

Tranzistoare triplu difuzate	138
Tranzistoare noi	139
Tranzistorul cu efect de câmp (FET)	141
Tetrodă MOS-FET	146
3.4. Circuite peliculare	147
Circuite hibride	148
3.5. Circuite integrate monolitice	150
Integrarea la scară mare (LSI)	154
Familia de CI-MOS	155

CAP. 4. TIRISTOARE 157

4.1. Structura tiristorului	157
4.2. Starea de blocare în invers și în direct	158
4.3. Amorsări anormale ale tiristorului	161
4.4. Amorsarea normală (pe poartă)	162
4.5. Parametrii tiristorului	164
4.6. Precauții la circuitele cu tiristoare	168
4.7. Utilizarea tiristoarelor	169
Tiristoare românești	172
4.8. Alte dispozitive înrudite cu tiristorul	175
(Dioda DIAC, dioda trigger, TRIAC, Tiristor-tetrodă	

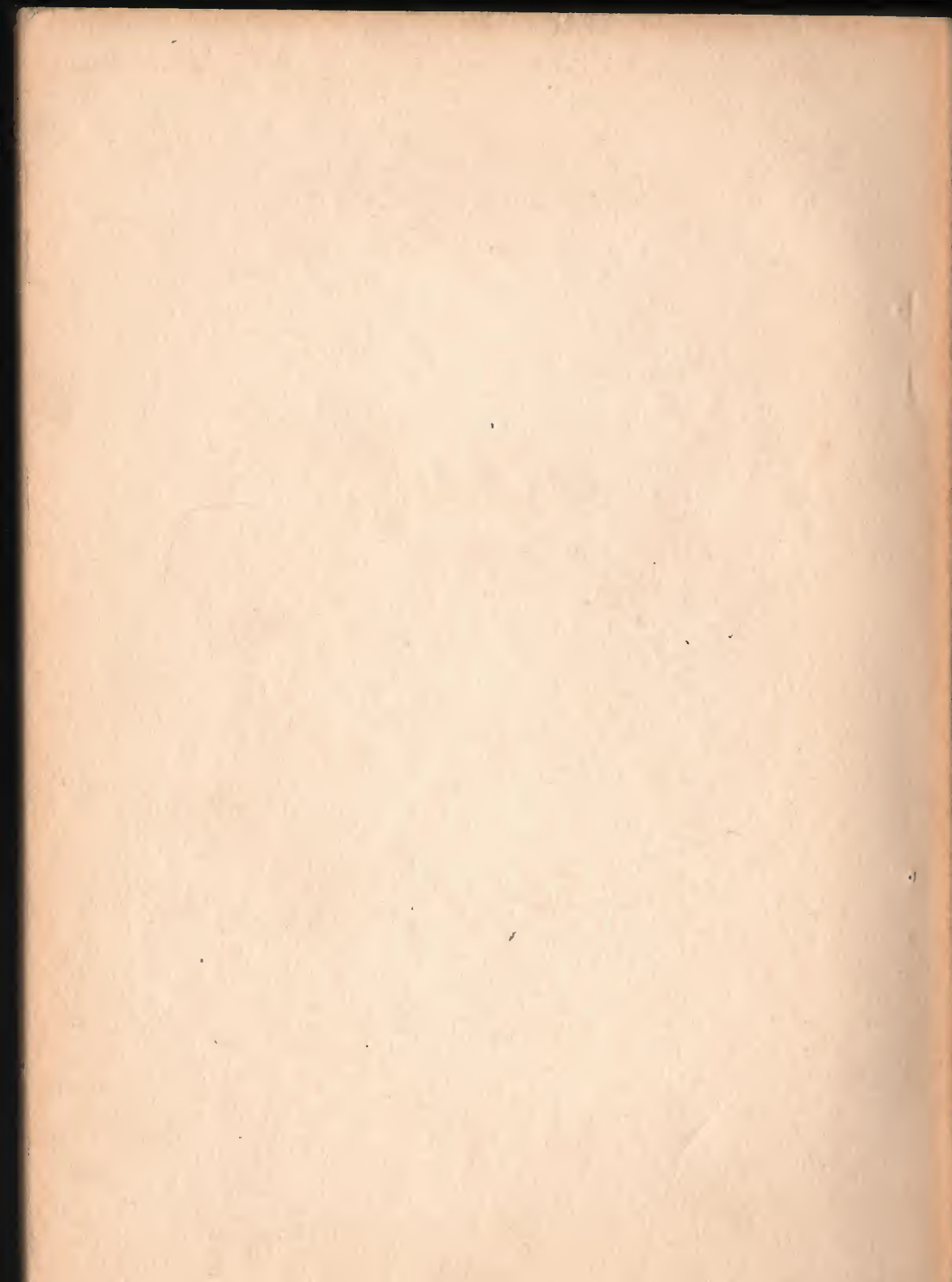
==

**I.I.S. ELECTRONICA BUCUREȘTI
SERVICE**

BULETIN TEHNIC Nr. 7

**SEMICONDUCTOARE MODERNE
COMPONENTE PASIVE R. C.
TIRISTOARE**

Pentru uz intern



I.I.S. ELECTRONICA BUCUREȘTI
SERVICE

PREFAȚĂ

BULETIN TEHNIC Nr. 7

COMPONENTE PASIVE R. C.
SEMICONDUCTOARE MODERNE
TIRISTOARE

Pentru uz intern

Autor ing. EUGEN STATNIC

Tiparul executat la Tipografia Deva. sut. ed. 13065 — 1979

PREFATA

În buletinele nr. 4, 5 și 6 am epuizat tratarea noilor televizoare cu circuite integrate care se fabrică în serie mare din iulie 1977 : TV cu 5 și 6 CI, TV cu 2 CI și TV Sport cu CI lansat pe piață în septembrie 1978. Aceste televizoare fabricate acum, vor fi fabricate în cursul anului 1980 și în cursul anilor următori. Necesitățile economice și cerințele de diversificare vor impune desigur și alte variante tipodimensionale de televizoare, cum ar fi :

- un televizor portabil (eminamente portabil) cu ecran de 23 cm.
- o serie de anexe pentru jocuri electronice asociate cu televizorul (ping-pong, hochei, ș.a.m.d).
- televizoare cu senzori pentru comutarea programului.

Problemele legate de aceste noutăți vor face obiectul Buletinului tehnic nr. 9, programat pentru primăvara anului 1980.

Buletinul tehnic nr. 8 va conține un curs privind bazele televiziunii în culori (va apare la sfârșitul anului 1979 — începutul anului 1980) scris anume pentru tehnicienii din rețeaua de service. Întrevedem de pe acum că Buletinul tehnic nr. 10 va cuprinde o serie de circuite electronice de putere ale televizorului color care va fi fabricat în țara noastră : alimentarea circuitelor, baleiajul orizontal, baleiajul vertical și partea de FIT. Un buletin tehnic următor va trata etajele și circuitele specifice pentru culoare și va apare în preajma lansării pe piață a aparatelor.

Buletinul nr. 7 are ca scop familiarizarea depanatorilor cu toate cunoștințele necesare despre componentele pasive principale precum și cu semiconductoarele moderne care trep-

tat pătrund în radioelectronica de larg consum. Cuprinsul buletinului de față este un „intermezo“ în procesul de perfecționare profesională a tehnicienilor de service, nefiind legat direct de unul sau altul dintre tipurile de televizoare. Informația cuprinsă are un caracter mai general și are ca scop înțelegerea profundă a componentelor pasive, cu limitele de solicitare ale acestora. Tehnologia componentelor este descrisă pentru ca tehnicianul știind cum se fabrică piesele să înțeleagă că producătorul face eforturi extreme pentru a găsi un compromis optim între cerințele de calitate și prețul realizării acesteia, în condiții cât mai bune de fiabilitate. Cunoscând tehnologia și structura internă a componentelor, finețea și precizia unor procedee de fabricație, tehnicianul de service va înțelege că o piesă radio nu este un dispozitiv ideal că are o durată de viață determinată și că procesul de îmbătrânire o va scoate într-o bună zi din uz.

De asemenea este necesar să se înțeleagă că la un televizor care sub aspectul fiabilității se prezintă ca un sistem serie ce cuprinde 1 400—1 500 elemente—este suficient să cedeze o singură piesă, o lipitură sau să apară un contact imperfect pentru ca sistemul serie, deci televizorul, să se defecteze. De aici trei învățăminte: 1. orice piesă radio activă sau pasivă se poate defecta chiar dacă $\lambda = 1 \cdot 10^{-8}$; 2) să tratăm cu egală importanță toate componentele unui aparat pentru că decalibrarea unei singure valori (rezistență capacitate, contact, rezistență de izolație-curent de fugă sau curentul rezidual I_{CBO} la un singur tranzistor) deranjează funcționarea ansamblului și 3) cu cât aparatul este mai modern (TV cu CI, color) cu atât este necesară o grijă mai mare pentru precizia reglajelor scopul principal fiind conservarea valorilor și parametrilor tuturor componentelor aparatului.

Iunie 1979

AUTORUL

CAP. 1. REZISTOARE

Acest capitol are ca obiect rezistoarele fixe folosite în electronică:

- rezistoare cu peliculă metalică (RMG)
- rezistoare cu peliculă de carbon (RCG) } de uz general.
- rezistoare de putere, bobinate (RBC, RBT)
- varistoare (rezistențe dependente de tensiune)
- termistoare (rezistențe dependente de temperatură).

Aceste componente pasive ocupă un loc important în aparatura radioelectronică de larg consum. Numărul lor este de 100—150 bucăți în fiecare televizor alb-negru și 200—250 bucăți într-un TV color. Fiabilitatea rezistoarelor și stabilitatea valorii acestora hotărăsc în mare măsură conservarea parametrilor și duranța televizoarelor.

1.1. REZISTOARE PELICULARE CU CARBON RCG (REZISTENȚE CU CARBON DE UZ GENERAL)

Rezistoarele peliculare fabricate la I.C.E.P. sunt realizate pe un suport ceramic cilindric (tronson), acoperit cu o peliculă rezistivă de carbon de mare duritate cu grosimea de microni sau fracțiuni de micron, depusă pirolitic la temperatură mare. Valoarea de bază a rezistenței se obține în funcție de grosimea și compoziția peliculei, iar ordinul de mărime și valorile ohmice dorite se realizează prin spiralizarea mecanică a peliculei (filetarea cu disc). Pe capetele îngropate (adâncite) ale tronsonului se aplică conuri de nichel-carbonil metallic.

Conexiunile, din sîrmă de cupru cositorită sînt sudate la temperatură înaltă pe capetele metalizate ale tronsonului ceramic. Poziționarea corectă a terminalelor se asigură prin pătrunderea conductorului de cupru în cavitățile practicate în acest scop la capetele tronsonului ceramic. În felul acestat se reali-

ztază o legătură electrică și mecanică a conexiunilor la pelicula de carbon.

Puterea disipată (Pn) a rezistoarelor cu carbon este puterea maximă pe care rezistorul o poate ceda mediului ambiant fără a se defecta sau modifica esențial valoarea. Pn se definește la temperatura ambiantă de 70°C, în funcționare continuă, când tensiunea nominală limită nu este depășită.

Temperatura ambiantă (Tn) este temperatura aerului din imediata vecinătate a rezistorului, când acesta nu disipă putere.

Rezistența nominală (Rn) este valoarea marcată pe corpul rezistorului. Toleranța definește dispersia valorii rezistorului, valoare ce se poate abate de la Rn.

Rezistența critică (Rc) este valoarea maximă a rezistenței căreia i se poate aplica tensiunea nominală.

Domeniul de temperaturi definește temperatura ambiantă pentru care rezistorul este proiectat să lucreze în funcționare continuă.

Tensiunea nominală limită (UL) este tensiunea maximă continuă sau valoarea eficace maximă a tensiunii alternative care poate fi aplicată la bornele unui rezistor.

Coeficientul de temperatură (α_R) reprezintă variația relativă a rezistenței corespunzătoare variației de temperatură cu 1°C.

Factorul de zgomot (F) este raportul măsurat între tensiunea proprie de zgomot în sarcină a rezistorului și tensiunea continuă aplicată. Zgomotul în sarcină se datorește conductivității electrice în peliculă; are un caracter aleatoriu și se suprapune peste zgomotul termic. Zgomotul propriu reflectă calitatea rezistorului, omogenitatea stratului și într-o oarecare măsură fiabilitatea.

● **Șirul de valori al puterilor disipate uzuale pentru rezistoarele cu peliculă de carbon:**

0,05W—0,125W—0,25W—0,5W—1W—2W.

La I.C.E.P. Curtea de Argeș se fabrică ultimele mărimi: 0,25; 0,5; 1 și 2W.

● **Toleranțele uzuale la rezistoarele cu carbon sînt:** ± 20 ; ± 10 ; $\pm 5\%$.

În tabelul 1 se prezintă sinoptic principalele date tehnice pentru rezistoarele romjnești cu peliculă de carbon:

Tabelul 1

Tipul rezistorului	RCG 2025	RCG 1050	RCG 1100	RCG 1200	Observații
Puterea disipată (Pn)	0,25W	0,5W	1W	2W	la $T_a = 70^\circ\text{C}$
Dimensiunile rezistorului	$\varnothing 2,5 \times 7$	$\varnothing 4 \times 12,5$	$\varnothing 6 \times 22$	$\varnothing 8,5 \times 33$	mm
Gama de valori (Rn)	22 Ω ...1M Ω	10 Ω ...10M Ω	1k Ω ...4,7M Ω	10 Ω ...10M Ω	—
Tensiunea nominală (UL)	250V	350V	500V	500V	—
Rezistența critică (Rc)	240	240	240	120	K Ω
Toleranța	± 5 ;	± 5 ;	± 10 ;	± 20 ;	%
Șirul de valori	E24;	E24;	E12;	E6	—
Coeficientul de temperatură (α_R)	— (200...400)10 $^{-6}$ /°C la Rn=10 Ω ...100K Ω — (300...800)10 $^{-6}$ /°C la Rn=100K Ω ...1M Ω — (700...1200)10 $^{-6}$ /°C la Rn=1M Ω ...10M Ω				
Factorul de zgomot	funcție de valoarea rezistorului de la 0,1 μ V/V...1a2 μ V/V				
Fiabilitatea	$\lambda < 2 \cdot 10^{-6}/h$ la Rn < 1M Ω				

● UTILIZAREA REZISTOARELOR CU CARBON

Rezistoarele peliculare cu carbon se folosesc acolo unde cerințele privind toleranța, stabilitatea și coeficientul de temperatură sînt moderate. Circuitele în care pretențiile privind toleranța și stabilitatea cu temperatura sînt mari, folosesc rezistoare cu film metalic de tip RMG.

Într-o rezistență la bornele căreia se aplică o tensiune curge un curent și ca urmare se dezvoltă puterea :

$$P_d = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R$$

Puterea dezvoltată în R încălzește corpul rezistenței, iar căldura este disipată (cedată) spre exterior prin convecție, conducție și f. puțin prin radiație. Disiparea căldurii depinde în principal de suprafața exterioară, de temperatura suprafeței rezistorului, de temperatura ambiantă T_a (din vecinătatea rezistorului), dar și de alți factori cum sînt circulația aerului, culoarea rezistorului, etc

O parte importantă din căldura dezvoltată în R este cedată mai ales la rezistențele de 0,25W prin terminale astfel că la capete rezistorul este mai bine răcit. Față de mediul ambiant, rezistorul se încălzește cu o diferență de temperatură Δt proporțională cu puterea disipată, iar temperatura corpului mai ales a suprafeței exterioare crește. Cam la mijlocul corpului temperatura este maximă; este punctul cel mai fierbinte (hot spot) cu temperatura T_M :

$$T_M = T_a + \Delta t \quad \Delta t = A \cdot P_d$$

Factorul A este de fapt rezistența termică a rezistorului, se măsoară în $^{\circ}/W$ (grade Celsius pe Watt) și depinde esențial de mărimea suprafeței exterioare a rezistorului. Fiecare cm^2 de suprafață poate ceda cam 0,25W fără ca rezistorul să se încălzească prea tare, adică fără a depăși limita de la care rezistorul poate suferi transformări ireversibile sau reducerea fiabilității.

Temperatura punctului fierbinte nu trebuie să depășească 115—120 $^{\circ}C$ la rezistoarele cu peliculă de carbon. În această problemă, grosimea peliculei de carbon este hotărî-

toare: la rezistențe de valoare mică pelicula este groasă și poate „suporta“ mai multă căldură. La R mai mari de 10K Ω și mai ales la R cu valori spre 1M Ω , pelicula fiind subțire, iar „filetul“ cu pas mic, rezultă o pistă rezistivă îngustă și foarte subțire care se va încălzi mai tare. Ca urmare, rezistoarele de valoare mai mare nu pot fi încărcate la puterea nominală. În ultimul timp, producătorii indică puterea disipată la $T_a = 70^{\circ}C$, în funcție de valoarea R, astfel încît valoarea rezistorului să nu varieze cu mai mult de 1,5% (conform prescripției CEI—115) după 1000 ore de funcționare. Pentru rezistoarele cu carbon fabricate la I.C.E.P., graficele puterii disipate maxime admise ținînd seama de variația $\Delta R/R \leq 1,5\%$ sînt date în fig. 1.

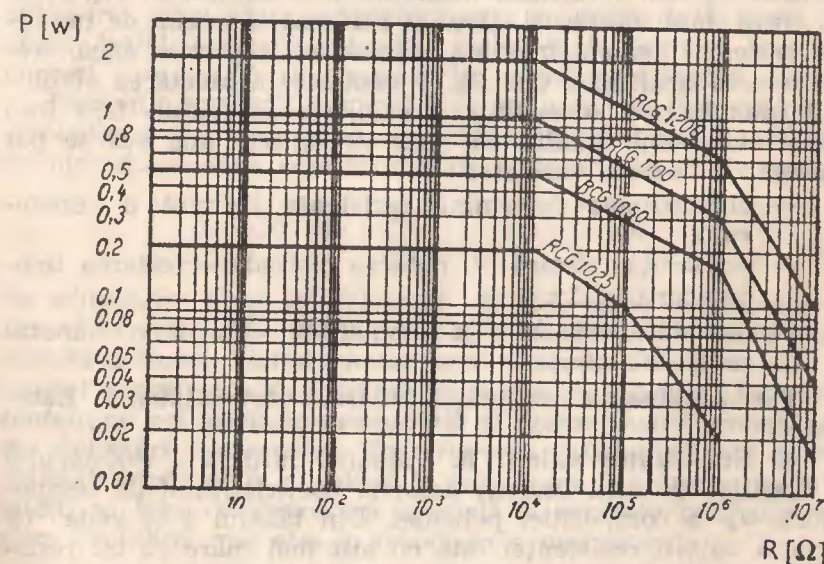


Fig. 1

Contradicția care se naște trebuie înțeleasă astfel : Puterea disipată nominală : 0,25W; 0,5W; 1W; sau 2W este de fapt puterea nedestructivă cu care poate fi încărcată rezistența la temperatura ambiantă de +70 $^{\circ}C$ fără ca T_M (punctul

fierbinte) să depășească $+120^{\circ}\text{C}$; în această situație variația $\Delta R/R$ poate atinge 10% sau chiar 15% la rezistoarele de valoare mare după câteva mii de ore de funcționare.

Practic, puterea disipată nominală prescrisă pentru rezistorul de 0,5 W de exemplu, este valabilă numai dacă rezistorul are o valoare maximă de $10^4 \Omega$. Dacă însă valoarea R este mai mare de $10^4 \Omega$ (10 K), puterea disipată maximă admisă trebuie redusă conform graficului din fig. 1, pentru a evita variația rezistenței peste 1,5 %.

Dacă în funcționarea circuitelor variația rezistenței este importantă, se va ține seama de fig. 1 astfel de pildă, la un rezistor de $100\text{K}\Omega$ și 2W (RCG 1200) se admite o putere disipată de cel mult 1,1W; dacă R 2W este de $2,2\text{M}\Omega$ se admite $P_d \text{ max.} = 0,33\text{W}$!! Această încărcare este admisă în regim de c.c. curat, fără impulsuri. Dacă R lucrează în regim de impulsuri puterea disipată maximă admisă va fi și mai mică. Nerespectarea graficelor din fig. 1 conduce la afectarea stabilității (modificarea ireversibilă a valorii rezistorului) fără însă a afecta sensibil fiabilitatea. Cele prezentate mai sus se pot rezuma în modul următor:

- dimensiunea determină rezistența termică a rezistorului.
- rezistența termică \times puterea disipată = creșterea temperaturii cu Δt .
- supraîncălzirea $\Delta t + T_a$ (ambientă) = T_M temp. punctului fierbinte.

T_M și valoarea rezistenței hotărăsc stabilitatea și fiabilitatea.

● **Stabilitatea valorii R .** Valoarea inițială a rezistorului se modifică în mod inerent datorită coeficientului de temperatură α_R a compoziției peliculei. Din tabelul 1 se vede că variația valorii rezistenței este cu atât mai mare cu cât rezistivitatea peliculei de carbon este mai mare și are un caracter de scădere a rezistenței pe măsură ce temperatura stratului crește. Avem variații reversibile (rezistența revine la valoarea inițială când piesa se răcește) dar și variații ireversibile (valoarea rezistenței se modifică definitiv). **Procentual, modificarea ireversibilă** poate atinge după 1000 ore de funcționare 1—2% sau chiar mai mult și depinde așa cum am

arătat de încărcarea rezistenței și de condițiile climatice. Dacă în 1000 ore rezistorul și-a modificat valoarea cu 1,5%, este probabil ca după 25000 de funcționare modificarea să crească proporțional cu rădăcina pătrată a raportului timpilor de funcționare, în acest caz cu $\sqrt{25\,000/1000} = 5$, adică pînă la 7,5%.

$$[\Delta R/R \text{ după } N \text{ ore}] = [\Delta R/R \text{ după } 1000 \text{ ore}] \cdot \sqrt{N/1000}$$

Modificările ireversibile se datoresc proceselor chimice și fizice care au loc în stratul rezistiv sub influența căldurii, a umidității și a oxigenului din aer. Are loc în timp oxidarea compoziției de carbon și mărirea valorii rezistenței. **Mărirea valorii rezistenței se datorește efectului oxidativ cu caracter electrolytic care subțiază treptat stratul.**

● **Nelinaritatea rezistorului** se apreciază prin comportare neliniară, adică acea comportare care se abate de la legea lui Ohm. Astfel, la un R neliniar aplicînd la borne o tensiune perfect sinusoidală se constată la bornele rezistenței curenți cu frecvență multiplă (armonici superioare). Se ține seama de armonica a 3-a, măsurîndu-se tensiunea cu frecvența 3f, determinîndu-se apoi coeficientul dt neliniaritate cu formula:

$$A_3 = 20 \lg \frac{E_3}{U_1} \quad \left[\text{dB} \right]$$

Se admite un nivel de cel mult —85 dB, adică o tensiune de armonica a 3-a de 16 000 ori mai mică decît tensiunea sinusoidală aplicată. Neliniaritatea este semnul unei anomalii în stratul rezistiv, ca de altfel și tensiunea de zgomot. La rezistențele cu neliniaritate pronunțată și zgomot mare probabilitatea defectării catastrofice (întreruperea rezistenței) sau a modificării ireversibile a valorii R este mare. Măsurarea neliniarității se face cu aparatură specială și servește pentru aprecierea calității, mai ales la rezistoarele profesionale.

● **Dimensionarea rezistorului după criteriul punctului fierbinte.**

Cu cît temperatura T_M a punctului celui mai cald este mai mare, probabilitatea modificării valorii rezistorului și eventuala întrerupere a acestuia este mai mare. În fig. 2 se prezintă nomograma care stabilește grafic relația între tem-

peratura ambiantă la care este pus să funcționeze rezistorul, T_M și puterea disipată.

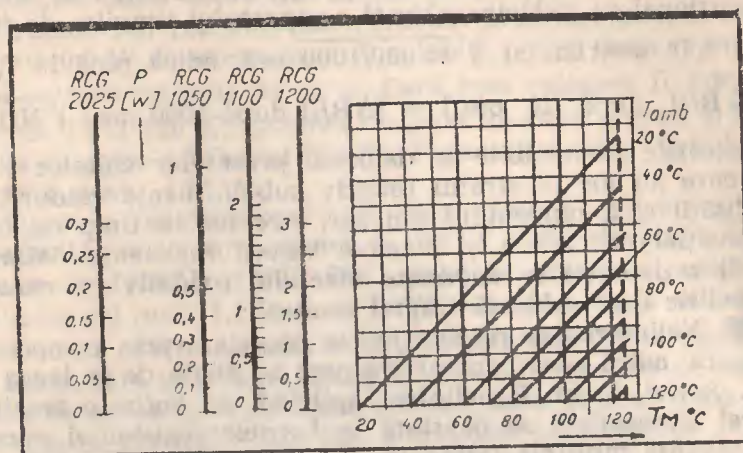


Fig. 2

Pe această nomogramă se poate citi puterea admisă P_d (W) pentru a nu depăși o anumită temperatură a punctului fierbinte (T_M), când se cunoaște temperatura ambiantă T_{amb} la care lucrează rezistorul. De exemplu: o rezistență de 2W care lucrează la $T_{amb}=60^\circ\text{C}$ și este încărcată cu 1,5W va avea în punctul fierbinte $T_M=98^\circ\text{C}$ sau invers, dacă se urmărește ca T_M să nu depășească 80°C , rezistorul fiind plasat la $T_{amb}=60^\circ\text{C}$, puterea maximă cu care poate fi încărcat rezistorul este de 0,8W.

● Privitor la condițiile climatice, trebuie spus că rezistoarele cu carbon de tip RCG pot lucra la temperaturi ambiante cuprinse între -55°C și $+125^\circ\text{C}$, și umiditate cuprinsă între 0 și 95%. Dar efectul temperaturii și a umidității în timp este diferit asupra stabilității și duratei de viață a rezistorului. La temperaturi de peste 95°C umezeala nu mai are efect pentru că intervine efectul de uscare naturală. Atacul umidității este puternic la temperaturi de $+50\dots 80^\circ\text{C}$ când electroliza peliculei de carbon mai ales la rezistențele încărcate

în curent continuu este pronunțată și provoacă subțierea stratului rezistiv, deci mărirea rezistenței și chiar întreruperea în locurile unde pista a avut un defect (îngustarea pistei cauzată la „filetare” sau un punct „activ” adică un punct impurificat (murdar) unde factori poluanți ca sărurile sau acizii vor ataca pelicula și o vor dizolva ajutați de căldură și umezeală. Neomogenitatea peliculei (grosimea variabilă a pistei) constituie defect ascuns (care se poate depista prin analiza armonice a 3-a) și va provoca aproape sigur întreruperea dacă rezistența lucrează la T_a moderată și umiditate ridicată.

● Inductanța rezistoarelor este mai mică decât s-ar părea la prima vedere și joacă un rol important numai la rezistențele de valoare mică și doar la frecvențe de peste 100–200 MHz. Inductanța rezistoarelor este mică deoarece numărul spirelor pistei rezistive este relativ mic. De pildă o rezistență de 2W și 82 Ω , are 12 spire cu lățimea de cca. 2,5 mm, în timp ce o rezistență de 2W și 27K are cam 20 spire late de cca. 1,3 mm, în ambele cazuri lungimea „bobinajului” este de cca. 30 mm. O rezistență de 10 Ω 0,5W are practic 2–3 spire și cu toate că este de lungime mică, la frecvențe foarte mari inductanța „spiralei” nu poate fi neglijată, iar reactanța inductivă $X = \omega L$ se adună la R.

● Capacitatea proprie a rezistorului nu trebuie luată în considerare deoarece stratul este atât de subțire încât capacitatea relativă dintre 2 spire alăturate este practic nulă. Intervine însă puternic efectul capacității rezistorului față de masă (față de placa de cablaj imprimat) sau față de alte componente precum și inductanța terminalelor care în cele mai multe cazuri este mai mare decât inductanța spiralei propriuzise.

● Impedanța. La frecvențe de peste 30MHz, impedanța rezistorului poate avea un caracter inductiv sau capacitiv, fiind în valoare de modul mai mare sau mai mică decât rezistența nominală. Informativ, impedanța rezistoarelor RCG 2025 de 0,25W și RCG 1200 de 2W la frecvența de 250 MHz este dată în tabelul 2.

Tabelul 2

R nom (Ω)	10	22	56	100	220	560	1000	2200	5600
|Z| R 0,25 W	30	36	61	102	217	540	920	1800	2300
(Ω) R 2W	39	53	86	140	217	465	480	550	600

De aici se vede că la FIF, un rezistor de 10Ω poate avea o impedanță de $30\text{--}40\Omega$ datorită inductanței care este importantă la rezistoarele de valoare mică (până la $100\text{--}200\Omega$). La rezistoarele de valoare mai mare și mai ales la cele de gabarit mare (de putere mai mare, $1\text{--}2\text{W}$) inductanța nu contează, dar capacitatea rezistorului față de masă intervine și are ca efect reducerea impedanței astfel că Z devine chiar de $5\text{--}10$ ori mai mică decât R_n . În domeniul frecvențelor normale (până la $5\text{--}10\text{MHz}$), diferența dintre R_n și $|Z|$ este însă complet neimportantă.

1.2. REZISTOARE CU FILM METALIC RMG și RMP

A. Acolo unde toleranța cerută rezistorului este mică ($0,25\%/0,5\%$) și stabilitatea valorii în condiții de exploatare trebuie să fie mare, se folosesc rezistoare cu peliculă (film) metalic de tip RMP (tip I sau profesionale).

B. În aplicațiile obișnuite, adică acolo unde se folosesc de obicei rezistoare cu peliculă de carbon, se pot folosi și rezistoare cu peliculă metalică pe bază de oxizi metalici (de exemplu oxid de staniu SnO_2) de tip RMG (tip II, uz general) identice ca gabarit, putere și toleranțe cu rezistoarele cu peliculă de carbon din seria RCG (de uz general). Deosebirea esențială între seria RMG și RCG este coeficientul de temperatură pozitiv la rezistoarele metalice și comportarea mai bună la temperaturi mai mari ca putere disipată.

I. Rezistoare cu film metalic RMG. Datele tehnice pentru rezistoarele cu film metalic de uz general, realizate pe tronsoane ceramice, cu peliculă spiralată, contact terminal cu nichel-carbonil și terminale axiale sudate, identice ca aspect cu rezistoarele cu peliculă de carbon, sînt arătate în tabelul 3

Tabelul 3

Tipul rezistorului	RMG 20/25	RMG 10/50	RMG 1100	RMG 1200	Observații
Puterea disipată (Pn)	0,25W	0,5W	1W	2W	la $T_a = 70^\circ\text{C}$
Dimensiunile rezistorului	$\varnothing 2,5 \times 7$	$\varnothing 4 \times 12,5$	$\varnothing 6 \times 22$	$\varnothing 8,5 \times 33$	mm
Gama de valori (R_n)	$4,7\Omega \dots 1\text{M}$	$1\Omega \dots 10\text{M}$	$1\Omega \dots 4,7\text{M}$	$4,7\Omega \dots 10\text{M}$	—
Tensiunea nominală (U_L)	250V	350V	500V	600V	—
Rezistența critică (α_R)	240	240	240	240	K Ω
Toleranța	$\pm 2,5; \pm 5; \pm 10; \pm 20$				%
Șirul de valori	E48; E24; E12; E6;				—
Coeficientul de temperatură (α_R)	tipic: $+200; \text{maxim } +500 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ la $R_n = 1\Omega \dots 100\text{K}$ $+500; \text{maxim } +1000 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ la $R_n = 100\text{K} \dots 1\text{M}$ $+800; \text{maxim } +1200 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ la $R_n = 1\text{M} \dots 10\text{M}$				
Fiabilitatea	$\lambda \leq 1 \cdot 10^{-6}/\text{h}$ la $R_n < 1\text{M}$				

Rezistențele cu peliculă metalică din seria RMG admit o temperatură T maximă a punctului fierbinte de 155°C și ca urmare pot fi încărcate la puterea nominală dacă temperatura ambiantă nu depășește 70°C . La temperaturi ambiante mai mari de 70°C , puterea disipată trebuie redusă liniar, invers proporțional cu temperatura, așa cum se arată în tabelul 4. Astfel de exemplu, un rezistor de tip RMG de 1 W care

Tabelul 4

Ta	0—70	80	90	100	110	120	$^{\circ}\text{C}$
P/Pn	100	85	70	50	30	15	%

lucrează la o temperatură ambiantă de 90°C poate fi încărcat cu maximum 70% din P_n adică cu $0,7\text{W}$. Modificarea ireversibilă a valorii rezistenței în timp este mai mică decât la rezistoarele cu peliculă de carbon și se datorește proceselor de recristalizare și difuzie în stratul de oxid metalic.

● Factorul de zgomot la rezistoarele cu film metalic de tip RMG este dat în tabelul 5 din care se vede că zgomotul crește subproporțional cu valoarea rezistorului.

Tabelul 5

R	1	5	10	25	100	50
F	0,04	0,07	0,09	0,12	0,22	0,18

R	250	500	1000	2500	5000	K Ω
F	0,30	0,40	0,53	0,77	0,93	$\mu\text{V/V}$

În televizoarele cu CI, se folosesc rezistoare metalice de tip RMG de valori sub 10Ω (rezistențe cu carbon de tip RCG nu se fabrică valori sub 10Ω), în posturi unde solicitarea este complexă: continuu însoțit de impulsuri sau componentă alternativă, sau numai impulsuri și apropiată de putere nominală:

R710— $4,7\Omega/1\text{W}$ la redresorul auxiliar pentru tensiunea U_3 .

R709— $6,8\Omega/1\text{W}$ la alimentarea în impulsuri a filamentului.

R704— $2,2\Omega/1\text{W}$ în circuitul bazei la BU205.

R513— $1\Omega/0,5\text{W}$ în circuitul de RN (bobina de deflexie cadre).

R514— $3,3\Omega/0,5\text{W}$ pe modulul de BV cu TDA 1170.

R814— $4,7\Omega/0,5\text{W}$ la alimentarea căii de sunet.

R207— $1\Omega/0,5\text{W}$ pe modulul de sunet.

R519— $1\Omega/0,5\text{W}$ pe modulul de BV cu tranzistoare la TV5CI.

●● Solicitarea la impulsuri a rezistoarelor.

La funcționarea în regim de impulsuri, temperatura peliculei și a suportului ceramic suferă variații rapide în timp, ceea ce determină încălzirea neuniformă a corpului rezistorului: temperatură foarte mare la suprafață în masa peliculei și temperaturi mici în masa ceramică.

Dealungul rezistorului apar diferențe mari de temperatură, punctul cel mai fierbinte nefiind întotdeauna la mijlocul rezistorului. Puterea disipată de rezistor este mare în timpul impulsului, putînd dealtfel depăși mult puterea nominală pe o durată mică. Dealtfel rezistoarele suportă o probă de suprasarcină de $6,25 P_n$ timp de 10 cicluri a 50 secunde cu 5 secunde impuls și 45 secunde pauză, cu condiția ca tensiunea să nu depășească $2U_n$. După această probă modificarea valorii $\Delta R/R$ nu trebuie să depășească 2% .

În practică, solicitarea la impulsuri poate fi de 2 feluri:

1. Impulsuri periodice de tensiune a căror putere medie nu depășește puterea nominală, puterea de vîrf în timpul impulsului nu depășește $6P_n$ iar tensiunea maximă este cel mult egală cu tensiunea nominală U_n .

2. Impulsuri sporadice de mică durată cu putere de vîrf foarte mare. Aceste impulsuri pot apărea la descărcări atmosferice, descărcări în cinescop, descărcări de condensator sau în circuitele cu comutație rapidă. Energia impulsurilor cu durată de $0,1...1\mu\text{s}$ produce căldură numai în stratul rezistiv

corpul ceramic al rezistorului neavînd timp să preia căldura prin conducție, iar stratul subțire neavînd timp să cedeze căldura prin convecție. Funcție de masa și de căldura specifică a peliculei rezistive, pelicula poate fi încălzită pînă la distrugerea ei prin sublimare (vaporizare instantanee). Temperatura de sublimare a peliculei de carbon (grosimea medie de $0,3 \mu$) este de ordinul a 3500°C iar a filmului metalic (grosimea de $0,015 \mu$) este de ordinul a $1000\text{--}1500^{\circ}\text{C}$.

Din acest punct de vedere rezistoarele chimice cu carbon suportă temperaturi locale pînă la 2000°C și rezistă mai bine la solicitări în impuls mai ales cînd acestea sînt de foarte mare energie și de foarte scurtă durată, iar rezistoarele cu peliculă metalică sînt mai potrivite pentru solicitarea cu impulsuri periodice.

● Ținînd seama de durata și amplitudinea impulsului periodic se calculează P_m —puterea medie a impulsului:

$$P_m = \frac{U^2 \cdot t_i}{R \cdot T} \quad \left[W, V, \mu s, \Omega \right]$$

în care:

P_m —puterea medie a impulsului în W.

U —tensiunea vîrf-vîrf a impulsului

t_i —durata impulsului

T —perioada de repetiție a impulsului

Se mai determină factorul de încărcare:

$$K = \frac{T}{\sqrt{t_i}}$$

și funcție de aceste mărimi se alege puterea nominală a rezistorului din graficul dat în fig. 3.

Se vede în fig. 3 că dacă factorul de încărcare K rezultă pînă la 10, rezistorul poate fi încărcat la puterea nominală,

iar dacă de exemplu rezultă $K=150$, se admite o încărcare doar de 10% față de P_n . La $K=1000$, adică în cazul unor impulsuri periodice foarte scurte, rezistorul poate fi încărcat doar la cca. 3% din P_n . În cazul BO unde $t_i = 12 \mu s$ iar $T = 64 \mu s$, rezultă $K=18,5$ astfel că raportul P_m/P_n citit în fig. 3 rezultă $0,75$ ceea ce înseamnă că rezistorul poate fi încărcat pînă la 75% din puterea nominală.

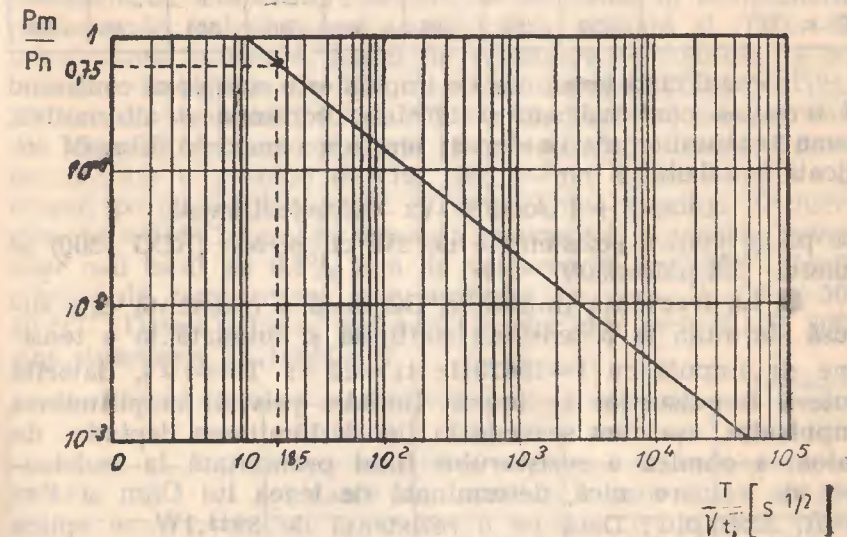


Fig. 3

● Privitor la tensiunea (valoarea vîrf la vîrf) a impulsului, trebuie menționat că producătorul admite pentru fiecare tip de rezistor: tensiunea de impuls (vîrf-vîrf), tensiunea alternativă pură în valori eficace și tensiunea continuă maximă. Acestea sînt date pentru rezistoarele de tip RCG și RMG în tabelul nr. 5.

Tabelul 6

	0,25W		0,5W		1W		2W	
	RCG	RMG	RCG	RMG	RCG	RMG	RCG	RMG
U imp M (V)	425	750	600	1000	850	1500	850	1500
Uc.a.ef. (V)	250	250	350	350	500	500	500	500
Uc.c. (V)	250	250	350	350	500	500	500	500

În cazul când tensiunea de impuls este complexă conținând și tensiune continuă sau și tensiune continuă și alternativă, suma tensiunilor nu va depăși tensiunea maximă U_{impM} indicată în tabelul 6.

$$U_{imp} + |U_{cc}| + \sqrt{2} \cdot U_{caef} \leq U_{impM}$$

De pildă, pentru rezistențele de 2W cu carbon (RCG 1200) se admite $U_{impM}=850V$.

● La frecvența liniilor în BO dacă o rezistență este supusă simultan la o tensiune continuă și totodată la o tensiune de impuls cu $f=15625Hz$ $t_i=12\mu s$ $T=64\mu s$, datorită puterii impulsurilor se impun limitări privind amplitudinea impulsului, așa cum se vede în fig. 4. Limitarea depinde de valoarea ohmică a rezistorului fiind pronunțată la rezistoarele de valoare mică, determinată de legea lui Ohm și $P=U^2/R$. Exemplu: Dacă pe o rezistență de 39Ω , 1W se aplică

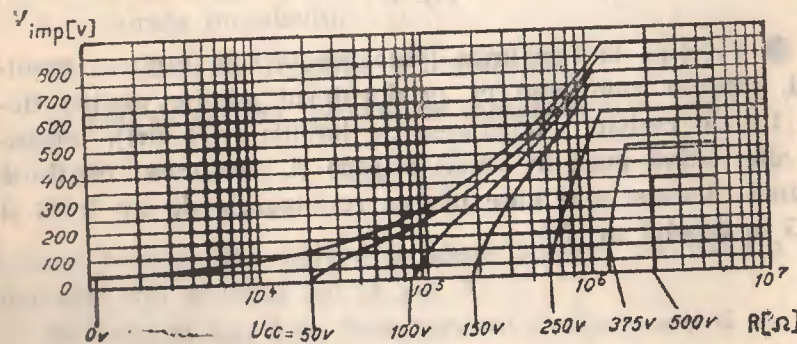


Fig. 4

50Vc.c. rezultă că pentru a nu se suprasolicita rezistența, peste tensiunea continuă se pot suprapune impulsuri de linii de max. 100Vv. La o rezistență de 500K, aplicând tot 50V se admite o tensiune de impuls de 450Vv, deci $U_{impM}=500Vv$.

II. Rezistoare profesionale cu film metalic (RMP)

Pelicula metalică este de tip crom-nichel și se caracterizează prin precizie mare, stabilitate foarte mare în timp și coeficient de temperatură scăzut. Se utilizează în echipamente profesionale (calculatoare, aparatură de măsură și...TV). În televizoarele moderne, astfel de rezistoare se folosesc la oscilatorul de linii de tip RC, cu circuit integrat (TBA950, TBA 920) ca de exemplu R402 la TV cu CI. Suportul ceramic este din alumină de mare puritate și cu suprafața netedă. Filmul metalic are o grosime de $(10...100) \cdot 10^{-9}mm$ și este depus omogen pe suportul ceramic. Temperatura maximă de lucru este de $+155^{\circ}C$, fără ca valoarea rezistenței să varieze reversibil mai mult de 0,5% față de valoarea R la $+25^{\circ}C$. Coeficientul de temperatură este apropiat de zero: $(-50...+50) \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$. Datele tehnice ale rezistoarelor din seria RMP 3000 sînt sintetizate în tabelul 6.

Tabelul 6

	RMP 3012	RMP 3025	RMP 3050	RMP 3100
Pn	0,125W	0,25W	0,5W	1W
Un	125V	250V	350V	500V
Gama de valori	50 Ω ... 0,15M	20 Ω ... 1M	10 Ω ... 1M	10 Ω ... 2,2M
$\alpha_R \cdot 10^{-6}/^{\circ}C$	-50...+50 sau -100...+100 sau -150...+150			
Toleranțe	C=0,25%; D=0,5%; F=1%; G=2%; T=5%			
Gabarit mm	L	5	5	7,5
	M	5	7,5	7,5
	G	2,54	2,54	2,54
d	2,54	2,54	5,08	7,62

Marcarea se face în clar pentru valoare iar toleranța codificat cu literă cu semnificația dată în tabelul 6. Categoria climatică: 55/155/56 care trebuie citită astfel: 55: temperatura minimă de lucru este -55°C . 155: temperatura maximă de lucru este $+155^{\circ}\text{C}$. 56: tipul de rezistor suportă o probă cu durată de 56 zile la $t=+40^{\circ}\text{C}$ și umiditate de 95% fără a apărea modificări ale rezistenței peste 1%. Rezistoarele de tip RMP prezintă o foarte mare stabilitate a valorii R pe parcursul a 100 000 ore de funcționare, fiabilitate profesională $\lambda \leq 1.10^{-8}/\text{h}$ și solicitări mecanice dure (vibrație, accelerații de 40g, etc.).

● Rezistoarele nu suportă torsionarea terminalelor, îndoirea la distanță mai mică de 5 mm de corp și mai ales „forțarea” distanței dintre terminale care este de 2,5 mm, 5 mm sau 7.5 mm (funcție de tip).

1.3. REZISTOARE BOBINATE RBC și RBT

Rezistoarele bobinate se utilizează în circuitele electronice de uz general sau profesional, în care intervin puteri disipate mai mari de 2W.

Rezistoarele RBC sînt realizate prin bobinarea unui conductor izolat oxidic, de mare rezistență, pe un tronson cilindric de fibre de sticlă, cu un pas de bobinaj ceva mai mare decît diametrul conductorului. Contactarea se face cu capace cilindrice de cupru la care sînt sudate terminalele și care se presează pe capetele tronsonului bobinat. Tot corpul rezistorului este înglobat (acoperit prin scufundare) într-un ciment silionic. Rezistoarele RBC se fabrică pentru puteri disipate de 3, 5, 7 și 9W.

Rezistoarele RBT sînt de fapt rezistoare de construcție RBC introduse într-un corp ceramic unde se fixează mecanic, cu contact termic bun realizat prin injectarea unui ciment alb cu liant. Aceste rezistoare se fabrică pentru puteri disipate de 10W și 16W. Suprafața de cedare a căldurii este de cca. 27 cm^2 la RBT/10W și de cca. 40 cm^2 la RBT/16W

astfel că temperatura corpului rezistorului și a suprafeței exterioare este mult mai mică la R de tip RBT decît la RBC.

Temperatura corpului rezistorului (T_c) și puterea dezvoltată în rezistor sînt legate de relații complexe a căror reprezentare grafică este arătată în fig. 5. Temperatura ambiantă la care s-a măsurat este de 25°C .

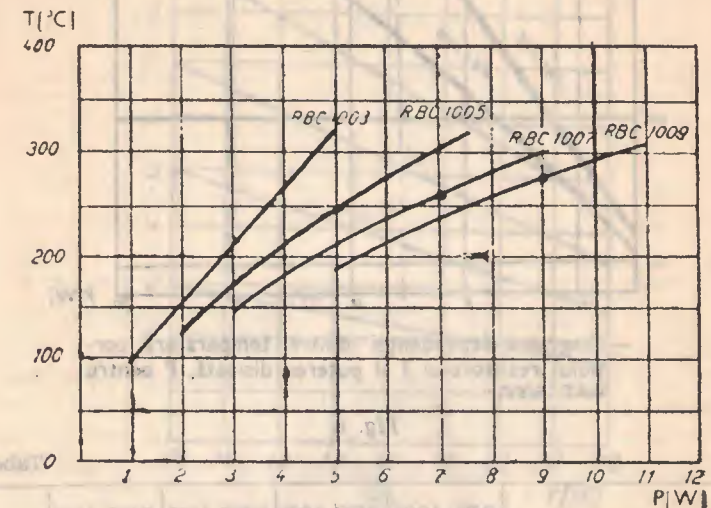
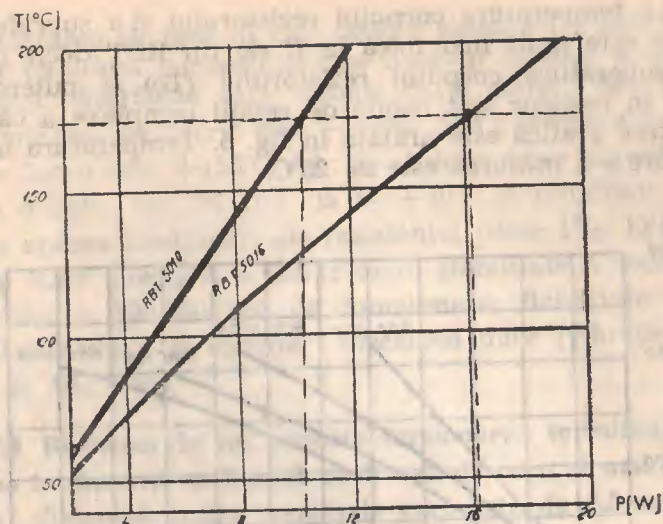


Fig. 5

Curbele din fig. 5 arată că la puterea nominală de 5, 7 și 9W aplicată pe rezistoarele de tip RBC, temperatura corpului atinge cca. 250°C , cu excepția rezistențelor RBC 1003 de 3W la care corpul se încălzește la cca. 230°C deoarece corpul fiind mic, răcirea prin terminale devine importantă.

La rezistențele cu corp ceramic, RBT temperatura corpului funcție de puterea aplicată rezistenței este arătată în fig. 6. Se vede că temperatura corpului atinge la puterea nominală, P_n , nivelul de $+175^{\circ}\text{C}$. A nu se uita că în această situație temperatura corpului rezistorului propriu zis este mai mare decît 175°C , apropiindu-se de 250°C . Datele tehnice ale rezistoarelor RBC sînt date în tabelul 7.



— Diagrama dependenței dintre temperatura corpului rezistorului T și puterea disipată, P pentru RRT 5000

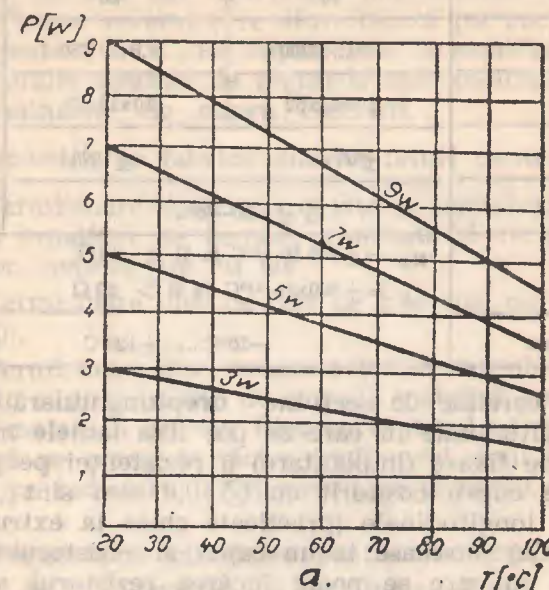
Fig. 6

Tabelul 7

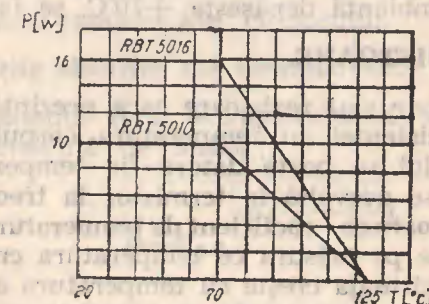
	RBC 1003	RBC 1005	RBC 1007	RBC 1009	
P_n la 20°C	3	5	7	9	W
R_n	7,5...13000	11...20000	15...27000	22...39000	Ω
Gabarit	$\varnothing 5 \times 26$	$\varnothing 5 \times 32$	$\varnothing 5 \times 40$	$\varnothing 5 \times 52$	mm
Toleranțe	$\pm 0\%$ și $\pm 10\%$				—
Fiabilitate	$\lambda \leq 1 \cdot 10^{-5}/h$				—
Coef. temp.	$\alpha_R = \pm 200 \cdot 10^{-6}/^\circ$				—
Temp. de lucru	$-10^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$				—

Deci puterea nominală de 3, 5, 7, 9W poate fi disipată la temperatura ambiantă $T_a = +20^\circ\text{C}$. Dacă un rezistor RBC de

7W lucrează la o temperatură mai mare, de exemplu 60°C , puterea pe care rezistența o poate disipa este mai mică (doar 5,2W) conform diagramei date în fig. 7a.



a.



b.

Fig. 7

Pentru rezistoarele RBT în corp ceramic-radiator datele tehnice sînt sintetizate în tabelul 8.

Tabelul 8

	RBT 5010	RBT 5016	
Pn la 70°C	10	16	W
Rn	10 ... 3300	6,8 ... 750	Ω
Gabarit	10x12x52	10x12x77	mm
Toleranțe	$\pm 5\%$	$\pm 10\%$	
Fiabilitate	$\lambda \leq 2 \cdot 10^{-5}/6h$		
Coef. temp.	$\alpha_R = \pm 200 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ la $R < 10 \Omega$ $\alpha_R = \pm 500 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ la $R > 10 \Omega$		
Temp. de lucru	$-10^{\circ}\text{C} \dots \pm 125^{\circ}\text{C}$ (ambientă)		

Corpul ceramic de secțiune dreptunghiulară are două șanțuri longitudinale în care se pot fixa lamele metalice ale suportului de fixare (implantare) a rezistenței pe placă. Terminalele de cupru cositorit cu $\varnothing 0,8$ mm sînt „petrecute” prin canale longitudinale (practicate chiar la extruderea corpului ceramic) și scoase la un capăt al rezistorului. Reducerea puterii cu care se poate încălzi rezistorul atunci cînd temperatura ambiantă depășește $+70^{\circ}\text{C}$, se face după fig. 7b.

1.4. TERMISTOARE.

Termistoarele sînt rezistoare care prezintă o variație importantă a rezistenței cu temperatura corpului său. Încălzirea termistorului se poate datora fie temperaturii ambiante fie puterii ce se dezvoltă în termistor la trecerea curentului. Există termistoare cu coeficient de temperatură γ (NTC) la care rezistența scade pe măsura ce temperatura crește. Termistoarele la care rezistența crește cu temperatura au coeficient pozitiv de temperatură și se numesc pozistoare (PTC); aceasta din urmă se folosesc mai rar.

Termistoarele se realizează din oxizi ai elementelor tranzitive din grupa fierului, adică crom, mangan, fier, cobalt sau nichel. Acești oxizi au o mare rezistivitate în stare pură, dar pot fi transformați în semiconductoare adăugînd cantități mici

de ioni străini cu valențe diferite. Tehnologia de fabricație a termistoarelor este ca și la orice ceramică. Compoziția oxidică este adusă la starea de pulbere fină, umezită apoi cu un liant este presată sau extrudată obținîndu-se baghete sau discuri. Piese ceramică se sinterizează (se coc) la temperaturi de peste 1000°C . Pe suprafețele laterale se depun unul sau mai multe straturi de argint și apoi cositor la care se lipsesc terminalele de cupru cositorit.

Constructiv, se fabrică diferite feluri de termistoare:

a) Termistoare disc neprotejate și nemarcate (seria TG 1000) cu armături de contact argintate și terminalele lipite cu cositor, neprotejate cu lac.

b) Termistoare disc ca cele de mai sus, dar lăcuite (seria TG 1100).

c) Termistoare disc. montate într-o capsulă metalică, înglobate în rășină, izolate de capsula metalică (seria TG 6000). Capsula metalică are un filet cu ajutorul căruia termistorul se fixează pe placa de răcire (radiatorul unui etaj final de AF) sau pe radiatorul altui circuit ce urmează a fi termostabilizat.

d) Termistoare cilindrice pentru protecția filamentelor (seria TI 4000), neizolate, cu terminalele lipite la suprafețele laterale argintat-stanate ale cilindrului.

Proprietățile electrice ale terminalelor.

Între rezistența R a termistorului și temperatura sa T există o dependență de forma:

$$R = R_0 \cdot e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)},$$

în care:

R — este rezistența la o temperatură oarecare T (exprimată în grade Kelvin).

R_0 — este rezistența la temperatura $T_0 = 298^{\circ}\text{K}$ (adică la 25°C).

e — este baza logaritmilor naturali (2,71828...)

B — este o constantă termică a compoziției termistorului care poate fi situată între 2500 și 5500K.

Aplicarea acestor formule presupune deci cunoașterea constantelor B pentru fiecare termistor în parte, deoarece valoarea B depinde de rezistența compoziției (a pastei) mai mult sau mai puțin rezistive, folosită pentru fiecare termistor. În unele cataloage se indică constanta B pentru fiecare termistor. Un alt mod mai practic și suficient de precis de a descrie comportarea R funcție de T este coeficientul de temperatură α_R al termistorului, care depinde de B și care arată cu cât variază procentual rezistența pentru o variație a temperaturii de 1°C:

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \quad \left[\frac{\%}{^\circ\text{C}} \right]$$

Relația din B. și α_R este patrată: $\alpha_R = - \frac{100B}{T_0^2}$ în care $T_0 = 298^\circ\text{K}$. Coeficientul de temperatură α_R poate fi cuprins între -3 și -6%/°C și este legat de constanta B (și de valoarea ohmică) ca în tabelul 9, unde sînt date valorile

Tabelul 9

Rn	2,2	5	10	15	33	50
α_R	-3	-3,2	-3,3	-3,4	-3,6	-3,7
B	2670	2825	2950	3050	3250	3300

Rn	82	130	500	1300	Ω
α_R	-4,9	-5,1	-5,8	-6,1	$\frac{\%}{^\circ\text{C}}$
B	4400	4600	5200	5450	(K)

pentru termistoare de aceeași dimensiune, dar de valori diferite, de exemplu de $\varnothing 9 \times 2,3$ mm și valori de la 2,2 Ω la 1,3K. Dacă se fabrică termistoare de diferite gabarite (din motive de putere disipată), se pot realiza coeficienți de temperatură

doriti adaptînd dimensiunile și pasta funcție de valoarea ohmică urmărită. Coeficientul de temperatură α_R se definește pentru temperatura de 298°K (adică 25°C) deoarece și valoarea α_R este variabilă cu temperatura. Variația rezistenței cu temperatura (curbe tipice) este arătată în fig. 8 pentru trei coeficienți de temperatură: $\alpha = -5,2$ (sus); $\alpha = -3,2$ (mijloc) și $\alpha = 2,9$ (jos).

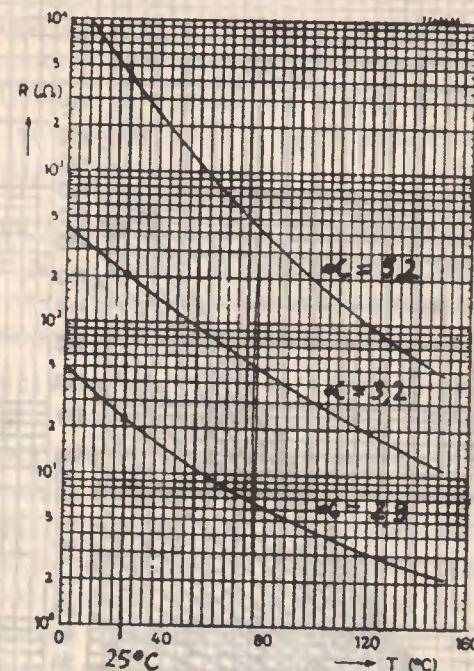


Fig. 8

Din această figură se poate citi direct rezistența termistorului la diferite temperaturi; de exemplu un termistor cu $\alpha = -3,2\%/^\circ\text{C}$ și $R_{25^\circ} = 200\Omega$ (curba din mijloc), va avea o rezistență de 45 Ω la $T = 80^\circ\text{C}$ respectiv 420 Ω la 0°C . Calculul rezistenței unui termistor la o temperatură oarecare atunci cînd se cunoaște rezistența la 25°C (cea care se dă în catalog

și care definește termistorul) este destul de greoi deoarece numărul e, trebuie ridicat la puteri fracționare. De aceea cunoscând din catalog valoarea B și folosind graficul din fig. 9 se poate ușor determina raportul R_{25}/R_T adică raportul dintre rezistența termistorului la 25°C și rezistența termistorului la o temperatură ambiantă oarecare mai mare, de exemplu 80°C sau chiar 200°C .

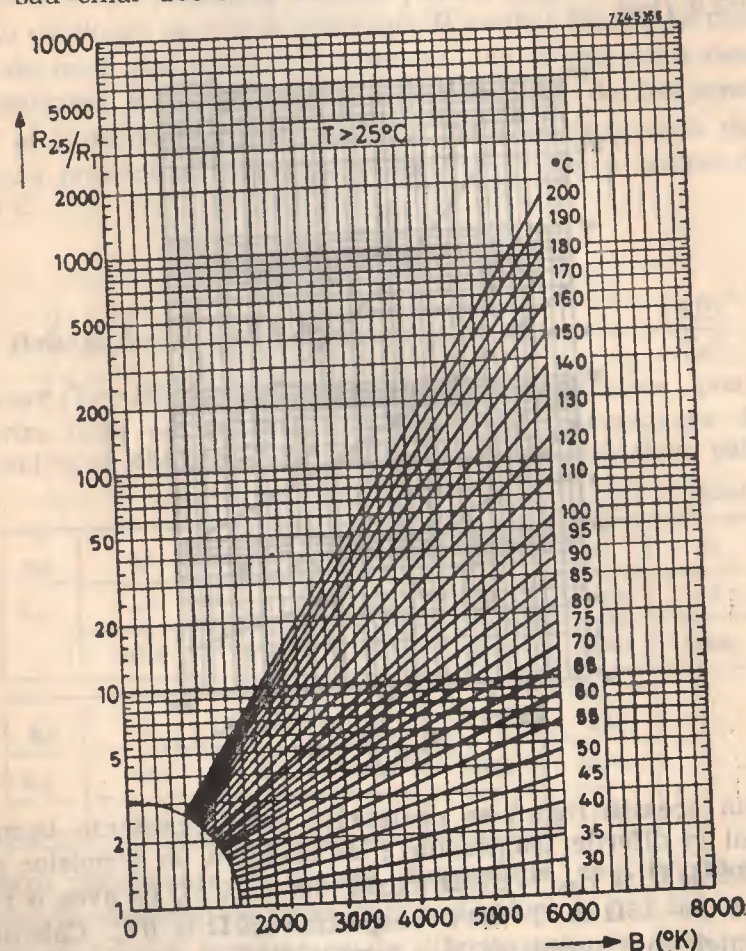


Fig. 9

În mai toate aplicațiile termistorul trebuie să sesizeze temperatura ambiantă sau temperatura radiatorului, deci el nu trebuie să fie încălzit de curentul care circulă prin el. Pentru această condiție este necesar ca termistorul să fie încărcat cu cel mult 50% din puterea sa nominală. Dacă puterea disipată de termistor este mai mare se va ține seama de autoîncălzirea termistorului, cunoscând rezistența sa termică și puterea disipată. De pildă termistoarele fabricate în R.S.R. au o rezistență termică de cca. $0,1^\circ\text{C}/\text{mW}$ ($100^\circ\text{C}/\text{W}$) ceea ce spune că dacă termistorul este încărcat cu 10mW el se încălzește cu un grad Celsius. Încărcând un termistor cu $P_d=1\text{W}$ cu 50mW , el se va încălzi cu 5°C peste temperatura ambiantă.

$$\Delta T = R_{th} \cdot P_d = 0,150 = 5^\circ\text{C}.$$

● Puterea nominală a unui termistor reprezintă puterea pe care poate să o disipe în regim permanent un termistor plasat în aer la 25°C și adus la temperatura sa maximă de utilizare prescrisă (de exemplu 85°C).

● Constanta de timp (T) reprezintă timpul necesar unui termistor pentru ca temperatura să atingă 63,4% din temperatura sa finală atunci când este supus unui salt de temperatură. În decursul a încă două constante de timp termistorul atinge aproximativ regimul de temperatură de durată. De exemplu la un termistor pentru filamente, constanta de timp este de cca 200 secunde, ceea ce înseamnă că după 600 secunde (10 minute) termistorul încărcat cu $3,75\text{W}$ ($12,5\text{V}$ cu $0,3\text{A}$) atinge temperatura de regim de cca. 160°C , timp în care rezistența sa scade de la cca. 1K la 40Ω (de 25 ori).

1. Termistoare cilindrice pentru protecția filamentelor din TV (TI 4001). Esențial este că acest termistor are „la rece” o rezistență mare (la conectarea TV) atunci când filamentele sînt reci și prezintă o rezistență mică tinzînd să ia un curent mare. Termistorul se încălzește treptat și ca urmare îi scade rezistența, timp în care crește rezistența filamentelor de 3—4

ori. Termistorul deci protejează filamentele împotriva supra-voltării. Datele tehnice ale termistoarelor de TV sint date în tabelul 10.

Tabelul 10

Rezistența nominală la 25°C	1K $\Omega \pm 20\%$
Coef de temp. α_{25}	—(3,4.....4)/°C
Constanta B	3300°K
Curentul nominal	300 mA
Curentul maxim	400 mA
Căderea de tensiune	12,5V $\pm 10\%$
Rezistența termică	30°C/W $\pm 20\%$
Constanta de timp	200 sec.
R _i 25°/R _{85°}	5,5 (tipic 7)
Gabarit	Ø 12x35 mm

2. Termistoare de uz general TG 1000, TG 1100, TG 6000.

Termistoarele neizolate TG 1000 nu sint marcate. Termistoarele izolate (lăcuite) sint marcate cu o culoare (vezi tabelul 11 jos). Datele tehnice principale sint date în tabelul 11.

Tabelul 11

	TG 1000	TG 1100	TG 6000	TG 1000	TG 1100	TG 6000	TG 1000	TG 1100	TG 6000	TG 1000	TG 1100	TG 6000	TG 1000	TG 1100	TG 6000	TG 1000	TG 1100	TG 6000	TG 1000	TG 1100	TG 6000
R _n (25°C) Ω	10 $\pm 20\%$	12 $\pm 20\%$	62 $\pm 20\%$	51 $\pm 20\%$	62 $\pm 20\%$	130 $\pm 20\%$	51 $\pm 20\%$	62 $\pm 20\%$	130 $\pm 20\%$	51 $\pm 20\%$	62 $\pm 20\%$	130 $\pm 20\%$	51 $\pm 20\%$	62 $\pm 20\%$	130 $\pm 20\%$	51 $\pm 20\%$	62 $\pm 20\%$	130 $\pm 20\%$	51 $\pm 20\%$	62 $\pm 20\%$	130 $\pm 20\%$
R _i (25°)/ α_{25}	—3,3	—3,3	—3,3	—3,3	—3,3	—3,7	—3,3	—3,3	—3,7	—3,3	—3,3	—3,7	—3,3	—3,3	—3,7	—3,3	—3,3	—3,7	—3,3	—3,3	—4,1
B (°K)	2900	2900	2900	2900	2900	3300	2900	2900	3300	2900	2900	3300	2900	2900	3300	2900	2900	3300	2900	2900	3650
P _n (W)	0,75	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,75	0,6	0,6	0,75	0,6	0,6	0,75	0,6	0,6	0,75	0,6	0,6	0,75	0,6	1
la $t_{corp} = +85^\circ\text{C}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,75
R _{th} (°C/mW)	0,06	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08	0,06	0,1	0,1	0,06	0,1	0,1	0,06	0,1	0,1	0,06	0,1	0,1	0,06	0,1	0,06
Constanta de timp T_i (sec)	40	50	220	40	50	220	40	50	220	40	50	220	40	50	220	40	50	220	40	50	220
Gabarit Ø x grosime (mm)	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14	Ø 9,5x3,5 Ø 9,5x4 Hex 14
R (Ω) la P _n	2	2,4	8	8	10	20	8	10	20	8	10	20	8	10	20	8	10	20	8	10	65
?	negru	roșu	portocaliu	portocaliu	portocaliu	albastru	portocaliu	portocaliu	albastru	portocaliu	portocaliu	albastru	portocaliu	portocaliu	albastru	portocaliu	portocaliu	albastru	portocaliu	portocaliu	verde

După cum se vede în tabelul 11, rezistența unui termistor TG1105—51 este de $51\Omega \pm 20\%$ la $t_{corp} = 25^\circ\text{C}$ și doar de cca. 8Ω când temperatura termistorului este de $+85^\circ\text{C}$ din cauza încălzirii la $P_n = 0,75\text{W}$.

1.5. VARISTOARE (VDR—VOLTAGE DEPENDENT RESISTOR)

Varistoarele sînt rezistențe nelineare a căror valoare descrește cu tensiunea aplicată. Caracteristica statică curent-tensiune se prezintă ca a unui grup de două diode cu germaniu conectate în antifază. În fig. 10a se arată caracteristica de conducție a unui varistor clasic care începe să conducă un curent substanțial mai mare de la $U = 50\text{—}80\text{V}$ iar la $U_n = 120\text{V}$ conduce $I = 2\text{mA}$. În fig. 10b se arată caracteristica electrică a unui varistor (SiOV) foarte modern care se comportă ca două diode cu siliciu, adică cu pante mai abrupte în zona de conducție, la tensiuni mai mari de 300V .

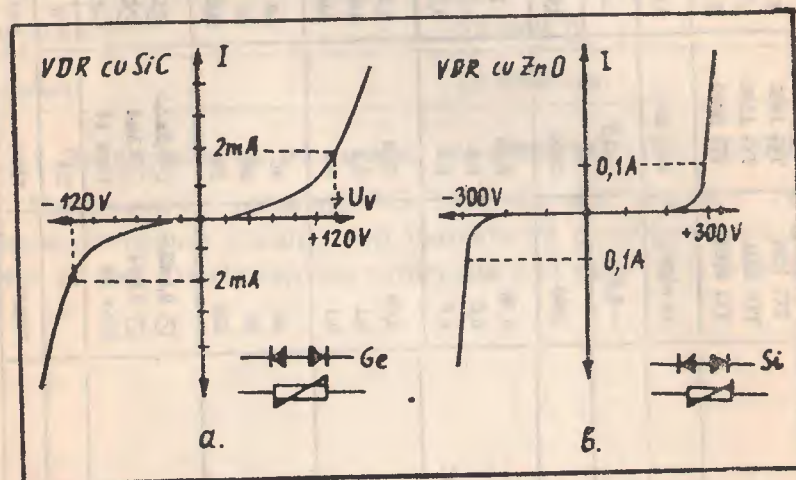


Fig. 10

● **Materialul** de bază utilizat la fabricarea varistoarelor este în principal carbura de siliciu (SiC). Tehnologia este de tip ceramic. Compoziția-praf bine măcinat — este amesteca-

tă cu un liant ceramic și apoi presată sub formă de discuri sau extrudată sub formă de baghete cilindrice. Un tratament termic (sinterizare) la peste 1000°C asigură uscarea masei. Armăturile de contact și terminalele se realizează ca la condensatoarele ceramice sau termistoare. Un lac izolant asigură protecția față de mediu (varistorul este imersat). Varistoarele cu caracteristică abruptă se realizează pe bază de oxid de zinc (SiOV).

● **Caracteristica electrică** a varistorului poate fi exprimată prin relația :

$$U = C \cdot I^\beta$$

unde :

U — este tensiunea aplicată

I — curentul de conducție

β — coeficientul de nelinearitate ($= 0,02 \dots 0,40$)

C — constanta materialului utilizat ($C = 15 \dots 1000$)

Constanta C și coeficientul de nelinearitate depinde de mulți factori : de amestec (compoziție) din carbură de siliciu, oxid de zinc sau oxid de titan) cantitatea de lianți, de mărirea cristalelor care formează o rețea complicată de contacte redresoare conectate paralel și serie, de temperatura de sinterizare și atmosfera gazoasă din cuptorul de coacere. Constanta C depinde esențial de dimensiunile varistorului și raportul dintre volum și suprafață. Este interesant de menționat că între β și C există o anumită corelație : la un varistor cu C mic, factorul β este mare.

Valoarea rezistenței varistorului se supune calculului cu legea lui Ohm.

$$R = \frac{U}{I} = \frac{C I^\beta}{I} = \frac{C}{I^{1-\beta}}$$

De aici se vede că la diferite tensiuni, rezistența varistorului este diferită, deci rezistența nu este constantă fiind puternic dependentă de tensiune și curent.

Coefficientul de temperatură al varistorului este negativ și determinat de faptul că constanta C are un coeficient de temperatură negativ apreciabil :

$$C_T = C_0 (1 + \alpha T)$$

unde coeficientul de temperatură α are valoarea :

— $-0,15\%/^{\circ}\text{C}$ când curentul prin varistor este constant

+ $0,6\%/^{\circ}\text{C}$ când tensiunea este constantă la bornele VDR.

Curentul nominal se definește împreună cu tensiunea nominală ; de exemplu la un varistor de tip VG 1129 : $U_n = 270\text{V} \pm 20\%$ la $I_n = 2\text{mA}$.

Puterea nominală P_n este puterea maximă la care poate fi încărcat varistorul fără a se afecta fiabilitatea și stabilitatea parametrilor.

Utilizarea varistoarelor este largă atât în circuite de c.c., c.a și impulsuri la :

- protecția contactelor (motoare, telefonie, comutare de viteză medie).
- protecția circuitelor împotriva supratensiunilor.
- circuite de limitare a tensiunilor continue, alternative, de impuls.
- redresarea impulsurilor de linii.
- stabilizarea tensiunilor.
- circuite de întârziere dependentă de tensiune

● Există și varistoare asimetrice, la care caracteristica curent tensiunea este aproape identică cu a unei diode. Tensiunea de conducție directă (într-un sens) este de cca. $1...1,35\text{V}$ la un curent de 1mA (admis maxim 25mA) iar în sens invers admit cca. 5V pînă la care curentul invers este de $0,1...0,2\text{ }\mu\text{A}$. Aceste varistoare se folosesc în RR pentru stabilizarea tensiunii de bază a tranzistoarelor din RF și FI și sînt conectate ca și diodele de stabilizare de tip MA2, MA3 cunoscute din aparatele noastre.

Gama de tensiuni pentru care se fabrică varistoarele simetrice este cuprinsă între 3V și 1300V la producătorii cu

program complet, iar gama puterilor disipate cuprinsă între $0,1\text{W}$ și 3W . Curentul nominal în limitele : $1...1000\text{mA}$.



În tabelul 12 se dau datele tehnice ale varistoarelor fabricate în R.S.R. marcarea se face în clar, de ex : $82\text{V}/2\text{mA}$.

Tabelul 12

Tip și P_d	I_n mA	U_n oc $V \pm 20\%$	U_n c.a (V ef)	U impM (Uv)	U impM de probă	Dx gros. (mm)
VG 1127 (VG1027) 1W	2	56 68 82 100 120	56 68 82 100 120	180 210 250 300 360	210 240 270 350 400	$\varnothing 16 \times 6,5$
VG 1129 (VD 1029) 1W	2	150 180 220 270	150 180 220 270	450 550 650 800	500 620 720 900	$\varnothing 16 \times 8,5$
VG 1137 (VG1037) (1W)	3	15 18 22 27 33 39 47 56 68 92 100	15 18 22 27 33 39 47 56 68 92 100	60 70 80 90 90 110 120 150 170 200 230	70 80 90 100 110 120 130 160 190 220 250	$\varnothing 12 \times 6,5$

La varistoarele cu carbură de siliciu din tabelul 12, caracteristica $I=f(U)$ este exprimată de relația :

$I = BU^\beta$ în care :

- I — curentul prin varistor
- U — tensiunea aplicată
- β — coeficientul de nelinearitate ($\beta > 1$)
- B — constantă a compoziției și care determină U_n a varistorului. Valoarea β este : minimum 3 pentru $U_n \leq 39V$
minimum 3,6 pentru $U_n > 39V$

Cu cât β este mai mare cu atât caracteristica $I=f(U)$ este mai abruptă ; β depinde de compoziție și tehnologie. Se tinde spre $\beta=10...30$, pentru ca varistorul să se comporte cât mai apropiat de o diodă semiconductoare. Pentru comparație se dau valorile β pentru dispozitive cu caracteristică de diodă:

- $\beta = 3...5$ la VDR cu carbură de siliciu
- $\beta = 8...10$ la diodele cu seleniu în conducție directă
- $\beta = 12...15$ la diodele cu germaniu în conducție directă
- $\beta = 16...18$ la diodele cu siliciu în conducție directă
- $\beta = 25...28$ la VDR cu oxid de zinc de tip SiOV
- $\beta = 30...40$ la diodele Zener.

● Varistoarele folosite la televizoarele cu tuburi sînt prezentate în tabelul 13 (marcate codificat).

Tabelul 13.

U_n (V)	I_n (mA)	Tol. %	B	Culoarea	Utilizare	Cod.
470	10	10	0,2—0,25	verde		A258
560	10	10	0,18—0,23	albastru		A260
680	10	10	0,18—0,23	violet	R510 TV Sport R730 TV H2	A262
910	10	10	0,17—0,22	alb	R719 TV H2	A265
1200	10	10	0,17—0,22	gri		A268
1200	10	10	0,17—0,22	negru + alb	R817 TV H2	A268
1300	10	20	0,16—0,21	roșu	R824 TV H2	A269

O altă serie de varistoare importate sînt marcate în clar : de exemplu 1 300 V.

Cap. 2 CONDENSATOARE

În acest capitol se vor trata condensatoarele utilizate în aparatura radioelectronică, mai ales cele din TV, amplificatoare de AF și RR. Condensatorul este denumirea tehnică a capacității electrice, capacitatea C care se încarcă la o tensiune U și înmagazinează sarcina electrică Q. Între aceste trei mărimi avem următoarele relații de legătură :

$$Q = CU \quad U = \frac{Q}{C} \quad C = \frac{Q}{U} \quad \left[\text{coulomb, volt, farad} \right]$$

Sub aspect energetic, o capacitate C încărcată la tensiunea U înmagazinează o energie electrică E :

$$E = \frac{1}{2} CU^2 \quad \left[F, V, \text{Joule} \right] \quad (1 \text{ Joule} = 1 \text{ Wsec})$$

Capacitatea trebuie înțeleasă întotdeauna plecînd de la condensatorul plan format din două plăci de o anumită suprafață plasate paralel (față în față) la distanța d. Capacitatea acestui condensator este proporțională cu suprafața „de contact” dintre plăci și invers proporțională cu distanța dintre plăci. Dacă dielectricul dintre plăci este aerul constanta dielectrică relativă $\epsilon_r = 1$ și capacitatea este minimă; dacă însă dielectricul este o folie de poliester a cărei constantă dielectrică este 2,5 capacitatea ansamblului va fi de 2,5 ori mai mare. Prin urmare, capacitatea condensatorului este propor-

țională cu constanta dielectrică. Formula binecunoscută care permite calcularea condensatorului :

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot S}{d} \quad \left[F, m^2, m \right]$$

în care :

- ϵ_0 — constanta dielectrică a vidului ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$)
- ϵ_r — constanta dielectrică a dielectricului fizic (real).
- S — suprafața exprimată în m^2 .
- d — grosimea dielectricului exprimat în m .

În dielectricul unui condensator supus la o tensiune U se naște un câmp electric intens : $E = U/d$, care poate atinge zeci de milioane de V/m adică zeci de KV/mm , când tensiunea U este mare iar dielectricul subțire. Câmpul electric provoacă pierderi în dielectric iar la limită străpungerea condensatorului.

În radioteleviziune avem de a face cu condensatoare ceramice de $0,5 pF$, cu condensatoare cu folii de sute de nF și condensatoare electrolitice de $4700 \mu F$ sau mai mult. În funcție de construcție, de tehnologie și de destinație avem următoarele familii de condensatoare fixe :

- condensatoare electrolitice
- condensatoare cu folii
- condensatoare ceramice.

Aceste familii fac obiectul acestui capitol. S-a încercat o tratare largă a condițiilor și domeniilor de utilizare a condensatoarelor, a solicitărilor în curent continuu, alternativ și în impulsuri, cauzele defectării. Nu s-au mai prezentat condensatoarele variabile, condensatoarele electrolitice profesionale cu tantal prtcum și condensatoarele cu dielectric cu strat de barieră care au o răspîndire mică în aparatura de larg consum.

2. 1. CONDENSATOARE ELECTROLITICE

Circuitele electronice ale RR și TV utilizează un număr mare de condensatoare electrolitice, în :

- filtraj la redresoare de rețea ($50-100Hz$) ;
- filtraj la redresoare de impulsuri de linii cu $f = 15-16kHz$;
- decuplări în circuitele de audiofrecvență ;
- cuplaj din etajele finale de AF spre difuzoare ;
- filtre de tip LC în incinte cu grupuri de difuzoare ;
- circuite de corecție a impulsurilor
- cuplaj din etajele finale de BV spre bobina de deflexie ;
- rezervoare de energie în etaje cu consum variabil.

1. **Construcția condensatoarelor electrolitice** se bazează pe așa numitele metale ventil, adică pe metale ale căror oxizi conduc într-un sens iar în celălalt sens prezintă rezistență mare (strat de blocare). Aluminiul și tantalul sînt metale din această categorie, împreună cu niobiul și...cuprul.

Condensatorul electrolitic ocupă un loc special printre condensatoare deoarece principiul său de funcționare se bazează parțial pe procese electrochimice. Pentru a înțelege proprietățile elco este necesară cunoașterea construcției și structurii materialelor care îl compun.

Ca orice condensator, are două armături conductoare și un dielectric.

Anodul — prima armătură — este o folie de aluminiu de înaltă puritate oxidată pe ambele părți simultan printr-un proces de electroliză. Stratul de oxid de aluminiu ce se formează prin oxidare anodică electrochimică constituie dielectricul. Oxidul de aluminiu este un izolator aproape perfect.

Grosimea dielectricului este de cca. $0,0012 \mu m$ (cca. o milime de micron) pentru fiecare volt de tensiune nominală a condensatorului. Astfel, chiar la condensatoare electrolitice de $500-700V$, stratul de oxid — dielectric nu depășește grosimea de 1 micron. Grosimea extrem de mică a dielectricului explică parțial marea capacitate volumică a condensatorului electrolitic. La asta se adaugă și constanta dielectrică relativ

mare (în jur de 10) a oxidului de aluminiu, care mărește și mai mult capacitatea. Următorul element care explică marea capacitate a elco este aceea că suprafața foliei anodice nu este netedă (ca acum 25—30 ani) ci asperizată prin corodare electrochimică. Prin asperizare se mărește suprafața activă a anodului de câteva ori. Contactul terminal al anodului este o bandă sudată la folia anodului.

Catodul este o soluție chimică, un electrolit lichid care se „așterne” perfect pe toată suprafața poroasă a foliei anodice, astfel că între anod și electrolit dielectricul are aceeași grosime. Electrolitul este deci un catod ideal situat la o distanță de zecimi de micron față de anod. Electrolitul catodic este „purat” de 2—5 foițe de hirtie fără impurități. Practic, catodul este format dintr-o hirtie impregnată cu electrolit. Pentru a face contactul electric cu catodul este necesară încă o folie subțire de aluminiu de aceeași suprafață aparentă ca și folia anodică, respectiv hirtia impregnată, pusă între cele 2 folii. Acest „sandvici” este apoi răsucit sub forma unei păpuși cilindrice. Contactul terminal al catodului este o benă de aluminiu de câțiva mm sudată la folia de contact a catodului. Folia asperizată a anodului are o grosime de 60—100 micrometri, folia armăturii catodice poate fi mult mai subțire, de cca. 10 micrometri. Folia armăturii catodice se oxidează în mod natural căpătând un strat subțire de oxid datorită marelui afinități a aluminiului față de oxigenul din aer. Hirtia impregnată este groasă de cca. 50—200 micrometri iar electrolitul este acid boric în amestec cu hidroxid de amoniu și glicoletilenă. Impregnarea se face după bobinarea păpușii.

2. **Formarea.** După impregnare și etanșare (cu cauciuc sau plastic) condensatorul electrolitic se supune procesului de formare supunându-l la o tensiune U_F ceva mai mare (cu 25—30%) decât tensiunea nominală. În cursul formării, porii asperizării mai „cresc” cu atât mai mult cu cât tensiunea de formare este mai mare și se îmbunătățesc proprietățile electrice ale oxidului dielectric (scade $\tan \delta$).

3. **Dioda MO.** Stratul de oxid anodic are proprietăți semiconductoare ilustrate în fig. 1.

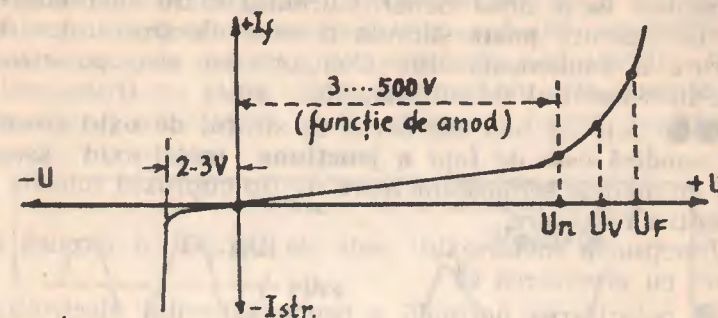


Fig. 1

Astfel, dacă se aplică tensiunea pozitivă pe anod — plusul elco (polarizare normală):

prin elco va curge un curent continuu mic — curentul de fugă — liniar crescător cam pînă la atingerea tensiunii nominale U_n a elco respectiv. Dacă se depășește U_n curentul prin elco începe să crească supraproportional iar apoi parabolic dacă se depășește tensiunea în vîrf maximă admisă U_v . Tensiunea U_v este mai mare cu 10—50% decât U_n :

- la elco pentru $U_n > 100V$; $U_v = 1,1U_n$
- la elco pentru $U_n = 20 \dots 100V$ $U_v = 1,2U_n$
- la elco pentru $U_n = 3 \dots 16V$ $U_v = 1,5 \dots 1,3U_n$

Tensiunea de formare U_F este cu 5—10% mai mare decât U_v și este nepermisă în exploatare. Dacă se depășește tensiunea de formare U_F , în elco începe un proces nou de formare însoțit de degajarea gazelor și încălzire puternică, curentul prin condensator este mare și crește aproape hiperbolic la orice creștere a tensiunii continue aplicate. Fenomenul este asemănător cu străpungerea unei diode semiconductoare polarizate invers cu mai mult decât U_{RRM} (tensiunea inversă maximă admisă).

Dacă însă pe anod se aplică o tensiune negativă crescătoare (polarizare inversă a elco), condensatorul nu conduce curent pînă la 2...3V după care începe să conducă brusc, comportîndu-se ca o diodă Zener. Curentul mare va produce căldură iar căldura poate stimula procese electrochimice de deteriorare a condensatorului. Comportarea elco polarizat depinde însă esențial de calitatea lui.

●● Cele de mai sus arată că stratul de oxid crescut pe folia anodică este de fapt o joncțiune metal-oxid asemănătoare cu diodele semiconductoare de tip cuproxid folosite cîndva pentru redresare.

Joncțiunea metal-oxid este de tip NP și explică fig. 1 perfect cu precizarea că :

● polarizarea normală a condensatorului electrolitic (cu plusul pe anod) corespunde polarizării inverse a joncțiunii metal-oxid (j MO) cînd joncțiunea este teoretic blocată iar practic curge un curent invers mic numit **curent de fugă**;

● polarizarea greșită a elco (cu minusul pe anod) corespunde polarizării directe a jMO, joncțiune ce are o tensiune de deschidere de 2...3V (dependentă de gradul de oxidare naturală a foliei de contact a catodului). La peste 2—3V curentul prin condensator crește brusc — dezvoltîndu-se multă căldură. Dacă supratemperatura nu crește peste o anumită limită, deci dacă evacuarea căldurii este asigurată, procesele electrochimice de deteriorare a elco nu se amorsează iar condensatorul își conservă proprietățile.

În concluzie, condensatorul electrolitic normal este un condensator polarizat. Funcționarea este normală atunci cînd pe anod (polul pozitiv) se aplică tensiune continuă pozitivă iar minusul tensiunii continue se aplică pe catod (polul negativ).

4. Comportarea condensatorului electrolitic polarizat la c.c. și c.a.

A. Din cele mai sus, trebuie înțeles că regimul optim pentru un elco este polarizarea corectă și funcționarea la o tensiune continuă ceva mai mică decît tensiunea nominală U_n . În acest regim curentul de fugă este mic, încălzirea practic nulă iar durata de viață de ordinul a 50000—100000 ore sau mai mult, dacă elco este plasat într-un mediu ambiant cu $t = +20...40^\circ\text{C}$.

B. Este perfect normal și regimul în care tensiunea continuă aplicată corect la borne este însoțită de o tensiune alternativă (sinusoidală sau de altă formă ondulatorie) ca de pildă tensiunea de pulsație după redresare mono sau bialternantă în formă de dinte de fierăstrău cu $f=50$ sau 100Hz , etc. Dacă alternanțele negative ale tensiunii ondulatorii (sinus, ddf, impulsuri) nu ating „linia de zero” cu alte cuvinte dacă condensatorul nu ajunge să fie polarizat invers, regimul lui

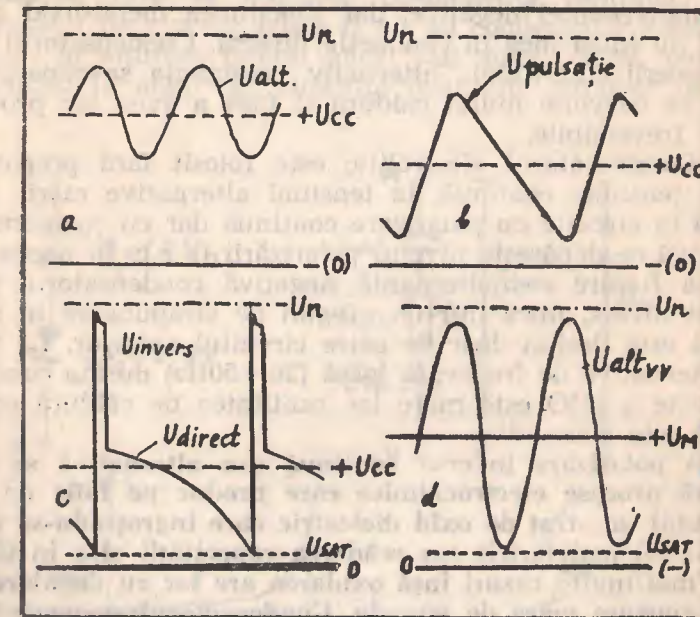


Fig. 2

de lucru este ca și cel de c.c. Este cazul cuplajului și decuplării în etajele de AF de nivel mic (fig. 2a), a filtrajului după redresare (fig. 2b), cuplajul înspre bobina de deflexie verticală (fig. 2c), cuplaj de la etatje finale de AF spre difuzor (fig. 2d) în care tensiunea continuă este tensiunea mediană U_M a etajului final.

În situațiile A și B avem de a face cu o „polarizare” continuă care variază din cauza componentei alternative.

● Tensiunea alternativă sau ondulatorie care poate însoți tensiunea continuă nu aduce condensatorul în situația de a fi polarizat invers dacă tensiunea continuă are o valoare mai mare decât jumătatea valorii de amplitudine a componentei ondulatorii. Aici rezultă clar rolul prepolarizării în c.c.

C. Condensatoarele electrolitice pot fi folosite fără prepolarizare în c.c. dacă amplitudinea tensiunii alternative nu depășește 4—5V_{vv} adică cca. 1,5V eficace. În această situație, condensatorul ajunge să fie polarizat invers cu cca. 2V în timpul semialternanței negative, dar joncțiunea metal-oxid a anodului nu intră încă în conducție directă. Condensatorul opune trecerii curentului alternativ reactanța sa capacitivă, fără să se dezvolte multă căldură și fără a avea loc procese chimice ireversibile.

D. Condensatorul electrolitic este folosit fără prepolarizare cu tensiune continuă, la tensiuni alternative mari sau lucrează în circuite cu polarizare continuă dar cu componentă alternativă ce depășește nivelul polarizării în c.c. În aceste situații, la fiecare semialternanță negativă condensatorul este polarizat invers, intră într-un regim de străpungere în care curentul este limitat doar de către circuitul exterior. La tensiuni alternative de frecvență joasă (20—50Hz) durata conducerii directe a jMO este mare iar cantitatea de căldură ce se dezvoltă este mare.

Prin polarizare inversă continuă sau alternativă se declanșează procese electrochimice care produc pe folia de Al. a catodului un strat de oxid dielectric care îngroșându-se provoacă în cel mai fericit caz scăderea capacității elco în timp. În cele mai multe cazuri însă oxidarea are loc cu degajare de gaze și consum mare de energie. Condensatorul se poate distruge în scurt timp prin scurtcircuitare directă sau explozie.

Dealtfel condensatoarele electrolitice polarizate se prezintă ca două diode Zener conectate în antifază (fig. 3a) și sub aspect pur alternativ ca două capacități C_A (a anodului) și C_K (a foliei catodului), conectate în serie cu rezistența ohmică a electrolitului (R_{EL}). O tensiune alternativă aplicată condensatorului se divide invers proporțional cu capacitățile C_A și C_K , mult inegale între ele:

$$\frac{U_A}{U_K} = \frac{C_K}{C_A} \text{ și } U_A + U_K = U \sim$$

În afara curentului alternativ proporțional cu $U \sim$ apare (ia naștere) în mod nedorit (și periculos) prin elco și un curent continuu invers datorat efectului de redresare al joncțiunii MO. Curentul continuu invers face o polarizare inversă a catodului și provoacă procesul electrochimic de oxidare a catodului urmată de degradarea condensatorului.

Remedii la aceasta:

I. Conectarea în serie cu condensatorul electrolitic a unui condensator care să blocheze componenta continuă. Acest condensator de blocare poate fi tot un condensator electrolitic conectat în antifază (ambii anodi sau ambii catodi conectați împreună). În acest fel, curentul continuu „produs” de ano-

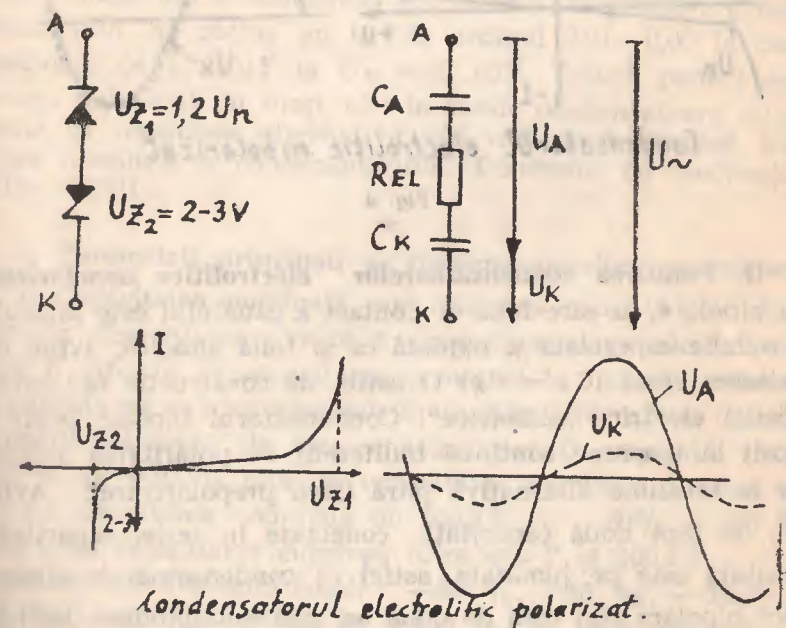
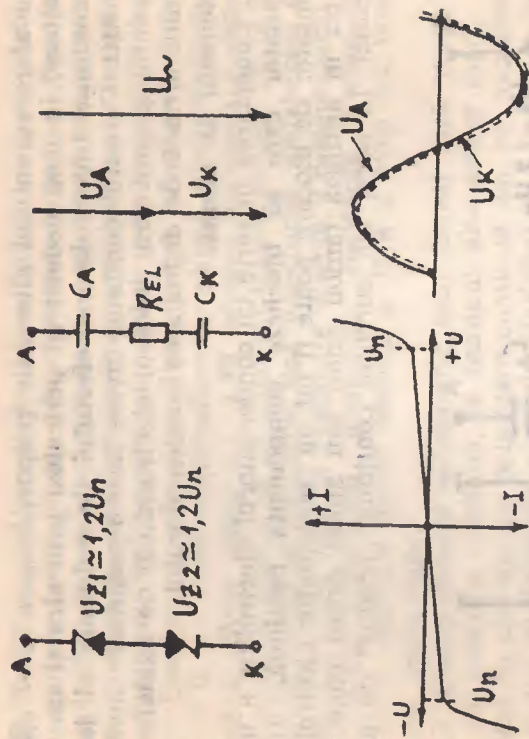


Fig. 3

dul unui condensator se anulează reciproc cu curentul continuu produs de anodul celuilalt condensator, evitându-se „formarea” falsă a catodului.



Condensatorul electrolitic nepolarizat

Fig. 4

II. Folosirea condensatoarelor electrolitice nepolarizate, sau bipolare, în care folia de contact a catodului este înlocuită cu o folie asperizată și oxidată ca și folia anodică, avînd capacitatea egală ($C_A = C_K$). O astfel de construcție are caracteristici electrice „simetrice”. Condensatorul bipolar poate fi folosit la tensiune continuă indiferent de polaritatea aplicată sau la tensiune alternativă pură (fără prepolarizare). Avînd însă de fapt două capacități conectate în serie, capacitatea rezultată este pe jumătate, astfel că condensatoarele electrolitice bipolare sînt cam de două ori mai voluminoase decît un electrolitic obișnuit (polar) de aceeași capacitate și de tensiune nominală de 3 ori mai mare. Exemplu este condensatorul electrolitic bipolar de $5,3 \mu F$ și $250V$ c.a. (cca. $700V$ c.c.) folosit în circuitul de filamente la TV din seria H2.

10—15 %, iar la creșterea temperaturii spre +50—60°C, capacitatea crește cu 5—10 %.

Domeniu de toleranță mare înseamnă că folia este puternic asperizată și ca urmare capacitatea specifică $\mu\text{F}/\text{cm}^2$ de folie sau $\mu\text{F}/\text{cm}^3$ de volum, este mare.

2. **Tensiunea nominală** U_n este tensiunea continuă pentru care condensatorul este fabricat. Condensatorul poate fi folosit la o tensiune cel mult egală cu U_n timp nelimitat. Nu este admisă depășirea tensiunii nominale U_n indiferent de modificarea condițiilor de exploatare ca de ex.: supratensiuni de rețea, scăderea consumului general, cîmpul de toleranță al pieselor pasive din circuit, rapoarte de transformare greșite sau modificate, creșterea temperaturii ambiante peste 40°C sau alte cauze.

Dacă elco este folosit la temperaturi ambiante (locale) de peste 40°C este necesară reducerea tensiunii continue maxime ce poate apărea în circuit.

3. **Tensiunea de vîrf** U_v . Este mai mare decît U_n , în general cu 10 % și doar la elco de tensiune mică (3—15V) cu 15—25 % mai mare decît U_n . Tensiunea de vîrf este tensiunea cea mai mare admisă pentru scurt timp (1 minut) de cel mult 5 ori pe oră.

4. **Temperatura maximă** este temperatura punctului cel mai cald al suprafeței exterioare a condensatorului. Tot așa se indică și **temperatura minimă** la care electroliticul mai poate funcționa. Temperatura minimă se referă nu la mediul ambiant ci la punctul cel mai rece al suprafeței exterioare.

5. **Gama de temperaturi** indicată în cataloage în grade celsius, se referă la temperatura ambiantă în care poate funcționa condensatorul. Condensatoarele electrolitice pentru radioelectronica de larg consum au domeniul admis de temperaturi cuprinse între -20°C și +70°C (recomandabile din motive de fiabilitate pînă la +55°C). Elco profesionale pot lucra la temperaturi cuprinse între -40°C și +85°C, foarte rar între -55°C și +100°C la cele cu utilizare specială.

La temperatura maximă admisă condensatorul poate fi folosit numai la tensiune continuă „pură”. În cazul că tensiunea continuă „poartă” și o componentă alternativă sinusoidală sau ondulatorie periodică, componentă care produce încălzirea condensatorului, este necesară reducerea tensiunii

Temperatura ambiantă	Tensiunea maximă admisă	Temperatura maximă a elco
+40°C	U_n	+50°C
+50°C	$0,9 U_n$	+58°C
+60°C	$0,75 U_n$	+67°C
+70°C	$0,6 U_n$	+75°C

maxime care solicită condensatorul cu atît mai mult cu cît temperatura ambiantă este mai ridicată. Reducerea tensiunii maxime se face după tabelul de mai sus valabil pentru condensatoarele electrolitice cu capsulă metalică.

6. **Tangenta unghiului de pierderi** ($\text{tg } \delta$) este raportul dintre pierderile de putere activă și puterea reactivă a condensatorului, pentru o tensiune sinusoidală de o anumită frecvență (50 sau 100Hz), măsurată la temperatura standard de +20°C. Este de fapt raportul dintre rezistența echivalentă serie și reactanța capacitivă a condensatorului și reflectă direct calitatea condensatorului. Valoarea $\text{tg } \delta$ poate fi cuprinsă între 1 % și 40 % adică, 0,01...0,4. Cele mai bune elco au $\text{tg } \delta$ de ordinul a 0,01...0,05 iar cele destinate bunurilor de consum au valori cuprinse între 0,15 și 0,4 ceea ce asigură funcționarea perfectă în majoritatea circuitelor din RR și TV.

Tangenta δ este mare la elco de tensiune mică și mică la elco de 300—400V, așa cum se vede din tabelul de mai jos, unde sînt date valorile maxime măsurate la $f=50\text{Hz}$ și la $f=100\text{Hz}$, pentru condensatoarele electrolitice obișnuite. Pu-

Tens. nominală a elco	3 V	6 V	10 V	25 V	40 V	63 V	350 V	U_n
Tangenta unghiului δ	0,30	0,25	0,20	0,16	0,14	0,12	0,10	la 50 Hz
Tangenta unghiului δ	0,45	0,37	0,30	0,24	0,20	0,18	0,15	la 100 Hz

terea activă din elco produce căldură, temperatura internă crește dar prin creșterea temperaturii $\text{tg } \delta$ scade ceea ce are ca efect „înhibarea” procesului aparent de ambalare al condensatorului electrolitic.

Pentru a ilustra variația $\text{tg } \delta$ deci a puterii active pe care o dezvoltă elco în funcționare în funcție de temperatură și frecvență se prezintă în fig. 5. curbele tipice din care se vede atât evoluția calitativă cât și cea cantitativă a $\text{tg } \delta$. Din fig. 5 se vede de pildă că un elco de calitate obișnuită care are la $f=100\text{Hz}$ și $t=+20^\circ\text{C}$ $\text{tg } \delta=0,18$ va avea la 1kHz $\text{tg } \delta$ de cca. 0,43 iar la frecvența de 10kHz va avea $\text{tg } \delta$ de cca. 0,85.

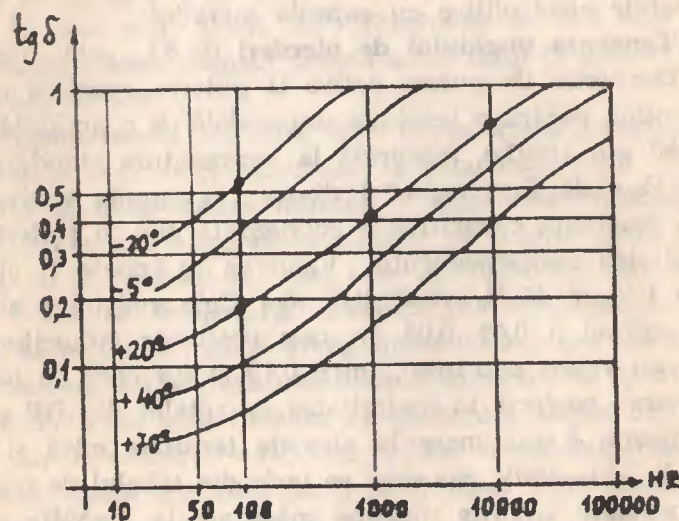


Fig. 5

Prin urmare $\text{tg } \delta$ crește puternic cu frecvența, ceea ce are ca efect mărirea pierderilor și încălzirea întregului condensator. La $t=-20^\circ\text{C}$ și $f=100\text{Hz}$ același condensator va avea deja $\text{tg } \delta=0,52!!$

7. Curentul de fugă I_f . Ca urmare a proprietăților speciale ale dielectricului oxidic, prin condensator curge un curent rezidual mic (de ordinul microamperilor) asemănător cu I_{CBO} la tranzistoare sau curentul invers la diode. Curentul de fugă este oglinda calității dielectricului și în principiu a calității condensatorului.

Curentul de fugă este mare la conectarea condensatorului și scade aproape exponențial atingând după 20—30 minute un nivel constant așa cum se vede din fig. 6a. În funcție de temperatură curentul de fugă crește rapid (fig. 6b).

Valoarea absolută a curentului de fugă depinde de capacitatea C_n și de tensiunea nominală U_n a condensatorului electrolitic, putînd fi preliminarat cu ajutorul unei formule dată în catalog pentru fiecare tip constructiv de condensator:

$$I_f \leq K \cdot C_n \cdot U_n (\mu A).$$

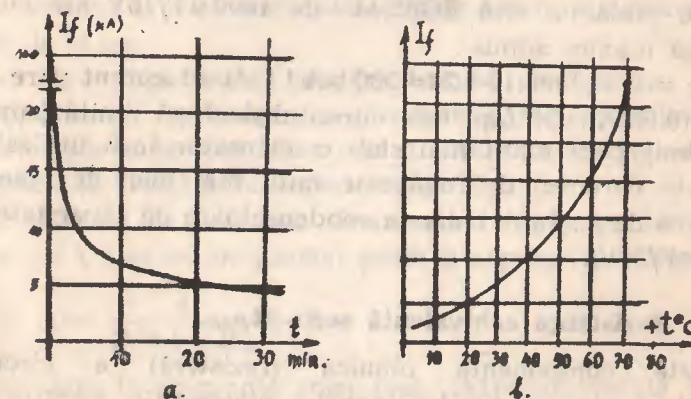


Fig. 6

De exemplu pentru condensatoarele electrolitice din seria EG51.00 curentul de fugă este dat de relația :

$I_f \leq 0,08 C_n U_n$ sau $5 \mu A$ (cea mai mare din cele 2 valori).

Pentru alte tipuri constructive de condensatoare curentul de fugă este dat în tabelul de mai jos. La măsurarea I_f se va ține seama de încărcarea elco: (la conectare, condensatorul se încarcă cu un curent foarte mare, de zeci sau sute de mA) și doar la 30 secunde se poate citi curentul de fugă. Acest cu-

Familia de elco	Curentul de fugă I_f
EG52.00	$0,03 C_n U_n + 20 \mu A$ μA
EG61.00	$0,02 C_n U_n + 20 \mu A$ μA
EG62.00	$0,03 C_n U_n + 10 \mu A$ μA
EG73.00	$0,03 C_n U_n + 20 \mu A$ μA
EG24.00	$0,05 C_n U_n + 20 \mu A$ μA

rent va scădea apoi în decurs de 30 minute stabilizându-se la nivelul real care este cam de 10 ori mai mic decât curentul de fugă citit la 30 sec.

De pildă un elco EG62.44 de $1000 \mu F/16V$ are curentul de fugă maxim admis:

$I_f = 0,03 \cdot 1000 \cdot 16 + 20 = 500 \mu A$!! Acest curent pare foarte mare (0,5mA). De fapt este curentul de fugă limită (superioară) admis pentru cel mai slab condensator încă utilizabil. În realitate curentul de fugă este mult mai mic; de obicei are valoarea de $1...5 \mu A$ chiar la condensatoare de capacitate mare ($4700 \mu F/25V$).

8. Rezistența echivalentă serie R_{ESR} .

Este componenta ohmică (rezistivă) a circuitului echivalent serie a condensatorului electrolitic. Legătura dintre $\tan \delta$ și R_{ESR} este dată de relația:

$$R_{ESR} = \frac{\tan \delta}{2 \pi f C_r} \text{ unde } C_r = \text{capacitatea serie}$$

Schema electrică simplificată care reflectă cel mai bine proprietățile electrice ale condensatorului este arătată în fig.

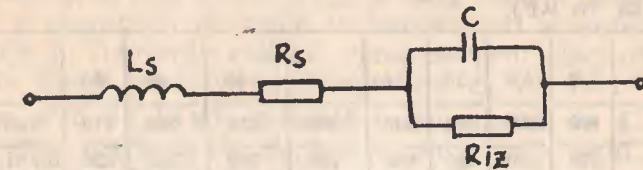


Fig. 8

8. Aici, elementele R, C, L din schema echivalentă au o semnificație fizică reală, astfel:

a) L_s — inductanța serie, este inductanța proprie a condensatorului determinată de inductanța terminalelor (cca. $1nH/cm$ de conexiune) și datorită construcției bobinate. Astfel, în condensator se naște un câmp magnetic intern în dielectricul condensatorului unde liniile câmpului electric sînt înconjugate de liniile câmpului magnetic.

b) R_s — rezistența serie, datorată rezistenței terminalelor, a foliilor și a electrolitului și este foarte apropiată ca valoare de R_{ESR} .

c) C — capacitatea condensatorului electrolitic.

d) R_{iz} — rezistența de izolație a dielectricului (care electric este conectată între cele 2 armături ale capacității C, determinînd descărcarea condensatorului).

Știînd că $R_{iz} \gg R_s$, la frecvența $f \ll f_{\text{rezonanță}}$ (determinată de L_s și C), factorul de pierderi poate fi exprimat prin formula:

$$\tan \delta = \frac{1}{2 \pi f C R_{iz}} + 2 \pi f C R_s \text{ unde } R_s \simeq R_{ESR}.$$

Ca urmare, la frecvențe mici (sub $1kHz$) pierderile sînt determinate de primul factor iar la frecvențe mai mari (peste $1kHz$) de către al doilea factor. Deci la frecvențe mai mari:

$$\tan \delta \simeq 2 \pi f C R_{ESR}$$

Valorile uzuale ale rezistenței echivalente serie sînt date în tabelul de mai jos, ca produs $C_n R_{ESR}$; pentru a afla pe R_{ESR} se împarte cifra din tabel la mărimea condensatorului (exprimată în μF).

Tensiunea U_n	3	6,3	10	16	25	40	63	350	V
$f = 50\text{Hz}$	960	800	640	540	480	410	350	410	ohmi $\cdot \mu F$
$f = 100\text{Hz}$	720	590	480	400	350	320	260	320	ohmi $\cdot \mu F$

De exemplu pentru un $C = 100\mu F / 16\text{ V}$ $R_{ESR} = 540/100 \approx 5\Omega$.

9. Impedanța condensatoarelor electrolitice.

Se compune din conectarea în serie a reactanței capacitive $1/\omega C$, a rezistenței ohmice R_S (a electrolitului, terminalele și foliilor), a reactanței inductive ωL a inductanței păușii și a terminalelor ca în formula de mai jos:

$$Z_c \approx R_{ESR} + j\omega L_S + \frac{1}{j\omega C}$$

În figura 9 se arată variația impedanței unui elco de $10\mu F / 40\text{ V}$ cu frecvența și cu temperatura (temperatura joasă crește puternic pe R_{ESR}).

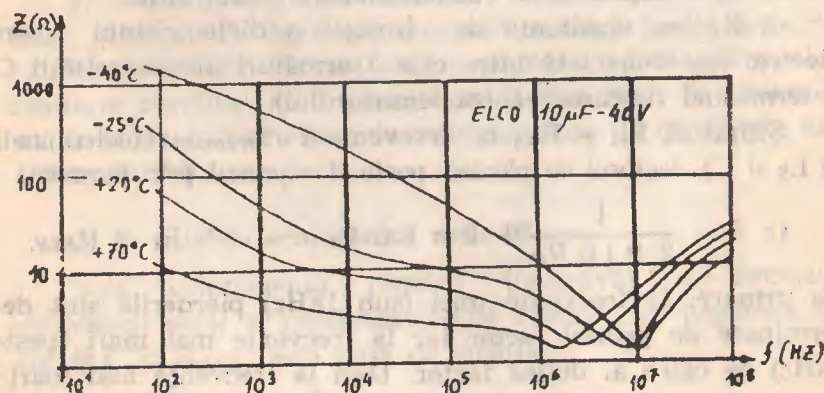


Fig. 9

După cum se poate ușor citi din familia de curbe din fig. 9, impedanța unui condensator electrolitic poate avea valori mari, mergînd pînă la cîteva sute de ohmi, mai ales la frecvențe joase și la rece ($0...-25^\circ\text{C}$). Aceasta explică proasta funcționare a aparatului de radio la temperaturi scăzute. Pe de altă parte la frecvențe ridicate condensatorul electrolitic prezintă un efect inductiv important: de ex. la $f = 10^5\text{Hz}$ (100 kHz) un elco de $10\mu F$ prezintă o impedanță de $4...25\text{ohmi}$, ceea ce este foarte mult. Pentru a compensa efectul inductiv al condensatoarelor electrolitice se practică „decuplarea suplimentară cu condensatoare complet neinductive conectîndu-se în paralel cu elco un condensator ceramic plachetă de $5-50\text{nF}$. Mai ales la condensatoarele electrolitice de valoare mică ($0,5-5\mu F$), impedanța (datorată inductanței) este importantă ajungînd 1 kohm cînd $f = 100\text{Hz}$ și $t = 0...+50^\circ\text{C}$. Apare un minim de impedanță elco pe la $5-10\text{MHz}$, după care componenta inductivă devine preponderentă și foarte dăunătoare în circuite.

10. Comportarea la comutație.

Descărcarea bruscă a condensatoarelor electrolitice este însoțită de curenți mari de comutație. Procesele electromagnetice din folia anodică și dielectric conduc la **reducerea treptată a capacității condensatorului**, reducere ce merge uneori pînă la $30-50\%$.

Prin construcție și tehnologie, un elco normal suportă 10^5 descărcări cu o scădere de cel mult 20% a capacității. La electroliticii profesionali scăderea capacității este de $5-10\%$ după 10^6 descărcări (de ex. la elco utilizate în fotoflash-uri).

11. Depozitarea condensatoarelor electrolitice.

Stocarea elco se face întotdeauna fără tensiune aplicată la borne. Dacă timpul de nefolosire este îndelungat (de ex. ani de zile), mai ales la temperaturi mai mari de stocare, stratul dielectric de oxid este atacat treptat de către electrolit. Deoarece fără tensiune nu avem curent de fugă care să ducă ioni de oxigen spre anod, nu poate avea loc un proces de regenerare a stratului de oxid. Aceasta are ca efect **necesitatea de a forma din nou condensatorul** deoarece la aplicarea tensiunii continue pe condensator curentul de fugă este mare,

depășind eventual norma admisă. Prin aplicarea tensiunii nominale se instalează procesul de formare (de refacere) a oxidului dielectric. Condensatorul redevine utilizabil practic după una oră de formare (menținere la tensiunea U_n).

Dacă durata stocării nu depășește 12 luni, fiabilitatea condensatorului în general nu este afectată chiar dacă reformarea nu se face. Gradul de deteriorare a oxidului se apreciază după curentul de fugă al elco, care dacă este de 50—100 ori mai mare decât cel real uzual condensatorul trebuie din nou format (1 oră) la tensiunea nominală. Dacă elco este pus în aparat neformat el se va forma la tensiunea continuă la care este alimentat. Eventualele tensiuni alternative suprapuse peste tensiunea continuă (pulsatie, audiofrecvență sau impulsuri) vor provoca încălzirea condensatorului și eventual deteriorarea acestuia prin străpungere.

12. Fiabilitatea și criteriile de cădere (defectare) a condensatoarelor electrolitice.

Temperatura ambiantă mare, temperatura mare a corpului elco, depășirea tensiunii nominale, depășirea curentului alternativ, ondulatoriu sau pulsatoriu admis, funcționarea în medii foarte umede, pierderea etanșeității, uscarea electrolitului și alte cauze pot provoca defectarea condensatorului electrolitic.

Defecte ascunse de fabricație datorate purității insuficiente a materialelor folosite sau nerespectării tehnologiilor exact prescrise pot provoca după un timp mai îndelungat sau chiar mai scurt defectarea catastrofică (întrerupere, scurtcircuitare sau scăderea gravă a rezistenței de izolație a condensatorului însoțită de creșterea curentului de fugă) sau defectarea necatastrofică prin ieșirea condensatorului din limitele toleranței a capacității, creșterea $\text{tg } \delta$, I_f).

● În principiu, durata de viață a elco este cu atât mai mare cu cât temperatura ambiantă la care lucrează condensatorul este mai mică. La temperaturi ambiante de peste 40°C, durata de viață scade la jumătate pentru fiecare creștere de 7°C a temperaturii ambiante, ceea ce înseamnă că la 70°C un elco va avea durata de viață de 15—20 ori mai scurtă sau, în linii mari fiabilitatea scade de 15—20 ori.

● Privind tensiunea de lucru : cu cât elco lucrează la o tensiune de serviciu mai mică față de tensiunea nominală, este de așteptat o durată de viață mai mare. Folosirea elco la o tensiune mai mică decât 0,1 U_n poate însă deteriora dielectricul și deci condensatorul.

Practica arată că la condensatoarele electrolitice de calitate standard folosite în radio electronica de larg consum, probabilitatea defectării este de ordinul a 3—10 % în cursul duratei de viață normale de 10000 ore, după care probabilitatea defectării crește după o curbă supraproportională ajungând la 10—20 % la 15—20000 ore de funcționare.

Fiabilitatea este exprimată prin rata de căderi λ pe unitatea de timp și este indicată uneori în cataloage :

$$\lambda = 1.10^{-5}/h \dots 1.10^{-6}/h \quad (h=\text{oră})$$

Această cifră rezultă din încercări făcute pe un număr mare de piese timp de 1000 ore și înregistrându-se numărul pieselor „căzute” și momentul căderii. Astfel de pildă, dacă la un lot $N=10000$ piese, supuse la încercare timp de $t=1000$ ore se defectează $n=100$ piese avem :

$$\lambda = \frac{n}{N \cdot t} = \frac{10^2}{10^4 \cdot 10^3} = 1.10^{-5}/h$$

● La condensatoarele electrolitice destinate aparaturii profesionale (industrie, radiocomunicații) procentajul uzual de căderi se situează la 3—10 % pentru 100000 ore de funcționare, respectiv 0,3—1 % la 10000 ore ceea ce corespunde unui coeficient $\lambda = 1.10^{-6} \dots 0,3.10^{-6}/h$.

Criteriile de defectare necatastrofică se referă în principal la :

- 1) scăderea capacității cu 30—50 % față de toleranța minimă admisă, sau creșterea capacității cu 50 % peste toleranța maximă ;
- 2) creșterea valorii impedanței de 3 ori față de valoarea tipică ;
- 3) creșterea $\text{tg } \delta$ la dublu față de valoarea inițială ;
- 4) creșterea curentului de fugă peste valoarea prescrisă

pentru condensatorul respectiv, măsurată la tensiunea nominală U_n .

Depășirea unuia sau chiar a mai multor din parametrii de mai sus nu provoacă neapărat defectarea aparatului în care condensatorul este folosit; efectul depinde de schema electrică a circuitului.

★

Condensatoarele electrolitice pot fi atacate și rapid deteriorate de unele substanțe chimice folosite la spălare, predecapare sau în băile de cositorire, cum sînt:

- triclorfluoretan (Freon, Kaltron, Frigenē)
- tricloritilenă
- triclorețan (chlorothene, Wacker 3x1, etc.)
- tetra cloretilenă (Per)
- clorură de metilen
- cloroform

Pentru curățarea și spălarea circuitelor imprimate care, „poartă” componente electronice se recomandă folosirea următoarelor substanțe chimice:

- metanol
- etanol (spirt)
- propanol izopropanol, izobutanol și eter.

Substanțele nocive enumerate pătrund ușor în interiorul elco, strică etanșarea, provoacă alterarea electrolitului și inițiază procese chimice destructive cu urmări ireversibile.

2.2. UTILIZAREA CONDENSATOARELOR ELECTROLITICE ÎN AF.

(Adică acolo unde elco este supus la tensiune alternativă și ca urmare este străbătut de curenți alternativi mari). Curențul alternativ încălzește condensatorul cu atît mai mult cu cît pierderile dielectrice ale elco sînt mai mari. Se poate spune că încălzirea condensatorului străbătut de curenți alternativi de audiofrecvență (30...20000 Hz) este proporțională cu amplitudinea vîrf-vîrf a curențului și $\text{tg } \delta$. Proporționalitatea este

liniară cu rezistența echivalentă serie și patratică cu curențul alternativ eficace prin condensator:

$$\Delta t^0 = K_1 \cdot R_{ESR} \cdot K_2 I_{ef}^2$$

În principiu, condensatoarele electrolitice polarizate folosite pentru cuplaj cu difuzorul sau în filtrele LC din grupurile de difuzoare (boxe sau incinte de AF) trebuie să aibă pierderi cît mai mici, deci $\text{tg } \delta$ minimal.

Unele firme, de ex. Siemens fabrică pentru acest domeniu de utilizare condensatoare cu specificația „Utilizabil la curenți alternativi fără prepolarizare în curent continuu” conform standardelor DIN 41237 și 41328.

Condensatoarele electrolitice cu $\text{tg } \delta$ mare adică peste 0,3 încărcate la lîniță se încălzesc, se produce gaz în interior, gazele favorizează procese electrochimice ireversibile în condensator, scade capacitatea, crește rezistența serie și deci $\text{tg } \delta$ are loc un proces de ambalare termică care distruge condensatorul și imediat etajul final. Tehnologic și constructiv, condensatoarele electrolitice pentru încărcare în alternativ se obțin cu folii mai puțin asperizate, cu capacitatea specifică mică deci cu suprafața mare a foliei (mai scumpe) și ca urmare cu rezistență serie mică, la care $\text{tg } \delta$ se obțin de ordinul a 0,1—0,2 (și chiar sub 0,1).

La orice elco obișnuit ($\text{tg } \delta = 0,15—0,3$) folosit în AF, la curenți alternativi este necesar ca nivelul tensiunii alternative vîrf-vîrf să fie de 1,5—2 ori mai mic față de tensiunea nominală a condensatorului. Cu alte cuvinte, se alege întotdeauna un elco de tensiune mai mare decît tensiunea alternativă vîrf vîrf aplicată difuzorului, dacă economic este posibil, de 1,5—2 ori mai mare. Curențul alternativ prin elco nu va depăși în nici un caz valoarea specificată de fabricant.

Exemple: a) La un etaj final complementar cuplat prin elco la difuzor, cu $U_{ALIM} = 13V$, $R_{dif} = 8$ ohmi, tensiunea alternativă_{vv} la putere maximă se apropie de 12V, deci $U_{alt\ vv} = 12V$ iar valoarea eficace este de $12/\sqrt{2}$, adică 4,28V_{ef}. Această tensiune forțează prin condensator un curent eficace

de $4,28V/8 \text{ ohmi} = 0,53A$ la puterea maximă de ieșire, respectiv un curent de cca. $1,5A_{vv}$, care se determină simplu: $I_{vv} = U_{vv}/R_{dif}$.

Puterea de ieșire maximă va fi:

$$P_{ies} = UI = U_{ef} \cdot \frac{U_{ef}}{R_{dif}} = \frac{U_{ef}^2}{R_{dif}}$$

Electroliticul de cuplaj trebuie să suporte un curent alternativ eficace de $530mA$, specificat în catalog ca „curent ondulatoriu” (ripple current).

De asemenea, elco trebuie să aibă o tensiune nominală mai mare de $12V_{vv}$, adică $16V$ sau mai bine $25V$, cu toate că tensiunea continuă a punctului median este doar jumătate din U_{ALIM} adică cca. $6,5V$.

b) La un AAF de $30W$ cu $R_{dif} = 8 \text{ ohmi}$ și $U_{ALIM} = 48V$ la P_{max} , tensiunea de AF ce se aplică elco poate atinge $43-45V_{vv}$, condensatorul de cuplaj va fi de $50V$ sau $63V$ construit pentru $I_{ef} = 2A$. Cu formulele de mai jos se pot calcula $U_{alt vv}$ și I_{ef} :

$U_{alt vv} = 2,82 \sqrt{P_{ies} \cdot R_{dif}}$ și $I_{ef} = U_{alt vv}/2,82 \cdot R_{dif}$, în cazul de mai sus: $U_{alt vv} = 2,82 \sqrt{30 \cdot 8} = 43,5 V_{vv}$, respectiv $I_{ef} = 1,93 A$.

● Orice elco folosit în c.a. nu poate fi „încărcat” cu o tensiune alternativă vîrf-vîrf mai mare decît tensiunea nominală a condensatorului iar $\text{tg } \delta$ trebuie să fie cît mai mică (deci condensator de calitate). Această limitare este importantă mai ales la frecvențe joase unde R_{ESR} este mare.

● La frecvențe audio înalte ($3...20kHz$) rezistența serie este ceva mai mică dar crește tare $\text{tg } \delta$ (deci elco. se încălzește și din cauza frecvențelor înalte), calitatea elco se apreciază comandînd amplificatorul cu $f=15kHz$ la puterea maximă și măsurînd încălzirea condensatorului.

Temperatura corpului elco nu trebuie să depășească cu mai mult de $5...8^\circ C$ temperatura ambiantă. Temperatura ambiantă maxim admisă este cuprinsă între -20 și $+60^\circ C$.

● Condensatoarele electrolitice pentru încărcare în alternativ (în AF) trebuie să aibă terminalele sudate la folie și nu simplu broșate sau cu contact realizat prin presare. Și calitatea sudurii este un criteriu de apreciere a calității fabricației unui elco.

● Curentul alternativ maxim nu trebuie să depășească valoarea specificată de fabricant (sub formă de curent alternativ eficace), chiar dacă tensiunea alternativă vîrf-vîrf aplicată condensatorului este de 2—3 ori mai mică decît tensiunea continuă nominală a condensatorului. Astfel dacă elco admite $300mA$ curent ondulatoriu (ripple), curentul vîrf-vîrf maxim nu trebuie să depășească $0,3 \cdot 2\sqrt{2} = 0,85 A_{vv}$.

— Ca regulă generală, cu cît tensiunea nominală a condensatorului electrolitic este mai mare cu atît curentul alternativ sau ondulatoriu admis este mai mare. Se dă mai jos un tabel cu valori admise de curent alternativ în practică, la elco la diferite tensiuni și de diferite valori (elco de larg consum, capsulate în metal).

Capacitate (μF)	3 V	6 V	10 V	16 V	25 V	40 V	63 V	100 V	350 V	Unom.
0,4	0,4	0,35	0,3	0,25	0,22	0,20	0,17	0,16	0,15	$\text{tg } \delta$
47	40	65	65	90	100	110	150	200	300	mA
100	60	110	120	140	155	180	270	320	520	mA
220	160	175	200	270	300	370	520	640	650	mA
470	240	270	370	460	520	640	850	1000	—	mA
680	320	360	470	540	640	800	1200	—	—	mA
1000	400	500	580	640	850	1050	1800	—	—	mA
1500	600	680	770	850	1050	1250	1800	—	—	mA
2200	800	900	1000	1150	1300	1600	2200	—	—	mA
4700	1400	1600	2000	2300	2500	3000	4000	—	—	mA

La elco capsulate în plastic, curentul alternativ admis este cam jumătate din cel indicat în tabel, din cauza evacuării

difficile a căldurii dezvoltată în elco. Tabelul este valabil pentru elco cu terminale sudate.

Factorul de pierderi $\tan \delta$ indicat în acest tabel este măsurat la $f=100\text{Hz}$ și $t=20^\circ\text{C}$, așa cum indică majoritatea catalogelor, pentru electroliticii în metal sau plastic.

●● Curentul alternativ indicat în acest tabel poate fi suportat de elco în metal, la temperatura ambiantă de 40°C și frecvența de 100Hz . Dacă mediul ambiant este mai „cald”, curentul alternativ va fi redus substanțial pentru a preveni încălzirea elco astfel :

t_a	40°C	50°C	60°C	65°C	70°C
factor	1	0,8	0,4	0,15	0

Altfel spus, la un $C=220\mu\text{F}/16\text{V}$ care la $t_a=40^\circ\text{C}$ admite $I_{ef}=270\text{mA}$, dacă lucrează la $t_a=50^\circ\text{C}$ admite doar $0,8 \cdot 270=216\text{mA}$ iar la $t_a=60^\circ\text{C}$ admite un curent alternativ de cel mult $0,4 \cdot 270=108\text{mA}$ ef adică 350mA_{vv} , iar dacă temperatura ambiantă a locului unde este plasat condensatorul este de 70°C , aceasta nu mai poate fi încărcat cu curent ondulatoriu (alternativ).

La $f=50\text{Hz}$, curentul admis se reduce cu 20 % iar la frecvențe mari este admis un curent alternativ ceva mai mare, de ex. la $f=2000\ldots 20000\text{Hz}$, factorul de creștere este de 1,3 față de tabel.

2.3. CONDENSATOARE FIXE CU FOLII

Construcția cunoscută a condensatoarelor „bobinate” cu folii este foarte larg folosită în producerea condensatoarelor : două folii metalice și două folii de material dielectric.

Armăturile condensatoarelor bobinate pot fi folii foarte subțiri de aluminiu, de cositor sau folie de aluminiu depusă pe dielectric prin vaporizare în vid (folii metalizate).

Dielectricul condensatoarelor bobinate este format din folii foarte subțiri, mergând pînă la minimum $6\mu\text{m}$ (microni),

din materiale organice sintetice de înaltă puritate cu excepționale calități izolante sau din folii de hîrtie specială (mai multe folii de hîrtie cu grosimea de 10—15 microni) impregnate cu ulei clorurat.

Terminalele sînt de regulă făcute din sîrmă de cupru cositorită de două ori sudate la folii metalice sau metalizate ale armăturilor, scoase axial sau pe aceeași parte.

Protecția condensatorului se face în tuburi de aluminiu etanșate ermetic cu cauciuc sau rășină, tuburi de polipropilenă (material plastic termorezistent) etanșat prin mulare. Se mai fabrică condensatoare mulate în compound alchidic neinflamabil (exemplu condensatoarele PMP08.00 de tip caramelă) sau înglobate într-o rășină epoxidică prin cufundare.

După construcție, felul armăturilor și natura dielectricului condensatoarele fixe acoperă o gamă largă de valori (22 pF...15 μF), domenii de tensiune (30V...2000V) și plaja temperaturilor de utilizare ($-40^\circ\ldots +85^\circ\text{C}$), condensatoarele bobinate folosite în circuitele electronice se împart în :

1. Condensatoare cu hîrtie metalizată
2. Condensatoare cu hîrtie și folii metalice
3. Condensatoare cu polistiren (styroflex)
4. Condensatoare cu polister metalizat (mylar)
5. Condensatoare cu polipropilenă.

Domeniul de frecvențe la care condensatoarele cu folii pot fi folosite este diferit după tipul condensatorului (în special în funcție de dielectric) este indicat în figura 10, unde pentru

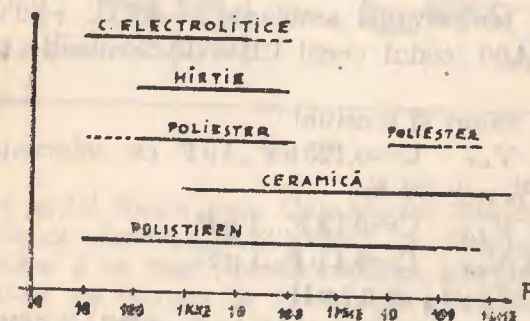


Fig. 10

comparație s-au introdus condensatoarele fixe ceramice și cele electrolitice.

●●● Proprietățile electrice speciale concordante sau nu cu unele circuite electronice vor fi analizate la prezentarea fiecărei categorii de condensatoare.

1. Condensatoare cu hîrtie metalizată.

La aceste C armăturile sînt realizate cu folii de aluminiu depuse în vid direct pe dielectric care este o hîrtie lăcuită din alfaceluloză. După metalizare hîrtia se impregnează în ceară (impregnat nepolar). Terminalele sînt din sîrmă cositorită. Protecția la umiditatea atmosferică este realizată prin mularie în compound epoxidic sau în tub de aluminiu etanșat cu rîndele de pertinax cauciucat în exterior, strînse prin rulare.

Familiiile constructive de condensatoare cu hîrtie metalizată :

1. **HMC33.00** (codul vechi CH1021). Mularj în compound epoxidic.

Gama de valori și tensiuni :

$U_n = 150 V_{c.c}$ $C = 0,1 \mu F \dots 2,2 \mu F$ cu toleranțe de $\pm 20\%$

$U_n = 250 V_{c.c}$ $C = 47 nF \dots 2,2 \mu F$ cu toleranțe de $\pm 20\%$

$U_n = 350 V_{c.c}$ $C = 22 nF \dots 1 \mu F$ cu toleranțe de $\pm 20\%$

Tangenta unghiului de pierderi : $\tan \delta = 0,001 \dots 0,01$.

Tensiunea de încercare : $1,5 U_n$.

Gama de temperaturi ambiante : $-10^\circ C \dots +70^\circ C$.

2. **HMC34.00** (codul vechi CH5110). Protecție în tub metalic, etanș.

Gama de valori și tensiuni :

$U_n = 150 V_{c.c}$ $C = 0,125 \mu F \dots 1 \mu F$ cu toleranțe $\pm 5\%$; $\pm 10\%$; $\pm 20\%$

$U_n = 250 V_{c.c}$ $C = 0,1 \mu F \dots 1 \mu F$

$U_n = 350 V_{c.c}$ $C = 0,1 \mu F \dots 1 \mu F$

$\tan \delta \leq 0,015$; $L_s \leq 0,2 \mu H$

Gama de temperaturi ambiante : $-25^\circ C \dots +85^\circ C$

Tensiunea de încercare : $1,5 U_n$.

Condensatoarele HM s-au folosit în circuitele de curent continuu, în electronică industrială și în telecomunicații, în automatizări. Se pot folosi limitat în circuite de curent alternativ sau cu componentă alternativă sau ondulatorie. Nu sînt indicate pentru circuitele din partea de impuls a televizoarelor, deoarece nu suportă curenți mari ca orice condensator cu folie metalizată, deoarece folia are grosimi de ordinul a 10^{-4} mm ($0,1 \mu m$).

Tensiunea de categorie a condensatoarelor cu HM este U_n . Această înseamnă că la temperatura admisă de $+70^\circ C$ nu este necesară reducerea tensiunii aplicate condensatorului.

2. Condensatoare cu hîrtie cu folii metalice.

Armăturile acestor capacitoe sînt folii de aluminiu cu grosimea de $10-20 \mu m$. Dielectricul este format din 2-3 folii de film de hîrtie alfacelulozică impregnată cu difenil-clorurat (impregnat polar). Terminalele de cupru dublu cositorit sînt sudate de folii de contact de $3-8 cm^2$ și grosimea de $0,2-0,3$ mm care fac contact strîns pe folia armăturii. Con-

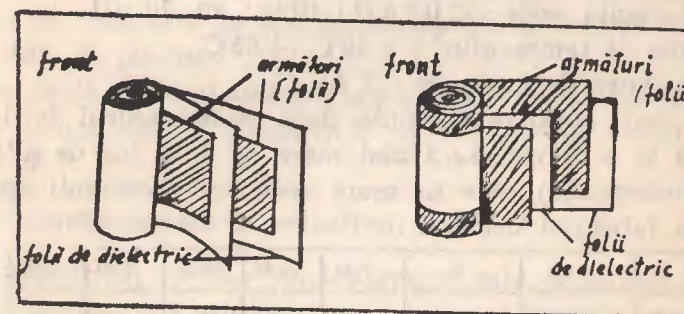


Fig. 11

tactul este astfel foarte bun. Construcția este neinductivă deoarece folia de aluminiu este strînsă la „frontul” păpușii bobinate pentru a se face scurtcircuitarea marginii foliei astfel asigurîndu-se un contact la toată folia ; foliile sînt bobinate decalat (fig. 11b), spre deosebire de felul de așezare al foliilor la condensatoarele inductive (fig. 11a). Protecția condensato-

rului: tub de Al, etanșat la capete cu rondel de pertinax de cca. 1,5 mm grosime cauciucate spre exterior, etanșarea făcându-se prin rularea marginilor (familia HC24) sau în mulaj de compound epoxidic.

● Aceste condensatoare relativ scumpe sînt larg utilizate la tensiuni mari mari, tensiuni însoțite de componentă alternativă sau impulsuri, în cele mai diverse circuite electronice din TV inclusiv în baleiajul orizontal și în alte zone de impuls, precum și în cuplaj, decuplaj, filtraaj la redresări rapide, etc.

Familia HC24.00 (în tub metalic, etanș).

Gama de valori și tensiuni:

$$U_n = 400 \text{ V}_{c.c} \quad C = nF \dots 680 \text{ nF}$$

$$U_n = 630 \text{ V}_{c.c} \quad C = 10 \text{ nF} \dots 470 \text{ nF}$$

$$U_n = 1000 \text{ V}_{c.c} \quad C = 10 \text{ nF} \dots 220 \text{ nF}$$

$$U_n = 1300 \text{ V}_{c.c} \quad C = 10 \text{ nF} \dots 56 \text{ nF}$$

Tangenta unghiului de pierderi: $\text{tg } \delta \leq 0,01$; tipic: 0,001 ... 0,007.

Inductanța serie: $< 0,2 \mu H$; tipic: 20...70 nH.

Gama de temperaturi: $-40^\circ C \dots +85^\circ C$.

Tensiunea de încercare: $2 U_n$.

Cu toată construcția solidă, dacă condensatorul de tip HC lucrează la o temperatură mai mare de $40^\circ C$ (ca de altfel la orice condensator), este necesară reducerea tensiunii aplicate conform tabelului următor:

ta	-25	0	+20	+40	+55	+70	+85	$^\circ C$
$\frac{U}{U_n}$	100	100	100	100	90	75	60	%

Prin urmare la temperatura de $+85^\circ C$ (maxim admisă), tensiunea aplicată trebuie redusă la 60% din tensiunea nominală: tensiunea de categorie este deci $0,6 U_n$.

● Din clasa condensatoarelor cu dielectric hîrtie cu folii metalice mai fac parte:

— Seria HA25.00 pentru curent alternativ, cilindrice (codul vechi CH5113), realizate cu folii mai groase și dielectric cu 4 straturi de hîrtie. Tensiunea de probă este: $4 U_n$ c.c. (se aplică o tensiune continuă de 4 ori mai mare decît tensiunea alternativă nominală. Se folosesc la lămpile fluorescente.

— Seria HA28.00 pentru curent alternativ, cilindrice, în tub metalic etanșat cu rășină, pentru tensiuni alternative nominale de $220 \text{ V}_{c.a}$ și $380 \text{ V}_{c.a}$. Se folosesc la lămpile fluorescente pentru îmbunătățirea factorului de putere. Valorile uzuale: $3,7 \mu F / 380 \text{ V}$; $4,2 \mu F / 380 \text{ V}_{c.a}$ și $5 \mu F / 220 \text{ V}_{c.a}$. Ambele serii au pierderi dielectrice foarte mici: $\text{tg } \delta \leq 5 \cdot 10^{-3}$ (0,005) și fiabilitate ridicată: $\lambda \leq 1 \cdot 10^{-6} / h$.

— Seriile HPA și HSA, dielectric de hîrtie uleiată pentru folosire în curent alternativ, destinate utilizării în instalații de iluminat cu lămpi cu descărcări în gaze. $U_n = 220 \text{ V}_{c.a}$ $C_n = 4,2 \mu F$; $5 \mu F$; admit supratensiuni de $1,2 U_n$ timp de maximum 6 ore din 24 ore.

Aceste condensatoare profesionale au rolul de a mări tensiunea de amorsare la aprinderea lămpii și de îmbunătățirea factorului de putere.

— Seria HS71.01 folosite la starterele de aprindere a lămpilor fluorescente. $C_n = 0,01 \mu F \pm 20 \%$; $U_n = 220 \text{ V}_{a.c}$; $\text{tg } \delta \leq 0,01$.

3. Condensatoare cu polistiren.

Dielectricul acestor condensatoare este polistirenul (denumire comercială stiroflex) care este un material termoplastic nepolar obținut prin polimerizarea stirenului. Prin proprietățile sale electrice polistirenul este unul din cei mai buni dielectrici utilizabili în înaltă frecvență. Este puțin higroscopic, dar temperatura de lucru nu poate depăși $70^\circ C$. Foliile au o grosime de 8...20 μm prezentînd o rezistență mare mecanică și extrem de puține defecte de suprafață sau volum. Constanta dielectrică (permitivitatea) este de cca. 2,5—2,6

(polietilena și polipropilena au 2,2—2,3). Armăturile de aluminu sînt folii foarte subțiri (10...20 microni).

După bobinarea păpușii condensatorului, printr-un tratament termic se obține o contracție a peliculei la marginile cilindrului. Astfel se închide întregul condensator, micșorîndu-se interstițiile dintre armături și dielectric ceea ce micșorează pierderile prin ionizarea aerului din interstiții crescînd și rigiditatea dielectrică. Terminalele sînt sudate la armături.

Condensatoarele cu stiroflex se fabrică pentru gama de tensiuni de la 25V la 1000V sau chiar 1500V. Gama valorilor se extinde de la 22 pF pînă la 470 nF (uzual între 100 pF și 100 nF). Tensiunea nominală U_n se indică în general codificat prin colorarea unui capăt al condensatorului. Codul culorilor este următorul:

$U_n = 25 V_{c.c.}$	. . . . .	albastru
$U_n = 63 V_{c.c.}$	. . . . .	galben
$U_n = 160 V_{c.c.}$	. . . . .	roșu
$U_n = 250 V_{c.c.}$	. . . . .	verde
$U_n = 630 V_{c.c.}$	. . . . .	negru
$U_n = 1000 V_{c.c.}$	. . . . .	negru + marcaj în clar.

Terminalul colorat este terminalul legat la armătura exterioară, armătura care se pune la masă (punctul rece) mai ales la circuitele de RF.

Domeniul de temperaturi ambiante admis: $-10^\circ\text{C} \dots +70^\circ\text{C}$.

Toleranțele la valoarea nominală: $\pm 1\%$; 2% ; 5% ; 10% ; 20% .

● Cu temperatura, valoarea capacității variază puțin: față de $+20^\circ\text{C}$ la -10°C avem $+\Delta C = 0,4\%$ iar la $+50^\circ\text{C}$ de cca. $+0,4 \dots 0,5\%$.

● Cu frecvența, în domeniul 100Hz...100kHz capacitatea variază cu mai puțin de 3% .

● Tangenta de δ se situează la $5 \dots 10 \cdot 10^{-4}$ adică mai puțin de 1% .

● La temperaturi peste $+40^\circ\text{C}$ este necesară reducerea tensiunii maxime după tabelul de mai jos:

$t_a^\circ\text{C}$	+40	+50	+60	+70	+80
U/U_n	1	0,95	0,9	0,85	0,8

● Curentul alternativ admis (I_{max}) este o valoare eficace și se stabilește astfel ca supraîncălzirea corpului C să nu depășească 10°C față de mediu sau max. 70°C .

$$I_{max} = U_{ef} \cdot 2 \pi \cdot f \cdot C [A, \text{Hz}, F, V_{ef}]$$

Limita superioară a curentului alternativ admis depinde de volumul fizic al condensatorului, deci este proporțională cu tensiunea nominală și cu lungimea corpului condensatorului, de exemplu:

$l = 8 \text{ mm}$	$I_{max} = 0,3 \text{ A}$
$l = 12 \text{ mm}$	$I_{max} = 0,5 \text{ A}$
$l = 22 \text{ mm}$	$I_{max} = 0,8 \text{ A}$
$l = 32 \text{ mm}$	$I_{max} = 1 \text{ A}$

● Tensiunea alternativă sinusoidală eficace U_{ef} admisă este de ordinul a $0,2 \dots 0,3 U_n$ și este limitată la 40% din tensiunea nominală U_n c.c.

Cînd tensiunea aplicată este complexă (tensiunea continuă cu tensiunea alternativă sau cu tensiune de impuls dinte de fierăstrău, trapez sau dreptunghiulară, suma tensiunii continue și a valorii de vîrf a tensiunii variabile trebuie să rămî-nă mai mică decît U_n .

● La frecvența liniilor (15,6kHz) se admite o tensiune de impuls maximum 85% din tensiunea nominală a categoriei.

● Fiabilitatea condensatorului cu stiroflex este exprimată de $\lambda \leq 1 \cdot 10^{-6}/h$ ceea ce corespunde unui procentaj probabil de defectare de $3 \dots 8\%$ la un timp de funcționare de 100.000 ore

● Tensiunea de probă la C stiroflex este de $2 \dots 2,4 U_n$ timp de 2 secunde

● **Inductanța proprie** — nu depășește $0,01 \mu\text{H}/\text{cm}$ considerând lungimea totală a terminalelor și a condensatorului.

Familii de condensatoare cu stiroflex.

1. Familia PS 00.10.

$U_n = 25; 63; 160; 250; 630; 1000 \text{ V}_{c.c.}$ $C_n = 100 \text{ pF} \dots 100 \text{ nF}$

Toleranțe: $\pm 2 \%$; 5% ; 10% ; 20% .

Coeficientul de temperatură al capacității:

$$\alpha_c = (-60 \dots -220) \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}.$$

Dimensiuni: minim: $\varnothing 5 \text{ mm}$ $l = 8 \text{ mm}$ ($100 \text{ pF}/25 \text{ V}$)
maxim: $\varnothing 24 \text{ mm}$ $l = 32 \text{ mm}$ ($25 \text{ nF}/1000 \text{ V}$)

Terminale axiale.

2. Familia PS 00.20 (terminale pe aceeași parte).

$C_n = 4700 \text{ pF} \dots 100 \text{ nF}$.

În rest, aceleași date tehnice ca și familia P.S. 00.10.

3. Familia PS 06.10 (profesionale, protejate în rășină epoxidică).

$C_n = 47 \text{ pF} \dots 25 \text{ nF}$.

$U_n = 160 \text{ V}_{c.c.}; 630 \text{ V}_{c.c.};$

$\text{tg } \delta \leq 5 \cdot 10^{-4}$ la $f = 1 \text{ kHz}$

Terminale axiale.

4. Familia PS.06.20.

Ca și familia 06.10, cu terminale pe aceeași parte:

$C_n = 1200 \dots 25 \text{ nF}$.

$U_n = 160; 630 \text{ V}_{c.c.}$

● Se fabrică și condensatoare profesionale cu polistiren contactate pe „frunte” adică pe suprafețele laterale ale cilindrului bobinat, complet neinductiv, cu folii de cositor (ușor de contactat prin metalizare cu cositor pulverizat). Aceste condensatoare sînt capsulate în „cutii” de plastic impermeabil

de formă cilindrică sau prismă dreptunghiulară și etanșate cu rășini foarte aderente la capsulă. Unele construcții sînt „turtite” adică păpușa este presată pentru a putea fi introdusă în capsule dreptunghiulare (fig. 12).

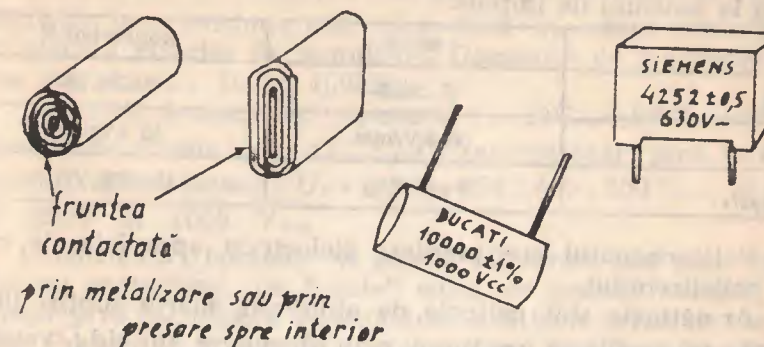


Fig. 12

Aceste condensatoare se folosesc în circuite de mare stabilitate și condiții severe de mediu, la temperaturi pînă la $+85^\circ\text{C}$, umiditate pînă la 95% . Inductanța este sub $10 \text{ nH}/\text{cm}$, constanța capacității sub $\pm 0,5 \%$ în cursul a 10000 ore. Pierderile dielectrice: $\text{tg } \delta \leq 5 \cdot 10^{-4}$. Rezistența de izolație: $> 10^5 \text{ Mohmi}$.

● Domeniul de utilizare al condensatoarelor cu stiroflex.

Circuite de radiofrecvență pînă la $f = 500\text{—}800 \text{ MHz}$, oscilatoare de precizie, oscilatoare și circuite de RF în RR și TV, amplificatoare de FI, echipamente cu curenți purtători, prelucrarea impulsurilor, oscilatoare de linii, etaje de deflexie și alte circuite în care pierderile mici, precizia (toleranțe mici) și stabilitatea (menținerea capacității în timp) sînt criterii esențiale.

4. Condensatoare cu poliester metalizat.

Poliesterul cel mai răspîdit este polietilen tereftalat comercial: mylar, lavsan, hostafan), un dielectric polar sub formă de folii de $10\text{—}20$ microni grosime (minimum $6 \mu\text{m}$.)

Un alt poliester este policarbonatul (denumiri comerciale macrolon, diflon).

Diferența esențială între mylar și policarbonat este mărimea pierderilor dielectrice, rigiditatea dielectrică și comportarea la tensiuni de impuls.

	mylar	policarbonat
$\text{tg } \delta$	$(3...5) \cdot 10^{-3}$	$(7...10) \cdot 10^{-4}$
$E_{\text{str.}}$	80 kV/mm	12 kV/mm
U_{impuls}	5—15 V/ μ s	15—135 V/ μ s

Policarbonatul are pierderi dielectrice apropiate de cele ale polistirenului.

Armăturile sînt pelicule de aluminiu, foarte subțiri (0,02...0,05 μ m) realizate continuu prin depunere în vid; vaporizarea aluminiului și depunerea pe folie este o tehnologie complicată de mare precizie și cu efecte importante asupra calităților și fiabilității viitorului condensator.

Avantajele condensatoarelor cu folii de poliester metalizat :

1. Capacitate mare la volum mic.
2. Tensiuni nominale mari.
3. Autoregenerare în caz de străpungere interioară.
4. Inductanță proprie neglijabilă.
5. Fiabilitate ridicată.
6. Scăderea pierderilor ($\text{tg } \delta$) la creșterea temperaturii.

Desavantaje :

1. Coeficient de temperatură mărișor (+300...+800). 10⁻⁶/°C.
2. Toleranțe relativ mari ale capacității : (± 10 % și ± 20 %).
3. Scăderea capacității cu frecvența : (pînă la —10 % de la 1kHz la 100kHz).
4. Creșterea procentuală a pierderilor cu frecvența (pînă la 5 ori între 1Hz și 100kHz).

Domeniul de utilizare :

În circuitele RR și TV și electronică industrială, ca condensatoare de cuplare, decuplare și filtraj. Preponderent se utilizează la curent continuu ; se admite și folosirea în curent alternativ la o tensiune mai mică decît U_n . Sînt contraindicate pentru circuite de impulsuri. Domeniul de frecvențe la care pot lucra : 1kHz...100kHz.

Gama de temperaturi ambiante : —40°C...+85°C...+100°C. Capacitățile uzuale : 10 nF...2,2 μ F (excepțional pînă la 10—15 μ F). Tensiuni uzuale : U_n =100 ; 250 ; 400 ; 500 V_{c.c.} și mai rar 630V și 1000 V_{c.c.}

Construcția : bobinare și păpuși cilindrice sau plate (presate) cu contactare „pe frunte” adică pe ambele margini ale păpușii prin metalizare cu aluminiu sau prin presarea marginilor. Protecția : mulari în compound sau în tuburi de plastic etanșate.

O tehnică mai nouă este construcția în straturi suprapuse pînă la grosimi de 8—15 mm (30—60 straturi pe mm grosime), în total 200—1000 straturi bine presate într-un vid relativ și contactate prin metalizare realizată prin stropire pe margini. Terminalele se sudează apoi la suprafețele laterale metalizate, fiind distanțate la dimensiuni de „rastru” : 10 ; 12,5 ; 15 ; 17,5 ; 20 ; 25 mm, pentru implantare ușoară pe plăcile de circuite



terminal

metalizare

Fig. 13

Imprimare (fig. 13) Tot condensatorul se izolează apoi față de mediu prin înmuiere (imersiune) în rășini epoxidice termostabile pînă la 150°C și nehigroscopice.

● Se prezintă în fig 14 pentru comparație variația procentuală a capacității condensatoarelor cu mylar, policarbonat,

hîrtie, polistiren (stiroflex). Se vede din aceste curbe comportarea excepțională cu temperatura a condensatoarelor cu stiroflox și policarbonat.

● Coeficientul de temperatură este dealtfel un criteriu important în alegerea felului de condensator pentru anumite circuite electronice.

Din acest punct de vedere condensatoarele cu mylar se utilizează în circuite unde toleranța valorii și evoluția capacității nominale cu temperatura și frecvența nu este critică.

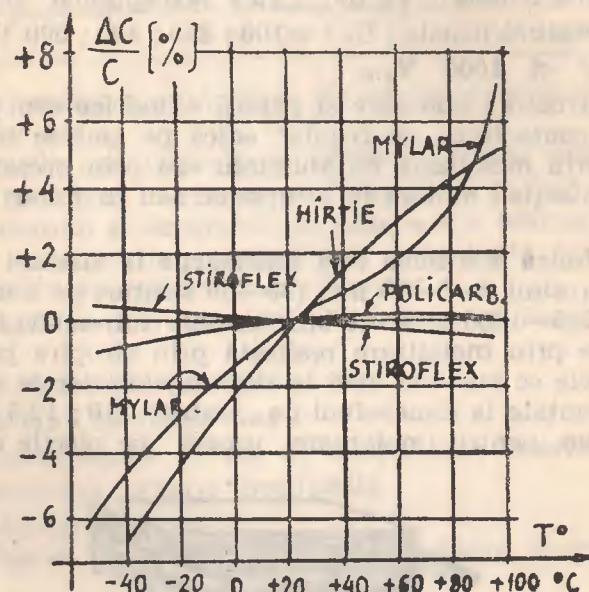


Fig. 14

● Tensiunea continuă și tensiune alternativă la condensatoarele cu poliester.

În funcție de construcție, tensiunea nominală U_n în c.c., de grosimea armăturii metalizate și modul de contactare a terminalelor, raportul dintre tensiunea alternativă $U_{c.a.}$ admisă față de tensiunea nominală a condensatorului (U_n) poate fi cuprinsă între 0,2 și 0,6.

$$U_{c.a.} = (0,2 \dots 0,6) U_n$$

Multe firme producătoare indică acest raport sau direct $U_{c.a.}$ admisă.

Dacă tensiunea aplicată este complexă (continuă + alternativă), suma tensiunii continue și a valorii de vîrf a tensiunii

U_n c.c.	$U_{c.a.}$	Raport
100 V	60 V	0,6
125 V	75 V	0,6
160 V	100 V	0,6
250 V	100...220 V	0,4...0,6
400 V	160...220 V	0,4...0,6
630 V	200...220 V	0,3...0,35
1000 V	200...250 V	0,2...0,25

siunii alternative trebuie să fie inferioară tensiunii nominale U_n .

● Autoregenerarea la străpungere.

În cazul cînd folia dielectrică se străpunge electric, arcul electric creat aduce cele două armături ale condensatorului în contact. Energia condensatorului se descarcă la locul scurtcircuitului; aparent, energia electrică este mare și rapor-

$$E = \frac{1}{2} CU^2$$

tată la volumul mic al filmului de aluminiu metalizat, produce încălzirea, topirea și vaporizarea aluminiului din apropierea punctului de străpungere. Filmul metalic dispăre, resturile de vapori de aluminiu sînt transportate la marginile neafectate ale filmului. Dielectricul rămîne găurit, dar lipind armătura în jurul punctului de perforare, scurtcircuitul inițial dintre armături este înlăturat.

Durata unei astfel de străpungeri este mai mică de 10 μ s. astfel că în cele mai multe cazuri condensatorul nu se descarcă decît foarte puțin; ca urmare numai parte din energia

totală se pierde. Suprafața de armătură care dispăre este foarte mică (sub 1 mm²). Condensatoarele sînt astfel dimensionate încît chiar la un număr de 10³ străpungeri capacitatea scade cu mai puțin de 1 %, deci nesemnificativ.

● Comportarea la impulsuri sau tensiuni nesinusoidale.

Condensatoarele cu poliester (mylar, polycarbonat) mai ales cele cu armături metalizate se comportă mai slab la tensiuni trapezoidale de condensator onomogramă care permite de impuls. În ultima vreme firmele producătoare indică pentru fiecare tip de condensator o nomogramă care permite determinarea tensiunilor de impuls maxim admisibile astfel încît încălzirea condensatorului să nu depășească 10°C peste tem-

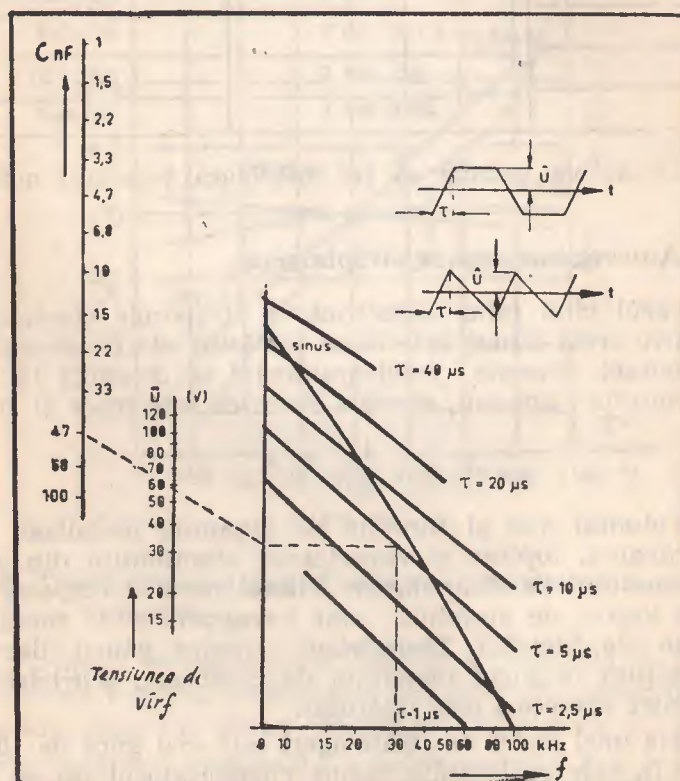


Fig. 15

peratura ambiantă. Cu nomograma prezentată în fig. 15 se pot determina și tensiunile sinusoidale de frecvență mai mare, ca și tensiunile nesinusoidale (dinți de fierăstrău și trapez) la care este importantă stabilirea tensiunii vîrf-vîrf admise.

Exemplul marcat pe diagramă :

— frecvența de repetiție : 30kHz

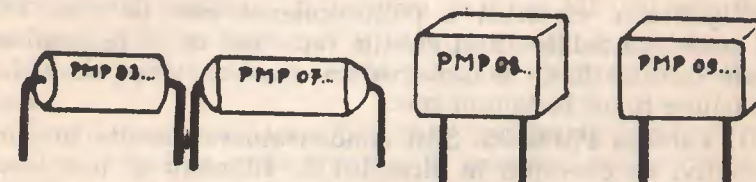
— $t = 5 \mu s$

— $C = 47 nF$

rezultînd o tensiune maximă de 60V_{vv} (vîrf-vîrf).

La tensiunile cu caracter trapezoidal, se va opera cu dublul frecvenței de repetiție a tensiunii periodice.

Familii de condensatoare cu poliester fabricate în R.S.R.



Condensatoare cu poliester fabricate de IPRS

Fig. 16

	PMP 03.00	PMP 07.00	PMP 08.00	PMP 09.00	
U_R	100; 250; 400; 500	250; 400	100; 250; 400; 500	100; 250; 400; 500	$V_{c.c}$
C_n	0,01...2,2	0,01...2,2	0,01...0,33	0,01...0,33	μF
Δt°	-40°...+85°	-10°...+85°	-40°...+85°	-40°...+85°	°C
ΔC	$\pm 10; \pm 20$	± 20	$\pm 10; \pm 20$	$\pm 10; \pm 20$	%
$tg \delta$	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	$\leq 0,01$	
	tub de polycarbonat	mulaj în compound epoxidie	mulaj în compound epoxidie	mulaj în compound epoxidie	

5. Condensatoare cu polipropilenă.

Polipropilena este un material termoplastic neutru obținut prin polimerizarea propilenei. Având un grad înalt de cristalizare, este un dielectric foarte omogen și cu pierderi dielectrice foarte mici putând fi folosit într-o gamă largă de frecvențe și de temperaturi (până la $+150^{\circ}\text{C}$ în timp ce polistirenul admite $+70^{\circ}\text{C}$). Condensatoarele cu polipropilenă se fabrică în mai multe variante :

- a) cu armături metalizate depuse pe polipropilenă ;
- b) cu armături de folii de Al și dielectric folie sau folii de polipropilenă ;
- c) cu folii de aluminiu și dielectric dual (dublu) format din folii de polipropilenă și folii de hîrtie de condensator.

Rigiditatea electrică a polipropilenei este de cca. 30kV/mm, astfel că foliile fiind subțiri (aproape ca și la condensatoarele cu stiroflex) se pot realiza condensatoare de valoare și tensiune mare la volum mic.

1. Familia PMM205. Sînt condensatoare folosite în curent alternativ, de exemplu în circuitul de filament al televizoarelor (familia H2).

Armături : pelicule de aluminiu de depuse în vid (metalizate).

Dielectric : folie de propilenă.

Protecție : tub de aluminiu etanșat cu capac de pertinax cauciucat.

Capacitatea nominală : $C_n = 5,3 \mu\text{F} \pm 10\%$ (4,8...5,8 μF).

Tensiunea nominală : $U_n = 250 \text{ V}_{c.a}$

Pierderi dielectrice : $\text{tg } \delta \leq 6 \cdot 10^{-3}$ (tipic : 0,002...0,005).

2. Familia HPI1200. Sînt condensatoare dual cu 2 dielec-trici : polipropilenă și hîrtie de condensator impregnată cu ulei clorurat ; destinate folosirii în domeniul de frecvență 1 kHz...100kHz, în regim de impulsuri cu flancuri abrupte. Hîrtia are rolul de suport pentru masa de impregnare și de mări-re a volumului dielectricului pentru a asigura o răcire mai bună (cedare axială a căldurii). Coeficientul de temperatură a permitivității dielectrice a polipropilenei este puternic ne-gativ ($\alpha_c = -300 \cdot 10^{-6}$) în timp ce hîrtia are un coeficient po-

zitiv ($+400 \cdot 10^{-6}$) astfel că la variații ale temperaturii am-biante respectiv a temperaturii interne a condensatorului, va-loarea capacității este foarte constantă.

Uleiul care impregnează hîrtia ia locul aerului (20...50 %) și a apei (6...10 %) și mărește astfel rigiditatea dielectrică de la 35 la 200—250kV/mm.

Gama de valori și tensiuni :

$U_n = 1000\text{V}$ $C = 1\text{nF} \dots 10\text{nF}$ cu $\pm 10\%$

$U_n = 1500\text{V}$ $C = 1\text{nF} \dots 4,7\text{nF}$ „

$U_n = 2000\text{V}$ $C = 1\text{nF} \dots 3,3\text{nF}$ „

Pierderile dielectrice : $\text{tg } \delta \leq 0,01$ (tipic 0,004...0,008).

Gama de temperaturi : $-25^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$.

Aceste condensatoare sînt scumpe și de aceea se folosesc numai acolo unde variația tensiunii de impuls este rapidă, a-dică creșterea tensiunii în unitatea de timp (dU/dt) este foarte mare (de exemplu 500V/ μS și deci produce curenți mari prin condensator, prin urmare trebuie să aibă armături de folii mai groase.

Dintre condensatoarele bobinate cele cu dielectric de poli-propilenă, stiroflex (polistiren) și în oarecare măsură cele cu hîrtie impregnată admit variații rapide de tensiune adică im-pulsuri cu flancuri foarte abrupte. Valoarea maximă admisă a factorului dU/dt depinde de frecvența de repetiție, de tan-genta δ a condensatorului, de grosimea foliilor. Valori uzuale:

Tipul condensatorului	Panta maximă dU/dt admisă
C cu polipropilenă + HI	500 V/ μS ... 800 V/ μS
C cu polipropilenă	300 V/ μS ... 500 V/ μS
C cu stiroflex	100 V/ μS ... 500 V/ μS
C cu hîrtie impregnată	20 V/ μS ... 100 V/ μS
C cu poliester (mylar)	5 V/ μS ... 20 V/ μS

● Se cunoaște că valoarea curentului printr-un conden-sator este proporțională cu viteza de variație a tensiunii apli-cate la borne :

$$\frac{I_v}{C} = \frac{dU}{dt} \text{ sau } \Delta I = C \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

În TV cu CI, C704—2,4 nF/1500V este condensatorul de întoarcere conectat în paralel cu BU205. La bornele sale apare impulsul de întoarcere de 1000 V_{vv} și cu durata flancului anterior de 2,1 μS. Deci avem așa cum se vede în fig. 17 dU=1000V iar dt=2,1.10⁻⁶ s. Curentul maxim I_v ce străbate condensatorul în cursul procesului de încărcare al C704 va fi :

$$I_v = \frac{2,4 \cdot 10^{-9} \cdot 1000}{2,1 \cdot 10^{-6}} = 1,15A$$

iar la descărcare va curge din condensator de asemenea 1,15A, curentul ce străbate condensatorul fiind de cca. 2,3A_{vv}, atît cît este amplitudinea vîrf-vîrf a curentului de deflexie. (Vezi și BT Nr. 4 pag. 58 și pag 81 fig. 22c).

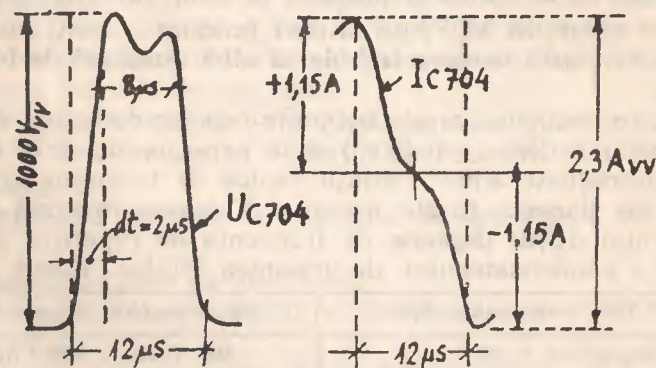


Fig. 17

La televizoarele color unde U de întoarcere la finalul cu BU208 este de cca. 1300V_{vv} panta de variație dU/dt este de ordinul a 700 V/μS și curentul care străbate condensatorul de întoarcere ajunge la 6—8 A_{vv}, necesitînd folii de Al mai groase eventual folii de cositor și contacte solide la terminale.

În general, în etajele de BO cu tranzistoare sau tiristoare curenții care străbat condensatoarele de cuplaj sau de întoarcere ating valori de 10—15 A_{vv} astfel că în aceste funcții sînt necesare condensatoare dual cu polipropilenă.

●●● În ultima vreme catloagele unor firme indică nu panta dU/dt maxim admisă ci un factor de rezistență la impulsuri, pentru fiecare tip de condensator.

$$K_0 = 2 U_{vv}^2 / t \quad [V^2/\mu S]$$

Factorul K₀ permite calcularea tensiunii de impuls admise U_{vv} în funcție de durata procesului de creștere sau scădere a tensiunii de impuls. De exemplu, Siemens indică pentru un condensator de tip MKL (dielectric de acetat de celuloză cu folii metalizate) cu U_n = 250 V_{c.c} un factor de impuls K₀ = 5750 V²/μS sau direct panta dU/dt = 11,5 V/μS. Factorul de impuls K₀ ne permite calcularea tensiunii de impuls admise cînd se cunoaște timpul de creștere al impulsului, cu condiția ca tensiunea de impuls U_{vv} să nu depășească niciodată tensiunea nominală U_n.

Cunoscînd factorul K₀, valoarea U_{vv} admisă se determină cu relația :

$$U_{vv} = \frac{K_0}{2 U_n}$$

De exemplu : K₀ = 170000 V²/μS ; U_n = 630 V_{c.c} tensiunea nominală a C (condensator cu dielectric de policarbonat).

$$\text{Se determină : } U_{vv} = \frac{170.000}{2.250} = 135 \text{ V}/\mu S$$

Din motive de cîmp electric creat de curenții de impuls, factorul K₀ este invers proporțional cu lungimea corpului condensatorului, așa cum se vede din tabelul de mai jos :

U _n		l = 27 mm	l = 32 mm
400 V _{c.c}	U _{vv} /t	85 V/μS	65 V/μS
	K ₀	68 000 V ² /μS	52000 V ² /μS
630 V _{c.c}	U _{vv} /t	135 V/μS	100 V/μS
	K ₀	170000 V ² /μS	126000 V ² /μS

Dacă tensiunea reală de impuls $U_{vv} < U_n$, valoarea pantei impulsului $U_{vv}/\mu S$ admis rezultat din calculul lui U_{vv} , se poate înmulți cu factorul $M=U_n/U_{vv}$. De pildă, la un C cu $U_n=630V$ care avînd $K_0=126000$, admite deci o pantă de impuls de $100 V/\mu S$, avem impulsuri cu amplitudinea de numai $300V$ deci de cca. 2 ori mai mici decît tensiunea nominală ($M=630/300=2,1$), panta impulsurilor poate fi mărită de 2,1 ori adică pînă la $2,1 \cdot 100=210 V/\mu S$. Se înțelege că dacă tensiunea noastră de impuls ar avea amplitudinea VV de numai $100V$, deci de 6,3 ori mai mică decît tensiunea nominală a condensatorului, se admite ca impulsul să aibă o pantă de creștere sau descreștere de $630 V/\mu S$!!

★

2.4. CONDENSATOARE FIXE CERAMICE

Materialele dielectrice ceramice sînt acelea care necesită în cursul procesului tehnologic arderea la temperaturi ridicate. Ceramica pentru condensatoare necesită permitivitate ϵ (constanta dielectrică) mare și pierderi dielectrice foarte mici. Constanta dielectrică ϵ a materialelor ceramice folosite pentru condensatoare plate sau tubulare poate fi cuprinsă între cîteva unități și cîteva mii ($\epsilon=3...10000$) astfel că este posibilă fabricarea unor condensatoare de gabarit redus și valori foarte mari, după necesitate.

La majoritatea cond. ceramice este necesar ca ϵ să fie constant în timp, cu frecvența și cît mai constant cu temperatura. Pierderile dielectrice ($\tan \delta$) trebuie să varieze cît mai puțin. Se cere de asemenea o mare rigiditate dielectrică într-un domeniu larg de temperaturi și frecvențe.

Constructiv, condensatorul ceramic se compune dintr-o plăcuță ceramică care constituie dielectricul și două armături depuse pe ambele părți ale plăcuței la care sînt lipite terminalele. Tot ansamblul este apoi înglobat într-un compound care mărește rezistența mecanică a întregului condensator și asigură protecția contra umidității mediului sau altor factori chi-

mici agresivi. Se practică la urmă și o impregnare în ceară pentru etanșare generală.

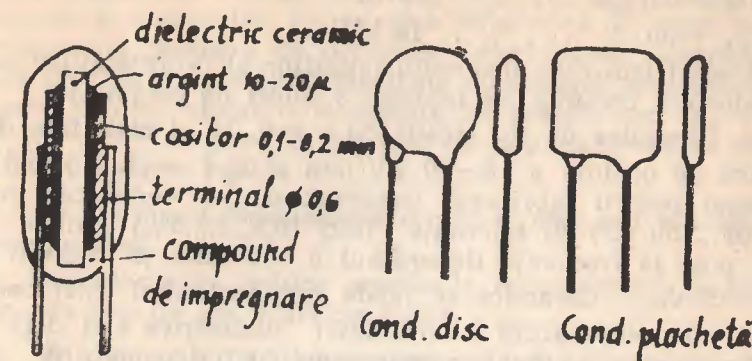


Fig. 18

Tehnologic

Compoziția ceramică bine măcinată este umezită și presată sub formă de discuri sau plachete cu grosimea de $0,1-0,8$ mm și suprafața de $0,5-2$ cm². Piesele ceramice sînt apoi „coapte” la temperaturi ridicate ($800-1300^\circ C$). Peste disc sau plachetă se depun pe ambele părți armăturile din argint — soluție coloidală ($AgCo_3$, Bi_2O_3 și PbB_4O_7) dizolvate în lac de colofoniu. Pe cale termică pasta de argint se solidifică aderînd intim la ceramică (tratamentul termic la $800-850^\circ C$). Stratul obținut are o grosime de $10-12$ microni. Pentru a obține straturi mai groase operația se repetă de 2—3 ori (la unele condensatoare pentru curenți mai mari). Peste argint se depune prin aliere termică un strat de cositor cu grosimea de $0,1-0,2$ mm la care se lipesc ușor cu aliaj de plumb-cositor terminalele din sîrmă cositorită sau argintată și cositorită (eventual dublu cositorită).

Condensatorul obținut este apoi „înmuiat” în compound din rășină fenolică termodură tratată termic la $250-400^\circ C$. O impregnare în ceară la $90-100^\circ C$ completează protecția condensatorului față de factorii mediului.

Condensatoarele ceramice se fabrică pentru valori ale capacității nominale de la zecimi de picofarad pînă la sute de

nanofarazi și pentru tensiuni nominale de la 30V pînă la cîțiva kilovolți.

$$C_n = 0,3 \text{ pF} \dots 500 \text{ nF}$$

$$U_n = 30 \text{ V} \dots 10 \text{ kV}$$

Dielectricul este elementul hotărîtor al proprietăților condensatorului ceramic. Se folosesc 3 feluri de ceramică:

1. Ceramica de tip steatit cu $\epsilon = 6 \dots 12$ și rigiditate dielectrică de ordinul a 15—30 kV/mm și $\text{tg } \delta = (1 \dots 10) \cdot 10^{-4}$ se folosește pentru fabricarea condensatoarelor ceramice mici (0,3 pF...250 pF) cu toleranțe mici (0,5...1...5%) pentru circuite pînă la frecvențe de ordinul a 1000MHz și tensiuni de 200V—5kV_{cc}. Ceramica se poate prepara astfel încît coeficientul de temperatură a constantei dielectrice ϵ și deci a condensatorului să fie cunoscut exact (definit), pozitiv sau negativ și cu o evoluție precisă (familiile CG12.00, CU12.00, CG10.00). Materialele de bază pentru prepararea acestei ceramici sînt: oxidul de magneziu (MgO), oxidul de aluminiu (Al₂O₃) și oxidul de siliciu (Si₂O₃), cu adaoși subprocentuali ca oxidul de bariu (BaO). Condensatoarele ceramice de toleranță mică și cu coeficient de temperatură precis prezintă o rigiditate dielectrică mare și fiabilitate excepțională.

2. Ceramica de tip titan-zirconiu cu $\epsilon = 18 \dots 40$ și rigiditate dielectrică de ordinul a 10—12 kV/mm și $\text{tg } \delta = (3 \dots 6) \cdot 10^{-4}$, are coeficient de temperatură definit, în general negativ și se folosește pentru fabricarea condensatoarelor de radiofrecvență cu toleranțe mai mărișoare (5—10%) și de valori mai mari (30—1500 pF). Condensatoarele fabricate cu această ceramică au dielectricul suficient de gros pentru asigurarea rezistenței mecanice, dar tensiunea de lucru este mai mică: 60—500V (familiile CG32.00, CL12.00).

3. Ceramica de tip titanat de bariu cu $\epsilon = 5\,000 \dots 30\,000$, rigiditate dielectrică de 3—5 kV/mm, cu pierderi dielectrice mai mari $\text{tg } \delta = (1 \dots 3) \cdot 10^{-2}$ și cu coeficientul de temperatură nedefinit. Pentru dielectric se folosesc soluții solide de BaTiO₃ — CaTiO₃ — SrTiO₃.

Cu această ceramică se fabrică condensatoare de capacitate mare (5 nF...0,2 μF) tensiune nominală mică (30—50V) și toleranțe largi ($\pm 20\%$ și $-20 \dots +85\%$).

Fiabilitatea acestor condensatoare (familia CL32.00) este mai scăzută decît a celor realizate cu ceramică de tip I (descrișă la punctele 1 și 2). Se poate considera că puritatea materialelor și acuratețea tehnologică determină în mare măsură procentajul probabil de defectare (scurtcircuit). Condensatoarele fixe de tip plachetă fabricate cu această ceramică se folosesc pentru cuplaj și decuplare în circuite de AF, RF, FI în RR și TV și chiar în circuite de impulsuri sau de filtrare după redresoare rapide.

● Toate condensatoarele ceramice disc sau plachetă sînt neinductive.

Inductanța se reduce practic la inductivitatea terminalelor care este de cca. 1 nH/cm liniar.

● Domeniul de temperaturi ambiante la care condensatoarele ceramice pot lucra este îndeobște cuprinsă între $-40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$.

● Coeficientul de temperatură este codificat prin litere sau culori cu semnificația din tabelul de mai jos:

litera	caracter	coef. temp./°C	Toleranța coef. t.	culoarea
A	poz.	$+100 \cdot 10^{-6}$	± 100	auriu
B	nul	0	± 50	negru
H	neg.	$-33 \cdot 10^{-6}$	± 60	maron
L	neg.	$-75 \cdot 10^{-6}$	± 70	roșu
P	neg.	$-150 \cdot 10^{-6}$	± 80	portocaliu
U	neg.	$-750 \cdot 10^{-6}$	± 250	violet
O	NEDEFINIT			

Din acest tabel trebuie înțeles următoarele:

a) Coeficientul de temperatură cu toate că este definit și

specificat poate avea o toleranță (inerentă prin amestecuri și tehnologie). De exemplu la un condensator de tip H care are coeficientul de temperatură α_c tipic de $-33.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, poate avea un α_c real de -33 ± 50 , adică între $(-33 + 50) = 17$ și $(-33 - 50) = -83$, adică între $-83.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ și $+17.10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

c) Variația de capacitate se determină ținând seama a-
tent de coeficient și de variația de temperatură Δt :

De exemplu: $C_n = 33 \text{ pF}$ de tip U iar $\Delta t = 30^{\circ}\text{C}$; la această variație a temperaturii variația de capacitate ΔC va fi:

$\Delta C = \alpha_c \cdot \Delta t$. $C_n = -750.10^{-6} \cdot 30.33 = -0,74 \text{ pF}$. $\Delta C = -0,74 \text{ pF}$ deci capacitatea condensatorului va scădea cu cca. $0,74 \text{ pF}$, posibil cu cca. $0,5 \text{ pF}$ sau chiar 1 pF deoarece pasta ceramică U are o toleranță de ± 250 la valoarea tipică de -750.10^{-6} .

d) Unele firme marchează coeficientul de temperatură în clar cu o literă și mărimea coeficientului, de exemplu: N750 adică negativ cu -750.10^{-6} . Alte firme obișnuiesc să marcheze coeficientul de temperatură în codul culorilor trecut în tabelul de mai sus.

● Valoarea capacității se marchează în clar de ex: H5,6 (condensator pastă H de $5,6 \text{ pF}$), A2,7, U33, 4700, etc. sau prin dungi colorate după codul cunoscut al culorilor. Pentru valoarea C_n se folosesc 3 dungi colorate care se „citesc” începînd de jos de la terminale.

● Condensatoarele ceramice se împart în 2 mari categorii:

— tip I — pentru circuite acordate, avînd coef. de temperatură definit și mare stabilitate a capacității.

— de tip II — pentru alte utilizări, coef. de temperatură nedefinit, deci coeficient de temperatură care nu variază proporțional cu temperatura; dielectricul la condensatoarele ceramice de tip II are constantă dielectrică mare.

FAMILIILE DE CONDENSATOARE CERAMICE

1. CG12.00 Condensatoare ceramice disc, tip I de 500 V c.c.

Se folosesc în echipamente radio, TV, telecomunicații, aparatură de măsură, în circuite de radiofrecvență.

— Gama de valori: $C_n = 1,5 \dots 220 \text{ pF}$ Toleranțe: $0,25 \text{ pF}$; $0,5 \text{ pF}$; $\pm 5, 10, 20 \%$;

— Domeniul de temperaturi: $-40 \dots +85^{\circ}\text{C}$

— Tensiunea nominală: $U_n = 500 \text{ V c.c.}$; tensiunea de probă 1250 V c.c.

— Pierderi dielectrice: $\text{tg } \delta \leq 10.10^{-4}$

— Rezistența de izolație: $R_{iz} \geq 10^5 \text{ M}$

— Fiabilitatea: $\lambda \leq 1.10^{-6}/\text{h}$. (real cca. $0,5.10^{-7}/\text{h}$).

— Marcare: la condensatoarele ceramice disc cu $\varnothing < 8 \text{ mm}$, în clar.

la condensatoarele ceramice disc cu $\varnothing > 8 \text{ mm}$ (11... 19 mm) în codul internațional al culorilor.

Codul condensatorului exprimă:

— diametrul discului condensatorului: 06 = $\varnothing 6 \text{ mm}$; 08, 11, 15, 19 (mm).

— pasta sau coeficientul de temperatură: A, H, P, U.

De exemplu: — CGU12.15—82 ± 10 înseamnă: condensator ceramic disc, din pastă U cu coeficient de temperatură de $(-750 + 250)10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, de 82 pF și toleranța de $\pm 10 \%$; diametrul este de 15 mm .

— CGA 12.11—4,7 $\pm 0,5$ înseamnă: condensator ceramic disc, din pastă A (+100), diametrul 11 mm , $4,7 \text{ pF}$ cu toleranța de $\pm 0,5 \text{ pF}$. Familia de condensatoare ceramice cuprinde condensatoare disc:

CGA (cu pastă A) cu $C_n = 1,5 \dots 6,8 \text{ pF}$ cu toleranțe de $\pm 0,25$ sau $\pm 0,5 \text{ pF}$.

CGH (cu pastă H) cu $C_n = 3,9 \dots 100 \text{ pF}$ cu toleranțe de $0,25 \text{ pF}$, $0,5 \text{ pF}$, 1 pF , 5% , 10% ;

CGP (cu pastă P) cu $C_n = 3 \dots 100 \text{ pF}$ cu toleranțe de $0,25 \text{ pF}$, $0,5 \text{ pF}$, 1 pF , 5% , 10% ;

CGU (cu pastă U) cu $C_n = 2,7 \dots 220 \text{ pF}$ cu toleranțe de $0,25 \text{ pF}$, $0,5 \text{ pF}$, 1 pF , 5% , 10% ;

2. CU.12.00 Condensatoare ceramice disc de tip I de 1; 2; 3 KV c.c.

Se folosesc în aparatură electronică în circuite de înaltă tensiune.

- Gama de valori : 4,7pF.....270pF
- Domeniul de temperaturi : —40....—85°C.
- Tensiuni nominale: $U_n=1$ KV; 2 KV; 3KVc.c.; Tensiunea de probă : 1,5 U_n .
- Pierderi dielectrice : $\text{tg } \delta \leq 10 \cdot 10^{-4}$
- Coeficient de temperatură : $U=-750 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C} \pm 50 \%$.
- Fiabilitate : $\lambda \leq 1 \cdot 10^{-6}/\text{h}$.

Condensatoarele

cu $U_n=1$ KV au $C_n=4,7\text{pF}...270\text{pF}$ (\varnothing 6....19 mm)

cu $U_n=2$ KV au $C_n=4,7\text{pF}...180\text{pF}$ (\varnothing 6....19 mm)

cu $U_n=3$ KV au $C_n=4,7\text{pF}...150\text{pF}$ (\varnothing 6....19 mm)

Marcarea : capacitatea în codul culorilor iar tensiunea în clar pe verso.

3.CG32.00 Condensatoare plachetă, de tip I, de 63 V c.c.

Se folosesc în circuite electronice de tensiune mică, pentru cuplaj și decuplare.

- Tensiunea nominală : 63Vc.c.; tensiunea de probă 200 Vc.c.
- Gama de capacități :
- a) Condensatoarele cu pastă P : $C_n=33...390\text{pF}$ (10x10 ...15x15 mm)
- b) condensatoarele cu pastă U : $C_n=100...1000\text{pF}$ (10x10 ...15x15 mm)
- Toleranțe : ± 5 și $\pm 10 \%$
- Marcarea : în codul internațional al culorilor (cu 4 culori, prima este pasta).
- Gama de temperaturi : —40....+85°C

4. CG10.00 Condensatoare disc neizolate, fără terminale, de tip I

Se folosesc în circuite de FIF și mai ales UHF, implantate în placa de c.i

Gama de valori : 1...22pF; toleranțe; $\pm 1\text{pF}$; $\pm 5 \%$, 10 %, 20 %.

Tensiunea nominală : $U_n=250\text{Vc.c.}$ (probă la 500Vc.c.)

Dimensiune : \varnothing 5 mm sau \varnothing 7,3 mm.

Armături : pelicule groase de argint, cu cositorire aparentă.

Coeficient de temperatură : P ($-150 \cdot 10^{-6} \pm 80$) și U ($-750 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C} \pm 250$).

5.CL12.00 Condensatoare ceramice disc, tip II, de 500 Vc.c.

Se folosesc în diferite circuite pentru cuplare, decuplare, la tensiuni mari. Ceramica folosită : de tip X,Y sau Z, toate cu variație mare a capacității în gama de temperatură cuprinsă între —40°C și +85°C. Variația procentuală este diferită la cele 3 paste iar toleranțele capacității foarte largi :

X: $\Delta C=-90...+30\%$ $C_n=470...10000\text{pF}$ cu $-20...+80\%$

Y: $\Delta C=-70...+30\%$ $C_n=680...10000\text{pF}$ cu $-20...+10\%$

Z: $\Delta C=-20...+10\%$ $C_n=330...3900\text{pF}$ cu $\pm 5, 10$ sau 20%.

Pierderile dielectrice sînt relativ mari : $\text{tg } \delta \leq 350 \cdot 10^{-4}$.

— Marcarea în codul culorilor.

— Dimensiuni: disc \varnothing 6, 8, 11, 15 și 19 mm.

6. CL32.00 Condensatoare ceramice plachetă, tip II de 30C.c.

Sînt cele mai uzuale plachete pentru decuplări și cuplaj în RF, FI și AF din aparatura radio și TV tranzitorizată, în circuite de tensiune mică, de larg consum.

— Gama de valori : 4,7nF...100nF

— Toleranțe : $\pm 20\%$ și $-20...+85\%$

— Tensiunea nominală : 30Vc.c.; tensiunea de probă : 100Vc.c.

— Pierderi dielectrice : $\text{tg } \delta \leq 350 \cdot 10^{-4}$

— Dimensiuni : plachete patrute cu latura de 6, 10, 12, și 15 mm.

— Fiabilitatea prescrisă : $\lambda \leq 1 \cdot 10^{-5}/\text{h}$ (real $\lambda \approx 1 \cdot 10^{-4}/\text{h}$, adică f. slab).

— Comportarea la variații de temperatură : vezi condensatoarele CL12.

Exemplu : CLX 12.08—1500 $\pm 10\%$.

7. CX12.00 Condensatoare ceramice disc, tip II de 1, 2, 3 KVc.c.

Au coeficient de temperatură nedefinit cu variații mari (pastă X, Y, Z) dar o mare rigiditate dielectrică. Se folosesc în circuite electronice din RR, TV, aparatură profesională, la tensiuni mari de lucru, acolo unde variația capacității nominale nu are efecte importante asupra parametrilor aparatelor.

Gama de valori și tensiuni :

Un=1 KVc.c. Cn=470...10000pF (\varnothing 6, 8, 11, 15, 19 mm)

Un=2 KVc.c. Cn=470...10000pF (\varnothing 6, 8, 11, 15, 19 mm)

Un=3 KVc.c. Cn=410... 4700pF (\varnothing 8, 11, 15, 19 mm).

— Pierderi dielectrice : tg 350.10⁻⁴

— Tensiunea de probă : 1,5 Un.

— Variația capacității : -90...+30% în gama t=-40...+85°C.

— Toleranța capacității : -20...+80%.

— Fiabilitatea : $\lambda \leq 1.10^{-6}/h$. (real de cca. $1.10^{-7}/h$).

Exemplu de codificare : CBX 12.06 — 680 — 20% + 80%.

8. CZ12.00 Condensatoare ceramice de protecție pentru 400Vef.

Sînt condensatoare speciale pentru cuplaj de înaltă siguranță la atingere folosite în acele locuri unde defectarea condensatorului prin străpungere poate produce pericol de electrocutare (șoc electric). Începînd din anul 1966, pe plan european și mondial s-au instaurat norme riguroase de protecție împotriva electrocutării persoanelor prin atingerea oricărei piese metalice care poate intra în contact accidental cu omul, ca de exemplu antena de TV, suportul antenei, acoperișul sau burlanele de tablă nepămintate, cablul coaxial sau paralel de coborîre, adaptorul de impedanță 75/300 Ω sau borna de antenă a televizorului. Cea mai cunoscută normă de protecție a fost elaborată de VDE (Asociația electrotehnicienilor germani) și a fost adoptată ca atare în multe țări din lume: VDE 0560 partea 2. Norme asemănătoare s-au adoptat în Suedia (SEMKO), Danemarca (DEMKO), Norvegia (NEMCO), Elveția (SE), etc.

● Normele de protecție contra electrocutării prevăd ca borna de antenă a TV să fie izolată la ambii poli prin capacități relativ mici (220pF...1000pF) rezistente necondiționat la o tensiune alternativă efecace de 400V ~. Nivelul de 400V ~ s-a ales pentru a asigura televizorul și la cazul cînd tensiunea trifazată ajunge accidental la șasiul televizorului datorită defectării nului din sistemele de distribuție a energiei electrice de 220V ~

De aceea, borna de antenă a TV se izolează de cablul coaxial atît pe firul central cu un C=220pF (ce poartă semnalul) cît și pe firul de masă cu 2 condensatoare (pentru simetrie electrică) /condensatoare ce satisface VDE0560 partea 2, sau Norma internă departamentală din R.S.R. NI3244.

●● Condensatoarele din familia CZ.12 satisfac probele impuse de NI 3244 și VDE 0560 și anume :

Tensiunea nominală : Un=400Vc.a.ef.

Tensiunea de probă : Un, aplicată astfel :

a) 2400 Vef (50Hz) timp de 2 secunde, control bucată cu bucată.

b) 2400 Vef (50Hz) timp de 1 minut, control stabilit (se aplică la un număr de piese prelevate din fiecare lot fabricat și testat cu proba a.

c) 2400 Vef (50Hz) între terminale și suprafața exterioară prin care se verifică calitatea izolației dintre una și apoi cealaltă armătură față de suprafața de rășină termodură impregnată cu ceară.

Gama de valori : 47pF și 220pF, cu $\pm 20\%$

2200pF și 3300pF, cu -20...+80%.

— Rezistența de izolație $\geq 6.10^3 M\Omega$

— Coeficientul de temperatură : -1000 \pm 500.10⁻⁶/°C

— Variația capacității : Cn/Co :

la C cu pastă X : -90...+30%

la C cu pastă Z : -20...+10%

Valorile uzuale :

CZZ. 12.09— 47pF $\pm 20\%$ (disc \varnothing 9mm)

CZZ 12.12— 220pF $\pm 20\%$ (disc \varnothing 12mm)

CZX 12.16— 2200pF —20...+80% (disc Ø 16mm)

CZX 12.16— 3300pF —20...+80% (disc Ø 16mm)

— Fiabilitatea : $\lambda \leq 1.10^{-6}/h$ (real cca. $1.10^{-7}/h$).

— Marcarea : în cod capacitatea (pe o parte) și în clar pasta și tensiunea de 400Vc.a. pe cealaltă parte a condensatorului.

● Condensatoarele străine care satisfac normele de protecție amintite poartă neapărat inscripția 400V ~ în clar precum și semnul VDE, SEMCO, etc.

9. CZZ.2104 Condensatoare ceramice de trecere antenă

Cablu coaxial al bornei de antenă la televizoarele mai vechi, era conectate la selector sau rotator prin intermediul unui condensator de trecere cilindric de tip CZZ.21.04 sau $C_n=1000pF$ (—20...+80%), cu $U_n=380Vc.a.$ (eficace) încercat la 1500Vc.a. (50Hz), avînd aceleași calități ca și condensatoarele de tip CZZ.12.—220pF folosite actualmente.

10. CL10.00 Condensatoare ceramice disc neizolate, fără terminale.

În selectoarele de canale UIF (și în viitor și în selectoarele FIF) se folosesc pentru cuplaj și decuplări condensatoare disc fără terminale neizolate, cu diametrul de 5 mm sau 7 mm, implantate în cablajul imprimat.

— Gama de capacități : $C_n=100...2200pF$.

— cu toleranțe de ± 20 , ± 10 , $\pm 5\%$ și —20%...+80%.

— Tensiunea nominală : 250Vc.c.

— Pierderi dielectrice : $tg \delta \leq 350.10^{-4}$.

Condensatoarele fără terminale sînt complet neinductive; la condensatoarele cu terminale inductanța este de aproximativ 1nH/cm, adică de cca. $2.10^{-9}H$ la un condensator cu terminalele de 10 mm lungime.

2.5. CIRCUITUL OSCILANT

Se compune dintr-o inductanță L și o capacitate de acord C conectate în serie sau în paralel, formînd astfel un circuit oscilant serie sau un circuit oscilant paralel.

Principala misiune a circuitului oscilant este selectarea sau rejectarea (îndepărtarea) anumitor tensiuni de înaltă frecvență; pentru selectarea sau rejectarea semnalelor sinusoidale se folosesc proprietățile fundamentale ale CO.

Circuitul oscilant paralel are la rezonanță o rezistență R_0 maximă dependentă de mărimile L și C și influențată în mod fundamental de factorul de calitate Q al circuitului oscilant:

$$R_0 = \frac{\omega C}{Q} \quad \text{în care } Q \text{ este factorul de calitate al circuitului.}$$

Q determină banda de trecere la rezonanță, deci selectivitatea circuitului :

$$B_{3dB} = \frac{f}{Q} \quad \text{și ca urmare rezistența la rezonanță se poate scrie și altfel :}$$

$$R_0 = 1/2 \pi C B; \text{ de ex. : } f=6,5MHz, C=220pF \quad Q=100$$

$$B = \frac{6500}{100} = 65kHz$$

$$R_0 = 1/6,28.220.10^{-12}.65.10^3 = 11 \text{ kohmi.}$$

Factorul de calitate Q depinde de pierderile în bobină, de $tg \delta_L$ și pierderile în condensator definite de $tg \delta_C$. Pierderile în bobină depind de grosimea conductorului (liță), de calitatea carcasei, de vecinătatea unor obiecte metalice (ecrane sau blindaje), de calitatea miezului (ferită, ferocart) și de forma miezului (cilindric, oală, etc.).

Circuitul oscilant serie prezintă la rezonanță o rezistență, determinată de valorile L , C și de factorul de calitate Q al circuitului. La circuitul rezonant serie rezistența circuitului este cu atît mai mică cu cît factorul de calitate Q este mai mare, deci cu cît rezistența echivalentă serie de pierderi (rezistența ohmică + rezistențe de pierderi ale condensatorului de acord și inductanței) :

$$R_0 \approx r_{cc} \text{ (practic de cîțiva ohmi sau zeci de ohmi).}$$

Cele mai frecvente utilizări ale circuitelor oscilante sînt bine cunoscute :

- circuite rezonante paralele sau serie, de sarcină
- circuite de rejecție serie sau paralele conectate în serie sau în derivație
- filtre de bandă cu două sau mai multe circuite acordate.

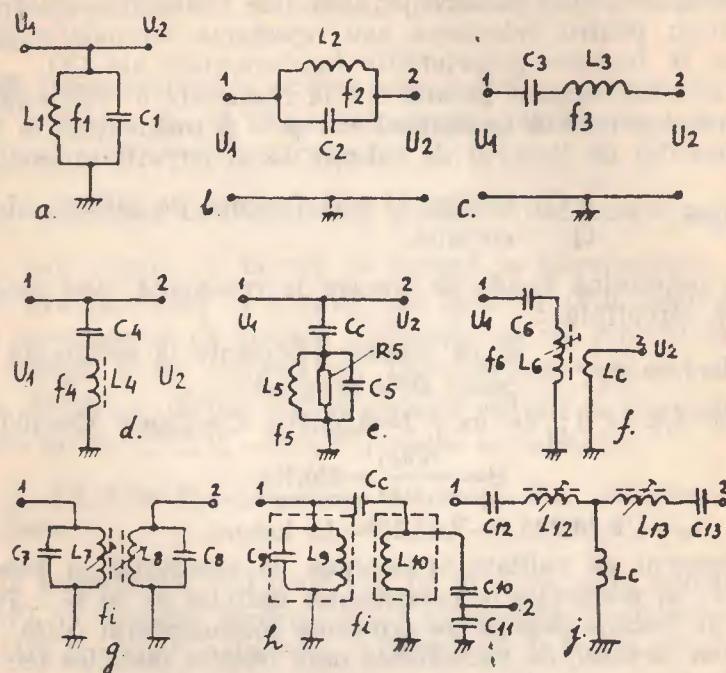


Fig. 19

În fig. 19 se arată cele mai uzuale forme de circuite oscilante folosite în televizoare (selectoare, FI—VS, FI—6,5MHz, video).

a — L_1C_1 formează un circuit rezonant singular paralel ca sarcină a unui etaj amplificator de RF sau FI (R_0 este mare).

b — L_2C_2 formează un circuit rezonant dop cu R_0 mare, avînd funcția de rejecție serie; la frecvența de acord f_2 aceasta prezintă o rezistență foarte mare de la 1 la 2 (la TV rejecția serie de 6,5MHz).

c) — L_3C_3 formează un circuit rezonant serie acordat pe f_3 , cu rezistență minimă la f_3 de la 1 la 2 (rejecție de 30 sau 39,5MHz).

d — L_4C_4 formează un circuit rezonant serie (cu R_0 foarte mică la rezonanță), conectat în derivație față de calea semnalului; este un rejecor pentru frecvența f_4 care este atenuată puternic (scursă la masă).

e — L_5C_5 formează un circuit paralel rejecor cuplat slab culinia semnalului (la TV rejecția de 31,5MHz). R_5 amortizează circuitul lărgindu-i banda de trecere.

f — L_6C_6 formează un circuit rezonant serie acordat de ex. pe 36MHz iar L_c este bobina de cuplaj (vezi L_{108} , L_{109} la TV cu CI).

g — și h: filtre de bandă cuplate, de impedanță mare;

g — inductiv prin inductanța mutuală L_{78} ,

h — cu cuplaj capacitiv sus și priză capacitivă C_{10} — C_{11} în secundar (FI—S).

j — filtru de bandă de joasă impedanță: $L_{12}C_{12}$ primarul $L_{12}C_{13}$ secundarul iar L_c inductanța de cuplaj (cuplaj inductiv în picior), folosit la amplificatoare de RF (FIF), de ex. amplificatoare de antenă ($Z_{in} = Z_{ies} = 50 \dots 100$ ohmi).

● La bobine se realizează $\text{tg } \delta_L = (0,1 - 1) \cdot 10^{-3}$ deci Q ordinul a 100—1000. Pentru ca factorul de calitate al CO să fie de același ordin de mărime, este necesar ca pierderile dielectrice ale capacității de acord să fie mici iar $\text{tg } \delta_c$ tot de $(0,1 \dots 1) \cdot 10^{-3}$.

La circuitele oscilante se pot folosi deci numai anumite tipuri de C. Este necesar și un coeficient de temperatură precizat (cunoscut) și cu o variație cît mai mică în domeniul de temperaturi cuprins între -25° și $70 \dots 80^\circ \text{C}$.

Coeficientul de temperatură mic este esențial pentru ca valoarea capacității să varieze cît mai puțin cu temperatura asigurîndu-se astfel stabilitatea acordului.

Factorul de pierderi $\text{tg } \delta$ și coeficientul de temperatură α_c a diferitelor tipuri de condensatoare este arătat în tabelul de mai jos. Trebuie spus că $\text{tg } \delta$ variază cu temperatura cît și cu frecvența. De asemenea δ_c variază cu temperatura.

Dielectric	$\epsilon_g \cdot 10^{-3}$	$\alpha_c \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
mică	0,2	+30
sticlă	0,7	+140
ceramică	0,2...0,5	+100...-1500
poliester	3...5	+300 800
polistiren	0,2	-140
polipropilenă	0,5	-300
hirtie uleiată	3...15	+100...600

Pentru circuite oscilante se folosesc preponderent condensatoare cu dielectric de polistiren (denumire comercială stiroflex) sau condensatoare ceramice. Condensatoare cu mică se fabrică tot mai puține din motive economice.

Condensatoarele cu stiroflex au $\alpha_c = -140 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ care este o valoare medie cu dispersia între $-60 \dots -220$. Cu alte cuvinte la un $C=1\text{nF}$ folosit pentru acord la $f=6,5\text{MHz}$, valoarea capacității scade cu $0,14\text{pF}$ pentru fiecare grad cu care temperatura ambiantă crește: dacă $+\Delta t=20^{\circ}\text{C}$, $-\alpha_c = -0,14 \cdot 20 = -2,8\text{pF}$ ceea ce înseamnă $-0,28\%$. Ușor, se poate calcula variația de capacitate $+\Delta C$ cu formula următoare:

$\Delta C = \alpha_c \cdot \Delta t \cdot C$ în care Δt este diferența de temperatură iar C este capacitatea condensatorului.

De ex.: $C=1000\text{pF}$; $\Delta t=+20^{\circ}\text{C}$

$$\Delta C = -140 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 1 \cdot 10^3 = -0,14 \cdot 10^3 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3 \cdot 20 = -2,8\text{pF}.$$

Cu alte cuvinte, la un circuit acordat de $6,5\text{MHz}$, la un TV dacă în interior temperatura crește de la $+20^{\circ}\text{C}$ la 40°C , valoarea C de acord va scade de la 1000pF la cca. 997pF iar frecvența de rezonanță va crește cu $\sqrt{\Delta C}$, adică cu 16kHz ceea ce nu deranjează cu nimic. Dacă însă condensatorul era ceramic de tip U cu $\alpha_c = -1000 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, scăderea capacității ar fi fost de cca. 20pF iar frecvența circuitului ar fi crescut la cca. $6,58\text{MHz}$ ceea ce înseamnă desacordarea circuitului.

Condensatoarele ceramice destinate circuitelor oscilante au coeficientul de temperatură diferit prin marcarea capacitorului cu o literă:

U	$\alpha_c = -750 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$\alpha_c = -500 \dots -1000 \cdot 10^{-6}$
P	$\alpha_c = -150 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$\alpha_c = -70 \dots -230 \cdot 10^{-6}$
H	$\alpha_c = -33 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$\alpha_c = +30 \dots -93 \cdot 10^{-6}$
A	$\alpha_c = +100 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	$\alpha_c = 0 \dots +200 \cdot 10^{-6}$

Comparând valoarea coef. de temperatură, rezultă o asemănare perfectă între condensatorul ceramic de tip OP și condensatorul de stiroflex. Deci condensatoarele ceramice de tip P pot înlocui condensatoarele de stiroflex cel mai bine sub raportul coeficientului de temperatură.

Inductanța sau bobina circuitului acordat trebuie să aibă un coeficient de temperatură cunoscut și ca mărime și ca tendință de variație cu temperatura sau frecvența.

Coeficientul de temperatură (CT) al inductanței depinde de mai mulți factori:

- CT al miezului ferimagnetic (ferita, ferocart, etc).
- CT al materialului dielectric al carcasei și al lacului sirnei.
- dilatarea conductorului sau variația geometriei bobinei.

Determinat de acești factori este CT al miezului. La feritele de înaltă frecvență, α_μ este pozitiv și de ordinul a $100 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, astfel că inductanța tinde să crească la creșterea temperaturii.

Pentru ca un circuit oscilant să-și mențină frecvența, coeficientul de temperatură al bobinei α_L și coeficientul de temperatură al capacitorului de acord α_c trebuie — pe cât posibil — să se anuleze reciproc. Pentru aceasta C de stiroflex sau ceramic de tip P, sînt remarcabile asigurînd stabilitatea maximă a frecvenței.

● Șirul standardizat de valori pentru rezistențe, condensatoare, termistoare, varistoare. Pe plan internațional s-au standardizat valorile R, C astfel încât să fie acoperite practic toate necesitățile. Avem mai multe șiruri, fiecare având un număr de valori corespunzând unei anumite toleranțe: E 6 ($\pm 20\%$); E 12 ($\pm 10\%$); E 24 ($\pm 5\%$); E 48 ($\pm 2\%$), etc. Prezentăm în tabelul de mai jos șirurile de valori produse de către industria de componente.

E 6 (20%)	E 12 (10%)	E 24 (5%)	E 48 (2%)	
100	100	100	100	105
		110	110	115
	120	120	121	127
		130	133	140
150	150	150	147	154
		160	162	169
	180	180	178	187
		200	196	205
220	220	220	215	226
		240	237	249
	270	270	261	274
		300	287	301
330	330	330	316	332
		360	348	365
	390	390	383	402
		430	422	442
470	470	470	464	487
		510	511	536
	560	560	562	590
		620	619	649
680	680	680	681	715
		750	750	787
	820	820	825	866
		910	900	953

CAP. 3 SEMICONDUCTOARE MODERNE

În buletinul tehnic nr. 1 s-a prezentat câte ceva din fizica semiconductoarelor și tehnologia dispozitivelor uzuale: diode, tranzistoare de diferite feluri și tranzistoare de putere. Tirajul mic și circulația restrinsă a aceluși buletin face necesară reamintirea unor cunoștințe fundamentale despre semiconductoarele clasice adică diode și tranzistoare bipolare. Ținând seama de proliferarea extraordinară a componentelor pasive și active bazate pe semiconductoare considerăm că este necesară prezentarea unor dispozitive moderne, componente noi apărute în ultimii ani și care pătrund treptat în radioelectronică: dioda Schottky, dioda Esaki (tunel), dioda IMPATT, elementul GUNN, dioda TRAPATT, dioda PIN, fotodiode, fototranzistoare dioda LED, apoi tranzistoarele planare (la vârsta majoratului=21 ani), tiristorul, dispozitive triac, diac, tranzistorul cu efect de câmp (FET), cel cu joncțiuni precum și tranzistorul MOS—FET cu canal p și canal n. În continuare s-a considerat util ca tehnicienii noștri să cunoască câteva dintre circuitele cu pelicule groase sau cu pelicule subțiri și circuite hibride care își croiesc drum spre radioelectronica de larg consum.

Circuitele integrate monolitice, atât cele logice (TTL, DCTL, RTL, DTL) ca și cele liniare cu care ne-am obișnuit deja — vor fi trecute în revistă. Spre sfârșitul capitoului se vor face cunoscute și circuitele integrate de tip LSI (large screen integration) de tip monolitic sau de tip MOS pentru circuitele digitale din microprocesoare. Acestea din urmă sînt prezentate la modul cel mai simplificat, mai mult pentru

cultură generală și... orientare. Orientare, pentru că cei care vor depana televizoare în anul 1990 vor avea probabil de verificat funcționarea unui microprocesor în loc de depanarea baleiajului orizontal și de casat o matrice MOS care probabil va comanda 388 604 diode LED... în locul unui cinescop de 61 cm.



Semiconductoarele sînt cunoscute de peste 100 ani: efectul de joncțiune pn a fost descoperit de F. Braun în 1874 dar explicat teoretic doar în 1939 de W. Schottky. Străpungerea prin avalanșă și dioda statbilizatoare a fost înțeleasă în 1934 de către C. Zener. Tranzistorul a fost inventat de J. Bardeen și W. Brattain în 1948 și explicat de W. Shocley în 1952. Toți trei au primit premiul Nobel în 1956. Tehnologia planară a fost creată la Fairchild în 1958—1960, iar cea MESA dezvoltată pînă la perfecțiune de Siemens în anii 1961—1970. Efectul Gunn a fost descris prima oară de către J. O. Gunn în 1965. Tiristorul are doar 25 ani, iar diodele LED mai puțin de 10. Circuitele integrate monolitice liniare moderne pentru televizoare au mai puțin de 8 ani iar microprocesoarele de tip LSI 2—3 ani; viteza evoluției este amețitoare.

Tranzistorul este vestitorul unei noi ere în istoria omenirii: fără tranzistor omul nu ar fi ajuns pe lună și probabil nu va putea supraviețui pe pămînt.



Cercetările în domeniul semiconductoarelor presupun cunoștințe profunde despre fizica corpului solid. Unele tehnologii necesare producerii dispozitivelor moderne cu semiconductoare sînt — fără exagerare — de o complexitate uimitoare și în același timp de o mare simplitate. Acest capitol este un compediu pentru nespecialiști, scris cu scopul de a lămuri un mare număr de noțiuni și de termeni noi care trebuie cunoscuți pentru a putea ține pasul cu evoluția ingineriei electronice. Alături de componentele active, pătrund treptat în radioelectronica de larg consum dispozitive pasive ultramoderne ca de exemplu filtrele ceramice pîntru FI—MF (pentru 4,5; 5,5; 6,5 și 10,7MHz), pentru FI—MA (455KHz) și mai ales filtrul solid de selectivitate pentru calea comună rea-

lizat în tehnica FUS (filtre cu unde de suprafață). Un astfel de filtru asigură formarea caracteristicii de frecvență FI—VS—TV cu toate rejecțiile necesare (30; 31,5; 39,5; 40,5 MHz) asigurînd palierul curbei de FI—VS și plasarea purtătoarei de imagine corect pe flancul lui Nyquist. Un astfel de filtru înlocuiește 8—9 inductanțe, 12—15 condensatoare, manopera de reglaj — acord și... posibilitățile de dezacordare în timp sau în procesul de service.

Treptat producătorul de componente preia tot mai mult din activitatea fabricantului de televizoare; acestuia din urmă îi rămîne sarcina tot mai ușoară de a fabrica prin asamblare aparatele și sarcina tot mai grea de a asigura servisu adică repararea și întreținerea aparatelor din exploatare.

1. Proprietățile fizice și electrice ale semiconductoarelor.

Spre deosebire de conductoare și izolatoare, conductibilitatea semiconductoarelor depinde foarte mult de:

- temperatură
- iluminare
- impurificarea cu materiale străine

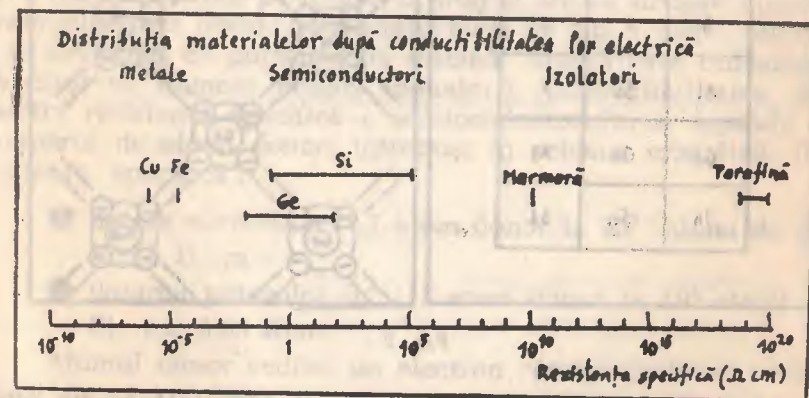


Fig. 1

La temperatura camerei (+20°C), conductibilitatea electrică a semiconductoarelor este plasată aproximativ la mijloc

între conductibilitatea mare a metalelor și conductibilitatea aproape nulă a izolatorilor. Creșterea temperaturii mărește exponențial numărul de electroni liberi din semiconductoare și prin aceasta conductibilitatea electrică; același efect îl are lumina asupra anumitor semiconductoare.

Principalele semiconductoare sînt Germaniul și Siliciul care fac parte din grupa a IV-a a „Sistemului periodic al elementelor” deoarece au 4 electroni de valență pe ultima orbită a atomului. La temperaturi mari, de ordinul 130—180°C la Ge și 250—300°C la Si conductibilitatea electrică crește atît de mult încît aceste semiconductoare se comportă ca un metal dintre cele mai slab conductoare. La temperaturi foarte joase semiconductoarele devin practic izolatoare în timp ce metalele devin supraconductive (la temperaturi apropiate de zero absolut). Ne-am referit pînă acum la conductibilitatea semiconductoarelor pure, pure în sens fizic (și nu chimic), cînd numărul de atomi străini în Ge sau Si este neglijabil (1 la 10^{16} ... 10^{18} atomi).

III	IV	V
B	C	N
Al	Si	P
Ga	Ge	As
In	Sn	Sb

Fig. 2

La rece, semiconductoarele pure se comportă ca un izolator deoarece într-un monocristal pur de Ge sau Si, la temperaturi joase nu există purtători de sarcină liberi. Electronii ultimei orbite a atomilor cristalului asigură legătura dintre atomi. Prin „introducerea” de energie sub formă de căldură

sau lumină, unii electroni (puțini la număr) se pot elibera din legăturile lor devenind purtători de sarcină electrică și putîndu-se mișca „liber” printre atomi.

O altă cale de a mări conductibilitatea Ge sau Si este impurificarea sau dotarea în proporții extrem de mici cu atomi străini (dotare = dopare). Dotarea se realizează fie pe cale metalurgică fie pe alte căi folosind elemente de grupa a III-a și grupa a V-a (vecine cu grupa Germaniului și a Siliciului) obținîndu-se după necesitate fie un semiconductor de tip N (Si de tip N sau Ge de tip N) în care purtătorii majoritari de sarcină sînt electronii, fie un semiconductor de tip P (Si de tip P sau Ge de tip P) în care purtătorii majoritari de sarcină sînt golurile.

Siliciul sau germaniul monocristalin sub formă de bare constituie materia primă de la care pornește fabricația diodelor, tranzistoarelor sau circuitelor integrate. În afară de Ge și Si, pentru fabricarea anumitor dispozitive semiconductoare se folosesc combinații ale elementelor din grupa III și grupa V, ca de exemplu GaAs (arseniură de galiu) sau InSb (stibiură de indiu).

Dotarea de tip n este introducerea de atomi din grupa a V-a (cu 5 electroni pe ultima orbită) și are ca urmare apariția unor electroni liberi. Semiconductorul de tip n astfel realizat are electronii ca purtători de sarcină. Atomii care cedează electroni se numesc donori (donatori). Conductibilitatea respectiv rezistența specifică a semiconductorului n depinde de numărul de atomi donori introduși în rețeaua cristalină. Rezistența specifică :

- dotare normală n : 1 atom donor la 10^7 atomi de Si ; $\rho \approx 5 \Omega \text{ cm}$
- dotarea puternică n^+ : 1 atom donor la 10^4 atomi de Si ; $\rho \approx 0,03 \Omega \text{ cm}$.

Atomul donor cedînd un electron rămîne încărcat pozitiv (vezi fig. 3a).

Dotarea de tip p constă în introducerea de atomi din grupa a III-a (cu 3 electroni de valență) și ca urmare lipsa de electroni în cristal (goluri). Dacă electronii atomilor vecini „sar” în golul alăturat, golul adică sarcina pozitivă se deplasează

în rețeaua cristalină aproape la fel de mobil ca și electronul liber. Acest semiconductor este de tip p. Atomii care preiau electroni se numesc acceptori (primitori) (vezi fig. 3b).

Atomul acceptor preluând un electron devine încărcat negativ.

● dotarea normală de tip p: 1 atom acceptor la 10^6 atomi de Si; $\rho \approx 2 \Omega \text{ cm}$

● dotare puternică de tip p: 1 atom acceptor la 10^4 atomi de Si; $\rho \approx 0,05 \Omega \text{ cm}$

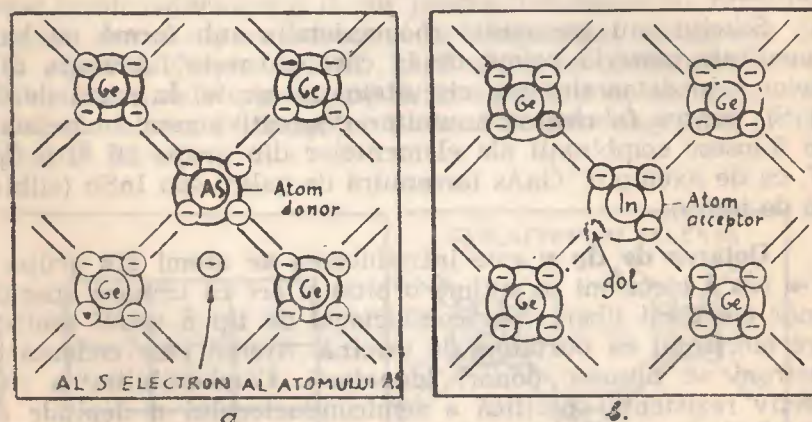


Fig. 3

Procedee de dotare

Dotarea se poate face

- 1 — la creșterea monocristalului
- 2 — prin aliere
- 3 — prin difuzie
- 4 — prin implantare ionică

1. **Dotarea în cursul creșterii** (tragerii) monocristalului de Ge se face introducând de exemplu antimoniu (stibiu) direct

în zona topită. În timpul tragerii, atomii donori se fixează în rețeaua cristalină.

2. **Alierea.** La tranzistoarele aliate cu germaniu, bile mici de indiu sînt așezate pe plăcuța de Ge și aduse în stare se aliază. La răcire o parte din atomii de indiu se fixează în rețeaua de atomi a Ge rezultînd o zonă de germaniu de tip p destul de subțire (vezi fig. 4a).

3. **Difuzia.** Discuri de siliciu se introduc într-un cuptor cu tub de cuarț încălzit la cca. 1000°C . Dotarea se face cu bor care se introduce în cuptor sub formă de gaz. Atomii de bor pătrund prin difuzie (pătrundere) în cristalul de siliciu și formează pe suprafața siliciului o zonă de conductibilitate de tip p. Zone de tip p se obțin prin difuzia fosforului în Si. Grosi-

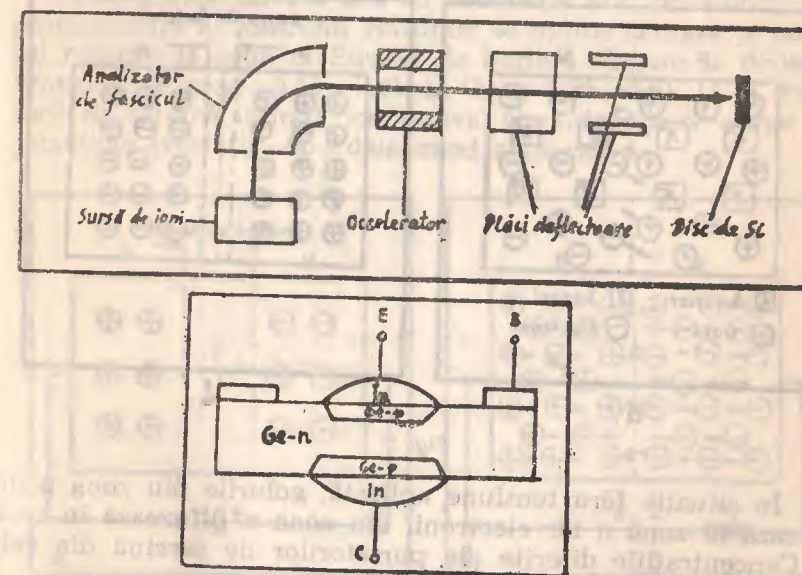


Fig. 4 a-b

mea stratului difuzat este de ordinul micronilor sau a zecimilor de micron și depinde de durata procesului de difuzie.

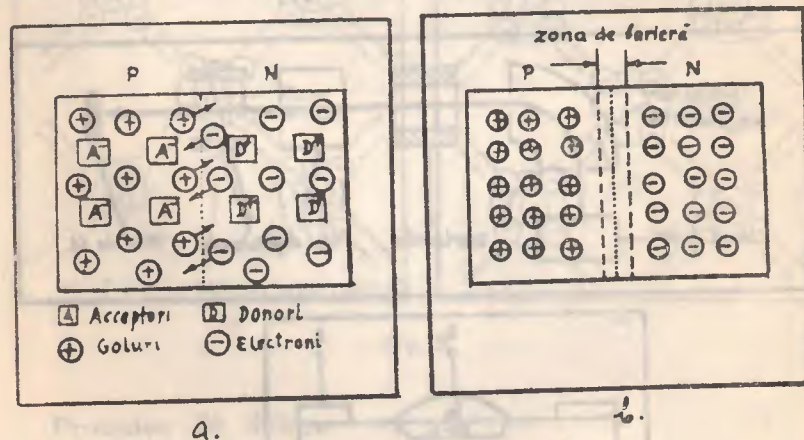
Conductibilitatea zonei „impurificate” de către donator sau acceptor depinde de concentrația gazului donator respectiv acceptor.

4. **Implantarea ionică.** Atomii încărcăți electric (ioni) ai unui gaz de impurificare sînt accelerați într-un câmp electric puternic formîndu-se un fascicol de ioni. Fascicolul este accelerat și lovește cu energie mare un disc de siliciu (paleta) ionii pătrunzînd în cristalul de Si. În procesul de implantare, poate fi controlată foarte exact atât localizarea cit și concentrația dotării (vezi fig. 4b).

Joncțiunea PN și efectul de barieră

Joncțiunile PN iau naștere la suprafața de separație dintre o zonă de tip n și o zonă de tip p ale aceluiași cristal semiconductor și se prezintă ca un strat de barieră sau de blocare.

Joncțiunea PN nepolarizată (fără tensiune aplicată)



În situația fără tensiune aplicată, golurile din zona p difuzează în zona n iar electronii din zona n difuzează în zona p. Concentrațiile diferite ale purtătorilor de sarcină din cele două zone tind să se echilibreze.

Prin plecarea unui număr de goluri din zona p, rămîn atotmi acceptori încărcăți negativ necompensați și ca urmare zona p se încarcă negativ.

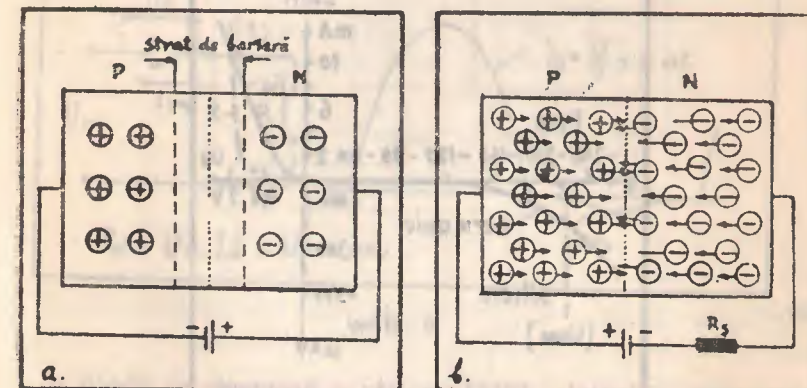
Prin pierderea unui număr de electroni, rămîn în zona

n atomi donori încărcăți pozitiv necompensați. Zona n se încarcă pozitiv. Între zona p și zona n se instalează o diferență de potențial, apare deci o tensiune (=tensiunea de difuzie) și transferul de purtători de sarcină se încheie. Trecerea de la zona p la zona n se prezintă ca un strat foarte sărăcit de purtători de sarcină, de rezistivitate mare, un strat de barieră între cele două zone.

Joncțiunea PN polarizată

Aplicînd o tensiune continuă cu plusul la zona n și minusul la zona p stratul de barieră se lărgeste. Electronii sînt atrași de plus iar golurile de minus, stratul de barieră pierde aproape toți purtătorii de sarcină. Avem starea de blocare a joncțiunii stare în care joncțiunea nu este conductivă (vezi fig. 6a.).

Polarizarea directă sau de conducție are loc atunci cînd polul pozitiv al tensiunii continue se aplică la zona p, iar polul negativ la zona n. Stratul de barieră dispăre la depășirea tensiunii de prag : 0,15—0,2V la Ge și 0,55—0,6V la Si. Purtătorii de sarcină inundă joncțiunea. Curentul poate curge prin joncțiune (vezi fig. 6b.) de la anod spre catod.



3.2. DIODA REDRESOARE

Dioda este dispozitivul semiconductor cu o joncțiune pn. Rezistența electrică a diodei este mică în sensul de conducție

(de la anod la catod) și foarte mare în stare de blocare (dela catod la anod).

Aplicând diodei o tensiune continuă U_d în sens de conducție, dioda se deschide doar dacă U_d depășește **tensiunea de prag** sau de **deschidere** egală cu tensiunea de difuzie (cca. 0,15—0,2V la Ge și 0,55—0,6V la Si). Dacă tensiunea directă depășește acest prag, curentul prin circuit crește parabolic pînă la valori limitate de către rezistența circuitului electric (fig. 6b).

În sensul de blocare, teoretic, curentul este nul; practic, din cauza imperfecțiunii semiconductorului există chiar și la tensiuni inverse mici un **curent invers** de $10^4...10^7$ ori mai mic decît curentul de conducție directă.

Curentul invers sau rezidual este inerent pentru nivelul de puritate tehnic uzual al materialelor semiconductoare. În zona p tot există ceva electroni (purători minoritari) iar în zona n o cantitate infimă de goluri (tot purători minoritari), care se recombina traversînd joncțiunea și crează noi perechi de purători în punctele de dotare (impurificare)

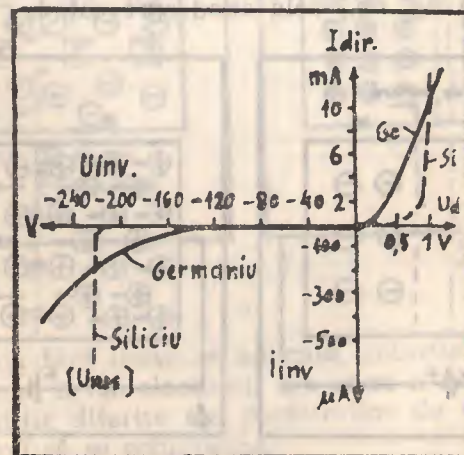


Fig. 7

a cristalului. Curentul invers este mare la diodele cu Ge și foarte mic în diodele cu Si și crește foarte repede cu

temperatura care stimulează formarea purtătorilor de sarcină.

În figura 7 se arată principalele diferențe calitative ale caracteristicii directe și inverse la diodele cu Si și Ge: la Siliciu caracteristici „nete“, mai abrupte atît în conducție directă cît și în stare de blocare, iar la Germaniu căderi mai mici de tensiune în conducție directă la curenți mici, dar curenți inversi mari care reflectă atît imperfecțiunea materialului cît și dificultățile tehnologice de a asigura „rezistența“ la tensiuni inverse mai mari. Depășind tensiunea inversă U_{RM} curentul invers crește brusc, în avalanșă. Dacă în circuitul exterior nu are cine să limiteze curentul prin diodă aceasta se distruge aproape instantaneu: este fenomenul străpunerii.

Aplicînd unui circuit cu diodă redresoare o tensiune alternativă sinusoidală, prin diodă va curge curent în timpul alternanței pozitive, curentul fiind determinat de tensiune și de rezistența circuitului. În timpul alternanței negative va curge prin diodă un curent invers, proporțional doar cu tensiunea, așa cum se arată în fig 8.

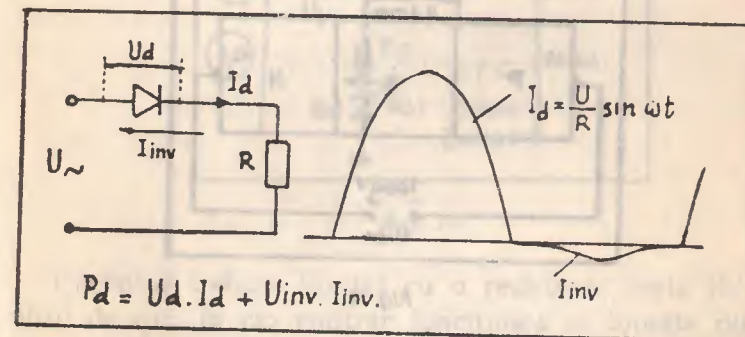


Fig. 8

În diodă se dezvoltă o putere $U_d I_d$ datorită curentului direct, dar și o putere datorită curentului invers prin diodă în timpul alternanței negative (la diodele cu Ge și Seleniu puterea $U_{inv} I_{inv}$ devine importantă). Puterea dezvoltată în joncțiune o încălzește ceea ce determină creșterea curentului invers.

● La comutarea unei diode din starea de conducție în starea de blocare intervine o anumită întârziere deoarece evacuarea purtătorilor de sarcină din joncțiune necesită un anumit timp. La diode redresoare obișnuite timpul de comutare este de ordinul a 2 msec ($2 \cdot 10^{-3}$ sec); la diode rapide pentru comutație timpul acesta poate fi redus la 10^{-9} sec (1 nsec).

Diode pentru tensiuni foarte mari

Aceste diode se realizează prin difuzie, astfel încât între zona p și zona n, în regiunea joncțiunii se lasă o zonă i (de conductibilitate intrinsecă), groasă de cca. 0,15—0,2mm în care cristalul este nedotat. Astfel în situația de blocare, stratul de barieră beneficiază de această regiune total lipsită de purtători care se comportă ca un izolator. La polarizare directă zona i este invadată ușor de ambele părți cu purtători de sarcină. Tehnologia P—i—N cu dublă difuzie face posibilă

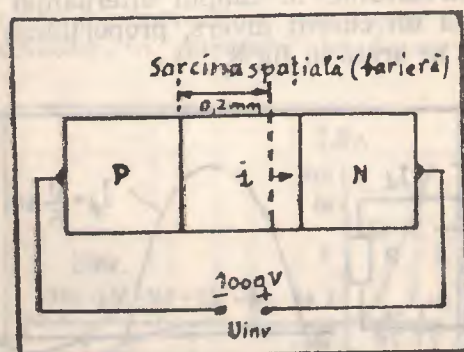


Fig. 9

fabricarea diodelor cu Siliciu, pentru $U_{inv} = 1500 \dots 3000V$ și curent redresat pînă la 500 sau chiar 1000A.

Dioda Zener

La dioda Zener, caracteristica de conducție în polarizare directă, adică cu plusul pe anod și minusul pe catod, este identică cu a oricărei diode redresoare. Aplicînd însă plusul pe catod și minusul pe anod și crescînd încet tensiunea, la un

moment dat — caracteristic pentru fiecare diodă — curentul crește brusc, dioda pare că intră în străpungere. Are loc conducția inversă în avalanșă, curentul crește abrupt. Conducția în avalanșă se datorește desprinderii electronilor din rețeaua cristalină la cîmpuri electrice mari sau/și datorită ciocnirii electronilor cu energie mare (electroni rapizi) care provoacă ionizarea prin șoc cînd în avalanșă purtătorii de sarcină se înmulțesc extraordinar. Preponderența celor două cauze și tensiunea Zener depinde de gradul de dotare al zonelor p și n ale joncțiunii. Caracteristica unei diode Zener de 6 V este arătată în fig. 10.

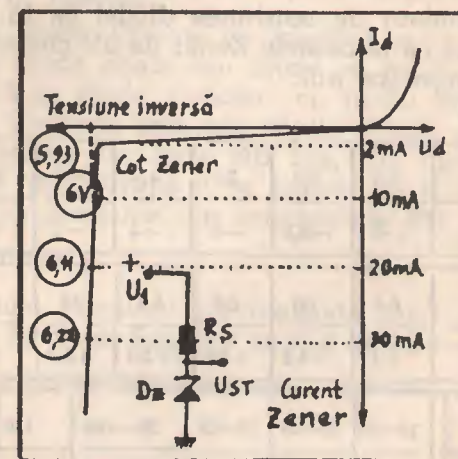


Fig. 10

Curentul trebuie limitat cu o rezistență serie R_s în circuitul de c.c., în caz contrar joncțiunea se topește din cauza efectului Joule. Se fabrică diode Zener pentru tensiuni cuprinse între cca. 3V și 200V și puteri de ordinul a 0,25W pînă la 75W, ca de exemplu seriile IPRS :

DZ2V7....DZ15 ($U_Z = 2,7V \dots 15V$) $P_d = 300mW$ la $T_a = 25^\circ C$.

PL3V3Z....PL200Z cu $P_d = 1W$ la $T_a = 45^\circ C$.

10DZ6V8...10DZ180 cu $P_d = 10W$ la $T_{corp} = 75^\circ C$.

20DZ6V8....20DZ180 cu $P_d=20W$ la $T_{corp}=75^\circ C$.
sau seriile străine :

ZL sau ZX3,9....ZX 200 cu $P_d=12,5W$ la $T_a=45^\circ C$ (ITT).

BZY93C7V5...C75 ($U_Z=7,5V....75V$) $P_d=20W$ la $T_a=75^\circ C$ (Philips).

BZY91C10...C75 ($U_Z=10V...75V$ $P_d=75W$ la $T_a=65^\circ C$ (Philips).

Diodele Zener au un coeficient de temperatură important: tensiunea Zener crește proporțional cu temperatura joncțiunii (T_j). Se admite $T_j \max = +150^\circ C$. Coeficientul de temperatură este însă dependent de tensiunea diodei ca în tabelul 1, din care se remarcă că la diodele Zener de 5V coeficientul de temperatură este aproape nul.

Tabelul 1

U_Z (V)	3,3	3,6	3,9	4,3	4,7	5,1	5,6	6,2
$\alpha_Z \cdot 10^{-4}/^\circ C$	-6	-5,5	-5	-4	-2	+1	+2,5	+3,2

U_Z (V)	6,8	7,5	8,2	9,1	10	11	12-13	15-16
$\alpha_Z \cdot 10^{-4}/^\circ C$	+4	+4,5	+4,8	+5,1	+5,5	+6	+6,5	+7

U_Z (V)	18-20	22-24	27-36	39-100	100-180	200
$\alpha_Z \cdot 10^{-4}/^\circ C$	+7,5	+8	+8,5	+9	+9,5	+10

Aceasta înseamnă că pentru stabilizatoare de tensiune foarte bune trebuie utilizate diode PL5V1Z.

Utilizarea diodelor: stabilizatoare de tensiune, limitatoare de impulsuri sau semnale.

Dioda varicap

Stratul de barieră al diodei varicap se comportă ca un dielectric iar dioda blocată ca o capacitate. Măsurînd tensiunea inversă U_R bariera se lărgeste, „armăturile” capacității se

depărtează iar capacitatea scade. Analogia este valabilă cu mențiunea că legea de variație a capacității nu este liniară ci aproximativ parabolică, exprimată de formula :

$$C = C_{3V} \left(\frac{3V + U_D}{U_R + U_D} \right)^n \text{ în care :}$$

U_D — este tensiunea de difuzie (0,7V)

„3V” este tensiunea de 3V la care se măsoară capacitatea C ($U_{inv}=3V$).

U_R — tensiunea inversă aplicată diodei.

n — exponentul funcției

$n=0,33$ la diode difuzate cu joncțiunea pn liniară.

$n=0,50$ la diode aliate sau diode cu profil abrupt.

$n=0,75...0,9$ la diode varicap cu profil hiperabrupt cu joncțiunea pn, realizată prin mai multe difuzii succesive.

Diodele varicap din seria BB 109, BB 139, BB 125, BB 126 sînt de tip hiperabrupt și se folosesc pe scară largă în acordul circuitelor oscilante din selectoarele FIF și UIF.

Dioda Schottky

În locul unei joncțiuni pn realizată între două zone de semiconductor, la dioda Schotky stratul de barieră este format

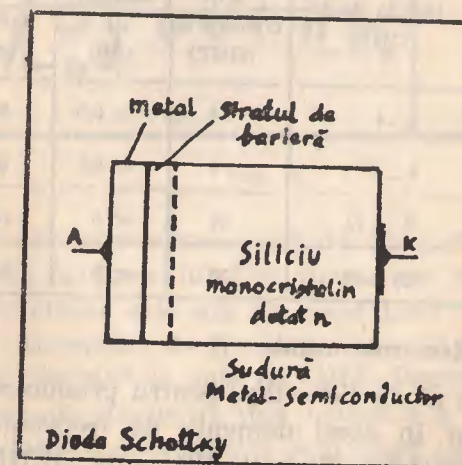


Fig. 11

de contactul dintre o zonă metalică și o zonă semiconductoră. Nivelele diferite de energie pentru extragerea electronilor la semiconductor și la metal, fac să apară o zonă subțire vecină cu metalul, lipsită (sărăcită) de purtători de sarcină, (vezi fig. 11).

Spre deosebire de diodele cu joncțiune pn, trecerea de la starea de conducție la starea de blocare în timpul comutării se face practic fără inerție și de aceea diodele Schottky se folosesc pentru redresarea (dectecția) tensiunilor de frecvență supraînaltă (de ordinul GHz sau zecilor de GHz), adică în domeniul microundelor și comutare suprarapidă. Contactul fără barieră dintre semiconductor și armătură se poate asigura numai la combinații anumite metal-semiconductor. În sens direct, deschiderea diodei Schottky (DS) are loc la 350—400mV când curge un curent de 1mA; pentru a forța un curent de 15—30mA este necesară deschiderea diodei cu cca. 1V. În sens invers, tensiunea uzuală de străpungere este de ordinul a 40—70V. Capacitatea diodei la $U=0$ este de 2—5pF. Tipuri de diode Schottky: SD1002...1006; SD3002...3006 (Siemens), BAT14, etc. Câteva date tehnice ale unor diode Schottky, în tabelul 2.

Tabelul 2

Tip	Banda de f (GHz)	f de măsură (GHz)	Zgomot F (dB)	Cap. barierei (pF)	Ud la 10mA (V)
BAT14C—S	2...4	4	< 5,5	0,15	0,55
BAT14CA—B	4...8	7	< 5,5	0,08	0,60
BAT14BA—X	8...12	11	< 6	0,06	0,65
BAT14A—Ka	26...40	36	< 9	0,05	0,65

Diode pentru microunde

În afară de dioda Schottky, pentru producerea și amplificarea oscilațiilor în acest domeniu de frecvențe se folosesc diode Tunel, IMPATT, Trapatt, Elemente GUNN, Varactoare și diode PIN.

Dioda Tunel (Esaki). Este o diodă formată dintr-o plăcuță de Ge de tip n puternic dotat cu arsen și fosfor, pe care se aliază o bilă de indiu de tip n foarte puternic dotată cu circa 0,50% galiu și cca. 0,5% staniu (cositor). Rezultă o joncțiune abruptă foarte subțire (grosime de cca. 0,01 μm). Efectul „tunel” se plasează în domeniul mecanicii cuantice. În esență, electronii de valență din zona p pot ajunge în banda de conducție a zonei n și viceversa cu toate că energia lor este insuficientă pentru a învinge mica diferență de potențial a joncțiunii pn de acest tip. Practic, electronii străbat joncțiunea aproximativ cu viteza luminii. Ca urmare a acestei vi-

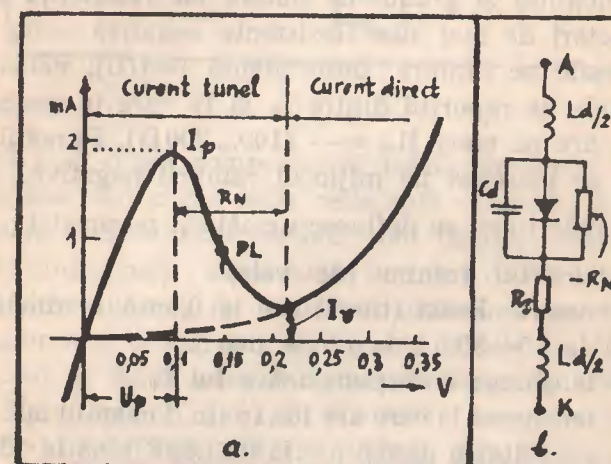


Fig. 12

teze neobișnuite pentru procesele de conducție din interiorul corpului solid, în domeniul UIF timpul de tranzit al electronilor prin joncțiune este atât de scurt încât nici nu intră în considerație. Domeniul de frecvență în care diodele tunel pot lucra se extinde pînă la sute de GHz. Pentru a aduce dioda tunel în stare de conducție este necesară o polarizare foarte mică. Se instalează o conducție prin efect tunel chiar la tensiune foarte mică (de ordinul a 20—120mV) adică înainte de

instalarea conducției directe normale. Caracteristica electrică $I=f(U)$ a unei diode tunel cu Ge are între 0,1 și 0,2V iar la Si între 0,2 și 0,4V o zonă negativă (căzătoare), de rezistență negativă așa cum se arată în fig. 12a. Întîi curge curentul „Esaki” (tunel), apoi curentul de difuzie și la peste 0,25—0,3V curentul obișnuit de conducție directă ca la orice diodă cu Ge (neinteresant pentru dioda tunel).

Schema echivalentă a unei diode Esaki este arătată în fig. 12b și conține mărimile R , C , L , tipice oricărei diode. Inductanța depinde exclusiv de terminale; capacitatea de suprafața joncțiunii și gradul de dotare iar rezistența serie de cei trei factori de mai sus. Rezistența negativă $-R_N$ se determină grafic pe ramura descendentă $I=f(U)$; valoarea ohmică depinde de raportul dintre I_p și I_v care în general este 10 și care are ca efect $R_N = - (100 \dots 200 \Omega)$. Punctul de lucru optim se plasează pe mijlocul ramurii negative.

La diodele tunel se definesc următorii parametri:

I_v — curentul minim (de vale)

I_p — curentul Esaki (tunel) (de la 0,8mA la diodele mici pînă la 15—30mA la diode mari).

U_v — tensiunea corespunzătoare lui I_v .

U_p — tensiunea la care are loc I_p (în domeniul 50...100mV)

C_D — capacitatea diodei (de la 0,6...1pF pînă la 15—20pF)

R_s — rezistența serie (de ordinul a 1—2 Ω pînă la 3—5 Ω).

Dacă se conectează o diodă tunel polarizată corect în paralel cu un circuit oscilant de UIF, $LoCo$, rezistența sa negativă va reduce în mare măsură adică va compensa rezistența echivalentă de pierderi a circuitului oscilant precum și amortizările datorate de exemplu antenei (R_A) sau sarcinei (R_s). **Această situație înseamnă amplificare** deoarece creșterea factorului de calitate Q , și deci a rezistenței de rezonanță R_o a circuitului oscilant, înseamnă practic creșterea proporțională a tensiunii de UIF la bornele circuitului și deci la ieșirea etajului.

$U_{ieș.}$ va fi mai mare decît U_{in} rezultînd deci un efect de amplificare.

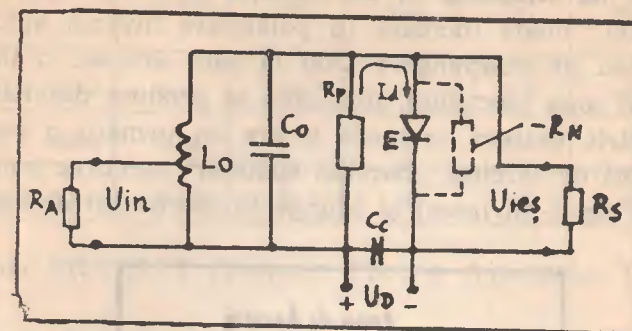


Fig. 13

Dacă însă dioda compensează totatî pierderile, adică dacă $-R_N$ este mai mare decît rezistența echivalentă paralelă de pierderi a circuitului oscilant, iau naștere oscilații neamortizate sinusoidale; dioda tunel lucrează ca oscilator de UIF. Datorită timpului mic de tranzit și îngustimii barierei, factorul de zgomot al diodei este neobișnuit de mic. Se dau mai jos unele tipuri de diode tunel fabricate de Siemens: AEY30 ($I_p = 1,6mA$; $U_p = 75mV$; $C_D = 1pF$; $R_s = 6\Omega$) A=germaniu; E=Esaki; TU=tunel. TU205, TU210, TU301, 302, TU305, 310, 320; TU 410/10 [10mA, 100mV, 3pF; 3 Ω].

● Dioda tunel se fabrică greu (reproductibilitatea este dificilă) și este deci scumpă. De aceea în radioelectronica de larg consum diodele tunel nu se folosesc. Ele sînt rezervate aplicațiilor profesionale: amplificatoare SIF cu zgomot mic, oscilatoare în instalații de recepție din domeniul gigaherzilor, comutatoare suprarapide, mixere în SIF.

Dioda IMPATT

Numele reprezintă inițialele cuvintelor Impact Ionisation Avalanche, Transit Time) care exprimă succint procesele

din diodă, principalul element fiind timpul de tranzit prin joncțiune a purtătorilor de sarcină în sens invers, adică în situație de străpungere. La situația de străpungere se ajunge astfel: dioda lucrează în polarizare inversă aplicându-se tensiunea de străpungere U_{op} la care are loc o ionizare prin șoc în zona joncțiunii. Ionizarea se produce datorită câmpului electric extrem de mare și are ca urmare o avalanșă de purtători de sarcină. „Sarcina spațială” parcurge zona slab dotată (de tip i-intrinsec) și ajunge la electrodul de recepție.

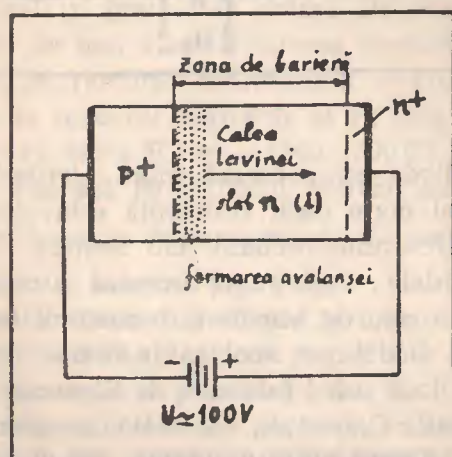


Fig. 14

Străbarea zonei i durează un anumit timp, timpul de tranzit, care depinde de lungimea (grosimea) zonei i. Prin „acordarea” timpului de tranzit cu frecvența unui rezonator, se pot obține oscilații în domeniul de frecvență între 3 și 300 GHz, cu puteri mari de impuls.

Diodele IMPATT se folosesc în amplificatoarele și oscilatoarele pentru domeniul microundelor. Din catalogul Siemens pe 1978—79 se menționează unele tipuri de diode în tabelul 3.

Tabelul 3

Tip	F (GHz)	P_{ies} (W)	η (%)	U_{op} (V)	I_{op} (mA)
BGY-23EA	6—7	0,5	5	175	45
BGY-29EA	6—8	1	9	175	60
BGY-29EB	6—8	2	10	180	110

Dioda TRAPATT (Trapped Plasma Avalanche Triggered Transit).

Este o diodă de tip Impatt care funcționează la câmpuri electrice extrem de mari. Cu un circuit exterior adecvat, domeniul de ionizare se extinde în întreaga zonă a barierei, luând naștere o plasmă a purtătorilor de sarcină. Dioda Trapatt se utilizează în emițătoare de impulsuri la frecvențe de domeniul microundelor (comunicații prin sateliți).

Elementul GUNN

Structura constructivă este sugerată de fig. 15 în care se vede că de fapt nu avem de a face cu o diodă (cu o joncțiune pn) ci cu un semiconductor de tip n format din cristal de arseniură de galiu (GaAs). La aplicarea unei tensiuni crescătoare, viteza electronilor din rețeaua cristalină crește. La o anumită valoare a câmpului electric, valoare critică și precisă, viteza electronilor începe a scădea din cauza creșterii dependenței lor de rețeaua cristalină. Câmpul electric critic nu apare în toată masa semiconductorului ci într-o zonă (domeniu) foarte îngust care migrează prin cristal. Apariția domeniului de „câmp înalt”, deplasarea domeniului și dispariția domeniului are caracterul unui proces ciclic-periodic care se exploatează pentru a produce oscilații. În fig. 15 se arată schematic structura elementului GUNN. Elementul prezintă

o rezistență negativă la borne, comportându-se ca o diodă tunel, dacă tensiunea aplicată la borne depășește U_{th} de cca. 2—4V.

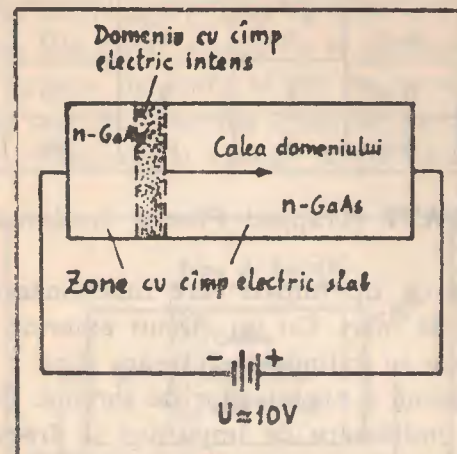


Fig. 15

Utilizarea acestui tip de dispozitiv semiconductor apărut în anii 1965—1970 se extinde mai ales la oscilatoarele de microunde. În tabelul 4 se dau parametrii unor elemente GUNN (Siemens).

Tabelul 4

Tip	f (GHZ)	P_{ies} (mW)	U_{inv} (V)	I_{inv} (mA)	U_{th} (V)	η (%)
GAO10—C—1A	7	10	10	80	3,8	1
GAOZO—F—1B	11	20	6	220	2,5	1,5
GAO50—I—1C	15	50	5	380	2,0	2,5

Dioda PIN

La diodele PIN caracteristică este prezența unui strat foarte slab dotat deci de mare rezistivitate între zona p^+ și zona n^+ a joncțiunii. Această zonă slab dotată este aproape identică în comportament cu un semiconductor nedotat (zonă intrinsecă i) fiind totuși de tip n, așa cum se arată în fig 16a.

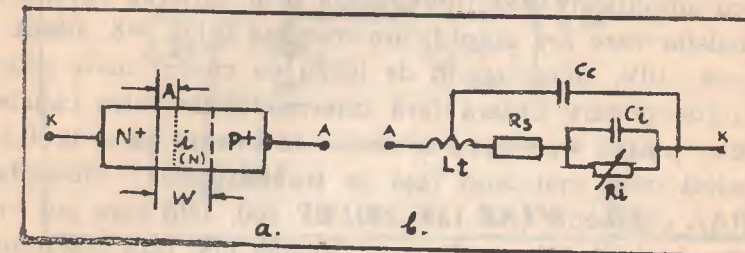


Fig. 16

Grosimea A a stratului de barieră depinde de tensiunea inversă aplicată diodei putînd atinge grosimea W a zonei i cînd $U_{inv}=30V$. Stratul W reprezintă dielectricul unui condensator de capacitate foarte mică chiar cînd dioda este blocată cu o tensiune inversă mică. Zona i poate fi inundată de purtători de sarcină de ambele polarități. La polarizare directă în c.c. rezistența de conducție se reduce pînă la valori de ordinul a $0,5\Omega$ în c.c. Pe această bază se produc diodele de comutare (nu comutație!!) BA182, BA243, BA244 utilizate la comutarea benzilor în selector. Diodele PIN au o particularitate importantă: durata de viață a purtătorilor de sarcină este atît de mare încît dioda PIN pierde proprietatea de a redresa (de a urmări variația tensiunii aplicate). La înaltă frecvență (peste 30MHZ) perioada este mult mai mică decît timpul de viață al purtătorilor astfel că dioda devine un atenuator a cărui rezistență de conducție poate fi variată cu ajutorul curentului continuu ce străbate dioda, în limite foarte largi (de la $4-5\Omega$ la $4-5K\Omega$). Schema echivalentă a diodei PIN este arătată în fig. 16b.

Dioda PIN BA379 destinată folosirii ca atenuator de FIF sau UIF la selectoarele de canale prezintă o atenuare mai mică de 1dB în stare de conducție putînd prezenta o atenuare de 30—35 dB în stare de nepolarizare sau polarizare mică.

În fig. 17, se arată schema atenuatorului cu diode PIN amplasat în fața amplificatorului de RF dintr-un selector de canale FIF—UIF. Tranzistorul de RF este de fabricație specială, cu amplificare fixă (nereglabilă prin varierea curentului în tranzistor care are amplificare maximă la $I_c = 8...10\text{mA}$ și $U_{CE} = 8—10\text{V}$. Acest regim de lucru cu curent mare asigură o funcționare liniară fără intermodulație între canalele alăturate, putînd prelucra semnale de intrare pînă la 0,2—0,5V adică mult mai mult față de tranzistoarele comandate prin RAA cunoscute (AF 139, 239, BF 200, 180) care pot prelucra tensiuni de intrare de max. 15—50 mV fără distorsiuni de intermodulație. În schema din fig. 17 se folosesc 3 diode PIN de tipul BA 379 conectate în π . Dioda D1 asigură adaptarea impedanței de intrare în situația de semnal mic, în timp ce D2 și D3 acționează ca divizor de tensiune de înaltă frecvență. Sistemul funcționează astfel:

a) la semnal mic tensiunea de RAA obținută de la un etaj de c.c. cu tranzistor acționat de tensiunea de RAA din TDA440 este de +16V, astfel că D2 conduce cca. 12mA, iar D1 și D3 sînt blocate de căderea de tensiune ce apare pe R2 datorită curgerii curentului prin D2. Tranzistorul de RF primește semnalul neatenuat.

b) la semnal maxim (200—500mV), tensiunea de RAA scade la zero și face ca D1 și D3 să conducă iar D2 să fie blocată din cauza curentului mai mic (cauzat de R1) ce curge acum prin R2. D2 fiind blocată atenuarea serie a diodei PIN este mare deoarece rezistența internă R_i este de cîțiva $K\Omega$. La semnale cuprinse între 1mV și 100mV atenuarea D2 este variabilă și depinde de rezistența spre a masă a diodelor D1 și D3 care intră treptat în conducție.

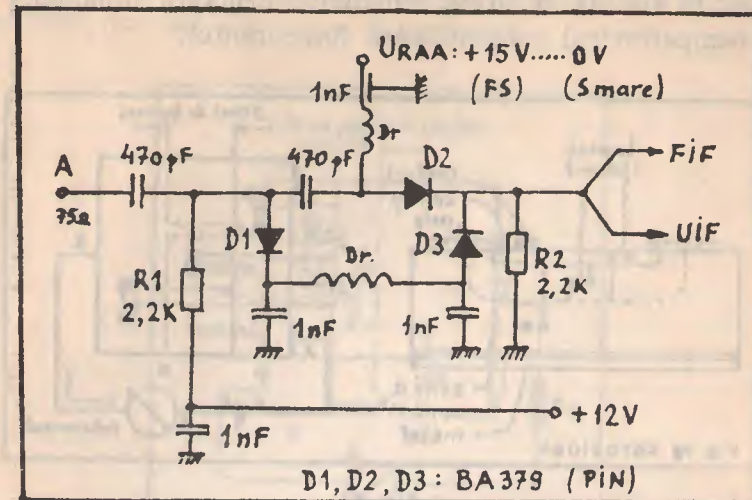


Fig. 17

Dispozitive semiconductoare fotosensibile

În această categorie de dispozitive intră:

- fotodioda
- fotoelementul
- fototranzistorul
- diodele luminescente (LED).

Toate aceste dispozitive transformă semnalele luminoase în semnale electrice de curent și tensiune iar unele (LED) transformă energia electrică direct în lumină.

1. Fotodiodele

Fotodioda are o joncțiune pn cu o deschidere pe zona p și lucrează polarizată în sens de blocare. Pătrunderea luminei prin zona p la zona n imprimă energie suficientă atomilor din rețea și provoacă eliberarea de purtători suplimentari liberi, electroni și goluri, care măresc curentul invers ce străbate joncțiunea, direct proporțional cu intensitatea fascicolului lu-

minos. În fig. 18 se arată schematic structura fotodiodei și microampermetrul care măsoară fotocurentul.

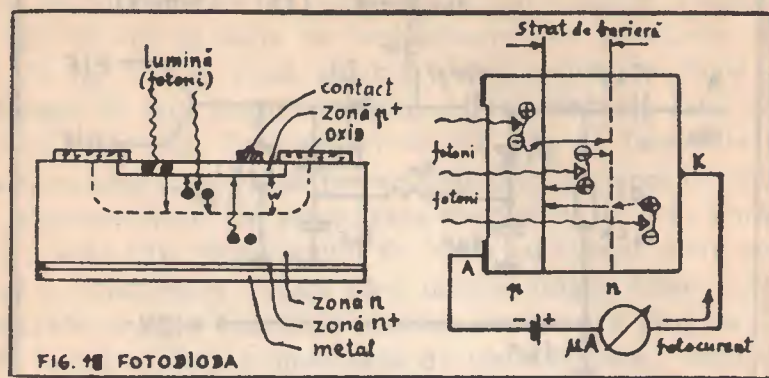


Fig. 18

Fotodiodele uzuale : cu Ge, DF1, DF2, DF3 (IPRS) cu $U_D = 20V$, $I_D = 4mA$, $P_D = 30mW$ și pantă de variație a curentului de cca. $50mA/lumen$ ($S=50mA/Lm$). Fotodiodele : cu Si : BPW 12, 20, 31, 34 (Telefunken) BPX 60, 61, 66, 90, 91, BPW 32, 33, 34, BPY 12 (Siemens) BPW 34, BPX 40, 41, 42, BPX 94 (Philips).

Utilizări : măsurarea cantitativă a gradului de iluminare, în sisteme de protecție, comanda programată a mașinilor unelte, poziționări, în tehnologia semiconductoarelor, comanda la distanță cu raze infraroșii, transmiterea sunetului în infraroșu, sesizarea prezenței oricărui semnal luminos de frecvență înaltă.

2. Fotoelemente (celule solare)

Ca și la fotodiodă lumina creează o cantitate enormă de purtători de sarcină. Spre deosebire de fotodiodă, fotoelementul nu este alimentat (polarizat) ci produce o tensiune la borne de cca. $0,5V$. Lumina eliberează în zona p un număr

mare de goluri care tind și se apropie de stratul de barieră al joncțiunii, tot așa din zona n electronii.

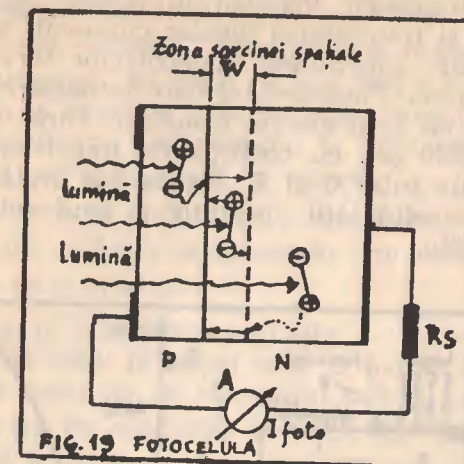


Fig. 19

Cîmpul electric intern din stratul de barieră separă bine zona n de zona p. Ca urmare, la bornele fotoelementului apare fototensiunea de $0,5V$ care livrează în circuitul exterior un fotocurent. Curentul este proporționat cu suprafața celei ($25mA/cm^2$) și intensitatea iluminării solare, putînd ajunge la $0,65A$ la celulele mari cu suprafața de cca. $25 cm^2$. Astfel energia luminii solare este transformată direct în energie electrică cu un randament ce depășește 11% (pînă la $16-17\%$).

Utilizări : fotoelemente mari de exemplu BPX46A (Philips) cu $\varnothing 57 mm$ livrează $0,45V$ cu $0,67A$ iar sistemul BPX 47A ($470 \times 365 mm$) cu 34 celule poate debita $15V$ în sarcină de $0,75A$. Fotoelementele mici se folosesc pentru măsurarea sau sesizarea luminii, de exemplu BPW35, BPY70 (Telefunken), BP100, BPY11, 43, 44, 45, 47, 48, 63, 64 BPX79 (Siemens).

3. Fototranzistorul

Este un tranzistor care se comportă ca o fotodiodă însoțită de un tranzistor înglobat în același dispozitiv. Fototranzistorul ca și tranzistorul bipolar cunoscut, are două joncțiuni: BC și BE. Joncțiunea bază-colector servește ca diodă sensibilă la lumină. Fotocurentul care ia naștere în jBC curge și prin emitor, iar prin efectul tranzistor curentul este amplificat de 100—500 ori, cu condiția ca tranzistorul să fie alimentat cel puțin între C și E. Figura 20a arată structura și caracteristica sensibilității spectrale a unui fototranzistor obișnuit (fig. 20b).

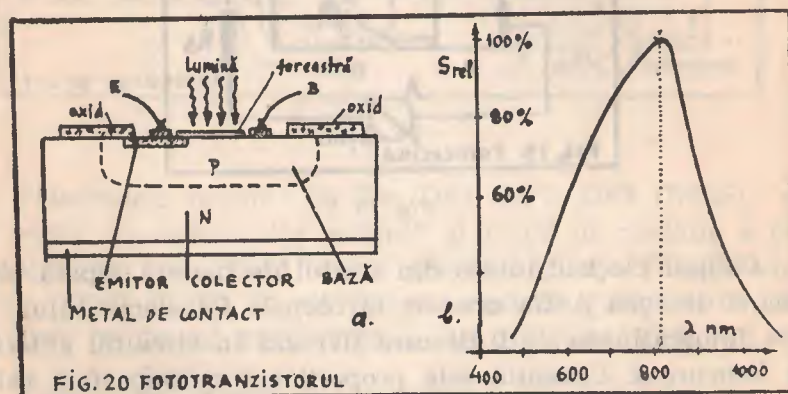


Fig 20

Fototranzistorul se utilizează ca receptor fotoelectric în schema cu EM în: măsurarea luminei, circuite și sisteme de reglare funcție de iluminare, citirea cartelor perforate sau a benzilor perforate în automatizări și calculatoare, sisteme de cuplare optoelectronice.

Fototranzistoare uzuale: BPW13, BPW14, 16, 17, 39, 40 (Telefunken), BP101, 102; BPX38, 43, 81; BPY61, 62; BPW22, BPX22, BPX25, 29, 70, 71, 72; BPX95 (Philips). Fototranzistoarele au o ferăstruică pentru pătrunderea luminei de cca. 0,4x0,4 mm, pînă la 0,85x0,85 mm la BPX38. Unele din fototranzistoare au numai două terminale: C și E, baza ne-

fiind scoasă în exterior; la acestea baza este polarizată chiar de fotocurent. Majoritatea fototranzistoarelor sînt de tip NPN și au următoarele date tehnice: $U_{CEO} = 30-40V$; $I_{CM} = 25-100mA$; $P_d = 50-300mW$. Funcționarea optimă are loc la o lumină cu lungimea de undă de cca. 800 nm, iar „sensibilitatea” optică se exprimă prin variația curentului de colector funcție de iluminare. De exemplu la fototranzistorul BPW22, aplicînd $U_{CE} = 5V$ curentul de colector are o pantă de cca. $5,7 \mu A/lux$. Curentul maxim prin tranzistor (pe traseul CE) este de cca. $0,1-0,5 \mu A$ la întuneric (are caracterul unui curent rezidual ca și I_{CBO}).

● Există și fototiristoare (Light — activated switch) ca de exemplu BPX66P (Philips) care în loc să fie comandat cu un impuls de tensiune pe electrodul poartă este amorsat adică adus în stare de conducție de către un fascicol de lumină, de o anumită intensitate și cu $\lambda \approx 800 \text{ nm}$.

4. Diode luminescente (LED—Light emitting diode).

Sînt diode care transformă energia electrică de nivele mici în lumină, ceea ce fizical înseamnă procesul invers al

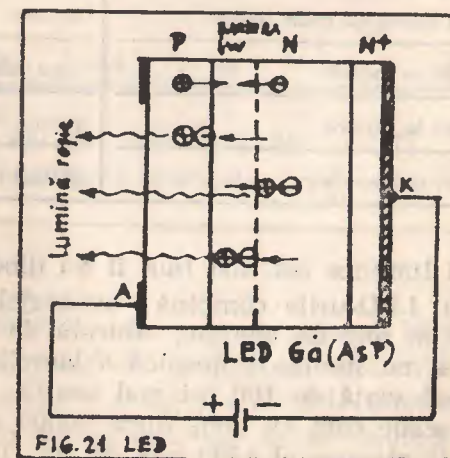


Fig. 21

efectului fotoelectric. Practic, la aplicarea unei tensiuni mici în sensul de conducție al diodei, purtătorii minoritari: electronii liberi și golurile stăbat joncțiunea și se recombina emițind lumină. Așa cum arată fig. 21, dioda LED se compune dintr-un cristal cu joncțiune pn. Electronii din zona n și golurile din zona p sînt în număr mare datorită unei dotări corespunzătoare. „și se vor recombina în timpul conducției: Prin recombinație se înțelege procesul cuantic prin care electronul liber își reocupă locul său pe orbita de valență a unui atom, reintrînd astfel în rețeaua cristalină. Energia (fotonii) care se eliberează în momentul recombinației este radiată sub formă de lumină de o anumită culoare, de fapt o radiație electromagnetică de o anumită frecvență. Culoarea luminei depinde de natura cristalului și de gradul de dotare așa cum se arată în tabelul 5.

Tabelul 5

Natura cristalului	Culoarea
GaAs (arseniură de galiu)	infraroșu
GaAsP (arseniură de galiu) cu puțin fosfor	roșu
GaAsP (arseniură de galiu) cu mai mult fosfor	portocaliu
GaAsP (arseniură de galiu) cu mult fosfor	galben
GaP cu zinc și dotare cu oxigen	roșu (650 nm)
GaP cu adaos de azot la dotare	verde
GaP cu adaos de azot și arseniu	galben

Randamentul luminos cel mai bun îl au diodele de roșu ($\lambda = 650 \pm 15$ nm). LED-urile combină avantajele semiconductoarelor (consum mic de energie, durată de viață lungă, fiabilitate ridicată) cu lumina puternică a lămpilor incandescente, care au însă viață de 100 ori mai scurtă. În timp, luminescența LED scade cam cu 20% după 20000 ore de funcționare. Timpul de răspuns al LED este de cca. 10—100ns (de 10^5 ori mai rapid decît la becuri). Nu sînt sensibile la șocuri

meccanice. Diodele LED au o răspîndire largă pentru afișare și semnalizare la calculatoare electronice, aparatură de măsură. La televizoare afișarea canalului recepționat se face tot cu diode LED. Comanda diodelor LED se face direct prin intermediul unor circuite integrate logice.

Diodele LED se alimentează cu 1,2—1,6V și consumă 1—100mA (după tip, mărime și intensitate luminoasă).

În ultimii 2—3 ani gabaritul diodelor luminescente s-a redus la extrem: se fabrică șiruri de diode la pas de 1/20 țol (1,25 mm) sau 1/10 țol (2,54 mm) pentru panouri ecran de afișare (denumire engl. display). Aceste șiruri se pot conecta în serie la nesfîrșit și alimenta în c.c. corespunzător înserierii.

Pentru afișarea cifrelor la calculatoare mici sau la aparatura de măsură se produc grupuri de 7 diode (segmente), astfel amplasate încît iluminarea tuturor celor 7 diode să formeze semnul 8, iar prin iluminarea comutată a unora sau altora din cele 7 diode să rezulte oricare cifră de la 1 la 9 și apoi zero. Uzual, dimensiunile unui segment este acum de 7x3 mm, în care lumina unei diode face o linie de 2,5x0,7 mm. „Segmentul“ consumă curent proporțional cu numărul de diode active, între 1 și 7mA. La afișarea unui număr mare (de ex.

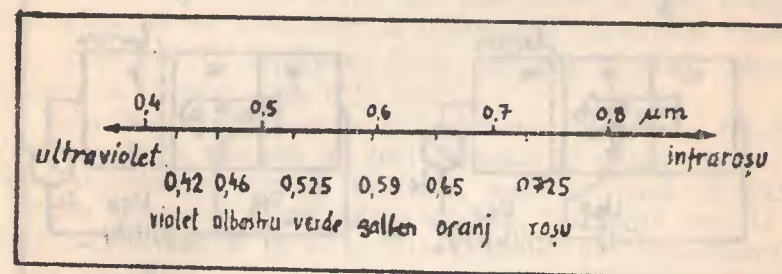


Fig. 22

8888888) consumul total este de numai 50mA !! Bineînțeles, comanda unui astfel de grup de n segmente este complicată, folosindu-se circuite integrate digitale (logice), semnal de intrare codificat binar, apoi un sistem multiplex cu memorie, decodor și procesor de ritm.

Pentru familiarizare, se dă în fig. 22 relația dintre lungimea de undă a radiației electromagnetice ($\lambda=0,4\ldots 0,8$ microni) și culoarea lumii emisă de diodele electroluminiscente.

3.3. TRANZISTORUL BIPOLAR

Tranzistorul bipolar cu germaniu sau siliciu de tip NPN sau PNP este folosit de peste 25 ani în industria radioelectronică. În cursul anilor tehnologia tranzistoarelor a evoluat treptat de la aliere, difuzie-aliere, aliere-difuzie, mesa, la tehnologia planară. Evoluția parametrilor esențiali : ampli-

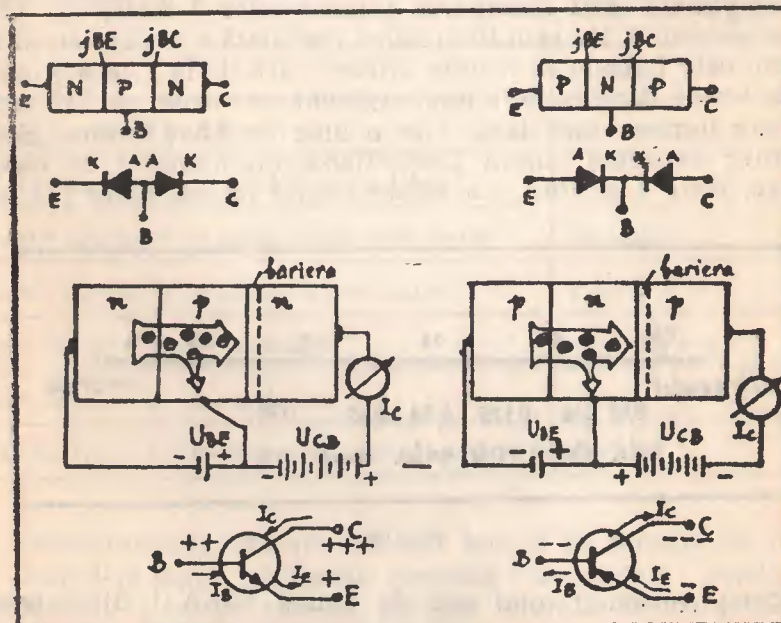


Fig. 23

ficare, tensiune putere, frecvență a ajuns la un nivel excepțional : $B=1000$, $U_{CE}=2500V$, $P_d=150W$, $f_T=5GHz$. A-

Acum, practic s-a generalizat tehnica planară care este economică și productivă. Tranzistorul bipolar în opoziție cu noile feluri de tranzistoare de exemplu cele unipolare cu efect de câmp, se folosește de purtătorii de sarcină de ambele polarități: electroni și goluri, în timp ce la tranzistoarele FET procesul de conducție are la bază fie electronii (FET cu canal n) fie golurile (FT cu canal p).

Tranzistorul bipolar fiind îndeobște cunoscut din buletinele tehnice nr. 1 și nr. 3 se vor aminti doar unele elemente necesare în practică.

Trei zone în ordine alternantă NPN sau PNP și două joncțiuni BE și BC formează tranzistorul bipolar. Se poate asemui tranzistorul cu două diode conectate în antifază așa cum se arată în fig. 23.

Efectul tranzistor apare tocmai datorită faptului că baza este comună ambelor diode : la tranzistorul NPN avem comune anodele diodelor, iar la tranzistorul PNP catodele sînt comune. Încercarea tranzistorului este simplă dacă se ține seama întotdeauna de configurația diodică a tranzistorului. Mai trebuie ținut seama că tranzistorul nu are o joncțiune BC perfectă: prin joncțiunea BC curge oricum un curent invers datorită imperfecțiunilor inerente fabricației și care este oglinda calității tranzistorului. Nu măsurarea B este esențială în practică la un tranzistor ci măsurarea curentului rezidual I_{CBO} , crescător cu tensiunea U_{CE} aplicată în mod obișnuit (+ pe C la NPN și - pe C la PNP).

Tipurile tehnologice de tranzistoare moderne fabricate prin tehnologie planară au fost descrise în detaliu în BT 1 : planar epitaxiale, simplu difuzate, epibază (bază epitaxială) și triplu difuzate. După tehnologia de fabricație rezultă calități și dezavantaje la toate cele 4 familii de tranzistoare bipolare. De pildă un tranzistor de putere cu $P_d=60W$ $U_{CEO}=200V$ și $I_C=5A$ de tip planar epitaxial nu are aceeași comportare la funcționare în impulsuri cu un tranzistor de putere de tip triplu difuzat cu aceeași parametri principali. În ultimii ani, tranzistoarele se elaborează pentru o anumite aplicație căutându-se realizarea cerințelor puse de circuitul respectiv cu minimum de cheltuială. Un exemplu este BU407 elaborat special pentru baleiaj orizontal, la care amplificarea B mică (5...15), departe de a fi un dezavantaj este o necesita-

te prin care se asigură o rezistență deosebită la efectele tranzistorii cauzate de descărcările din cinescop; în schimb BU407 nu este potrivit pentru funcția de stabilizator serie în TV cu CI (2, 5, 6) unde este necesar un B mare (50—100) pentru a nu fi necesar în postul T601 un tranzistor de medie putere. În BT. nr. 3 s-au prezentat toate tipurile și familiile de tranzistoare cu recomandările de înlocuire și utilizare.

● Tehnologia planară (PL—E).

Intrucit cele mai multe dispozitive moderne se produc prin tehnica planară pe siliciu, se vor prezenta principalele procedee: difuzia, epitaxia, oxidarea, corodarea și contactarea toare cu recomandările de înlocuire și utilizare.

1. Se pleacă de la un disc cu \varnothing 50—75 mm de siliciu n^+ monocristalin cu grosimea de cca. 0,3 mm.
2. Epitaxia: creșterea unui strat de Si de tip n cu grosimea de cca. $10\ \mu\text{m}$ care va fi colectorul.
3. Prima oxidare:
Producerea unui strat de bioxid de siliciu (SiO_2) gros de cca. $2\ \mu\text{m}$.
4. Corodarea ferestrelor necesare în stratul de oxid, marcate cu ajutorul unor măști fotolitografice.
5. Difuzarea bazei:
Atomii de bor difuzează prin ferestre în cristal și formează stratul de tip p al bazei.
6. A doua oxidare + a doua corodare
Suprafața discului este din nou oxidată și apoi corodate ferestre mai mici pentru difuzarea emitorului.
7. Difuzia emitorului: atomii de fosfor difuzează prin ferestrele de emitor și formează zona de tip n a emitorului.
8. A treia oxidare/corodare/metalizare:
Suprafața este din nou oxidată; se corodează deschideri pentru contactele metalice. Toată suprafața este aluminizată prin vaporizare în vid.

9. Corodarea filmului de Al/șlefuire:
Se corodează deschiderile de contactare de pe emitor și bază. Discul este șlefuit pe spate pînă la grosimea de 0,1 mm.
10. Separarea sistemelor prin zgîrierea cu diamant a discului de Si, în 500—10000 bucăți. Contactarea prin termocompresiune la E și B. Fixarea structurii și încapsularea în plastic sau metal.

Diferite testări electrice se fac înainte de încapsulare; după închidere se face trierea (sortarea automată) asistată de calculator și marcarea. La tranzistoarele cu siliciu de AF, de FI, de RF forma bazei și emitorului nu este simplă ci sub formă de pieptene întrepătruns; prin diferite forme se realizează parametri diferiți cum ar fi: capacitatea de reacție, rezistențele de intrare și ieșire, pantă, frecvență, de tăiere, etc. Structura secționată a unui tranzistor planar-epitaxial este arătată în fig. 24

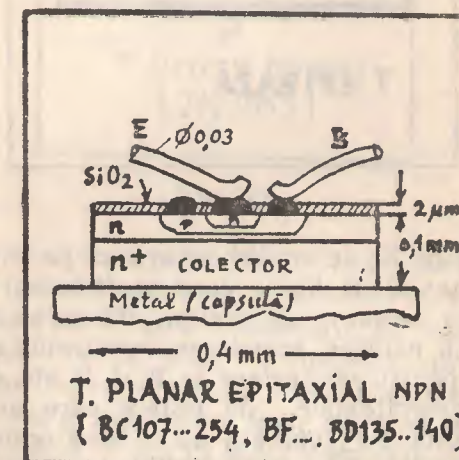


Fig. 24

La tranzistoarele planar epitaxial de putere structura poate avea pînă la $15\ \text{mm}^2$ suprafață pentru tranzistoare cu $P_d=60\text{—}75\text{W}$.

Alte trei tehnologii pentru tranzistoarele de putere vor fi prezentate pe scurt în cele ce urmează :

● Tranzistoare epibază (EB).

În fig. 25 se arată structura unui tranzistor modern realizat în tehnologia EB, folosită mai ales pentru fabricarea tranzistoarelor pereche NPN și PNP de putere și a tranzistoarelor Darlington NPN și PNP.

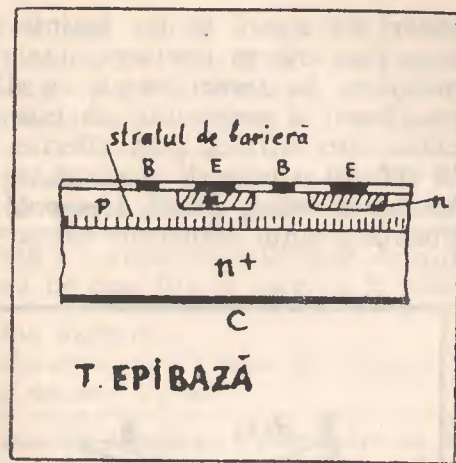


Fig. 25

Pe un disc de Si de tip n^+ se crează pe întreaga suprafață un strat epitaxial de tip p, care va fi baza. Urmează oxidarea, corodarea ferestrei de emitor, difuzarea emitorului ca zonă n^+ , a doua oxidare, corodarea ferestrelor și depunerea foliei metalice pentru contactare la E și B etc. Față de tranzistoarele planar-epitaxiale de putere care au baza foarte subțire, tranzistoarele epibază au o bază omogenă dotată, groasă și rezistentă. Emitorul și colectorul sînt astfel mai slab „cuplate” electric și termic, și ca urmare tranzistorul este mai robust mai ales la tensiuni U_{CE} mari. Bază groasă înseamnă timp de tranzit mai mare a purtătorilor de sarcină deci frecvență de tăiere nu prea mare: $f_T = 3-10\text{MHz}$. (La PL-E $f_T = 50-100\text{MHz}$). Puteri maxime: 60-90W, curenți

$I_{CM} = 5-15\text{A}$, $U_{CE} = 30-100\text{V}$. Utilizări ale tranzistoarelor EB: electronică auto, amplificatoare de AF de putere, comutator universal.

● Tranzistoare simplu difuzate (HB=homobază).

Material de bază: un disc de siliciu monocristalin de tip p. Se difuzează fosfor (simultan colectorul și emitorul) pe ambele părți ale discului cu dotare puternică de tip n^+ . Baza rămîne să fie formată chiar de zona inițială p.

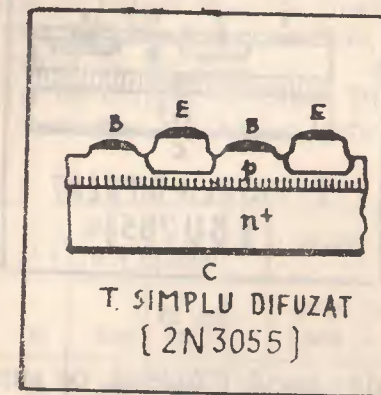


Fig. 26

Forma emitorului se definește prin mascare și corodare pînă se ajunge la zona p a bazei. Contactarea se face pe suprafețele metalice ale E și B. Colectorul se lipește de placa de bază a capsulei cu un aliaj cu coeficient mediu de dilatare (medie dintre cupru și siliciu). Baza tranzistorului simplu difuzat este cea mai groasă dintre toate tranzistoarele de putere și uniform dotată, ceea ce are ca efect frecvență de tăiere mică, 1-1,5MHz. Tranzistorul este lent dar extrem de robust: $P_d = 100-150\text{W}$. $I_{CE} = 15-20\text{A}$ $U_{CM} = 50-150\text{V}$. Utilizări: în AAF de putere mare, stabilizatoare de tensiune, convertoare de c.c./c.a., în marea majoritate a circuitelor de electronică industrială.

Reprezentanți: 2N3055, 2N3771, 3772, 3773, 2N4342, 4347

● Tranzistoare triplu difuzate (TD).

Materialul de bază : siliciu de tip n slab dotat.

Prin difuzie : fosfor pe ambele părți ale discului se produce zona n^+ ; viitorul colector este una din părți. Cealaltă parte se curăță de zona n^+ pe cale mecanică și chimică.

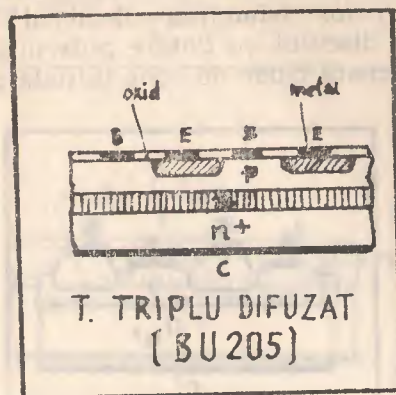


Fig. 27

A doua difuzie : borul difuzează pe suprafața curată și formează pe întreaga suprafață zona p a bazei cu grosimea de 10—15 μ m. Se oxidează, maschează și corodează fereastra de formă complexă pentru emitor.

A treia difuzie : ca la tehnologia PL—E, difuzează fosforul și formează zonele n^+ ale emitorului (puternic dotate). Spre deosebire de tranzistoarele simplu difuzate și cele de tip epi-bază, tranzistoarele triplu difuzate posedă un colector slab dotat de grosime mare (30—40 μ m), în care stratul de barieră „are loc” să se extindă atunci când tensiuni mari sînt aplicate pe colector. Tranzistoarele triplu difuzate se fabrică numai în varianta NPN și îmbină în mod excepțional principalele calități ale celorlalte trei tipuri tehnologice : frecvență limită mare (10—15 MHz), puteri mari (pînă la 200W), $I_{CM}=3—10$ A și tensiuni extreme : pînă la 2000—2500V!!, timpi de comutație de ordinul a 200—500 psec. (0,2—0,5 μ sec).

Utilizări : baleiaj orizontal în TV—AN și TV color, comutație rapidă, surse de alimentare cu Choper (pentru TV color).

Reprezentanți : BU205, BU208, BU126, 326, 426, BUY71, etc.

● Tranzistoare noi

Pentru selectoarele FIF și UIF se extind tranzistoarele de tip PNP cu siliciu la care sistemul de RAA se aplică mai ușor (fără inversor de polaritate) direct de la CI TDA440, TDA1440 sau alte CI noi de FI—VS. Unele sînt reglabile prin RAA (ca și BF200, BF180, AF109, AF239, etc.), iar altele sînt cu cîștig fix lucrînd la A_p max. cu $I=8—10$ mA iar rolul RAA este preluat de o rețea de diode PIN. În tabelul 6 se dau principalii parametri ale noilor tranzistoare PNP pentru FIF—UIF :

Tabelul 6

Tip	U_{CE} (V)	I_C (mA)	P_d (mW)	f_T (MHz)	B	F (dB) la I, f (MHz)	RAA
BF568	35	15	110	1100	60	4,5dB la 3mA, 800 2,5dB la 3mA, 200	Regl.
BF968	35	15	160	1100	60	2,5dB la 3mA, 200	Regl.
BF579	20	30	110	1600	20	2,9dB la 10mA, 200	Fix
BF979S	20	30	160	1600	20	4,8dB la 10mA, 300	Fix
BF272A	35	15	200	850	50	4,5dB la 3mA, 800	Regl.
BF479	25	50	170	1400	20	4,8dB la 10mA, 800	Fix

Pentru audiofrecvență s-au elaborat tranzistoare Darlington de mică putere, cum sînt cele prezentate în tabelul 7 și schema electrică în fig. 28 de unde se vede că BC516 și BC 517 conțin cîte o pereche de tranzistoare pe aceeași polaritate iar BC875—880 conțin în aceeași capsulă de fapt pe aceeași structură două tranzistoare, o rezistență și o diodă antiparalelă de protecție.

Tabelul 7

Tip	Pol.	U_{CEO} (V)	I_{CM} (A)	P_d (W)	f_T (MHz)	B	U_{CE} sat
BC616	PNP	30	0,4	0,6	220	> 3000	1V/0,1A
BC617	NPN	"	"	"	"	> 3000	"
BC875, 876	NPN/PNP	45	1	0,8	200	> 1000	1,3V/0,5A
BC877, 878	"	60	"	"	"	> 1000	"
BC879, 880	"	80	"	"	"	> 1000	"

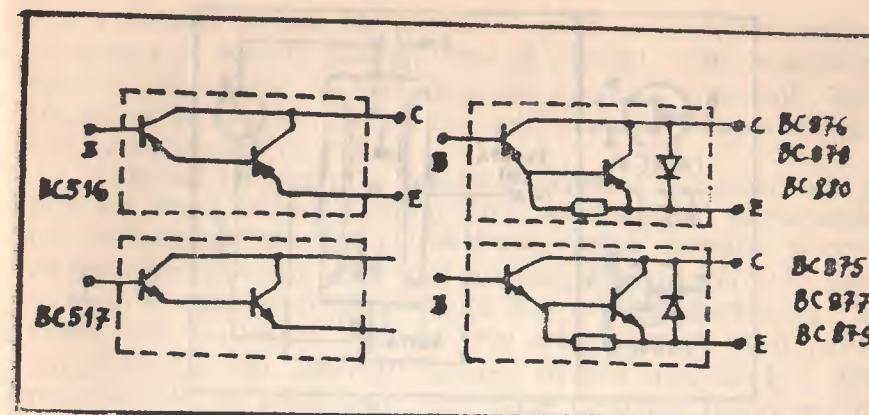


Fig. 28

Tranzistoarele Darlington mici se folosesc în AF; în electronica industrială se utilizează pentru acționarea releelor, comenzi automate, comutație etc.

☆

● Tranzistorul cu efect de câmp (TEC).

Aceste tranzistoare sînt de tip unipolar deoarece la procesul de conducție și amplificare participă numai purtători de sarcină de un singur fel: fie electroni, fie goluri. Denumirea engleză FET (field effect transistor).

Sînt două feluri de tranzistoare cu efect de câmp:

- tranzistoare FET cu joncțiuni
- tranzistoare MOS—FET (metal oxide semiconductor FET).

1. Tranzistorul FET cu joncțiuni.

Funcționarea unui tranzistor FET poate fi explicată succint urmărind simultan și fig. 29 unde se arată o secțiune simplificată în structura constructivă a acestuia:

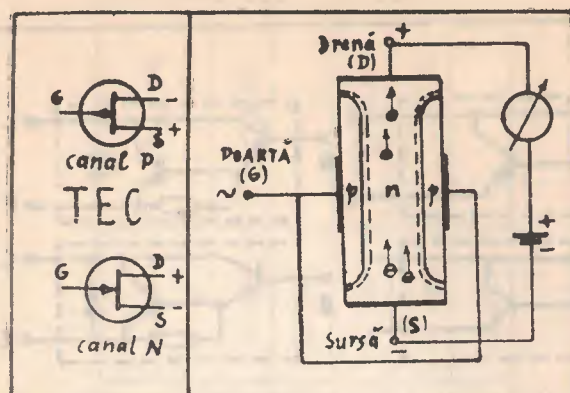


Fig. 29

La capetele metalizate prin aliere ale unui cristal mic de siliciu de tip n relativ slab dotat, se aplică o tensiune continuă de alimentare, cu plusul la drenă (D) și minusul la sursă (S). În zona n, purtătorii de sarcină sînt electronii care sub influența cîmpului electric se deplasează de la sursă spre drenă. Pe marginea zonei n avem o zonă p care limitează zona n de ambele părți și este de fapt electrodul de comandă numit poartă (G— de la englezescul gate). Gradul de pătrundere fizică a zonei p slab dotate în zona n este sugerată de desenul din fig. 29 astfel că din zona n mai rămîne doar un „canal” conductiv. Canalul se lărgesc sau se îngustează în funcție de nivelul tensiunii negative aplicate porții. Mărinț tensiunea negativă de comandă pe poartă, zonele de sarcină spațială se lărgesc, sînt împinse spre canal din cauza așa zisului efect de cîmp și strângulează canalul n reducîndu-i practic conductibilitatea între S și D; curentul ce curge de la sursă la drenă scade. Micșorarea tensiunii negative pe poartă mărește secțiunea activă a canalului iar curentul prin tranzistor crește. Analogia între tubul electronic și tranzistorul FET cu canal n este perfectă. Juncțiunile pn sînt straturi de barieră aproape perfecte; prin ele nu trece curent ca la tranz. bipolar, ele lucrează la TEC în stare blocată și ca urmare practic nu avem curent de comandă. Curentul real al porții poate fi asemuit curentului rezidual I_{CBO} de la un tranzistor

bun cu siliciu și este de ordinul nanoamperilor. Ca urmare rezistența de intrare (dintre sursă și poartă) este de ordinul zecilor sau sutelor de $M\Omega$. Energia necesară comenzii este infimă ca și la tubul electronic unde numai în mod excepțional avem curenți de grilă.

Aplicînd pe poartă o tensiune negativă de polarizare și apoi un semnal alternativ sinusoidal, acest semnal va comanda (tot sinusoidal) curentul sursă-drenă, adică curentul drenă. Panta tranzistorului FET sau transconductanța (Y_{21}) este mică (mai mică decît chiar panta S a tubului electronic) uneori doar $1-2\text{mA/V}$ deci de zece ori mai mică decît panta tranzistorului ($20-38\text{mA/V}$ pentru fiecare mA de I_C), dar proprietățile de amplificare sînt bune deoarece la un curent de drenă de cca 1mA , rezistența de ieșire fiind foarte mare (sute de K sau M) nu amortizează circuitul oscilant de sarcină.

Aplicații : în amplificatoare de RF, FIF, UIF prezentînd rezistență mare de intrare și zgomot redus, comparabil cu factorul de zgomot al celor mai bune tranzistoare bipolare (vezi fig. 30).

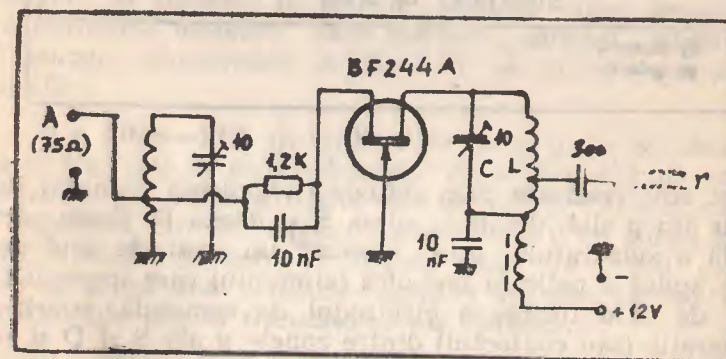


Fig. 30

La tranzistorul FET cu canal p, tensiunile se aplică invers față de cele de tip n adică + pe S — pe D, iar poartă G se polarizează pozitiv în c.c. Reprezentanți : BF244, BF245 BF246 (tranzistoare pentru FIF, UIF și UUS) 2N3819 (universal).

2. Tranzistorul MOS—FET

La acest tranzistor o tensiune de comandă influențează conductibilitatea unui foarte subțire strat superficial din cristallul semiconductor. Tranzistorul MOS privit ca dispozitiv semiconductor activ este elementul cel mai important pentru circuitele integrate complexe realizate prin tehnologia LSI (large screen integration adică integrare la scară mare). În fig. 31 se prezintă secțiunea schematizată printr-un tranzistor MOS cu canal p. Se vede că tranzistorul este format pe un disc de siliciu cristalin de tip n, slab dotat numit substrat. În acest

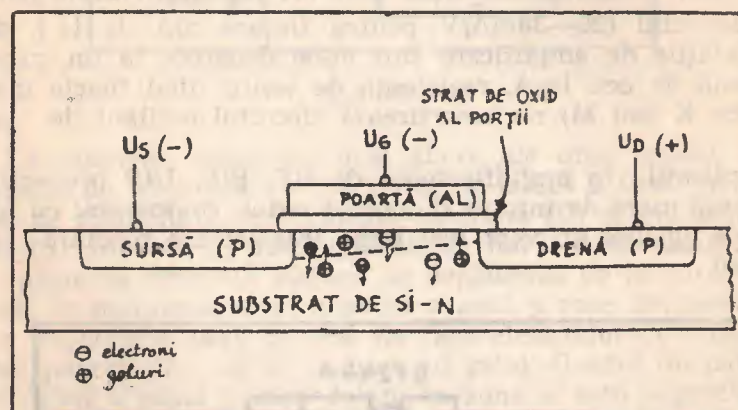


Fig. 31

substrat sînt realizate prin difuzie (tehnologie planară) două zone de tip p slab dotate: sursa S și drenă D. Peste partea centrală a substratului este „crescut” un strat de oxid peste care se aplică o peliculă metalică (aluminiiu) care împreună cu stratul de oxid formează electrodul de comandă, poarta G. La separația (sau contactul) dintre zonele p ale S și D și substrat iau naștere joncțiuni pn obișnuite

Tensiunile se aplică astfel: pe sursă o tensiune negativă de 20—25V iar pe drenă o tensiune negativă de 10—12V (deci două tensiuni negative de alimentare). Fără tensiune negativă U_G pe poartă, între sursă și drenă nu curge curent deoarece joncțiunile sînt blocate „și nu conduc. Aplicînd o tensiune negativă pe poartă, electronii din vecinătatea stratului de

oxid al porții sînt alungați sau respinși spre interiorul cristallului care formează substratul. În schimb golurile (purători minoritari de sarcină în zona n a substratului) sînt atrase spre suprafața porții, creînd un strat superficial foarte subțire conductiv sub suprafața oxidului. Acest strat conductiv de tip p este canalul care va asigura conducția curentului de la sursă la drenă, dealungul unei traiectorii (secțiuni) aproape rectilinii ce unește partea mai adîncă a zonei p a sursei cu partea mai puțin adîncă a zonei p a drenei. Mărind tensiunea negativă aplicată porții, canalul p devine tot mai conductiv și curentul poate curge de la S la D. Ca și la tranzistoarele bipolare unde jBC se deschide numai dacă U_{BE} depășește tensiunea de prag de 0,15—0,2V la Ge și 0,5—0,6V la Si, și la tranzistoarele MOS—FET avem o tensiune de prag a porții care asigură crearea canalului deci deschiderea tranzistorului.

Aici se deosebesc două familii de tranzistoare MOS—FET:

- de tensiune înaltă cu $U_{Gmin} = -(2,5...4V)$
- de joasă tensiune cu $U_{Gmin} = -(0,8...2V)$.

● După crearea canalului, deci după ce tranzistorul se deschide, el conduce în ambele sensuri spre deosebire de tranzistoarele bipolare care conduce într-un singur sens. Tehnologie tranzistoare MOS—FET se fabrică de două categorii:

a) p MOS—FET (tranzistor de canal p) — cel descris anterior (fig. 31) la care substratul de siliciu este de conductibilitate n iar sursa și drenă sînt de tip p. Canalul conductiv se formează prin îmbogățire (enhancement) cu goluri a suprafeței siliciului de sub stratul de oxid, în zona canalului, sub influența unei tensiuni negative aplicată pe poartă. Fără tensiune de poartă tranzistorul nu conduce.

b) n MOS—FET (tranzistor cu canal n) la care substratul de siliciu este de conductibilitate p iar sursa și drenă sînt de tip n. Canalul conductiv se formează prin îmbogățirea cu electroni a suprafeței siliciului din zona canalului.

În afară de tranzistoarele MOS—FET cu îmbogățire se fabrică și tranzistoare MOS—FET cu canal permanent care se realizează prin dotarea mai pronunțată a zonei canalului.

Fără tensiune pe poartă tranzistorul este conductiv (deschis). Aplicând o tensiune pe poartă zona canalului este sărăcită de purtători de sarcină și treptat se blochează dacă U_G crește. Această categorie de tranzistoare (depletion MOS—FET) se fabrică la rîndul lor fie cu canal p, fie cu canal n.

Dificultățile respectiv facilitățile tehnologice fac ca tranzistoarele MOS—FET să fie fabricate în mod preferențial astfel :

— tranzistoarele MOS—FET cu canal p sînt preponderent din cele cu îmbogățire, deci cu canal conductiv provocat prin negativarea porții.

— tranzistoarele MOS—FET cu canal n sînt preponderent din cele cu sărăcire, deci cu canal permanent, la care polarizarea bazei provoacă blocarea tranzistorului.

● Tetroda MOS—FET (Dual Gate MOS—FET)

Este o formă specială a tranzistorului MOS cu canal N, care are două porți de comandă plasate constructiv una după alta (electric conectate oarecum în serie). Aceste tranzistoare excepționale se folosesc în ultimii ani ca oscilatoare și amplificatoare de FIT și mai ales UIF în selectoarele moderne de canale. Aceste tranzistoare se remarcă prin amplificare mare și zgomot mic (vezi tabelul 8).

Tabelul 8

Tip	P_d (W)	U_{DS} (V)	I_D (mA)	I_{G1}, I_{G2} (mA)	Y_{21} mA/V	A_{p1a} 200 MHz	F_{1a} 200 MHz
BF960	0,2	20	30	10	14	20dB	2dB
BF961	0,2	20	30	10	9	21dB	3dB

3.4 CIRCUITE PELICULARE

Circuitele peliculare sînt rețele pasive de tip RC împreună cu conductoare realizate pe un substrat de ceramică sau sticlă prin depunere în vid (metalizare, depunere serigrafică prin site), pulverizare sau oxidare electrolitică a unor pelicule rezistive, conductive sau dielectrice (izolatoare).

● Tehnica peliculelor groase permite realizarea rezistențelor, condensatoarelor și circuitelor de conectare între acestea prin depunere serigrafică a unor paste mai mult sau mai puțin rezistive pentru a obține rezistențe, paste coloidale din metale nobile (argint, aur, platină) pentru obținerea armăturilor sau a traseelor conductive sau a dielectricilor ceramici din pulbere amestecată cu liant organic. După depunere serigrafică are loc unul sau mai multe tratamente termice de sinterizare și fixare la temperaturi cuprinse între 730 și 1000°C. Doar după procesul de sinterizare componentele pasive R, C realizate capătă proprietățile electrice definitive și stabile în timp. Ajustarea valorilor R și C (aducerea în toleranță) se face cu jet de cuarț sau cu un fascicol de laser.

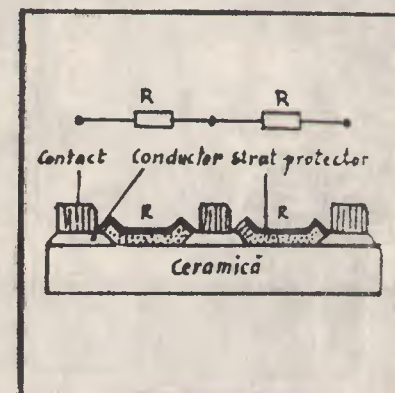


Fig. 32

În fig. 32 se arată secțiunea printr-o rețea peliculă groasă cu două rezistențe. Se remarcă un strat de protecție împotriva acțiunii mediului. Circuitele peliculare groase se folosesc pentru obținerea unor rețele RC complexe pentru domeniul de AF (filtre RC, atenuatoare, adaptoare etc.).

● Tehnica peliculelor subțiri permite realizarea traseelor conductive, a rezistențelor și condensatoarelor prin metalizare în vid. În acest fel se obțin straturi foarte subțiri de metal sau oxid (aur, crom-nichel, oxid de siliciu). Alte stra-

turi subțiri se depun prin pulverizarea electrostatică a unor metale sau oxizi metalici (NiCr/Au Ta, Ta₂O₅). La ambele procedee de depunere se folosesc măști fotolitografice sau mecanice precum și corodarea selectivă.

Substratul este din ceramică, sticlă sau safir. Ajustarea valorilor RC se face prin fascicol laser la Au/NiCr sau prin oxidare anodică la peliculele de tantal. În fig. 33 se arată o secțiune printr-un circuit serie RC realizat în tehnica peliculelor subțiri. Circuitele cu pelicule subțiri se folosesc în domeniul frecvențelor înalte.

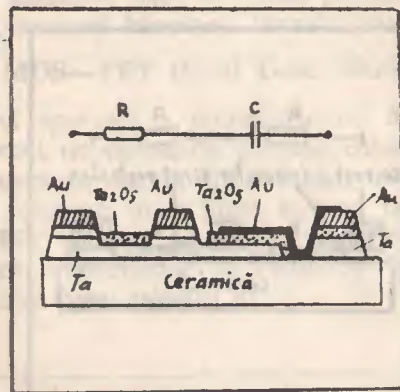


Fig. 33

Circuite hibride

Circuitele hibride se realizează în tehnica peliculelor subțiri cu plantarea unor componente active sau pasive discrete (R, C, diode, tranzistoare sau chiar circuite integrate) pe substraturi de ceramică sau sticlă. În fig. 34 se arată fotografia unui circuit hibrid care are funcția unui filtru RC activ conținând trei amplificatoare operaționale, 12 condensatoare și 17 rezistențe. Mărimea întregului circuit hibrid 80x25x6 mm, cu 9 terminale.

Circuitele hibride acoperă deocamdată următoarele aplicații:

- filtre active de tip RC sau NIC (convertoare de impedanță negativă).
- oscilatoare RC pînă la frecvențe de 250—300MHz.
- amplificatoare de bandă largă FIF și UIF (pentru antene colective) de exemplu: — seria OM320, 321 323 (Philips) cu Au=15—16 dB.
- seria OM335, 336, 337 (Philips) cu Au=22—27 dB.

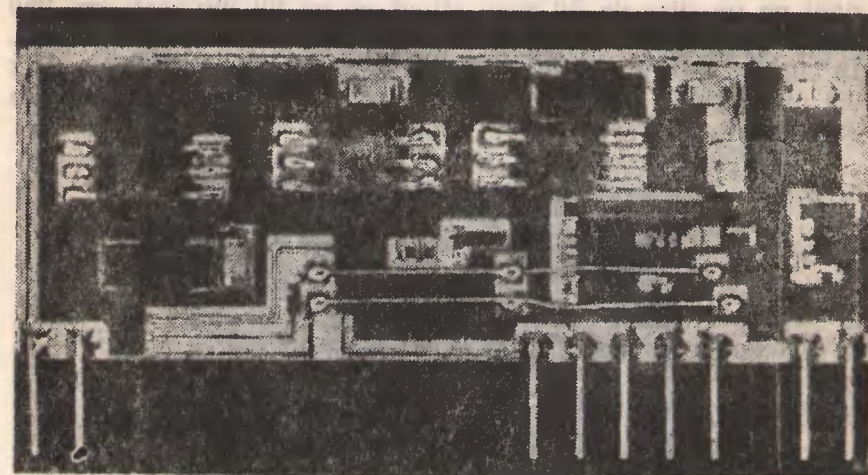


Fig. 34

Aceste amplificatoare au banda cuprinsă între 40 și 860 MHz, dimensiuni 30x12x4 mm. Se alimentează la 24V consumînd 25—100mA. În viitorul apropiat se prevede fabricarea selectoarelor de UIF în tehnică hibridă, folosindu-se componente discrete miniatură necapsulate (tranzistoarele și diodele varicap), linii în $\lambda/4$ realizate prin metalizare în vid, iar rezistențele și capacitățile în sistem fotolitografic cu pelicule de oxizi metalici, respectiv metal. La aceste selectoare de UIF va dispărea practic procesul de reglaj și se va asigura stabilitatea parametrilor timp practic nelimitat.

3.5. CIRCUITE INTEGRATE MONOLITICE

Fabricarea circuitelor integrate se bazează pe tehnologia planară care face posibilă realizarea simultană a tranzistoarelor, diodelor rezistoarelor și capacităților care formează un circuit electronic mai mult sau mai puțin complex, pe o plăcuță de siliciu monocristalin (chip=cip) cu suprafața de cîțiva mm². Folosindu-se discuri de siliciu monocristalin (pellet-paletă) cu diametrul 50—75 mm se realizează de fapt simultan între 80 și 1600 la \varnothing 50 și 200—3500 cipuri la \varnothing 75. De exemplu circuitul integrat TBA950 se fabrică cu 200 de cipuri pe un disc de 50 mm, știind că pe un cip sînt oca. 250 componente T, D, R, iar suprafața cipului este de oca. 6 mm². În fig. 35 se arată fotografia unui cip de CI monolitic le 0,6x0,6 mm cu 9 tranzistoare, 8 rezistențe și 11 ieșiri, de fapt un amplificator liniar de FI.

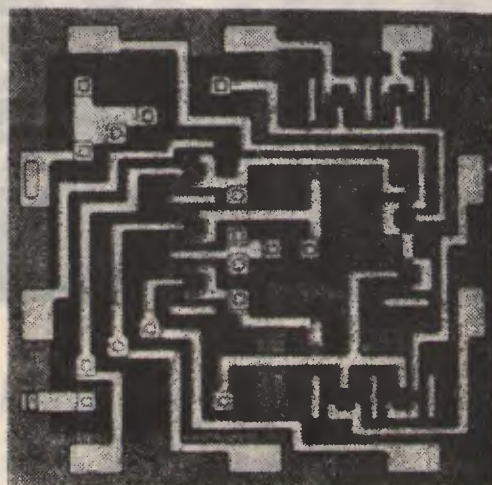


Fig. 35

● În evoluția densității componentelor realizabile monolitic se disting mai multe etape de progres; măsura densității este numărul de tranzistoare:

SSI (small scale integration=integrare la scară mică) cu sub 50 T pe CI.

MSI (medium scale integration=integrare la scară medie) cu 50...500 T pe CI.

LSI (large scale integration=integrare la scară mare) cu 500...2500 T pe CI.

Avantajele esențiale ale CI monolitice:

- preț de cost redus la serii mari de fabricație.
- fiabilitate înaltă, menținerea parametrilor timp îndelungat.
- mare stabilitate la variații de temperatură.
- gabarit redus și consum mic de energie.
- circuite complexe de mare performanță realizabile f. economic.
- timp scurt de elaborare a schemelor electronice.
- face posibilă fabricarea aparaturii complexe alimentată la baterie.

Desavantajele integrării

- putere de ieșire sau putere disipată limitată.
- imposibilitatea realizării inductanțelor și capacităților mari.
- utilizatorul nu poate modifica sau repara CI.
- prea multă muncă de concepție trece în sarcina producătorului de componente.

O clasificare a circuitelor integrate după tehnologie este dată în tabelul 9.

Tabelul 9

CIRCUITE INTEGRATE MONOLITICE			
familia CI BIPOLARE		familia CI—MOS	
CI	CI	CI—MOS	CI—MOS
Bipolare	Bipolare	digitale	analoage
digitale	analoage	(logice)	(liniare)
(logice)	(liniare)	MSI, LSI	SSI, MSI,
SSI, MSI,	SSI, MSI		LSI
LSI			

Pe scurt, structura și destinația celor două familii și 4 clase de CI este explicată în cele de mai jos :

1. **Familia CI bipolare** cuprinde circuitele integrate monolitice (realizate cu tranzistoare bipolare, diode pn, rezistoare, capacități și trasee conductive) cu caracter analog sau digital.

a. **CI bipolare cu caracter analog** sînt circuite monolitice pentru amplificarea liniară și prelucrarea semnalelor electrice. În această clasă intră :

- amplificatoare operaționale : β A702, 709, 741, 2711, LM108, SFC2108 etc.
- amplificatoare liniare de FI—MF + demodulator : TAA661, TBA120, TBA780, etc.
- amplificator de RF, mixer, oscilator MA, AFI—MA/MF : TBA570, TCA440, TDA1046, TDA1047.
- amplificator de AF putere : TBA790, TCA150, TBA810, TCA940, TDA2010, TDA2020, TDA1037, TDA2870, TDA3000, TDA1046, TDA1047, etc.
- amplificatoare de FI—VS + demodulator + RAA : TDA440, TBA440, TBA440, TDA5500, TDA1440.
- sincroprocesor de TV : TBA950, TBA940, TBA920, TDA2590, TBA9500 etc.
- grupuri funcționale pentru TV color : TAA630, TBA500, 510, 520, 530, 540, 560, TCA360, TDA2522, TDA2530, TDA2560, etc.
- comutatoare-amplificatoare cu funcție de taster cu senzori : SAS560, 570, 580, 590.
- stabilizatoare de tensiune : TAA550, TDB723, 7800, 0117, TDC0723, 7800, 0117 etc.

Precum și : oscilatoare, comparatoare de fază, regulatoare de turație, CI „decupator de fază” pentru comanda schemelor cu tiristoare și triacuri (de ex. TCA780), demodulatoa-

re în inel, decodoare stereo, discriminatoare cu două praguri, formatoare de impulsuri, circuite de întârziere, etc.

b. **CI bipolare cu caracter digital** sînt circuite integrate monolitice pentru operații logice (digital=logic) caracterizate prin două nivele diferite ale semnalului : 0 și 1 nivele folosite în algebra logică care stă la baza calculatoarelor.

Între CI bipolare digitale sau logice se disting cîteva familii :

1. TTL (transistor-transistor-logic) — de perspectivă.
 2. ECL (emitter-coupled-logic) — cu succes alternant.
 3. DCTL (direct coupled-transistor-logic).
 4. RTL (resistor-transistor-logic).
 5. DTL (diode-transistor-logic).
- } abandonate,
} fără
} perspectivă

Circuitele TTL sînt cele mai răspindite și au prețul de cost cel mai redus ; pot lucra cu viteze mari (5—10 nsec/etaj) și consumă puteri mici 1—10mW/etaj. Gradul de integrare este SSI și MSI. Variantele mai noi cu diode Schottky au viteze de ordinul a 2—3 ns/etaj. Seria TTL cuprinde :

- operatori ȘI—NU (NAND GATES) : CDB400, 403, 408, 409, 410, 420, 430, 440, 411HE.
- operatori ȘI (AND GATES) : CDB408E.
- inversoare cu operatori de putere : CDB404, 405, 406, 407, 416, 417.
- operatori ȘI—SAU—NU : CDB450, 451, 453, 454, 460.
- trigger Schmitt : CDB413E.
- circuite basculante (flip-flop) : CDB4121, 472, 473, 474, 476.
- numărătoare : CDB490, 492, 493, 4192, 4193.
- registre, decodificatoare, sumatoare, memorii, convertoare numerice, etc.

Circuitele din familia ECL au viteză de lucru cea mai mare : 1ns/etaj. Gradul de integrare SSI și MSI. Utilizare :

ca și CI—TTL în calculatoare și automatizări de procese industriale, în aparatura electronică digitală de măsură.

Integrarea la scară mare (LSI)

Circuitele LSI sînt caracterizate de complexitatea extremă a schemelor ajungîndu-se la un număr de 500—15000 elemente pe circuit integrat, realizabil pe o plăcuță de 5—30 mm². Cu tot numărul mare de componente, fiabilitatea este mare: $\lambda = 0,15 \cdot 10^{-6}$ ore/CI. Consumul de putere: 500mW/CI, iar costul de fabricație cca. 1 dolar/200 elemente. Tehnologia LSI se află în mare progres sub aspectul densității realizate: în 1970 se realizau 50 elemente/mm² de cip iar în 1980 se prevede „plantarea a 3000 elemente pe mm². Numărul de elemente (componente) la un CI—LSI va atinge probabil 2 milioane bucăți în 2—3 ani, putîndu-se realiza toate funcțiile unui calculator electronic mijlociu pe un singur cip de siliciu de 150 mm². Tehnologia folosită la LSI este mixtă: atît bipolară cu TTL Schottky cît și unipolară cu tranzistoare MOS: pMOS, nMOS, C—MOS (COSMOS), SOS și CCD. Circuite integrate LSI cu densitate de cca. 1000 tranzistoare/mm² (nivel 1975) se fabrică deja în milioane de exemplare pentru calculatoare de buzunar cu 20—30 operații. Astfel, un „cip“ de calculator (complet) are 1800 tranzistoare pe 16 mm² și un consum de 500mW (5V cu 100mA); acesta este un microprocesor.

2. Familia de CI—MOS

Progresele cele mai recente în domeniul televizoarelor au fost determinate de concurența extremă între marii producători americani, japonezi și v. germani în special la TV color. Astfel televizoarele au început să fie echipate cu tot felul de facilități și rafinamente, pentru posesor fără prea mare folos, dar care complică extrem televizorul:

- comanda la distanță (fără fir), ultrasunet ($f = 30—45$ KHz).
- programarea televizorului pentru o anumită emisiune din următoarele 10—20 zile, astfel ca televizorul să pornească singur și să avertizeze sonor (de cîteva ori) pe posesor.

- pornirea și înregistrarea video automată a unei emisiuni oarecare, care va avea loc de exemplu peste 8 zile.
- monitorizarea oricărei emisii urmărite în mod automat.
- în cazul dereglării televizorului, aducerea automată a tuturor reglajelor manuale posibile pe poziția optimă.
- jocuri electronice la televizor, inclusiv joc de șah!!!.
- folosirea TV pentru supravegherea de securitate a locuinței.
- afișarea cu diode LED sau direct pe rastru a orei exacte, zilei, temperaturii camerei sau a presiunii atmosferice.
- afișarea canalului sau programului recepționat pe ecran. Toate aceste facilități necesită circuite integrate cu funcții complexe de convertoare digital/analoge și analog/digitale, memorii, registre, procesoare ș.a.m.d. care se realizează în multe cazuri cu ajutorul CI mixte: liniare și digitale. Fără a mai intra în amănunte, menționăm cîteva CI complexe pentru TV:

SAA1000—CI monolitic în tehnică CMOS (MOS complementar) emițător pentru comanda la distanță a TV dispunînd de 15 canale de ultrasunet cuprinse între 34 și 43...kHz. Cuprinde un oscilator, un decodor mai multe divizoare de frecvență care se folosesc de cuarțul de 4,433MHz din TV (PAL).

SAA1010—CI monolitic p-MOS cu „silicon-gate”, receptor de ultrasunet; măsoară frecvența ultrasonoră recepționată. De exemplu semnalul de comutare pe un alt program emis de SAA1000 este înregistrat, codificat și transmis sub forma unui tren de impulsuri circuitelor integrate SAS560 și SAS570 care comută canalul și banda dorită. Semnalele pentru reglarea a trei mărimi analoge, de ex. volumul, strălucirea și saturația culorilor, vor fi memorate în SAA1010 și

transmise mai departe permanent, sub forma unor impulsuri dreptunghiulare. Raportul dintre durata impulsului și perioadă (coeficientul de umplere) determină mărimea analogă respectivă.

SAA1024 — emițător pentru 30 de canale de ultrasunet (ca și SAA1000).

SAA1025 — receptor, pereche pentru SAA1024.

SAB 3209, SAB 3210, SAB 3211, SAB 3271, SDA 100, TDA 4050, etc.

● De pildă, la un televizor color Telefunken din programul pe 1978—79, se face reclamă sistemului MEMOCONTROL 5036 care poate memora și efectua 50 de „dispoziții” în mod exact, timp de 14 zile de la data programării. Dispozițiile care posesorul le dă se afișează pe ecranul TV în clar, sub formă de text (cuvinte și cifre), la apăsarea tastei „citire”. Citirea se poate face după dorință în 4 limbi: germană, engleză, franceză sau italiană. Dispozițiile se referă la programarea pornirii televizorului la anumite ore, pe anumite programe dorite în orice zi din următoarele 2 săptămâni. Se pot programa și alte date, ca de exemplu: „Aveți convorbire telefonică la ora 20 și 15 minute cu...”

Programarea odată memorată se păstrează luni de zile chiar dacă televizorul este scos din priză (plecare în concediu). Televizorul poate fi programat de pildă pentru emisiunile de copii, dar dacă după aceea urmează o emisiune nepotrivită pentru ei TV se deconectează automat și nu mai poate fi pornit tot de copii.

Cu acest sistem se pot „alege” 16 programe diferite de televiziune, se pot regla automat culorile, strălucirea, volumul, tonul, se poate opri sunetul, se poate opri și porni televizorul. Sistemul dispune de o tastă care apăsată, aduce toate reglajele anterior subiectiv făcute, la situația optimă pentru calitatea imaginii și a sunetului (butonul bunicii).

★

CAP. 4. TIRISTOARE

Denumirea tiristor a fost stabilită de CEI (Comitetul Electrotehnic Internațional) pentru redresorul controlat cu siliciu, dispozitiv care într-o vreme se numea SCR (silicon controlled rectifier). Vîrsta tiristorului: cca. 20 ani. Acest capitol are ca scop să arate practicienilor ce este tiristorul, cum funcționează acesta și care sînt parametrii săi caracteristici. Se vor prezenta și unele aplicații ale tiristorului în radioelectronica modernă, de pildă în schemele de TV unde acesta se poate folosi în oscilatoare, stabilizatoare, sau în baleiajul orizontal.

4.1. Structura tiristorului și modul de funcționare.

Tiristorul de tip N, este realizat dintr-un cristal de siliciu cu două zone de tip P și două zone de tip N, cu succesiunea PNPN, așa cum se arată în fig. 1a. Tiristorul de tip P are succesiunea NPNP și este arătat în fig. 1b. Orice tiristor are 3 joncțiuni

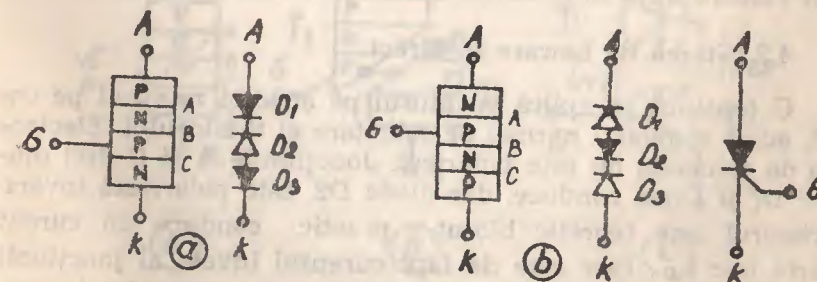


Fig. 1

La un tiristor de tip N, dacă se privește structura cu succesiunea PNPN, se vede că tiristorul poate fi asemuit cu 3 diode conectate în serie, astfel că la un control ohmetric tiristorul este blocat indiferent de polaritatea aplicată la anod și catod, ceea ce este adevărat și sub aspectul comportării tiristorului în circuit la tensiuni mari, atât timp cât pe electrodul de comandă poartă (engl. gate) nu se aplică tensiune. Electrocul de comandă sau de aprindere este conectat la zona p interioară, la ambele feluri de tiristoare (vezi fig. 1a și b).

Tiristorul poate fi solicitat în tensiune și după felul cum se aplică tensiunea poate fi solicitat în două stări :

1. **Starea de blocare inversă** când pe anod se aplică o tensiune negativă, iar pe catod pozitivă. Indiferent dacă electrocul de comandă este polarizat sau nu, tiristorul este blocat, teoretic nu conduce. Practic de la A la K curge un curent invers foarte mic. În această stare de blocare vedem în fig. 1a că diodele D_1 și D_3 sînt polarizate invers, iar dioda D_2 apare polarizată direct. Tiristorul nu conduce atît timp cît tensiunea inversă aplicată, nu depășește tensiunea de străpungere U_{RS} a diodelor D_1 și D_3 luate împreună. Tensiunea inversă se repartizează proporțional cu rezistențele inverse ale celor două diode polarizate inverse. Dacă tensiunea inversă aplicată depășește U_{RS} , tiristorul intră în străpungere, curentul I_R crește brusc (în avalanșă) de la cîțiva microamperi, la valori de amperi, ca la orice diodă cu siliciu în timpul străpungerii. În timpul străpungerii dioda D_2 conduce în sens direct, iar diodele D_1 și D_3 conduc invers și dacă curentul nu este limitat la o valoare mică în circuitul exterior, tiristorul se distruge.

4.2. Starea de blocare în direct

O tensiune se aplică cu plusul pe anod și minusul pe catod, adică în modul normal de solicitare al tiristorului. Electrocul de comandă nu este polarizat. Joncțiunile A și C deci diodele D_1 și D_3 ar conduce, dar dioda D_2 este polarizată invers. Tiristorul este teoretic blocat, practic conduce un curent foarte mic I_D , care este de fapt curentul invers al joncțiunii B. Blocarea în direct se menține cît timp nu se depășește ten-

siunea de străpungere a diodei D_2 și care este $U_{(BO)}$

La depășirea $U_{(BO)}$, prin tiristor începe să curgă brusc de la A la K, un curent mare de conducție directă : tiristorul nu s-a străpuns, ci s-a amorsat, adică a intrat în stare de conducție directă.

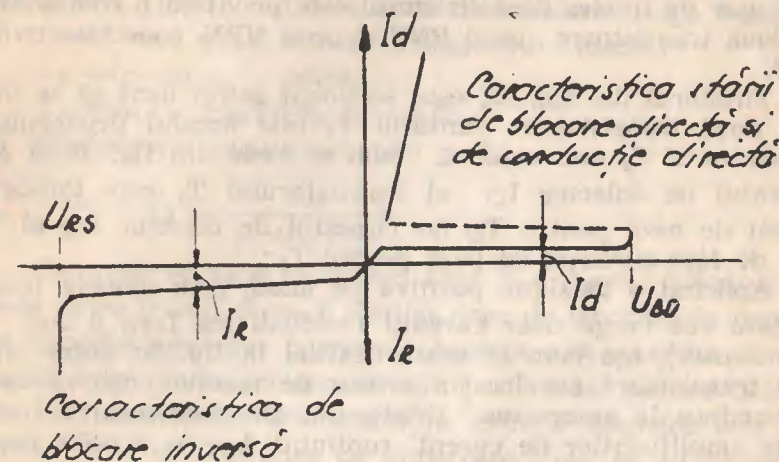


Fig. 2

Cele spuse mai sus, se ilustrează grafic pe caracteristica electrică statică din fig. 2.

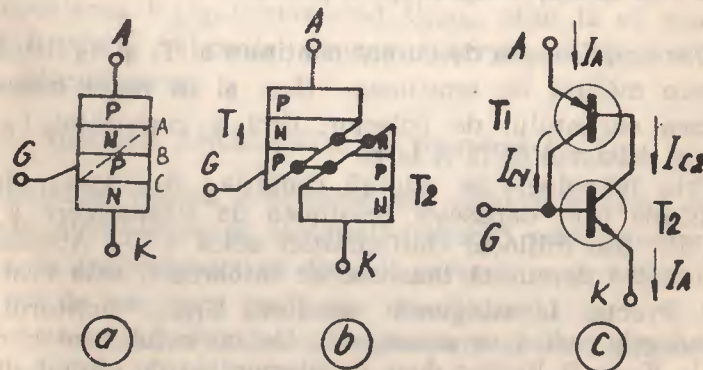


Fig. 3

Tiristorul este amorat, curentul va curge prin el chiar dac tensiunea se reduce la valori foarte mici. Trebuie ins specificat ca acest fel de amorare a tiristoarelor poate fi destructiv din motive termice si de aceea nu se utilizeaza in practica. ● Inelegerea amorarii tiristorului prin U_D mare este usor de inteles daca tiristorul este privit ca o combinatie de doua tranzistoare : unul PNP si unul NPN. conectate ca in fi. 3.

Tiristorul din fig. 3a, este sectionat astfel incit sa se obtina doua tranzistoare : emitorul T_1 este anodul tiristorului, iar emitorul T_2 este catodul, cum se vede din fig. 3b si 3c. Curentul de colector I_{C1} al tranzistorului T_1 este totodata curent de baza pentru T_2 , iar curentul de colector I_{C2} al T_2 este de fapt curentul de baza pentru T_1 .

Aplicind o tensiune pozitivă pe anod, prin ambele tranzistoare vor curge doar curentii reziduali (ca I_{CEO} si I_{CBO} la tranzistoare), asa cum se arata dealtfel in fig. 3c. Intre ambele tranzistoare are loc un proces de reactie pozitiva care va conduce la amorarea tiristorului din momentul in care suma amplificărilor de curent continuu $A_1 + A_2$ a celor doua tranzistoare depăsește unitatea : $A_1 + A_2 > 1$.

* Este vorba despre amplificarea statică în schema cu BM (vechiul α) care după cum se știe este subunitar, adică $A < 1$; relația între A și B este : $B = A/1 - A$, adică de ex. cind $A = 0,5$ $B = 0,5/1 - 0,5 = 1$ iar cind $A = 0,9$, $B = 0,9/1 - 0,9 = 9$ ș.a.m.d.

Dar amplificarea de curent continuu al T_1 și T_2 depinde în oarecare măsură de tensiunea U_{CE} și în mare măsură de mărimea curentului de colector, deci a curentului I_A care străbate tiristorul de la A la K.

Prin tehnologie se asigură condiția : $A_1 + A_2 = 1$, doar la o tensiune care depășește tensiunea de străpungere a joncțiunii PN din mijlocul configurației adică a D_2 . Această tensiune critică denumită tensiune de întoarcere, este arătată în fig. 2. Practic. la atingerea tensiunii $U_{(BO)}$, tiristorul intră în conducție, adică se amorsează, iar curentul care curge de la A la K va fi limitat doar de elementele de circuit din exterior, de exemplu o rezistență de sarcină în circuitul ano-

dic. La configurația din fig. 3 se pot scrie următorii curenti: pentru tranzistorul PNP : $I_{C1} = A_1 I_A + I_0/2$

pentru tranzistorul NPN : $I_{C2} = A_2 I_A + I_0/2$, unde I_0 este curentul invers al joncțiunii B (notată în fig. 1a cu D_2) sectionată. Prin sectionarea joncțiunii, curge cîte o jumătate din I_0 prin fiecare din cele două tranzistoare. După legea lui Kirchhoff vom avea în mod obligatoriu situația :

$$I_A = I_{C1} + I_{C2} \quad \text{adică,}$$

$$I_A = A_1 \cdot I_A + I_0/2 + A_2 \cdot I_A + I_0/2.$$

Din această relație, scoatem pe I_A :

$$I_A = \frac{I_0}{1 - (A_1 + A_2)}$$

De unde se vede că atunci cind $A_1 + A_2 = 1$, curentul I_A tinde către infinit și va fi limitat doar de circuitul în care este conectat tiristorul. Aceasta este condiția de amorare anormală, accidentală sau periculoasă pentru tiristor.

În funcționarea tiristorului în circuite electrice este important însă ca tensiunea de întoarcere $U_{(BO)}$ să nu fie atinsă niciodată, nici măcar accidental, deoarece tiristorul se va amorsa fără comandă pe bază ceea ce nu este de dorit în cele mai multe aplicații unde tiristorul este amorat după dorință aplicind o tensiune pozitivă destul de mică pe poartă (electrod de comandă).

Importanța $U_{(BO)}$: cunoscind $U_{(BO)}$ știm la ce tensiune directă tiristorul se poate amorsa anormal, adică fără tensiune aplicată porții.

4.3. Amorsări ANORMALE ale tiristorului

Cunoscind natura proceselor din semiconductoare și dependența dintre curentii reziduali (inverși) prin joncțiuni (la diode și la tranzistoare) de factorii externi, se pot bănuia mai multe căi de amorare (utile sau dăunătoare) :

a) Astfel dacă cristalul cu 3 joncțiuni al unui tiristor este foarte cald (încălzit), curentul rezidual (invers) al joncțiunii

mijlocii (D_2) poate crește tare și depăși nivelul care să pună în mișcare amorsarea. Practic $U_{(BO)}$ scade spre zero când $t_j = 160-170^\circ\text{C}$.

b) Tiristorul poate fi amorsat cu ajutorul energiei luminoase lăsată să atace dioda D_2 ; energia luminoasă poate crește numărul purtătorilor de sarcină în zona P interioară, încît tiristorul să se amorseze. Este vorba despre fototiristor, care are o deschidere mică în fața zonei P interne.

c) Dacă tensiunea U_1 (directă) are o pantă de creștere foarte mare, astfel că $dU/dt > 100...2000\text{V}/\mu\text{sec}$ (de la tip la tip), în dioda D_2 întâi și apoi la celelalte două joncțiuni se pot induce curenți capacitivi mari care să amorseze tiristorul, chiar dacă tensiunea directă aplicată nu depășește $U_{(BO)}$.

d) Depășirea nedorită a tensiunii $U_{(BO)}$ la care tiristorul „este dat peste cap” în sensul normal de conducție, situație deja amintită.

4.4. Amorsarea NORMALĂ (pe poartă) a tiristorului

Ca în schema electrică din fig. 4, se aplică o tensiune U_1 (mai mică decît $U_{(BO)}$) cu plusul pe anod și minusul pe catod. Tiristorul este blocat în sens direct. Aplicînd însă pe poarta G o tensiune pozitivă față de K, tiristorul se va amorsa (deschide) și va conduce de la A la K. Purtătorii de sarcină, mulți, injectați în zona P a diodei B (adică D_2) înlătură stratul de barieră. Tiristorul amorsat, prezintă o rezistență de conducție mică. Curentul prin tiristor este determinat acum doar de tensiunea U_1 și de rezistența de sarcină R_s care îl limitează. Curentul curge prin tiristor și după deconectarea tensiunii aplicate pe poartă. Amorsarea poate fi făcută deci și prin aplicarea unui impuls pozitiv de scurtă durată pe poartă. Odată amorsat, tiristorul se blochează doar cînd curentul direct I_F scade sub o anumită valoare minimă, sub așa numitul **curent de menținere** I_H de mărime tipică (caracteristică) fiecărui tip de tiristor. Blocarea tiristorului se poate face deci „manevrînd”: fie micșorînd pe U_1 , fie mărirînd pe R_s . Chiar o scădere de scurtă durată a curentului (în impuls) sub

valoarea de menținere, provoacă blocarea tiristorului, adică ieșirea din starea de conducție.

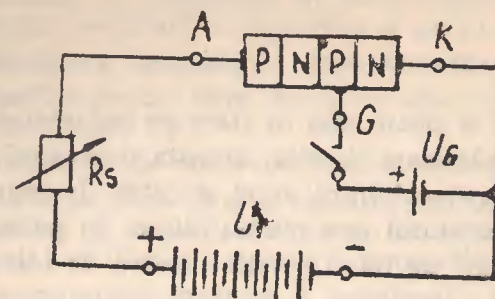


Fig. 4

Amorsarea normală are loc deci prin aplicarea unei tensiuni pozitive pe poartă care este totodată baza tranzistorului NPN T_2 din configurația secționată. Mărirînd curentul bazei T_2 , tranzistorul NPN este adus în stare de conducție deoarece mărirea curentului bazei provoacă creșterea amplificării A_2 și deci a sumei $A_1 + A_2$. Dar pentru a se amorsa este necesar ca tensiunea dintre A și K să fie ceva mai mare decît suma tensiunilor de difuzie ale celor două joncțiuni polarizate direct (D_1 și D_3) plus o tensiune U_{CE} de cîte 2 volți pentru ca cele două tranzistoare componente să poată lucra. Practic, amorsarea poate avea loc dacă U_{AK} aplicată tiristorului, este de cel puțin 5—6V.

Cînd conduce, pe traseul AK al oricărei tiristor are loc o cădere de tensiune cu atît mai mare cu cît curentul direct I_F este mai mare. Dar la curentul de menținere a conducției căderea de tensiune pe tiristor nu depășește 1 V.

Pentru amorsarea sigură a oricărei tiristor, este necesar un anumit curent de „aprindere” în poartă, iar impulsul de tensiune care asigură curentul de poartă necesar amorsării trebuie să dureze suficient timp (pînă cînd se instalează un proces de conducție viguros).

Energia de amorsare pe poartă este însă în general foarte mică. Practic se prescrie pentru electrodul de comandă tensiunea și curentul normal de amorsare.

Concluzii :

Tiristorul se poate afla în stare de polarizare inversă sau în stare de polarizare directă, aceasta depinzând de polaritatea tensiunii aplicată între anod și catod. În stare de polarizare inversă tiristorul este mereu blocat. În polarizare directă există două stări de lucru stabile : starea de blocare și starea de conducție.

Se poate amorsa un curent de la anod la catod cu ajutorul unui circuit de amorsare care aplică o tensiune pozitivă pe poartă de obicei sub formă de impulsuri pozitive.

Când curentul de la A la K scade mai jos de o valoare minimă I_H (curentul de menținere), tiristorul trece în stare de blocare directă.

Tiristoarele sînt de două feluri :

- de tip P cu structura NPNP ;
- de tip N cu structura PNPN.

La ambele feluri, poarta G este conectată la zona P internă.

Ca utilizare și comportare, ambele feluri de tiristoare sînt practic identice.

4.5. Parametrii tiristorului

Ca și la tranzistoare, regimul normal de solicitare, regimurile limită de curent, tensiune și putere, condițiile de amorsare și de menținere, sînt definite de către o serie destul de mare de parametri electrici. Exemplificarea cu valori este valabilă pentru tiristorul de baleiaj BT119 (IPRS, ITT).

- U_{BO} : Tensiunea de întoarcere este tensiunea anodică în punctul de întoarcere al caracteristicii tiristorului pentru o polaritate specifică a porții. (> 750 v).
- U_D : Tensiunea continuă în stare blocată este tensiunea anodică pentru care tiristorul este în stare de blocare (6...600 V).
- U_{DRM} : Tensiunea de vîrf repetitivă în stare de blocare, în conducție directă este valoarea instantanee maximă admisă a tensiunii în stare de blocare, excluzînd toate tensiunile tranzitorii nerepetitive. (700 V).
- T_j : Temperatura maximă a joncțiunii tiristorului: $+150^\circ\text{C}$, minim -40°C ,
- U_{FGM} : Tensiunea directă de vîrf de poartă: este valoarea instantanee maximă admisă a tensiunii directe de poartă incluzînd toate valorile tranzitorii (10 V).
- U_{GD} : Tensiunea de poartă de neamorsare: este tensiunea maximă de poartă pentru care tiristorul nu comută din starea de blocare în starea de conducție. (0,4...1 V).
- U_{GT} : Tensiunea de poartă de amorsare: este tensiunea de poartă pentru care tiristorul comută din starea de blocare în starea de conducție la o tensiune mică anod-catod specificată. (18...4 V, la $U_D = 6$ V și $t_j = 25^\circ\text{C}$).
- U_{GRM} : Tensiunea de vîrf de poartă: este valoarea negativă maximă admisă ținînd seama de toate tensiunile tranzitorii sau accidentale. (35 V).
- U_{RRM} : Tensiunea inversă de vîrf repetitivă: este valoarea instantanee maximă admisă a tensiunii inverse incluzînd toate tensiunile tranzitorii repetitive, excluzînd tensiunile tranzitorii nerepetitive. (50 V la BT119; la alte tiristoare $U_{RRM} = U_{DRM}$ de regulă).
- U_{RSM} : Tensiunea inversă de vîrf nerepetitivă maxim admisă. În cazul cînd nu este specificată anume ca în cazul de mai sus ($U_{RRM} = 50$ V), aceasta este egală cu tensiunea maximă admisă U_{DRM} .

- U_T :** Tensiunea continuă în stare de conducție este tensiunea anodică în stare de conducție la o valoare specificată a curentului. (1,3 V la 4A).
- U_{TM} :** Tensiunea de vîrf în stare de conducție: este valoarea de vîrf a tensiunii în stare de conducție la un curent specificat. (2...3V).
- I_{DM} :** Curentul în stare de blocare în conducție directă: este valoarea maximă a curentului în stare de blocare corespunzătoare tensiunii maxime în stare de blocare, în conducție directă. (30 μ A la 750 V și 25°C).
- I_{GT} :** Curentul de poartă de amorsare: este curentul de poartă minim necesar pentru a provoca comutarea tiristorului din starea de blocare în starea de conducție. (tipic 15mA, cel mult 40mA, la $U_D = 6$ V și +25°C).
- I_H :** Curentul de menținere: este curentul continuu minim prin tiristor (de la anod la catod) necesar pentru menținerea tiristorului în stare de conducție. (30mA tipic, cel mult 100mA la $t_j = 25^\circ\text{C}$).
- I_O :** Curentul mediu redresat: este valoarea medie a curentului în stare de conducție calculată pe o perioadă completă pentru redresarea monoalternantă, monofazat. (4 A la BT119, 120, 121).
- I_{RM} :** Curentul continuu în stare blocată: este curentul invers maxim admis prin tiristorul în stare de blocare corespunzător valorii maxime a tensiunii U_{RRM} . (10 μ A la 50 V și 25°C).
- I_T :** Curentul continuu direct în stare de conducție: este curentul continuu prin tiristor cînd acesta este în stare de conducție.
- I_{TRM} :** Curentul de vîrf repetitiv în stare de conducție: este valoarea de vîrf a curentului în stare de conducție, excluzînd toți curenții tranzitorii nerepetitivi. (12 A).
- I_{TSM} :** Curentul de suprasarcină accidentală în conducție: este curentul în stare de conducție de formă, amplitudine și durată specificată care poate conduce

la o temperatură a joncțiunilor superioară celei normale și avînd o amplitudine mai mare decît aceea a curentului normal în stare de conducție (75 A).

- t_q :** Timpul de desamorsare prin comutarea circuitului: este intervalul de timp între momentul în care curentul este nul, după comutarea exterioară a circuitului și momentul în care tensiunea anodică specificată pe care o poate suporta tiristorul fără a se reaprinde trece prin zero. (2,4 μ sec de la $I_{TRM} = 6$ A, $U_A = 0,67 U_{DRM}$, cu $-I_G = 70$ mA).
- di/dt :** Viteza critică de creștere a curentului de conducție maxim admisă pe care tiristorul o poate suporta fără pericol. (200A/ μ sec).
- du/dt :** Viteza critică de creștere a tensiunii în stare de blocare este cea mai mică viteză de creștere a tensiunii care antrenează, în condiții specifice, comutarea din starea de blocare în starea de conducție. Altfel spus, este viteza de creștere a tensiunii admise pentru tiristorul în cauză, în condiții specifice pentru a preveni amorsarea nedorită a tiristorului. (700 V/ μ sec).

$R_{thj-amb}$: Rezistența termică între cristal și mediu ambiant, exprimată în $^\circ\text{C/W}$. (4 $^\circ\text{C/W}$).

4.6. Precauții la circuitele cu tiristoare

1. Amorsarea cu impulsuri. Aplicînd pe poartă un semnal pozitiv care depășește nivelul minim necesar amorsării, conductibilitatea se instalează numai în zona P imediat vecină contactului G. Restul din volumul zonei P devine conductivă numai pe măsură ce curentul anodic crește. Cu cît este mai mare impulsul de comandă, cu atît mai „întinsă” este zona conductivă și cu atît mai scurt este timpul pînă cînd toată joncțiunea pn intră în conducție deplină. Dacă se urmărește o amorsare rapidă și exactă în timp, poarta trebuie supracomandată. Impulsul pe poartă trebuie să depășească cu mult nivelul maxim admis (în curent continuu) pentru curentul de amorsare. Este obligatoriu ca valoarea medie a impulsului de comandă să nu depășească pe I_{GT} .

2. În timpul blocării inverse, nu este admis să curgă curent pozitiv de poartă deoarece purtătorii de sarcină injectați în zona N vecină porții, provoacă o creștere puternică a curentului invers prin tiristor, curent invers care mărește pierderile de comutare în tiristor. Curentul invers nu străbate joncțiunea (sau joncțiunile blocate) în mod uniform repartizate ci caută anumite canale de conducție foarte subțiri deși provoacă încălziri locale (puncte fierbinți) care pot distruge cristalul.

3. În timpul conducției nu este admis curent negativ de comandă pe traseul GK, deoarece chiar fără depășirea puterii maxime admise pe poartă tiristorul se poate distruge. Tensiunea de impuls pentru comanda porții, trebuie să fie lipsită de „ciocuri” de derivare cu componentă negativă.

4. Depășirea tensiunii de întoarcere, chiar pentru timpi foarte scurți, poate fi cauzată de supratensiuni accidentale neperiodice (accidentale). Întrucât intrarea în conducție se face numai într-un singur loc (un canal) prin „dare peste cap”, joncțiunea pn mediană intră în conducție numai într-un singur loc prin care trece tot curentul circuitului anodic. Acest proces de conducție, chiar dacă se desfășoară cu o viteză de $1/8$ din viteza critică di/dt admisă pentru tiristorul respectiv, poate duce la topirea cristalului.

Pentru a preveni „întoarcerea peste cap” tensiunea anodică de lucru a tiristorului se alege mai mică de 1,5...2 ori decât U_{BO} . Mărimea factorului de siguranță depinde de supratensiunile tranzitorii accidentale care pot apare în circuit.

5. Tensiunile maxime admise în invers și în direct, sînt dependente de temperatură, dar cu un coeficient pozitiv de temperatură (cresc cu temperatura și scad cînd tiristorul este foarte rece). În multe circuite care lucrează la temperaturi scăzute, tensiunea inversă tranzitorie la pornirea circuitului, distruge în mod inexplicabil tiristorul.

4.7. Utilizarea tiristoarelor

Domeniul de aplicație (folosire) este extraordinar de larg. În radioelectronica de larg consum, tiristoarele se folosesc în :

— baleiajul orizontal din TV—AN și TV color;

- oscilatoare de linii sau cadre ;
- stabilizatoare de tensiune la alimentarea TV ;
- sisteme de protecție automată.

Tiristoarele sînt răspîndite în aparatura de curenți tari, energetică, automatizări, reglări automate în instalații de acționare, mașini unelte, sisteme de iluminat, etc.

În afară de tiristoare obișnuite, în circuitele redioelectronice, se mai folosește tiristorul de tip tetrodă care se deosebește de tiristor prin aceea că are două porți de comandă : în afară de poarta de catod (GK) are și poartă de anod (GA) care permite stingerea (blocarea) cu un impuls negativ pe GA.

● Tiristorul conectat în curent alternativ

Dacă în locul tensiunii continue U_1 din fig. 4 se conectează o tensiune alternativă sinusoidală, atunci tiristorul poate fi amorsat în timpul fiecărei semialternanțe pozitive, aplicînd, pe poartă un impuls de comandă cu frecvența de 50Hz, ori cînd în timpul de 10 msec cît durează o semialternanță. La fiecare trecere prin zero a curentului prin R sarcină, tiristorul se „stinge”, adică se blochează și trebuiește reamorsat la fiecare semialternanță pozitivă, practic de 50 ori pe secundă. Prin defazarea impulsului de aprindere adică aplicarea impulsului la momentul dorit, se poate varia durata de conducție a tiristorului (unghiul de curent) și prin aceasta se poate obține o valoare medie dorită a curentului prin rezistența de sarcină. Comanda „decupării în fază”, se poate face fie pe flancul ascendent, fie pe flancul descendent al semialternanței pozitive. În fig. 5d, impulsul de amorsare, se aplică la 2,5 msec după trecerea prin zero, adică defazat cu cca. 45° față de începutul semialternanței pozitive ; unghiul de conducție este de cca. 135° din cele 180° ale unei semialternanțe. Tensiunea la bornele tiristorului are forma din fig. 5b : după amorsare, tensiunea la bornele tiristorului este aproape nulă, iar în timpul alternanței negative de cca. 311V. Curentul prin sarcină este în fază cu tensiunea la bornele sarcinii (fig. 5c), iar valoarea medie aritmetică U_{cc} , se vede trasată cu o linie punctată. Filtrarea se face cu un condensator electrolitic pentru a înlătura pulsația alternativă. Modificînd poziția impulsului de amorsare între 0 și 180° , se poate obține practic orice tensiune continuă la ieșire, pe sarcină.

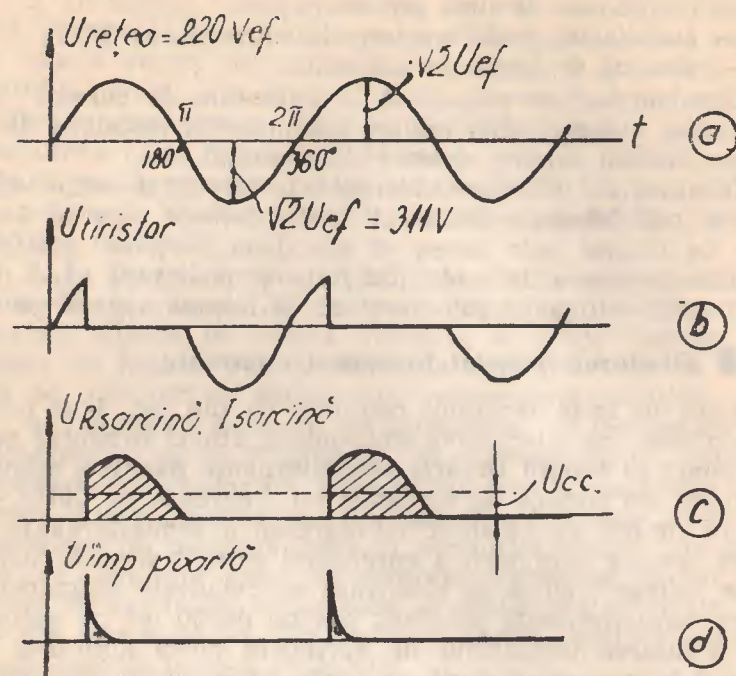


Fig. 5

Schema electrică a unui redresor cu „decupare de fază”, este arătată în fig. 6.

Schema asigură redresarea oferind o tensiune continuă $U_{ieș} = 155V$, care nu este stabilizată față de variațiile rețelei, dar care se menține destul de constantă la variația sarcinei, adică a curentului debitat: astfel la $I = 0,1A$, $U_{ieș} = 160V$, la $0,35A$ avem $155V$, iar la $0,5A$ avem $150V$. Prin „decupare de fază”, numai o parte din semialternanța pozitivă trece prin tiristor și încarcă condensatorul de filtraj. C_3 . Tensiunea continuă la ieșire depinde deci esențial de defazare (momentul amorsării tiristorului), de valoarea C_3 , de mărimea R_1 , și mai puțin de curentul debitat sarcinei ($R_{internă} \approx 25$ ohmi). Rezistența serie R_1 limitează curentul de încărcare a C_3 la pornire, cînd șocul este de $30-40A$. Pentru tiristorul T3N400 care suportă $I_{FSM} = 50A$, valoarea R_1 poate fi redusă pînă

la $3,3$ ohmi. Defazarea în schema de mai sus este aproximativ 80° . Momentul amorsării depinde de defazare și de mărimea tensiunii alternative de comandă. Amorsarea are loc numai dacă tensiunea alternativă pe poartă este pozitivă față de tensiunea de pe catod (de pe C_3); ca urmare, în momentul aprinderii tensiunea pe G trebuie să fie mai mare decît pe condensatorul C_3 . Defazarea pe cca. 80° a tensiunii de comandă U_c se realizează grupurile R_2C_1 și R_3C_2 . Valorile R_2 și R_3 sînt dimensionate astfel încît prin R_2R_3 să curgă suficient curent pentru a

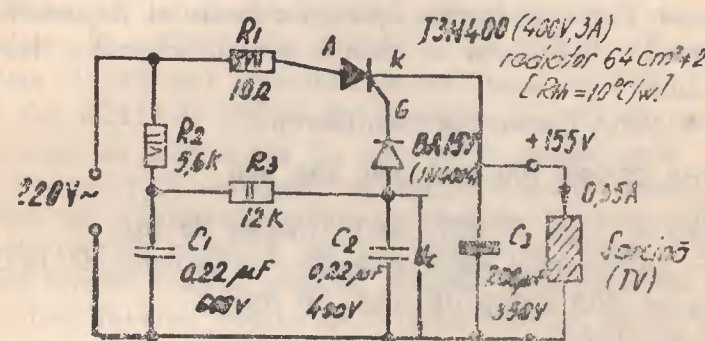


Fig. 6

satisfacă mărimea curentului de amorsare cerut de poarta tiristorului ($< 20mA$). Dioda D_1 are rolul de a aplica pe poartă doar tensiunea pozitivă de comandă blocînd semialternanța negativă.

La acest redresor, modificarea poziției fazei tensiunii de comandă (prin grupul de defazare), permite varierea tensiunii continue la ieșire. O defazare sub 90° , mărește, iar defazarea peste 90° micșorează tensiunea de ieșire. De exemplu, micșorarea R_2 sau R_3 provoacă mărirea $U_{ieș}$, iar mărirea C_1 sau C_2 , conduce la micșorarea $U_{ieș}$.

Efectul de stabilizare a tensiunii de ieșire cu sarcina, se explică astfel: cînd I_o debitat sarcinei crește, tensiunea $U_{ieș}$ pe C_3 tinde să scadă deci și tensiunea pe catodul tiristorului; tiristorul amorsează mai devreme, iar durata de conducție crește și ca urmare $U_{ieș}$ crește.

●● În cele de mai jos se dau parametrii unor tiristoare mici fabricate de IPRS:

Seria TO,8N60, 100, 200, 300, 400, 500

$U_{DRM} = U_{RRM} = 60V \dots 500V$ (se deduce din cod: de ex. TO,8N500, înseamnă $U_{RRM} = 500V$).

$I_o = 0,8A$ (curentul mediu redresat, cu radiator).

$I_o = 0,5A$ (curent mediu redresat, fără radiator), $T_{corp} \text{ max.} = 85^\circ C$.

$I_{TSM} = 10A$ (curent accidental de suprasarcină, $t = 10$ msec).

$I_{GT} = 10mA$ (valoarea tipică a curentului de amorsare).

$U_{GT} = 1V$ (tensiunea de poartă pentru amorsare, față de catod).

$I_H \leq 20mA$ (curent de menținere).

Seria T3N60, 100, 200, 300, 400, 500

$U_{DRM} = U_{RRM} = 60V \dots 500V$ (funcție de tip).

$I_o = 3A$ (curentul redresat mediu, cu radiator de $10^\circ C/W$).

$I_{TSM} = 50A$ (timp de max. 10 msec.).

$I_{GT} \leq 20 mA$;

$U_{GT} \leq 3 V$;

Rezistența termică joncțiune — capsulă $R_{thjc} \leq 6^\circ C/W$.

Timpul de amorsare: $t_{gt} = 2 \mu sec$.

Timpul de desmorsare: $t_q = 15 \mu sec$.

Curentul de menținere: $I_H \leq 25mA$.

Tiristoare de mare putere nu interesează domeniul radio-electronicii de larg consum: T51...T512 $I_o = 50A$, $I_{TSM} = 800A$, $U_{DRM} = U_{RRM} = 100V \dots 1200V$.

T201...T212 ($I_o = 200A$, $I_{TSM} = 4000A$, $U_{DRM} = U_{RRM} = 100V \dots 1200V$).

Atenție: Tiristoarele speciale pentru BO: BT119, BT120, BT121, nu sînt simetrice din punctul de vedere al tensiunilor U_{DRM} și U_{RRM} ca toate tiristoarele obișnuite. De exemplu la BT121, avem $U_{DRM} = 500V$ în timp ce U_{RRM} (tensiunea inversă maximă admisă în invers), este de 50V.

Baleiaj orizontal cu tiristoare la TVC

În TV alb—negru și mai ales în TV color, tiristoarele prezintă unele avantaje față de soluția cu tranzistor final BU208, soluție ce necesită U_{STAB} de 160V, 1A.

— alimentarea fără stabilizator de tensiune la 270—280 Vcc, cu 0,5A.

— fiabilitatea ridicată și insensibilitate la supratensiuni.

— consum mic de putere pentru comanda etajului final de BO. Schema electrică simplificată a unui BO pentru TV color, este arătată în fig. 7.

Baleiajul orizontal cuprinde 2 tiristoare și 2 diode anti-paralele: T_1 —BT119; D_1 —BY189; T_2 —BT120; D_2 —BY189; diodele BY189 sînt caracterizate de $U_{RRM} = 750V$, $I_{FRM} = 15A$, iar BT119 și BT120 sînt aproape identice ca parametri. Tensiunea de alimentare U_B 240...300V nestabilizată.

Grupul $T_1 D_1$, conduce în timpul cursei directe, avînd funcția de comutator bipolar; D_1 conduce la începutul cursei directe (curent negativ), iar T_1 conduce în partea a doua a cursei directe (curent pozitiv). Grupul $T_2 D_2$, lucrează în timpul cursei inverse. Bobina de deflexie este L_y , iar C_y condensatorul de tangență. Durata cursei inverse este determinată de $L_y L_R$ și C_R , iar momentul de declanșare a cursei inverse,

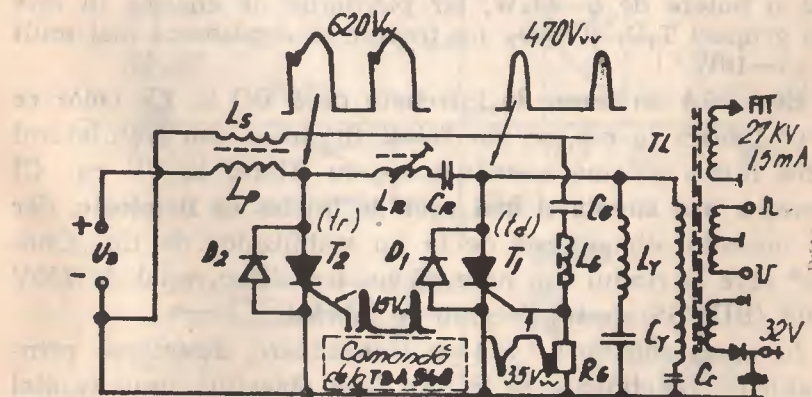


Fig. 7

este stabilit de sincroprocesorul TBA 940, care prin intermediul unui etaj de comandă, aplică un impuls pozitiv pe poarta T_2 . Tiristorul T_2 conduce curentul pozitiv, în timpul cursei inverse, iar D_2 conduce în partea a doua a cursei inverse, curentul negativ.

Capacitățile C_Y , C_R și inductanțele L_Y , L_R , lucrează și ca rezervoare de energie și ca componente care determină prin constantele lor de timp, momentele de comutare care asigură funcționarea corectă a întregului BO. Bobina L_R ajustează $t_r = 12 \mu\text{sec}$. Inductanța L_p livrează toată energia baleiajului orizontal și induce în bobina secundară L_p impulsul negativ de amorsare a tiristorului T_1 care se aplică pe poarta T_1 prin C_G , L_G și R_G . Transformatorul de linii TL, cuprinde un primar izolat în c.c. prin C_C precum și diferite secundare auxiliare. Tensiunea de 27KV (FIT) se obține prin triplare de tensiune (3x9KV).

Tiristoarele și diodele pentru BO sînt piese ușor de utilizat, dar foarte greu de fabricat. Tehnologia este critică, iar randamentele de fabricație — mici. Aceasta deoarece se cer simultan proprietăți contradictorii: timpi extremi de mici de comutație; intrarea în conducție, ieșirea din conducție, inerție mică la comanda pe poartă și totodată curenți mari (15A), tensiuni de 700—800V și pierderi mici în timpul procesului de conducție și comutație. În BO la TV color, se comută o putere de 5—6KW, iar pierderile de energie în cele două grupuri T_1D_1 și T_2D_2 , nu trebuie să depășească mai mult de 15—16W!!

Este încă un semn de întrebare dacă BO la TV color ce se vor fabrica la noi, se vor folosi tiristoare sau tranzistorul BU208 într-o schemă asemănătoare cu BU205 la TV cu CI alb-negru mai simplă și mai ușor de înțeles ca fiziologie, dar care necesită alimentarea de la un stabilizator de tip „Chopper” care la rîndul său necesită un tranzistor rapid de 750V și 10A (BU326S) destul de greu de fabricat.

În cazul adoptării BO cu tranzistoare, descrierea principiului de funcționare al BO va face obiectul unui capitol special de 60—70 pagini în BT Nr. 10 sau 11.

4.8. Alte dispozitive semiconductoare înrudite cu tiristorul

În această categorie intră diodele DIAC, tiristoarele TRIAC și tiristorul TETRODA.

● Dioda DIAC conține două diode conectate în serie în antifază: PN—NP realizate pe un cristal de siliciu. La aplicarea unei tensiuni alternative a cărei valoare de vîrf depășește tensiunea de străpungere a diodelor, datorită conducției de scurtă durată se produc impulsuri de curent foarte ascuțite, potrivite pentru comanda (amorsarea) triacurilor și a tiristoarelor.

În fig. 8 se arată caracteristica UI a unui diac de tipul BR100 (Philips) care are tensiunea de întoarcere U_{BO} cuprinsă între 28 și 36V, simetric într-un sens sau altul. În conducție, tensiunea de lucru este U_w cu 3—4V (cel mult 6V) mai mică decât U_{BO} , deci de cca. 25...30V. Vîrfurile care trec prin diodă, sînt de cel mult 6V și reprezintă diferența dintre U_{BO} și U_w . Aceste impulsuri sînt folosite pentru a comanda poarta unui tiristor. Circuitul alăturat servește pentru măsurarea tensiunii U_M la ieșirea diacului și care trebuie să fie mai mare de 5V la bornele rezistenței de 20 ohmi.

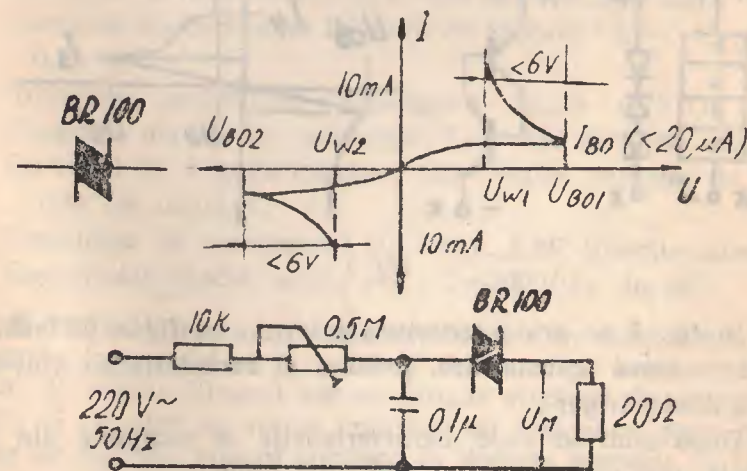


Fig. 8

● **Dioda cu patru zone.** Spre deosebire de tiristor, dioda cu patru zone are o structură identică cu tiristorul, însă se comportă ca un dipol (o diodă), neavând electrod de comandă. Amorsarea se face prin reacție pozitivă, așa cum s-a descris funcționarea configurației cu două tranzistoare NPN și PNP cu $A_1 + A_2 > 1$. Dioda aceasta se mai numește și diodă trigger.

Cît timp tensiunea aplicată între A și K este mai mică decît tensiunea de comutare U_S , dioda cu patru zone (dioda trigger) se comportă ca o diodă cu Si blocată. Dacă însă peste tensiunea aplicată, se adaugă un impuls care depășește ca amplitudine pe U_S , dioda intră în conducție și se comportă ca o diodă în conducție directă. Conducția se menține atîta timp cît curentul este mai mare decît I_H care este ca și la tiristor un curent de menținere a conducției. Scăderea I_H sub valoarea de menținere, aduce dioda iarăși în starea de blocare. În regim de polarizare inversă adică A negativ și K pozitiv, dioda trigger se comportă ca orice diodă cu Si blocată, la care tensiunea U_{ab} nu trebuie depășită deoarece dioda se distruge termic.

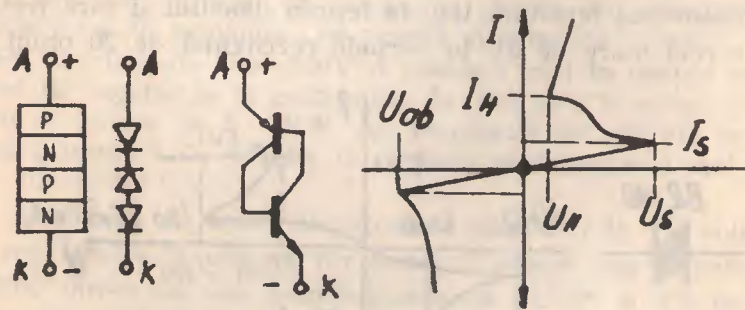


Fig. 9

În fig. 9 se arată structura internă, configurația echivalentă cu două tranzistoare, precum și caracteristica volt-ampere a diodei trigger:

După cum se vede, caracteristicile se compune din trei zone în care dioda se comportă total diferit:

1. La orice tensiune cuprinsă între U_{ab} și U_S , dispozitivul se comportă ca două diode conectate în serie în antifază, fiind blocat (conduce un curent foarte mic, de microamperi).
2. Între U_S și U_H , dioda se comportă ca o rezistență negativă variabilă cu tensiunea.
3. Deasupra lui I_H , deci în jurul lui U_H , dioda se comportă ca orice diodă cu Si în stare de conducție directă prezentînd o cădere de tensiune de 0,8—1,5V.

Aceste proprietăți interesante ale diodei trigger, o recomandă pentru utilizarea în circuite de numărare a impulsurilor (contoare rapide), în amplificatoare de impulsuri, generatoare de impulsuri, regulatoare de fază. Se mai utilizează în circuitele de comandă a tiristoarelor din stabilizatoarele de tensiune, în memorii cu miezuri de ferită, precum și în sistemele de telecomunicații.

Se dau ai jos parametrii unor diode cu patru zone (trigger) fabricate de Intermetall:

Tensiunea de întoarcere: $U_S = (20...200V) \pm 10\%$
4E20—8...4E200—8.

Curentul de menținere: $I_H = 1...15mA$ (tipic 8mA).

Curentul de întoarcere: $I_S < 125 \mu A$ (25...100 μA);

Curentul de conducție în stare de blocare: $I_D < 15 \mu A$ la $0,75 U_S$;

Tensiunea inversă de străpungere: $U_{ab} > 0,75 U_S$.

Curentul maxim de conducție: $I_F = 150 mA$ (de durată).

Curentul de impuls maxim: $I_{FM} = 10A$ (funcție de durată impulsului).

Tensiunea de menținere: $U_H = 0,5...1,2V$ (funcție curent).

Capacitatea diodei la $U_R = 0$: $C = 2000/U_S$ în pF.

● **TRIAC** — este un dispozitiv format din două tiristoare conectate în paralel și în antifază realizate pe același monocristal de siliciu. Triacul are un singur electrod de comandă, poarta G pe care se aplică impulsul de amorsare. Spre deosebire de tiristor, triacul conduce în ambele sensuri: de la A la K și de la K la A. Este un tiristor bidirecțional. Triacul

este deci un dispozitiv bipolar, utilizat preponderent în circuite de curent alternativ neredresat, în sisteme de comutare statică, comandă și reglare a curenților alternativi, cum ar fi reglarea turațiilor motoarelor, controlul temperaturilor etc.

● TIRISTORUL TETRODĂ.

Spre deosebire de tiristorul obișnuit, tetroda are două porți de comandă :

- poarta de catod GK.
- poarta de anod GA.

La tiristorul tetrodă, rezistența de sarcină se conectează tot în circuitul anodic. Amorsarea conducției se poate face în 3 feluri :

- cu semnal pozitiv aplicat pe poarta catodică GK.
- cu semnal negativ aplicat pe poarta anodică GA.
- prin depășirea tensiunii de întoarcere U_S (sau U_{BO}).

Stingerea tiristorului se face prin :

- aplicarea unui semnal negativ pe GK.
- aplicarea unui semnal pozitiv pe GA.
- scăderea curentului prin tetrodă sub valoarea de menținere I_H .

- întreruperea tensiunii anodice.
- inversarea polarității tensiunii anodice.

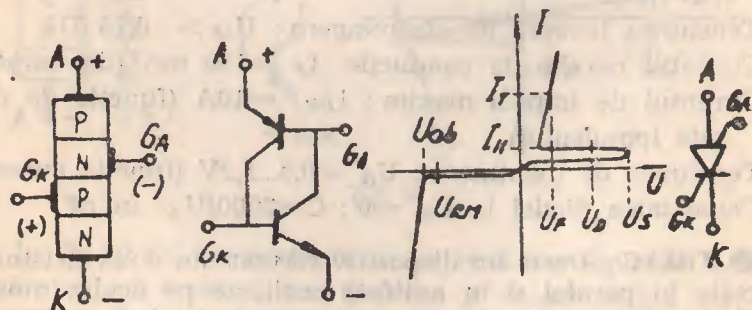


Fig. 11

Se arată în fig. 10 structura zonelor, analogia cu două tranzistoare, caracteristica UI și simbolul grafic. Tensiunile

și curenții importanți, sint enumerați mai jos. Valorile date se referă la tiristorul tetrodă BRY39 (Philips), în capsulă T072 (ca un tranzistor BC108), utilizabil în televizoare.

U_{ab} — tensiunea de străpungere în regim de polarizare inversă $> 70V$.

U_F — tensiunea de conducție în direct la $I_T = 100mA$, $< 1,4V$.

U_D — tensiunea directă în stare de blocare directă: $U_D = U_R = 70V$.

U_S — tensiunea de întoarcere sau de comutare (U_{BO}): $> 70V$.

I_H — curentul de menținere a conducției: $< 0,25mA$.

I_{TM} — curentul maxim de conducție continuu sau periodic: $250mA$.

I_{TSM} — curentul de vîrf accidental: $25A$.

I_{RM} — curentul invers maxim admis la $U_{RM} = 70V$ (tipic $1nA$) $< 100nA$.

U_{GKT} — tensiunea de amorsare pe poarta de catod, la $U_D = 6V > 0,5V$.

I_{GKT} — curentul de amorsare în circuitul porții GK: $> 1\mu A$;

U_{GAT} — tensiunea de amorsare pe poarta de anod, la $U_D = 6V > -1V$.

I_{GAT} — curentul de amorsare pe poarta de catod, la $U_D = 6V > -0,1mA$.

Pentru exemplificarea utilizării tiristoarelor tetrodă BRY39 se dă în fig. 11 schema unui oscilator de cadre prevăzut inițial pentru TV cu CI — în faza de proiectare.

Prin R_9 și C_1 se alimentează oscilatorul. R_1 , R_2 și R_3 stabilesc nivelul de tensiune continuă pe poarta de catod. Condensatorul C_2 împreună cu R_6 și R_7 stabilesc constanta de timp de încărcare a C_2 și formarea dintelui de fierăstrău, foarte liniar. La fiecare $20ms$ deci în ritmul a $50Hz$ impulsurile de sincronizare verticală amorsează tiristorul tetrodă,

care, intrînd în conducție scurtcircuitază (descarcă) condensatorul C_2 , după care C_2 începe să se încarce din nou. Potentiometrul R_2 reglează frecvența liberă a oscilatorului de ca-

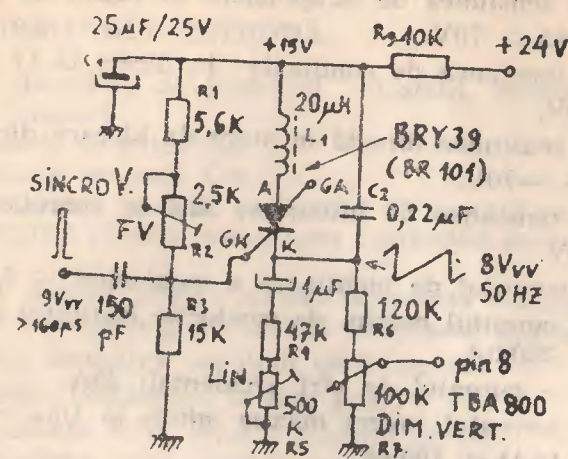


Fig. 10

dre stabilind momentul amorsării tiristorului. Cu R_5 se corectează în „S” dinte de fierăstrău. De pe cursorul R_7 se culege tensiunea în d.d.f. și se aplică la intrarea CI TBA800 (de fapt un amplificator de AF) care lucrează aici ca amplificator de tensiune și de putere avînd ca sarcină bobinele de deflexie verticală conectate în paralel. Cursorul R_7 „dozează” amplitudinea tensiunii în d.d.f. și ca urmare dimensiunea verticală a imaginii. Consumul total al oscilatorului este de cca. 1mA iar stabilitatea frecvenței este excepțională. Impulsurile de sincronizare verticală se obțin direct de la pin 7 a CI—TBA950. Cuplajul prin 150pF este slab pentru a evita derivarea impulsului.

★

Tranzistoare 2 N 3055 fabricate la IPRS.

În ultimul timp I.P.R.S. a asimilat fabricarea tranzistoarelor homotaxiale (simplu difuzate) 2 N 3055 cunoscute și răspîndite larg pe plan mondial.

Ca urmare a dispersiei inerente a parametrilor, în scopul valorificării întregii fabricații cît și pentru o selectare-sortare cît mai rațională, tranzistoarele produse sînt marcate în mod distinct după criteriul tensiunii U_{CEO} și al amplificării de curent B. Avem astfel un număr de 14 subtipuri caracterizate de datele electrice din tabelul de mai jos (cu semnificația cifrelor și literelor).

	U_{CBO} (V)	U_{CEO} (V)	I_{CM} (V)	B Ic	Observații
2N3055—1	—	30	15	20 la 3A	Uz în STAB. DIV.
2N3055—2	—	30	15	10 la 3A	Uz general 30V
2N3055—3	100	60	15	20 la 3A	Bun AAF 45W
2N3055—4	—	20	15	30 la 3A	Bun TV sport CI
2N3055—5	—	20	15	15 la 3A	Bun TV sport CI
2N3055—6	100	60	15	15 la 4A	Universal
2N3055—7	100	60	15	15 la 3A	Universal
2N3055—8	100	60	15	70 la 4A	Bun AAF 55W
2N3055—9	—	45	15	15 la 3A	Bun AAF 35W
2N3055—10	—	45	15	70 la 4A	Bun AAF 40W
2N3055U	100	30	15	30—200/1A	Condiț. TV2,5,6CI
2N3055V	80	60	20	20—150/1A	Condiț. TV2,5,6CI
2N3055M	120	90	10	20—50/0,5A	Bun TV2,5,6CI
2N3055S	—	100	10	30—120/0,3A	Bun TV2,5,6CI

CUPRINS

	pag.
Prefață	3
CAP. 1. REZISTOARE	5
1.1. Rezistoare cu peliculă de carbon RCG	5
Utilizarea rezistențelor cu carbon	8
Inductanța și impedanța rezistoarelor	13
1.2. Rezistoare cu film metalic RMG	14
Solicitarea la impulsuri a rezistoarelor	17
Rezistoare profesionale cu film metalic (RMP)	21
1.3. Rezistoare bobinate R.B.C. și R.B.T.	22
1.4. Termistoare	26
Termistoare cilindrice pentru filamente	31
Termistoare de uz general	33
1.5. Varistoare	34
Varistoare utilizate la TV cu tuburi	38
CAP. 2. CONDENSATOARE	39
2.1. Condensatoare electrolitice	41
Comportarea elco în C.C. și C.A.	44
Condensatoare electrolitice nepolarizate	47
Parametrii principali a elco	49
Impedanța	56
Fiabilitatea reală	58
2.2. Utilizarea condensatoarelor electrolitice în AF	60
Curentul alternativ (ripple) admisibil	63

2.3. Condensatoare fixe cu folii	64
Condensatoare cu hîrtie metalizată	66
Condensatoare cu hîrtie cu folii metalice	67
Condensatoare cu polistiren (stiroflex)	69
Condensatoare cu poliester metalizat (mylar)	73
Autoregenerarea la străpungere	77
Condensatoare cu polipropilenă și dual	80
Comportarea la impulsuri a condensatoarelor 78, 81-83	
2.4. Condensatoare fixe ceramice	84
Tipuri de ceramică	86
Coeficientul de temperatură	87
Condensatoare ceramice disc	88
Condensatoare ceramice plachetă	90
Condensatoare ceramice de protecție VDE 0560	92
2.5. Circuitul oscilant și condensatorul de acord	94
CAP. 3. SEMICONDUCTOARE MODERNE	101
3.1. Proprietățile fizice și electrice ale semiconduc torilor	103
Dotarea și procedee de dotare	105
Juncțiunea PN și efectul de barieră	108
3.2. Dioda	109
Diode pentru tensiuni foarte mari	112
Dioda zener	112
Dioda varicap	114
Dioda Schottky	115
Dioda Tunel (ESAKI)	117
Dioda IMPATT	119
Elementul GUNN	121
Dioda PIN	123
Fotodiode	125
Fotoelemente (celule solare)	126
Fototranzistorul	128
Diode LED (luminiscente)	129
3.3. Tranzistorul bipolar	132
Tehnologia planară	134
Tranzistoare epibază	136
Tranzistoare simplu difuzate	137