a nisipului și (chiar) a umidității.

În privința alegerii materialelor se fac următoarele precizări de ordin practic:

- ca materiale electroizolante se recomandă compuși realizați cu pelicule sintetice (se menționează polietilena),
- conductoarele de bobinaj se izolează cu emailuri sintetice rezistente la acțiunea temperaturii și umidității (de exemplu: emailul siliconic),
- izolarea bobinelor se realizează cu bandă din țesătură de sticlă sau cu bandă din pelicule sintetice,
- impregnarea bobinelor se efectuează cu lacuri care asigură umplerea tuturor interstițiilor și spațiilor libere din înfășurare precum și o conso-

* Potrivit factorilor climatici, suprafața pământului se împarte în câteva zone climatice și anume: rece, temperat, cald-umed și cald-uscat. Metodele de protecție climatică pentru fiecare zonă climatică în parte sînt definite prin STAS 6692/1963.

lidare mecanică bună a pieselor, care în final trebuie să asigure o elasticitate suficientă pentru a permite variațiile de volum corepunzătoare dilatărilor și contractiilor ce intervin în timpul exploatării.

În privința părților metalice ale echipamentelor se recomandă:

- utilizarea de metale rezistente la acțiunea corozivă a atmosferei,
- protejarea suprafeței metalelor corodabile prin acoperirile pe cale galvanică cu un strat de metal rezistent la acțiunea mediului înconjurător,
- protejarea suprafeței metalelor corodabile prin vopsire sau protejarea cu materiale plastice (acest procedeu s-a extins în ultimii ani la multe produse folosite în regiuni cu climă aspră).

29.3. Construcția părților mecanice ale echipamentelor electronice

În cadrul paragrafului de față nu se va insista asupra tuturor lucrărilor cu caracter mecanic ce se pun la realizarea unui echipament electronic, deoarece spațiul afectat nu permite abordarea exhaustivă a acestei probleme. Se va încerca însă să se scoată în evidență importanța și necesitatea abordării de către electronist a unei game mari de lucrări mecanice.

Orice echipament electronic este format din:

- elemente mecanice: șasiu, casetă, scoabe de prindere, ecrane, butoane, suporturi diverse etc,
- elemente electrice: componente electronice, instrumente de măsurare etc.

În cele ce urmează se vor face câteva mențiuni asupra unor procedee mai utilizate în construcția părților mecanice ale echipamentelor electronice.

Robustețea mecanică a echipamentelor electronice. Ca urmare a caracterului variat al condițiilor de exploatare și în funcție de destinație și locul lor de instalare echipamentele electronice sînt supuse în mod permanent și accidental unor acțiuni mecanice. Din acest motiv trebuie ca ele să prezinte un grad ridicat de robustețe mecanică la acțiunile de variație atît în timpul transportului cît mai ales în timpul funcționării.

Vibrațiile prezintă cel mai mare pericol în cazul în care frecvența vibrației concordă cu frecvența proprie de oscilație mecanică a echipamentului, adică la rezonanță. Coincidența frecvențelor de vibrație cu frecvențele proprii de rezonanță a componentelor, conduce la ruperea terminalelor în locurile de fixare, apariția scurtcircuitelor între piese etc. Sub acțiunea vibrațiilor, condensatoarele variabile își pot modifica semnificativ capacitatea, rezistoarele își modifică rezistența, șuruburile se pot desprinde, șasiurile, distanțierele și consolele se pot rupe. Din acest motiv este necesar să se ia măsuri de mărire a robusteții mecanice la variații și la șocuri mecanice a echipamentelor electronice.

Pentru verificarea comportării în diverse condiții mecanice echipamentele electronice sînt supuse la următoarele încercări mecanice: încercarea

la vibrații, încercarea la șocuri mecanice, încercarea la accelerație constantă și încercarea la cădere liberă. Aceste încercări se efectuează pe utilaje speciale care sînt prezentate în STAS 6667-62.

Montajul mecanic este un procedeu caracteristic oricărui tip de echipament electronic, el constînd din dispunerea și fixarea componentelor (atît cele mecanice: scoabe de prindere, capse, cose, socluri, ecrane etc, cît și cele electronice: rezistoare, condensatoare, transformatoare etc), a blocurilor și a subansamblelor pe șasie și în carcase (cutii, dulapuri) corespunzătoare. Evoluția componentelor electronice a produs modificări importante în concepția realizării elementelor mecanice ale echipamentelor electronice.

29.3.1. Asamblări mecanice

Echipamentele electronice moderne au un caracter complex, electric, electronic, mecanic și electromecanic. În fapt ele constau din zeci și mii de elemente care au mase de la cîteva grame la zeci de kilograme. Din acest motiv nu este posibil ca aceste echipamente să se realizeze într-un singur bloc: un astfel de bloc este netransportabil și incomod de plasat în locul de funcționare și este greu de exploatat și de reparat la nevoie.

Asamblările mecanice pot fi nedemontabile și demontabile.

Asamblările nedemontabile sînt îmbinări care nu pot fi desfăcute decît prin distrugerea unei părți a construcției. Ele pot fi realizate prin sudură, prin lipire și prin deformații plastice.

Sudura este procedeul de îmbinare al pieselor cu compoziții apropiate prin aducere în stare lichidă sau plastică prin încălzirea locului de îmbinare. Sudura poate fi realizată:

- prin topire (autogenă, cu arc electric),
- prin presiune care realizează înmuierea materialelor, piesele trebuind să fie presate pentru a se îmbina (sudura la rece, sudura prin puncte).

Lipirea este procesul de îmbinare a metalelor prin încălzire la temperaturi, în general sub 650°C , folosind metale neferoase de umplutură care au temperatura de topire sub cea a metalelor de bază.

Rezistența asamblării prin lipire este mai mică în comparație cu cea a sudurii.

După temperatura de topire a aliajului de lipit, asamblările prin lipire se realizează cu:

- aliaje de lipit moi, la care temperatura de topire este mai mică de 450°C (plumb, staniu, zinc, cadmiu); se utilizează cînd se cere conductivitate electrică bună sau etanșeitate, iar temperatura de funcționare nu depășește 100°C ,

- aliaje de lipit tari, cu temperaturi de topire peste 450°C (cupru, zinc, aluminiiu, aur, argint etc); se utilizează cînd se cere o rezistență mai mare. Aliajele de cupru-zinc (alamă de lipit) sînt fragile și nu se utilizează la asamblarea pieselor supuse la șoc sau la vibrații.

Ca decapant pentru înlăturarea oxizilor ce se formează în timpul procesului de lipire prin încălzirea pieselor de lipit, se utilizează diverse materiale (fluxuri) ca de exemplu colofoniul, alcoolul, boraxul.

La asamblarea prin deformare plastică, imbinarea se poate realiza fie prin deformarea plastică a unui element intermediar (prin nituire), fie prin deformarea plastică a uneia din piesele de imbinat (imbinarea prin îndoire).

Asamblările demontabile sînt imbinări care pot fi desfăcute ușor. Deși în această categorie pot fi incluse mai multe procedee cea mai răspîdită imbinare demontabilă în construcția echipamentelor electronice este asamblarea prin filet. Ea asigură o legătură rezistentă, etanșă, precisă și sigură.

Calitatea unei imbinări cu șurub constă în strîngerea corectă a șuruburilor sau piulițelor și blocarea împotriva autodesfacerii.

29.3.2. Elaborarea constructivă a echipamentelor electronice

Elaborarea constructivă a echipamentelor electronice constă în plasarea în spațiu a elementelor componente ale blocurilor de comandă și de comutare, ale blocurilor de alimentare și ale elementelor indicatoare etc, pentru ca echipamentul să îndeplinească toate condițiile tehnice, economice, de exploatare, climatice, mecanice etc, pentru care a fost conceput.

Pot exista două blocuri de aranjare a blocurilor componente ale echipamentelor electronice (figura 29.1): în blocuri separate și monobloc.

Aranjarea în blocuri separate este caracteristică echipamentelor de putere mare (exemplu instalațiile de încălzire prin inducție a metalelor). Acest

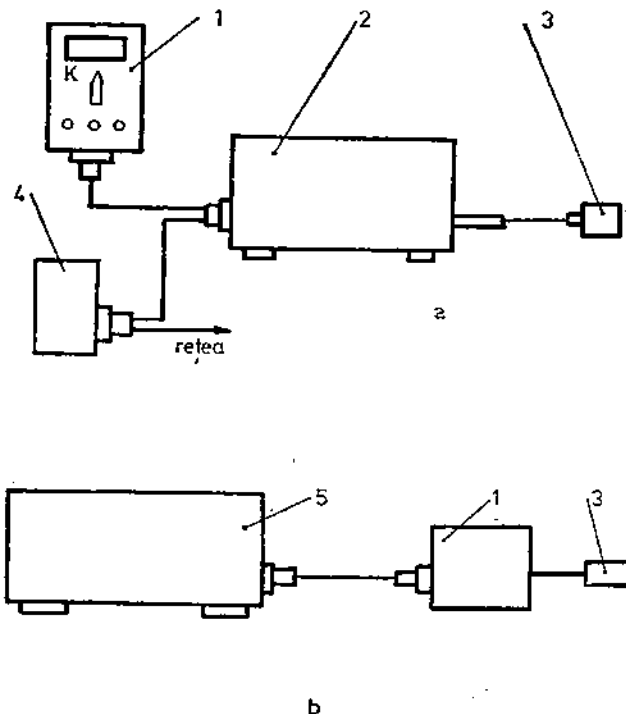


Fig. 29.1. Moduri de aranjare a echipamentelor electronice: a — în blocuri separate; b — monobloc; 1 — pupitrul de comandă; 2 — bloc logic; 3 — transductor; 4 — bloc de alimentare; 5 — echipament în ansamblu

sistem are avantajele: 1) echipamentul este mai sigur în funcționare, deoarece în cazul în care se defectează unul din blocuri, intervenția pentru reparație se efectuează mai ușor; 2) blocurile nu sunt influențate reciproc deoarece sunt dispuse în locuri diferite, rezultând de aici o oarecare simplificare a lucrărilor de ecranare și dezavantajele: 1) prezența cablurilor de legătură inter-blocuri; 2) necesitatea folosirii de sisteme individuale de răcire și ventilație etc.

Aranjarea într-un singur bloc, în dulapuri speciale de exemplu, caracteristică echipamentelor de putere mică, are avantajul utilizării de cabluri de legătură interblocuri de lungime minimă și a ușurării metodelor de răcire și a protecției mecanică și climatică; necesitatea unei ecranări corecte a blocurilor care constituie un dezavantaj al acestui mod de aranjare, este pe deplin compensată de soluția ieftină pe care o oferă o astfel de concepție.

29.3.3. Construcția modulară a echipamentelor electronice

Varietatea mare a tipurilor și dimensiunilor echipamentelor cu destinații funcționale, identice, a pus problema unificării lor constructive.

În decursul ultimilor ani au apărut mai multe sisteme de standardizare modulară a echipamentelor electronice. Alegerea unui anumit sistem trebuie să țină seama de o serie de condiții specifice între care se enumeră următoarele mai importante:

- gradul de dezvoltare al electronicii, posibilitatea de aplicare a proceselor de automatizare în producție precum și gradul de înzestrare și utilizare a calculatoarelor electronice,

- posibilitatea folosirii optime a echipamentelor realizate după sistemul adoptat, în sensul recuperării investițiilor inițiale,

- sistemul trebuie să cuprindă cele mai moderne soluții tehnologice de concepție și construcție pentru a fi aplicat pe timp îndelungat, asigurând astfel rentabilitatea utilizării sale în viziunea unor posibile modificări tehnologice sub influența revoluției științifice și tehnice,

- sistemul trebuie să corespundă normelor internaționale de standardizare în vigoare,

- sistemul trebuie să fie adaptabil atât în tehnica circuitelor analogice cât și digitale, în vederea utilizării lui în legătură directă cu orice tipuri de traductori pentru măsurarea unor mărimi neelectrice, precum și orice tipuri de calculatoare analogice sau digitale. Această cerință se impune și în vederea posibilității de fabricare a unor elemente sau blocuri funcționale, la scară industrială, în vederea asigurării reducerii costurilor de fabricație,

- modulele sistemului ales trebuie să satisfacă următoarele cerințe tehnice și constructive:

- să aibă o construcție cât mai simplă și robustă,

- să poată fi utilizate atât în condiții de laborator, cât și în procesele de producție din industrie,

- să dispună de dimensiuni suficient de mici ale modulelor funcționale pentru a putea fi ușor interconectate în număr cât mai mare în racuri colectoare, în vederea formării ansamblurilor (blocurilor),

- modulele trebuie să aibă un panou frontal pentru amplasarea elementelor de comandă și a indicatoarelor de funcționare.

Sistemele modulare, care au căpătat o extindere deosebită, deși au un preț mai ridicat față de sistemele (mono)bloc au inconvenientul că legăturile între module se realizează prin fișe și cabluri; ele oferă însă avantaje care justifică utilizarea lor și anume:

- interschimbabilitate prin adăugarea altor module (sertare) funcționale, prin executarea de noi legături între module,
- reparare rapidă prin înlocuirea modulelor defecte,
- construcția simplă a unui modul, deci și control, reglaj, depanare, ușor de executat.

- tipizare mecanică (dimensiunile șasiurilor, modulelor, conectorii de legătură a modulelor de șasiu, fișele cablurilor de legătură între module) și electrică.

În țară se utilizează câteva sisteme modulare pentru echipamente electronice;

- sistemul Metroset elaborat de ICE — Institutul de Cercetări Electronice (figura 29.2). Se realizează din profile de aluminiu fabricate la Slatina. Realizarea șasiurilor și casetelor din profile de aluminiu ce pot fi ușor montate elimină sistemul meșteșugăresc de execuție care necesită manoperă multă și se utilizează tot mai mult de constructorii de aparatură electronică cu rezultate economice, funcționale și estetice considerabile,

- sistemul CAMAC (Computer Application for Measurement and Control), este standardizat mondial și se utilizează în special pentru realizarea ansamblurilor de prelucrare numerică a informațiilor. Sasiul de bază include 25 module (sertare), lățimea panoului unui modul fiind 17,2 mm sau multiplu. O placă de cablaj imprimat terminată cu un conector se prinde perpendicular pe panoul frontal al modului de 17,2 (figura 29.3),

- sistemul NIM (Nuclear Instrument Modules).

În continuare se propune un model de structurare pe părți funcționale componente a principalelor etape de realizare a unui echipament electronic; modelul acesta poate fi regăsit atât în echipamentele modulare cit și în cele monobloc.

- *Nivel 0.* Este nivelul cel mai de jos. El constă din elemente componente ale schemelor numite elemente de bază ca de exemplu componente

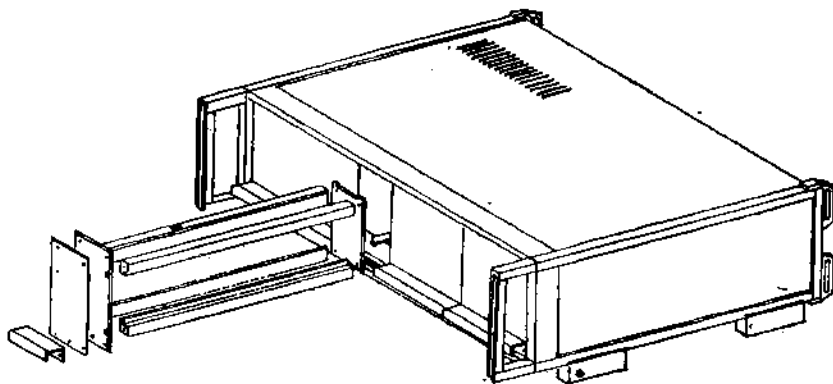


Fig. 29.2. Caseta Metroset 4C (elaborare ICE).

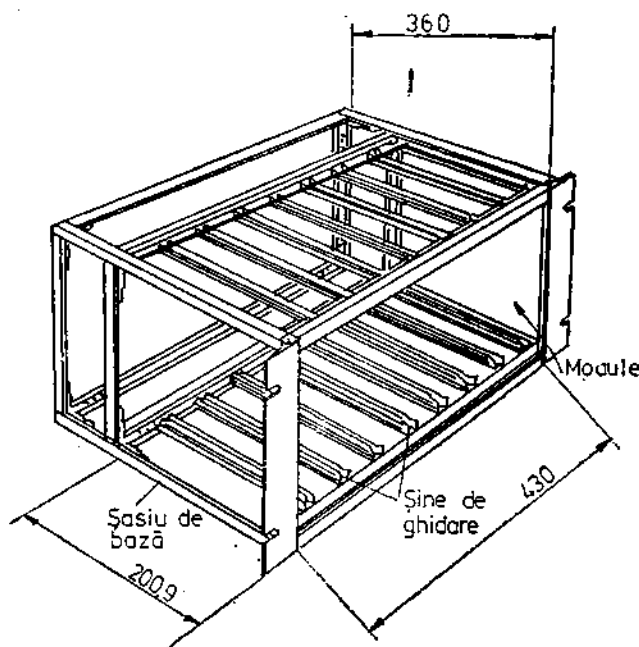


Fig. 29.3. Casetă CAMAC.

electronice pasive (rezistoare, condensatoare, transformatoare etc), componente electronice semiconductoare (tranzistoare, circuite integrate etc),

● *Nivelul I.* În cadrul acestui nivel, elemente componente din „nivelul 0” se montează în configurații cunoscute după scheme formind plăci cu cablaje imprimate montate. Aceste structuri constructive, formate din elemente de bază, nu au panou frontal și butoane de comandă; ele, luate individual, nu pot constitui echipamente de sine stătătoare. Ca exemple de structuri din această categorie se menționează amplificatoarele, circuitele basculante etc.

● *nivelul II.* În acest nivel pot fi incluse modulele sau blocurile compuse din elemente din „nivelul 0” și din elemente din „nivelul I”.

Blocul este partea componentă a unui echipament electronic care poate constitui o unitate independentă atât din punct de vedere funcțional, cât și din punct de vedere al construcției mecanice (de exemplu blocul de alimentare al unui echipament).

● *nivelul III.* Are caracteristicile funcționale ale echipamentului final așa cum a fost conceput de electronist. Se realizează fie sub formă de dulapuri (de exemplu calculatoarele electronice, standurile de încercare etc) fie sub forma unor sisteme funcționale independente (de exemplu un aparat de măsurare, o cameră de luat vederi etc).

În figura 29.4. se prezintă schematic structura menționată.

Structura pe nivele propusă mai sus permite organizarea realizării interdependente a elementelor în cadrul fiecărui nivel, asigurându-se o mare rit-

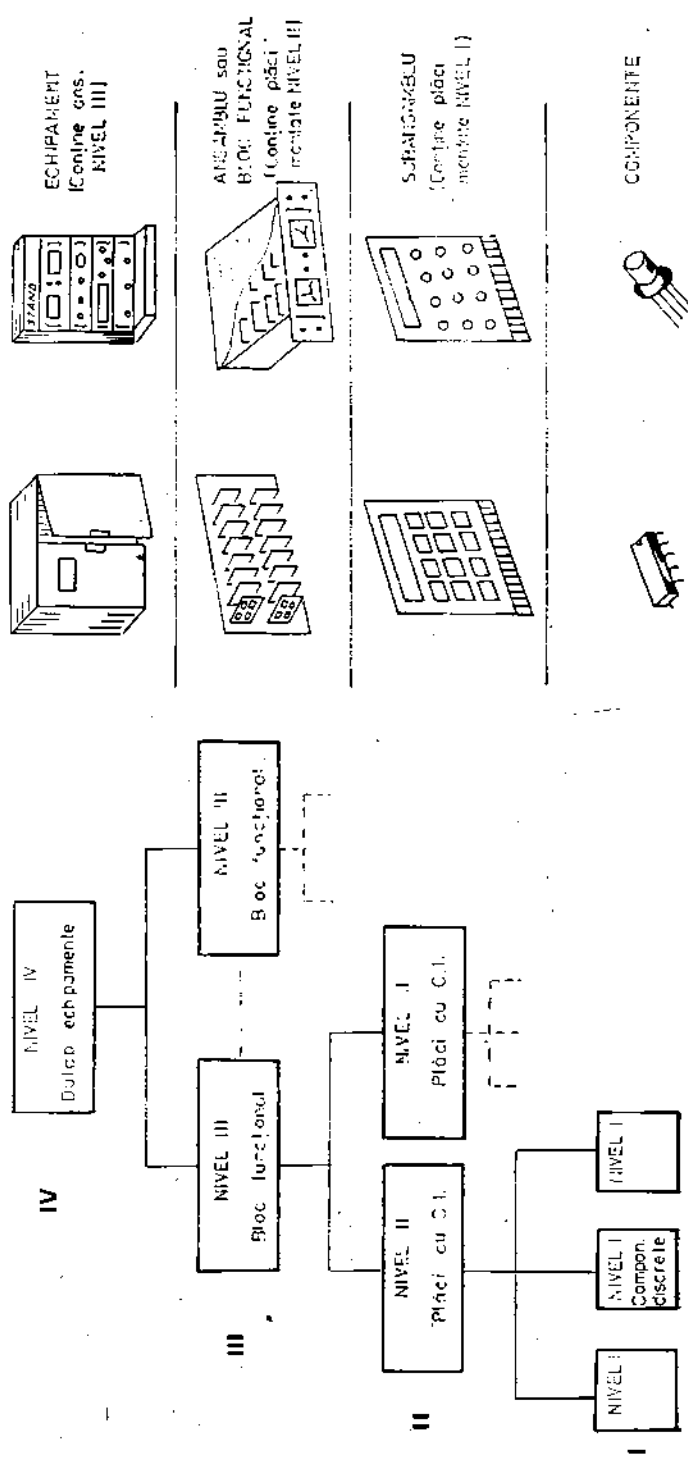


Fig. 29.4. Părți componente ale unui echipament electronic.

micitate a producției pe elemente componente mai simple decât echipamentul în ansamblu. Prin aceasta se creează condiții de unificare a schemelor electrice și condiții de control ceea ce conduce la reducerea termenelor de realizare a echipamentelor electronice și la îmbunătățirea caracteristicilor lor. O astfel de metodă de abordare a construcției echipamentelor electronice se numește metoda ansamblurilor/subansamblurilor funcționale.

29.3.4. Montarea componentelor pe șasiu

Majoritatea componentelor electronice și electrice se asamblează pe cablaje imprimate.

O serie de componente din cauza disipării de căldură sau a masei mari, nu pot fi incluse pe cablajul imprimat. Acestea se montează direct pe șasiu.

Pentru fiecare tip de echipament electronic există moduri specifice de legare a elementelor/componente cu conductoarele și anume:

- pe capse fixate pe reglete din materiale izolatoare; de obicei aceste reglete sînt tipizate și au dimensiuni variabile, funcție de tensiunea și curentul de lucru și de condițiile în care se exploatează echipamentul. În figura 29.5. se prezintă numai ca exemplu o astfel de regletă pentru conectarea bilaterală, prin lipire, a conductoarelor între două module; se face precizarea că în practică există o mare varietate de reglete larg folosite la operațiile de montaj ale echipamentelor electronice,

- pe izolatori, de obicei din teflon sau ceramică, dispuși pe șasiu,

- pe cablaje imprimate (mono sau multistrat).

Piesele cu volume și mase mari, părțile grele ale echipamentului (condensatoare mari, transformatoare etc) se fixează bine de șasiu direct sau prin intermediul altor subansamble de prindere și fixare.

29.4. Realizarea montajului electric

În practică se cunosc următoarele forme de montaj electric

- montajul în volum; este sistemul tradițional, încă utilizat, realizat, cu conductoare lipite,

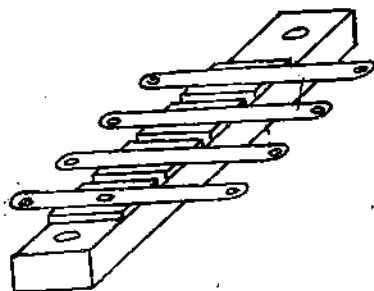


Fig. 29.5. Exemplu de regletă de montaj prin lipire a conductoarelor electrice.

- montajul plat, realizat cu cablaje imprimate,

- montajul combinat, format prin combinarea montajului în volum și a montajului plat.

Montajul în volum poate fi împărțit în montaj intern T (în interiorul echipamentului) și montaj extern (de exemplu montarea cablurilor de legătură). În funcție de caracterul fabricației de echipamente electronice, montajul (în volum) intern se realizează individual (în special pentru serii

mici sau unicate), în grup (pentru serii medii și mari) și/sau prin combinarea acestor două moduri.

În cazul montajului individual, conexiunile pregătite în prealabil sînt dispuse pe trasee conform schemei de cablare, se fixează mecanic și apoi se lipesc punctele de contact.

În cazul montajului în grup, se formează pe un șablon special traseele de conexiune specifice schemei, după care întregul grup de conexiuni se introduce în echipament, se fixează mecanic și se lipesc punctele de contact *. Deoarece în majoritatea cazurilor nu este posibilă realizarea montajului în acest mod, în practică se utilizează montajul combinat în care o parte a schemei se asigură cu conductoare dispuse în grup și o altă parte a schemei se asigură cu conexiuni individuale.

Pentru ușurință, montajul în volum se realizează după scheme de montaj sau tabele tehnologice speciale; la producții de mare serie, pentru ușurință, procesul de montaj se divide într-o serie mare de operații ușoare care să poată fi realizate de un personal cu calificare coborîtă.

În cazul echipamentelor realizate în serii foarte mici sau unicate, pentru montajul electric se folosește schema de principiu. Realizarea montajului după schema electrică de principiu se poate efectua numai de personal cu calificare înaltă.

29.4.1. Tehnologia lipirii conductoarelor

Prin lipire se înțelege procedeul de îmbinare al pieselor metalice cu ajutorul unui metal sau aliaj în stare topită, care apoi se solidifică.

Aliajul folosit pentru îmbinarea pieselor metalice se numește aliaj pentru lipit; aliajul pentru lipit trebuie să aibă o temperatură de topire mai scăzută decît metalele care se lipesc.

În linii mari procesul de lipire a două piese metalice are loc în următoarele etape:

- curățirea suprafețelor metalelor ce se lipesc,
- încălzirea metalelor de bază pînă la o temperatură apropiată de temperatura aliajului pentru lipit,
- topirea aliajului pentru lipit.
- întinderea aliajului pentru lipit în stare lichidă pe suprafața metalelor de bază care urmează a se lipi și umplerea cusăturii.
- dizolvarea metalelor de bază din zona cusăturii în aliajul pentru lipit aflat în stare lichidă și difuziunea reciprocă a metalelor,
- solidificarea prin răcire a aliajului pentru lipit.

Aliaje pentru lipit. Metalele sau aliajele cu ajutorul cărora se îmbină corpurile metalice solide prin lipire se numesc metale sau aliaje pentru lipit.

* În producție de serie, în cazul montajului în grup dispunerea conductoarelor (individuale) pe șabloane se realizează după scheme și tabele: un tabel cuprinde numărul de ordine al conductorului (conform schemei); locul unde trebuie dispus, adică punctele unde se realizează conectarea; culoarea cablurilor etc.

Ele se împart în două categorii: moi (în special cele pe bază de staniu sau plumb) și tari (în special cele pe bază de cupru sau argint).

În funcție de temperatura de topire, care constituie caracteristică importantă, aliajele pentru lipit se clasifică în: ușor fuzibile (care au temperatura de topire sub 400°C și sînt aliaje pe bază de staniu, plumb, cadmiu etc) și greu fuzibile (care au temperatura de topire peste 500°C și sînt aliaje pe bază de cupru, de argint, de nichel etc).

Caracteristicile metalelor și aliajelor de lipire sînt următoarele:

- temperatura lor de topire să fie mai mică decît temperaturile de topire ale metalelor de bază,
- fluiditate ridicată, pentru o bună umplere a cusăturii.
- rezistență la coroziune mare,
- coeficienții de dilatare ai metalelor de bază,
- conductivitatea electrică mare, necesară pieselor prin care circulă curent electric,
- preț de cost scăzut.

• Aliajele pentru lipit, ușor fuzibile sînt formate din metale cu temperaturi joase de topire cum sînt: staniul, plumbul, zincul, cadmiul, indiul etc.

Lipiturile executate cu aceste aliaje se caracterizează, în afară de temperaturi joase de topire, prin duritate mică (de unde și denumirea de aliaje pentru lipit moi) și printr-o rezistență mecanică scăzută. Ele se folosesc numai pentru lipirea pieselor care funcționează la temperaturi nu prea ridicate ($50-150^{\circ}\text{C}$) și la eforturi mecanice reduse.

Cele mai utilizate aliaje ușor fuzibile sînt cele pe bază de plumb și staniu; în practică se folosesc astfel de aliaje cu un conținut de staniu de la 2% la 90%. Pentru mărirea rezistenței lipiturilor cu aceste aliaje, li se adaugă cca. 1-6% stibiu (Sb).

Aliajele pentru lipit greu fuzibile asigură lipiturilor o rezistență mare. În funcție de metalele de bază care intră în compunerea lor, ele pot fi: pe bază de cupru și zinc și pe bază de argint sau de nichel.

Fluxuri pentru lipit. Fluxul de lipit are în principal rolul de a reduce tensiunea superficială a aliajului pentru lipit; prin intermediul lui aliajul de lipit în stare topită, „udă” în condiții bune suprafața metalelor de bază și ușurează lipirea. Concomitent, fluxul pentru lipit curăță și suprafața metalului de bază, și-l protejează contra oxidării în timpul încălzirii.

Pentru a asigura o lipitură bună*, fluxul de lipit trebuie să prezinte o serie de proprietăți și anume:

- să asigure condiții de „udare” a suprafeței metalului ce se lipește de aliajul pentru lipit în stare topită;
- să protejeze suprafața metalelor ce se lipesc contra oxidării în timpul încălzirii.
- să dizolve peliculele de oxizi de pe suprafața metalului de bază și a aliajului pentru lipit.

* Trebuie să se amintească încă o dată, că folosirea fluxului de lipit nu înlătură curățirea preliminară a materialelor de lipit; majoritatea fluxurilor sînt fără efect dacă suprafețele ce se lipesc sînt murdare.

— să-și păstreze proprietățile și să nu-și modifice compoziția în timpul încălzirii pentru lipire,

— să nu degaje gaze nocive,

— să nu corodeze excesiv lipitura,

— să aibă preț de cost scăzut.

Fluxurile solide, sub formă de praf, sînt amestecuri de diverse săruri și se folosesc la lipirea cu aliaje de lipit greu fuzibile. Se utilizează bcraxul, acidul boric și amestecurile lor.

Pentru lipirea cu aliaje pentru lipit ușor fuzibile se folosesc de cele mai multe ori fluxuri lichide: clorura de zinc și moniu și o serie de solvenți speciali ca alcozul, glicerina etc.

Din categoria fluxurilor gazoase fac parte așa-numitele atmosfere controlate în compoziția cărora intră gazele de reducere ca de exemplu hidrogenul, sau gazele inerte, ca de exemplu argonul.

Metode de lipire. Procedeele de lipire * sînt variate și depind de formele de încălzire a pieselor care se lipesc.

Se folosesc mai multe procedee de lipire și anume:

● *Lipirea cu ciocanul de lipit.* Este o metodă foarte utilizată; pentru lipire este important să se mențină temperatura lipiturii și să se aleagă corect puterea ciocanului de lipit.

Pregătirea ciocanului de lipit constă în ascuțirea la 30—40° și curățirea vârfului de lipit; vârful de lipit se realizează din cupru curat, deoarece acest metal „udă” bine suprafața de lipit și are o bună conductivitate termică **.

Vârful ciocanului curățat se încălzește la 250—300°C după care el se înmoaie în flux și se acoperă cu aliajul de lipit.

Locul de îmbinare se protejează de praf, oxizi etc, prin acoperire cu flux. Ca să se obțină lipituri de calitate, este necesar ca aliajul să fie frecat bine cu ajutorul ciocanului de lipit pe cusătură; dacă o porțiune a cusăturii rămîne neacoperită, ea va fi din nou curățată.

● *Lipirea cu arzătorul de gaze (brenerul).* Se folosește acolo unde nu este posibilă lipirea, cu ajutorul ciocanului de lipit în special pentru lipirea unor elemente metalice de masă mare. Pentru lipirea cu arzătorul de gaze se utilizează atît aliaje de lipit ușor fuzibile, cît și aliaje greu fuzibile pe bază de cupru și de argint sub formă de bare sau sîrmă.

Înainte de lipire se degresează și se decapează locul de lipit; piesele astfel pregătite se spală, se usucă, se acoperă cu flux, se montează în dispozitive de prindere și se așează pe bancul de lucru. Piesa se încălzește uniform prin mișcarea arzătorului tot timpul în lungul cusăturii. După ce locul de lipit este încălzit la temperatura de topire a aliajului pentru lipit, se apropie de cusătură capătul barei de aliaj de lipit, acoperit cu flux, care se topește și umple cusătura.

* Lipirea sigură și precisă, a devenit o necesitate în producția de echipamente electronice. Blocurile electronice sînt tot mai compacte. Operațiile de reparare a blocurilor se folosesc tot mai rar iar componentele au devenit tot mai sensibile la acțiunea căldurii. Toate aceste lucruri sînt în evidență faptul că procesul de lipire trebuie să fie foarte bine studiat.

** Totuși, cuprul pur se dizolvă repede în aliajul de lipit și după o perioadă de timp vârful ciocanului se deformează.

● *Lipirea prin rezistența de contact.* În acest caz se folosește degajarea de căldură la trecerea curentului electric. Pentru lipirea prin acest procedeu se folosesc de obicei mașini de sudat prin rezistență sau mașini de sudat cap la cap.

● *Lipirea prin încălzire cu curenți de înaltă frecvență.*

Este un procedeu care se aplică în producția de masă. Metoda se bazează pe faptul că într-un metal introdus într-un câmp electromagnetic ia naștere un curent electric de mare intensitate, care încălzește metalul respectiv, într-un timp extrem de scurt.

Pentru lipire se folosesc generatoare de pulere de înaltă frecvență prevăzute cu inductoare pentru încălzirea pieselor. Forma inductorului este determinată de configurația pieselor de lipit, în practică utilizându-se inductoare de cele mai variate forme.

Pentru lipire se folosesc aliaje de lipit și fluxuri corespunzătoare.

● *Lipirea prin scufundare în aliajul de lipit, topit.* În acest caz toate conexiunile se efectuează simultan și se aplică pentru cablajele imprimate. Lipirea se execută aplicând suprafața placată a plăcii-suport pe oglinda unei băi de aliaj de lipit, topit și menținut la temperatura de 240°C. Baia este o cuvă de fontă, prevăzută cu un element de încălzire și un termostat care păstrează temperatura constantă (în limitele $\pm 5^\circ\text{C}$).

● *Lipirea în baia de aliaj de lipit prin agitare a suprafeței.* Acest procedeu prezintă avantajele de a nu necesita curățirea stralului de zgură ce se formează la suprafața aliajului topit (deoarece pe creasta valului nu se află niciodată zgură) și de a reduce șocul termic (datorită încălzirii treptate a placatului). Durata coșitoririi este de câteva secunde și se stabilește prin probe.

Montajul care se execută prin lipire cu conductoare normale din cupru izolat și componente electronice, trebuie să răspundă la o serie de caracteristici care să confere echipamentului electronic calitatea necesară și siguranța mare în exploatare; aceste condiții sînt următoarele:

● izolația conductoarelor nu trebuie să aibă defecte,

● nu este permisă prelungirea conductoarelor prin răsucire sau lipire,

● conductoarele de legătură nu trebuie să fie tensionate mecanic; pentru evitare, la montare se va avea în vedere o rezervă de lungime de 5–10 mm, pentru formarea unei mici bucle. Bineînțeles acest lucru este valabil dacă nu este vorba de echipamente de înaltă frecvență unde formarea acestor bucle este contraindicată,

● conductoarele nu trebuie să fie în contact cu componente care se încălzesc; distanța minimă între conductor și componenta ce se încălzește este 5 mm. Se va avea grijă ca în astfel de situații să se utilizeze conductoare cu izolație termostabilă (de exemplu izolație din siliconi).

● dispunerea conductoarelor trebuie făcută în așa fel încît să poată fi citite toate semnele marcate pe ele,

● nu se admite lipirea la o capsă sau la un nit a mai mult de 2, maximum 3 conductoare,

● se recomandă ca ecranul conductoarelor cu lungimi pînă la 100 mm, să se lege la masă într-un singur punct, iar ecranul conductoarelor mai lungi, peste 100 mm, să se lege la masă în două puncte (ambele capete).

29.4.2. Montajul pe cablaj imprimat

Pe măsura creșterii complexității echipamentelor electronice și a reducerii gabaritelor lor devine tot mai important modul de executare a conexiunilor electrice interne. Realizarea conexiunilor electrice interne nu numai că trebuie să țină seama de problema productivității dar constituie și factorul determinant al calității echipamentului și limitează gabaritele echipamentelor electronice; de exemplu, într-o serie de echipamente electrice actuale, aproximativ 80% din volumul de montaj o constituie conexiunile între componente. Rezultă clar că chiar reducerea la zero a volumului ocupat de componentele electronice de bază, care intră în alcătuirea schemelor, nu asigură o reducere semnificativă a volumului echipamentului.

Nu trebuie neglijat nici faptul că o deosebită importanță revine și siguranței în funcționare a conexiunilor electrice; chiar și pentru valori mici ale numărului de defecte ale conexiunilor electrice, datorită numărului lor foarte mare, siguranța în funcționare a întregului echipament electronic se micșorează semnificativ.

Practica a generalizat două căi de soluționare a acestei probleme care urmează să se utilizeze simultan:

● creșterea gradului de integrare a componentelor principale de circuit (noțiunea aceasta se va explica în unul din paragrafele următoare),

● creșterea siguranței în funcționare a contactelor. Prin utilizarea componentelor electronice larg integrate, cea mai mare parte a punctelor de contact se efectuează chiar în interiorul componentei, unde tehnologic se asigură contacte de calitate deosebit de bună.

Efectuarea montajului cu conductoare clasice, așa cum s-a menționat în paragrafele anterioare, se realizează cu un volum important de muncă în special în cazul în care montajul se execută în serie și implicit fiecare conexiune separat. O creștere semnificativă a productivității muncii este posibilă prin trecerea la procesul de montaj în grup sau, cum se mai numește, în paralel, cînd grupe întregi de conexiuni se realizează simultan. Această posibilitate de montaj este oferită de cablajul imprimat.

Prin cablaj imprimat, așa cum se cunoaște, se înțelege cablajul în care conductoarele (de legătură între componente) sînt realizate sub formă de benzi sau suprafețe conductoare de metal pe un suport izolat.

Pe cablajul imprimat componentele se fixează în terminale și din acest motiv efortul în timpul vibrațiilor și șocurilor mecanice se transmite terminalelor și lipiturilor; de aceea componentele (mai mari se fixează cu ajutorul unor scoabe avîndu-se grijă ca ele să se dispună pe cît posibil către punctele de fixare a plăcilor, care conțin cablajul imprimat pe șasiul echipamentului.

La montajul pe cablaje cu o față, componentele se fixează foarte aproape de suprafața plăcii imprimate, iar pe cablajul cu dublă față la o oarecare distanță de placa imprimată.

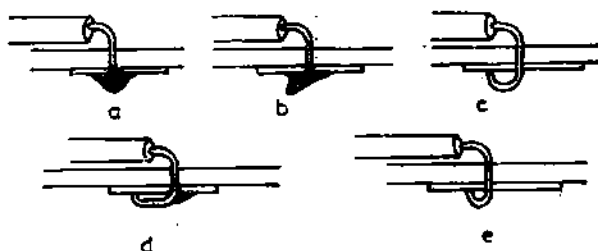


Fig. 29.6. Configurații ale terminalelor pentru lipirea pe cablaj imprimat.

Conectarea cu elemente din afara cablajului imprimat se realizează în două moduri: cu conexiuni nedemontabile (prin lipire) și cu conexiuni demontabile (cu conectoare).

Utilizarea circuitelor integrate, cu un număr mare de terminale complică în mare măsură trasarea pe cablaj a liniilor conductoare care, pentru o serie de scheme, nu pot fi realizate pe cablaj simplu și dublu placcat; aceasta conduce la necesitatea utilizării cablajelor imprimate multistrat.

În figura 29.6 se prezintă câteva configurații ale terminalelor componentelor dispuse pe un cablaj imprimat în vederea lipirii. Rezultate bune sau foarte bune, din punct de vedere al siguranței în funcționare a lipiturii, se obțin în cazul terminalelor îndoit în unghi drept.

Făcându-se câteva referiri la figura 29.6 se constată următoarele:

- la îndoirea terminalelor ca în *a* stratul de aliaj de lipit pe terminal este uniform;
- în *b* se obține o lipire satisfăcătoare,
- în *c* terminalul este îndoit sub formă de cerc iar lipirea este satisfăcătoare,
- în *d* îndoirea terminalului se realizează în lungul cablajului; în acest caz stratul este strălucitor de foarte bună calitate,
- în *e* terminalul îndoit sub formă de U, calitatea lipiturii este nesatisfăcătoare.

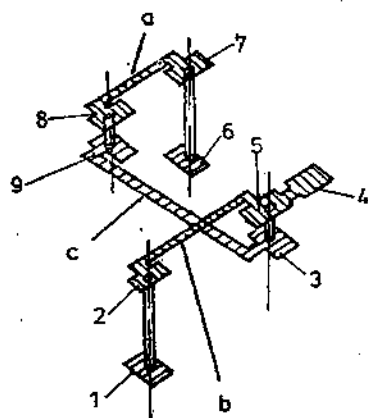


Fig. 29.7. Legarea traseelor conductoare în cazul cablajelor multistrat.

Se menționează că toate configurațiile prezentate în figura 29.6 se realizează în cazul montajului automat al componentelor electronice pe placat.

În figura 29.7 este ilustrat un exemplu de realizare a conductoarelor de legătură în cazul unui cablaj imprimat multistrat, obținut prin presarea a două folii de cablaj imprimat. În primul strat sînt prevăzute suprafețele de contact 7 și 8, 2, 4 și 5, unite prin traseele conductoare *a*, respectiv *b*; în al doilea strat de contactare, prevăzut între cele două plăci izolate, sînt dispuse, transversal, suprafețele de

contact 3 și 9, unite prin traseul conductor *C*. Următorul strat (cel de jos, al celei de a doua plăci izolate), are suprafețele de contact 1 și 6.

Suprafețele de contact 8 și 5, ale primului strat sînt unite cu suprafețele 9, respectiv 3, ale celui de al doilea strat, iar suprafețele de contactare 2 și 7, ale primului strat cu suprafețele 1, respectiv 6 ale celui de al treilea strat conductor.

29.5. Realizarea echipamentelor electronice cu circuite integrate

Pină la realizarea echipamentelor microelectronice actuale s-a parcurs un drum uriaș marcat de cîteva etape principale materializate prin cele cîteva generații menționate în figura 29.8.

Prima generație de echipamente electronice este generația tuburilor electronice. Slaba siguranță în funcționare, gabaritele mari, puterea disipată importantă a tuburilor electronice au limitat posibilitățile de aplicare a acestei categorii de echipamente.

Dezvoltarea tehnologiei electronice și apariția dispozitivelor semiconductoare au determinat trecerea la cea de a doua generație de echipamente electronice, realizate nu cu tuburi electronice ci cu dispozitive semiconductoare discrete (tranzistoare, diode). Utilizarea componentelor semiconductoare a permis creșterea vitezei de funcționare și a siguranței în exploatare, reducerea gabaritelor și a puterii consumate de aceste echipamente.

Echipamentele electronice din generația I și II fac parte din categoria echipamentelor așa-numite clasice sau din categoria așa-numitelor echipamente cu componente electronice discrete.

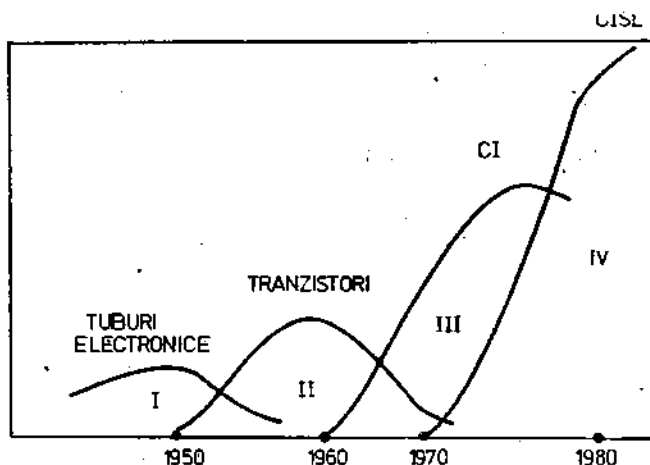


Fig. 29.8. Evoluția echipamentelor electronice.

Construirea echipamentelor electronice cu componente discrete a scos în evidență și unul din cele mai mari neajunsuri ale lor: prezența unui număr însemnat de conductoare și de lipituri, a condus la o slabă siguranță în funcționare a acestor echipamente cit și la complicații la realizarea și la exploatarea lor.

Generația III de echipamente se caracterizează prin utilizarea CI, care au înlocuit majoritatea tranzistoarelor și a altor componente discrete.

Utilizarea CI în calitate de componentă de bază în echipamentele din a treia generație, a condus la următoarele avantaje, esențiale, față de echipamentele din generația a doua: creșterea vitezei și siguranței în funcționare, reducerea gabaritelor și a consumului de energie.

Etapa actuală de dezvoltare a echipamentelor electronice se caracterizează prin trecerea la fabricația echipamentelor electronice din generația a patra. Baza pentru această trecere o constituie succesele obținute în ultimii ani în domeniul microelectronicii; aceste succese au permis să se creeze CI cu un nivel înalt de integrare, așa-numitele circuite integrate pe scară largă (CISL) și circuitele integrate pe scară foarte largă (CISFL). Echipamentele din generațiile III și IV le vom numi echipamente microelectronice (EME). Realizarea acestor echipamente prezintă unele particularități și anume:

● la trecerea de la echipamentele electronice clasice la echipamentele microelectronice este necesar să nu se utilizeze componente electronice de gabarit mare. Acest lucru se poate obține pe două căi: 1) prin miniaturizare, ceea ce nu este totdeauna posibil, deoarece există și unele limitări constructive; 2) prin modificarea schemelor electronice în așa fel încât funcția componentei de bază să fie îndeplinită de CI sau de ansambluri de CI. De exemplu clasicul circuit de integrare RC cu componente discrete poate fi înlocuit printr-un CI: amplificatorul de înaltă frecvență cu circuit LC poate fi înlocuit cu un CI amplificator de bandă largă în combinație cu filtre construite cu CI. În tabelul 29.1 se prezintă câteva funcții din echipamente electronice clasice care în echipamentele microelectronice pot fi îndeplinite de CI.

Tabelul 29.1. Analogie între blocuri funcționale folosite în echipamente clasice și echipamente microelectronice

Echipamente electronice realizate cu componente discrete (generațiile I și II)	Echipamente microelectronice (generațiile III și IV)
Generator de înaltă frecvență realizat cu tuburi electronice sau cu tranzistoare	Generator cu CI
Memorii cu ferite	Memorii cu CISL de tip MOS sau cu dispozitive cuplate prin sarcină
Instrumente cu ac indicator	Dispozitive de afișare optoelectronice
Relee electromagnetice cu contacte	Relee fără contacte cu dispozitive optoelectronice
Cabluri electrice	Fibre de sticlă
Tuburi catodice	Ecrane cu componente optoelectronice; cu dispozitive cuplate prin sarcină

- este mai robustă la vibrații și șocuri mecanice,
- permite realizarea de echipamente complexe de gabarite mici, putând fi utilizate pretutindeni inclusiv pe mijloace de zbor.

Microminiaturizarea echipamentelor electronice reprezintă una din direcțiile relativ noi ale electronicii.

Această direcție larg utilizată în echipamentele de tehnică de calcul, unde circuitele integrate au o largă utilizare, este evidentă în prezent și în alte domenii ale construcției de echipamente electronice. Este suficient să se menționeze că evoluția componentelor electronice a transformat complet televizorul. De exemplu, dacă schema de bază, adică ansamblul diferitelor funcțiuni ale unui televizor (alb negru sau color) nu a suferit nici o modificare de principiu încă de la originea sa, există evident o prăpastie tehnologică între televizoarele realizate în 1969 și cele realizate în 1979. Fără a se face referiri la dispariția completă a tuburilor electronice și înlocuirea lor prin tranzistoare, care la rândul lor se înlocuiesc prin circuite integrate, aceasta este o evoluție inevitabilă în domeniul echipamentelor electronice.

În ce privește structura tehnologică a televizoarelor de azi se constată la majoritatea constructorilor, și la noi în țară, o tendință din ce în ce mai mare spre o modularizare tot mai avansată. Altfel spus, șasiul principal, divizat, de cele mai multe ori, în două sau trei părți de bază, conține un număr de subansamble fixate pe ele prin intermediul conectoarelor, fiecare din aceste subansamble îndeplinind una, două sau trei funcții din schema televizorului. De exemplu; amplificatorul video dacă este vorba de un televizor alb-negru; baza de timp; amplificatorul de joasă frecvență; regulatorul de tensiune, alimentatorul etc. Această separare a funcțiilor, legată de o demontare foarte ușoară a fiecărui modul, favorizează evident intervenția eventuală a unui depanator, fie într-un atelier specializat, fie chiar la locul unde este instalat televizorul; având la dispoziție un număr de module de rezervă electronistul este în măsură să localizeze imediat defectul, chiar dacă el nu este familiarizat în mod special cu modelul respectiv. În felul acesta depănarea se reduce la substituirea modului defect printr-un modul bun și repararea celui defect într-un atelier de specialitate.

Introducerea circuitelor integrate în acest domeniu permite să se estimeze, pentru anii următori, o evoluție în sensul că un televizor se va transforma încetul cu încetul într-o centrală de informații la domiciliu, jucând rolul unui calculator domestic.

Având în vedere cele spuse și ținând seama și de clasificarea pe nivele propuse pentru sistemele de asamblare în unul din paragrafele precedente, se propune ca echipamentele electronice, cu circuite integrate să se clasifice, după complexitatea lor funcțională, în următoarele nivele: circuitul integrat (nivel 0), subansamblul (nivel I), blocul (nivel II) și echipamentul propriu-zis (nivel III).

Circuitul integrat reprezintă componenta funcțională sau unitatea în cadrul echipamentelor complexe cu circuite integrate, așa cum rezistorul, dioda, tranzistorul, reprezintă unitatea pentru echipamentele electronice cla-

sice. Ca exemplu de componente standard din această categorie se menționează: amplificatoarele operaționale, circuitele basculante, numărătoare etc. La nivele la care se realizează circuitele integrate actuale acestea sînt circuite integrate cu grad mic sau mediu de integrare (generațiile I și II)

Subansamblul reprezintă o parte componentă a unui bloc. El este realizat din mai multe circuite integrate conectate pe baza unei scheme electronice, pe un cablaj imprimat (mono sau multistrat) așa cum se arată în figura 29.4. La alcătuirea unui subansamblu circuitele integrate se dispun pe placa de cablaj imprimat fie în linie pe unul sau mai multe rinduri, fie în zig-zag; distanța dintre circuitele integrate se alege între 10 și 15 mm iar distanța între conductoarele imprimate între 0,5 și 1 mm. Un subansamblu poate fi realizat și în tehnica CIH.

Blocul unui echipament microelectronic se caracterizează printr-o complexitate funcțională mai mare decît subansamblul (figura 29.4). El poate îndeplini o parte din funcțiunile echipamentului. Ca exemple de blocuri funcționale se menționează blocurile de memorie, (micro)procesoarele calculatoarelor electronice etc. Din punct de vedere funcțional și constructiv blocul este un subansamblu finit al unui echipament electronic care însă nu poate fi exploatat autonom. Cu posibilitățile actuale ale tehnologiei circuitelor integrate monolitice și hibride, se pot realiza blocuri funcționale într-un singur circuit integrat.

29.6. Controlul și reglajul echipamentelor electronice

Pentru ca echipamentele electronice să poată funcționa normal este necesar ca parametrii tuturor blocurilor și subansamblurilor funcționale componente să fie realizate conform proiectelor de execuție; ca atare fiecare bloc, înainte de a fi conectat pentru a funcționa alături de celelalte blocuri componente ale echipamentului, se reglează.

Prin reglaj se caută să se obțină parametrii funcționali doriți fără să se modifice schema și construcția blocului controlat. Acest lucru se realizează cu ajutorul componentelor electronice prevăzute în acest scop și anume prin: rezistoare reglabile, condensatoare reglabile, inductanțe variabile etc.

Pentru ca reglajul să se efectueze corect este necesară o aparatură de măsurare corespunzătoare; precizia acestei aparaturi de regulă trebuie să fie cu un ordin de mărime mai bună decît precizia reglajului. De obicei se utilizează aparatură de măsurare standard sau aparatură de reglare realizată special pentru acest scop (chiar) de constructorul de echipamente electronice.

Dacă se ține seama că echipamentele electronice actuale conțin un mare număr de componente și de blocuri interconectate, atunci procesul de reglare al acestor echipamente este foarte complex și trebuie executat de cadre de o înaltă calificare.

30. Procese de evacuarea căldurii (răcirea)

Echipamentele electronice actuale reprezintă în esență convertoare de energie. În procesul lui de funcționare, echipamentului i se aplică o sursă de energie, care la ieșire, se regăsește într-o anumită proporție, într-o energie (semnal) utilă. În funcție de echipament, până la peste 90% din energia electrică consumată se transformă în energie termică. Din motivul acesta temperatura în interiorul majorității echipamentelor electronice, depășește cu mult temperatura mediului ambiant.

Creșterea temperaturii echipamentelor electronice se manifestă prin variația parametrilor și prin reducerea siguranței lor în funcționare.

Influența negativă a temperaturilor ridicate se manifestă asupra tuturor componentelor echipamentului: rezistoare, condensatoare, semiconductoare etc.

Pentru a pune în evidență modul în care se manifestă influența temperaturii ridicate asupra unor componente electronice, se menționează, cu titlu de exemplu, influența asupra tranzistoarelor de putere cu germaniu (figura 30.1) a temperaturii mediului înconjurător.

Din exemplul dat se vede că puterea de disipație admisă pe tranzistoare este aceeași la temperatura $+25^{\circ}\text{C}$, tranzistorul fără răcire și la temperatura $+80^{\circ}\text{C}$, tranzistorul cu răcire. Tranzistorul se distruge în cazul în care funcționează fără răcire la temperaturi mai mari de $+80^{\circ}\text{C}$ (curba 1).

Reducerea dimensiunilor echipamentelor electronice, legată de creșterea densității montajului pe unitatea de volum de echipament, îngreunează și mai mult condițiile de evacuare a căldurii; chiar și reducerea puterii de disipație a componentelor de gabarit mic produce concentrări de (mari) cantități de căldură în volume mici, ceea ce conduce la creșterea temperaturii în interiorul echipamentului.

Temperaturile ridicate influențează defavorabil și asupra unor materiale utilizate la construcția echipamentelor electronice; în categoria acestora pot fi incluse materialele plastice, amortizoarele din cauciuc etc.

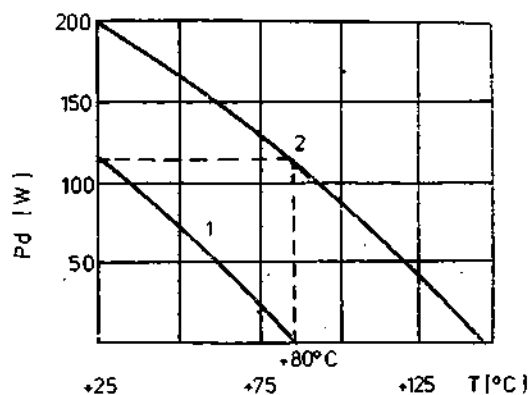


Fig. 30.1. Dependenta puterii disipate a unui tranzistor de putere, de temperatura mediului ambiant:

1 — fără radiator; 2 — cu radiator

Se cunosc trei moduri de evacuare a căldurii; prin conducție, prin convecție și prin radiație *.

Evacuarea căldurii prin conducție. Conducția este metoda de transfer al căldurii cea mai eficientă de la sursa caldă la șasiu (radiator, casetă) și este o funcție de un coeficient de transmisie a căldurii, de secțiunea transversală, lungime și de diferența de temperatură față de mediul ambiant.

Mărimea coeficientului de transmisie a căldurii are valori diferite pentru diverse materiale; pentru majoritatea gazelor el are valoarea cea mai mică. El are o valoare mai mare pentru lichide și în special pentru apă. Metalele au acest coeficient mare (de exemplu argintul și cuprul).

Evacuarea căldurii prin convecție. Convecția este metoda efectivă de transfer al căldurii de la sursa caldă la mediul ambiant și de la sursa caldă la șasiu (radiator, casetă). Răcirea prin convecție este funcție de rezistența termică, de condițiile de suprafață, de felul fluidului de răcire, viteza și caracterul dinamic al curgerii fluidului de răcire (turbulent sau laminar) și de diferența de temperatură între suprafață și fluid.

Evacuarea căldurii prin radiație. Radiația este importantă în transferul căldurii prin aripioare de răcire. Răcirea prin radiație depinde de suprafață și de prelucrarea lucioasă sau mată a suprafeței (de exemplu coeficientul de radiație are valoarea 0,05 pentru aluminiul lustruit și 0,7—0,9 pentru aluminiul negru eloxat), de diferența de temperatură între sursa caldă și obiectele înconjurătoare.

30.1 Sisteme de răcire

Evacuarea căldurii degajate în timpul funcționării are o mare importanță practică pentru rezolvarea problemelor de răcire ce se pun la realizarea echipamentelor electronice. Cantitatea mare de căldură care se degajă pe unitatea de suprafață (atingind chiar sute sau mii de W/cm^2) are consecințe negative prin aceea că limitează posibilitatea micșorării gabaritelor echipamentelor.

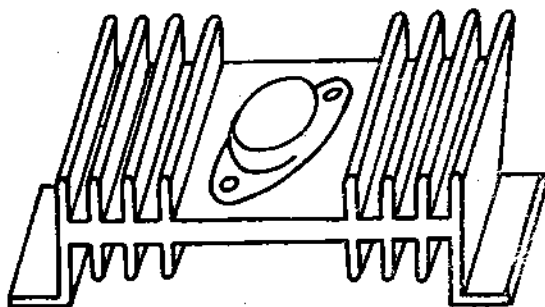
Sistemele de răcire se împart în următoarele grupe: sisteme de răcire prin conducție, cu aer, cu lichid și sisteme termoelectrice.

30.1.1. Sisteme de răcire prin conducție

Sînt sisteme în care evacuarea căldurii din părțile (regiunile) încălzite ale echipamentului se realizează pe seama conducției termice a elementului care trebuie răcit, fixat nemijlocit pe suporturi speciali (șasiuri, radiatoare etc).

* În practică în marea majoritate a cazurilor căldura se evacuează prin toate cele trei moduri simultan.

Fig. 30.2. Fixarea unui tranzistor de putere pe un radiator:



În figura 30.2 este reprezentat unul din modurile de fixare a unei componente electronice pe un radiator. Energia degajată, prin conducție termică, se transmite în spațiul înconjurător al construcției metalice a echipamentului pe care-l încălzește.

30.1.2. Sisteme de răcire cu aer (gaz)

Sistemele de răcire cu aer (gaze) sînt sisteme în care ca mediu de evacuare a căldurii se utilizează gaze (de obicei aer). Ele se împart în:

● *Sisteme cu răcire naturală.* O bună parte din echipamentele electronice (în special cele de largă utilitate) folosesc răcirea naturală cu aer în virtutea căreia căldura se elimină din regiunile calde ale echipamentului prin conducție, prin convecție și prin radiație. Se prezintă în continuare câteva date cu caracter practic, pentru ușurarea condițiilor de răcire naturală:

— în pereții cutiei echipamentului sînt dipuse găuri sau jaluzele (figura 30.3, care se realizează pe fundul și pe capacul cutiei pentru a se asigura un bun tiraj pentru aer. Orificiile de prisos, de exemplu cele de pe partea centrală a cutiei, pot duce la înrăutățirea condițiilor de răcire, deoarece reduc tirajul de aer,

— componentele care disipă mult (transformatoarele, tranzistoarele și diodele de putere, tuburile electronice etc.) trebuie să fie montate pe suprafața

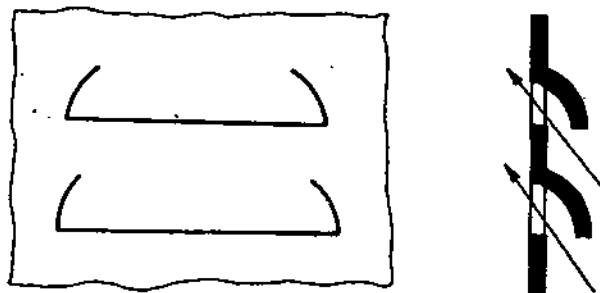


Fig. 30.3. Jaluzele pentru răcirea echipamentelor electronice.

exterioară a șasiului și pe cât posibil în partea superioară a construcției * pentru a nu încălzi celelalte blocuri ale echipamentului,

— transformatoarele și bobinele de șoc cu miez pot disipa o cantitate mai mare de căldură în cazul în care se execută cu ecran electrostatic prin intermediul căruia se evacuează, prin conducție, o parte din căldură.

● *Sisteme cu răcire forțată cu aer.* Pentru aplicarea acestui procedeu de evacuare, mișcarea agentului de răcire (aerul) se efectuează prin intermediul unui ventilator sau (mai rar) al unei pompe; gradul de evacuare a căldurii depinde de modul în care „curge” aerul. Din punct de vedere tehnic deosebim curgerea laminară (liniștită) și curgerea turbulentă. Răcirea se asigură mai bine în cazul curgerii turbulente; aceasta se realizează cu ventilatoare de putere relativ mare.

30.1.3. Sisteme de răcire cu lichide

Sistemele de răcire cu lichide sînt acelea care utilizează lichidele ca mediu de evacuare a căldurii. Ele se împart în sisteme cu convecție naturală și în sisteme cu convecție forțată.

● *Sistemele cu convecție naturală* de regulă se realizează sub forma unui volum închis, umplut, cu un lichid de răcire, în interiorul căruia se introduc (se cufundă) componentele electronice **; lichidul trebuie să aibă proprietăți bune de izolator.

● *Sistemul cu convecție forțată* se utilizează în cazul componentelor electronice care disipă puteri mari. Ele se bazează pe circulația forțată a agentului de răcire (în multe cazuri apa) cu ajutorul unor pompe.

Aceste sisteme, deși sînt eficace, sînt construcții mari, grele, scumpe și cu un grad mic de siguranță în funcționare.

31. Surse de perturbații

Echipamentele electronice conțin atît blocuri care funcționează la puteri mari sau foarte mari (amplificatoare de putere, comutatoare, electromotoare etc-), cît și blocuri care funcționează la puteri mici sau foarte mici (amplifi-

* Această soluție nu este (totdeauna) acceptabilă pentru componentele electronice grele, ca de exemplu transformatoarele, deoarece prin dispunerea lor în partea de sus se înrăutățește stabilitatea mecanică a echipamentului; constructorul electronist în funcție de experiența ce o are este cel în măsură să hotărască de la caz la caz asupra soluției ce o va adopta.

** Date experimentale arată că un circuit integrat monolitic care poate disipa în aer, liber 25 mW, cufundat într-un lichid dielectric poate disipa (chiar) 10 W.

catoare de tensiuni mici, circuite logice etc). Pericolul apariției unor perturbații (interacțiuni) în aceste condiții este foarte mare, dacă se are în vedere și influența circuitelor de alimentare electrică a diverselor etaje/blocuri, prin sursele de alimentare comune, care conțin transformatoare de putere, redresoare, stabilizatoare etc.

Pentru ca electronistul să poată lua măsuri constructive pentru protecția la perturbații a echipamentelor este necesar să cunoască sursele de perturbații care produc deranjamente în echipamente electronice.

Sursele de perturbații care conduc la înrăutățirea funcționării echipamentelor electronice, se pot împărți în: surse interne și surse externe.

31.1. Surse de perturbații interne

Perturbațiile din această categorie sînt generate chiar în echipamentele electronice. Ele pot fi datorate scinteiilor ce apar la contactele comutatoarelor, releelor sau electromotoarelor sau cîmpurilor electromagnetice parazite ale transformatoarelor de rețea, filtrelor de netezire etc. O influență mare în formarea perturbațiilor interne o exercită inductanțele și capacitățile parazite între diversele circuite ale echipamentului ca și zgomotele unor componente electronice (rezistoare, tranzistoare, tuburi electronice etc.) *.

Cauzele apariției cuplajelor parazite în interiorul echipamentelor electronice pot fi:

- rezistența electrică a surselor de alimentare și a cablurilor de legătură; cu cît este mai ridicată frecvența, cu atît va fi mai mare probabilitatea de apariție a unor cuplaje parazite între diversele circuite ale echipamentului. Diminuarea (sau înlăturarea lor) se poate face prin legarea nulului general al circuitului la șasiu într-unul sau mai multe puncte și prin decuplări locale cu condensatoare de mare capacitate,

- capacități parazite, care cuprind: capacități între electrozii unor componente electronice și capacități ale montajului. Diminuarea acestei reacții se poate realiza prin îndepărtarea conductoarelor care se găsesc la tensiuni la înaltă frecvență la distanțe cît mai mari, prin ecranare și prin compensarea efectului produs de aceste capacități (neutrodinare),

* Din această categorie fac parte:

- Zgomotul de agitație termică generat de elemente de circuit rezistive (rezistoare) sau de elemente de circuit cu o componentă rezistivă a impedanței lor echivalente (de exemplu tranzistoare etc.).

- Zgomotele tuburilor electronice care la rîndul lor pot fi zgomote de alicie, zgomote induse pe grilă, zgomote de licărire (ce apar la tuburile cu catodi de oxizi, fiind datorate fluctuațiilor haotice ale emisiei, diferite pe diversele regiuni din suprafața catodului, ceea ce conduce la fluctuații ale curentului anodic).

- Zgomotul diodelor semiconductoare și al tranzistoarelor cu următoarele componente ale sale: zgomotul de agitație termică, zgomotul de alicie, zgomotul 1/f (provocat de instabilitatea sîrilor electrice la suprafața semiconductorului, fiind neglijabil la frecvențe mai mari de 500 Hz), zgomotul de contact (ce apare în componentele semiconductoare cu conductanță fluctuantă).

● inductanțe parazite, constituite din inductanța unuiu sau a două conductoare paralele, prin care trec curenți de înaltă frecvență. Inductanța unui conductor este direct proporțională cu lungimea sa și invers proporțională cu diametrul său. De aici rezultă în mod evident faptul că pentru reducerea inductanței parazite este necesar să se micșoreze lungimea și să se crească diametrul conductoarelor de montaj. Inductanța conductoarelor dispuse paralel se micșorează prin așezarea lor, unul față de celălalt, la distanțe cât mai mari posibile; utilizarea de ecrane de asemenea reduce apreciabil inductanța parazită.

În practică însă, toate genurile de perturbații parazite interne acționează într-o multitudine de combinații îngreunând prin aceasta activitatea de limitare pe care o are electronistul.

31.2. Surse de perturbații externe (zgomote)

Provin de la sursele de perturbație situate în afara echipamentelor electronice considerate. Aceste zgomote pot fi: 1) zgomote de inducție, provenite prin inducție electromagnetică de la rețeaua de alimentare cu energie electrică din apropierea echipamentului perturbat; 2) zgomote de interferență, constituite prin compunerea semnelui util cu semnele perturbatoare de frecvență apropiată; 3) zgomote de descărcări atmosferice provenite de la descărcările electrice din atmosferă 4) zgomote industriale provenite de la instalații industriale *; 5) zgomote de microfon datorate vibrațiilor mecanice sau oscilațiilor acustice ale diferitelor elemente electronice de circuit (microfonie).

31.3. Măsuri constructive de protecție

Metodele de protecție a echipamentelor electronice de influența negativă a semnelor perturbatoare pot fi împărțite în două mari grupe: metode cu caracter general și metode speciale (ecranarea).

● *Metode generale.* În această categorie se cuprind unele măsuri care trebuie avute în vedere la realizarea oricărui echipament electronic, pentru reducerea influenței semnalelor perturbatoare și anume:

— mărirea nivelului semnalului util. Prin această măsură se crește raportul semnal util/semnal perturbator și implicit protecția echipamentului la oscilații parazite.

* Perturbațiile industriale sînt create de electromotoare, echipamente de sudură prin arc electric, echipamente Röntgen etc., situate în apropierea echipamentelor electronice considerate. Toate acestea exercită în mediul înconjurător cîmpuri electromagnetice, de diverse frecvențe și intensități, care influențează negativ funcționarea blocurilor sensibile dintr-un echipament și deci întregul echipament electronic.

— reducerea nivelului paraziților industriali prin instalarea echipamentului cât mai departe de sursele de paraziți industriali (măsură care nu este în toate cazurile aplicabilă) și împiedicarea pătrunderii semnalelor parazite în conductori prin utilizarea în sursa de perturbație a condensatoarelor sau a filtrelor.

— protecția la borne prin filtre în sursele de alimentare a diverselor blocuri din echipament,

— utilizarea reacției negative în (toate) schemele etajelor de amplificare;

— răsucirea conductoarelor supuse tensiunilor de frecvență sau a conductoarelor de alimentare filamente la tuburi electronice,

— evitarea pe cât posibil a unor componente care produc scintei (de exemplu: releele),

— amplasarea judicioasă a elementelor schemei și a elementelor de montaj. De exemplu: 1) rezistoarele din anodul tuburilor electronice sau din colectorul tranzistoarelor ca și rezistoarele din circuitele de grilă respectiv de bază, trebuie montate nemijlocit la electrozii respectivi (altfel spus, conexiuni scurte); 2) transformatoarele de putere, bobinele de filtrare și alte circuite prin care trec curenți mari, trebuie să fie dispuse cât mai departe de blocurile amplificatoare (în unele cazuri, acestor componente trebuie să li se găsească experimental poziția optimă în care interacțiunea cu circuitele amplificatoare este minimă),

— deoarece la frecvențe peste 10 MHz, lungimea conductoarelor, cărora li se aplică tensiuni de înaltă frecvență, are o deosebită importanță, întrucât la aceste frecvențe, pe lângă capacitatea parazită începe să se manifeste și inductanța parazită, se impune reducerea lungimii conductoarelor*.

● *Metode speciale (Ecranarea)***. Prin ecranare se urmărește micșorarea sau eliminarea influenței surselor de perturbații care împiedică buna funcționare a echipamentelor electronice.

Ecranarea se aplică pentru protecția circuitelor de semnal mic împotriva cîmpurilor electromagnetice exterioare (de exemplu etajele de intrare ale amplificatoarelor sau echipamentelor de radio recepție) sau pentru reducerea cîmpurilor electromagnetice produse în exterior de echipamentele electronice (de exemplu etajele de putere ale echipamentelor de radio emisie sau generatoarele industriale pentru încălzire).

Protecția echipamentelor electronice de acțiunea cîmpurilor electromagnetice, în funcție de mărimile componentelor acestui cîmp (cîmp magnetic H și cîmp electric E) se realizează prin ecranare electrostatică, magnetostatică și electromagnetică.

* Aici trebuie avut în vedere că tendința de a realiza toate conductoarele scurte poate să conducă la incomoditatea operațiilor de montaj și în final echipamentul să aibă multe cuplaje parazite.

** În general, ecranul este un perete sau un înveliș de protecție a unei regiuni din spațiu contra unor acțiuni fizice (față de care se spune că peretele servește drept ecran). Aceste acțiuni pot fi acustice, optice, electrice, magnetice etc.

31.3.1. Ecranarea electrostatică

Se întâlnește și sub denumirea de ecranare electrică. Constă în introducerea între circuitele de ecranat a unui corp din material conductor prin intermediul căruia se elimină sau se slăbește influența electrică reciprocă dintre circuitele situate în două regiuni din spațiu, cu scopul de a proteja una din regiuni de acțiunea câmpului electric din cealaltă regiune, sau de a elimina un cuplaj electric nedorit între circuitele electrice respective.

Ecranul electrostatic se construiește din foi, din plase sau din rețele de conductoare (cupru, aluminiu etc.) constituind fie un înveliș complet (exemplu cușca Faraday, care constituie o incintă complet ecranată, foarte mult folosită în laboratoarele de cercetări și de încercări pentru a izola un circuit electric sau o instalație electrică de acțiunea câmpurilor electrice exterioare ca de exemplu: descărcări electrice, atmosferice, emisiuni radio și televiziune etc.) sau aproape complet, fie un perete despărțitor plan, curb etc., legat la masă (pământ). Acțiunea de ecranare depinde de rezistența electrică a ecranului și de frecvență; la frecvențe joase, unde condițiile de ecranare pot fi asigurate relativ ușor, este suficientă utilizarea unui ecran (electrostatic) realizat dintr-o hirtie metalizată legată la masă*.

În curent alternativ, ecranarea este parțială și este practic satisfăcătoare dacă grosimea ecranului este mare față de adâncimea de pătrundere (datorată efectului pelicular) a undelor în materialul conductor al ecranului. Pentru aceste frecvențe se utilizează materiale bune conductoare de electricitate (aluminiul, alama, cuprul) cu grosimi de 0,5—1,5 mm, legate la masă; pe măsură ce frecvența curentului alternativ crește, grosimea pereților ecranelor poate fi scăzută sub 0,5 mm.

Conductoarele de legătură se ecranează cu ajutorul unei rețele metalice care îmbracă conductorul izolat. În figura 31.1. se prezintă un cablu coaxial a cărui cămașă exterioară, din motive de ecranare, se leagă la ambele capete la masă. În figura 31.2. se prezintă un sistem de ecranare al conductoarelor de montaj din care rezultă că prin ecran nu circulă curentul de sarcină, ci numai cel datorat existenței capacității conductor-ecran. La realizarea echipamentelor trebuie să se țină seama că: 1) ecranul contribuie la creșterea

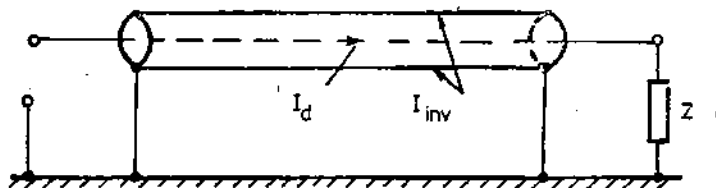


Fig. 31.1. Ecranarea conductoarelor de montaj cu circulație de curent prin ecran.

* În construcția echipamentelor electronice se utilizează diverse elemente de punere la pământ care constituie componente ale circuitului electric legate nemijlocit de mecanica echipamentului respectiv. Principalele cerințe tehnice pe care trebuie să le asigure contactele electrice de masă (pământ) sînt rezistența electrică foarte mică și stabilitatea în timp foarte mare.

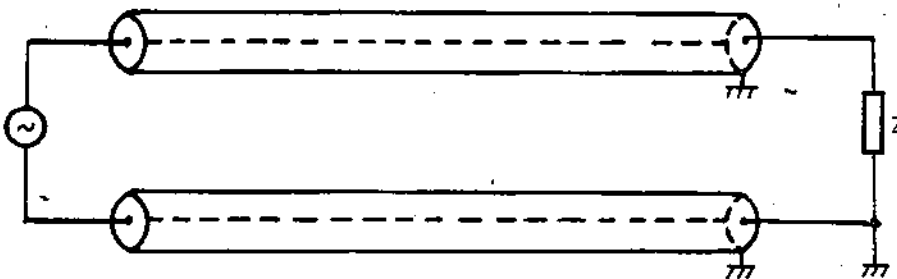


Fig. 31.2. Ecranarea conductoarelor, fără circulație de curent prin ecran.

capacității conductorului față de masă; 2) conductoarele ecranate sînt voluminoase, incomode în montaj și 3) conductoarele ecranate trebuie izolate de suprafețele sau conductoarele prin care trec curenți electrici. Din această cauză conductoarele ecranate nu trebuie utilizate decît în cazuri extreme. De obicei conductoarele ecranate și cablurile coaxiale se utilizează pentru interconectarea blocurilor componente ale unui echipament electronic înămurindu-se prin aceasta cuplajele parazite interblocuri în echipament sau între echipamente vecine.

31.3.2. Ecranarea magnetostatică

Este întilnită și sub denumirea de ecranare magnetică. Ecranul magnetostatic, se utilizează pentru eliminarea sau numai pentru slăbirea influenței magnetice reciproce dintre circuitele de ecranat, situate în două regiuni din spațiu, cu scopul de a proteja una din regiuni de acțiunea cîmpului magnetic din cealaltă regiune sau de a elimina un cuplaj magnetic nedorit între circuitele electrice din cele două regiuni.

Ecranul se realizează din materiale feromagnetice (din acest motiv se numește și ecran feromagnetic) cu permeabilitatea magnetică cit mai mare (fier moale, aliaje speciale etc.), constituind un înveliș închis sau aproape închis; în figura 31.3, se prezintă principiul de ecranare a unui astfel de ecran. Obiectul de protejat 1 se dispune în ecranul feromagnetic complet închis 2, prin care se închide majoritatea liniilor de cîmp magnetic exterior. Intensitatea acțiunii de ecranare se obține prin micșorarea rezistenței magnetice (reluctanței) ecranului, adică: prin micșorarea lungimii ecranului și prin creșterea secțiunii și a permeabilității lui magnetice.

Dacă, de exemplu, se realizează un ecran magnetostatic din permaloi, se va avea în vedere că la cîmpuri magnetice intense permaloiul se saturează ușor și își reduce/pierde acțiunea de ecranare. Pentru evitare se utilizează 2 sau 3 ecrane, avînd grijă ca ecranul exterior să fie realizat din permalci.

Ecranele magnetostatice se folosesc în mod frecvent la ecranarea cîmpurilor de frecvență joasă.

Influența negativă a ecranului magnetostatic asupra parametrilor proprii ai circuitului (sistemului) ecranat se poate reduce dacă ecranul se realizează la dimensiuni suficient de mari față de dimensiunile circuitului ecranat.

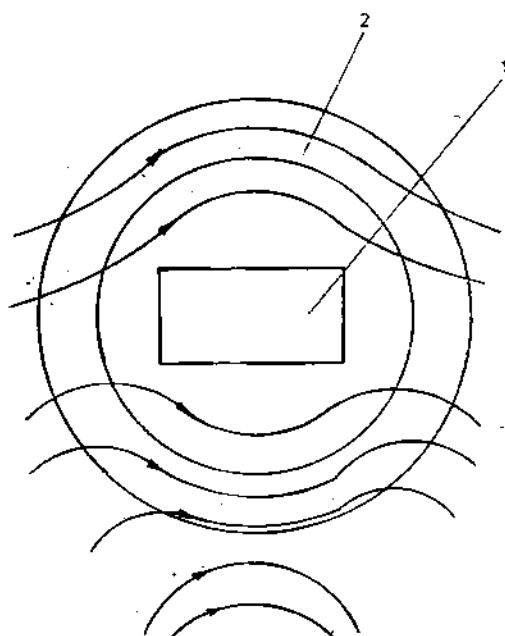


Fig. 31.3. Ecran magnetosiatic.

acesta se induce în ecran curenți electrice al căror cîmp magnetic propriu, de reacțiune, anihilează cîmpul magnetic inițial.

Așa cum rezultă din figura 31.4 *a*, unde se prezintă ca ecran electromagnetic un cilindru din material conductor, coaxial cu cîmpul magnetic exterior, nici o linie (în cazul ideal) de inducție a cîmpului magnetic resultant, variabil în timp, nu trece prin cilindru, deoarece tensiunea electromotoare indusă în cilindru, $e = Ri$, se anulează, oricare ar fi mărimea curentului indus i , deoarece $R = 0$ (materialul din care este realizat ecranul este bun conductor).

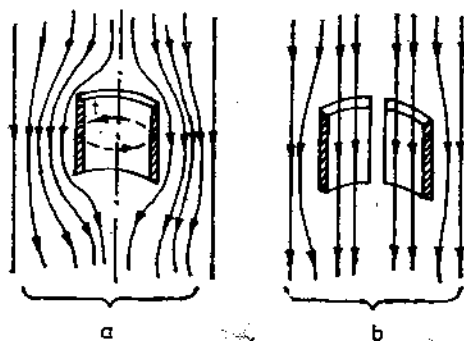


Fig. 31.4. Principiul ecranului electromagnetic: *a* — cilindru perfect conductor funcționând ca ecran electromagnetic; *b* — același cilindru perfect conductor care, prin tăiere în lungul unei generatoare nu (mai) ecranează cîmpul magnetic;

31.3.2. Ecranarea electromagnetică

Este un procedeu utilizat în echipamentele electronice, prin care, cu un ecran de material conductor, se elimină sau se slăbește influența unui cîmp magnetic variabil în timp asupra circuitelor din regiunea protejată (de ecran).

Ecranul se realizează din materiale cu conductivitate electrică mare (argint, cupru, aluminiu); de obicei se utilizează aluminiul care are o mare conductivitate electrică, masă specifică mică, preț de cost redus și se prelucerează ușor.

Ecranul electromagnetic constituie un înveliș sau numai un inel, care să prezinte căi conductoare închise în jurul regiunii protejate, într-un plan transversal pe direcția cîmpului magnetic exterior. În felul

Dacă rezistența ecranului nu este nulă (cazul întâlnit în practică), acțiunea de ecranare este cu atât mai bună cu cât frecvența este mai înaltă.

Dacă cilindrul ecran este tăiat, de exemplu în lungul generatoarei, așa cum se arată în figura 31.4.b, în ecran nu se mai pot induce curenți circulari și acțiunea de ecranare electromagnetică este nulă. Se remarcă faptul că în această situație el poate funcționa ca ecran electrostatic (sau ecran electric).

De aici rezultă regula practică, anume aceea că pentru a avea un bun ecran electromagnetic, construcția lui trebuie să fie deosebit de bine realizată fără lipituri, tăieturi sau nituri care ar contribui la creșterea rezistenței electrice a ecranului față de curenții învîrtitori (circulari) induși.

Ecranele electromagnetice se folosesc curent la frecvențe înalte, la ecranarea circuitelor acordate, pentru a evita cuplaje parazite, de exemplu la circuitele amplificatoarelor de radiofrecvență și de frecvență intermediară ale receptoarelor radio și televiziune etc., sau la ecranarea generatoarelor de înaltă frecvență pentru a evita radiația lor (în acest caz este necesară o ecranare foarte bună; pentru aceasta se utilizează mai multe ecrane suprapuse. Toate aceste ecrane se leagă între ele din punct de vedere electric).

Deoarece ecranele influențează circuitele ecranate, mărindu-le capacitatea față de masă (întrucît ecranele se leagă la masă), micșorînd valorile inductanțelor, din cauza curenților turbionari care apar în ecran, și mărindu-le pierderile, trebuie redusă influența ecranului asupra circuitului ecranat. Aceasta se realizează prin creșterea raportului dintre diametrul ecranului și diametrul bobinei. Deoarece această soluție contribuie la creșterea gabaritelor echipamentelor, în practică se alege soluții de compromis: ecranele, în special pentru aparatură de gabarit mic, în loc să se realizeze sub formă cilindrică se execută sub formă paralelipipedică. Trebuie să se menționeze și faptul că pentru unele tipuri de echipamente/aparate moderne, de dimensiuni mici, bobinele de obicei nu se ecranează, deoarece dacă sînt de dimensiuni mici și sînt distanțate unele față de celelalte suficient de mult, cuplajele parazite nu sînt mari.

Ecranele magnetostatice și electromagnetice, dacă sînt bine legate la masă pot fi și ecrane electrostatice.

În încheiere se impune să se atragă atenția și asupra următoarelor aspecte legate de buna funcționare a echipamentelor electronice ecranate:

- pentru reducerea influenței circuitelor de alimentare de înaltă frecvență se vor utiliza filtre corespunzătoare;

- se va acorda o atenție deosebită conductoarelor de masă mai exact spus, nu (totdeauna) este posibil să se folosească ecranul sau șasiul echipa-

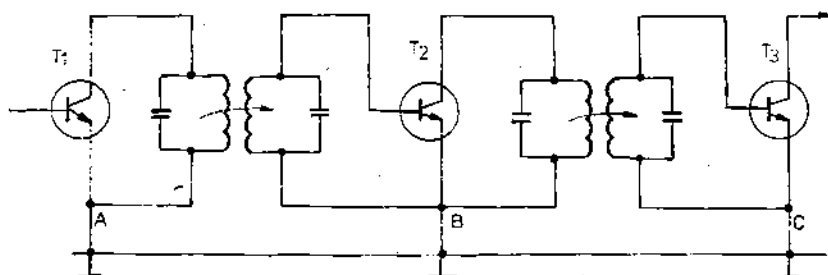


Fig. 31.5. Mod de punere la masă în cazul amplificatoarelor de înaltă frecvență cu mai multe etaje.

mentului în calitate de conductor, deoarece în aceste cazuri prin șasiu, vor trece curenții electrici ai diverselor circuite și cuplajele parazite între acestea vor fi mari. În astfel de cazuri componentele fiecărui etaj în parte se pun la masă într-un singur punct (punctele A , B , C , în figura 31.5); în felul acesta curenții alternativi generați în fiecare etaj, se închid la masă la nivelul fiecărui etaj și nu mai parcurg întregul șasiu.

Bibliografie

1. Ristea I, Ristea A, *Tehnologia materialelor, a pieselor radio și a dispozitivelor semiconductoare*, Editura didactică și pedagogică, 1970
2. Bulucea, C, Vais S, Profeta H, *Circuite integrate liniare*, Editura tehnică, București 1976
3. Ristea I, Bodea M, *Tranzistoare cu efect de cimp*, Editura tehnică București, 1972
4. Lăzăroiu, D. F, Săvescu M, ș.a. *Tehnologia de fabricație a pieselor radioelectronice*, Editura tehnică, București 1972.
5. Cătuneanu V, Strungaru R, *Construcția și tehnologia echipamentelor radio electronice*, Editura didactică și pedagogică București 1979
6. Voznenko V. I., Kavali A. V., Koronkevici V. M., *Radiodetali, radio-componente și ih rasceol*, Moscova, 1977
7. Airinei G, Lăzăroiu I, Wardalla M, Ristea I, *Componente și circuite electronice*, Editura didactică și pedagogică, București, 1976
8. Vaschenko N. M, Vlasenko V. V, Gherșuuschii B. S, Romanovskaia A. V. *Spravochnik po elektronnoi tekhnik*, Kiev, 1978
9. Valgov, V. A, *Detalii i uzli radioelektronnoi apparatury*, Energhia Moscova, 1977
10. P. Apostol, *Circuite imprimate*, Editura tehnică, București 1962
11. George B, Rutkowski, P. E, *Handbook of Integrated-Circuit Operational Amplifiers*, Prentice-Hall Inc, USA, 1975
12. Vătășescu A, Ciobanu M, Cărcu T, Gheorghiu V, *Dispozitive semiconductoare, Manual de utilizare*, Editura tehnică.
13. Rusu A, Drăghici I, *Electronica*, Partea 1 — Note de curs, Institutul politehnic București, 1979
14. Nikolaev I. M, Filiniuc N. A, *Microelektronnie ustroystva i osnovi ih proektirovaniia*, Energhia, Moscova 1979
15. Aleksenko, A. G. *Osnovi microschemotekhniki*, Moscova 1977
16. Oehmicheu I. P, *Emplot rationnel des circuits intégrés*, Editions Radio, Paris
17. Săvescu M, *Circuite electronice*, vol. 2, Editura didactică, București 1969
18. Gray, P. E, Searle, C. L, *Bazele electronicii moderne*, Editura tehnică, București 1973
19. Gheorghiu Constantin, *Circuit integral linlar bipolar, amplificator operațional ROB 101*, Raport de Cercetare, ICCE, București 1974
20. R. Vancu, *Memorii semiconductoare*, Comunicare
21. Ioan Dancea, *Microprocesoare — arhitectură internă, programare, aplicații*, Editura Dacia, Cluj-Napoca 1979
22. Gheorghiu Constantin, Gaspar Constantin, Ilie Mihaela, *Circuite integrate liniare — reglatoare de tensiune de putere monolitice — ROB 323*, Raport de cercetare, ICCE 1979
23. Popescu C, Neagoe O, Niță M, Iliescu R, Burlăcel I, *Circuite integrate liniare — Comparatoare de tensiune monolitice — ROB 311*, Raport de cercetare ICCE, 1979
24. Popescu C, Niță M, Teușdea T, *Circuit integral linlar — stabilizator de tensiune de uz general — ROB 305*, Raport de cercetare ICCE, 1977

25. Martin Healey, *Minicomputers and Microprocessors*, Great Britain, 1976.
26. Wen C. Lin, *Microprocessors: Fundamentals and Applications*, IEEE Press, 1976, USA.
27. Daniel Queyssac, *Understanding Microprocessors Electronics Weekly*.
28. D. P. Burton and A. L. Dexter, *Microprocessor Systems hand book*, Analog Devices Inc, USA, 1977.
29. O. Neagoe, C. Popescu, R. Iliescu, M. Niță, I. Burlăcel, *Circuite integrate liniare comparatoare de tensiune monolitice — ROB 760*, Raport de cercetare, ICCE-București 1979.
30. C. Bulucea: *Raport privind fundamentarea tipurilor de tranzistoare care urmează să se fabrice în țară*; I.P.R.S. — Băneasa, 1967.
31. Edwin Lee. *Designing with Microprocessors for the Non-Computer Expert*; Presented at the 8-th International Congress of Micro-Electronics, 1978.
32. Wen C. Lin, *Microprocessor — Based Digital System Design. Fundamentals and the Development Laboratory for Hardware Designers and Engineering Executives*. Proceedings of the IEEE, Vol. 65, Nr. 8, August 1977.

LISTA PRESCURTĂRIILOR UTILIZATE ÎN DOMENIUL COMPONENTELOR SEMICONDUCTOARE

PRESCURTAREA (în limba engleză)	DENUMIREA (în limba engleză)	DESCRIERE
ADC	Analogue-Digital Converter	Convertor analog-digital (CAD)
ALU	Arithmetic Logical Unit	Unitate de calcul
CAM	Content Adressable Memory	Memorie cu adresare
CML	Current Mode Logic	Nume colectiv pentru ECL, E ² CL...
C-MOS, CMOS	Complementary Metal Oxide Silicon	Tehnică MOS cu tranzistoare complementare
CP, CPU	Central Processing Unit	Unitate centrală de tratament (într-un calculator sau într-un sistem de control programabil)
DAC	Digital-Analogue Converter	Convertor digital-analog (CDA)
DCTL	Direct Coupled Transistor Logic	Logică cu tranzistoare cuplate direct
DIL, DIP	Dual In Line (Package)	Cutie paralelipedică prevăzută cu terminale (îndoite la 90°) pe cele două cote lungi (v. și anexa 2).
D-MOS, DMOS	Double-diffused Metal Oxide Silicon	Tehnică de realizare a tranzistoarelor MOS printr-o dublă difuzie.
D-MOS FET	Double-diffused MOS FET	Tranzistor cu efect de câmp realizat după tehnica D-MOS
DTL	Diode Transistor Logic	Logică „diodă-tranzistor”
DYCMOS	Dynamic Complementary MOS	MOS complementar dinamic
ECL	Emitter Coupled Logic	Logică cu cuplaj pe emitor, logică bipolară nesaturată (V. și CML)
E ² CL, EECL	Emitter-Emitter, Coupled	Logică cu cuplaj emitor-emitor; logică bipolară nesturată (V. și CML)
FET	Field Effect Transistor	Tranzistor cu efect de câmp monopolar (TEC)
F PLA	Field Programmable Logic Array	Circuit logic care poate fi programat o dată după fabricare.
H NIL	High Noise Immunity Logic	Logică cu grad înalt de imunitate la perturbații
IC	Integrated Circuit	Circuit integrat; circuit monolitic; microcircuit (CI)
I ² L	Integrated Injection Logic	Circuit logic integrat în care purtătorii de sarcină sînt injectați (V. și MTL)
L C D	Liquid Crystal Display	Unitate de afișare cu cristale lichide.
LED	Light Emitting Diode	Diodă semiconductoare electroluminiscentă (DEL)
LOC MOS	Locally Oxidized Complementary Metal Oxide Silicon	Circuit CMOS îmbunătățit; numele unei serii noi de circuite integrate logice realizate de Philips.
LOCOS	Local Oxidation of Silicon	Procedeu care permite oxidarea locală a unei plăchete de siliciu.

ANEXA (continuare)

PRESCURAREA (în limba engleză)	DENUMIREA (în limba engleză)	DESCRIERE
LP	Low Power	Putere mică de disipare (pe poartă)
LPS	Low Power Schottky	Circuit TTL-Schottky cu putere disipată mică pe unitate
LSI	Large Scale Integration	Circuit integrat foarte complex (integrare pe scară largă).
MOS	Metal Oxide Silicon	Semiconductor cu oxid (MOS)
MOSFET	Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor	Tranzistor cu efect de câmp de tip MOS (TEC-MOS).
MSI	Medium Scale Integration	Circuit integrat de complexitate medie (integrare pe scară medie).
MTL	Merged Transistor Logic	Vezi L ² L
MUP, μP	Microprocesor	Unitate centrală de date, integrată pe o singură pastilă
N-MOS, NMOS		Circuit MOS cu canal N
OP-Amp	Operational Amplifier	Amplificator operațional, Circuit integrat cu amplificare foarte mare.
PLL	Phase Locked Loop	Circuit cu frecvență de oscilație.
P-MOS, PMOS		Circuit MOS cu canal P
PRAM	Programmable Amplifier	Amplificator programabil (a nu se confunda cu PROM)
PROM	Programmable Read-Only Memory	Memorie de citire programată definitiv după fabricare.
PUT	Programmable Unijunction Transistor.	Tranzistor unijuncțiune programat.
RAM	Random Access Memory	Memorie care poate furniza și înregistra o informație și ale cărei adrese sînt accesibile direct.
ROM	Read Only Memory	Memorie programată, în timpul fabricării și care poate fi numai citită.
RTL	Resistor Transistor Logic	Logică „rezistor-tranzistor”
SAM	Simultaneous Access Memory	Memorie la care se pot citi sau înregistra mai multe adrese simultan.
SSI	Small Scale Integration	Circuit integrat de complexitate (relativ) mică. (Circuit integrat pe scară mică).
TSL	Three State Logic	Circuit logic cu trei stări la ieșire: „sus”, „jos” și o stare în care impedanță este mare.
TTL	Transistor Transistor Logic	Logică „Tranzistor-Tranzistor”.
V-MOS		Circuit MOS al cărui electrod de comandă are forma unui V, comparabil cu D-MOS
WWR	Write While Read Memory	Memorie în care se poate citi și înregistra simultan o informație.

SISTEMUL DE 7 SERII ȘI COLECȚII ÎN AUTOMATICĂ- -INFORMATICĂ-MANAGEMENT

I. SERIA "BIBLIOTECA DE AUTOMATICĂ-INFORMATICĂ-ELECTRONICĂ MANAGEMENT

- Teme cuprinzătoare, reprezentative
- Formalism matematic cu expunere concisă, riguroasă, dar accesibilă
- Traduceri de mare notorietate
- Lucrări originale ale profesorilor, cercetătorilor, specialiștilor români de prestigiu
- Abordarea multidisciplinară

II. SERIA PRACTICĂ (Automatică-Informatică-Electronică-Management)

- Tematici teoretice-aplicative
- Situații tipice în proiectare, tehnologie
- Material tabelor și grafic
- Îndrumar al activității după criterii metodice și eficiente

III. SERIA ÎNȚIERE (Automatică-Informatică-Electronică-Management)

- Informare-instruire, în domenii ce depășesc pregătirea clasică
- Introduceri adresate specialiștilor; un ciclu separat de ABC-uri pentru cadre medii sau nespecialiști
- Tratăre sugestivă, grafică, cu aparat matematic accesibil
- Sistematizarea preocupărilor ulterioare

IV. SERIA CONTINUĂ AUTOMATICĂ-MANAGEMENT-CALCULATOARE (AMC)

- Reflectarea evenimentelor vieții tehnico-științifice: congrese, manifestări internaționale etc.
- Cicluri de instruire
- Articole de sinteză, originale și traduse, teme cu dezvoltare explozivă
- Abordarea sistemică a celor trei domenii tematice
- Articole cu bibliografii ample, indexabile multiplu
- Auxiliiar prețios în pregătirea de cultură tehnică modernă

V. COLECȚIA AUTONATICĂ-INFORMATICĂ

- Monografii succinte
- Documentare adâncită, variată
- Teme conturate
- Instrumente de lucru

VI. SERIA ELECTRONICĂ APLICATĂ

- Profil similar cu colecția anterioară

VII. COLECȚIA "RADIO ȘI TELEVIZIUNE"

- Cărți cu volum mic, în tiraj de masă, pentru radioamatori, constructori, electroniști și ciberneticieni

Colecția „Radio și Televiziune“:

Inițiată în anul 1956, colecția se adresează radioamatorilor, muncitorilor și tehnicienilor electroniști. Prin intermediul ei se urmărește inițierea unor cercuri largi de cititori în probleme specifice radio-televiziunii, popularizarea unor noutăți, descrierea unor construcții, montaje, piese și subansambluri radioelectronice, comunicarea de sfaturi utile pentru posesorii de radio-receptoare, televizoare, casetofoane etc. Majoritatea lucrărilor sînt accesibile unui mare număr de începători, depanatori radio, care dispun de o dotare tehnică modestă avînd cunoștințe minime în acest domeniu, dublate de o oarecare experiență în practica montajelor radio.

Pînă la începutul anului 1980 au apărut în colecție 140 de titluri, lucrări originale și traduceri.

TITLURI APĂRUTE:

- R. G. HIBBERD** Circuite integrate. Întrebări și răspunsuri
- CL. BROWN** Electronica. Întrebări și răspunsuri
- H. W. HELLYER** Radio și Televiziune. Întrebări și răspunsuri
- J. A. REDDIHOUGH** Televiziunea în culori. Întrebări și răspunsuri
- M. BĂȘOIU** Selectoare FIF tranzistoare
- D. CODĂUȘ** ABC-ul depănării televizoarelor
- I. REMETE** Antene pentru radioamatori
- G. COSTACHE, M. BĂȘOIU** 20 scheme electrice pentru radioamatori

„Seria Electronică aplicată“:

TITLURI APĂRUTE:

- R. BOCONICIOS, I. DIACONESCU — Voltmetre electronice.
R. POPESCU — Frecvențmetre electronice.
R. ANDREESCU — Generatoare de semnal.
C. NEGOIȚĂ, M. IVAN — Aparate electronice pentru măsurarea mărimilor geometrice.
V. MALCOCI — Aparate electronice pentru măsurarea parametrilor rezistențelor, bobinelor și condensatoarelor.
ȘT. BOBOC — Aparate electronice pentru măsurarea maselor, forțelor și cuplurilor.
I. MATEESCU, I. MATEESCU — Osciloscopul.
A. GONCEAROV — Înregistrarea magnetică a imaginii.
TH. NICOLAU, I. APOSTOL — Umidimetre electronice.
H. SINNREICH, A. VASILESCU — Transmisiuni cu modulația impulsurilor în cod.
GH. BOLDEA — Localizarea deranjamentelor din cablurile de telecomunicații.
A. BARNA — Amplificatoare operaționale.
I. FEIER, I. DRAGU, V. VULPE — Dioda Zenner. Aplicații.
T. WILMORE — Electronica fizică. Întrebări și răspunsuri.
L. IBBOTSON — Telecomunicații. Întrebări și răspunsuri.
R. BARKER — Electronica aplicată. Întrebări și răspunsuri.
P. CONSTANTIN, R. OVIDIU — Tranzistoare unijoncțiune.
A. MANEA, M. SCĂRLĂTESCU — Aparate electronice pentru protecția muncii.
E. SOFRON, ȘT. TÔRÔCĂ — Dispozitive optoelectronice cu cristale lichide.
AL. POPESCU, A. NICA — Aparate electronice pentru măsurări industriale.
G. ANTONESCU — Dispozitive semiconductoare pentru microunde.
R. M. M. OBERMANN — Numărătoare electronice.
I. MARGHESCU, GH. BĂDESCU — Transmiterea discretă a semnalelor.
G. BĂJEU, GH. STANCU — Generatoare de semnale sinusoidale.
I. MITICAN — Radiotelefoane.
I. DRAGU, I. IOSIF — Dispozitive videoreproducătoare și videocaptoare.
O. RADU, GH. SÂNDULESCU — Filtre numerice.
M. SÎMPĂLEANU — Circuite pentru conversia datelor.
GH. MITROFAN — Generatoare de impulsuri și de tensiune linear variabilă.