

Colecția radio și televiziune

128

R. G. Hibberd

Editura tehnică

# Circuite integrate

Intrebări și răspunsuri



*H. G. Hibberd — Questions and answers on integrated circuits* Copyright (C) R. G. Hibberd, 1974

Traducerea : ing. **Ion Marghescu**  
ing. **Marin Sămpăleanu**

Redactor : ing. **CONSTANTIN MINEA**  
Tehnoredactor : **MARIA IONESCU**  
Coperta : **CONSTANTIN GULUȚA**

*Bun de tipar : 22.07.1975. Coli de tipar : 6,75.  
Tiraj : 35 000 + 75 exemplare broșate.  
C.Z. 621.382.*

---

Întreprinderea Poligrafică „Banat”, Timișoara, Calea Aradului nr. 1. Republica Socialistă România.

---

Comanda nr. 166.



## *Prefață*

*Circuitele integrate sînt în momentul de față bine stabilizate printre componentele electronice. Multe tipuri standardizate sînt larg răspîndite, oferind proiectantului de echipament electronic posibilitatea unor reduceri de cost considerabile și a unor timpi de fabricație mici.*

*Această carte are scopul de a veni în ajutorul oricui dorește să cunoască cît mai mult despre circuitele integrate, în special studenților și tehnicienilor. Ea răspunde unui număr de întrebări generale în legătură cu tehnologia circuitelor integrate, diferitele familii de c. i. (bipolar, MOS, digitale, liniare etc.) și folosirea acestora.*

R. G. HIBBERD

## Cuprins

1. ASPECTE FUNDAMENTALE ALE CIRCUITELOR INTEGRATE . . . . .	5
2. TEHNOLOGIA CIRCUITELOR INTEGRATE . . . . .	11
3. CIRCUITE INTEGRATE NUMERICE . . . . .	32
4. CIRCUITE INTEGRATE LINIARE . . . . .	65
5. CIRCUITE INTEGRATE MOS . . . . .	77
6. MSI și LSI . . . . .	89
7. UTILIZAREA CIRCUITELOR INTEGRATE . . . . .	96

**Ce este un circuit integrat ?**

Un circuit integrat este un circuit electronic complet realizat pe o bucată (cip) mică de material semiconductor, de obicei siliciu. Suprafața tipică a unui cip este de  $1,5 \text{ mm}^2$ , iar grosimea de  $0,2 \text{ mm}$ . Toate componentele de circuit (tranzistoare, diode, rezistoare și capacitatoare de valoare mică, împreună cu conductoarele de interconectare) se realizează în același timp, printr-un proces ce s-a dezvoltat din tehnologia planară, tehnologie folosită inițial pentru fabricarea tranzistorului cu siliciu.

Cipul se încapsulează pentru a se obține un circuit electronic complet, care este manevrat ca o singură componentă. Pentru încapsulare se folosesc câteva tipuri diferite de capsule (fig. 15).

**Cîte componente de circuit pot fi folosite  
într-un circuit integrat ?**

Numărul acestora depinde îndeosebi de mărimea cipului de siliciu. Un cip obișnuit este un pătrat cu latura de  $1,25 \text{ mm}$ , deci cu o suprafață de  $1,56 \text{ mm}^2$ .

Componentele circuitelor integrate bipolare ocupă în medie o suprafață de aproximativ  $0,012 \text{ mm}^2$ ; deci, rezervând o anumită suprafață pentru padurile de interconectare, pe acest cip pot fi formate aproximativ 100 de componente. Unele circuite integrate bipolare recente, cu cipuri de suprafață pînă la  $2,25 \text{ mm}^2$ , conțin cîteva sute de elemente de circuit.

În circuitele integrate MOS, elementele de circuit sînt toate structuri MOS care ocupă o suprafață foarte mică, de aproximativ  $0,002 \text{ mm}^2$ . În acest moment unele circuite integrate MOS se fac pe cipuri cu suprafața de  $5 \text{ mm}^2$  și cuprind mai mult de 5 000 elemente de circuit MOS.

### **De ce sînt circuitele integrate atît de mici comparativ cu componentele discrete ?**

Pe cipul unui tranzistor de semnal mic obișnuit, structura tranzistorului activ ocupă numai 10% din suprafața totală a cipului. Cipul tranzistorului cu o suprafață aproximativă de  $0,4 \text{ mm}^2$ , nu poate fi tăiat mai mic, pentru a se reduce suprafața nefolosită, datorită limitărilor ce apar în procesul de tăiere. La un circuit integrat, putem folosi restul de 90% din suprafața cipului pentru componente suplimentare, realizînd astfel pînă la zece componente de circuit pe același cip. Dacă mărim dimensiunile cipului, să zicem la  $1,55 \text{ mm}^2$ , avem încă un cip foarte mic, care acum poate conține pînă la 100 de componente de circuit. Acest cip, care conține circuitul integrat, este încapsulat pentru a se obține un circuit complet într-o singură capsulă, în timp ce pentru ansamblul circuitului discret,

am avea 100 componente încapsulate separat, care ar trebui asamblate pe un circuit imprimat, ansamblul rezultant ocupând un volum relativ mare.

**Care este costul unui circuit integrat în comparație cu circuitul cu componente discrete echivalent ?**

În răspunsul, la întrebarea precedentă, s-a arătat de ce un circuit integrat este mult mai mic decât circuitul cu componente discrete echivalent. Aceleași considerații sugerează că circuitul integrat ar avea un cost mai scăzut. Într-o primă aproximație, se poate spune că prețul de fabricație al unei plăchete de siliciu este mai mult sau mai puțin independent de tipul de dispozitiv ce urmează a fi realizat pe plăchetă. Aceasta înseamnă că prețul de fabricație al oricărui dispozitiv este proporțional cu suprafața cipului său.

Acum, așa cum s-a arătat în răspunsul precedent, putem realiza un circuit integrat ce conține aproximativ zece componente pe un cip de aceeași mărime cu cel al unui tranzistor discret de semnal mic, deci putem realiza un circuit integrat ce conține zece componente cu același cost ca al unui tranzistor discret. Din aceasta va rezulta clar că un circuit discret ce conține zece componente trebuie să coste mult mai mult decât circuitul integrat echivalent.

Discuția de mai sus s-a concentrat asupra costurilor de fabricație. Considerațiile privind costurile de proiectare și realizare sînt diferite. Proiectarea și realizarea unui circuit integrat costă mult mai mult, cel puțin cu un ordin de mărime, decât un circuit cu componente discrete echivalent. Deci dacă se cere un circuit mai mic și nu există la îndemînă un catalog de circuite integrate, poate fi mai ieftină utilizarea unui circuit cu componente discrete.



În general, dacă sînt necesare mai mult de o mie de circuite, costul total al unui circuit integrat va fi mai mic decît costul total al ansamblului cu componente discrete echivalent.

### **Cum sînt performanțele circuitelor integrate în raport cu cele ale circuitelor cu componente discrete ?**

Acum, cînd metodele de proiectare și realizare a circuitelor integrate sînt bine stabilizate, performanțele circuitelor integrate sînt în general mai bune decît ale circuitelor cu componente discrete echivalente. Spre exemplu, acesta se aplică îndeosebi la circuitele echilibrate, cum ar fi amplificatoarele diferențiale, în care împerecherea și deriva termică a tranzistoarelor și rezistoarelor sînt de importanță majoră. Într-un circuit integrat, astfel de componente pot fi realizate una lîngă alta pe cip și astfel ar avea caracteristici în mare măsură identice.

Deși nu este posibilă realizarea rezistoarelor integrate cu o precizie mai bună de  $\pm 10\%$ , este posibil să se reproducă raportul a două rezistoare realizate unul lîngă altul cu o precizie mai bună de  $\pm 2\%$ . Acest fapt are importanță în circuitele de reacție negativă și permite să fie introduse în circuite integrate valori precise pentru amplificări.

Datorită dimensiunilor mici ale unui cip integrat, interconexiunile și suprafața sa sînt foarte mici și este posibilă deci obținerea unei amplificări mult mai mari, fără reacție capacitivă. De asemenea, capacitățile parazite interne sînt mai mici, permițînd obținerea unui produs amplificare-bandă mai mare.

La porțile logice, împerecherea caracteristicilor directe ale joncțiunilor bază-emitor ale tranzistoarelor este o cerință frecventă ; deci, din nou, circuitul integrat oferă performanțe mai bune.

Acestea sînt numai cîteva exemple. Pe măsură ce se vor prezenta în continuare metodele de proiectare a circuitelor integrate, se va evidenția mai mult superioritatea acestora.

### **Cît de fiabile sînt circuitele integrate ?**

Considerînd un circuit integrat ca o singură componentă, siguranța sa în funcționare este cam aceeași cu a unui tranzistor planar discret, deoarece procedeele folosite în fabricație sînt similare pentru ambele. Adesea se citează factori de fiabilitate mai buni de 0,01% pentru 1 000 ore de funcționare. Totuși, fiabilitatea întregului echipament este mult mai importantă decît fiabilitatea dispozitivului, iar în acest sens folosirea circuitelor integrate oferă o îmbunătățire considerabilă. Cauza majoră a defectării echipamentului electronic este cea a conexiunilor incorecte din sistemul de interconectare a componentelor.

Cînd se folosesc circuite integrate, numărul conexiunilor se reduce puternic, iar fiabilitatea echipamentului se îmbunătățește în proporție inversă.

### **Care este diferența dintre circuitele integrate monolitice și circuitele hibride ?**

Într-un circuit integrat monolitic, toate elementele de circuit și firele de interconexiune se formează simultan, într-un cip mic de siliciu. Într-un circuit hibrid, compo-

nentele pasive (rezistoare și capacitoare) și firele de interconectare sînt formate inițial pe un strat izolator, cum ar fi ceramica sau sticla, iar dispozitivele active (tranzistoare și diode) sînt adăugate sub formă discretă.

### **Ce sînt circuitele cu strat subțire și cu strat gros ?**

Acestea sînt circuite electronice microminiaturizate, de tipul celor hibride. Într-un circuit cu strat subțire, componentele pasive și interconexiunile sînt realizate pe un substrat de ceramică folosind metodele de evaporare. Grosimile stratului sînt cuprinse de obicei între 0,025 și 2,5  $\mu\text{m}$ . La circuitele cu strat gros, se folosește procesul silk-screen pentru depunerea componentelor pasive și a interconexiunilor pe un substrat de ceramică, rezultînd un strat mai gros, de aproximativ 50  $\mu\text{m}$ .

În ambele tipuri, dispozitivele active (tranzistoare și diode) se adaugă sub forma tipurilor discrete, fiecare cip fiind montat pe un suport metalizat, special pregătit, și conectat apoi pe circuit.

### Ce este tehnologia planară ?

Pentru fabricarea tranzistoarelor cu siliciu și a circuitelor integrate se folosește tehnologia planară. Această tehnologie se realizează pe plăchete de siliciu și constă într-o succesiune de oxidări ale suprafeței, îndepărtarea selectivă a anumitor regiuni de oxid, și apoi o difuzie în stare solidă a unei impurități în deschiderile din oxid pentru a modifica proprietățile electrice ale siliciului. Această succesiune de operații se repetă pentru a forma alte deschideri în oxid și introducerea altor impurități pentru a obține structura dispozitivului cerut. În final, se oxidează din nou suprafața, se îndepărtează selectiv oxidul pentru a crea regiunile de contact și se depune prin evaporare un metal, cum ar fi aluminiul, pentru a forma contactele electrice la diferite regiuni ale dispozitivului.

Toate aceste etape au loc pe aceeași suprafață a plăchetei de siliciu, rezultând pentru dispozitiv o structură cu suprafață plană, și deci de aici numele de tehnologie planară.

## Circuitele integrate se fabrică pe rînd ?

Nu, pe o plachetă de siliciu se fac în același timp sute de circuite integrate identice. În momentul de față se utilizează de obicei plachete de siliciu cu diametrul de 50 mm. Pentru un cip obișnuit de formă pătrată cu latura 1,25 mm, circuitul integrat poate fi repetat de 1 200 ori pe plachetă. Toate circuitele se formează în același timp prin prelucrarea succesivă a plachetei, și apoi placheta se taie în cipuri individuale.

## Ce este difuzia în stare solidă ?

Difuzia în stare solidă este un proces prin care atomii de impuritate pot fi introduși în regiuni de pe suprafața plachetei de siliciu. Dacă se încălzește în cuptor placheta de siliciu la o temperatură ridicată (1 000—1 250 °C) iar prin cuptor, peste suprafața plachetei trec vapori ce conțin impurități, unii dintre atomii de impuritate vor intra în contact cu suprafața siliciului, și pe măsură ce acest proces continuă ei vor pătrunde încet, vor difuza, în siliciu. Adîncimea la care pătrund atomii de impuritate în siliciu depinde de timpul cît siliciul este expus fluxului de vapori și de constanta de difuzie a impurităților, care în schimb depinde de temperatura siliciului. Relația matematică ce descrie difuzia la o concentrație de suprafață constantă este

$$N_x = N_0 \left( 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{2Dt}} \right),$$

unde :

$N_x$  este concentrația impurităților la o distanță  $x$  de la suprafață ;

$N_0$  — concentrația de impurități, la suprafață ;

- $\text{erf}$  — expresia matematică a funcției de eroare ;  
 $x$  — distanța față de suprafață ;  
 $D$  — constanta de difuzie pentru impuritatea din siliciu ;  
 $t$  — timpul în secunde.

Forma concentrației de impurități în funcție de distanța față de suprafață este reprezentată în fig. 1 pentru difuzia borului în siliciu. Pătrunderea atomilor de impuritate este foarte mică, spre exemplu în siliciul încălzit la  $1100^\circ\text{C}$ , atomii de bor vor difuza în interior aproxi-

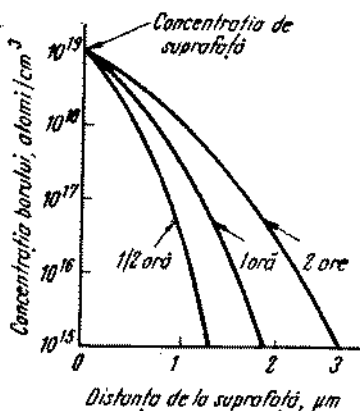


Fig. 1. Difuzia borului în siliciu la  $1100^\circ\text{C}$ .

mativ pe o distanță de  $2,5\ \mu\text{m}$  în timp de două ore, iar atomii de fosfor vor difuza aproximativ  $2\ \mu\text{m}$  în 40 de minute.

Dacă difuzăm atomi de bor în siliciu de tip  $n$ , deoarece borul reprezintă o impuritate acceptoare, când concentrația atomilor de bor din regiunea de la suprafață depășește concentrația donatorilor originali, regiunea de la suprafață va fi transformată într-o regiune de tip  $p$  și se va forma o joncțiune  $pn$  la o distanță mică de suprafața unde

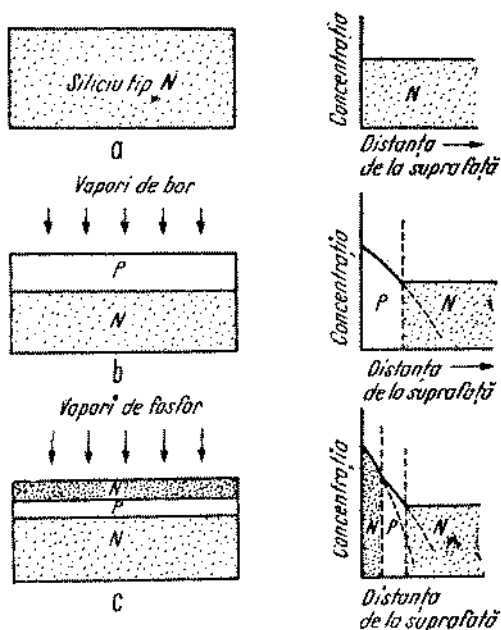


Fig. 2. Difuzia în stare solidă.

cele două concentrații sînt egale. Acest fenomen este ilustrat în figura 2 b. Dacă luăm acum placheta și o încălzim din nou, de această dată într-o concentrație de vapori de fosfor mai mare atomii de fosfor vor difuza în suprafața de tip *p* și eventual o vor transforma din nou în tip *n* formînd o structură *n-p-n* așa cum se arată în fig. 2 c.

**Ce este difuzia selectivă și cum se realizează ?**

Procesul planar depinde de faptul că difuzia anumitor elemente, cum ar fi borul sau fosforul, în oxidul de siliciu este cu mult mai înceată decît în siliciu. Acest fapt este

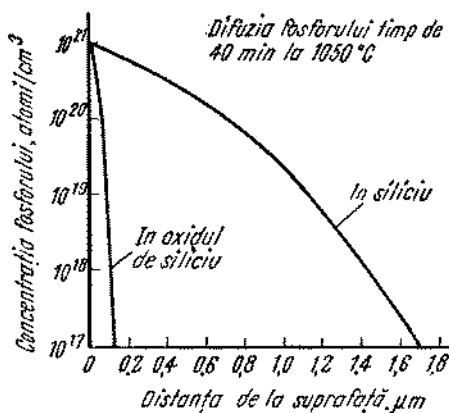


Fig. 3. Difuzia relativă a fosforului în siliciu și oxidul de siliciu.

ilustrat pentru fosfor în fig. 3. Putem folosi acest fapt pentru a realiza difuzie selectivă, adică, difuzia impurităților în anumite regiuni bine definite pe suprafața siliciului și nu în altele. Întii, pe suprafața siliciului se formează un strat de oxid de siliciu, iar apoi acest oxid se îndepărtează numai în regiunile unde dorim să introducem impurități. Placheta de siliciu este introdusă în cuptorul de difuzie și peste ea vor trece vapori de impuritate. Atomii de impuritate vor difuza în siliciu prin locurile unde a fost îndepărtat oxidul, dar oxidul va împiedica difuzia în alte părți așa cum se arată în fig. 4. Grosimea oxidului trebuie să fie astfel ca atomii de impuritate să nu difuzeze, prin oxid în timpul necesar difuziei lor în siliciu la adâncimea dorită.



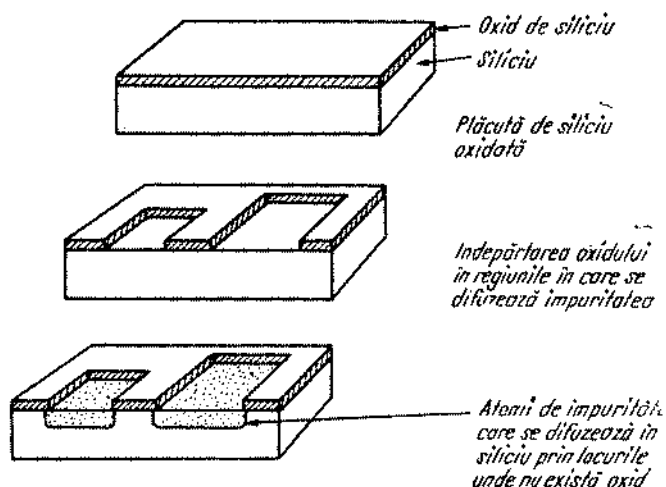


Fig. 4. Difuzia selectivă a impurităților în siliciu.

### Cum se formează stratul de oxid pe suprafața plachetei de siliciu ?

Acesta se formează pur și simplu prin oxidarea suprafeței siliciului prin încălzirea plachetei în prezența oxigenului. Dacă se folosește oxigen uscat, viteza de creștere a oxidului este relativ mică, iar în practică se obișnuiește folosirea unui amestec de oxigen cu vapori de apă care are ca rezultat creșterea mai rapidă a oxidului. Se poate obține o creștere și mai rapidă dacă placheta de siliciu este încălzită într-un flux de vapori. În fig. 5 se reprezintă vitezele de creștere relative. Grosimile de oxid tipice folosite în fabricarea circuitelor integrate sînt cuprinse între 0,5 și 2  $\mu\text{m}$ . Pentru a obține o grosime a oxidului de 1  $\mu\text{m}$  siliciul trebuie încălzit la o temperatură de 1100 °C într-un flux de vapori timp de aproape trei ore.

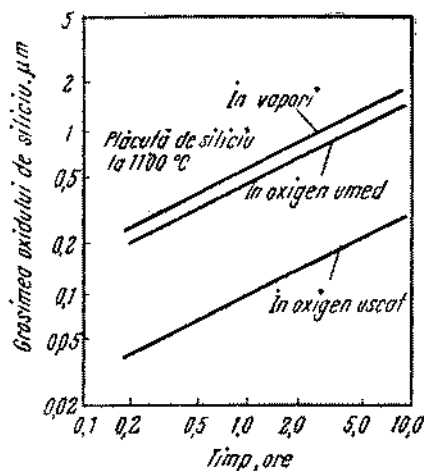


Fig. 5. Viteza de creștere a oxidului siliciului.

### Ce este tehnica fotorezistului și cum se folosește pentru îndepărtarea selectivă a oxidului de siliciu ?

Tehnica fotorezistului este un proces fotolitografic similar în principiu celui folosit la realizarea cablajelor imprimate.

În fig. 6 se reprezintă etapele acestui proces. Placheta de siliciu oxidată este întâi acoperită cu un material numit fotorezist, care în mod normal este solubil, dar când este expus la lumină ultravioletă devine insolubil atât în acizi cît și solvenți. Se așază peste pastilă o foaie de mascare care conține suprafețe opace și transparente numită fotomască sau simplu mască și se expune placheta la lumină ultravioletă. Unde lumina trece prin suprafețele transparente ale măștii, fotorezistul devine insolubil, iar sub re-

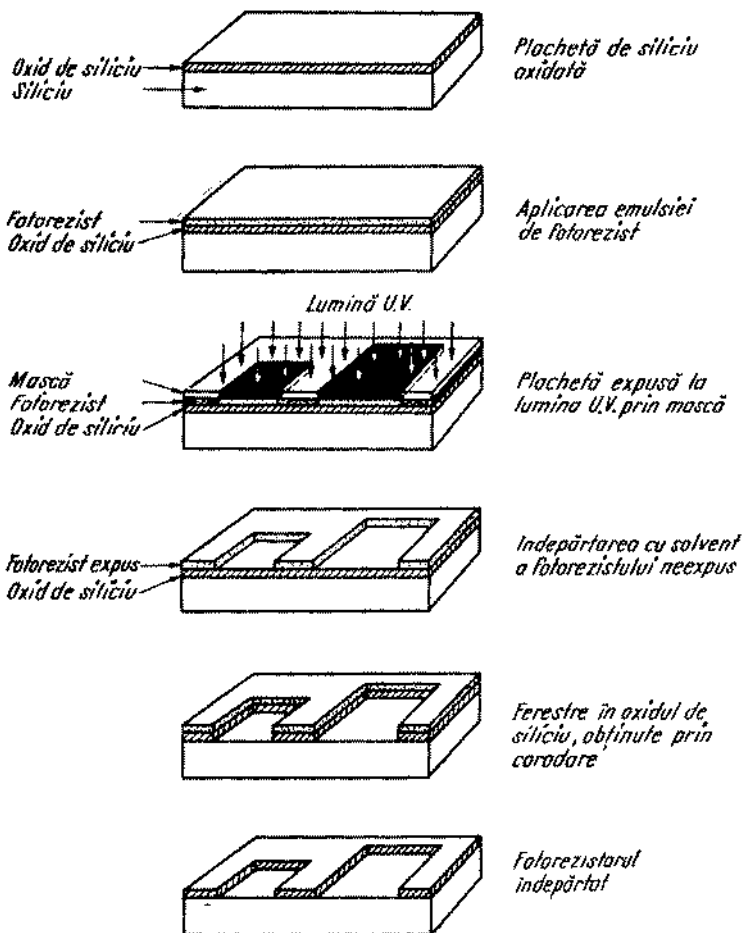


Fig. 6. Îndepărtarea selectivă a oxidului de siliciu prin procesul fotolitografic.

giunile opace fotorezistul este neafectat și în consecință poate fi îndepărtat prin dizolvare pentru a lăsa oxidul neacoperit. Acum, dacă se introduce placheta într-o soluție

de acid fluorhidric, oxidul de siliciu neacoperit este înlăturat prin coroziune lăsînd expus liber siliciul, restul oxidului fiind protejat de fotorezistul insolubil. Fotorezistul insolubil se îndepărtează printr-un proces special pentru a obține placheta de siliciu oxidat cu ferestrele libere (oxidul îndepărtat) unde este necesară difuzia impurităților.

### **Ce se înțelege prin creșterea epitaxială a siliciului ?**

Aceasta este o metodă de formare a unui strat subțire de siliciu pe suprafața unei plachete de siliciu prin depunerea din starea de vapori a unui compus al siliciului. Siliciul depus va căpăta structura cristalină a plachetei de siliciu, și astfel dacă ea este un monocristal, stratul depus va fi monocristalin cu aceeași orientare.

Placheta de siliciu se încălzește la aproximativ  $1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$  și se trece peste ea un curent de vapori de tetraclorură de siliciu amestecată cu hidrogen. Tetraclorura de siliciu se disociază, atomii de siliciu se depun pe suprafața pastilei, iar atomii de clor se combină cu atomii de hidrogen pentru a forma  $\text{HCl}$  în stare de vapori care sînt eliminați. Prin acest proces se pot forma straturi de siliciu cu grosimi pînă la aproximativ  $10\text{ }\mu\text{m}$ , iar conductivitatea stratului poate fi controlată prin amestecul de impurități donoare în cantități corespunzătoare cu vaporii de tetraclorură de siliciu.

Pentru circuitele integrate placheta substrat este de obicei de tip  $p$  și pe suprafața sa se crește un strat epitaxial de tip  $n$  pe care se formează structurile elementelor de circuit.

## Ce se înțelege prin izolare și cum se realizează?

În circuitele integrate, componentele de circuit se formează una lângă alta într-o singură bucată de siliciu.

Deoarece siliciul este conductiv din punct de vedere electric într-o măsură ce depinde de conținutul său de impurități, este necesar să se aranjeze astfel ca fiecare componentă să fie izolată electric față de volumul siliciului printr-o rezistență foarte mare, și astfel se împiedică cuplajul electric dintre componente.

Metoda cea mai des utilizată este înconjurarea fiecărei componente de circuit cu o joncțiune pn care, în tim-

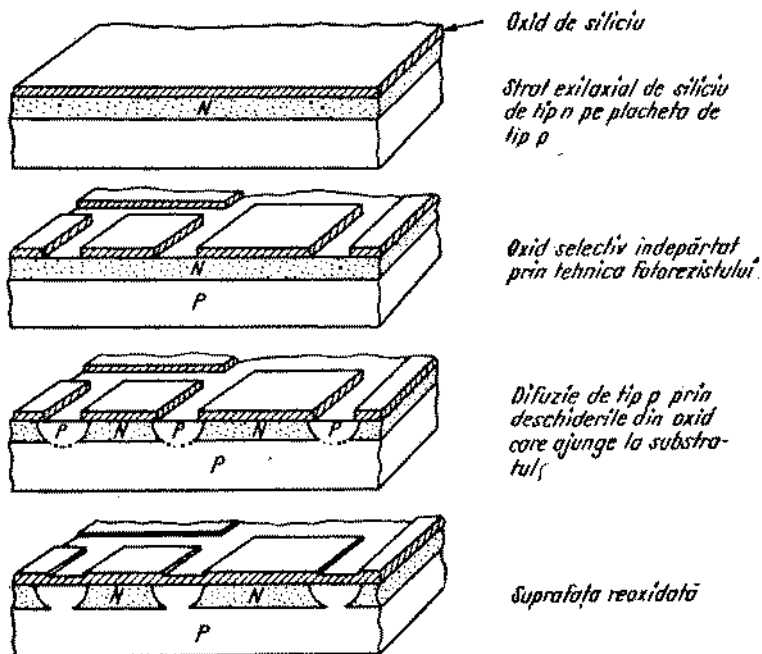


Fig. 7. Izolarea joncțiunilor.

pul funcționării, este polarizată invers pentru a prezenta o rezistență mare (zeci de megaohmi) între fiecare componentă de circuit și substratul de siliciu. Aceasta se numește joncțiune izolatoare. Această structură este ilustrată în fig. 7.

Placheta este formată dintr-un substrat de tip  $p$  cu un strat epitaxial de tip  $n$ , iar regiunile de tip  $p$  se difuzează prin stratul de tip  $n$  până se întâlnesc cu substratul de tip  $p$  pentru a forma regiuni de tip  $n$  fiecare înconjurată de o joncțiune  $pn$ . În funcționare, acest substrat se conectează la un potențial negativ pentru a realiza polarizarea inversă a fiecărei joncțiuni.

O altă metodă de izolare se numește izolare prin oxid. În această machetă, se formează un strat de oxid de siliciu izolator în jurul fiecărui compartiment de circuit. Această metodă se folosește de obicei pentru cazurile speciale cum ar fi dispozitivele rezistente la radiații deoarece oxidul de siliciu nu este afectat de radiații în aceeași măsură cu joncțiunea  $pn$ , dar aceasta este mai costisitoare, folosirea sa fiind restrinsă numai la aceste tipuri de dispozitive.

### **Prin ce diferă un tranzistor dintr-un circuit integrat de tranzistorul planar discret convențional ?**

În fig. 8, *a* se reprezintă structura unui tranzistor planar discret. Colectorul se realizează din suprafața inferioară a cipului, curentul curgînd vertical prin structură. Rezistența internă în serie cu contactul de colector se păstrează în limite joase prin folosirea unei plachete substrat  $n^+$  cu rezistivitate joasă.

Într-un circuit integrat, contactul de colector trebuie adus la suprafața superioară pentru a fi disponibil pen-

tru firele de interconectare. Rezistența serie internă este menținută la valoare joasă prin difuzia unui strat  $n^+$  de rezistență joasă în placheta substrat sub structura tranzistorului (numit strat îngropat  $n^+$ ) și apoi realizând pentru contactul colectorului o difuzie  $n^+$  adâncă pentru a înființa acest strat îngropat. Structura tranzistorului integrat este reprezentat în figura 8, b.

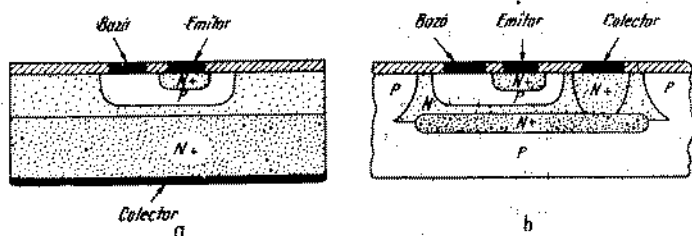


Fig. 8. Comparație între structura tranzistorului discret și integrat.

## Ce este un tranzistor lateral ?

Tranzistorul lateral este un tranzistor la care emitorul și colectorul se formează unul lângă altul separați printr-un spațiu foarte îngust care formează regiunea bazei.

Utilizarea principală a structurii laterale este în formarea tranzistoarelor  $pnp$  în același timp cu tranzistoarele  $npn$ .

În fig. 9 se reprezintă o structură de tranzistor  $pnp$  lateral. În timpul difuziei de tip  $p$  pentru a forma regiunea bazei unei structuri  $npn$ , se difuzează alte două regiuni de tip  $p$  una lângă alta pentru a realiza tranzistorul lateral.

În tranzistorul lateral, curentul de colector curge paralel cu suprafața, adică lateral de la emitor la colector.

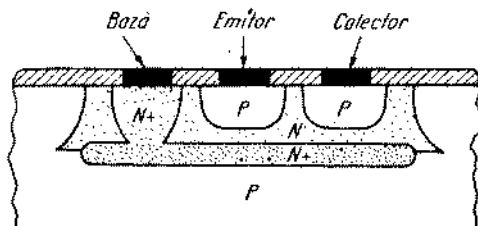


Fig. 9. Structura tranzistorului lateral.

Deoarece regiunea activă a structurii formată din pereții verticali adânciți ai celor două regiuni de tip  $p$  este foarte mică, câștigul de curent este mic.

### Cum se realizează diodele din circuitele integrate ?

Diodele din circuitele integrate se realizează de obicei prin utilizarea difuziei bazei de tip  $p$  pentru a forma o joncțiune  $pn$ . Caracteristicile unei diode realizată în acest mod (spre exemplu tensiunea de străpungere necesară) vor fi similare celor ale joncțiunii de colector a tranzistorului.

Diodele integrate se pot realiza de asemenea prin folosirea difuziei emitorului pentru a forma joncțiuni  $pn$  cu viteze de comutație mai mari. Astfel de diode vor avea tensiuni de străpungere mai mici, similar celor ale joncțiunilor emitor-bază de la tranzistor.

### Cum se obțin rezistoarele difuzate ?

Un rezistor difuzat se obține prin difuzia impurităților donoare sau acceptoare într-o regiune izolată a siliciului de rezistivitate ridicată, valoarea rezistorului de-



pinzînd de concentrația atomilor de impuritate, de dimensiunile suprafeței regiunii și de adîncimea la care sînt difuzate impuritățile.

În circuitele integrate, este uzual să se formeze rezistoare utilizînd difuzia bazei tranzistorului. Aceasta înseamnă că adîncimea de difuzie și concentrația de impurități sînt fixate iar tot ce mai este necesar este proiectarea dimensiunilor suprafeței regiunilor rezistorului. Rezistoarele se concep de obicei prin fișii lungi și înguste cu contacte ohmice la cele două capete, așa cum se reprezintă în fig. 10.

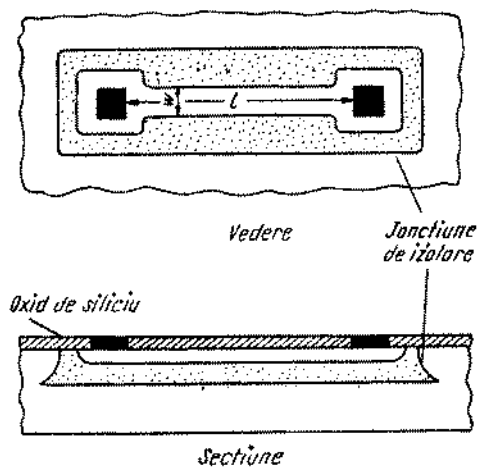


Fig. 10. Aspectul rezistorului difuzat.

Prin difuzia bazei tranzistorului se obține o rezistivitate de suprafață de ordinul a  $100 \Omega$  pe pătrat iar lățimea fișiei rezistorului tipic este de  $12 \mu\text{m}$ . Aceasta înseamnă că fișia rezistorului va avea o rezistență de  $100 \Omega$  pentru fiecare  $12 \mu\text{m}$  de lungime și deci un rezistor de  $1000 \Omega$  necesită o fișie de  $120 \mu\text{m}$  lungime. Pentru valori mai mari ale

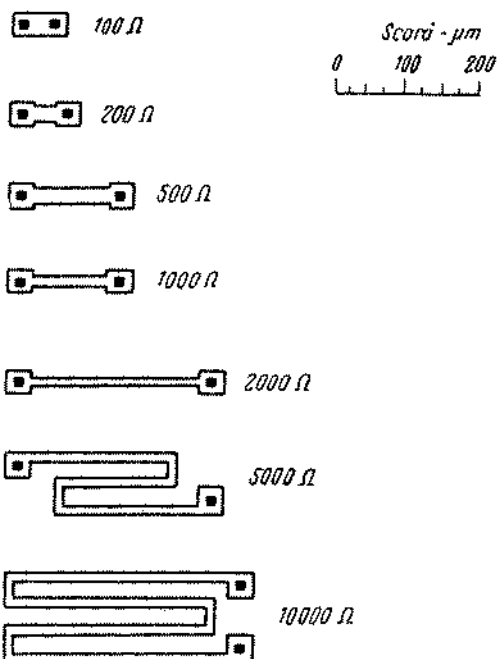


Fig. 11. Geometria rezistorului difuzat pentru o rezistivitate pe patrat de 100.

rezistenței, fișia va fi proporțional mai lungă. Pentru valori mici ale rezistenței, poate fi preferabil folosirea fișiei mai late dar mai scurte. În fig. 11 se arată câteva geometrii tipice pentru rezistoarele difuzate integrate.

### Se pot folosi capacitatoare în circuite integrate ?

Introducerea capacitatoarelor în circuite integrate este posibilă, dar considerații economice limitează valoarea acestora la câteva zeci de picofarazi. Costul oricărei componente integrate este proporțional cu aria de siliciu pe care o ocupă. Pe suprafața necesară unui tranzistor de

semnal mic putem realiza o capacitate de numai 5 pF, și deci obținerea de valori mai mari pentru capacitate devine relativ neeconomică.

### **Toate componentele din circuitul integrat se formează în același timp ?**

Da, procesele de difuzie necesare pentru formarea structurilor tranzistoarelor sînt de asemenea folosite pentru formarea celorlalte componente în același timp. Întîi, prin difuzia de izolare se formează regiuni de tip  $n$  izolate pentru toate dispozitivele. În timpul difuziei bazei de tip  $p$  a tranzistorului se formează rezistoarele, diodele și capacitatoarele iar în timpul difuziei emitorului de tip  $n^+$  se formează regiunile de contacte ohmice pentru toate dispozitivele. În final, contactele metalice pentru toate dispozitivele și interconexiunile metalice se fac toate printr-un singur proces de evaporare a aluminiului și îndepărtare selectivă.

### **Cum se interconectează componentele unui circuit integrat pentru a obține un circuit electronic complet ?**

După ce s-au realizat toate componentele circuitului printr-o succesiune de difuzii, se formează prin corodare deschideri în oxidul ce le acoperă pentru a realiza contacte la fiecare componentă. Apoi se evaporă aluminiul peste toată placheta și cu ajutorul tehnicii fotorezistului și corodare selectivă, aluminiul nefolositor se îndepărtează, lăsînd regiuni cu aluminiu care formează contactul între componente pentru a forma circuitul complet.

## Ce este izolarea difuziei colectorului ?

Izolarea difuziei colectorului este o metodă de realizare a circuitelor integrate bipolare cu dimensiuni ale tranzistorului mai mici și deci la un cost mai scăzut. Acest avantaj se obține în dauna unei tensiuni de străpungere a colectorului mică, de numai 7 V, dar există multe aplicații pentru care aceasta este absolut suficientă.

Metoda folosește stratul îngropat  $n^+$  de rezistență joasă ca regiune de colector pentru tranzistor. După ce stratul  $n^+$  îngropat a fost difuzat în pastila substrat de tip  $p$ , se crește un strat epitaxial de tip  $p$  (fig. 12). Stratul

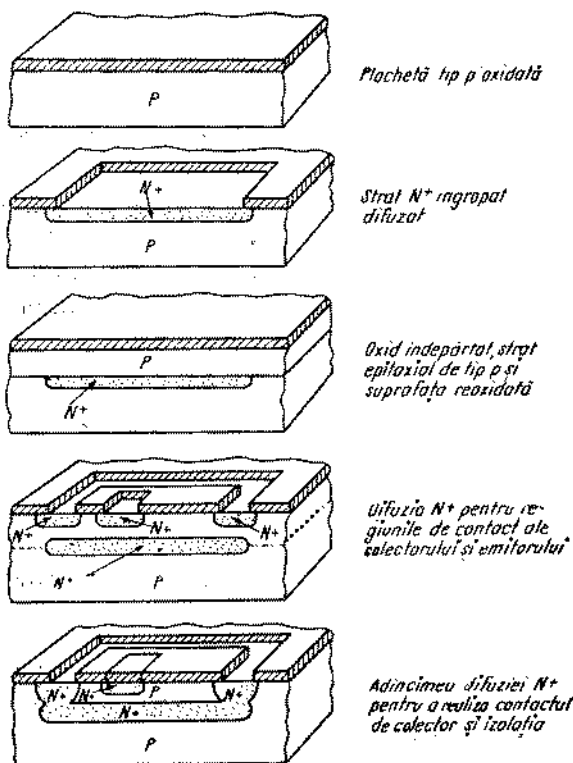


Fig. 12.  
Izolarea  
colectorului.

epitaxial de tip  $p$  se va folosi ca bază pentru structura tranzistorului. Printr-o difuzie  $n^+$  se formează emitorul tranzistorului și apoi printr-o altă difuzie  $n^+$  mai adâncă în regiunea de contact a colectorului ce întâlnește colectorul  $n^+$  pentru a forma un contact cu rezistență mică. Regiunea de contact pentru colector se formează în jurul structurii astfel că difuzia  $n^+$  adâncă împreună cu stratul îngropat izolează complet structura.

### Cită suprafață este necesară pentru realizarea diferitelor tipuri de componente integrate ?

În fig. 13 se dau ariile aproximative necesare tranzistoarelor și diodelor integrate în funcție de curent, iar în fig. 14 pentru diferite valori ale rezistoarelor și capacităților.

Mărimea suprafeței cuprinde și suprafața suplimentară pentru regiunile de izolare. Punctele de interconexiune (padurile) realizate pe cip sînt de obicei de  $0,1 \text{ mm}^2$  și deci pentru fiecare pad este necesară o suprafață de  $0,0225 \text{ mm}^2$ .

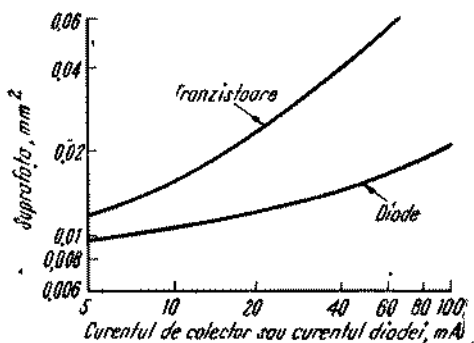


Fig. 13. Suprafețele diodelor și tranzistoarelor integrate.

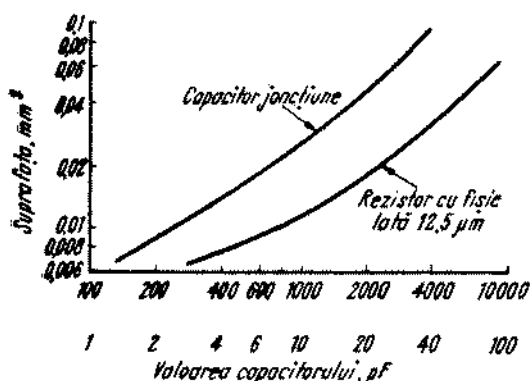


Fig. 14. Suprafața unui rezistor integrat și a capacitoarelor cu joncțiuni.

### Cum se taie o plachetă în cipuri integrate individuale ?

Formatul unui circuit integrat este un pătrat sau un dreptunghi. Această formă se repetă pe plachetă de siliciu pe rânduri și coloane. Pentru tăierea plachetei în cipuri se folosește un proces similar tăierii sticlei. Se folosește un diamant pentru a trasa linii pe suprafața pastilei între rânduri apoi între coloane.

Placheta zgîriată se așază între două plăci de cauciuc, se aplică o presiune prin alunecarea unui rulu pe cauciuc, iar placheta se sparge în cipuri individuale de-a lungul liniilor trasate. Acest proces se numește „trasează și sparge“.

### Cum se realizează conexiunile pe un cip integrat ?

După ce cipul a fost montat pe rama capsulei, trebuie realizate contactele între cip și pinii capsulei. Cel mai des folosit este procesul numit „ball-bonding“.

Se folosește un fir de aur cu un diametru aproximativ  $25\mu\text{m}$  care se sudează cu punctele de contact de aluminiu de pe cip și apoi cu puncte de pe ramă printr-un proces de termo-compresare. La capătul firului de aur se formează, cu ajutorul unei flăcări de hidrogen, o „minge” cu un diametru de  $75\mu\text{m}$  și se presează apoi această minge pe padul cipului care este încălzit la aproximativ  $320^\circ\text{C}$ . Combinația dintre presiune și temperatură are ca rezultat sudarea aurului pe aluminiu. Firul se așază apoi pe conductorul capsulei și se realizează o a doua sudură pentru a completa conexiunea.

### Ce capsule standard se folosesc în circuitele integrate ?

În momentul de față, se folosesc cinci tipuri de capsule pentru circuitele integrate, reprezentate în fig. 15.

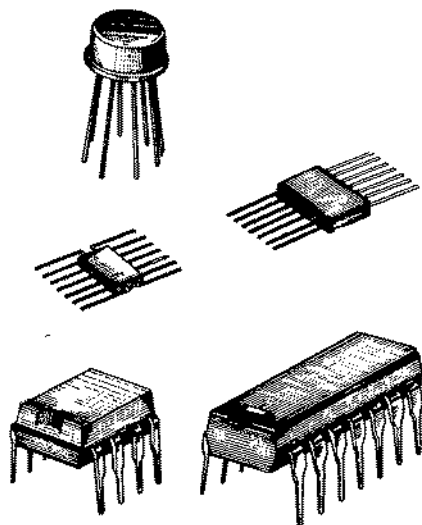


Fig. 15. Diferite capsule pentru circuite integrate.

Sus se arată capsula circulară care este o versiune multipin a capsulei TO-5 de la tranzistoare. Următoarele două capsule se numesc capsule plate, destinate aplicațiilor unde se cer dimensiuni mici cum ar fi echipamentul electronic din vehiculele spațiale. Cel din stînga este un tip de capsulă metalică cu dimensiunile  $6,4 \times 3,8 \times 1,29$  mm iar cel din dreapta este o versiune cu ceramică ceva mai mare. Jos sînt două capsule în linie cu pini distanțați la 2,5 mm pentru a fi implantate pe cablajele imprimate. Versiunea mai mare cu 14 pini are dimensiunile  $18 \times 6 \times 3$  iar cea mai mică cu 8 pini  $9 \times 6 \times 3$  mm. De departe cele mai larg folosite sînt capsulele de plastic.



**Ce este un circuit integrat numeric ?**

Un circuit integrat numeric reprezintă un circuit conceput pentru a prelucra informația numerică. Cele mai multe circuite integrate numerice lucrează în sistemul binar, astfel că la ieșirea circuitului există numai unul din cele două nivele de tensiune posibile. Circuitele logice numerice trec dintr-o stare în alta prin combinarea anumitor semnale de intrare, iar deciziile logice se determină în funcție de nivelul de tensiune ce există la ieșire pentru o combinație dată a semnalelor de intrare.

Alte circuite numerice lucrează pe principiul memoriei. La acestea, dacă ieșirea este adusă la un nivel cu ajutorul unui semnal de intrare, el va rămâne apoi la acel nivel când semnalul de intrare se îndepărtează ; adică, circuitul își va „aminti“ că ultimul semnal de intrare a fost cel care l-a adus la acea stare a ieșirii.

**Ce este sistemul binar ?**

Sistemul binar este un sistem de calcul matematic avînd baza de numărare 2. În acest sistem există numai două cifre, 0 și 1. Procesul de numărare numai cu două cifre este în principal similar cu cel de numărare cu zece cifre și orice număr zecimal poate fi exprimat în forma binară echivalentă, așa cum se arată în tabelul 1.

Tabelul 1

## Echivalenții binari ai numerelor zecimale

Număr zecimal	Număr binar	Puterea lui 2
1	0	
2	1	$2^0$
3	10	$2^1$
4	11	
5	100	$2^2$
6	101	
7	110	
8	111	
9	1 000	$2^3$
10	1 001	
11	1 010	
12	1 111	
13	1 100	
14	1 101	
15	1 110	
16	1 111	
17	10 000	$2^4$
18	10 001	
19	10 010	
20	10 111	
.	10 100	
.		
32	100 000	$2^5$
64	1 000 000	$2^6$
128	10 000 000	$2^7$

**De ce cele mai multe circuite integrate numerice se bazează pe sistemul binar ?**

Încercările timpurii de dezvoltare a calculatoarelor electronice numerice năzureau să utilizeze sistemul zecimal, sau aritmetica cu baza de numărare 10. Într-un astfel de sistem, pentru reprezentarea celor zece cifre sînt necesare zece nivele de tensiune distincte. În circuitele electronice, este necesar să se păstreze aceste zece nivele foarte precis

astfel ca să nu existe ambiguitate între două cifre vecine, iar acest lucru este extrem de dificil. În consecință, sistemul zecimal a fost abandonat în favoarea sistemului binar, în care se folosesc numai două nivele de tensiune.

Tranzistorul oferă un mijloc foarte simplu de stabilire a două nivele distincte, el fiind „blocat” când nu trece curent, sau poate fi „saturat” când trece tot curentul. Aceste două nivele pot fi definite cu precizie și astfel se poate obține un sistem foarte stabil.

### Cum se folosește un tranzistor în rol de comutator binar ?

Considerăm circuitul cu tranzistor cu emitorul comun având caracteristicile de colector din fig. 16. Dacă tensiune-

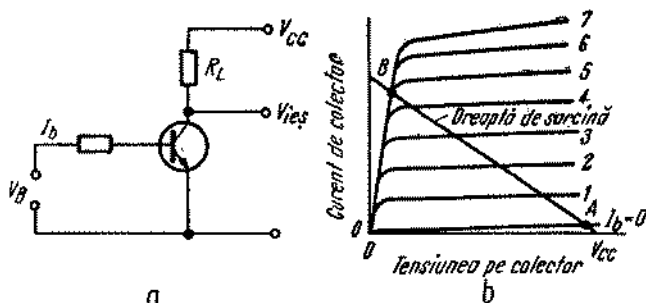


Fig. 16. Tranzistorul folosit drept comutator.

nea pe bază  $V_B$  este zero, nu va exista curent prin bază și deci nici curent de colector, iar tensiunea de colector (tensiunea de ieșire) va fi egală cu tensiunea de alimentare  $V_{CC}$ . Această situație este reprezentată prin punctul A de pe dreapta de sarcină, și se zice că tranzistorul este în stare blocată.

Dăm o creștere pozitivă tensiunii de pe bază. La început nu se întâmplă nimic, pînă nu se atinge bariera de potențial a joncțiunii emitor-bază, de aproximativ 0,7 V.

Peste această tensiune, prin bază trece curent, iar curentul ce trece prin colector provoacă o cădere de tensiune pe  $R_L$  determinînd scăderea tensiunii de ieșire pe colector.

Eventual, se poate ajunge la un punct cînd o creștere suplimentară a tensiunii de pe bază nu va mai provoca o creștere suplimentară a curentului de colector (sau o scădere suplimentară a tensiunii de ieșire). Acesta este punctul *B*; se zice că tranzistorul este în starea saturată. Tensiunea pe colector în aceste condiții este aproape zero, numai o zecime sau două dintr-un volt, și se numește tensiunea de saturație a colectorului  $V_{CEsat}$ .

Semnificația acestor două stări poate fi evidențiată prin reprezentarea grafică a tensiunii de ieșire (tensiunea pe colector) în funcție de tensiunea de intrare (tensiunea pe bază) așa cum se arată în fig. 17. Punctele *A* și *B* corespund celor din fig. 16. Cînd acest montaj se folosește în circuitele logice, starea ieșirii în condiție de saturație se numește nivel zero logic notat 0 iar starea de blocare se numește nivel 1 logic, notat 1.

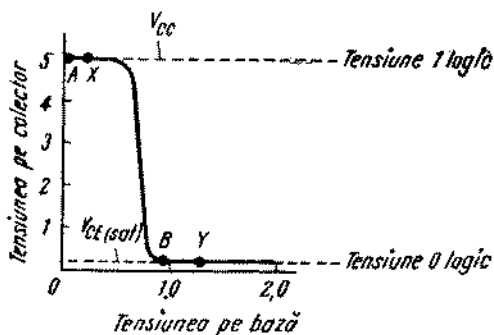


Fig. 17. Caracteristica de transfer.

Trebuie remarcat că dacă nivelele de intrare reprezintă cele două stări  $X$  și  $Y$  din fig. 17, valorile reale ale lui  $X$  și  $Y$  pot varia considerabil fără a produce modificări ale nivelelor de la ieșire, realizând astfel un sistem binar cu nivele de ieșire precis definite.

### **Ce este o poartă logică binară și care sînt tipurile de bază ?**

O poartă logică binară este un circuit care are două sau mai multe intrări și o singură ieșire, fiecare din semnalele de intrare și semnalul de ieșire fiind în unul din cele două nivele de tensiune logice posibile. Circuitul este astfel aranjat încît tensiunea de ieșire este la nivel 1 logic numai cînd există o anumită combinație a nivelelor logice de la intrări.

Există trei porți logice de bază, poarta OR, poarta AND și poarta NOT. La poarta OR, ieșirea este la tensiunea 1 logic dacă oricare dintre semnalele de intrare este la nivel 1 logic. Poarta AND are la ieșire o tensiune 1 logic numai dacă toate intrările sînt la nivel 1 logic în același timp. Poarta NOT are o singură intrare și o singură ieșire, ieșirea fiind la nivel 1 logic cînd intrarea este la nivel 0 logic și invers.

Circuitul NOT se mai numește circuit inversor deoarece semnalul de ieșire este totdeauna opus sau invers celui de la intrare.

O poartă OR poate fi combinată cu un circuit NOT și se obține ceea ce se cheamă o poartă NOR. Ieșirea este inversată și este la nivel 0 logic cînd oricare intrare este la nivel 0 logic. Similar, poarta AND poate fi combinată cu o poartă NOT și se obține o poartă NAND, care are ieșirea la nivel 0 logic cînd toate intrările sînt la nivel 1 logic.

Simbolurile standard pentru aceste porți de bază sînt reprezentate în fig. 18 iar în tabelul 2 se reamintesc stările de intrare și ieșire corespunzătoare.

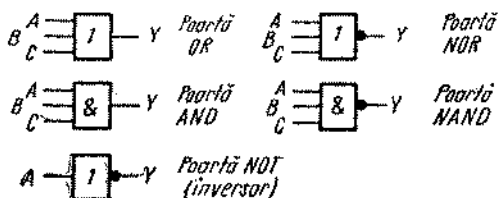


Fig. 18. Simbolurile grafice ale porților logice.

Tabelul 2

Stările de la intrare și ieșire pentru porțile logice fundamentale

Poarta	Intrări	Ieșiri
OR	Orice intrare 1	1
	Toate intrările 0	0
AND	Toate intrările 1	1
	Orice intrare 0	0
NOT (inversor)	Intrare 1	0
	Intrare 0	1
NOR	Orice intrare 1	0
	Toate intrările 0	1
NAND	Toate intrările 1	0
	Orice intrare 0	1

**Cum pot fi utilizate tranzistoarele pentru a realiza funcțiile logice de bază ?**

Circuitul simplu cu tranzistor cu emitorul comun, fig. 19, lucrează ca circuit NOT cînd tensiunea de ieșire este ridicată pentru o tensiune de intrare joasă și invers.

În fig. 20, a se arată un circuit NOR cu tranzistor. Pentru fiecare intrare se folosește un tranzistor separat, iar

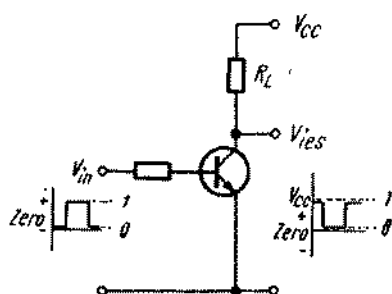


Fig. 19. Circuite inversor cu tranzistor.

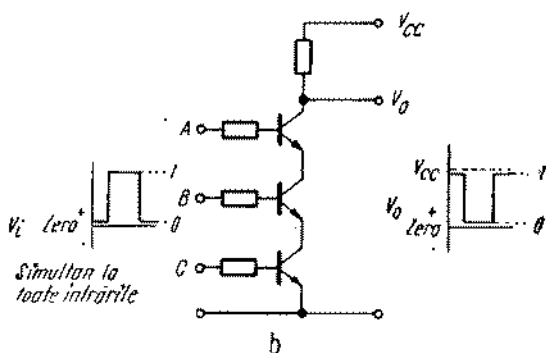
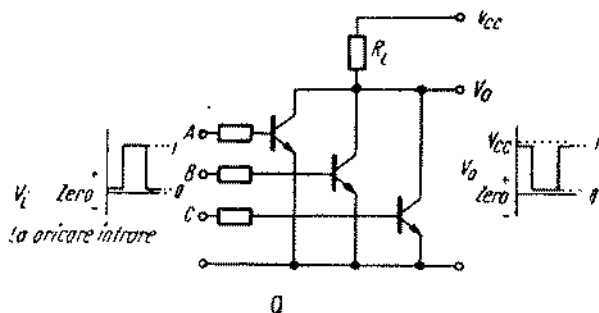


Fig. 20. Porți NOR și NAND cu tranzistoare.

colectoarele sînt conectate la un rezistor de sarcină comun  $R_L$  pentru a obține o singură ieșire. Dacă oricare dintre intrări este adusă la nivel 1 logic, prin colectorul tranzistorului respectiv trece curent și tensiunea de ieșire scade la nivel 0 logic ( $V_{CE sat}$ ). Cînd toate intrările sînt la nivel 0 logic prin tranzistoare nu trece nici un curent și tensiunea de ieșire este ridicată la nivel 1 logic.

Pentru poarta NAND, fig. 20, b, tranzistoarele se conectează în serie și pentru ca prin lanțul de tranzistoare să curgă curent, toate intrările trebuie să fie în același timp la nivel 1 logic. Cînd trece curentul tensiunea de ieșire este joasă, la nivel 0 logic.

### Ce este un tabel de adevăr ?

Un tabel de adevăr reprezintă un tabel în care sînt trecute toate componentele posibile ale stărilor intrărilor unei porți logice și starea de ieșire corespunzătoare fiecărei combinații a stărilor intrărilor.

Spre exemplu, în tabelul 3 se reprezintă tabelul de adevăr al unei porți NOR simplă cu trei intrări.

Tabelul 3

Tabelul de adevăr pentru poarta NOR

Intrări			Ieșire
A	B	C	
0	0	0	1
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
1	1	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0



## Ce este algebra booleană ?

Algebra booleană, numită astfel după întemeietorul ei George Boole, este un sistem matematic în care funcțiile realizate cu circuite logice pot fi exprimate într-o formă algebrică simplă în scopul de a permite analiza și proiectarea sistemelor logice. Se mai numește uneori algebra comutației sau algebră logică. Întocmai cum algebra ordinară reprezintă un sistem concis ce facilitează aflarea soluțiilor problemelor matematice tot astfel și algebra booleană reprezintă un sistem simplu și eficient de facilitare în aflarea soluțiilor problemelor logice.

În algebra booleană, condiția logică OR se reprezintă prin semnul,  $+$ . Astfel operația unei porți OR este reprezentată prin relația :

$$A + B = L$$

care în cuvinte înseamnă „dacă intrarea  $A$  sau (OR)  $B$  este în starea logică unu, ieșirea  $L$  va fi în starea logică unu”.

Condiția logică AND se reprezintă prin semnul de înmulțire „ $\times$ ” și astfel pentru o poartă AND avem

$$A \times B = L$$

care afirmă că dacă intrarea  $A$  și (AND) intrarea  $B$  sînt ambele în starea logică unu, ieșirea  $L$  va fi în starea logică unu. Ca și în algebra ordinară este comod să se elimine semnul de înmulțire așa că în algebra booleană AND se scrie astfel :

$$AB = L.$$

Inversul unei mărimi se indică printr-o bară așezată peste litera ce o reprezintă, adică inversul lui  $A$  se scrie  $\bar{A}$ . Astfel, condiția logică NOT se scrie

$$A = \bar{L}$$

care spune că în momentul în care intrarea  $A$  este în stare logică unu, ieșirea  $L$  este în stare logică zero.

În algebra ordinară, pentru simplificarea operațiilor algebrice au fost stabilite un număr de reguli sau identități. Analog, și în algebra booleană s-au dezvoltat un număr de legi. Acestea, împreună cu mai multe detalii de folosire se găsesc în alte cărți.

### **Ce se înțelege prin „logică pozitivă” și „logică negativă” ?**

Așa cum s-a arătat în răspunsurile precedente, circuitele logice binare lucrează numai cu două nivele posibile pentru semnalul de intrare, numite tensiune unu logică și tensiunea zero logică. În logica pozitivă, tensiunea unu logică este mai pozitivă decât tensiunea zero logică, adică, tensiunea zero logică este aproape de tensiunea zero reală iar tensiunea unu logică, se definește la o anumită tensiune pozitivă.

În logica negativă, tensiunea unu logică este mai negativă decât tensiunea zero logică ; adică, tensiunea zero logică este apropiată de tensiunea zero reală iar tensiunea unu logică este o anumită tensiune negativă.

### **Cum se folosesc porțile logice pentru adunarea a două numere binare ?**

Presupunem că dorim să adunăm numere binare simple  $A$  și  $B$  de câte un digit (cifră). Fiecare număr poate fi fie 0 fie 1. Sistemul care va realiza adunarea este reprezentat în fig. 21. Intrările  $A$  și  $B$  sînt la nivelele de tensiune corespunzătoare numerelor binare.

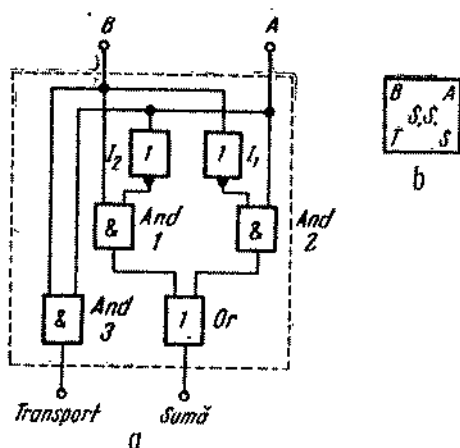


Fig. 21. Semisumator.

Există patru situații posibile :

a)  $A=0$  și  $B=0$ . Cel puțin una din intrările porților logice AND este în stare logică 0 și deci ieșirea fiecărei porți este în starea logică 0. Deoarece ambele intrări ale porții OR sînt în stare logică 0 ieșirea sa este în stare logică 0. Astfel ambele ieșiri sumă și transport sînt în stare logică 0 și deci rezultatul este 00.

b)  $A=1$  și  $B=0$ . Intrarea A este în stare logică 1 iar starea logică 0 a lui B este inversată de circuitul inversor  $I_2$  producînd la a doua intrare a porții  $AND_1$  încă o stare logică 1. Ambele intrări ale porții  $AND_1$  sînt în starea logică 1 și deci ieșirea sa este 1. Ambele intrări ale lui  $AND_2$  sînt 0 logic și deci ieșirea sa este 0 logic. Cînd una din intrările porții OR este 1 logic ieșirea sumă este 1 logic. Poarta AND de transport are una din intrări 0 logic și deci ieșirea de transport este 0 logic, rezultatul total fiind 01.

c)  $A=0$  și  $B=1$ . Acest caz este același cu cel descris la b) cu intrările la  $AND_1$  și  $AND_2$  inversate. Din nou se obține rezultatul 01.

d)  $A=1$  și  $B=1$ . Ambele porți  $AND_1$  și  $AND_2$  au una din intrări în starea 0 logic astfel că ieșirile ambelor porți sînt 0 logic iar ieșirea sumă de la poarta OR este 0 logic. Ambele intrări ale porții  $AND_3$  sînt în starea 1 logic și deci ieșirea transport este 1 logic rezultînd răspunsul total 10.

Acest sistem logic complet poate fi considerat cu un „bloc funcțional“ logic de bază numit „semisumator“ cu două intrări și două ieșiri. De obicei se reprezintă prin simbolul logic din fig. 21, b.

### Ce este un circuit bistabil ?

Un circuit bistabil este un circuit care are două stări de echilibru stabile. El poate fi trecut dintr-o stare stabilă în cealaltă prin aplicarea unui semnal de comandă și apoi va rămîne în această a doua stare cînd se îndepărtează semnalul de comandă.

Circuitul bistabil de bază este format din două etaje inversoare cu tranzistoare cuplate în cruce așa cum se arată în fig. 22, a. Presupunem că tranzistorul  $T_1$  are inițial tensiunea pe bază zero, și se aplică un semnal pozitiv pe terminalul  $S$  (numit terminal „Set“). Prin  $T_1$  va circula curent de colector și deci tensiunea pe colectorul său va scădea la 0. Baza tranzistorului  $T_2$  este conectată la colectorul lui  $T_1$  și deci tensiunea pe baza lui  $T_2$  scade,  $T_2$  se blochează, iar potențialul colectorului său crește în valoare pozitivă pînă la tensiunea de alimentare  $V_{cc}$ . Colectorul lui  $T_2$  este conectat la baza lui  $T_1$  și astfel o menține pozitivă cînd semnalul de intrare pe această bază

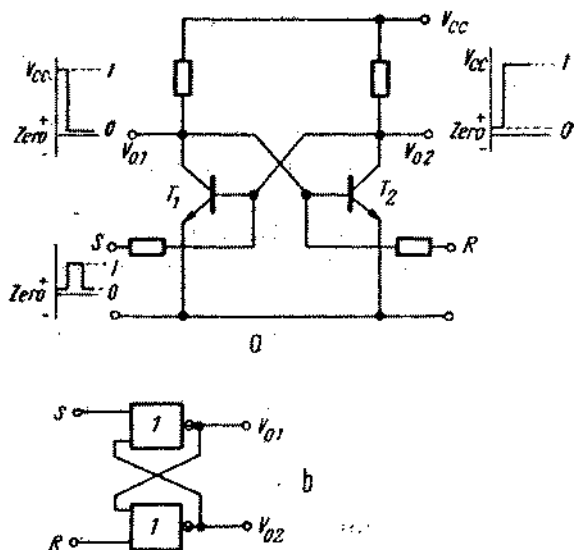


Fig. 22. Circuit bistabil.

devine zero. În absența semnalelor de intrare ulterioare, circuitul va rămâne în această stare nedefinit având  $V_{01}$  în starea 0 logic și  $V_{02}$  în starea 1 logic.

Mai târziu, circuitul poate fi comutat în cealaltă stare prin aplicarea unui semnal pozitiv pe terminalul  $R$  (numit terminal „Reset“). Situația descrisă mai sus se inversează și circuitul revine la situația inițială când tranzistorul  $T_2$  conduce iar  $T_1$  este blocat. Acum  $V_{01}$  devine 1 logic iar  $V_{02}$  0 logic. Acest tip de bază al circuitului bistabil se numește „bistabil SR“.

Se observă că cele două ieșiri ale bistabilului sînt totdeauna în stări opuse, una este totdeauna inversa celeilalte și ambele se schimbă prin aplicarea unui semnal la intrare.

Un circuit bistabil poate memora o cifră binară sau „bit“ de informație, adică, dacă semnalul aplicat era 0 logic va fi 1 logic.

Circuitul bistabil de bază poate fi considerat ca fiind format din două părți NOR cuplate în cruce ca în fig. 22; b.

### **Ce se înțelege prin logică combinațională și logică secvențială ?**

Porțile de bază AND, OR și NOT realizează ceea ce se numește logică combinațională. Starea de ieșire la orice moment de timp depinde de combinația stărilor de la intrare din acel moment. Semnalele de intrare trebuie menținute întreaga perioadă de timp necesară menținerii ieșirii într-o stare dată.

În realizarea unei serii de decizii logice, adesea este nevoie să se înmagazineze datele pentru a le combina cu noi informații obținute mai târziu. O astfel de logică se numește logică secvențială deoarece se implică succesiunea în timp. În logica secvențială se folosesc circuitele bistabile pentru înmagazinarea informației.

### **Care sînt parametrii importanți ai porților logice binare ?**

Parametrii ce trebuie cunoscuți pentru a specifica funcționarea și a compune diferite tipuri de porți logice sînt următorii :

1. Nivelele de tensiune logice limită, adică pentru logica pozitivă, tensiunea 1 logică minimă și tensiunea 0 logică maximă.

2. Tensiunea de prag, adică tensiunea de intrare pentru care ieșirea trece dintr-o stare logică în cealaltă.

3. Marginea de zgomot, reprezintă diferența dintre tensiunea logică de intrare și tensiunea de prag.

4. Intârzierea de propagare, care reprezintă timpul necesar pentru ca ieșirea să-și schimbe starea după ce se aplică un semnal la intrare.

5. Fan-in, numărul de intrări diferite ce pot fi aplicate simultan unei porți.

6. Fan-out, numărul de porți următoare pe care o poartă logică le poate comanda simultan.

7. Puterea disipată. Aceasta este puterea consumată de poartă și este de obicei specificată ca fiind puterea medie când poarta rămâne în cele două stări logice timpuri egale.

8. Temperatura de funcționare. Este necesar să se stabilească domeniul temperaturii ambiante în care poarta va lucra satisfăcător.

### **Ce este RTL și de ce se folosește mai rar, acum ?**

RTL înseamnă logică cu tranzistor și rezistor, numită astfel deoarece circuitul este compus numai din rezistoare și tranzistoare. Ea a fost primul tip de poartă logică produs în formă integrată. Circuitul din fig. 23 este similar cu poarta logică cu tranzistor dintr-o figură anterioară. Fiecare intrare este conectată printr-un rezistor la un tranzistor separat. Dacă fiecare dintre intrări este făcută pozitivă, la nivelul 1 logic, tranzistorul corespunzător conduce iar ieșirea de la colectorul comun scade la 0 logic, realizând operația NOR. Rezistoarele serie din bază ajută tranzistoarele porților corespunzătoare conectate în paralel să împartă curentul de intrare în mod egal.

Deficiența acestui montaj este aceea că nivelul de tensiune 1 logic de la ieșire depinde de numărul de porți si-

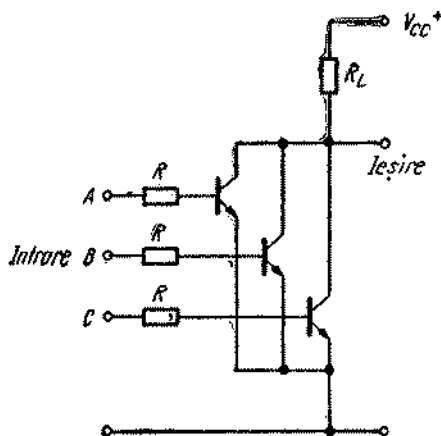


Fig. 23. Poartă RTL.

milare conectate la ieșire. Când tranzistoarele porții sînt toate blocate, la obținerea stării 1 logic la ieșire, tensiunea de ieșire devine egală cu tensiunea de alimentare, dar dacă se conectează alte porți la această ieșire, de îndată ce tensiunea depășește potențialul de barieră al joncțiunii bază-emitor  $0,7\text{ V}$  prin rezistorul de sarcină  $R_L$  va trece curent spre cea de a doua poartă și deci va limita tensiunea de ieșire a primei porți. Dacă se conectează mai multe porți, prin rezistorul de sarcină va trece mai mult curent și deci tensiunea de ieșire va fi și mai mică. Acest fapt limitează fan-outul porții, și de asemenea rezultă o margine de zgomot redusă, numai o zecime sau două dintr-un volt.

### Ce este DTL ?

Acesta este logica realizată cu tranzistor și diodă. Deciziile logice se realizează cu ajutorul unui grup de diode de intrare, iar ieșirea diodelor alimentează un etaj inver-



sor cu tranzistor pentru a stabili nivelele de tensiune 1 logic și 0 logic la ieșire. Configurația circuitului de bază se reprezintă în fig. 24, a, și este o poartă NAND.

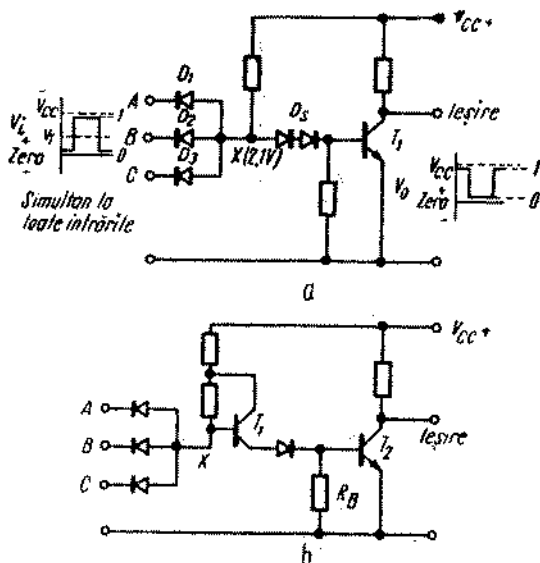


Fig. 24. Porți DTL.

Dacă toate intrările sînt 0 logic, diodele de intrare  $D_1$ ,  $D_2$  și  $D_3$  sînt toate polarizate direct și deci punctul X are un potențial de aproximativ 0,7 V. Acest potențial nu este suficient de mare pentru curgerea curentului prin diodele serie  $D_s$  și joncțiunea bază-emitor a tranzistorului (pentru trecerea curentului prin cele trei joncțiuni pn în serie, este necesară o tensiune de aproximativ 2,1 V, 0,7 V pentru fiecare joncțiune). Astfel tranzistorul este blocat și deci ieșirea tranzistorului este la potențialul de alimentare realizînd deci starea logică 1.

Dacă una din intrări saltă pozitiv la nivelul 1 logic (tensiunea de alimentare  $V_{CC}$ ) dioda de intrare corespun-

zătoare devine invers polarizată și deci astfel stopează trecerea curentului. Nu se întâmplă nimic încă, deoarece tensiunea în punctul  $X$  este totuși menținută scăzută de celelalte două diode. Totuși, dacă toate intrările sînt 1 logic în același timp, toate diodele de la intrare sînt polarizate invers și opuse trecerii curentului. Atunci potențialul punctului  $X$  crește la aproape 2,1 V, prin diodele serie  $D_s$  circula curent tranzistorul este comandat la saturație iar tensiunea de ieșire scade la nivelul 0 logic, ( $V_{CE sat}$ ).

Valoarea tipică pentru tensiunea de alimentare este 4 sau 5 V și cu un coeficient de siguranță permite o tensiune 1 logic de aproximativ 3 V. Tensiunea de prag este 1,4 V iar nivelul 0 logic aproximativ 0,4 V, rezultînd o margine de zgomot ridicată. Cînd o intrare este 1 logic, impedanța de intrare este mare deoarece dioda de intrare este polarizată invers, și deci este posibil un fan-out ridicat, o poartă poate comanda un număr de porți în 1 logic.

În fig. 24, *b* se arată un circuit DTL modificat, larg folosit în prezent. Se conectează un tranzistor  $T_1$ , și se obține un curent amplificat pentru a comanda tranzistorul  $T_2$ . Acest tranzistor permite o valoare mai mică pentru rezistorul din bază  $R_B$ , ceea ce reduce costul circuitului integrat.

### Ce este logica cu prag ridicat (HTL) ?

Aceasta este analoagă circuitului DTL modificat cu excepția faptului că una din diodele serie este înlocuită cu o diodă Zener de 7 V ce lucrează în regiunea de străpungere inversă (fig. 25). Tensiunea de prag crește la aproximativ 7,7 V și cu o tensiune de alimentare de 15 V rezultă o margine de zgomot ridicată de aproximativ 7 V.

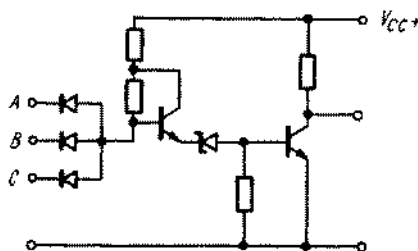


Fig. 25. Logică cu prag ridicat (HTL).

Acest circuit este destinat pentru utilizări în echipament industrial potrivit în experiențe cu nivele selective de interferență ridicate.

### Ce este TTL ?

Aceasta este logica tranzistor-tranzistor, sistem logic cu circuite integrate dezvoltat din DTL în care grupul de diode de intrare se înlocuiește printr-un tranzistor multi-emitor așa cum se arată în fig. 26, a. Cele câteva joncțiuni emitor-bază ale tranzistorului servesc drept diode de intrare iar joncțiunea bază-colector ca diodă serie. Poarta TTL realizează funcția NAND, funcționarea fiind similară celei a circuitului DTL. Dacă o intrare sau mai multe sînt 0 logic, tensiunea la baza lui  $T_1$  este numai de 0,7 V și nu va intra curent în  $T_2$  care este blocat și deci la ieșire va rezulta 1 logic. Dacă toate intrările devin 1 logic în același timp, toate emitoarele lui  $T_1$  sînt polarizate invers, potențialul bazei crește permițînd trecerea curentului prin joncțiunea bază-colector a lui  $T_1$  polarizată direct și deci comandă pe  $T_2$  la saturație pentru a obține la ieșire 0 logic.

La poarta TTL din fig. 26, b se adaugă un etaj de ieși-

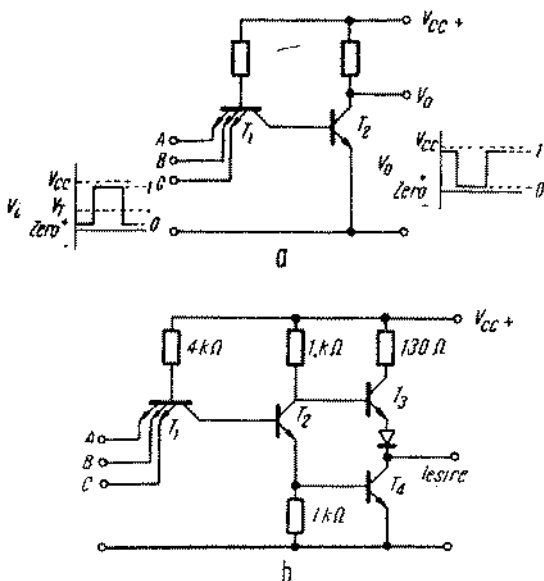


Fig. 26. Porți NAND TTL.

re pentru a obține un fan-out ridicat (pînă la 10) și comutație mai rapidă între stări. Tensiunea de alimentare este de 5 V, tensiunea 1 logic aproximativ 3,5 V tensiunea 0 logic 0,2 V și tensiunea de prag de 1,4 V.

### Ce este TTL Schottky ?

În circuitul TTL standard, tranzistoarele  $T_1$ ,  $T_2$  și  $T_4$  sînt comandate la saturație pentru a obține 0 logic la ieșire. Cînd un tranzistor se saturează, în regiunile bazei și colectorului se stochează o cantitate importantă de sarcină ca purtători minoritari, și cînd tranzistorul comută, avem un anumit timp de întîrziere pînă cînd sarcina stocată dispăre înainte ca să aibă loc tranziția reală. Aceasta

înseamnă că timpul de comutație este mai lung decât ar fi dacă tranzistoarele nu s-ar satura.

În circuitele TTL Schottky, intrarea tranzistoarelor în saturație este împiedicată prin introducerea diodelor Schottky în paralel pe joncțiunile bază-colector așa cum se arată în fig. 27, a. Dioda Schottky constă într-o jonc-

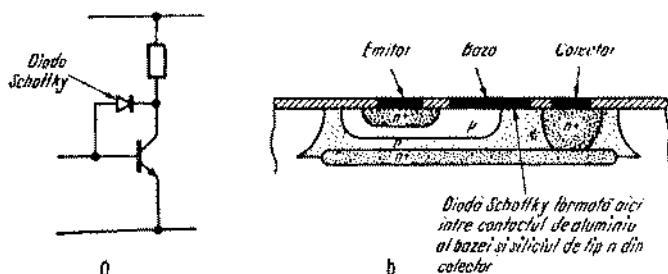


Fig. 27. Circuit cu diodă Schottky

țiune între aluminiu și siliciul de tip  $n$  și se formează foarte simplu, fără un cost suplimentar, prin extinderea contactului de aluminiu al bazei peste regiunea de tip  $n$  a colectorului așa cum se arată în fig. 27, b. Cu aceste mijloace timpul de comutare poate fi redus de la aproape 10 ns la aproximativ 3 ns.

### Ce este logica cu emitorul cuplat (ECL) ?

Logica cu emitorul cuplat reprezintă o altă formă de logică cu circuite integrate, în care tranzistoarele sînt ținute departe de saturație în scopul realizării unei viteze de comutație cît mai rapidă posibil.

Configurația de bază a unei porți ECL este reprezentată în fig. 28. Cele trei tranzistoare de la intrare  $T_1$ ,  $T_2$  și  $T_3$  realizează deciziile logice împreună cu tranzistorul

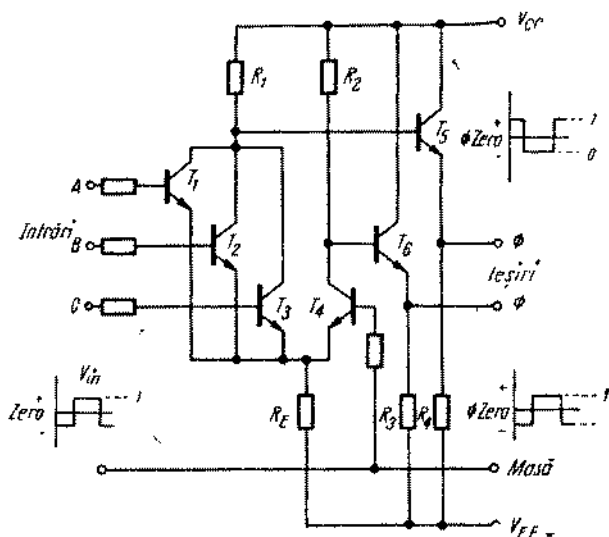


Fig. 28. Circuit ECL.

de referință  $T_4$ . Rezistența de emitor comună  $R_E$  acționează ca o sursă de curent constant. Baza tranzistorului  $T_4$  este conectată la potențialul masei iar liniile de alimentare sînt pozitive sau negative în raport cu masa.

Tensiunea 1 logic este de  $+0,4\text{ V}$  iar tensiunea 0 logic este  $-0,4\text{ V}$ .

Întîi considerăm situația că toate intrările sînt la potențialul masei. Prin fiecare tranzistor  $T_1$ ,  $T_2$  și  $T_3$  trece curent și rezultă un potențial de colector anumit care alimentează rețetorul pe emitor  $T_5$ .

Valorile rezistoarelor tranzistorului  $T_5$  sînt alese astfel ca semnalul de pe colectorul lui  $T_5$  în aceste condiții să fie egal cu potențialul masei. De asemenea prin tranzistorul  $T_4$  trece curent și potențialul colectorului său în aceste condiții este la potențialul masei.

Dacă toate intrările sînt făcute negative pentru a avea 0 logic ( $-0,4$  V) curenții ce trec prin tranzistoarele logice  $T_1$ ,  $T_2$  și  $T_3$  se micșorează iar potențialul colectorului comun crește pentru a obține la ieșirea lui  $T_5$  1 logic de  $+0,4$  V. Deoarece rezistorul  $R_E$  asigură condiții de curent constant, curentul prin  $T_4$  crește cu o cantitate asemănătoare descreșterii curentului ce trece prin tranzistoarele logice iar tensiunea sa de colector devine negativă realizînd 0 logic de  $-0,4$  V la ieșirea lui  $T_5$ .

Acum dacă oricare dintre intrări devine 1 logic ( $+0,4$  V) curentul prin tranzistorul logic corespunzător crește, rezultînd scăderea tensiunii de colector și obținînd 0 logic la ieșirea lui  $T_5$ . În același timp, la ieșirea lui  $T_6$  apare 1 logic.

Luînd ieșirea de la  $T_5$ , poarta realizează o funcție NOR iar dacă se ia ieșirea de la  $T_6$  se realizează funcția OR. Utilizarea rezistoarelor de emitor împiedică pătrunderea tranzistoarelor în regim de saturație și ca urmare timpul de comutație este foarte scurt, numai 1 și 2 ns. Deoarece prin tranzistoare trece permanent curent, disipația de putere este relativ mare. Deși tensiunea de prag este bine definită la potențialul masei, nivelul de tensiuni logice nu sînt tot atît de riguros definite ca la circuitele cu saturație. Folosirea ca etaje de ieșire repetoare pe emitor permite un fan-out ridicat, între 20 și 30.

### **Cum se pot compara diferitele familii de porți logice cu circuite integrate ?**

Parametrii importanți ai cîtorva familii logice importante sînt cuprinși pentru comparație în tabelul 4.

Valorile menționate sînt tipice și pot diferi într-o oarecare măsură pentru diferite tipuri în cadrul fiecărei familii.

Comparație între porțile logice integrate

	RTL	DTL	HTL	TTL mică putere	TTL stan- dard	TTL Scho- ttky	ECL	MOS
Tensiune de ali- mentare, V	3	5	15	5	5	5	+1,3	-14
Tensiune 1 logic, V	0,9	2,6	13,5	3,3	3,3	3,3	-3,2	-11
Tensiune 0 logic, V	0,2	0,4	1,5	0,2	0,2	0,2	+0,4	-1
Tensiune de prag, V	0,75	1,4	7,5	1,4	1,4	1,4	-0,4	-4,5
Margine de zgo- mot, V	0,15	1,0	6,0	1,2	1,2	1,2	0	3,5
Întârziere de pro- pagare, nS	50	25	90	35	10	3	2	100
Putere disipată, mW Fan out	10 5	10 8	55 10	1 10	10 10	20 10	50 35	1 5

### Ce este o poartă OR-exclusiv ?

O poartă OR-exclusiv reprezintă o poartă OR cu două intrări care exclude cazul când ambele intrări sînt 1 logic. Această poartă realizează 1 logic la ieșire dacă una dintre intrări este 1 logic, dar realizează 0 logic la ieșire dacă ambele intrări sînt 1 logic.

O configurație posibilă a porții OR-exclusiv este reprezentată în fig. 29. Întîi, o poartă OR realizează 1 logic la ieșire dacă oricare intrare este 1 logic. O poartă NAND conectată la cele două intrări realizează 0 logic la ieșire cînd ambele intrări sînt 1 logic, și acest 0 logic se utilizează pentru a inhiba o poartă AND finală pentru a realiza 0 logic la ieșire în această condiție.



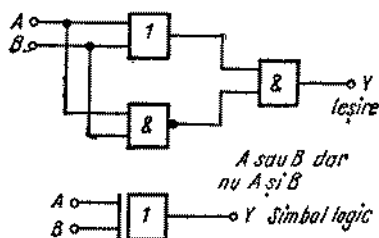


Fig. 29. Poartă OR-exclusiv.

Cînd numai una din intrări este 1 logic, poarta OR și poarta NAND au ambele 1 logic la ieșire astfel că poarta AND finală are posibilitatea de a realiza 1 logic la ieșire. Simbolul grafic pentru o poartă OR-exclusiv este reprezentat în fig. 29.

Poarta OR-exclusiv este folosită în operații matematice cum este poarta complement descrisă mai jos.

### Ce se înțelege prin logică cablată

Logica cablată reprezintă un mijloc de obținere a unor decizii logice suplimentare prin conectarea împreună a ieșirilor a două porți. Dacă porțile au la ieșire ca sarcină o simplă rezistență (ca la RTL) ieșirile pot fi conectate direct împreună ca în fig. 30, a. Ieșirea combinată este 1 logic numai dacă ieșirile ambelor porți individuale ar fi 1 logic. Deși adesea se numește OR-cablat configurația este strict un AND-cablat.

O altă configurație este aceea care lasă colectorul tranzistorului porții de ieșire neconectat, astfel că porțile pot fi conectate la un rezistor de sarcină extern comun așa cum se arată în fig. 30, b.

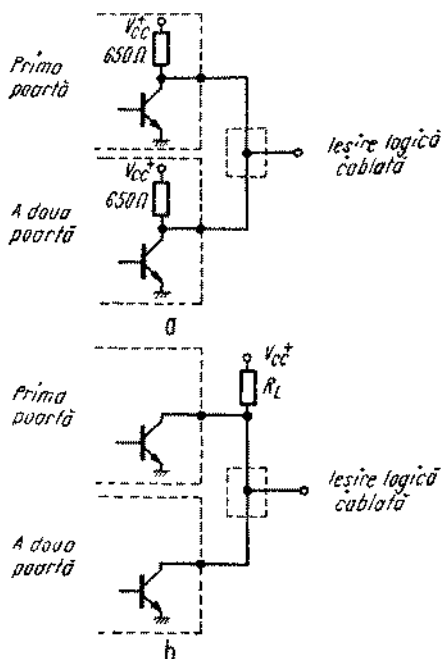


Fig. 30. Conexiuni logice cablate.

## Ce este o poartă complement ?

În aritmetica binară, adesea se cere utilizarea complementului față de 1 al unui număr binar. Complementul față de 1 se obține prin schimbarea fiecărei 0 în 1 și a fiecărui 1 în 0. O poartă complement reprezintă un sistem logic care face acest lucru.

Configurația unei porți complement de 2 biți este reprezentată în fig. 31. Pentru a obține ieșirea complement intrărilor de control B și C sînt ambele făcute 1 logic. Să considerăm intrarea  $A_1$ . Dacă aceasta este 1 logic, poarta

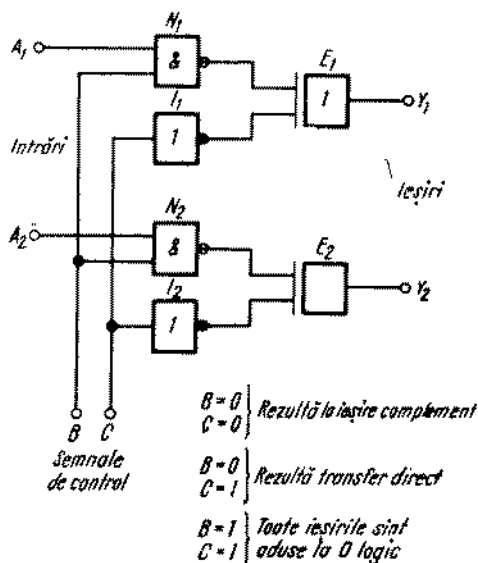


Fig. 31. Poartă complement de 2 biți.

NAND  $N_1$  poate prin controlul intrării  $B$  realiza la ieșire 0 logic.

Intrarea de control  $C$  are ca rezultat 0 logic la ieșirea inversorului  $I_1$ . Deoarece ambele intrări la poarta OR-exclusiv  $E_1$  sînt 0 logic, ieșirea sa este 0 logic, complementul intrării  $A_1$ . Dacă  $A_1$  este 0 logic, ieșirea porții NAND este 1 logic, intrările porții OR-exclusiv sînt 1 logic și 0 logic și astfel ieșirea este 1 logic, din nou complementul intrării.

Dacă se cere transferul numărului binar de la intrare la ieșire neschimbat, semnalul de control  $C$  se schimbă în 0 logic. Cu 1 logic la intrarea  $A_1$ , intrările la  $E_1$  sînt acum 0 și, 1 logic, rezultînd la ieșire 1 logic, la fel ca  $A_1$ . Cu 0 logic la intrarea  $A_1$ , intrările lui  $E_1$  sînt ambele 1 logic, realizînd la ieșire 0 logic din nou la fel cu intrarea.

## Ce se înțelege prin aplicarea „tactului“ ?

În funcționarea unui sistem numeric, care poate cuprinde o varietate de porți logice și circuite bistabile, de obicei se aplică semnale la intrare și se culeg semnale la ieșire în timpul unei anumite perioade de timp specific. La sistemele logice, aceasta poate fi rezolvată prin includerea unei porți AND cu un semnal la intrare și un semnal de tact la cealaltă intrare. Un semnal de intrare 1 logic va apărea la ieșirea porții AND numai când semnalul de tact este 1 logic. Astfel dacă semnalul de tact este un impuls 1 logic scurt, la ieșire va apărea semnal numai când apare acest impuls. Semnalul de tact se numește curent „impuls de tact“ și o astfel de poartă se numește „poartă cu tact“.

La un bistabil, aplicarea tactului se poate realiza prin combinarea impulsului de tact cu semnalul de comutație, astfel că bistabilul comută numai dacă atât semnalul cit și impulsul de tact sînt prezente în același timp. O poartă AND cu două intrări se conectează la terminalele set și reset așa cum se arată în fig. 32. Circuitul se va numi „bistabil S-R cu tact“.

## Care este diferența dintre bistabilul S-R și bistabilul J-K ?

La un bistabil S-R, dacă se aplică simultan la ambele intrări S și R un semnal 1 logic, starea de comutație a circuitului este indefinită. Circuitul ar sta stabil în oricare stare depinzînd de ciștigurile relative ale tranzistoarelor, capacitățile parazite ale circuitului, etc.

Bistabilul J-K, este conceput să învingă această tră-sătură neplăcută a unui bistabil S-R. El are două intrări

notate cu  $J$  și  $K$ . Circuitul poate fi trecut într-o stare prin aplicarea unui semnal pe terminalul  $J$  și trecut la cealaltă stare prin aplicarea unui semnal la intrarea  $K$ . Până aici funcționarea este similară celei a unui bistabil  $S$ - $R$ . Totuși, la un bistabil  $J$ - $K$ , logica suplimentară este indusă în circuitele de intrare astfel că dacă se aplică simultan un impuls 1 logic la intrările  $J$  și  $K$  circuitul va trece totdeauna din starea de excitație în cealaltă. O metodă de realizare a unui asemenea circuit este prezentată în fig. 33. La intrare sînt incluse porți AND suplimentare și semnalele de la terminalele de ieșire se aplică din nou la intrare.

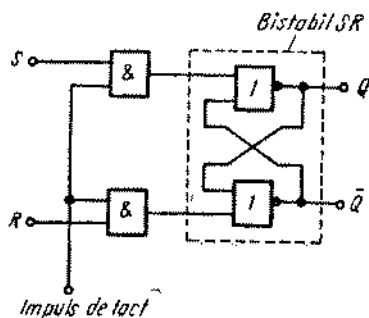


Fig. 32. Circuit bistabil  $S$ - $R$  cu tact.

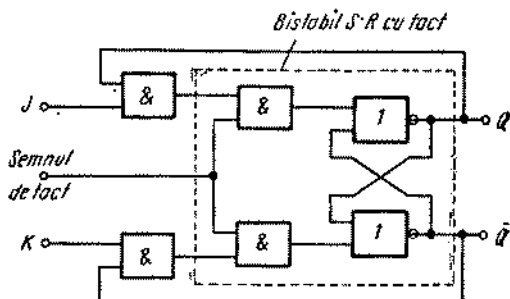


Fig. 33. Circuit bistabil  $J$ - $K$  cu tact.

Aceste semnale de reacție vor fi totdeauna alcătuite pe o parte din 1 logic și 0 logic pe cealaltă. Acum dacă pe terminalele  $J$  și  $K$  se aplică simultan un semnal 1 logic numai poarta AND ce primește semnalul de reacție 1 logic va fi capabilă de lucru și bistabilul va schimba starea. Durata impulsului de tact trebuie să fie mai mică decât întârzierea de propagare a circuitului sau repetarea comutării. Această condiție poate fi înlăturată prin folosirea configurației „master-slave” descrisă în continuare.

### Ce este un bistabil „master-slave” ?

Un circuit bistabil „master-slave” este compus din două circuite bistabile separate conectate în serie.

Primul se numește etaj master iar al doilea etaj slave. Acest circuit are diferite forme ; configurația de bază este reprezentată în fig. 34.

Funcționarea este următoarea. Presupunem că ieșirea  $Q$  este 1 logic iar ieșirea  $\bar{Q}$  este 0 logic.

Cînd apare un impuls de tact 1 logic, o tensiune 1 logic la intrarea  $J$  va permite intrării  $J$  a porții AND să reali-

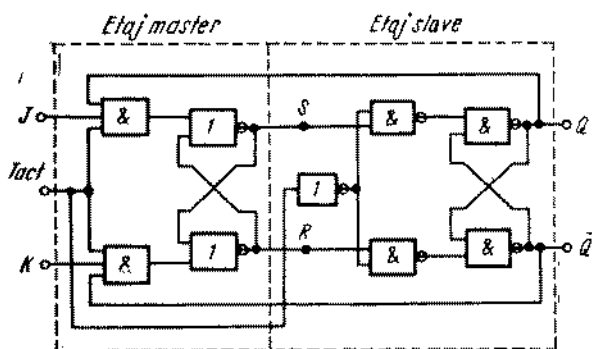


Fig. 34. Circuit bistabil master-slave J-K.

zeze un semnal 1 logic la bistabilul master. În același timp, intrarea  $K$  a porții AND este inhibată și realizează un semnal 0 logic pe cealaltă parte a bistabilului.

Astfel, bistabilul master realizează 0 logic la terminalul  $S$  și 1 logic la terminalul  $R$ . Acum impulsul de tact se aplică de asemenea printr-un inversor pentru a obține un semnal 0 logic care inhibă ambele porți NAND de la intrarea etajului slave. Astfel, în timpul cît durează impulsul de tact, etajul slave este izolat de etajul master. Cînd impulsul de tact se sfîrșește și scade la 0 logic, ieșirea inversorului devine 1 logic, iar intrarea porții NAND conectată la  $R$  devine disponibilă. Apoi bistabilul slave comută pentru a realiza 1 logic la ieșirea lui  $\bar{Q}$  și 0 logic la ieșirea lui  $Q$ , adică bistabilul slave capătă aceeași stare ca bistabilul master, și întregul circuit rămîne astfel pînă la următorul impuls de tact. Deoarece ieșirea este izolată de intrare în timpul cît durează impulsul de tact, nu poate avea loc fenomenul de „fugă”.

### Ce este un bistabil „trigger” ?

Un bistabil trigger are o singură intrare și la fiecare impuls 1 logic aplicat la intrare el trece dintr-o stare de excitație în cealaltă. În fig. 35 se arată cum se poate folosi un bistabil  $J-K$  ca bistabil trigger. Dacă ambele intrări  $J$

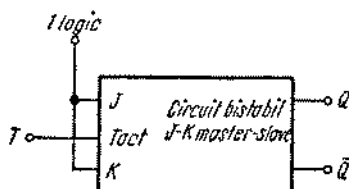


Fig. 35.

și  $K$  sînt conectate la nivelul 1 logic, fiecare impuls 1 logic aplicat la intrarea de tact va determina ca ieșirile să-și schimbe starea.

### Cît de repede pot lucra circuitele logice și circuitele bistabile ?

Pentru ca ieșirea unui circuit poartă să treacă dintr-o stare logică în cealaltă după aplicarea unui impuls la intrare este necesar un timp finit. Acesta se numește timp

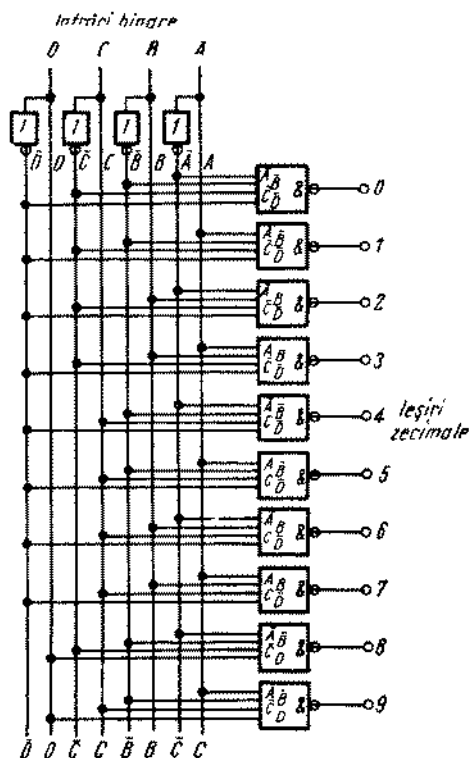


Fig. 36. Decodor zecimal în binar.



de propagare iar valoarea tipică pentru porți logice cu utilizări generale (spre exemplu poarta NAND TTL) este de aproximativ 10 ns. Astfel, avînd în vedere schimbarea în ambele direcții, o singură poartă logică de acest tip ar lucra cu o frecvență de repetiție pînă la 50 MHz. La porțile logice conectate în serie, timpii se adună, și astfel la sistemele logice complexe, timpii de propagare totali sînt mai mari.

Un simplu circuit bistabil impune trecerea semnalului prin ambele porți și deci va avea un timp de propagare de două ori mai mare ca al unei porți.

La unele din cele mai complexe tipuri de circuite bistabile, cum ar fi J-K master slave, cu tact putem avea efectiv patru sau cinci tranziții în serie, așa că frecvența maximă de lucru pentru aceste tipuri poate scădea pînă la 10 MHz.

**Prin ce diferă circuitele integrate liniare  
de circuitele logice ?**

La circuitele integrate logice, atât semnalele de intrare cit și de ieșire au unul din două nivele de tensiune specifice, tensiunea 0 logic și tensiunea 1 logic. Spre exemplu, pentru TTL, tensiunea 1 logic este de 3,3 V iar tensiunea 0 logic este 0,2 V. Aceste două nivele de tensiune sînt aceleași pretutindeni într-un sistem logic.

La circuitele integrate liniare, semnalele de obicei constă din tensiuni continuu variabile. Amplificarea semnalului este în general implicată, semnalele de intrare pot fi de cîtiva microvolți iar nivelele de ieșire de cîtiva volți.

**De ce diferă proiectarea unui circuit integrat liniar  
de cea a unui circuit discret liniar ?**

Motivul inițial al acestei diferențe este că unele componente de circuit sînt prea scumpe pentru a le face sub formă integrată, de obicei capacitățile, inductoarele și rezistoarele de valori mari. Prețul realizării unei componente în formă integrată este proporțională cu suprafața de siliciu pe care o acoperă. Un tranzistor de semnal mic

tipic ocupă aproximativ  $0,016 \text{ mm}^2$  (v. fig. 13) : în aceeași suprafață de siliciu, mai putem forma numai un capacitor de câțiva picofarazi sau un rezistor de aproximativ  $2\,000 \, \Omega$  (fig. 14). Peste aceste valori, capacitatoarele și rezistoarele devin proporțional mult mai scumpe decât tranzistoarele. Astfel, la circuitele integrate liniare, în locul rezistoarelor de valori mari adesea se folosesc structuri de tranzistor, circuitele se proiectează cu cuplaj direct între etaje pentru a elimina capacitatoarele, și pe cât posibil rezistoarele sînt menținute la valori mici.

Datorită cuplajului direct, sînt necesare circuite de polarizare în c.c. speciale, cuprinzînd spre exemplu circuite de deplasare a nivelului.

### De ce este important circuitul Darlington în circuitele integrate liniare ?

Circuitul Darlington de bază (fig. 37) poate realiza o amplificare de curent de cîteva mii, și cu un rezistor de sarcină de valoare medie poate realiza o amplificare de tensiune de același ordin de mărime. Nu sînt necesare capacitatoare sau rezistoare de valori mari și deci configurația oferă posibilitatea obținerii unui cîștig mare în formă integrată într-un mod foarte economic.

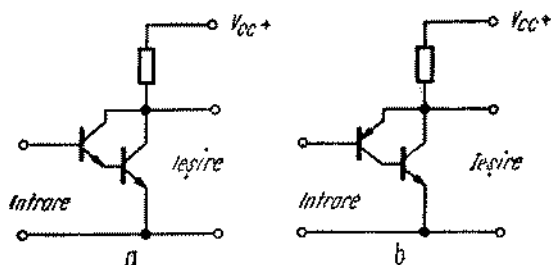


Fig. 37. Etaje Darlington.

## Ce este un etaj diferențial și de ce este larg folosit în circuitele integrate liniare ?

Am observat că în circuitele integrate liniare, în general este necesar folosirea cuplajului direct între etaje. Una dintre problemele ce apar în folosirea cuplajului direct este proiectarea circuitelor de polarizare în curent continuu care sînt stabile împotriva variațiilor tensiunii de alimentare și împotriva variațiilor cu temperatura a caracteristicilor tranzistoarelor. Orice variație a valorii tensiunii de polarizare va constitui, de fapt, un semnal de curent continuu care va fi amplificat de etajele amplificatoare ce urmează și va rezulta un semnal de ieșire nedorit. Etajul diferențial se folosește pentru minimizarea acestor variații prin folosirea unui al doilea tranzistor pentru a echilibra toate modificările de curent continuu ce apar în plus față de cele datorite semnalului de intrare.

Configurația unui etaj diferențial de bază este reprezentată în fig. 38, a. Tranzistoarele, rezistențele de sarcină ( $R_L$ ) și rezistențele de polarizare ( $R_B$ ) ale celor două jumătăți de circuit sînt realizate cît mai identic posibil iar rezistorul de emitor  $R_E$  are o valoare ridicată astfel că el lucrează ca o sursă de curent constant. Rezistorul de polarizare  $R_b$  este astfel ales încît în lipsa semnalului de la intrare, circuitul este echilibrat, adică curenții prin cele două tranzistoare sînt egali iar cele două tensiuni de colector sînt la fel. Dacă apare acum o variație a tensiunii de alimentare sau a temperaturii, ambele jumătăți de circuit sînt afectate la fel, și deoarece avem o sursă de curent constant, semnalele de ieșire rămîn nealterate și egale.

Dacă se aplică acum la intrare un semnal pozitiv, curentul prin tranzistorul  $T_1$  crește, și deoarece curentul total prin cele două tranzistoare trebuie să rămînă constant datorită lui  $R_E$ , curentul prin  $T_2$  scade cu o cantitate

identică. Tensiunea de colector a lui  $T_1$  devine mai puțin pozitivă iar cea a lui  $T_2$  mai pozitivă.

Astfel obținem un semnal de ieșire între cele două colectoare, sau între fiecare colector și masă.

Circuitul diferențial este în special adecvat pentru circuitele integrate. Cele două tranzistoare, cu geometrie identică, pot fi formate unul lângă altul, așa cum se realizează sarcina și rezistoarele de polarizare. Orice variații în procesul de fabricație vor afecta ambele tranzistoare și ambele rezistoare de sarcină în aceeași măsură, și astfel echilibrul este absolut reproductibil.

Deoarece toate componentele de pe cimpul circuitului integrat vor fi la aceeași temperatură, orice modificare a temperaturii va fi aceeași pentru fiecare semicircuit.

În circuitele integrate, rezistorul  $R_E$  de emitor de valoare mare poate fi, în mod avantajos, înlocuit cu un tranzistor astfel polarizat încît să lucreze pe porțiunea plată

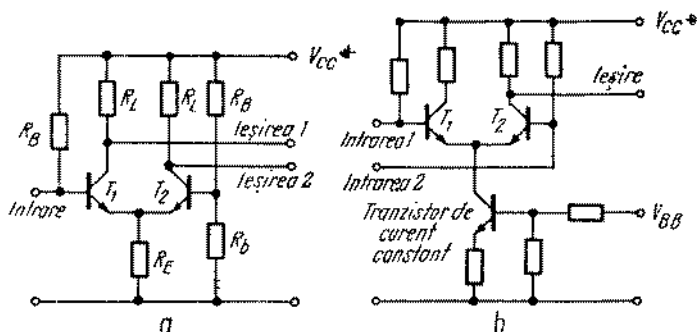


Fig. 38. Amplificatoare diferențiale.

a caracteristicilor de colector pentru a realiza o sursă de curent constant așa cum se arată în fig. 38, b. Tranzistorul plus una sau două rezistoare de valoare mică, pot fi realizate mult mai ieftin decît un rezistor de valoare ridicată.

## **De ce este importantă reacția negativă în circuitele integrate ?**

Micile variații tehnologice ce apar în timpul fabricației pot avea un efect important asupra amplificării tranzistorului și asupra valorilor absolute a rezistoarelor. Reacția negativă oferă posibilitatea minimizării schimbărilor în amplificarea totală a circuitului datorită acestor variații. Pentru o reacție negativă cu rezistor simplă amplificarea totală este determinată de raportul celor două rezistoare din circuitul de reacție. În circuitele integrate, aceste două rezistoare pot fi realizate unul lângă altul astfel că orice variație tehnologică va afecta ambele rezistoare egal, iar raportul lor va fi absolut reproductibil.

## **Ce este un amplificator operațional ?**

Un amplificator operațional este un amplificator cu amplificare mare destinat a fi folosit cu reacție negativă. Cîștigul amplificatorului este în mod normal suficient de mare încît caracteristicile întregului sistem sînt determinate numai de circuitul de reacție. Reacția rezistivă simplă oferă o valoare precisă pentru amplificare, valoare ce depinde numai de rețeaua de reacție rezistivă. Prin utilizarea rețelelor rezistiv-capacitive în reacție, caracteristicile totale pot fi aranjate să fie selective cu frecvența în orice mod pe care-l dorim, permițînd proiectarea filtrelor active sau amplificatoarelor selective. De asemenea, rețeaua de reacție poate fi concepută astfel încît să prezinte caracteristici de integrare sau diferențiere, care pot fi folosite pentru operații matematice în calculatoarele analogice.

## Ce sint intrările inversoare și neinversoare ?

Etajul diferențial din fig. 38, a poate fi aranjat astfel încît să aibă două intrări și o singură ieșire așa cum se arată în fig. 38, b. Dacă pe intrarea 1 se aplică un semnal pozitiv, curentul prin tranzistorul  $T_1$  crește iar prin tranzistorul  $T_2$  scade rezultînd la ieșire un semnal pozitiv. Astfel, un semnal aplicat la intrarea 1 are ca rezultat un semnal de ieșire pozitiv, și deci intrarea 1 se numește intrare neinversoare. Dacă, totuși, la intrarea 2 se aplică un semnal pozitiv, curentul prin tranzistorul  $T_2$  crește și tensiunea de ieșire scade. Astfel, un semnal aplicat pe terminalul 2 are ca rezultat un semnal de ieșire cu sens inversat, și deci intrarea 2 se numește intrare inversoare. Am-

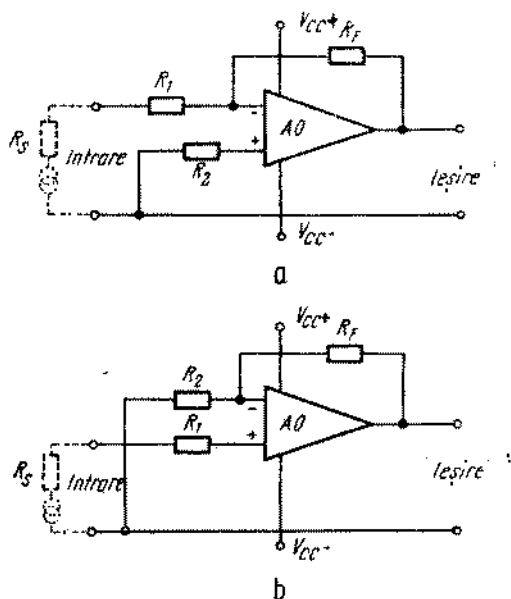


Fig. 39. Amplificator operațional.

plificatoarele operaționale care au un etaj diferențial la intrare au două intrări realizate cu terminale separate.

Intrarea inversoare se notează cu semnul minus ( $-$ ) iar intrarea neinversoare cu semnul plus ( $+$ ). Semnalul de intrare poate fi aplicat oricărei intrări depinzând de relația de fază cerută, dar reacția negativă trebuie aplicată totdeauna la intrarea inversoare, așa cum se arată în fig. 39.

**Care este configurația tipică a unui amplificator operațional integrat ?**

O configurație de circuit tipică este reprezentată în fig. 40. Circuitul de intrare este un etaj diferențial cu in-

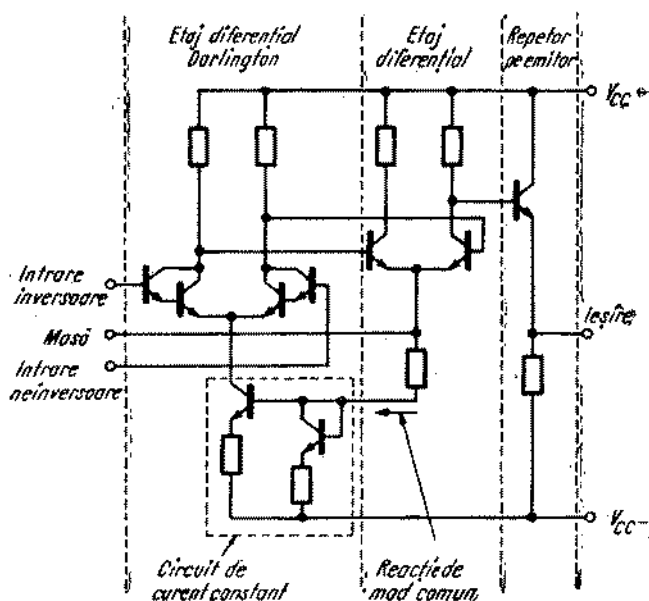


Fig. 40. Configurația unui amplificator operațional tipic.



trări inversoare și neinversoare. Pentru amplificare mare, fiecare parte a etajului poate folosi un circuit Darlington așa cum se observă în figură. Se folosește de asemenea o sursă de curent constant.

Ieșirile de la fiecare parte a primului etaj se aplică celui de al doilea etaj diferențial care completează amplificarea, apoi semnalul de ieșire de la una din laturile etajului se aplică unui repetor pe emitor care are o impedanță de ieșire mică.

### **Care sînt condițiile importante ce apar în folosirea amplificatoarelor operaționale ca amplificatoare de CC ?**

Problema principală ce apare în folosirea amplificatoarelor operaționale ca amplificatoare de C.C. cu câștig mare este reprezentată de dezechilibrul inițial al etajului diferențial de intrare (numit decalaj de intrare) și variația sa cu temperatura. Acest decalaj constituie un semnal care nu poate fi distins de semnalul real. Tensiunea de decalaj are doi constituenți : întâi tensiunea offset (de decalaj) care reprezintă diferența între tensiunile bază-emitor ale celor două tranzistoare, și în al doilea rînd curentul offset (de decalaj) care reprezintă diferența dintre curenții de polarizare ce intră în cele două tranzistoare de intrare. Este normal să se introducă o tensiune continuă într-un punct oarecare al amplificatorului pentru a echilibra decalajul astfel ca semnalul de ieșire să fie zero pentru un semnal de intrare zero. Acest lucru în sine este absolut simplu dar este necesar să se proiecteze circuitul de intrare cu multă grijă pentru a asigura că echilibrul este menținut în tot domeniul de temperatură în care funcționează și pentru orice modificare a rezistenței din circuitele de polarizare a intrării.

## **Poate fi folosit un amplificator operațional integrat ca amplificator audio ?**

Da, amplificatoarele operaționale integrate standard sînt de obicei adecvate pentru folosirea ca amplificatoare audio. Pentru a asigura stabilitatea, este necesară introducerea unei compensații în frecvență. La unele tipuri de amplificatoare operaționale aceasta este realizată intern, dacă nu, ea poate fi adăugată prin componente externe. Efectul unei astfel de compensații este să se obțină o extensie în caracteristica de frecvență. Astfel este necesar să se proiecteze circuitul de compensație și de reacție astfel încît să se obțină amplificarea și caracteristica de frecvență dorită.

## **Ce este un comparator de tensiune integrat ?**

Un comparator de tensiune integrat este format dintr-un amplificator cu etaj de intrare diferențial urmat de un etaj de comandă și un etaj de ieșire proiectat de obicei să producă la ieșire nivele de tensiune compatibile cu nivelele 1 și 0 logic de la porțile logice.

O utilizare tipică a comparatorului de tensiune este să compare nivelul unui semnal cu o tensiune de referință. Aceste două tensiuni se conectează la cele două intrări ale amplificatorului. Dacă nivelul semnalului depășește tensiunea de referință la ieșirea amplificatorului apare o tensiune 1 logic (3,3 V pentru TTL) iar dacă semnalul este mai mic decît tensiunea de referință la ieșirea amplificatorului apare 0 logic (0,2 V pentru TTL).

Amplificatorul are un cîștig mare și aceasta asigură o tranziție rapidă de la o condiție la cealaltă.

## Este posibilă realizarea unui circuit integrat pentru amplificatoarele audio de putere ?

Da, au fost realizate amplificatoare audio integrate cu puteri de ieșire pînă la 10 W. Problemele importante ce apar sînt aranjarea tranzistoarelor de ieșire relativ mari pe cip și montarea cipului astfel încît temperatura produsă prin disipație de putere interioară a acestor tranzistoare să poată fi evacuată.

Un amplificator de putere integrat detaliat este reprezentat în fig. 41. Circuitul complet este format pe un cip

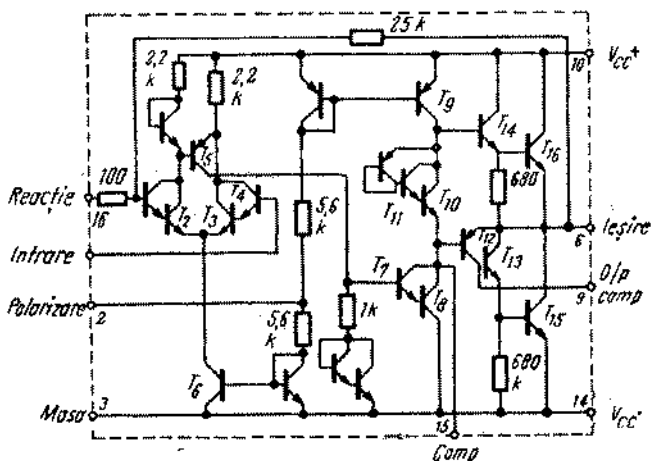


Fig. 41. Amplificatorul de 5 W tip SN 76013.

de siliciu de aproximativ  $1,5 \text{ mm}^2$  și structura celor două tranzistoare de ieșire ocupă aproximativ două treimi din suprafața cipului. Cipul se montează pe o bandă metalică care iese afară prin capsulă permițînd folosirea unui radiator.

Amplificatorul are o putere de 5 W. Pentru utilizarea amplificatorului sînt necesare una sau două componente exterioare — în principal capacitatoare de cuplare la intrare și leșire și rezistoarele de polarizare la intrare.

### **Se pot construi amplificatoare integrate de bandă largă și video ?**

Datorită impedanței mici și caracteristicilor capacitive mici ale tranzistoarelor, și a capacităților parazite foarte mici din interconexiunile circuitului integrat, este absolut posibilă proiectarea circuitelor integrate de bandă largă și video. Folosirea reacției negative și a etajelor repetitoare pe emitor contribuie la proiectarea unor astfel de amplificatoare. Sînt disponibile în prezent amplificatoare integrate standard care acoperă benzi de frecvență de la zero la 100 MHz cu cîștiguri de tensiune de cîteva sute.

### **Se pot realiza circuite acordate folosind amplificatoare integrate ?**

Da, se poate construi circuite acordate folosind circuite integrate, dar este necesară utilizarea externă a circuitelor acordate, deoarece nu este economică realizarea în formă integrată a reductanțelor mai mari de cîteva microhenry sau a capacităților mai mari de cîteva picofarazi. Pentru amplificatoarele de frecvență ridicată sînt folosite etajele diferențiale deoarece proprietățile în c.c. ale circuitului permit limite considerabile în funcționare, înlesnind folosirea controlului automat al amplificării și a circuitelor de reacție.

## Pot fi construite circuitele integrate cuprinzind perechi complementare ?

În circuitele integrate bipolare convenționale, în mod normal nu este posibilă construirea tranzistoarelor pnp cu câștig ridicat alături de tranzistoarele npn. Totuși, este posibilă formarea tranzistoarelor pnp cu câștig mic folosind construcția laterală (fig. 2.9). Nu este posibilă folosirea unui astfel de tranzistor pnp cu câștig mic pentru a forma o pereche complementară cu un tranzistor npn cu amplificare mare. Există, totuși, o cale de îmbunătățire a acestei probleme. Dacă se combină un tranzistor pnp lateral de o amplificare unitară cu un tranzistor npn de amplificare ridicată în circuit Darlington așa cum se arată în fig. 42, combinația lucrează asemenea unui tranzistor pnp

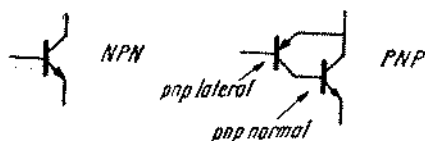


Fig. 42. Pereche de tranzistoare complementare integrate.

avind o amplificare de același ordin de mărime cu cea a tranzistorului npn.

Astfel, dacă un tranzistor pnp lateral și un tranzistor npn convențional, sînt formați unul lîngă altul pe cipul de siliciu și interconectați ca în fig. 42, această combinație poate fi utilizată cu un alt tranzistor npn pentru a forma o pereche complementară.

**Ce este un tranzistor MOS și cum funcționează ?**

Tranzistorul MOS este o structură în care conducția între două regiuni situate la o depărtare foarte mică una de alta poate fi controlată printr-o tensiune aplicată unui electrod poartă izolat localizat deasupra spațiului ce separă cele două regiuni. Când se aplică tensiunea de control electrodului izolat impedanța de intrare este foarte mare.

Structura de bază este reprezentată în fig. 43. Cele două regiuni, numite sursă și drenă, se difuzează în substratul de tip  $n$  la o depărtare foarte mică, de obicei de aproximativ 5  $\mu\text{m}$ . Deasupra spațiului dintre sursă și drenă se formează un strat subțire de oxid de siliciu foarte pur, de aproximativ 100  $\mu\text{m}$ , iar peste acest strat de oxid se depune prin evaporare electrodul poartă din aluminiu.

Între sursă și drenă există două joncțiuni —  $p_n1$  și  $n_p2$ . Cu sursa și poarta la potențial zero iar drenea conectată la un potențial negativ (să zicem — 20 V) joncțiunea  $p_n1$  este polarizată direct și astfel substratul de tip  $n$  este aproape la potențial zero. Joncțiunea  $n_p2$  este totuși polarizată invers, și deci de la sursă la drenă nu va trece curent. Dacă acum se aplică o tensiune negativă electrodului poartă, electronii negativi din regiunea de tip  $n$  vor fi respinși și golurile pozitive vor fi atrase către suprafața sili-

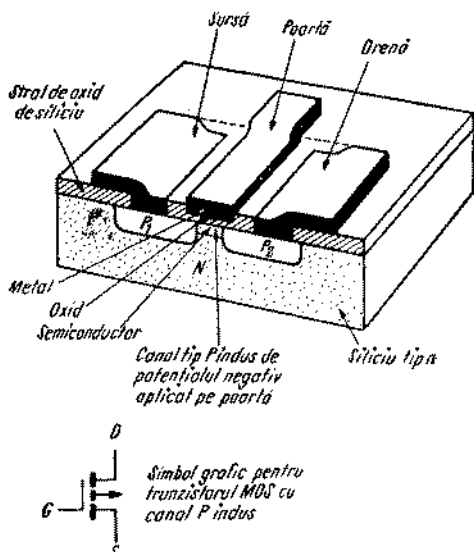


Fig. 43. Structură MOS.

ciului de sub poartă. Pentru o tensiune oarecare concentrația electronilor în regiunea de suprafață va fi mai mare decât concentrația electronilor și atunci stratul de la suprafață va fi convertit din tip  $n$  în tip  $p$ . Astfel în regiunea de suprafață s-a format un canal de tip  $p$  care unește regiunile sursei și drenă de tip  $p$ . Ca urmare, acum va circula curent de la sursă la drenă prin acest canal datorită tensiunii aplicată între drenă și sursă. Dacă tensiunea de poartă negativă crește, adâncimea canalului crește, și prin el va trece mai mult curent, adică curentul de la sursă la drenă este controlat de tensiunea de poartă negativă. Deoarece electrodul poartă este izolat prin stratul de oxid de siliciu, care este un izolator foarte bun, impedanța de poartă este extrem de mare, de ordinul  $10^{14}$ . Această structură de bază a tranzistorului MOS se numește cu canale  $p$  indus.

## Care sînt avantajele și neajunsurile tranzistorului MOS ?

Avantajele tranzistorului MOS pentru circuitele integrate sînt :

a) Impedanță de intrare mare. Aceasta permite o utilizare multilaterală.

b) Autoizolarea. Structurile MOS nu au nevoie de izolare suplimentară. Sursa și drena sînt în circuit izolate prin joncțiunile lor pn.

c) Simplitatea tehnologică. Structurile MOS se pot forma prin utilizarea numai a două treimi din numărul de operații necesare circuitelor integrate bipolare, și astfel au un preț mai mic.

d) Rezistoare MOS. Structura MOS poate fi folosită ca rezistor între sursă și drenă. Aceasta oferă un rezistor cu dimensiuni mult mai mici decît rezistorul difuzat folosit în circuitele integrate bipolare, rezultînd iarăși posibilitatea unui preț mai mic.

e) Structură simetrică. Natura simetrică a structurii MOS permite să fie folosită ca dispozitiv bilateral, spre exemplu comutator simetric în aplicațiile de multiplexare.

Față de aceste avantaje, totuși, există cîteva neajunsuri importante ale structurii MOS care limitează funcționarea sa în unele aplicații. Acestea sînt :

f) Rezistență directă mare. Tranzistorul MOS are o rezistență internă mare, cîteva mii de ohmi comparativ cu cîțiva zeci de ohmi la tranzistoarele bipolare.

g) Transconductanță mică. Aceasta este cu două ordine de mărime mai mică decît la tranzistoarele bipolare.

h) Viteză de comutație mică. Rezistența internă mare și transconductanța mică limitează viteza la care un tranzistor MOS poate să încarce și să descarce o capacitate, și



astfel rezultă că circuitele integrate au viteză de comutație mai mică decât circuitele integrate bipolare.

i) Străpungerea izolației de poartă. Oxidul de siliciu de sub poartă poate rezista în mod normal la aproximativ 90 V, dar datorită impedanței foarte mari numai o parte mică de energie poate genera o tensiune suficient de mare pentru a determina străpungerea. Este posibilă minimizarea acestui fenomen prin introducerea unei diode sub terminalul de intrare.

j) Nivel de zgomot ridicat. Întrucât conducția inițială are loc în regiunea de interfață siliciu—oxid de siliciu, unde pot exista discontinuități în structura cristalină, tranzistorul MOS are un nivel de zgomot relativ mare.

### **Cum poate fi folosită o structură MOS ca rezistor ?**

Când tensiunea aplicată pe poartă unei structuri MOS crește, se va ajunge la un punct în care începe să se formeze canalul de tip *p*, o creștere ulterioară a tensiunii, crește adâncimea canalului, micșorându-se astfel rezistența canalului între sursă și drenă. Prin alegerea tensiunii dintre poartă și sursă, rezistența canalului poate fi menținută la o valoare impusă, și dispozitivul poate fi deci folosit ca rezistor între terminalele drenei și sursei.

O metodă comodă de proiectare a rezistoarelor MOS este fixarea tensiunii de poartă prin conectarea sa la drenă, astfel că dispozitivul se află în condiții de saturație. Aceasta determină grosimea canalului și apoi se pot determina dimensiunile suprafeței canalului astfel se obține rezistența cerută.

În fig. 44 se ilustrează utilizarea unui dispozitiv MOS ca rezistor de sarcină pentru un etaj de comutație MOS.

Trebuie să ne amintim că deoarece este necesară o anumită tensiune pentru formarea canalului, această tensiune trebuie să apară pe sarcină în timpul funcționării.

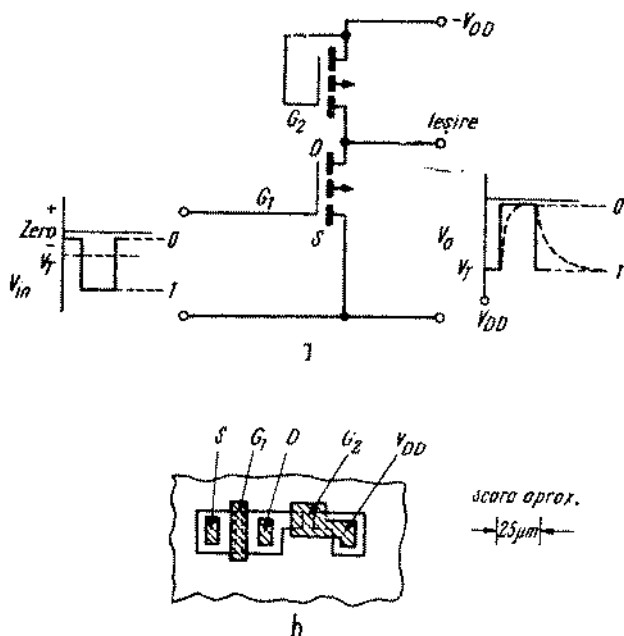


Fig. 44. Etaj inversor MOS.

## Cum se realizează circuitele integrate MOS ?

Circuitele integrate MOS sînt realizate utilizînd procese care sînt în principal similare celor folosite pentru realizarea circuitelor integrate bipolare. Etapele importante în fabricația structurilor cu canal  $p$  sînt următoarele :

1. Se oxidează pentru început o plachetă de siliciu de

tip n după care se practică deschideri în oxid pentru regiunile sursei și drenei.

2. Se difuzează bor prin aceste ferestre pentru a forma regiunile de tip p ale sursei și drenei după care se crește din nou oxid de siliciu pe întreaga suprafață.

3. Se utilizează un al doilea proces fotolitografic pentru a practica deschideri pentru contactele la regiunile sursei, drenei și porții.

4. Pe siliciul din regiunea de poartă se formează un strat subțire ( $100\text{ }\mu\text{m}$ ) de oxid de siliciu foarte pur, deoarece acest strat se formează și peste deschiderile de contact ale sursei și drenei se folosește un nou proces fotolitografic pentru îndepărtarea oxidului din aceste deschideri.

5. Se depune prin evaporare aluminiu peste întreaga plachetă și printr-un al cincilea proces fotolitografic se formează electrodul poartă, contactele la sursă și drenă și traseele interconexiunilor.

6. Placheta se taie în cipuri individuale.

## **Circuitele logice MOS sînt similare cu cele bipolare ?**

Porțile logice MOS de bază sînt de fapt absolut similare în configurația generală cu porțile bipolare simple, diferența principală fiind utilizarea rezistoarelor MOS ca sarcină, și folosirea logicii negative pentru tipurile cu canal p.

În fig. 45, a se reprezintă o poartă NOR MOS de bază.

Dacă oricare una dintre intrări este negativă în starea 1 logic, tranzistorul MOS corespunzător conduce realizînd la ieșire 0 logic. Întrucît impedanța de intrare a tranzistorului MOS este mare, apar cîteva probleme în interconectarea porților MOS, iar această configurație este

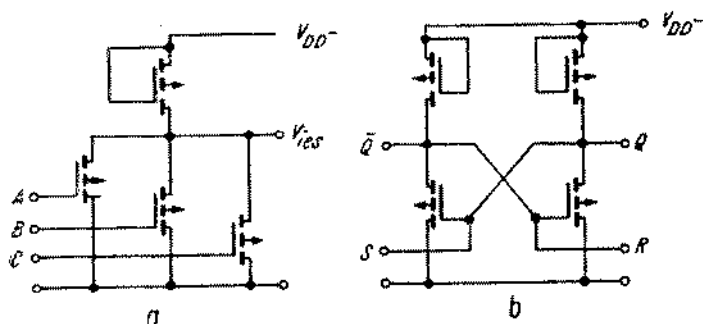


Fig. 45. Circuite logice MOS.

satisfăcătoare pentru sistemele complexe. În fig. 45, b se reprezintă un bistabil MOS de bază.

Utilizarea rezistorului MOS oferă un alt grad de libertate în aceea că rezistența sa poate fi comutată de la valoarea sa normală la o valoare foarte mare prin trecerea tensiunii de poartă la o valoare mică. Această posibilitate de aplicare a tactului poate fi folosită în acest mod rezultând posibilitatea unei funcționări mult mai versatile.

### Se pot realiza circuite integrate liniare MOS ?

Circuitele MOS au ca trăsături caracteristice o impedanță de intrare mare și o amplificare de tensiune mare, ambele trăsături fiind folosite avantajos în amplificatoarele liniare.

De asemenea, tensiunea de polarizare a porții în c.c. are aceeași polaritate cu tensiunea de drenă și aceasta facilitează cuplarea directă între etaje, așa cum se arată în fig. 46.

Utilizarea ca rezistență de sarcină a rezistoarelor MOS este de asemenea folositoare în circuitele liniare, deoarece caracteristica liniară a unui astfel de dispozitiv este opusă

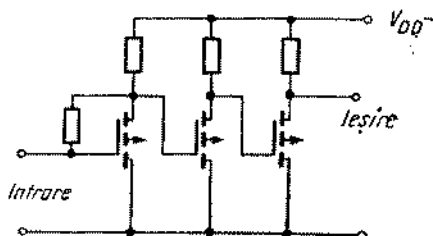


Fig. 46. Amplificatoare liniare MOS conectate direct.

celelalte a tranzistorului de comandă și astfel cele două caracteristici tind să se echilibreze rezultând o funcționare aproape liniară într-o gamă largă a nivelelor semnalelor.

Ar rezulta din cele spuse mai sus un viitor pentru circuitele liniare MOS. În momentul scrierii acestei cărți, această posibilitate n-a fost utilizată deoarece toate eforturile erau concentrate asupra circuitelor logice MOS.

### Pot fi folosite tranzistoarele MOS și bipolare în același circuit ?

Un tranzistor MOS poate fi folosit împreună cu un tranzistor bipolar *pnp* așa cum se arată în fig. 47 pentru

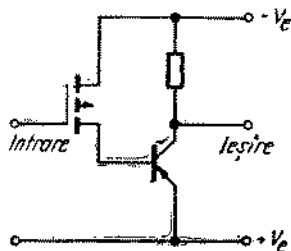


Fig. 46. Amplificatoare liniare MOS

a realiza o combinație ce are o impedanță de intrare mare și o transconductanță mare. Aceasta sporește posibilitățile de folosire a circuitelor integrate.

### Ce se înțelege prin structuri MNOS ?

O structură MNOS folosește un strat dublu de izolanț pentru poartă, un prim strat de oxid de siliciu în contact cu siliciul și apoi un strat de nitrură de siliciu peste stratul de oxid. Electrodele metalice ale porții se depun peste nitrură așa cum se arată în fig. 48.

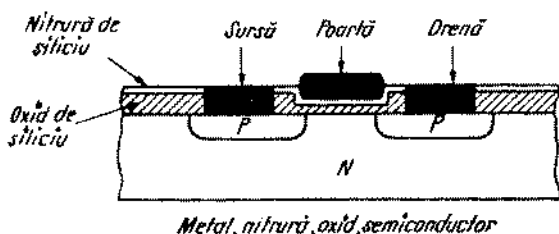


Fig. 48. Structură MNOS.

Folosirea nitrurii de siliciu reduce tensiunea de prag la care se formează canalul de conducție de la 4 V pentru structurile MOS convenționale până sub 2 V. Nitrura de asemenea îmbunătățește stabilitatea deoarece prezintă o barieră ionilor grei cum ar fi cei de sodiu, care se pot mișca prin oxidul de siliciu ce ar determina efecte nedorite.

### Ce este structura MOS cu poartă de siliciu ?

În structura cu poartă de siliciu, pentru electrodul de poartă se folosește în locul aluminiului o regiune de siliciu policristalin puternic dopat. Acest aranjament permite oxidului de poartă și electrocului să se formeze în primele

etape ale procesului de fabricație. În continuare, electro-  
dul de siliciu poate fi o mască în difuzia de tip p pentru  
a forma regiunile drenei și sursei. Aceasta înseamnă că  
aliniera electrodului poartă peste regiunea dintre sursă  
și drenă este exactă și astfel rezultă o structură mai mică  
care evită necesitatea acceptării unor toleranțe de eroare  
ale măștilor și de aliniere în timpul procesului fotolitogra-  
fic. Configurația generală a unei structuri cu poartă de  
siliciu este prezentată în fig. 49.

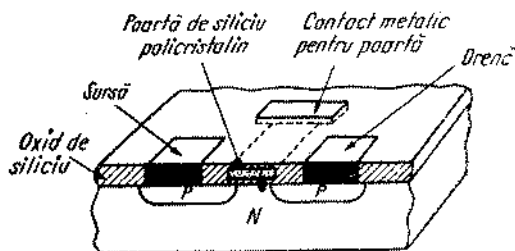


Fig. 49. Structură MOS a unei porți.

Dimensiuni mai mici pentru poartă înseamnă capaci-  
tăți de poartă mai mici și deci viteză de comutație mai  
mare. De asemenea, reducerea dimensiunilor totale în-  
seamnă o reducere corespunzătoare a prețului de fa-  
bricație.

### De ce se îmbunătățește tranzistorul MOS prin implantare de ioni ?

Difuzia convențională cu mascare prin oxid totdeauna  
implică o difuzie laterală sub contururile deschiderilor  
practicate în oxid. În structura MOS, difuzia laterală pă-  
trunde în regiunea porții dintre sursă și drenă micșorînd-o  
și astfel se limitează gradul la care se pot reduce dimen-  
siunile structurii. Prin implantare de ioni, impuritățile

pătrund direct în siliciu, în linie cu raza de ioni, și aceasta oferă posibilitatea realizării unor structuri mai mici și viteză de comutare mai mare. De asemenea prin implantare de ioni forma profilului de impurități din siliciu poate fi variată, iar aceasta oferă posibilitatea obținerii unui dispozitiv cu tensiune de prag redusă.

### **De ce se folosește structura MOS pe scară largă în registrele de deplasare ?**

Geometria simplă a suprafeței laterale a unei structuri MOS, împreună cu mărimea mică, permite conexiunea foarte ușoară de la un etaj la altul și astfel facilitează proiectarea registrelor de deplasare cu mai multe etaje. Cablajul de interconectare este foarte simplu, necesitând numai conexiuni serie scurte de la un bit la următorul cu liniile de alimentare, masă și tact înconjurând toți biții. Astfel este posibilă o densitate foarte mare de biți, rezultând un preț per bit scăzut.

### **Ce este o memorie MOS citește numai ?**

O „memorie MOS citește numai“ (ROM) este o matrice de memorii MOS în care a fost înscrisă permanent o anumită informație în timpul procesului de fabricație, făcând ca bistabili să fie totdeauna într-o stare sau alta. În timpul utilizării informația poate fi citită în orice moment prin adresarea către matrice, dar ea nu poate fi schimbată.

Se poate folosi un tip de memorie foarte simplu, deoarece nu are loc trecerea de la o stare la alta. Întrucât este necesară numai citirea, conexiunile la matrice și la circuitele periferice pot fi simplificate rezultând posibilitatea unei mari densități, în prezent până la 4 000 biți de memorie pe un cip.



### Ce este un circuit integrat poartă individual ?

Acesta este un circuit integrat numeric care conține unul sau mai multe circuite logice identice într-o capsulă. Pentru fiecare poartă, fiecare intrare și ieșire sînt realizate pe pini diferiți iar tensiunea de alimentare și masa sînt comune pentru toate porțile. Numărul de porți incluse într-o capsulă (capsulele standard au 14 sau 16 pini) depinde de numărul de intrări la poartă. Spre exemplu, la o poartă cu trei intrări există 4 pini pentru o poartă plus pini de alimentare și masă, și deci astfel de 3 porți pot fi incluse într-o capsulă cu 14 pini. Porțile individuale din interiorul capsulei sînt formate toate pe un singur cip de siliciu, de obicei între 1 și 2 mm<sup>2</sup>.

### Ce este un circuit integrat poartă interconectat ?

Acesta este un circuit integrat numeric în care un număr de porți logice sînt formate pe un cip și apoi interconectate prin trasee metalizate de suprafață pentru a forma sisteme mult mai complexe. Spre exemplu, un număr de porți de pe un cip pot fi interconectate pentru a forma un bistabil master-slave, un registru de deplasare serie, un sumator binar, un numărător, un sistem de memorie și

altele. Deoarece astfel de sisteme complexe necesită numai intrare, ieșire, alimentare, masă și probabil intrări de tact, ele pot fi de obicei încapsulate în capsule standard cu 14 sau 16 pini.

### **Ce se înțelege prin complexitatea unui circuit integrat ?**

Cuvântul „complexitate” aplicat circuitelor integrate se referă la numărul de circuite pe care le conține, pentru tipurile numeric însemnând numărul porților logice, pentru sistemele de memorie numărul de „biți” iar pentru tipurile liniare numărul de etaje amplificatoare. Pe măsură ce dezvoltarea continuă, aceste circuite de bază tind să devină mai complexe, și pentru a menține o bază de comparație, complexitatea se referă de obicei în funcție de porțile logice originale sau etajele amplificatoare ce se construiesc în perimetrul unuia sau două tranzistoare. Atunci complexitatea se măsoară în „porțile logice echivalente” sau „etajele amplificatoare echivalente”.

### **Ce înseamnă SSI, MSI și LSI ?**

Ca rezultat al efortului continuu de reducere a costului pe funcție de circuit a circuitelor integrate, există o tendință generală de creștere a complexității, adică a numărului de funcții de circuit dintr-o capsulă. Pentru a ușura măsurarea nivelelor de complexitate a circuitelor integrate numerice, termenii de scară de integrare mică, scară de integrare medie și scară de integrare mare devin tot mai utilizați. Ele grupează nivelele de complexitate după cum urmează : SSI de la 1 la 12 porți într-o capsulă, MSI de la 12 la 100 porți într-o capsulă și LSI peste 100 porți într-o capsulă. Termenii MSI și LSI sînt larg folo-

siti în prezent, dar nu există un consens general în limitele definițiilor de mai sus, unii dintre fabricanți au propriile lor definiții. Deși definițiile fixează limite precise, în practică nu există o divizare precisă, iar limitele sînt flexibile depinzînd de contextul în care se folosesc.

### **De ce apare tendința de creștere a complexității circuitelor integrate ?**

Principalul motiv este cel economic, obținerea unui cost mai mic per circuit funcție. Costul de încapsulare a unui circuit integrat reprezintă o parte însemnată din costul total. Dacă pe un cip sînt cuprinse mai multe circuite poartă, rezultînd mai multe porți într-o capsulă, costul de încapsulare nu este necesar să crească dacă se poate folosi încă aceeași capsulă. Astfel costul de încapsulare se va împărți între mai multe porți rezultînd un cost total pe poartă mai scăzut.

Alt considerent este că o fracțiune importantă din suprafața cipului circuitului integrat este consumată de padurile de legătură pentru conexiunile terminale la cip. Cînd pe cip sînt cuprinse mai multe circuite poartă, suprafața padurilor de legătură rămîne în mare aceeași, în mod obligatoriu crește numai suprafața cipului pentru circuitele poartă suplimentare. În acest fel suprafața cipului nu crește tot atît de repede ca și numărul porților, rezultînd o reducere a suprafeței consumată per poartă și deci un cost per poartă mai mic.

În sfîrșit, considerînd echipamentul în care sînt incluse circuitele integrate, cînd sînt incluse în aceeași capsulă mai multe circuite, va rezulta o reducere corespunzătoare a costului cablajului imprimat rezultînd un cost al sistemului mai mic.

## Există o limită a complexității unui circuit integrat ?

Cind complexitatea unui circuit integrat crește, mărirea cipului crește, și la început există o relație economică în funcție de costul per poartă așa cum s-a arătat în întrebarea precedentă. Totuși, pe măsură ce suprafața cipului crește, randamentul unor cipuri bune scade, rezultând o creștere a costului per poartă. Acest fapt este reprezentat în figura 50 prin curba 1. Curba 2 reprezintă scăderea

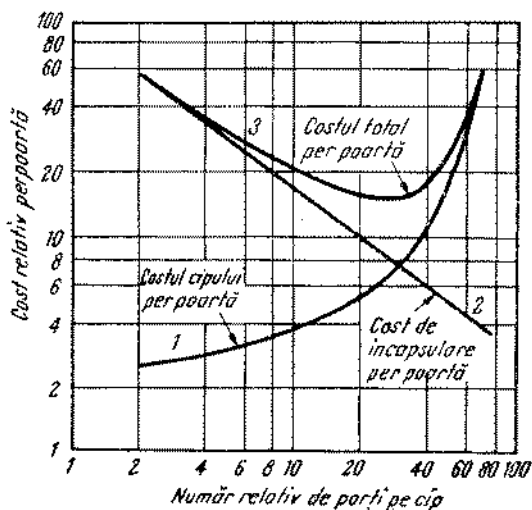


Fig. 50. Relația dintre costul unei porți și complexitatea circuitelor integrate.

costului de incapsulare per poartă pe măsură ce numărul porților crește. Dar pentru suprafețe mari de cip, randamentul scade mult mai rapid iar costul per poartă crește mult mai repede. Eventual, costul total per poartă al unui circuit integrat, care este suma curbelor 1 și 2 trece printr-o valoare minimă și apoi crește pentru o complexitate

mai mare. Astfel există o limită economică a complexității stabilită de scăderea randamentului pentru cipuri de suprafețe mari.

### **Ce este interconexiunea cu două nivele ?**

Cablajul de interconexiune pentru un circuit integrat se formează prin evaporare pe suprafața oxidului de siliciu ce acoperă cipul. La circuitele complexe, traseele unor conexiuni este dificil și trebuie să meargă într-un mod întortocheat pentru a evita încrucișarea cu alte conexiuni. Astfel de trasee pot fi simplificate avînd două straturi izolate de interconexiuni, astfel că conexiunile pot trece una peste alta în același mod ca la un cablaj imprimat pe două fețe. Tendința generală este să se formeze unele interconexiuni pe suprafața cipului așa cum s-a prezentat mai înainte, apoi se depune un al doilea strat de oxid de siliciu peste plachetă și se formează interconexiunile rămase pe suprafața acestui al doilea strat de oxid. Este necesară — corodarea unor deschideri adecvate în al doilea strat astfel ca vîrfurile conexiunii să facă contact cu circuitul.

Acest proces oferă un cost redus prin faptul că mărirea cipului poate fi micșorată, dar pe lângă aceasta apare costul procesului suplimentar de formare a celui de-al doilea strat de oxid și a metalizării de pe suprafața sa.

### **Ce sînt circuitele integrate „la comandă“ ?**

Creșterea complexității adesea este însoțită de cerințe mai particulare din partea fiecărui cumpărător în dorința realizării sistemului său particular. Ca urmare, cumpărătorul poate cere fabricantului de circuite integrate un tip special, un tip care nu este produs ca tip standard. Astfel de tipuri speciale se numesc circuite „la comandă“ iar pro-

blema principală ce apare în legătură cu acestea este timpul necesar fabricantului pentru proiectarea, și punerea în fabricație. La circuitele integrate acest timp este relativ lung. Tendința generală în circuitele de comandă este folosirea unei forme de proiectare cu ajutorul calculatorului pentru a obține rapid macheta prototipului.

Se folosesc două sisteme principale. În primul se folosește proiectarea cu ajutorul calculatorului pentru configurația completă. Se stabilește o bibliotecă de programe ce conține porți deja proiectate, circuite bistabile etc.

Pentru o cerință impusă de cumpărător se scot aceste date din bibliotecă și se poziționează folosind un sistem de afișare grafică iar apoi cu ajutorul unui program pe calculator se culeg datele pentru interconectare.

Informația de la ieșirea calculatorului se folosește pentru a comanda o mașină de trasat conturul fotomășșilor necesare. Proiectarea cu ajutorul calculatorului se folosește pentru circuite MOS unde structura fundamentală MOS se repetă de mai multe ori la fel.

Cel de al doilea sistem se numește metoda „celulară” și va fi prezentat în întrebarea ce urmează.

Acest sistem este într-o oarecare măsură costisitor deoarece nu toate porțile și circuitele bistabile din „celulă” sînt folosite.

### **Ce este o „celulă” MSI ?**

Într-o „celulă” MSI se proiectează un număr de celule principale sau grupuri ce conțin diferite amestecuri de porți sau circuite bistabile pe aceeași plachetă. Apoi plachetele, fiecare conținînd un tip de celulă principală repetată pe întreaga suprafață, sînt supuse difuziei și interconectării pe suprafața pentru a forma circuite bistabile și porți complete dar separate. Apoi pe suprafața plachetei se depune un strat de oxid de siliciu.

Cînd se analizează cererile cumpărătorului, se aleg cele mai potrivite plachete și se folosește un calculator pentru a proiecta un al doilea plan de interconexiuni ce se extind peste numărul necesar de celule interconectînd astfel porțile și circuitele bistabile pentru a obține cerințele impuse de cumpărător.

### **Au avantaje ansamblele multicip folosite în MSI și LSI ?**

Un ansamblu multicip constă dintr-un număr de cipuri standard de complexitate mică asamblate pe un singur substrat cu interconexiuni pe substrat adesea realizat cu metodele peliculelor subțiri. Astfel de ansamble pot avea avantaje cînd se cer un număr mic ; circuitele de comandă de complexitate medie pot fi rapid realizate utilizînd cipuri standard cu cost scăzut. Metoda poate fi folositoare pentru prototipuri cînd se proiectează și se pune în fabricație un singur cip nou.

Un alt avantaj important este că se pot face combinații de diferite cipuri : spre exemplu, o combinație între o memorie MOS centrală cu cîteva cipuri bipolare pentru circuitele de decodare, citire—scriere—periferice.

Structurile MOS de bază pot fi proiectate cu dimensiuni foarte mici încît cipurile extrem de mici pot cuprinde cîteva sute de registre de deplasare sau „biți“ de memorie. Spre exemplu, un registru de deplasare de 64 biți ce conține echivalentul a 130 porți folosește un cip de numai  $2 \times 1,95 \text{ mm}$  ; un tip de 1 002 biți cu mai mult de 2 000 de porți echivalente, folosește un cip de numai  $3,5 \text{ mm}^2$  ; așa că toate circuitele integrate MOS sînt cuprinse în domeniul LSI de complexitate și de cîte ori se vorbește de circuit MOS se implică gradul de complexitate LSI.

## Ce este interconectarea-discreționară LSI ?

Pe măsură ce numărul funcțiilor circuit incluse pe un singur cip crește, implicând folosirea unor cipurii tot mai mari, se ajunge la o suprafață dincolo de care unitățile finale devin neeconomice. Ca urmare, tendințele de dezvoltare s-au orientat către căile de realizare de complexități mai mari cu costuri acceptabile. O astfel de încercare se numește „interconectare-discreționară“. Această metodă permite existența pe plachetă a unor circuite defecte fără să înlăturăm prin aceasta întreaga plachetă. În acest sistem se folosesc interconexiuni selective care ocolesc circuitele defecte și le conectează numai pe cele bune.

Acest sistem folosește toate plachetele de siliciu, în mod obișnuit cu un diametru de 2 la 2,5 mm.

Plachetele conțin un amestec de diferite porți logice, circuite bistabile și circuite complexe cum ar fi sumatoare, registre sau numărătoare. Diferitele circuite sînt repetate într-un mod interșesut pe toată suprafața plachetii care se prelucreează în mod obișnuit pînă cînd se interconectează componentele integrate pentru a forma circuite complete dar separate.

Aceste circuite separate se testează apoi, iar localizarea fiecărui circuit bun se introduce într-un calculator, care generează planul de interconectare a circuitelor bune pentru a obține sistemul logic cerut, circuitele defecte fiind evitate. Planul interconectării-discreționare se realizează la un al doilea nivel de interconectare, sau dacă sistemul este foarte complex cu două nivele suplimentare.

Prin acest sistem s-au creat sisteme logice cu complexități pînă la 300 de porți echivalente și registre de deplasare serie bipolare cu pînă la 100 biți.



## Utilizarea circuitelor integrate

### Care sînt tensiunile de alimentare tipice și curenți pentru circuitele integrate ?

Circuitele integrate digitale în mod obișnuit lucrează cu tensiuni de alimentare de numai cîțiva volți. Circuitele DTL și TTL au nevoie de tensiune de alimentare de 5 V și cu curenți per poartă de numai cîțiva miliamperi. În cazul circuitelor ECL sînt necesare două praguri, +1,3 V și -3,2 V fiind tipice, cu curenți per poartă de cîțiva miliamperi.

Amplificatoarele operaționale de asemenea au nevoie de tensiuni negative și pozitive în raport cu masa și pot lucra în gama de tensiuni de  $\pm 18$  V. Curentul de alimentare pe întregul amplificator este de numai unu sau doi miliamperi. Circuitele integrate folosite în radio și televiziune sînt proiectate pentru tensiuni în gama 6 la 24 V.

### Cum funcționează circuitele bistabile ca numărătoare ?

Circuitele bistabile pot fi folosite la numărare prin conectarea lor în serie astfel încît ieșirea unuia comută următorul bistabil și așa mai departe. Considerăm figura 51 care reprezintă patru circuite bistabile master-

slave. La sfârșitul primului impuls de intrare, ieșirea primului circuit bistabil ( $CB_1$ ) comută rezultînd 1 logic la ieșire, la sfârșitul celui de-al doilea impuls el revine în starea 0 logic, la sfârșitul celui de-al treilea impuls revine la 1 logic, la al patrulea din nou la 0 logic și așa mai departe. Ieșirea lui  $CB_1$  devine semnal de comutație pentru  $CB_2$  și astfel cînd ieșirea A a lui  $CB_1$  devine zero ieșirea B a lui  $CB_2$  comută în starea 1 logic și va rămîne în

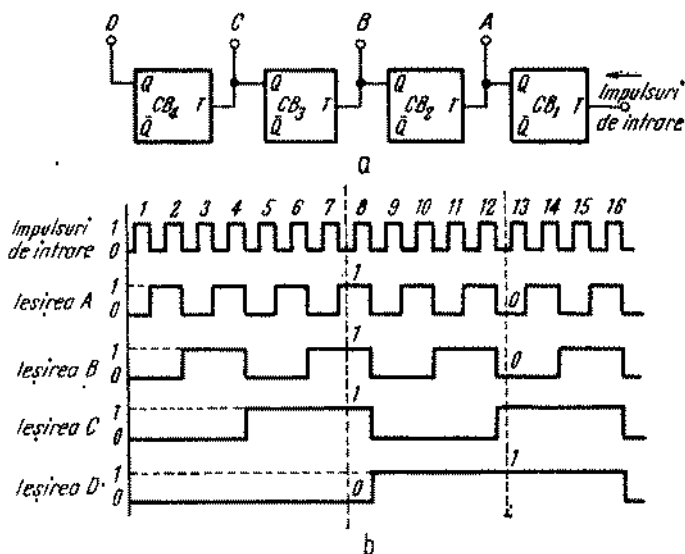


Fig. 51. Numărător binar.

această stare pînă cînd A se modifică și trece în zero din nou cu două impulsuri mai tîrziu, cînd comută în starea 0 logic. Asemănător, ieșirea C a lui  $CB_3$  comută într-o stare opusă de fiecare dată cînd ieșirea B a lui  $CB_2$  comută la 0 și așa mai departe. Formele de undă la fiecare dintre ieșiri sînt reprezentate în figura 51, și se va vedea că numărul impulsurilor aplicate la intrare poate fi determinat

din stările binare ale ieșirilor DCBA. Spre exemplu, imediat după al 7-lea impuls, avem 0111 care reprezintă echivalentul binar al numărului zecimal 7; după al 12-lea impuls avem 1100 care este forma binară a lui 12 și așa mai departe. Cu ajutorul a patru circuite bistabile putem număra pînă la 15 (1111) și apoi indicația revine la zero.

### Cum poate fi făcut numărătorul binar să numere în baza 10?

Pentru a număra în baza 10, dorim să numărăm pînă la 9 și la a zecea numărătoare să revenim la zero (și să ținem 1). Numărătorul binar poate fi aranjat să facă acest lucru, introducînd o poartă logică AND astfel încît la a zecea numărătoare, se aplică un semnal pe linia reset conectată la toate circuitele bistabile astfel încît ele sînt aduse din nou la zero. Considerăm numărătorul binar din figura 51 imediat după a zecea numărătoare, ieșirile DCBA vor fi 1010, adică ieșirile *D* și *B* vor fi în starea 1 logic. Dacă se conectează ieșirile *D* și *B* la intrările unei porți AND așa cum se arată în figura 52, a zecea numărare va face ca poarta să capete la ieșire starea 1 logic care alimentează linia reset și toate circuitele bistabile vor avea ieșirile zero. Semnalul 1 logic de la poarta AND se folosește de asemenea la intrarea unui al doilea lanț de numărătoare pentru a înregistra 10.

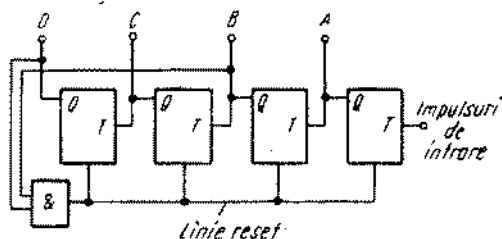


Fig. 52. Numărător divizor prin 10.

## Cum se folosesc circuitele bistabile în registrele de deplasare ?

Pentru a forma un registru de deplasare serie, circuitele bistabile se conectează în serie astfel încât cele două ieșiri ale unui circuit bistabil sînt conectate la intrările următorului circuit și așa mai departe. Fiecare circuit bistabil este de tipul master-slave, cu tact cu toate intrările de tact conectate în paralel. În figura 53 se reprezintă configurația unui registru de deplasare de 8 biți. Cînd apare primul impuls de tact, se aplică primul „bit” de informație în primul circuit bistabil. Dacă la intrare apare al doilea bit de informație, impulsul de tact următor va determina trecerea primului bit în al doilea circuit bistabil iar noua informație intră în primul circuit bistabil. De fiecare dată cînd apare un impuls de tact, informația înmagazinată în fiecare circuit bistabil se deplasează în următorul spre dreapta iar în primul circuit bistabil intră

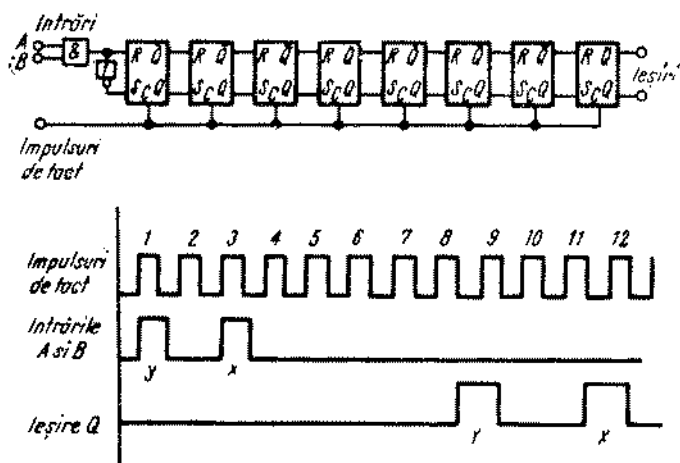


Fig. 53. Registru de deplasare cu 8 biți.

un nou bit de informație. Eventual, primul bit de informație va ajunge la ultimul circuit bistabil, și registrul devine plin păstrînd 8 biți de informație, cite un bit în fiecare circuit bistabil. Registrul poate păstra informația atîta timp cît este necesar, și în orice moment informația poate fi citită prin aplicarea unui impuls de tact.

### **Cum se folosesc circuitele bistabile în memoriile cu semiconductoare ?**

Memoriile semiconductoare se bazează pe folosirea circuitelor bistabile pentru a păstra un bit de informație (0 logic sau 1 logic). Se aranjează un număr de circuite bistabile în forma unei matrici  $x-y$  cu rînduri și coloane cu liniile de adresare  $x$  conectate la fiecare rînd de circuite bistabile și cu liniile de adresare  $y$  conectate la fiecare coloană. Conexiunile de „citire-scriere“ sînt conectate în paralel la toate circuitele bistabile. În figura 54 se arată configurația generală.

Într-o memorie bipolară, se folosește un tip simplu de circuit bistabil, format din două tranzistoare cu trei emitoare așa cum se arată în figura 55. Cîte un emitor din fiecare tranzistor este folosit pentru adresa  $x$  și cîte unul pentru adresa  $y$ . Celălalt emitor al unui tranzistor se conectează la linia de ieșire 0 sau emitorul celuilalt tranzistor la linia de citire 1 : aceste linii de scriere-citire se folosesc pentru alimentarea cu biți de informație și a sesiza starea circuitului bistabil în timpul citirii.

La „înregistrare“, liniile  $x$  și  $y$  corespunzătoare sînt aduse la nivelul logic 1. Circuitul bistabil aflat la intersecție se află sub controlul liniilor de citire-scriere și este adus la starea cerută prin aplicarea unui semnal logic 1,

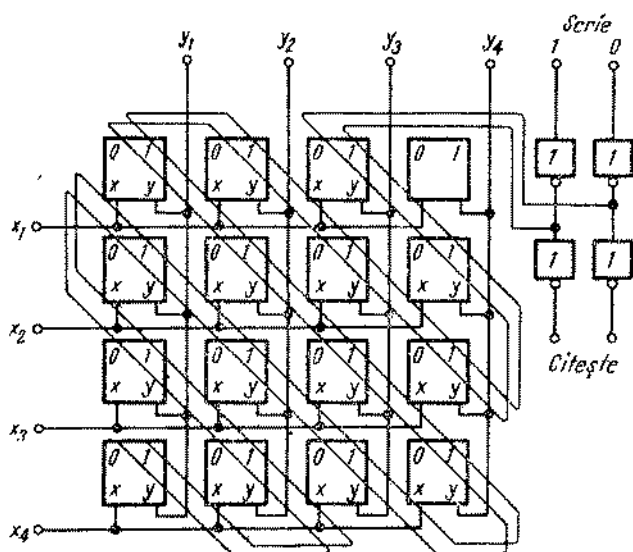


Fig. 54. Memorie semiconductoare.

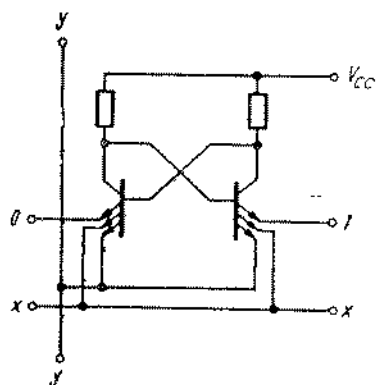


Fig. 55. Bit de memorie bipolară.

fie pentru a „scrie 1“, fie pentru a „scrie 0“. După aceasta liniile  $x$  și  $y$  sînt reduse la 0 logic iar circuitul bistabil rămîne în această stare pentru a înmagazina informația.

La citire, circuitul bistabil este din nou cercetat prin aducerea liniilor  $x$  și  $y$  la nivelul 1 logic. Atunci curenul se trece prin tranzistorul în stare de conducție este deviat de la liniile de adresare către liniile de citire-scriere respective și curge către ieșirea de citire corespunzătoare. Starea circuitului bistabil este determinată de ieșirea care devine 0 sau 1.

### Cum se folosește un amplificator operațional pentru a obține o valoare precisă a amplificării ?

Amplificatorul operațional se folosește cu reacție negativă care determină valoarea amplificării. Amplificarea în buclă deschisă a unui amplificator operațional tipic cum ar fi SN 7271 P este de aproximativ 100 000 iar amplificarea în buclă închisă pînă la cîteva mii. În figura 56 se reprezintă o configurație cu un cîștig de 100. Valoarea

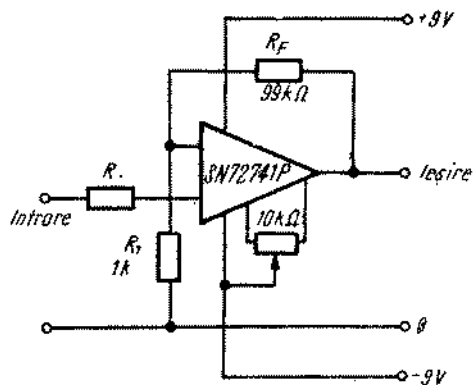


Fig. 56. Amplificator cu cîștig 100.

cîştigului este dată de  $(R_F + R_1)R_1$  iar pentru valorile rezistoarelor din figură se obține

$$\frac{99\,000 + 1\,000}{1\,000} = 100$$

Valoarea lui  $R_F$  poate fi schimbată pentru a obține alte valori pentru amplificarea.

Montajul prezentat va furniza o amplificare în curent continuu, iar rezistorul  $R$  ridică rezistența sursei la 1 000  $\Omega$ . Potențiometrul permite echilibrarea tensiunii de dezechilibru și rezultă la ieșire un semnal zero pentru o tensiune de intrare zero. Circuitul va păstra cîştigul de 100 pînă la o frecvență de 10 KHz. Dacă se folosește un cîştig mai mare prin reducerea lui  $R_1$ , compensarea internă cu frecvența în circuitul integrat va avea ca rezultat o frecvență de tăiere mai mică iar dacă se folosește un cîştig mai mic, va rezulta o frecvență de tăiere mai mare.

### **Cum se folosesc circuitele integrate liniare în amplificatoarele audio ?**

Inițial aplicarea circuitelor integrate în amplificatoarele audio se reducea la folosirea de amplificatoare operaționale standard în etajele preamplificatoare de nivel mic. Acum s-au proiectat circuite integrate mai speciale pentru aceste scopuri, iar datorită sistemelor stereo, aceste noi tipuri sînt în general duale avînd două amplificatoare identice pentru cele două canale pe un singur cip și într-o singură capsulă. Schema unui astfel de preamplificator cu circuite integrate este reprezentată în figura 57. Caracteristica de frecvență pentru egalizare și controlul tonului se realizează printr-o reacție externă selectivă cu frecvența iar nivelul de ieșire este suficient să comande un amplificator de putere.



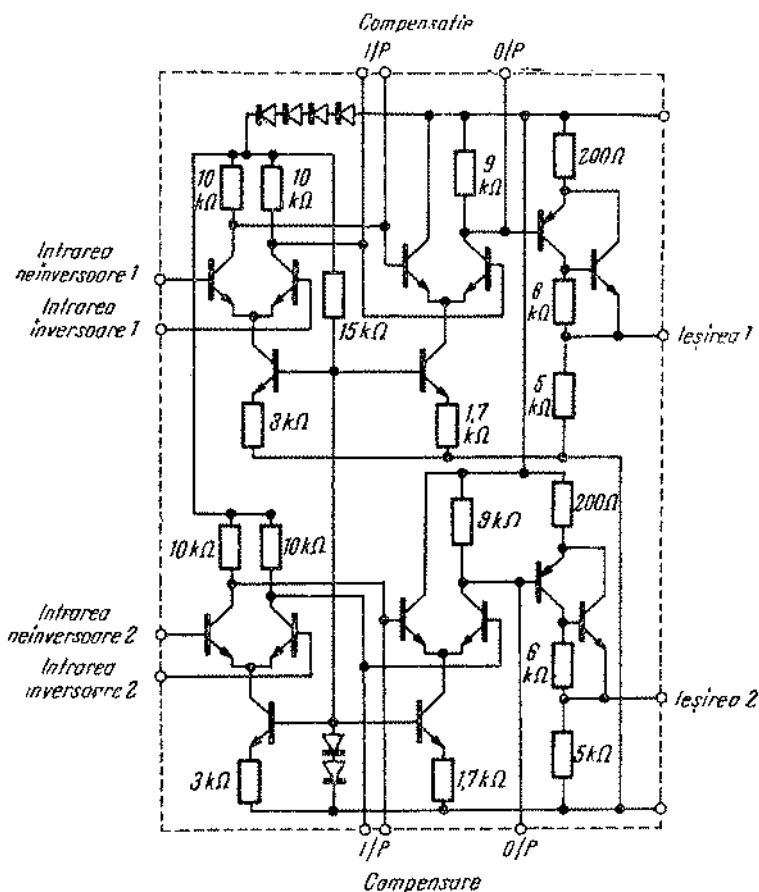


Fig. 57. Amplificator stereo integrat.

Pînă acum se produceau amplificatoare integrate cu puteri pînă la 5 W, acum dezvoltîndu-se și tipuri cu puteri mai mari. În figura 58 se arată un amplificator de 5 W. Două astfel de amplificatoare împreună cu preamplificatorul din figura 57, plus rețeaua de egalizare, sistemul de control al tonului, și volumului vor forma un sistem stereo complet.

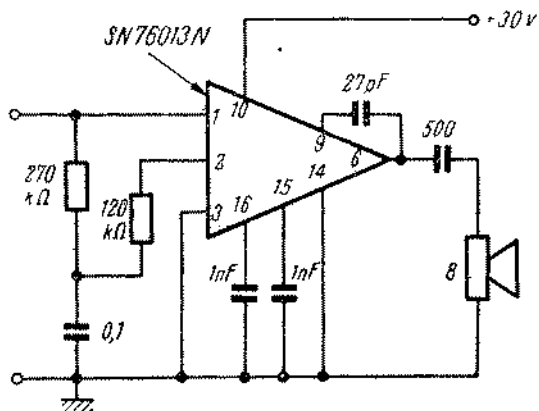


Fig. 58. Amplificator audio integrat de 5 W.

### Ce tipuri de circuite integrate se utilizează în receptoarele de radio și televiziune

Treptat, circuitele integrate au fost introduse în toate secțiunile receptoarelor de radio și televiziune. Pentru receptoarele de radio, s-au realizat amplificatoare pentru frecvența intermediară cu filtru de cristal care se folosesc împreună cu amplificatoarele menționate.

Pentru receptoarele stereo se găsesc de asemenea tipuri de decodare multiplex.

Pentru receptoarele de televiziune, pentru un timp s-au folosit circuite integrate pentru etajul de frecvență intermediară sunet, acum realizându-se pentru frecvența intermediară video; amplificatoare video, detecție și separarea impulsurilor de sincronizare, circuite pentru color, și circuite pentru controlul varactorului de acord. Până acum acestea nu au fost introduse în receptoarele de televiziune, dar se va petrece într-un viitor foarte apropiat.

## Se pot folosi circuite integrate ca oscilatoare ?

Da, într-o varietate de metode ce depind de forma de undă necesară. Cel mai simplu circuit îl reprezintă oscilatorul de undă pătrată din figura 59. La comutare, tensiunea de la intrarea inversoare a circuitului integrat este zero datorită capacitorului, și astfel semnalul de ieșire este egal cu tensiunea pozitivă de polarizare. Capacitorul se încarcă acum pozitiv, iar când tensiunea pe el atinge valoarea de la intrarea neînversoare, ieșirea comută rapid la potențialul de polarizare negativ. Acum capacitorul se descarcă și se încarcă negativ pînă cînd atinge noua tensiune negativă de la intrarea neînversoare, cînd ieșirea revine la nivelul tensiunii de polarizare pozitivă și așa mai departe.

Pentru unde sinusoidale se folosește puntea Wien într-o buclă de recepție pozitivă așa cum se arată în fig. 60

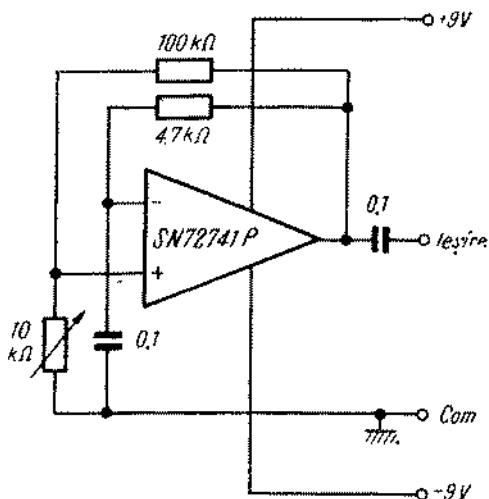


Fig. 59. Oscilator de undă pătrată cu frecvența 1 KHz.

Sînt necesare anumite limitări în amplitudine în circuitul de reacție — o metodă este utilizarea diodei Zener, așa cum se remarcă din figură. Reacția negativă se realizează astfel încît cîștigul în buclă la frecvența de oscilație este unitar.

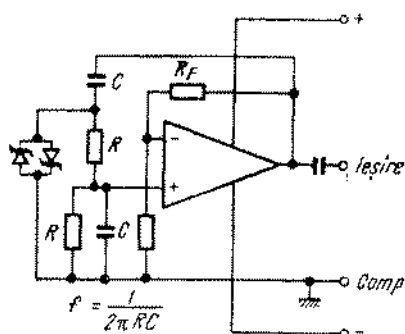


Fig. 60. Oscilator sinusoidal cu punte Wien.

### Cum se pot realiza filtre active cu circuite integrate ?

Dacă se folosește o rețea selectivă cu frecvența într-un circuit de reacție negativă aplicată unui amplificator operațional, se poate obține un filtru activ. În figura 61 se arată un astfel de exemplu. Rețeaua selectivă cu frecvența este un filtru de absorbție astfel încît circuitul formează un amplificator cu bandă îngustă așa cum se observă din figura 62. Folosind alte rețele selective cu frecvența se obțin caracteristici, trece sus, trece jos sau trece bandă largă.

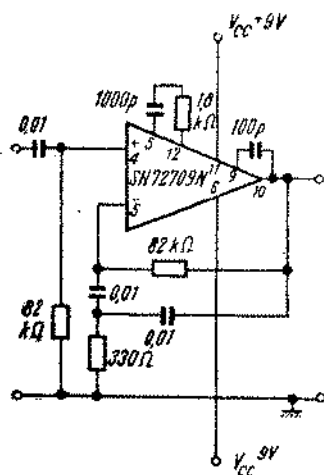


Fig. 61. Amplificator selectiv pentru 2,7 KHz.

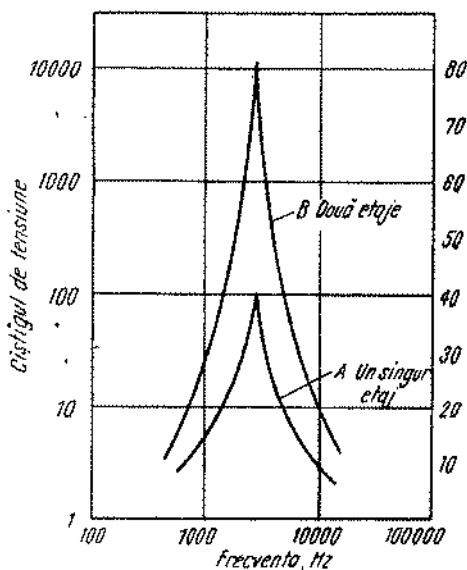


Fig. 62. Caracteristica de frecvență a amplificatorului din figura 61.

**Tuturor întrebărilor ce se pot pune în legătură cu circuitele integrate, cartea de față încearcă să dea un răspuns competent.**

Astfel, în primele două capitole se prezintă noțiunile de bază și tehnologia circuitelor integrate, iar în capitolele 3 și 4 circuitele integrate logice și liniare, pornind de la celula elementară a etajului diferențial până la structura tipică a unui amplificator operațional. În capitolul 5 se descriu circuitele integrate MOS, iar în capitolul 6 se prezintă tendințele, capacitățile și limitările acestor tehnologii. În capitolul 7 se dau aplicații ale circuitelor integrate liniare. Cartea se adresează tuturor acelor care vor și trebuie să cunoască aceste circuite: ingineri, studenți, elevi ai școlilor de specialitate, radioamatori.

## Lucrări în pregătire, în domeniul electronicii

V. Cătuneanu, E. Diacon – **Fiabilitatea elementelor și sistemelor electronice, de calcul și automate**

M. Silișteanu, I. Presură – **Scheme de televizoare, magnetofoane și picupuri, vol. I și II**

T. Wilmore – **Electronică fizică. Întrebări și răspunsuri**

L. Ibbotson – **Telecomunicații. Întrebări și răspunsuri**

R. W. J. Barker – **Electronică aplicată. Întrebări și răspunsuri**

Cl. Brown – **Tranzistoare. Întrebări și răspunsuri**

H. W. Hellyer – **Radio și televiziune. Întrebări și răspunsuri**

Cl. Brown – **Electronica. Întrebări și răspunsuri**

R. G. Hibberd – **Circuite integrate. Întrebări și răspunsuri**

K. G. Jackson – **Electricitate. Întrebări și răspunsuri**

