

Lucrarea 1

OSCILOSCOPUL NUMERIC

1. GENERALITĂȚI

Osciloscopul este un aparat de masura ce permite vizualizarea curbei de variație a unei tensiuni în funcție de timp sau a unei tensiuni funcție de o alta tensiune. Cu osciloscopul se poate studia toate marimile fizice care pot fi convertite în tensiuni electrice.

Dezvoltarea rapidă și continuă a electronicii și tehnicilor de calcul a dus și la crearea unor instrumente de măsură tot mai performante. Pornind de la **osciloscopul analogic** s-au dezvoltat osciloscopce ce încorporează circuite și funcții numerice.

Osciloscopoape numerice conțin pe lângă circuitele uzuale ale unui osciloscop analogic de uz general, circuite de legătură între partea analogică și cea numerică (convertoare analog-numeric și numeric-analogice) precum și alte circuite strict numerice (memorii, procesoare), figura 1. În acest fel, din forma de undă sunt prelevate eșantioane, care apoi sunt convertite în numere sau coduri și memorate. Pentru afișarea pe ecranul osciloscopului, eșantioanele sunt convertite din nou în tensiuni, pentru efectuarea baleiajului vertical. Un astfel de osciloscop are două regimuri de lucru: analogic, când nu sunt folosite circuitele numerice, și numeric sau cu memorare.

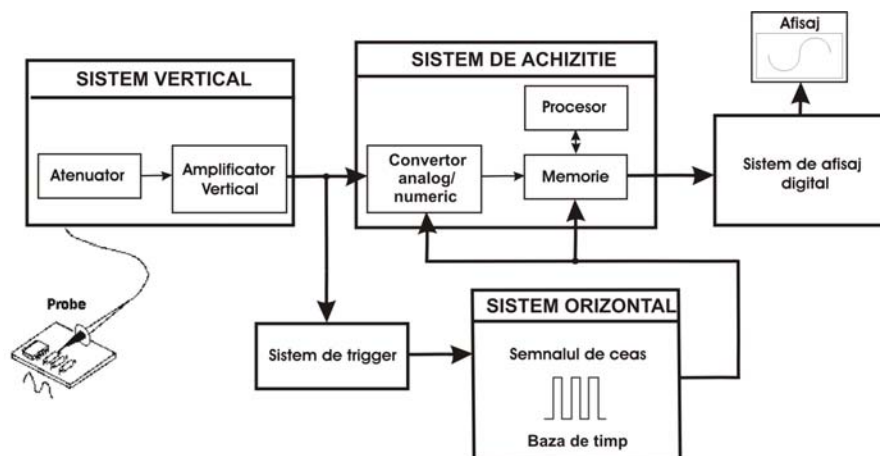


Figura 1. Schema bloc de funcționare a osciloscopului numeric

La cele mai multe osciloscopoape numerice tensiunea de intrare este convertită în format numeric, eșantioanele sunt memorate, prelucrate și afișate pe un ecran, sau transmise unui calculator. Datele pot fi prelucrate și după îndepărtarea semnalului de la intrarea osciloscopului, transmise unui calculator, sau tipărite direct la o imprimantă. Performanțele acestor osciloscopoape depind în primul rând de caracteristicile convertorului analog-numeric.

2. OSCILOSCOPUL OX 6152-C

Este un osciloscop numeric cu 2 canale cu eșantionare și memorare, figura 2. Banda de frecvență a osciloscopului este de 150 MHz, iar convertorul analog-numeric este pe 10 biți. Viteza de eșantionare este de 1 Gs/s în modul singular și 50 Gs/s în modul repetitiv.

Instrumentul poate funcționa într-unul din modurile „Multimetru”, „Osciloscop” sau „Analizor de spectru”. În această lucrare se utilizează în modul „Osciloscop”, punându-se în evidență funcțiile specifice acestui mod de lucru.



Figura 2. Osciloscopul Metrix OX 6142-C

Instrumentul se pornește printr-o apăsare scurtă a butonului ON/STANDBY/OFF. O a doua apăsare a acestui buton va trece aparatul în stare de așteptare, ledul indicator se va aprinde și stinge succesiv. Dacă se apasă din nou butonul, instrumentul va fi reactivat. Oprirea aparatului se face prin apăsarea butonului de start pentru o perioadă mai mare de 3 secunde. Apoi într-un timp mai mic de 15 secunde configurările și fișierele vor fi salvate. La pornire se execută automat o funcție de autotest.

Semnalele și meniurile sunt afișate pe un ecran sensibil la atingere, figura 3. Meniurile din partea de sus a ecranului și submeniurile pot fi deschise și validate cu ajutorul „creionului”. Cu ajutorul „creionului” pot fi mutate simbolurile afișate.

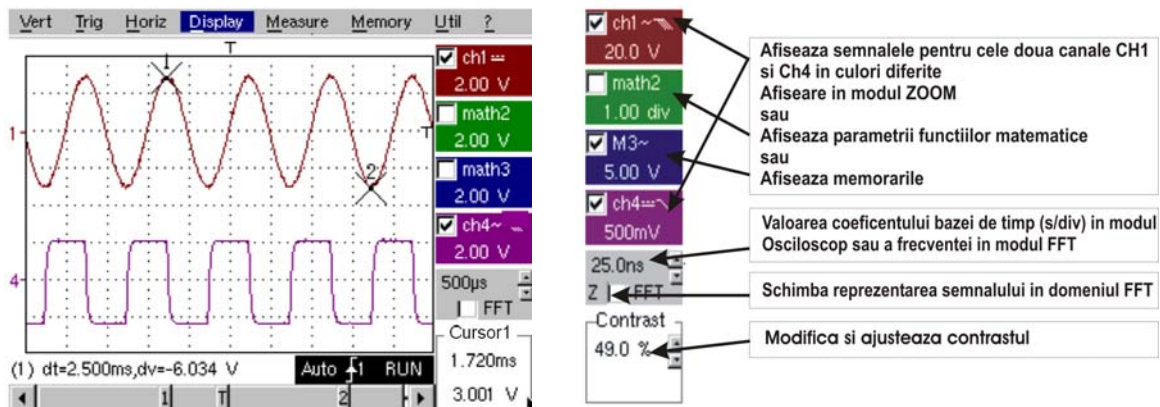


Figura 3. Ecranul osciloscopului Metrix OX 6142-C

Pentru a muta un simbol într-o anumită zonă a afișajului se apasă cu „creionul” și se ține apăsat pe simbolul dorit până se aduce în poziția dorită. O altă abilitate a „creionului” este de a măări o zonă din suprafața de afișare (ZOOM), prin trasarea unui chenar. Pentru optimizarea selecției diferitelor elemente prezente în zona de afișare cu ajutorul „creionului”, trebuie realizată calibrarea interfeței sensibile la atingere. Pentru aceasta se selectează opțiunea „Touch Screen Calibration” din zona de afișare sau meniul „Util”.

Elementele afișajului sunt prezentate în figura 4.

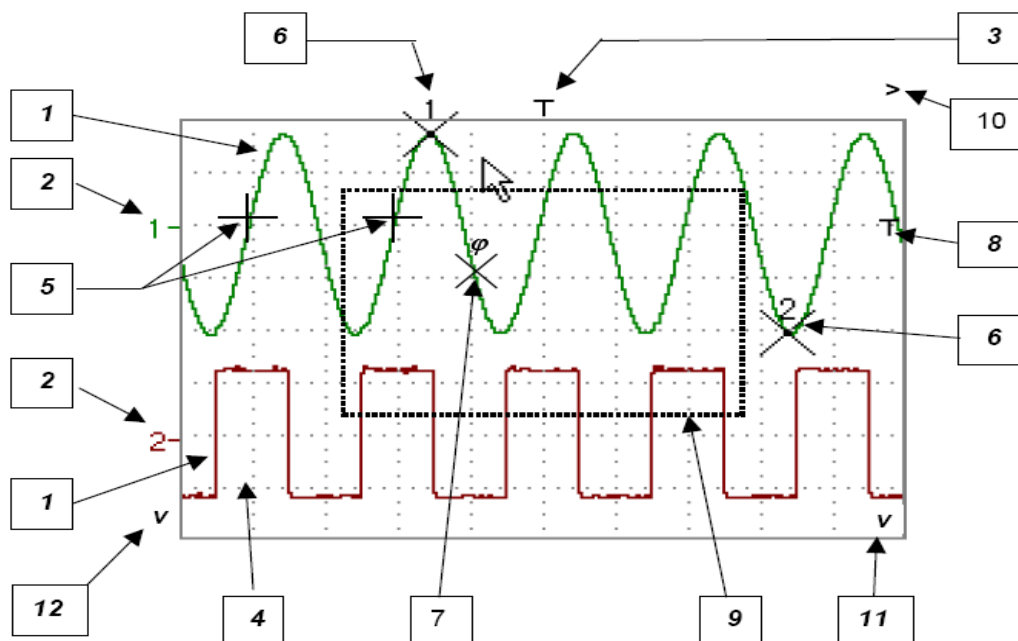


Figura 4. Elementele afișajului

1. Formele de undă
2. Poziția verticală a nivelului de referință pentru semnalele vizualizate și numărul de identificare al acestora
3. Indicarea poziției momentului de declanșare
4. Diviziune a afișajului
5. Poziția cursoroarelor la prima măsurare automată
6. Poziția cursoroarelor pentru măsurare manuală
7. Poziția cursorului pentru măsurarea fazei
8. Poziția nivelului de declanșare
9. Selectarea unei zone pentru mărit
10. Indicator al momentului de declanșare a bazei de timp, poziționat în afara ferestrei de afișare
11. Indicator al nivelului de declanșare a bazei de timp, poziționat în afara ferestrei de afișare
12. Indicator al canalului, poziționat în afara ferestrei de afișare

Acest osciloscop permite vizualizarea simultană pe ecran a patru semnale. Două dintre semnale sunt cele de la cele 2 intrări CH1 și CH4, iar alte 2 pot fi rezultatul unor funcții matematice Math2 și Math3. Aceste funcții se definesc funcție de unul sau amândouă semnalele de intrare.

Pentru semnalul afișat se pot măsura parametrii cu ajutorul cursoroarelor, sau se pot afișa pe ecran 2 parametrii mășurați în mod automat (meniul „Measure”). Pentru semnalul achiziționat se poate calcula transformata Fourier rapidă. Reprezentarea în domeniul frecvență se afișează pe scară liniară sau logaritmică.

Osciloscopul poate fi conectat direct la un calculator. De asemenea, el poate fi legat într-o rețea de calculatoare, sau rețea care să conțină calculatoare și alte sisteme. Comunicarea se face prin intermediul interfeței RS-232, sau a interfeței ETHERNET.

În partea practică se vor pune în evidență funcțiile aferente meniurilor osciloscopului. În colțul din dreapta sus se găsește meniul „Help” în care sunt descrise fiecare funcție în parte.








Tastele de pe panoul frontal al aparatului sunt așezate în grupuri astfel încât să faciliteze reglaje specifice unei funcții, figura 5. Aceleași reglaje se pot face și din meniurile din partea de sus a ecranului.









Figura 5. Panoul frontal al osciloscopului Metrix OX 6142-C

În **modul Osciloscop** tastele de pe panoul frontal al echipamentului au următoarele funcții:




5 taste utility

-  - prin apăsarea acestei taste echipamentul trece în modul de funcționare Osciloscop
-   - se reglează contrastul LCD-ului;
-  - afișarea se va face pe întreg ecranul LCD-ului și invers;
-  - se va printa la imprimanta informațiile dorite;
-  - afișarea pe ecran va „îngheța”;
-  - se ajustează automat canalele pe care este aplicat semnalul;






4 taste trigger

-  - se setează nivelul de declanșare la valoarea medie a semnalului (50%) fără a modifica cuplarea declanșării;
-  - se setează frontul de declanșare (crescător  sau descrescător 
-  - se selectează unul din modurile de achiziție „Single”, „Triggered” sau „Automatic”;
-  - permite pornirea și oprirea achiziției în modurile „Triggered” și „Automatic” și resetează circuitul de declanșare în modul „Single”;















3 taste measure

-  - activeaza sau dezactiveaza afisarea ferestrei pentru 19 masuratori automate pe trasa de referinta;
-  - prin apasari succesive se selecteaza una din trasele afisate ca trasa de referinta pentru masuratorile manuale sau automate;
-  - activeaza sau dezactiveaza cursorul pentru masuratori automate;

3 taste orizontal

-   - reglarea coeficientului bazei de timp (T/DIV);
-   - dupa o marire (Zoom), setarea „Z-pos” modifica pozitia ecranului in memoria achizitiei;
-  - activeaza sau dezactiveaza functia „Zoom”

8 taste vertical

-  ,  ,  ,  sunt utilizate pentru selectarea canalului de lucru si pentru utilizarea aplicatiilor matematice;
-  - activeaza sau dezactiveaza impartirea pe orizontala a zonei de afisare;
-  - selectarea cuplarii intrarii prin tastari succesive (AC, DC sau GRD) pentru ultimul canal selectat;
-   - modificarea sensibilitatii verticale (crestere  sau scadere ) ale ultimului canal selectat;
-   - modifica pozitia verticala (urcare  sau coborare ) a ultimului canal selectat,

3. PROCEDEUL EXPERIMENTAL

- 3.1. Se aplică la intrarea CH1 un semnal sinusoidal.
- 3.2. Din butoanele de pe panoul frontal se execută reglajele necesare pentru obținerea unei imaginii clare, stabile (time/div, V/div, declanșare). Parametrii se pot seta și de pe ecran, din meniurile corespunzătoare.
- 3.3. Măsurăți parametrii semnalului sinusoidal (tensiune vârf la vârf, amplitudine, perioadă, frecvență).
- 3.4. Măsurăți și afișați pe ecran aceiași parametri utilizând opțiunea de măsurători automate.
- 3.5. Aduceți la intrarea CH1 un semnal de impulsuri. Măsurăți pe ecran amplitudinea, perioada și durata impulsului folosind cursoarele, apoi prin funcția de măsurători automate. Ce alți parametri se mai pot determina cu această funcție?
- 3.6. Selectați pe rând funcțiile din meniul „Display”. Ce efect au acestea? Selectați o parte din semnal și vizualizați-o în detaliu (zoom).

Lucrarea 2

DIODA SEMICONDUCTOARE. REDRESOARE

1. GENERALITĂȚI

Dioda este un dispozitiv semiconductor cu doua terminale (anod si catod) care **conduce curentul electric într-un singur sens: de la anod la catod**, figura 1. Primele diode au fost realizate din tuburi electronice, dar astazi se utilizeaza diode semiconductoare realizate din germaniu sau siliciu.

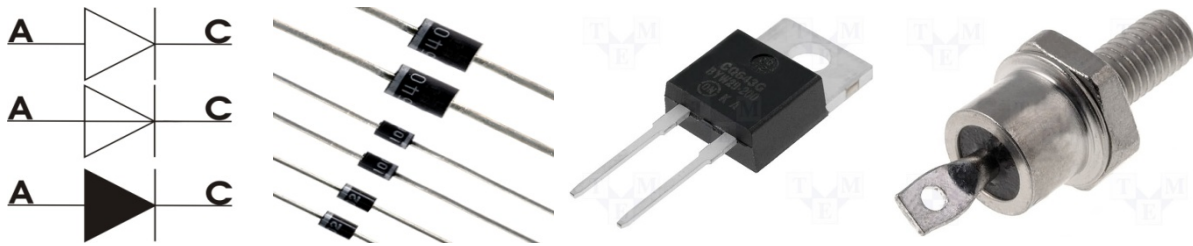


Figura 1. Dioda semiconductoare

Materialele semiconductoare stau la baza tuturor componentelor și circuitelor electronice discrete sau integrate. Pentru o înțelegere mai ușoară a principiilor de funcționare a elementelor fundamentale din circuitele electronice, dioda și tranzistorul, enumerăm în continuare câteva noțiuni elementare care fac parte din abecedarul semiconductorilor:

- ✓ materialele semiconductoare au conductibilitatea electrică mai mare decât cea a izolatoarelor dar mai mică decât cea a metalelor;
- ✓ conductibilitatea electrică a semiconductorilor este foarte sensibilă la variațiile de temperatură: ea crește odată cu creșterea temperaturii;
- ✓ spre deosebire de metale, a căror conductibilitate este asigurată exclusiv de electroni, conductibilitatea electrică a semiconductorilor este asigurată atât de electroni („-”), cât și de goluri („+”);
- ✓ dacă densitățile de electroni și de goluri care participă la conducție sunt egale, se spune despre semiconductor că este **intrinsec**;
- ✓ dacă densitățile de electroni și de goluri care participă la conducție nu sunt egale, se spune despre semiconductor că este **extrinsec**. În funcție de care tip de purtători de sarcină este majoritar, se disting două tipuri de semiconductori extrinseci:
 - semiconductori de **tip n**, în care densitatea electronilor este mai mare decât densitatea golurilor. În acest tip de semiconductori electronii sunt purtători majoritari de sarcină, iar golurile sunt purtătorii minoritari.
 - semiconductori de **tip p**, în care densitatea golurilor este mai mare decât densitatea electronilor. În acest caz, golurile sunt purtători majoritari de sarcină, iar electronii sunt purtătorii minoritari.

Mecanismul de conducție funcționează astfel:

În absența forțelor electrice aplicate la un semiconductor mișcarea totală a electronilor datorită agitației termice este zero, deoarece nu sunt direcții preferate de mișcare. În acest caz electronii se mișcă în jurul unei poziții stabile și nu creează un curent electric, care necesită un flux general al sarcinii electrice.

În cazul în care o diferență de potențial este aplicată pe material, electronii slab legați pot părăsi atomul și muta spre terminalul pozitiv. În cazul în care un electron e separat de atom, și este liber, produce un deficit de sarcină negativă, care se numește "gol". Un gol constituie un purtător de sarcină pozitivă, comparabil cu un electron liber. Ambii purtători contribuie la conducția electrică în semiconductori.

Mecanismul de conducere poate fi descris, considerând că un gol poate fi ușor completat de un electron de valență de la un atom din apropiere. Când se produce aceasta, electronul care umple golul lasă un alt deficit în spatele, adică un alt gol. Deplasarea golului, în direcție opusă cu cea a electronilor, poate fi reprezentată ca mișcarea sarcini pozitive. **Curentul electric prin semiconductor este astfel egal cu suma golurilor pozitive și a electronilor negativi care se mișcă printr-o secțiune pe secundă.**

Deoarece conductivitatea semiconductorilor puri este foarte mică la temperatura camerei, pentru creșterea acesteia este necesară introducerea unor impurități în cristal. Impuritățile sunt în general de două feluri: de tip N (negativ) și de tip P (pozitiv).

Comportarea dispozitivelor electronice la curent continuu și la frecvențe mici este descrisă de caracteristica lor statică. Pentru o diodă ideală caracteristica statică ar trebui să arate ca în figura 2 (stanga).

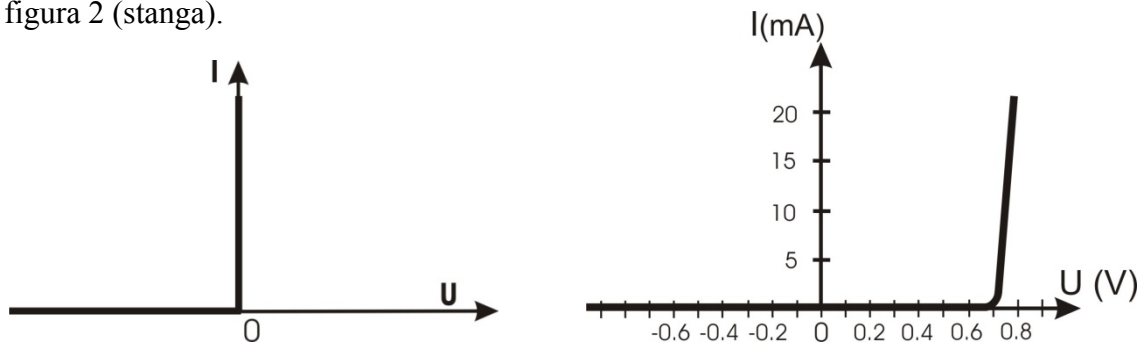


Figura 2. Caracteristica statică a diodei ideale și a diodei semiconductoare

La polarizare inversă (potențialul anodului este mai coborât decât cel al catodului) curentul este nul pentru că la atingerea tensiunii zero dioda să se deschidă și să se comporte ca un scurtcircuit. **Dioda nu se comportă ca un rezistor, fiind un element nesimetric și neliniar.**

La polarizarea directă (potențialul anodului este mai ridicat decât cel al catodului) prin diodă semiconductoare trece un curent semnificativ doar dacă se depășește o anumită valoare a tensiunii. Aceasta se numește tensiune de deschidere. Astfel pentru diodele cu germaniu tensiunea de deschidere este de $0.2 \div 0.3$ V, iar pentru cele cu siliciu tensiunea de deschidere este de $0.6 \div 0.7$ V. După deschidere curentul crește foarte rapid o dată cu tensiunea; dacă mărim cu mai mult de câteva zecimi de volt tensiunea pe diodă, curentul ajunge la valori mari dioda distrugându-se.

Semiconductorii tind să se comporte ca izolatorii la temperatură mică și ca niște conductori la temperatură înaltă. La temperatura camerei conductivitatea lor este situată între cea a izolatorilor și cea a conductorilor, de unde vine și denumirea lor.

Din punct de vedere analitic, funcționarea diodei semiconductoare este descrisă de ecuația de funcționare a diodei semiconductoare. Aceasta furnizează relația matematică dintre curentul prin diodă și tensiunea de la terminalele sale și este reprezentată de relația:

$$I_A = I_S \left(e^{\frac{U_A}{U_T}} - 1 \right)$$

unde:

- I_S reprezintă curentul de saturație al diodei, care este aproximativ egal cu curentul ce trece prin diodă în conducție inversă ($10^{-16} \div 10^{-14}$ A);
- U_T reprezintă tensiunea termică, care este direct proporțională cu temperatura de lucru și are valoarea de 25mV la temperatura de 20°C;
- U_A și I_A sunt tensiunea, respectiv curentul total.

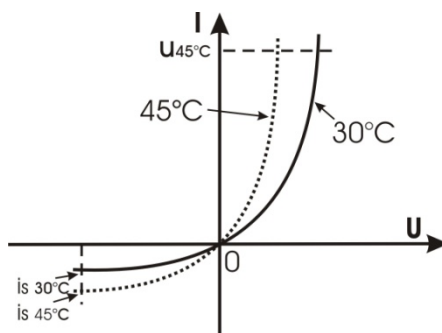


Fig.3. Influența temperaturii asupra diodelor.

2. REDRESOARE

Una dintre aplicațiile cele mai importante ale diodelor este redresarea marimilor alternative. Redresarea reprezintă transformarea marimilor alternative în marimi pulsatorii. Necesitatea redresării este impusă de funcționarea majorității circuitelor electronice ce necesită una sau mai multe surse de curent continuu.

În figura 4 sunt prezentați schematic pașii ce trebuie realizați pentru a transforma marimile alternative în marimi continue.

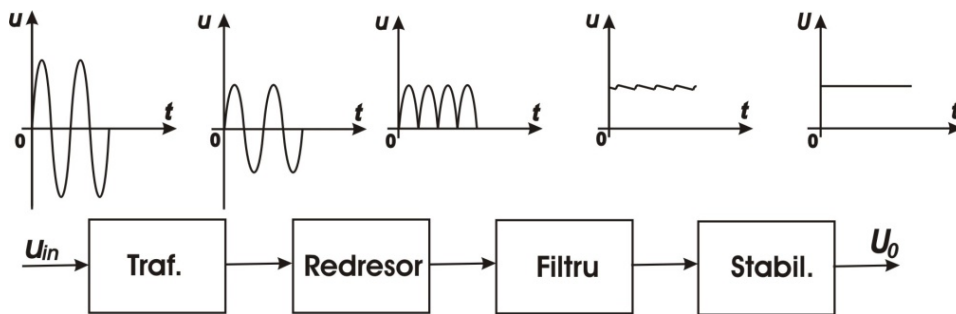


Figura 4. Transformarea marimilor alternative în marimi continue

- **Traf.** - transformatorul de retea care are rolul de a modifica valoarea tensiunii de alimentare de curent alternativ. Separat asigura separarea galvanica intre retea si circuitul electronic.
- **Redresor** – transforma tensiunea alternativa in tensiune pulsatorie.
- **Filtru** – filtru de netezire ce amelioreaza forma tensiunii pulsatorii de la iesirea redresorului apropiind-o de cea continua.
- **Stabil.** – stabilizatorul de tensiune ce furnizeaza la iesire o tensiune constanta in timp independenta de variatia tensiunii de retelei alternative de alimentare sau de valoarea curentului furnizat la iesire.

a- Redresorul monofazat monoalternanta

Redresorul monoalternanta este alcatuit numai dintr-o dioda, figura 5. In circuitul din figura 5 mai apar un rezistor de sarcina R_s si transformatorul de retea. Functionarea acestei scheme are loc astfel: la aplicarea, în primarul transformatorului, a unei tensiuni alternative u_1 , în secundar acestuia ia nastere o tensiune alternativa u_2 care se aplica pe anodul diodei redresoare. Dioda va conduce numai pe durata alternantelor pozitive, astfel ca la catodul diodei va apare un curent proportional cu tensiunea aplicata si avînd aceeasi forma cu ea. Curentul prin rezistor de sarcina R_s va circula numai într-un singur sens, sub forma unor alternante.

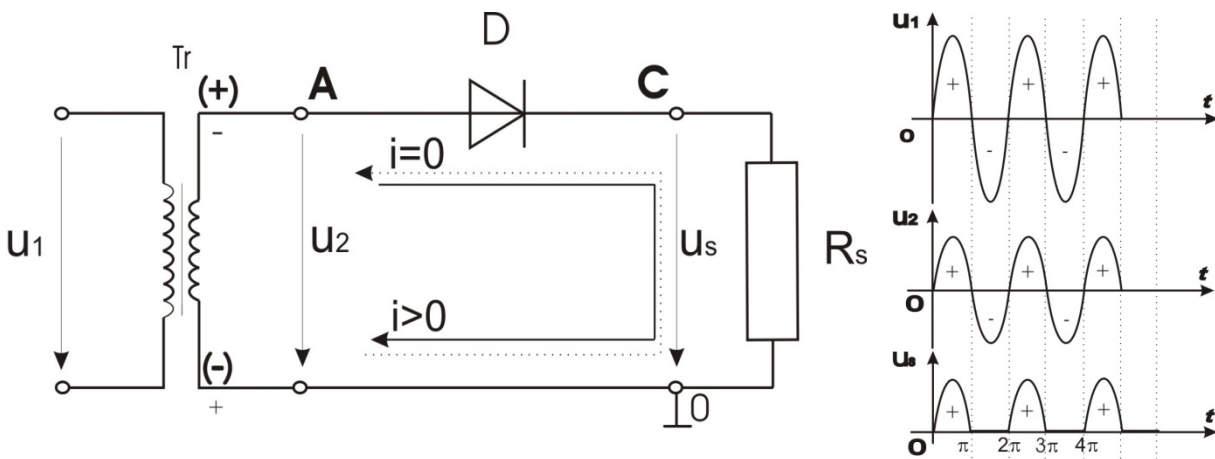


Figura 5. Redresorul monofazat monoalternanta. Forma de unda a tensiunii redresate.

Astfel, in alternanta pozitiva plusul tensiunii (+) de la iesirea transformatorului de retea se aplica anodului diodei D, iar minusul (-), prin intermediul rezistorului de sarcina, se aplica catodului. In aceste conditii dioda este polarizata direct si intra in conductie si va conduce in intervalele $0-\pi$, $2\pi-3\pi$, etc.

$$i > 0; \quad A \approx C; \quad u_2 = u_s \\ u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$$

In alternanta negativa minusul tensiunii (-) de la iesirea transformatorului de retea se aplica anodului diodei D, iar plusul (+), prin intermediul rezistorului de sarcina, se aplica catodului. In aceste conditii dioda este polarizata invers, deci este blocata in intervalele $\pi-2\pi$, $3\pi-4\pi$, etc.

$$i = 0; \quad u_s = R_s i$$

Valoarea medie pentru o perioada aplicata rezistorului de sarcina este:

$$U_s \approx \frac{\sqrt{2}U_2}{\pi}$$

Valoarea efectiva a tensiunii la iesire este:

$$U_{s\,ef} \approx \frac{\sqrt{2}U_2}{2}$$

b- Redresorul monofazat dubla alternanta cu transformator cu priza mediana

Redresorul dubla alternanta este alcatuit din doua redresoare monoalternanta si particularitatea acestui redresor o reprezinta utilizarea unui transformator cu priza mediana. Transformatorul este format din doua sectiuni identice inseriate in punctul median avand acelasi numar de spire, $u'_2 = u''_2 = u_2 = \sqrt{2}U_2 \sin \omega t$.

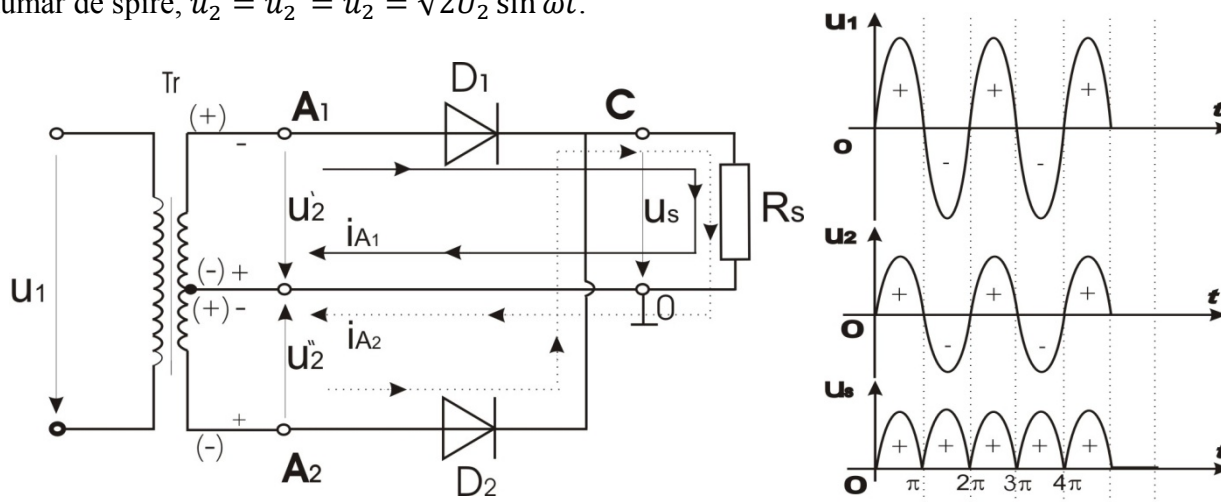


Figura 6. Redresorul monofazat dubla alternanta. Forma de unda a tensiunii redresate

In alternanta pozitiva, plusul tensiunii (+) de la iesirea sectiunii superioare a transformatorului de retea, se aplica anodului diodei D_1 , iar minusul (-), prin intermediul rezistorului de sarcina R_s , se aplica catodului. In aceste conditii dioda D_1 este polarizata direct si intra in conductie si va conduce in intervalele $0-\pi, 2\pi-3\pi$, etc.

In acelasi timp, plusul tensiunii (+) de la iesirea sectiunea inferioare a transformatorului de retea, se aplica catodului diodei D_2 , iar minusul (-), prin intermediul rezistorului de sarcina R_s , se aplica anodului. In aceste conditii dioda D_2 este polarizata invers si este blocata in intervalele si $\pi-2\pi, 3\pi-4\pi$, etc.

In alternanta negativa minusul tensiunii (-) de la iesirea sectiunii superioare a transformatorului de retea se aplica anodului diodei D_1 , iar plusul (+), prin intermediul rezistorului de sarcina R_s , se aplica catodului. In aceste conditii dioda D_1 este polarizata invers, deci este blocata in intervalele $0-\pi, 2\pi-3\pi$, etc,

În același timp, plusul tensiunii (+) de la ieșirea secțiunii inferioare a transformatorului de rețea, se aplică anodului diodei D_2 , iar minusul tensiunii (-) prin intermediul rezistorului de sarcină R_s , se aplică catodului. În aceste condiții dioda D_2 este polarizată direct și intră în conducție și va conduce în intervalele $\pi-2\pi, 3\pi-4\pi$ etc.

c- Redresorul monofazat dubla alternanță în punte

Redresorul monofazat dubla alternanță în punte este o configurație de patru diode ca cea prezentată în figura 7 și se găsește sub formă integrată. În circuit mai apare un rezistor de sarcină R_s și transformatorul de rețea. Funcționarea acestei scheme are loc astfel: la aplicarea, în primarul transformatorului, a unei tensiuni alternative u_1 , în secundar acestuia ia naștere o tensiune alternativă u_2 care se aplică punții redresoare.

În momentul în care alternanța pozitivă, plusul tensiunii (+) de la ieșirea transformatorului de rețea, se aplică punții redresoare aceasta ajunge pe anodul diodei D_1 , respectiv pe catodul diodei D_4 și D_2 , (acestea din urmă fiind polarizate invers se blochează), iar prin intermediul rezistorului de sarcină R_s , pe anodul diodei D_3 . Astfel, diodele D_1 și D_3 fiind polarizate direct intră în conducție și vor conduce în intervalele $0-\pi, 2\pi-3\pi$, etc.

În momentul în care alternanța pozitivă, plusul tensiunii (+) de la ieșirea transformatorului de rețea, se aplică punții redresoare aceasta ajunge pe catodul diodei D_4 , respectiv pe anodul diodei D_1 și D_3 , (acestea din urmă fiind polarizate invers se blochează), iar prin intermediul rezistorului de sarcină R_s , pe anodul diodei D_2 . Astfel, diodele D_4 și D_2 fiind polarizate direct intră în conducție și vor conduce în intervalele $\pi-2\pi, 3\pi-4\pi$ etc.

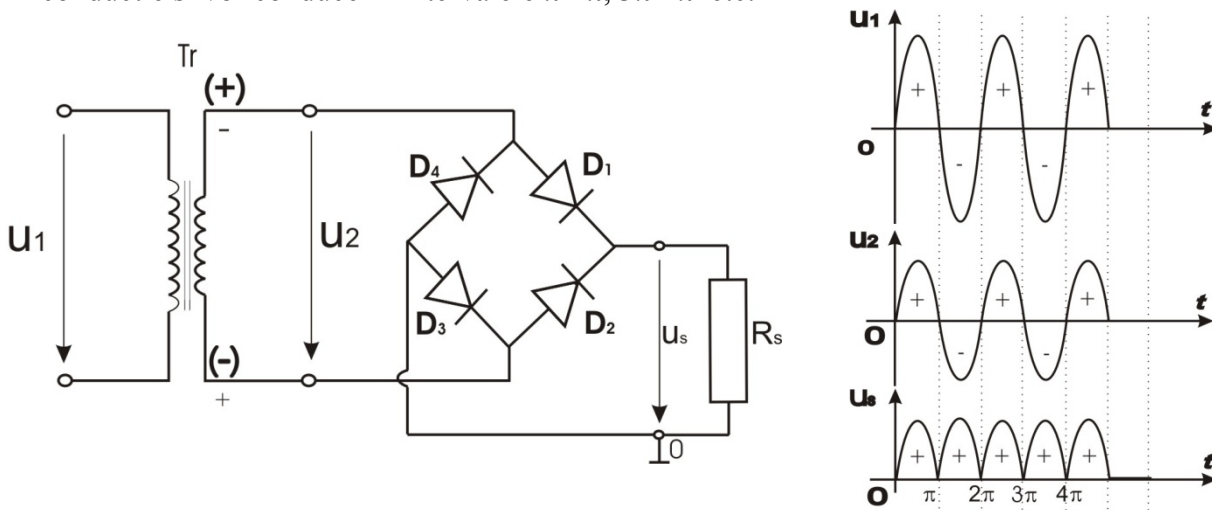


Figura 7. Redresorul monofazat dubla alternanță în punte. Forma de undă a tensiunii redresate

3. PROCEDEUL EXPERIMENTAL.

În laborator se vor realiza circuitele din figura 5, 6, 7 utilizându-se următoarele piese și echipamente:

- Osciloscop OX 6152-C
- Platforma P4 - cutie redresoare
- Condensator $1000\mu\text{F}$;
- Cabluri de conectare;

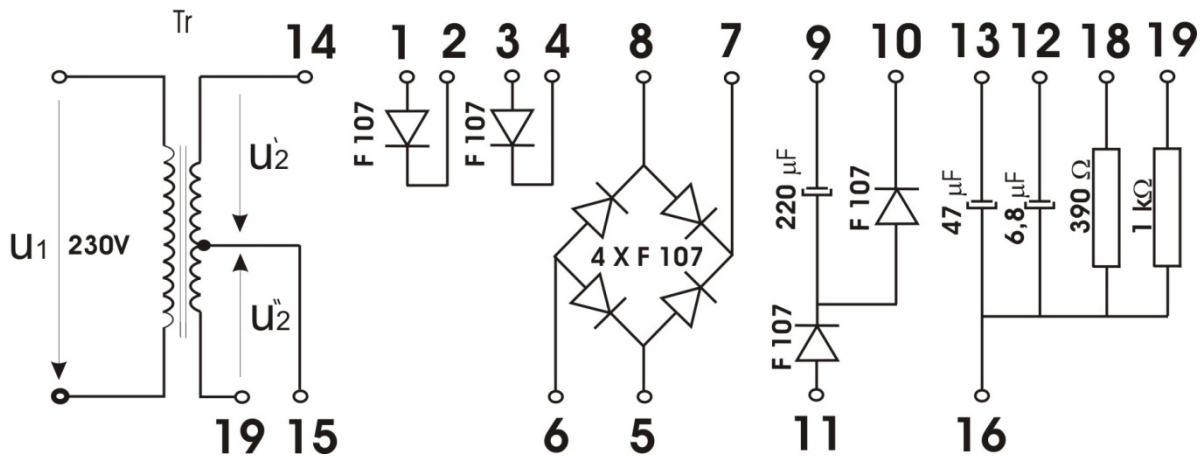


Figura 8. Schema platformei P4 - cutie redresoare

Pentru a realiza circuitul din figura 5 se va conecta prin intermediul cablurilor de conectare:

- borna 14 cu borna 1;
- borna 2 cu borna 17;
- borna 15 cu borna 16;
- borna 2 cu borna 12 sau respectiv 13;
- borna 15 se va conecta la masa osciloscopului;

Se vor calcula:

1. tensiunea varf la varf u_{2v} =?
2. tensiunea instantanee u_{2m} =?
3. tensiunea efectiva u_{ef} =?
4. perioada semnalului T =?
5. frecventa semnalului f =?
6. caderea de tensiune pe dioda u_D =?
7. se va determina riplu functie de valoarea condensatoarelor introduse in circuit

Similar se va proceda si pentru celelalte circuite din figurele 6 si 7.

Bibliografie:

- 1.S. Harghel, M. Mart, A. Simion, si alti, Electrotehnica si electronica industrială, Institutul politehnic Iasi, 1984.
2. M. P. Dinca Electronica- Manualul studentului, Capitolul 3 Diode semiconductoare, Editura Universitatii din Bucuresti, Bucuresti, 2003;
3. Indrumar de laborator Dispozitive Electronice, universitatea politehnica din bucurești facultatea de electronică telecomunicații și tehnologia informației, București-2009.

Lucrarea 3

TRANZISTORUL BIPOLAR

1. GENERALITĂȚI

Tranzistorul bipolar sau tranzistorul bipolar cu jonctiuni (acronimul TB sau TBJ) este unul dintre cele mai utilizate dispozitive semiconductoare în electronică. Denumirea bipolar provine din însăși funcționarea dispozitivului, bazată pe deplasarea simultană a două tipuri de purtători mobili de sarcină: electroni și goluri. Tranzistorul bipolar poate juca rolul de sursă comandată de curent sau de comutator.

Tranzistorul bipolar (**TB**), este realizat dintr-un cristal semiconductor de Si sau de Ge și este compus din trei regiuni dopate cu impurități de tip diferit, care se succed în ordinea: *p-n-p* sau *n-p-n*. Fiecare regiune are un contact ohmic cu câte un terminal exterior. Cele trei terminale se numesc **emitor** – **E**, **bază** – **B** și **colector** – **C**. Denumirile sugerează funcția pe care o îndeplinește fiecare dintre cele trei zone: emitorul este furnizorul principal de sarcini electrice, colectorul colectează sarcinile electrice iar baza poate controla cantitatea de sarcină care ajunge la colector. După același criteriu, cele două jonctiuni se numesc emitoare, respectiv colectoare.

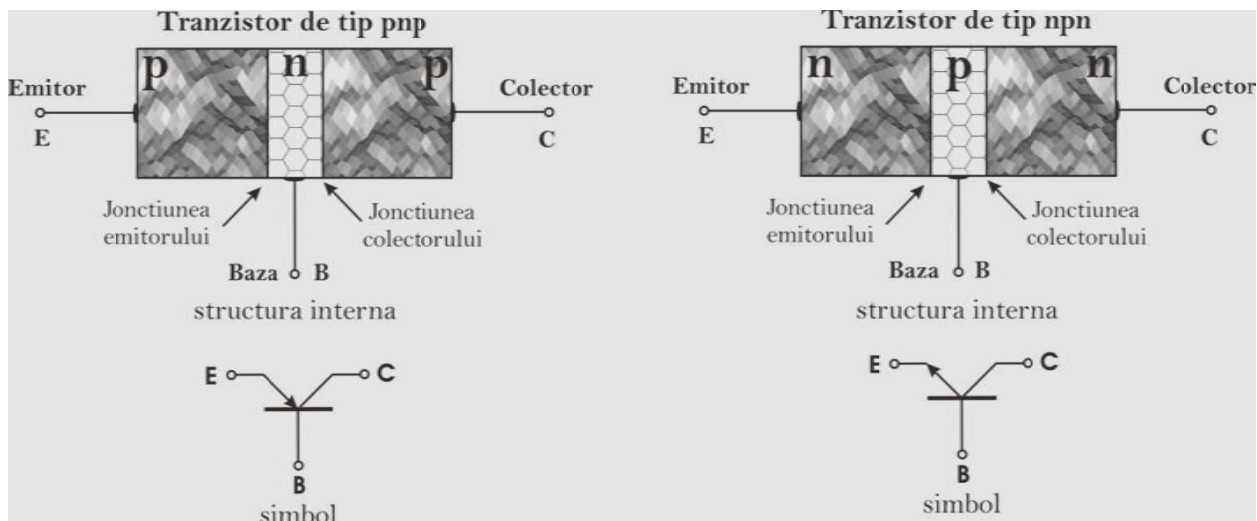


Figura 1. Tranzistorul bipolar de tip pnp și npn și simbolurile aferente

Din punct de vedere tehnologic structura de tranzistor are două particularități:

- emitorul este mult mai puternic dopat decât baza;
- lărgimea fizică a bazei este mult mai mică decât lungimea de difuzie a purtătorilor majoritari din emitor (aprox. $10\mu\text{m}$).

În funcționare normală, ca amplificator de putere, pentru a exista conducție electrică între emitor și colector, jonctiunea emitoare trebuie polarizată în sens direct iar jonctiunea colectoare în sens invers. Se asigură astfel funcționare în regiunea activă a caracteristicilor de ieșire.

Principiul de functionare a tranzistorului bipolar este prezentat in figura 2. Pentru exemplificare s-a folosit o structura pnp sursele de tensiune E_{EB} si E_{BC} polarizand adecvat cele doua jonctiuni in scopul functionarii in regiunea activa.

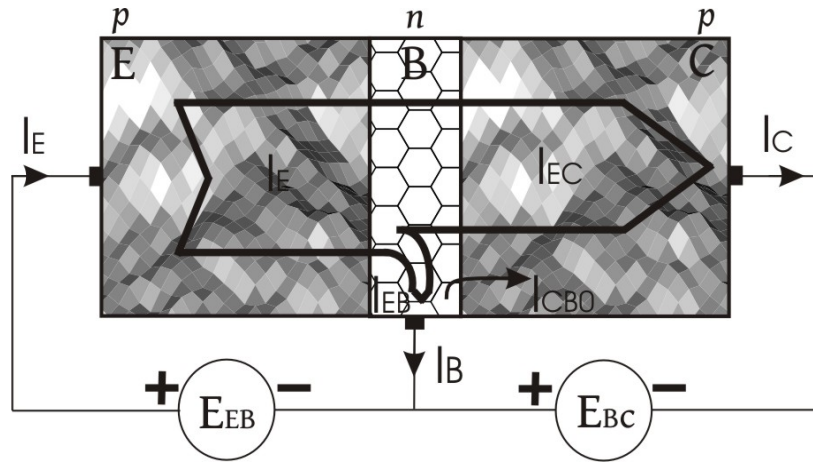


Figura 2. Principiul de functionare a tranzistorului bipolar.

Datorita polarizarii directe a jonctiunii emitorului, un numar mare de goluri (puratorii majoritari in emitor in structura pnp) din emitor difuzeaza in baza constituind curentul de emitor I_E . Baza fiind mai slab dopata, numarul de electroni din baza care difuzeaza in emitor este neglijabil. I_E este in principal un curent de goluri, dependent de tensiunea de polarizare directa a jonctiunii dupa relatia:

$$I_s = I_{ES} e^{\frac{U_{EB}}{U_T}} \quad m \approx 1$$

Deoarece baza este extrem de subtire, numai un numar mic de goluri reuseste sa se combine cu electronii majoritari in baza, majoritatea golurilor fiind colectate de campul electric din regiunea de tranzitie a jonctiunii colectorului si trecute in colector alcatuind curentul I_{EC} . Cu toate ca jonctiunea colectorului este polarizata invers, cutentul care o strabate are valori importante, datorita prezentei in baza a unei cantitati insemnate de purtatori minoritari sosite din emitor prin difuzie . Acesta este esenta efectului de tranzistor. Combinarea in baza a golurilor cu electronii duce la aparitia curentului de baza I_{EB} .

Raportul dintre I_{EC} si I_E se numeste factor de transfer (amplificare) in curent emitor-colector si este intodeauna subunitar, dar foarte aproape de 1.

$$\alpha = \frac{I_{EC}}{I_E} \quad \alpha = 0.95 \div 0.99$$

Raportul dintre I_{EC} si I_{EB} se numeste factor de transfer (amplificare) in curent baza-colector si este are valori cuprinse intre 20 si 500.

$$\beta = \frac{I_{EC}}{I_{EB}} \quad \beta = 20 \dots 500$$

Prin jonctiunea colectorului, in afara de de curentul principal I_{EC} , care este curentul datorat golurilor sosite in baza din emitor prin difuzie, mai circula si si un current datorat purtatorilor minoritari proprii bazei sau colectorului, numit curentul residual de colector notat I_{CB0} . Valorile acestui current sunt foarte mici si de obicei acest current se neglijeaza.

Curentul de colector rezultat va fi suma a doi curenti astfel:

$$I_C = I_{EC} + I_{CB0}$$

$$I_C = I_{EC} + I_{CB0}$$

Analizind ecuatiile anterioare observam ca curentul de colector este independent de tensiunea de polarizare a jonctiunii colectorului, fiind dependent de marimile ce caracterizeaza jonctiunea emitorului si anume de I_E , I_B si U_{EB} .

2. CARACTERISTICILE TRANZISTORULUI BIPOLAR

Unui TB i se poate asocia un cuadripol, prin apartenența unui electrod atat la circuitul de intrare, cat si la acela de iesire al cuadripolului. Intrucata oricare dintre cei trei electrozi ai tranzistorului poate să fie borna comună a circuitelor de intrare si de iesire ale cuadripolului, rezultă trei moduri de conectare ale dispozitivului, denumite conexiuni, si anume: conexiunea bază comună (BC) – figura 3a, conexiunea emitor comun (EC) – figura 3b si conexiunea colector comun (CC) – figura 3c. Pentru fiecare conexiune, electrodul din circuitul de intrare (CI) al cuadripolului si electrodul din circuitul de iesire (CO) sunt cei precizați in figura 3

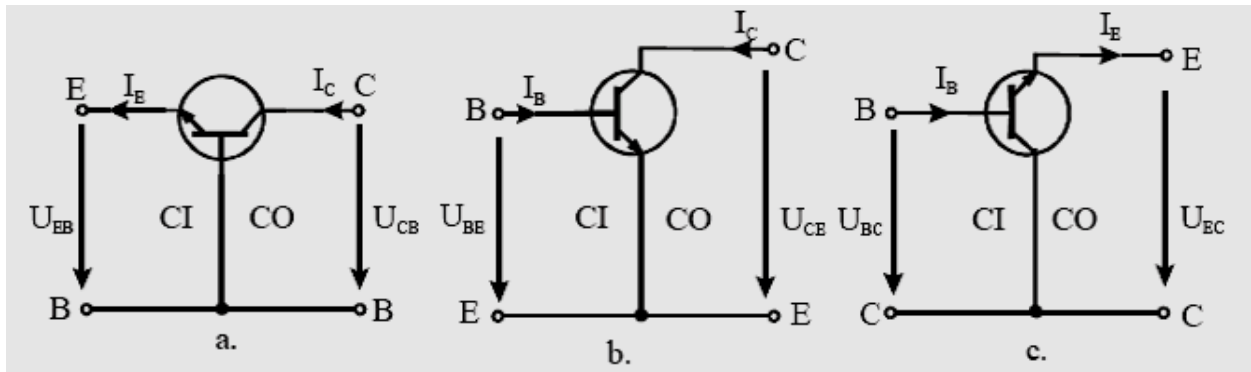


Figura 3. Conexiunile tranzistorului bipolarar
a. conexiunea baza comuna (BC), b. conexiunea emitor comun (EC),
c. conexiunea colector comun (CC)

Caracteristicile statice. Exprimă grafic dependența dintre curentii unui TB si tensiunile aplicate la bornele acestuia, in regim static, la o temperatură precizată.

Caracteristica de intrare. Reprezinta dependent intre curentul de intrare si tensiunea de intrare, in conditia in care unul din parametrii de iesire este mentinut constant. In conexiunea EC acesta caracteristica este prezentata in figura 4.

Caracteristica de intrare este similara caracteristicii statice a diodei semiconductoare deoarece jonctiunea emitorului este polarizata direct. Singura diferenta consta in domeniul usual de lucru al curentilor de baza care este in general sum 1 mA. Datorita acestui fapt tensiunea de polarizare a jonctiunii emitorului are valori usor mai reduse de $0.5 \div 0.7V$ pentru Si si $0.2 \div 0.3V$ pentru Ge

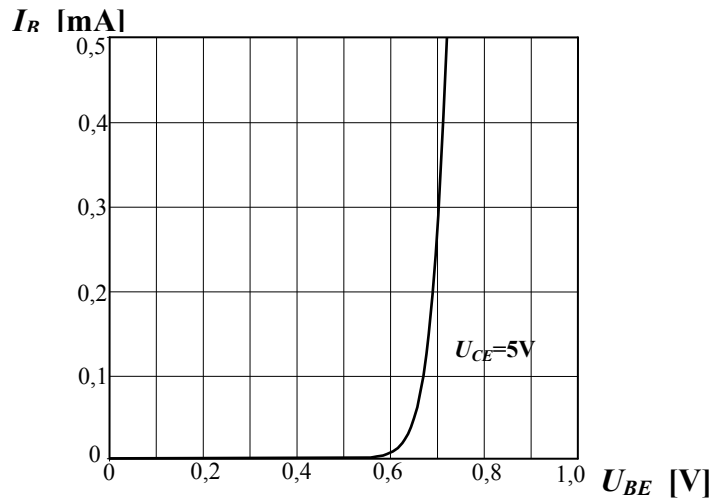


Figura 4. Caracteristica de intrare reprezentata functie de curentul de intrare I_C si tensiunea de intrare U_{BE}

Caracteristica de iesire reprezinta dependent curentului de iesire functie de tensiunea de iesire. In planul caracteristicilor se pun in evident trei regiuni distinct e. In fiecare regiune forma caracteristicilor este specifica datorita modului de polarizare a jonctiunilor.

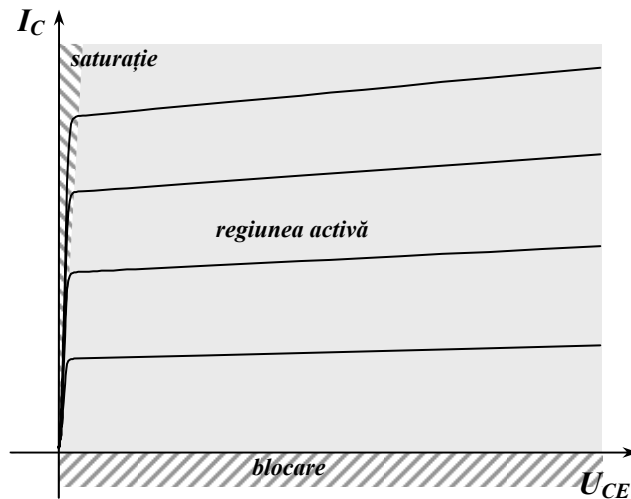


Figura 5. Caracteristica de iesire reprezentata functie de curentul de intrare I_C si tensiunea de intrare U_{BE}

Regiunea activa acopera aproape tot planul caracteristicilor de iesire cu exceptia portiunilor din apropierea axelor. Caracteristicile au forma unor drepte usor inclinate fata de

orizontala. In prima aproximatie se poate afirma ca tensiunea colector emitor nu influenteaza valoarea curentului de colector. Valoarea curentului este puternic dependent de curentul de baza deci in collector tranzistorul bipolar se comporta ca o sursa de current. Daca parametru de intrare considerat constant ar fi fost tensiunea emitor baza s-ar fi pus in evident in mod similar dependenta curentului de colector de tensiunea de polarizare a jonctiunii emitorului.

In aceasta regiune tranzistorul se comporta ca amplificator de putere, puterea circuitului de iesire $U_{CE}I_C$, fiind mai mare decat puterea circuitului de intrare $U_{BE}I_B$, dar comandata de acesta din urma.

Regiunea de saturatie este o regiune ingusta din apropierea axei curentului de colector, caracterizata prin curenti de valori importante, dar de valori ale tensiunilor mici. Functionarea in acesta regiune se poate obtine prin polarizare directa a ambelor jonctiuni ale tranzistorului bipolar.

Regiune de blocare este foarte ingusta din apropierea axei absciselor caracterizata prin curenti practic nuluidar tensiuni importante.

A. Polarizarea tranzistorului

Pentru a putea îndeplini funcția de prelucrare a semnalelor, tranzistorul bipolar trebuie să fie polarizat, chiar în absența semnalului de prelucrat. Polarizare reprezintă asigurarea unui suport de c.c. și se concretizează prin impunerea, prin intermediul unor elemente exterioare tranzistorului, a tensiunilor între terminale și a curenților prin terminale. Polarizarea trebuie să asigure funcționarea într-o zonă prestabilită în planul caracteristicilor de ieșire, de obicei în zona activă. În acest caz tranzistorul este pregătit ca la apariția semnalului la intrare să-l poată prelucra adecvat.

Regimul de c.c. al tranzistorului este caracterizat de trei tensiuni U_{CE}, U_{BE}, U_{BC} și trei curenți I_C, I_B, I_E .

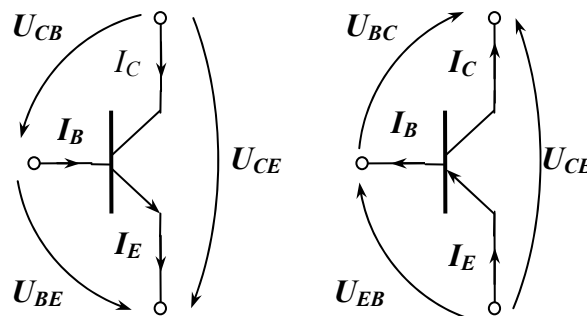


Figura 6. Marimi de polarizare

Din cele trei tensiuni, una singură, U_{BE} este practic cunoscută, fiind o tensiune de polarizare directă a unei jonctiuni. În general este cea mai mică din cele trei tensiuni. La tranzistorul bipolar din Si valorile uzuale sunt de 0,5...0,7V iar la Ge 0,3...0,4V. Tensiunea U_{CE} poate lua valori ce acoperă o plajă foarte largă, de la câțiva volți până la zeci sau chiar sute de volți, fiind o tensiune de polarizare inversă. Tensiunea U_{CE} , fiind suma celorlalte două, este cea mai mare și păstrează caracteristicile lui U_{CB} .

$$U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$$

Curenții prin tranzistor sunt legați prin relația:

$$I_E = I_C + I_B$$

Curentul de emitor este cel mai mare curent din tranzistor fiind suma celorlalți doi. Este urmat îndeaproape de curentul de colector iar curentul de bază este cu mult mai mic (de β ori) decât ceilalți doi.

Polarizarea în regiunea activă implică polarizarea directă a joncțiunii emitorului și inversă a joncțiunii colectorului.

Cunoașterea polarizării unui tranzistor implică cunoașterea valorilor a trei tensiuni și trei curenți. Dintre cele șase mărimi, o tensiune și un curent rezultă imediat dacă se cunosc celelalte două. Din cele patru mărimi rămase, mărimile U_{CE} și I_C prezintă o importanță mai mare, fiind mărimi de ieșire. În planul caracteristicilor de ieșire acestea determină un punct P , de coordonate (U_{CE}, I_C) numit *punct static de funcționare*, PSF. Determinarea PSF se realizează prin analiza circuitului de ieșire. Aplicând a doua teorema a lui Kirchoff ochiului de ieșire rezultă:

$$E = R_C I_C + U_{CE} + I_E R_E \approx (R_C + R_E) I_C + U_{CE}$$

În planul caracteristicilor de ieșire această relație reprezintă ecuația unei drepte numită **dreaptă de sarcină**. Dreapta de sarcină reprezintă locul geometric al punctelor din planul caracteristicilor de ieșire care pot fi PSF și este o restricție impusă de elemente exterioare tranzistorului.

Reprezentarea grafică a dreptei de sarcină se realizează prin tăieturi $(E, 0)$ și $(0, E/(R_C + R_E))$ ca în figura 7.

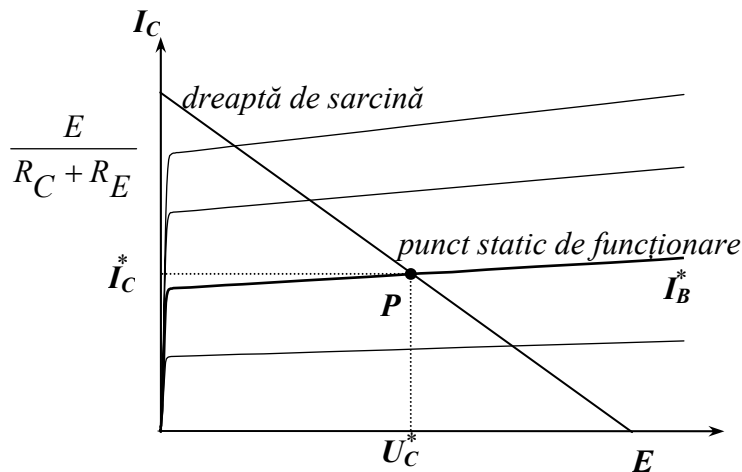


Figura 7. Reprezentarea punctului static de funcționare pe dreapta de sarcină

După cum se observă, determinarea PSF pe cale grafică este laborioasă și necesită cunoașterea caracteristicilor statice ale tranzistorului.

B. Circuite de polarizare

Circuit simplu de polarizare. Este cel mai simplu circuit de polarizare pentru tranzistorul bipolar ce asigură funcționarea în regiunea activă, figura 8. Avantajul circuitului constă în numărul redus de elemente, fapt ce implică un preț redus și fiabilitate ridicată.

Cunoscându-se E , R_B , R_C , β și materialul se poate determina PSF (U_{CE} , I_C).

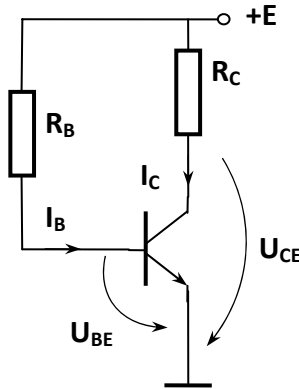


Figura 8. Circuitul simplu de polarizare a tranzistorului

Analiza pornește din circuitul de intrare (stânga) prin aplicarea celei de a doua teoremă a lui Kirckoff:

$$E = R_B I_B + U_{BE}$$
$$I_B = \frac{E - U_{BE}}{R_B}$$

E și R_B sunt date inițiale iar U_{BE} se adoptă funcție de materialul din care este alcătuit tranzistorul, $U_{BE} = 0.5 \dots 0.7V$ pentru Si și $U_{BE} = 0.2 \dots 0.3V$ pentru Ge. Se determină astfel valoarea curentului de bază I_B . Trecerea de la circuitul de intrare la cel de ieșire se face prin relația între curentul de colector și cel de bază:

$$I_C = \beta I_B$$

Se aplică a doua teoremă a lui Kirckoff pe ochiul de ieșire:

$$E = R_C I_C + U_{CE}$$

$$U_{CE} = E - R_C I_C$$

Performanțele unui circuit de polarizare se apreciază în primul rând prin stabilitatea PSF. Stabilitatea este proprietate PSF de a se modifica într-o măsură cât mai mică sub influența unor factori perturbatori. Cele două coordonate ale PSF sunt legate între ele prin ecuația drepte de sarcină. Poziția drepte de sarcină în planul caracteristicilor de ieșire este determinată de tensiunea de alimentare, E , și de rezistența din colector, R_C . Se poate considera deci o poziție fixă

a dreptei de sarcină în plan. PSF este obligatoriu situat pe dreapta de sarcină iar poziția sa concretă rezultă din valoarea curentului de colector determinat din relația:

$$I_C = \beta \cdot I_B = \beta \cdot \frac{E - U_{BE}}{R_B}$$

Circuit de polarizare cu divizor în bază. Rețeaua de polarizare este mai complexă fiind alcătuită din patru rezistoare și sursa de alimentare. Cele două rezistoare din bază alcătuiesc un divizor de tensiune, la bornele divizorului aplicându-se tensiunea de alimentare E, figura 9.

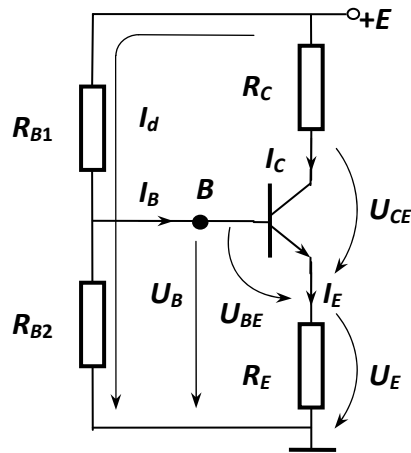


Figura 9. Circuitul sde polarizare a tranzistorului cu divizor in baza

Tensiunea de ieșire din divizor se culege de la bornele rezistorului R_{B2} , fiind notată cu U_B . Se consideră că divizorul lucrează în gol, adică se neglijează curentul care se scurge din divizor spre bază, I_B . Acest lucru implică:

$$I_d \gg I_B$$

În electronică, termenul “mult mai mare” semnifică “cel puțin de 10 ori mai mare”. Această condiție se consideră îndeplinită în cazul analizei și reprezintă o condiție de proiectare în cazul sintezei.

Cunoscându-se $E, R_{B1}, R_{B2}, R_E, R_C$, materialul se va determina PSF (U_{CE}, I_C). Considerând divizorul funcționând în gol, potențialul bazei (tensiunea din B până la masă) are valoarea:

$$U_B = E \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

Potențialul din emitor este mai redus cu valoare U_{BE} :

$$U_B = U_{BE} + U_E$$

$$U_E = U_B - U_{BE}$$

Cunoscând căderea de tensiune la bornele lui R_E se poate determina imediat curentul de emitor și implicit curentul de colector:

$$I_E = \frac{U_E}{R_E} \approx I_C \quad \boxed{I_C \approx \frac{U_E}{R_E}}$$

Se aplică a doua teoremă a lui Kirkoff pe ochiul de ieșire:

$$E = R_C I_C + U_{CE} + R_E I_E \approx (R_C + R_E) I_C + U_{CE}$$

$$\boxed{U_{CE} = E - (R_C + R_E) I_C}$$

Prima remarcă constă în absența lui β din expresia curentului de colector. În acest fel principalul canal de influență a temperaturii asupra PSF a fost eliminat. În realitate, β influențează în continuare PSF dar într-o măsură mult mai mică de ordinul unui procent. Influența a fost “mascată” prin neglijarea curentului de bază ce se scurge la ieșirea divizorului. În lipsa lui β , U_{BE} devine principalul canal de influență a temperaturii. Deși această influență este mai ridicată decât în cazul circuitului simplu de polarizare, datorită tensiunii U_B mai mici decât E din care se scade U_{BE} , totuși nu se depășesc valori ale variației de 5...10%. PSF este mult mai stabil, păstrându-și poziția aproximativ constantă pe dreapta de sarcină, asigurând funcționarea în zona dorită din planul caracteristicilor de ieșire.

3. PROCEDEUL EXPERIMENTAL

Se vor utiliza următoarele piese și echipamente:

- placi de dezvoltare circuit (breadboard);
- tranzistori BD 237;
- rezistoare 1,8k Ω , 2,7k Ω , 12k Ω , 27k Ω , 22k Ω ;
- surse duble de curent continuu de 30 Vcc.;
- multimetre numerice;
- fire pentru realizarea conexiunilor.

1. Se va realiza circuitul simplu de polarizare figura 8, utilizând tranzistor BD 237 și rezistoarele $R_C=1,8k\Omega$, $R_B=220k\Omega$. Se va face alimentarea circuitului cu o tensiune de 10Vcc. Se va calcula I_B și I_C în vederea găsitii factorului de amplificare β , iar apoi se va determina tensiunea U_{CE} . Se va trasa punctul static de funcționare pe dreapta de sarcină a caracteristicii de ieșire, vezi figura 7. Se va concluziona dacă acest circuit este recomandat pentru polarizarea acestui tip de tranzistor.

2. Se va realiza circuitul de polarizare cu divizor în baza figura 9, utilizând tranzistor BD 237 și rezistoarele $R_C=2,7k\Omega$, $R_E=2,7k\Omega$, $R_{B1}=27k\Omega$, $R_{B2}=12k\Omega$. Se va face alimentarea circuitului cu o tensiune de 10Vcc. Se va calcula U_B în vederea determinării U_E și U_C , iar apoi se

va determina tensiunea U_{CE} . Se va trasa punctul static de functionare pe dreapta de sarcina a caracteristicii de iesire, figura 7. Se va concluziona daca acest circuit este recomandat pentru polarizarea acestui tip de tranzistor.

Bibliografie:

1. S.D.Anghel - Bazele electronicii analogice și digitale, cap.3 , Tranzistorul bipolar.
2. S. Harghel, M. Mart, A. Simion, si alti, Electrotehnica si electronica industrială, Institutul politehnic Iasi, 1984.
3. Indrumar de laborator dispozitive electronice, Universitatea Politehnica din București, facultatea de electronică telecomunicații și tehnologia informației, Bucuresti 2009.

Lucrarea 4

AMPLIFICATOARE ELECTRONICE

1. GENERALITĂȚI

Transformarea unui semnal electric de tensiune, curent sau putere dată într-un semnal analog cu unul din parametrii anunțați, dar măriți, poartă denumirea de amplificare. Pentru a aprecia nivelul amplificării sau „câștigul” de putere, se utilizează relația:

$$A_p = \log \frac{P_2}{P_1}$$

unde P_2 este puterea de la ieșire iar P_1 – puterea de la intrarea amplificatorului, figura 1. Unitatea de măsură pentru câștig se numește bel [B]. Deoarece belul este o unitate prea mare, în mod obișnuit se utilizează submultiplul său zecimal – decibelul [dB].

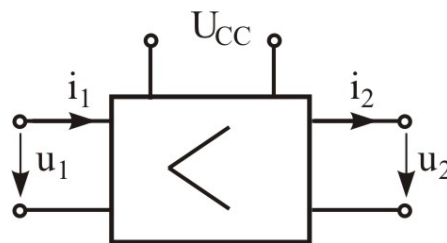


Figura 1. Amplificatorul electronic

Pentru a obține câștigul dorit se utilizează mai multe trepte de amplificare. Subansamblul circuitelor care aparțin unei trepte de amplificare poartă denumirea de etaj. Un **etaj** de amplificare conține **minimum un tranzistor** și un număr de elemente pasive, legate funcțional între ele. Amplificarea cu energie electrică a amplificatorului se face de la o sursă de alimentare cu tensiune U_{cc} continuă.

2. REGIMUL DE FUNCȚIONARE

Dezavantajul unor scheme constau în faptul că punctul static de funcționare se modifică cu temperatura tranzistorului. Acest lucru se datorează faptului că în componența curentului I_C intră curentul invers al joncțiunii bază-colector (I_{BC}), care este un curent de purtători minoritari, iar numărul purtătorilor minoritari crește exponențial cu temperatura. Caracteristici $I_C = f(U_{CE})$ se modifică la creșterea temperaturii, iar punctul static de funcționare din M se va deplasa în sus sau în jos pe dreapta de sarcină, figura 3.

Diminuarea efectului variației temperaturii asupra funcționării unui tranzistor se poate realiza în două moduri.

a) Prima cale constă în utilizarea tranzistoarelor cu i_{CBo} mic. Astfel, tranzistoarele cu siliciu care au I_{CBo} cu un ordin de mărime mai mic decât cele cu germaniu au și temperatura limită superioară de funcționare mai ridicată. Ca atare, tranzistoarele cu siliciu au o răspândire mai largă în aplicațiile practice.

b) A doua cale este utilizarea montajelor care asigură stabilizarea punctului static de funcționare la variația temperaturii. În figura 2 se prezintă schema cea mai utilizată în practică.

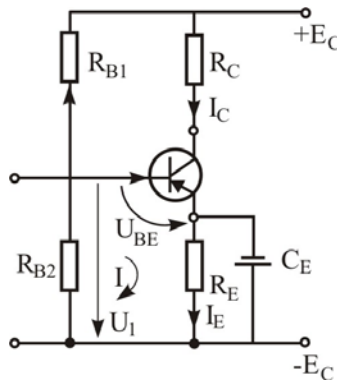


Figura 2. Circuitul de polarizare cu divizor in bază

Aplicând teorema a doua a lui Kirchhoff pe ochiul I, rezultă $U_{BE} = U_1 - R_E I_E$. La creșterea temperaturii crește I_C , deci scade U_{CE} și crește I_E . Deoarece tensiunea U_1 este constantă și I_E crește, rezultă că U_{BE} va scădea, deci va scădea I_B . Micșorarea curentului de bază I_B , va atrage după sine micșorarea curentului de colector I_C , compensându-se efectul creșterii temperaturii.

Pentru un etaj de amplificare cu un tranzistor, pentru care familia de caracteristici de ieșire $I_C = f(u_{CE})$, dreapta de sarcină și punctul static de funcționare M, sunt cele prezentate în figura 3, la aplicare pe intrare a unor semnale sinusoidale de amplitudini diferite. Pentru unul dintre aceste semnale, curentul de bază va prezenta în afară de componenta continuă I_{B0} și o componentă I_{Ba} dată de tensiunea de intrare U_1 .

Punctul de funcționare M se va deplasa pe dreapta de sarcină, obținându-se forma componentei alternative a tensiunii U_{CE} și a curentului I_C . Spre exemplificare, în figura 3 s-a prezentat modul de determinare a componentei alternative a tensiunii U_{CE} . Dacă punctul static de funcționare M se găsește la mijlocul porțiunii liniare a dreptei de sarcină (amplificator în clasă A) și semnalul de intrare nu are o amplitudine prea mare (cazul 1 și 2), tensiunea U_{CE} este tot sinusoidală. În cazul 3, deoarece semnalul de intrare are o amplitudine mare, semnalul de ieșire apare distorsionat. Se ajunge într-o alternanță la saturație, iar în cealaltă alternanță – la blocare (când $I_{B0} + I_a > I_{B01}$ tranzistorul este saturat, iar când $I_{B0} - I_a < I_{B07}$ tranzistorul se blochează). Dacă punctul static se alege în Q (amplificatorul este în clasă B), atunci se va amplifica numai alternanța pozitivă a semnalului, deoarece pentru alternanța negativă tranzistorul este blocat. și de data aceasta semnalul de ieșire poate apărea trunchiat, dacă amplitudinea semnalului de intrare este prea mare.

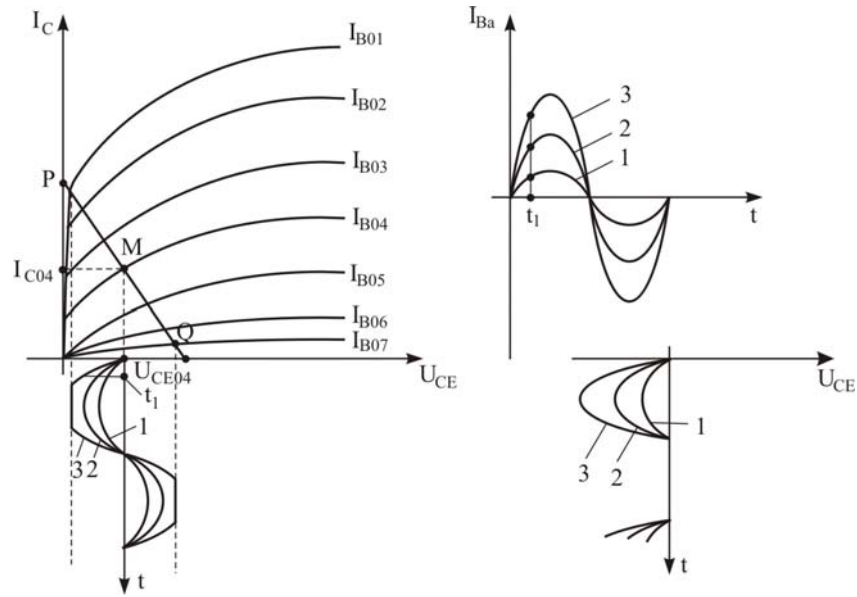


Figura 3. Caracteristica de iesire a tranzistorului si modul de determinare a componentei alternative a tensiunii U_{CE} .

3. DISTORSIUNILE AMPLIFICATOARELOR

Un amplificator ideal dispune de un câștig constant, indiferent de frecvență și de nivelul semnalului de la intrare. De asemenea, raportul dintre tensiunea de la intrare u_1 și curentul i_1 , numit impedanță de intrare, se consideră indefinit iar raportul similar al mărimilor de la ieșire (impedanța de ieșire) se consideră nul. În realitate, impedanțele au valori diferite de cele ideale iar câștigul depinde de frecvența și amplitudinea semnalului de intrare. Toate acestea produc distorsiunea semnalului în procesul amplificării.

Distorsiunile de frecvență se pun în evidență cu ajutorul caracteristicii de frecvență figura 4, care reprezintă dependența amplificării de frecvența semnalului.

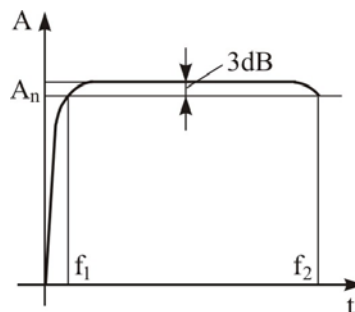


Figura 4. Caracteristica dependenței amplificării funcție de frecvența semnalului

Se observă că în intervalul de frecvență cuprins între f_1 și f_2 amplificarea este constantă, cu excepția extremităților unde scade cu 3 dB sub valoarea nominală A_n . Frecvențele f_1 și f_2 se numesc frecvențe de tăiere, iar intervalul de la f_1 și f_2 reprezintă banda de trecere .

Un semnal periodic de o formă oarecare se poate descompune într-o sumă de semnale sinusoidale, numite armonici, de diverse amplitudini și frecvențe. Totalitatea armonicilor unui semnal formează spectrul semnalului respectiv. Practic frecvențele armonicilor din spectru sunt cuprinse într-un anumit domeniu (f_{\min} , f_{\max}) denumit spectru de frecvențe al semnalului respectiv.

Pentru a amplifica un semnal fără a-l distorsiona, trebuie ca toate armonicile lui să fie egal amplificate. Trebuie deci ca amplificarea să fie constantă în domeniul f_{\min} , f_{\max} . Acest lucru este posibil când spectrul de frecvențe al semnalului este inclus în banda de trecere a amplificatorului. În caz contrar unele armonici sunt amplificate mai mult sau mai puțin ca altele, forma semnalului de la ieșire fiind diferită de cea de la intrare.

Distorsiunile de neliniaritate se pun în evidență cu ajutorul caracteristicii ieșire-intrare, dată de relația $u_2 = f(u_1)$. Dependența este practic liniară pentru tensiuni $U_1 < U_{1M}$, figura 5, deci dacă amplitudinea semnalului de la intrare nu depășește această valoare, semnalul de ieșire are aceeași formă. Pentru $U_1 > U_{1M}$ se ajunge la saturație, tensiunea U_2 variază puțin la modificarea tensiunii de intrare. Ca atare, dacă semnalul de intrare depășește valoarea U_{1M} , semnalul de ieșire va fi distorsionat. Pentru a obține o zonă de liniaritate cât mai mare, este necesar ca fiecare tranzistor să lucreze într-un punct static din mijlocul domeniului de liniaritate al dreptei de sarcină.

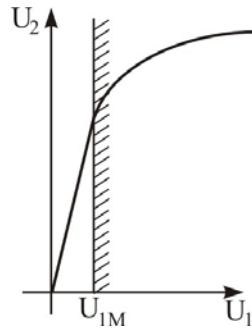


Figura 5. Distorsiunile de neliniaritate

O altă problemă a amplificatoarelor o constituie zgomotul. Procesele fizice care însoțesc trecerea curentului electric prin dispozitivele electronice sau semiconductoare și prin elementele pasive produc fluctuații nedorite, care sunt amplificate împreună cu semnalul de la intrare. Ca atare, cel mai mult vor fi amplificate zgomotele provenite din primul etaj de amplificare. Nivelul zgomotului se compară cu semnalul util prin raportul semnal-zgomot. Zgomotul se poate micșora prin alegerea atentă a componentelor active și pasive de circuit.

Influențele exterioare electromagnetice asupra firelor de conexiune, cuplajele capacitive și inductive întâmplătoare pot produce semnale parazite, care se culeg la ieșirea din amplificator. Paraziții se pot înlătura prin ecranări electrostatice și electromagnetice și prin amplasarea judicioasă a pieselor componente și a conductoarelor de legătură.

4. CLASIFICAREA AMPLIFICATOARELOR ELECTRONICE

Clasificarea amplificatoarelor electronice se face din următoarele puncte de vedere.

- a) După mărimea semnalului aplicat la intrarea amplificatorului sunt:
 - Amplificatoare de semnal mic sau tensiune;
 - amplificatoare de semnal mare sau putere.
- b) După ordinul de mărime al frecvențelor de lucru deosebim:

- amplificatoare de curent continuu (0-100kHz) utilizate în măsurări electrice și în automatizări;
- amplificatoare de joasă frecvență (20 Hz – 20kHz) utilizate la redarea sunetului;
- amplificatoare de bandă largă (5 Hz – 5 MHz) folosite în tehnica măsurărilor și în televiziune;
- amplificatoare de frecvențe foarte înalte.

c) După poziția punctului static de funcționare:

- amplificatoare în clasă A, cu punctul static de funcționare în porțiunea liniară a caracteristicilor;
- amplificatoare în clasă B, cu punctul static de funcționare în apropierea zonei de tăiere;
- amplificatoare în clasă C, la care punctul de funcționare este ales mult mai departe de zona de tăiere.

Amplificatoarele în clasă A sunt, de obicei, amplificatoare de tensiune, iar cele în clasă B și C – amplificatoare de putere.

5. REACȚIA LA AMPLIFICATOARE

Reacția locală constă în întoarcerea la intrarea unui amplificator a unei fracțiuni a semnalului de la ieșire (după unul sau mai multe etaje de amplificare) printr-un circuit de reacție CR, figur 6.

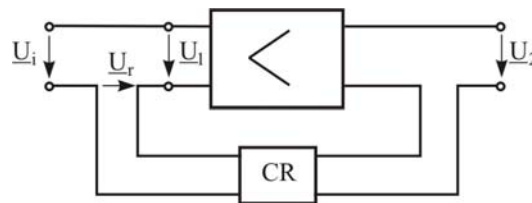


Figura 6. Reacția locală pentru un amplificator electronic

Reacția se folosește pentru stabilizarea regimului de funcționare, pentru corecția caracteristicilor amplificatorului sau pentru a conferi ansamblului caracteristici speciale ca, de exemplu, regimul de generator sau realizarea unei funcții operaționale, cum ar fi integrarea semnalului, adunare, scădere, logaritmare, etc.

Tensiunea de intrare se scrie sub forma:

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_i + \underline{U}_R$$

Tensiunea de reacție \underline{U}_R poate fi proporțională cu tensiunea sau cu curentul de ieșire; vom avea deci reacție de tensiune sau reacție de curent. În complex, amplificarea amplificatorului fără reacție este dată de relația:

$$\underline{A} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$$

Notând cu $\underline{\beta}$ coeficientul de transfer al circuitului de reacție, tensiunea de reacție va avea forma:

$$\underline{U}_R = \underline{\beta} * \underline{U}_2$$

Ținând cont de expresiile anterioare amplificarea amplificatorului cu reacție devine:

$$\underline{A}_R = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{\underline{A}}{1 - \underline{\beta}\underline{A}}$$

În funcție de modul expresiei de la numitor, se deosebesc trei cazuri:

1) $|1 - \underline{\beta} * \underline{A}| < 1$, $|\underline{A}_R| > |\underline{A}|$, reacția obținută este pozitivă;

2) $|1 - \underline{\beta} * \underline{A}| > 1$, $|\underline{A}_R| < |\underline{A}|$, reacția este negativă;

3) $|1 - \underline{\beta} * \underline{A}| = 0$, amplificarea A_R devine infinită și, teoretic, rezultă că se poate obține o tensiune la ieșire chiar dacă nu se aplică semnal la intrare; amplificatorul s-a transformat astfel într-un generator de semnal.

În cazul amplificatoarelor interesează în special reacția negativă, care permite îmbunătățirea caracteristicilor acestora. Pentru a obține reacția negativă trebuie ca $|1 - \underline{\beta} * \underline{A}| > 1$ și deci trebuie ca una din mărimile $\underline{\beta}$ sau \underline{A} să fie negativă. Dacă rețeaua de reacție este pasivă $\underline{\beta} > 1$ și atunci, pentru ca $\underline{A} < 0$, trebuie ca amplificatorul să aibă un număr impar de etaje.

Reacția negativă duce la scăderea amplificării, scădere ce este însă compensată de micșorarea distorsiunilor, de reducerea unor zgomote și de modificarea convenabilă în unele cazuri a impedanțelor de intrare și ieșire.

6. PROCEDEUL EXPERIMENTAL

Se vor utiliza următoarele piese și echipamente:

- platforme experimentale;
- osciloscop;
- generatorul de semnale sinusoidale;
- surse de tensiune de 30Vcc;
- fire pentru realizarea conexiunilor.

Platforma pentru încercări experimentale, a cărei schemă electrică este prezentată în figura 7, cuprinde un amplificator cu un transistor.

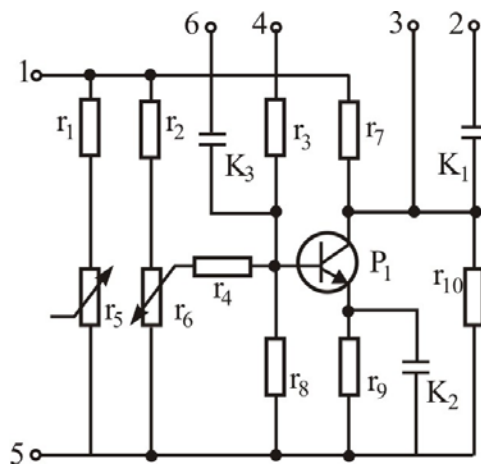


Figura 7. Schema electrică a platformei pentru încercări experimentale

Pentru studiul amplificatorului de curent alternativ cu un transistor se efectuează montajul din figura 8, în care P7 este platforma experimentală.

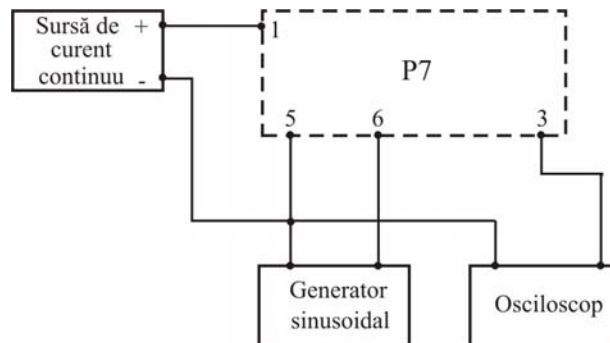


Figura 8. Montajul pentru studiul amplificatorului de curent alternativ

Se reglează tensiunea sursei de alimentare la 10 V se stabilește valoarea de minim și maxim (borna 1) a tensiunii pe osciloscop, apoi se fixează punctul static de funcționare în clasă A (distorsiunile sunt simetrice) cu ajutorul potențiometrului R_5 , la mijlocul celor două puncte de pe osciloscop (borna 3). Se fixează frecvența semnalului de intrare la 100Hz și valoarea tensiunii de intrare pentru ca semnalul de ieșire, vizualizat pe osciloscop, să apară puternic amplificat fără distorsiuni. Cu ajutorul osciloscopului se va vizualiza la început și forma semnalului de intrare (sinusoidală). Se determină valoarea semnalului de intrare U_1 (borna 6) și de ieșire corespunzător U_2 (borna 3). Se mărește treptat frecvența de la 100Hz până la 1MHz și de fiecare dată se citesc cele două tensiuni și se calculează amplificarea cu relația:

$$A = \frac{U_2}{U_1}$$

Cu datele obținute se completează tabelul 1. Și se va trasa diagrama amplificării funcție de frecvența figura 4.

Tabelul 1

Frecvența [Hz]	100	300	600	1k	3k	6k	10k	30k	1M
U_1 [V]											
U_2 [V]											
A											

Bibliografie:

1. S. Harghel, M. Mart, A. Simion, și alți, Electrotehnica și electronica industrială, Institutul politehnic Iași, 1984.

Lucrarea 5

AMPLIFICATORUL OPERATIONAL

1. GENERALITĂȚI

Amplificatoarele operationale (AO) sunt amplificatoare de curent continuu, constituite din mai multe etaje de amplificare realizate pe baza unor scheme electrice complexe. Elementul principal al unui amplificator operational este un amplificatorl diferential cu performante ridicate, acesta formand de obicei primul etaj.

Parametrii principali ai amplificatoarelor operationale si consecintele lor cele mai importante sunt:

- amplificare diferentiala foarte mare ($A_o > 10^4 \div 10^6$);
- impedanta de intrare (diferentiala) foarte mare (zeci si sute de $k\Omega$);
- impedanta de iesire foarte mica (sub 200Ω);
- banda de trecere cat mai mare;
- factorul de rejectie pe mod comul foarte mare;
- functionarea stabile in bucla de reactive negativa;

Toate aceste performante sunt determinate prin proiectare si prin tehnologia de fabricatie.

Amplificatoarele operationale se gasesc sub forma de circuite integrate conectate pe in circuite prin pini. Cel mai cunoscute tip de amplificator operational este μA 741 aparut in anul 1968, figura 1.

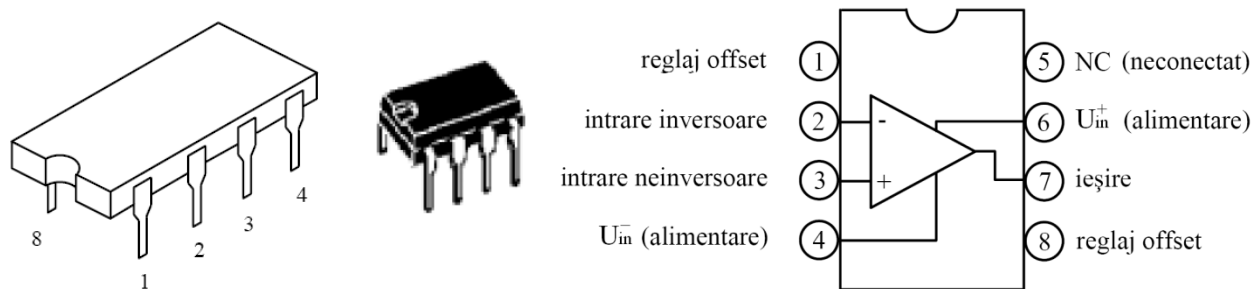


Figura 1. Capsula DIP si configuratia terminalelor la AO 741

Amplificatorul operational, fiind un amplificator diferential, are doua intrari U_{in}^+ si U_{in}^- , si o iesire U_o care sunt masurate fata de masa. AO este sensibil numai la diferenta intre potentialele U_{in}^+ si U_{in}^- si nu la fiecare potential in parte. Simbolul unui amplificator operational este prezentat in figura 2.

Deoarece tensiunile de intrare si de iesire pot lua atat valori pozitive cat si negative, AO necesita doua surse de alimentare E^+ si E^- . In situatia in care pe una din intrari, de exemplu U_{in}^+ , se aplica un semnal, cealalta intrare fiind conectata la masa, la iesire se obtine un semnal in faza cu cel de la intrare. In acest caz intrarea se numeste neinversoare „+”, iar in cazul in care pe

cealalta intrare U_{in}^- , se aplica un semnal, prima intrare fiind conectata la masa, la iesire se obtine un semnal in antifaza cu semnalul de la intrare, intrarea in acest caz numindu-se inversoare „-”. Exista amplificatoare operationale cu o singura intrare (inversoare) si deasemenea, amplificatoare operationale cu doua iesiri oferind semnale in antifaza.

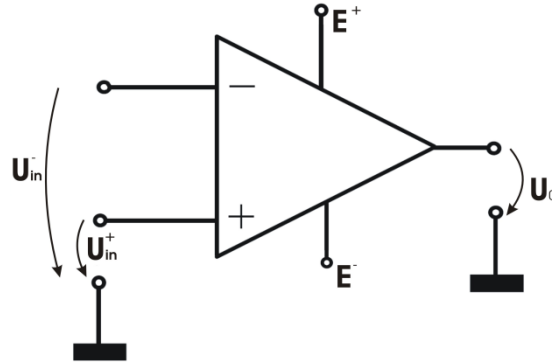


Figura 2. Simbolul amplificatorului operational

Datorita performantelor sale amplificatorul operational tipic se apropie foarte mult de model ideal de amplificator operational. Amplificatorul Operational ideal (AOI) se caracterizeaza prin:

- amplificare diferentia A_0 infinita;
- amplificare pe mod comun A_{MC} nula;
- factorul de rejectie pe mod comun $F_{MC} = \frac{A_0}{A_{MC}}$ infinit;
- impedanta de intrare Z_d infinita;
- impedanta de intrare Z_0 nula;
- tensiunea de decalaj nula.

In figura 3 este prezenta amplificatorul ideal cu reactie exterioara (in bucla inchisa), excitat la intrarea inversoare cu tensiunea \underline{U}_1 .

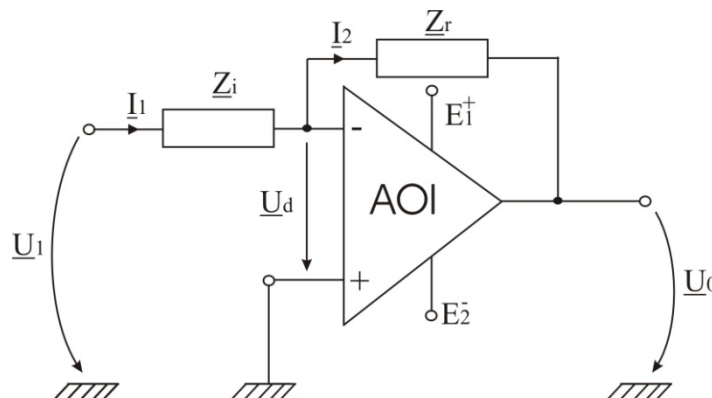


Figura 3. Amplificatorul operational ideal

Considerand $Z_d = \infty$, A_0 , $Z_0 = 0$; $A_{MC} = 0$; $U_D = 0$; se poate scrie:

$$\begin{aligned} \underline{U}_0 &= -A_0 \underline{U}_d \\ \underline{I}_1 &= \underline{I}_2 \\ &\text{sau} \\ \frac{\underline{U}_1 - \underline{U}_d}{\underline{U}_i} &= \frac{\underline{U}_d - \underline{U}_0}{\underline{U}_r} \end{aligned}$$

Daca se elimina \underline{U}_d rezulta $\underline{U}_0 = \frac{Z_r}{Z_i} \frac{U_1}{1 + \frac{1}{A_0}(1 + \frac{Z_r}{Z_i})}$ si deoarece $A_0 \gg (1 + \frac{Z_r}{Z_i})$ expresia tensiunii de iesire pentru amplificatorul operational ideal in bucla inchisa excitat la intrarea inversoare este:

$$\boxed{\underline{U}_0 = -\frac{Z_r}{Z_i} \underline{U}_1} \quad (*)$$

!!!!!! In realitate datorita unor nesimetrii inerente, la iesire apare un semnal chiar daca diferenta $U_1 - U_2 = 0$. Astfel tensiunea la iesirea amplificatorului va fi de forma:

$$U_0 = A_d(U_1 - U_2) + A_{MC}(U_1 + U_2)/2$$

In care: A_d - este amplificarea diferentia;

A_{MC} - amplificarea pe mod comun (al semnalului comun);

Pentru un amplificator reusit trebuie ca $A_{MC} \gg A_d$. Aceasta calitate se pune in evidenta cu ajutorul factorului de rejectie pe mod comun, care se defineste ca:

$$F_{RMC} = \frac{A_d}{A_{MC}}$$

Pentru amplificatorul operational real fara reactie exterioara (in bucla deschisa) tensiunea la iesire este data de expresia:

$$U_0 = A_0 U_d + A_{MC} U_{MC} + U_d$$

unde: A_0 - amplificarea diferentia in bucla deschisa;

A_{MC} - amplificarea pe modul comun in bucla deschisa;

$U_d = U_1 - U_2$ - tensiunea de excitatie pe modul diferential;

$U_{MC} = (U_1 + U_2)/2$ - tensiunea de excitatie pe modul comun;

U_d - tensiunea de decalaj care apare la iesire cand tensiunile de la intrare sunt nule;

2. TIPURI DE CIRCUITE OPERATIONALE

Cu ajutorul amplificatoarelor operationale se pot efectua operatii matematice intre marimile reprezentate de tensiuni: adunarea, scaderea, inmultirea cu constante, dar mai ales derivarea si integrarea lor in raport cu variabila timp.

Astfel pentru forme particulare ale impedantelor de intrare Z_i si de reactie Z_r expresia (*) caracterizeaza diferite tipuri de circuite operationale realizate cu amplificatoare operationale.

a. Circuitul operational inverting (invertor), figura 4.

Daca $Z_i=R_i$ si $Z_r=R_r$, tensiunea de iesire are expresia:

$$\underline{U}_0 = - \frac{R_r}{R_i} \underline{U}_1$$

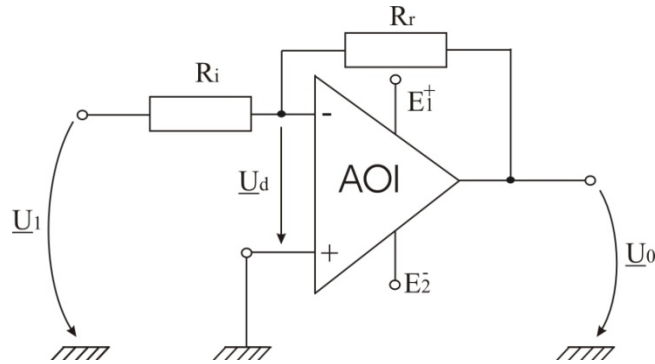


Figura 4. Circuitul operational inverting (invertor),

Acest amplificator este util pentru schimbarea semnului semnalului de la intrare (in regim sinusoidal produce defazarea cu 180) si pentru micșorarea impedantei de intrare.

b. Circuitul operational sumator, figura 5.

Daca impedantele de intrare si de reactie sunt rezistente pe baza teoremei superpozitiei raspunsul amplificatorului va fi de forma:

$$\underline{U}_0 = - R_r \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} \right)$$

Daca $R_r=R_1=R_2=R_3$ rezulta ca:

$$\underline{U}_0 = - (\underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3)$$

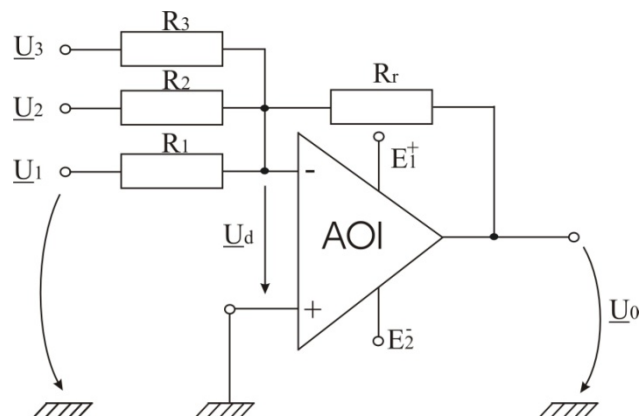


Figura 5. Circuitul operational sumator

c. Circuitul operational neinversor, figura 6

Urmarind configuratia circuitului se poate scrie

$$I_1 = \frac{U_1 - \frac{U_0}{A_0}}{R_1} = I_2 \text{ si } U_0 = (R_1 + R_2)I_1$$

$$U_0 \left(1 + \frac{R_1 + R_2}{R_1 A_0} \right) = \frac{R_1 + R_2}{R_1} U_1$$

Deoarece $R_1 A_0 \gg R_1 + R_2$ expresia tensiuni la iesire este:

$$U_0 = \frac{R_1 + R_2}{R_1} U_1$$

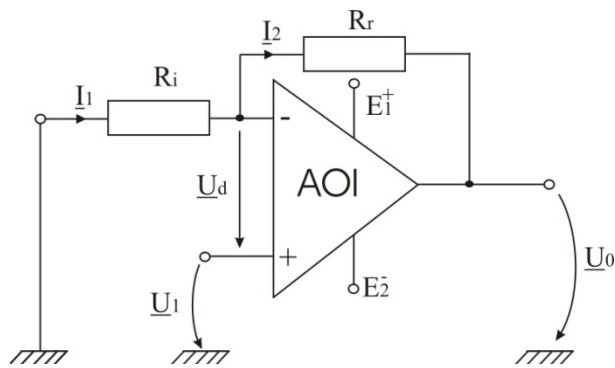


Figura 6. Circuitul operational neinversor

d. Circuitul operational repetor, figura 7

Schema repetorului constituie un caz particular al circuitului neinversor, cand $R_1 = \infty$ si $R_2 = 0$, raspunsul avand forma :

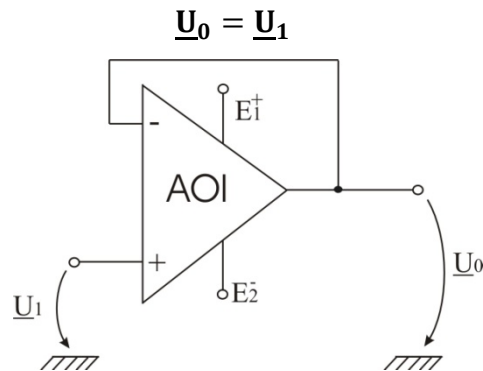


Figura 7. Circuitul operational repetor

Repetorul cu amplificator operational prezinta amplificare practic egala cu unitatea si impedanta de intrare foarte mare, fiind utilizat ca adaptor de impedanta.

e. Circuitul operational de integrare, figura 8

Daca $Z_i = R_i$ si $Z_r = \frac{-j}{\omega C_r}$ expresia (*) devine:

$$\underline{U}_0 = -\frac{\underline{U}_1}{j\omega C_r R_i}$$

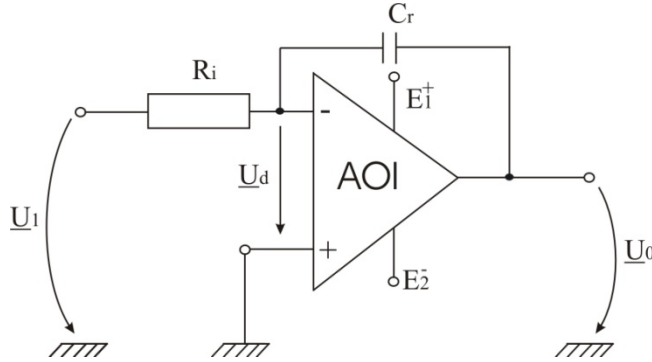


Figura 8. Circuitul operational de integrare

Deci semnalul de la iesire este proportional cu integrala in timp a semnalului de la intrare.

f. Circuitul operational de derivare, figura 9

Daca $Z_i = \frac{-j}{\omega C_i}$ si $Z_r = R_r$ expresia (*) devine:

$$\underline{U}_0 = j\omega C_i R_r \underline{U}_1$$

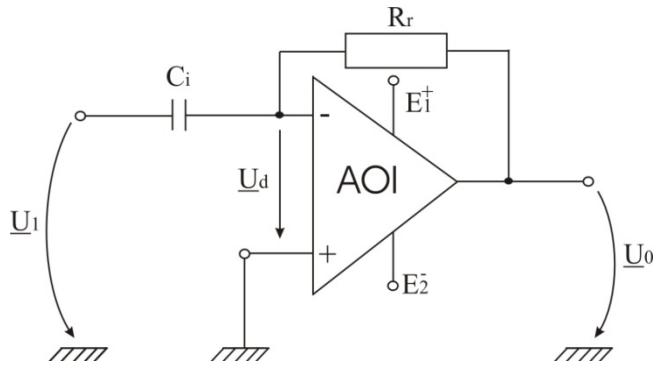


Figura 9. Circuitul operational de derivare

Deci semnalul de la iesire este proportional cu derivata in raport cu timpul a semnalului de la intrare.

g. Circuitul comparator de tensiune cu amplificator operational, figura 10

Cel mai simplu montaj cu amplificator operational sensibil la diferenta a doua tensiuni de excitatie este prezenta mai jos. Semnalul U_1 excita montajul dupa o schema de amplificator inversor, iar semnalul U_2 dupa o schema de amplificator neinversor.

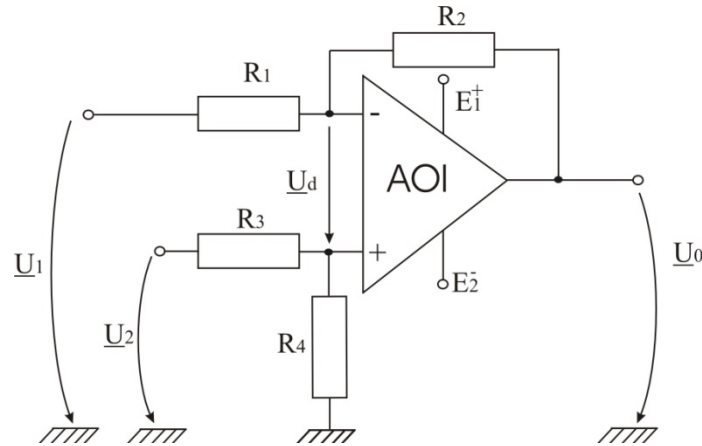


Figura 10. Circuitul comparator de tensiune cu amplificator operational

Considerand amplidicatorul operational ideal pe baza teoremei superpozitiei rezulta ca:

$$U_0(U_1) = -\frac{R_2}{R_1} U_1$$

si

$$U_0(U_2) = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_2 = \frac{R_4}{R_3} \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{R_4}{R_3}} U_2 .$$

Daca,

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_2}{R_1} , (**)$$

Raspunsul va fi de forma:

$$U_0(U_1, U_2) = U_0(U_1) + U_0(U_2) = -\frac{R_2}{R_1} (U_1 - U_2).$$

Indeplinind conditia (**) schema rspunde doar la diferenta tensiunilor de intrare, comportandu-se ca un amplificator diferential.

3. PROCEDEUL EXPERIMENTAL.

In laborator se va realiza circuitul din figura 11 utilizandu-se urmatoarele piese si echipamente:

- placi de dezvoltare circuit (breadboard);
- amplificatoare operationale $\beta A 741$ sub forma de capsula DIP;
- rezistori si condensatori;
- surse duble de curent continuu de 30 Vcc. In circuit se va aplica o tensiune de 10 Vcc;

- generatoare de semnal de 2MHz. In circuit se va aplica un semnal sinusoidal variabil 10Hz ÷ 100kHz;
- osciloscope numerice;
- fire pentru realizarea conexiunilor.

Se va pune in evidenta, pe rand, circuitele prezentate anterior si se vor calcula tensiunile de iesire U_0 si Amplificarea pentru fiecare circuit.

Frecventa [Hz]	Tensiunea de iesire U_0	Amplificarea
100		
200		
300		
400		
500		

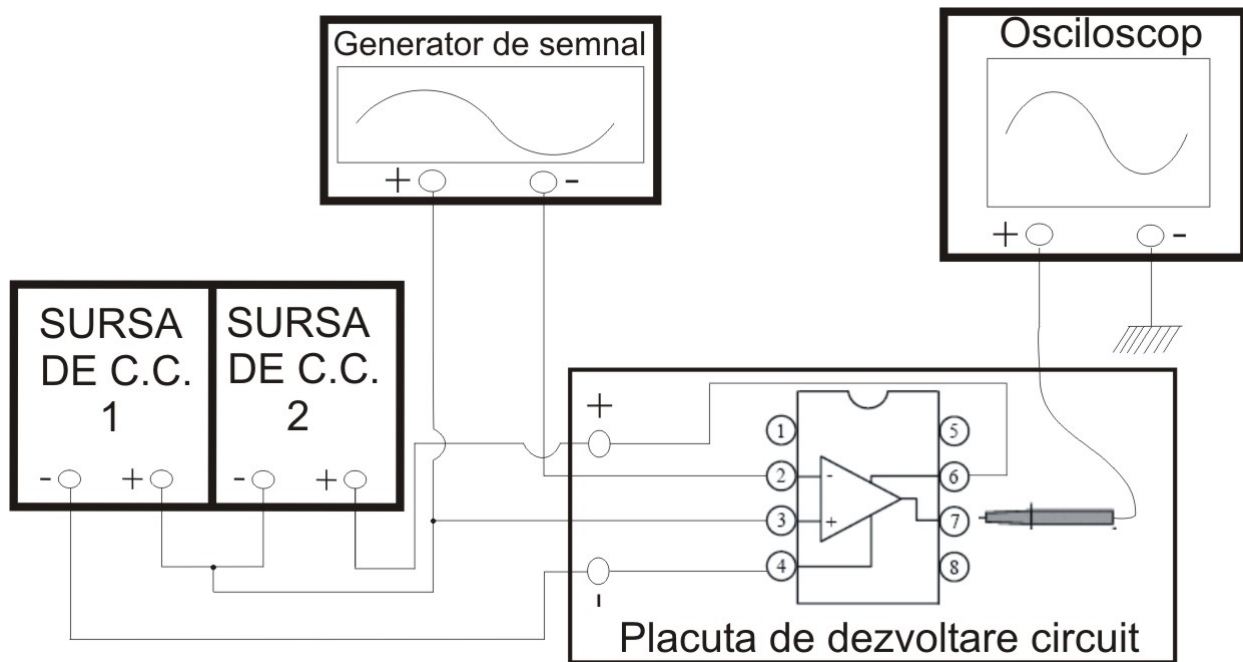


Figura 11. Schema necesara exemplificarii circuitelor operationale.

Bibliografie:

- 1.S. Harghel, M. Mart, A. Simion, si alti, Electrotehnica si electronica industrială, Institutul politehnic Iasi, 1984.
2. M. P. Dinca Electronica- Manualul studentului, Capitolul 15 Amplificatoare operationale, Editura Universitatii din Bucuresti, Bucuresti, 2003

Lucrarea 6

PORTI LOGICE

1. GENERALITĂȚI

Circuitele integrate au o mare raspandire in electronica si telecomunicatii si nu in cele din urma in viata de zi cu zi. Chiar daca esre vorba de electronica medicala sau de cea auto, de automatica, circuitele integrate joaca un rol important in functionarea aparatelor electronice. Cel mai simplu astfel de integrat contine porti logice, care la randul lor au in componenta tranzistoare, diode, rezistoare si condensatoare.

In figura 1 este prezentata structura interna si semnificatia pinilor pentru un circuit integrat MMC 4011 E avand tensiunea de alimentare de 15 Vcc, realizat in tehnologie CMOS, sub forma de capsula. Acest circuit contine patru porti logice "SI-NU".

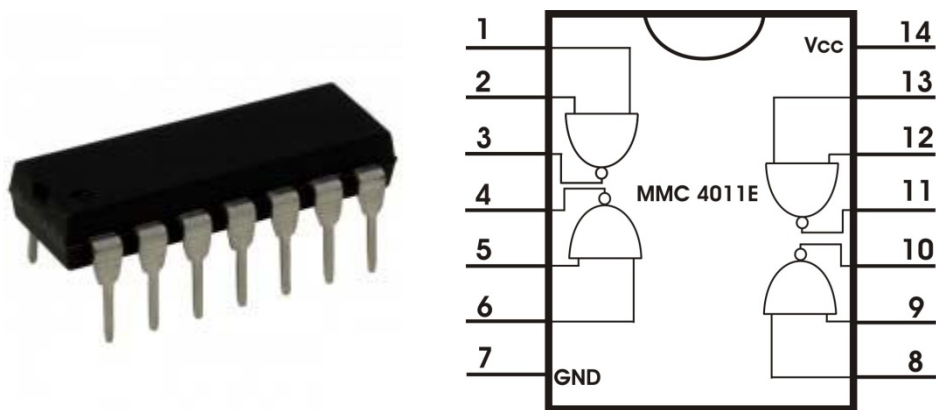


Figura 1. Circuit integrat MMC 4011 E si structura interna

Functionarea circuitelor logice este descrisa matematic prin functii logice, cu ajutorul algebrei logice (booleene). În algebra booleană sunt două constante: 0 și 1. În funcție de tipul de logică folosit, de tehnologia utilizată, materializarea celor două constante se obține prin niveluri de semnal bine stabilite. Astfel semnalele pot ocupa 2 starii: „HIGH” –SUS și „LOW” – JOS. In logica binara se atribuie unui semnal aflat in starea H valoarea logica 1, iar unui semnal aflat in starea L valoarea logica 0. De exemplu, valoarea 0 logic se poate obține prin simpla legare la masă a intrărilor unui circuit numeric.

Variabilele logice pot lua una din cele două valori, 0 sau 1. O variabilă care nu este 0, va fi obligatoriu 1 și reciproc. **Este important de reținut faptul că 0 și 1 nu reprezintă două numere, ci stări sau niveluri logice.** O serie de sinonime desemnează cele două stări logice posibile, cele mai folosite fiind prezentate în tabelul următor.

Tabelul 1. Sinonime pentru starea logică 0, respectiv 1

Denumirea în limba română		Denumirea în limba engleză	
Starea logica 0	Starea logica 1	Logic 0	Logic 1
Fals	Adevarat	Fals	True
JOS	SUS	LOW	HIGH
NU	DA	NO	YES
Oprit	Pornit	Off	On

2. FUNCTIILE LOGICE ELEMENTARE

Sistemele logice combinaționale, oricât de complicate ar fi, se realizează cu porți logice elementare. O poartă logică elementară implementează o funcție logică cu cel mult 2 intrări. Astfel, funcțiile elementare sunt “ȘI”, “SAU”, “NU”, “SAU-Exclusiv”, sau negările lor: “ȘI-NU”, “SAU-NU”. Pe un circuit integrat se găsesc 1, 2, 3, 4, 6 porți logice, în funcție de numărul de intrări.

a. Poarta logica NU. Negarea

Cea mai simplă operație logică elementară operează cu o singură variabilă de intrare. Operația elementară NU aplicată variabilei binare A se notează:

$$y = \bar{A}$$

și se citește “ y este (egal) cu A negat” sau “ y este (egal) cu non A ”. Poarta logică care îndeplinește funcția NU (negare) se numește inversor:

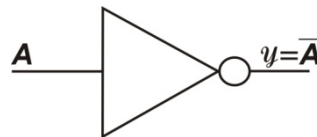


Figura 2 Poarta logica NU

Tabelul 2. Tabelul de adevăr

A	y
0	1
1	0

Cerculețul din figură este asociat inversării, triunghiul fiind consacrat amplificării neinversoare a semnalului, amplificare evident în putere în acest caz. Circuitul are o singură intrare și o singură ieșire și se numește circuit inversor, de negare, sau de complementare.

În practică se utilizează și operatori neinversori. Un asemenea circuit mai este denumit **buffer** sau etaj tampon. Rolul său este de amplificare în curent (și implicit în putere).

b. Poarta logica SI. Conjunctia

Operația elementară ȘI între variabilele binare A și B se notează:

$$y = A \cdot B$$

și se citește “y este (egal cu) A ȘI B”. **Punctul din expresia logică ȘI nu trebuie confundat cu semnul înmulțirii – operația aritmetică de înmulțire și operația logică ȘI sunt chestiuni diferite.** Confuzia poate fi sporită de tabelul de adevăr al operației ȘI, care este identic cu cel al operației de înmulțire. Poarta ȘI este un circuit cu cel puțin 2 intrări și o singură ieșire, ieșirea circuitului fiind 1 atunci când toate intrările sunt 1 logic.

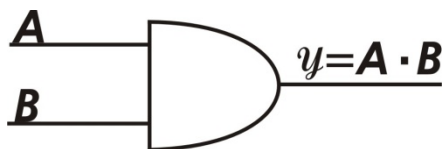


Figura 3. Poarta ȘI cu două intrări

Tabelul 3. Tabelul de adevăr pentru poarta SI

A	A	y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

c. Poarta logica SAU. Disjunctia

Operația elementară SAU între variabilele binare A și B se notează:

$$y = A + B$$

și se citește “y este (egal) cu A SAU B”. **Semnul “+” din expresia logică SAU nu trebuie confundat cu semnul adunării – operația aritmetică de adunare și operația logică SAU sunt chestiuni diferite.** Tabelul de adevăr al operației SAU nu mai este identic cu cel al adunării, deoarece în algebra booleană nu se poate depăși valoarea 1. **Adică $1 + 1 = 1$ (aici semnul + indică operația logică SAU), pe când $1 + 1 = 2$ în aritmetică.** Acest lucru este valabil și pentru operația SAU între mai multe variabile, de exemplu $1 + 1 + 1 = 1$. Poarta SAU este cu cel puțin 2 intrări și o singura ieșire.

Circuitul funcționează astfel: nivelul de tensiune la ieșirea circuitului corespunde lui 1 logic atunci când cel puțin uneia dintre intrări i se aplică un nivel de tensiune ce corespunde lui 1 logic, adică ieșirea este 1 logic dacă cel puțin una dintre intrări este 1 logic.

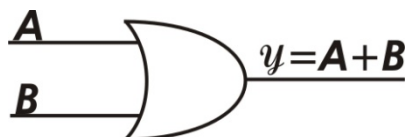


Figura 4. Poarta SAU cu două intrări

Tabelul 4. Tabelul de adevăr pentru poarta SAU

A	A	y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

d. Poarta Logică SI-NU. Negarea conjunctiei

Operația elementară **SI-NU** între variabilele binare A și B se notează:

$$y = \overline{A \cdot B}$$

și se citește “y este (egal cu) A ȘI B negat”. Poarta ȘI-NU se obține din combinarea porților elementare prezentate anterior. Circuit are cel puțin 2 intrări și o singură ieșire, ieșirea circuitului fiind 0 atunci când toate intrările sunt 1 logic.

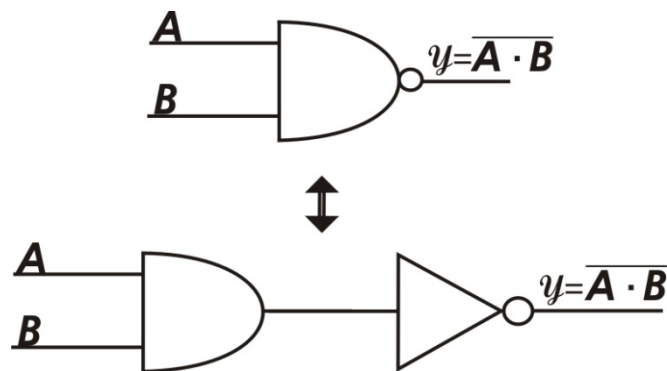


Figura 5. Poarta ȘI-NU cu două intrări

Tabelul 5. Tabelul de adevăr pentru poarta ȘI-NU

A	A	y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

e. Poarta logica SAU-NU. Negarea disjunctiei.

Operația elementară **SAU-NU** între variabilele binare A și B se notează:

$$y = \overline{A + B}$$

și se citește “y este (egal cu) A SAU B negat”. Poarta SAU-NU se obține din combinarea porților elementare prezentate anterior. Circuit are cel puțin 2 intrări și o singură ieșire, ieșirea circuitului fiind 1 atunci când toate intrările sunt 0 logic.

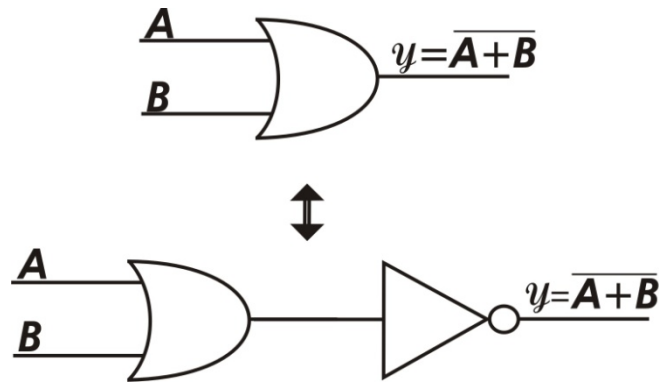


Figura 6. Poarta SAU-NU cu două intrări

Tabelul 6. Tabelul de adevăr pentru poarta SAU-NU

A	A	y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

f. Poarta logica SAU-EXCLUSIV

Poarta logica SAU EXCLUSIV este o funcție compusa care pot fi implementate cu ajutorul porților ȘI, SAU, NU. Funcția SAU-EXCLUSIV între variabilele binare A și B este

$$y = A \oplus B = A \cdot \bar{B} + \bar{A} \cdot B = \overline{A \cdot B + \bar{A} \cdot \bar{B}}$$

și se citește “y este (egal cu) A SAU-EXCLUSIV B”. Simbolul porții și tabelul de adevăr aferent sunt prezentate în figura și tabelul 6. Poarta SAU-EXCLUSIV are 2 intrări și o singură ieșire, care este 1 logic doar dacă cele 2 intrări au valori logice complementare.

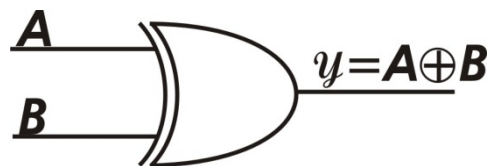


Figura 7. Poarta SAU-EXCLUSIV cu două intrări

Tabelul 7. Tabelul de adevăr pentru poarta SAU-EXCLUSIV

A	A	y
0	0	0
0	1	1

1	0	1
1	1	0

g. Teoremele lui De Morgan. Reprezentari echivalente

Teoremele lui De Morgan sunt frecvent utilizate în algebra booleană. Ele sunt reluate aici pentru cazul a doua variabile:

$$\overline{A + B} = \bar{A} \cdot \bar{B}$$

$$\overline{\bar{A} \cdot \bar{B}} = A + B$$

Ca o consecință directă a acestor teoreme, poarta „SAU-NU” este echivalentă cu poarta „ȘI-NU” care operează cu aceleași variabile de intrare. Este bineînțeles vorba despre aceeași poartă, cu deosebirea că reprezentarea normală este indicat a se folosi cu variabile de intrare active SUS, pe când cea echivalentă este potrivită la semnalele active JOS.

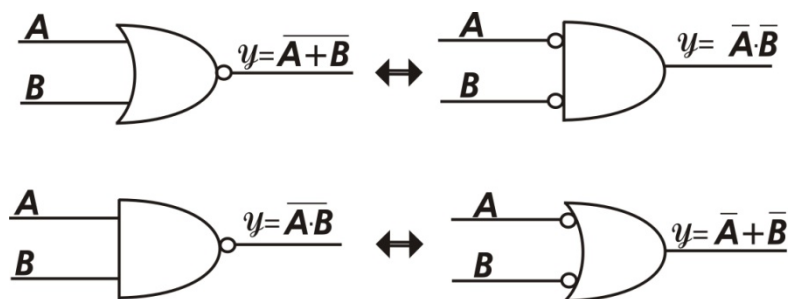


Figura 8. Reprezentarea teorenei lui De Morgan

3. PROCEDEUL EXPERIMENTAL

Se vor utiliza următoarele piese și echipamente:

- plăci de dezvoltare circuit (breadboard);
- circuit integrat MMC 4011 E sub forma de capsula DIP;
- surse duble de curent continuu de 30 Vcc. În circuit se va aplica o tensiune de 5 Vcc;
- osciloscop numeric;
- fire pentru realizarea conexiunilor.

Cu ajutorul circuitului integrat MMC 4011 E se va pune în evidență, pe rând, toate portile logice prezentate anterior și se vor vizualiza pe osciloscop semnalul de intrare și de ieșire completându-se tabelul de adevăr aferent.

În laborator se va realiza circuitul din figura 9.

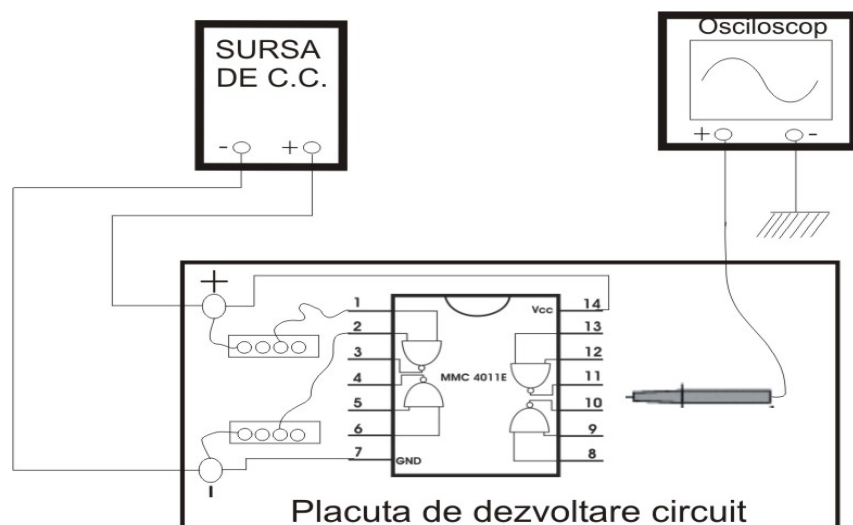


Figura 9. Schema necesara realizarii portilor logice.

Bibliografie:

1. C. Lungu, S. Oniga, Circuite integrate digitale Indrumar de laborator Baia Mare, 2008.
2. S.D.Anghel - Bazele electronicii analogice și digitale, cap. 11, Porti logice
3. S. Harghel, M. Mart, A. Simion, si alti, Electrotehnica si electronica industrială, Institutul politehnic Iasi, 1984.
4. C. Zet Circuite numerice.

Lucrarea 7

CIRCUITE BASCULANTE

1. GENERALITĂȚI

În această lucrare se studiază cele mai importante circuite basculante echipate cu tranzistoare. Circuitele basculante fac parte din categoria circuitelor de impulsuri și sunt caracterizate printr-un număr de stări stabile sau cvasistabile, viteză foarte mare de trecere (basculare) de la o stare stabilă la alta fiind determinată exclusiv de parametrii și structura circuitelor respective.

După numărul stărilor stabile, respectiv cvasistabile, distingem circuite basculante bistabile (denumite și triggere), monostabile și astabile.

2. TIPURI DE CIRCUITE BASCULANTE

A. Circuite basculante bistabile sunt de două tipuri: circuit basculant bistabil simetric (trigger simetric), și circuit basculant Schmitt (trigger Schmitt).

La circuitul basculant bistabil simetric figura 1, care prezintă două stări de echilibru stabil, bascularea are loc prin aplicarea din exterior a unor impulsuri de durată scurtă, cu front abrupt și polaritate convenabilă, care să deschidă tranzistorul blocat. Aici, variația de tensiune din circuitul de colector al unui tranzistor se transmite bazei celui alt transistor prin divizorul rezistiv R_1 , R_2 respectiv R_2 , R_{B1} .

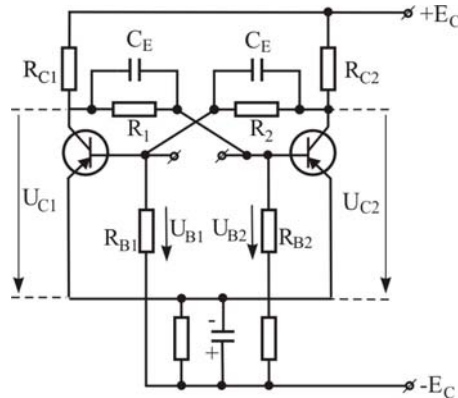


Figura 1. Circuit basculant Schmitt

În regim static, cele două tranzistoare se află totdeauna în stări opuse: când unul conduce, celălalt este blocat. Rezistorul R_1 , respective R_2 , servește la realizarea reacției pozitive, iar Condensatorul C_1 , respective C_2 , are rolul de a accelera procesul de basculare. Grupul format din rezistorul R_E și Condensatorul C_E realizează polarizarea pozitivă automată a bazelor celor două tranzistoare.

În ipoteza că, la început, tranzistorul T_1 conduce, curentul său de emitor determină o cădere de tensiune cu polaritatea indicată la bornele grupării $R_E C_E$, care duce la o polarizare pozitivă (de blocare) a bazei tranzistorului T_2 prin divizorul R_1, R_{B2} . De la colectorul tranzistorului T_2 , blocat, pe baza tranzistorului T_1 se aplică tensiunea $-E_C$ prin intermediul divizorului R_2, R_{B1} , ceea ce confirm starea lui de conducție.

Admitând că se utilizează tranzistoare de tip p-n-p, ca în figura 1, bascularea circuitului are loc dacă se aplică impulsuri negative pe baza tranzistorului blocat sau impulsuri pozitive pe baza tranzistorului care conduce. Aceste impulsuri, modificând starea de conducție a tranzistorului pe baza căruia se aplică, modifică și starea celuilalt, printr-un proces foarte rapid (accelerat de condensatoarele C_1 și C_2), noua stare fiind stabilă, ca și cea inițială.

Evident, bascularea se poate realiza și prin aplicarea de impulsuri de tensiune pe colectoarele tranzistoarelor. Totuși, intervenția pe bază este recomandabilă întrucât, fiind însoțită și de o amplificare în curent, necesită impulsuri de tensiune mai mici.

Circuitul basculant bistabil este utilizat ca circuit de memorie, circuit de numărare sau circuit pentru divizarea frecvenței, Astfel de utilizări au largi aplicații în electronică industrială, automată și tehnica de calcul.

B. Circuit basculant monostabil se caracterizează prin două stări, dintre care una de echilibru, iar cealaltă instabilă (cvasistabilă). Starea stabilă poate dăinui un timp nelimitat, până la aplicarea din exterior a unei comenzi cu un semnal adecvat, ceea ce determină un proces de basculare și trecerea circuitului în starea instabilă, în care rămâne un interval finit de timp, determinat numai de parametrii circuitului și de tensiunile de polarizare, după care, în mod automat (fără semnal din exterior), are loc o nouă basculare și circuitul revine în starea inițială de echilibru stabil.

În figura 2 este prezentată schema electrică de principiu a circuitului basculant monostabil cu cuplaj colector-bază, și formele de undă ale semnalului de comandă U_1 și al căderilor de tensiune pe colectoarele tranzistoarelor T_1 și T_2 .

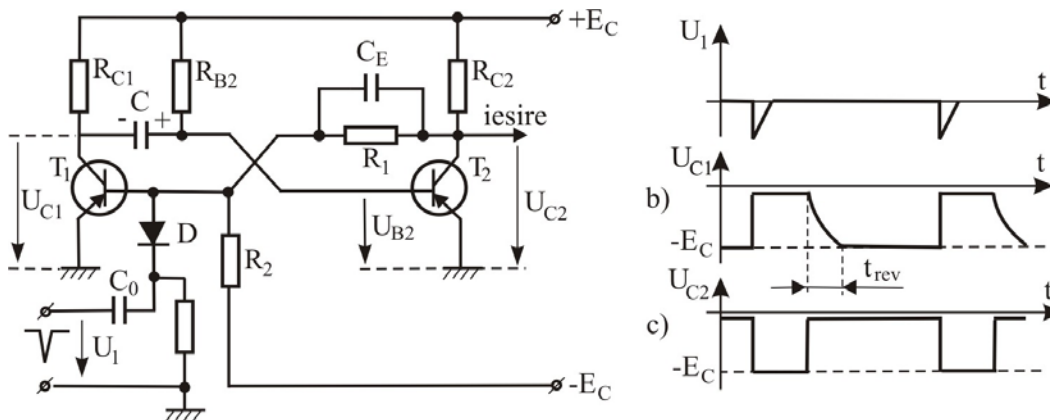


Figura 2. Circuitului basculant monostabil cu cuplaj colector-bază

Din figura 2 se observă că circuitul basculant monostabil nu este simetric; partea din stânga (obținută în ipoteza că figura ar fi secționată după axa trasată cu linie-punct) este jumătate dintr-un circuit basculant stabil, iar partea din dreapta este jumătatea dintr-un circuit basculant bistabil.

În starea inițială stabilă, la aplicarea tensiunii de alimentare E_C , tranzistorul T_1 este blocat iar T_2 conduce la saturație, încât potențialul din colectorul T_2 este neglijat (deci tensiunea de ieșire este practic nulă).

Prin rezistorul R_{C1} și joncțiunea emitorului, deschisă, a tranzistorului T_2 , condensatorul C (de temporizare) se încarcă la o tensiune egală cu E_C , polaritatea fiind cea din figura. La aplicarea prin dioda D a unui impuls negativ u_1 pe baza tranzistorului T_1 , aceasta intră în conducție, tensiunea de colector u_{c1} variază printr-un salt pozitiv care se transmite prin condensatorul C pe baza tranzistorului T_2 și acesta iese din saturație. Pe colectorul tranzistorului T_2 apare un salt negativ de tensiune care se aplică pe baza tranzistorului T_1 prin divizorul rezistiv R_1, R_2 . Se produce un proces tranzitoriu în avalanșă, în urma căruia tranzistorul T_1 se deschide la saturație iar T_2 se blochează.

În timpul cât durează această stare cvasistabilă, condensatorul C se descarcă prin rezistența R_{B2} și tinde să se încarce tot la valoarea tensiunii de alimentare E_C , dar cu polaritatea inversată. În momentul când tensiunea pe condensatorul C devine egală cu tensiunea de deschidere a tranzistorului T_2 , acesta se deschide, iar circuitul trece din salt din starea cvasistabilă în starea stabilă (inițială).

Intervalul de timp în care condensatorul de temporizare C se reîncarcă prin rezistența de colector R_{C1} constituie timpul de revenire în starea inițială și se calculează cu relația:

$$t_{rev} = (3 - 5) * CR_{C1}$$

Circuitele basculante monostabile se utilizează frecvent în scheme de formare a impulsurilor dreptunghiulare cu durata dată, în relee electronice de timp, ca elemente de momorie temporară și de întârziere a unor impulsuri.

C. Circuitele basculante astabile, cunoscute și sub denumirea de multivibratoare, n-au nici o stare de echilibru stabil, ci basculează continuu, automat, de la o stare echilibru instabil (cvasistabil) la alta, figura 3.

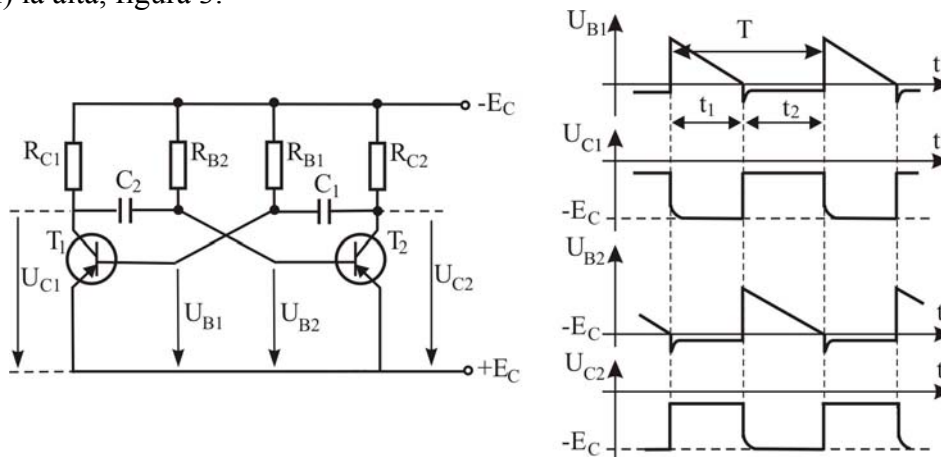


Figura 3. Circuit basculant astabil

Comparând schema multivibratorului, figura 3 cu cea a circuitului basculant bistabil simetric figura 1, se observă ca rezistoarele (cuplajele de curent continuu) din schema

bistabilului au fost înlocuite cu condensatoare (cuplaje de curent alternativ), iar bazele tranzistoarelor din circuitul astabil se polarizează negativ prin rezistoarele R_{B1} și R_{B2} , pentru ca ambele tranzistoare să poată conduce simultan în momentul inițial.

Procesele tranzitorii de încărcare și descărcare a condensatoarelor C_1 și C_2 conduc la formele de undă ale tensiunilor reprezentate în figura 3.

La multivibratoarele simetrice (cu $R_{C1}=R_{C2}=R_C$, $R_{B1}=R_{B2}=R_B$ și $C_1=C_2=C$) durata de blocare este aceeași pentru ambele tranzistoare, adică:

$$t_1 = t_2 = \frac{T}{2} \approx 0,69R_B C = 0,69\tau$$

unde $\tau = R_B C$ este constanta de timp a circuitului de descărcare a condensatorului C de reacție pozitivă. Rezultă că, la multivibratoarele simetrice frecvența de repetiție a impulsurilor este:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_1 + t_2} \approx \frac{1}{1,38CR_B}$$

iar amplitudinea impulsurilor, cu aproximațiile făcute, este egală cu tensiunea de alimentare E_C .

Deoarece la începutul descărcării condensatorului tensiunea între colector și bază la tranzistorul blocat este practic egală cu dublul tensiunii de polarizare a joncțiunii colectorului ($U_{CB} \approx 2E_C$), tranzistoarele folosite la realizarea multivibratorului trebuie să îndeplinească condiția $U_{CB \max} > 2E_C$.

Uzual, la multivibratoarele simetrice, $R_C = 1-3 \text{ k}\Omega$ iar $R_B \leq \beta R_C$, unde β este factorul de amplificare în curent al tranzistorului (în conexiune EC).

Întrucât produce la ieșire un semnal de formă aproximativ dreptunghiulară și frecvență fixă, circuitul basculant astabil are largi aplicații în tehnica circuitelor logice (tehnica de calcul) și în numeroase instalații de automatizare, fiind utilizat în special pentru generarea semnalelor de sincronizare sau de tact.

De asemenea, multivibratoarele sunt larg utilizate și cu rol de „sintetizoare electornice”, în care caz ele generează semnale electrice cu caracteristici impuse de diverse aplicații. Uneori este necesar ca, după sintetizare, semnalul electric generat de circuitul basculant astabil să fie amplificat și apoi convertit într-un semnal acustic.

2. PROCEDEUL EXPERIMENTAL

Se vor utiliza următoarele piese și echipamente:

- platforme experimentale;
- osciloscop;
- generatorul de semnale sinusoidale;
- surse de tensiune de 30Vcc;
- fire pentru realizarea conexiunilor.

Se va realiza un circuit **trigger Schmidt** cu montajul ca în figura 4.

Folosind schema platformei figura 8, realizați un circuit de tip trigger Schmidt. Comanda acestuia se realizează cu tensiune sinusoidală. Conectați alimentarea, reglați sursa de tensiune la

$24V_{CC}$, amplitudinea semnalului de la generatorul de semnal sinusoidal la 10V, iar frecventa la 1kHz. Vizualizati pe osciloscop semnalul la borna 5. Apoi mutati sonda osciloscopului la borna 4 si vizualizati semnalul sinusoidal de comanda, sub cel de iesire. Variati frecventa semnalului de intrare intre 100Hz si 10kHz, iar apoi amplitudinea lui intre 1V si 10V si urmariti semnalul de iesire.

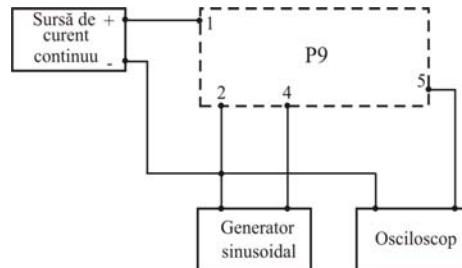


Figura 4. Montajul pentru circuitul **trigger Schmidt**

Se va realiza un circuit **astabil (generator de impulsuri)** cu montajul ca in figura 5.

Folosind schema platformei realizati un circuit de tip astabil. Conectati alimentarea, reglati sursa de tensiune la $24V_{CC}$, si urmariti pe osciloscop semnalul la borna 5 care trebuie sa fie dreptunghiular. Reglati R_9 si R_{12} astfel incat pauza dintre impulsuri sa fie egale. Observati becul H_1 .

Reglati din nou R_9 si R_{12} asimetrizand intr-un sens si altul impulsurile si observati din nou becul. Scurcircuitati bornele 3 cu 8 si 7 cu 6 si veti observa crestrea sensibila a duratei impulsurilor care nu se mai pot vizualiza pe osciloscop intr-un mod coerent, dar pot fi observate cu ajutorul becului H_1 .

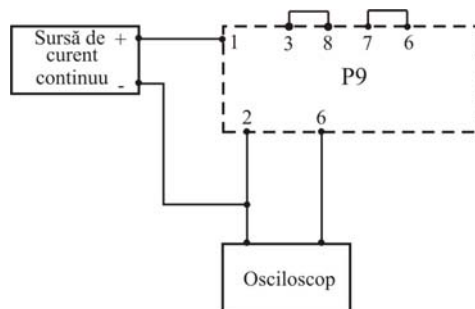


Figura 5. Montajul pentru circuitul **astabil (generator de impulsuri)**

Se va realiza un circuit **monostabil (circuitul de temporizare)** cu montajul ca in figura 6. Folosind schema platformei realizati un circuit de tip **monostabil**. Conectati alimentarea, reglati sursa de tensiune la $24V_{CC}$, si apasati pe butonul B_1 si observati becul H_2 care se va aprinde pentru o anumita durata de timp (durata de temporizare) cat dureaza impulsul monostabil. Se regleaza durata acestuia cu ajutorul potentiometrului R_{25} .

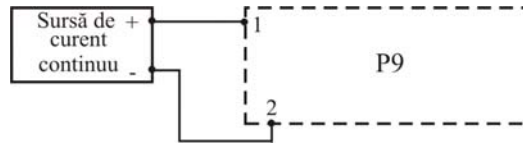


Figura 6. Montajul pentru circuitul **monostabil (circuitul de temporizare)**

Se va realiza un circuit **bistabil (memorie)** cu montajul ca in figura 7.

Folosind schema platformei realizati un circuit de tip **bistabil**. Conectati alimentarea, reglati sursa de tensiune la $24V_{CC}$, si apasati pe butonul B_3 si veti observa ca becul H_3 se stinge. Apasati butonul B_2 si veti observa ca becul H_3 se aprinde.

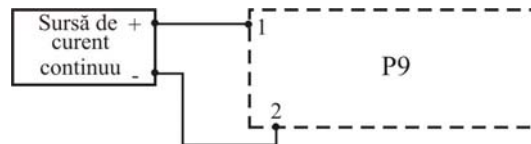


Figura 7. Montajul pentru circuitul **bistabil (memorie)**

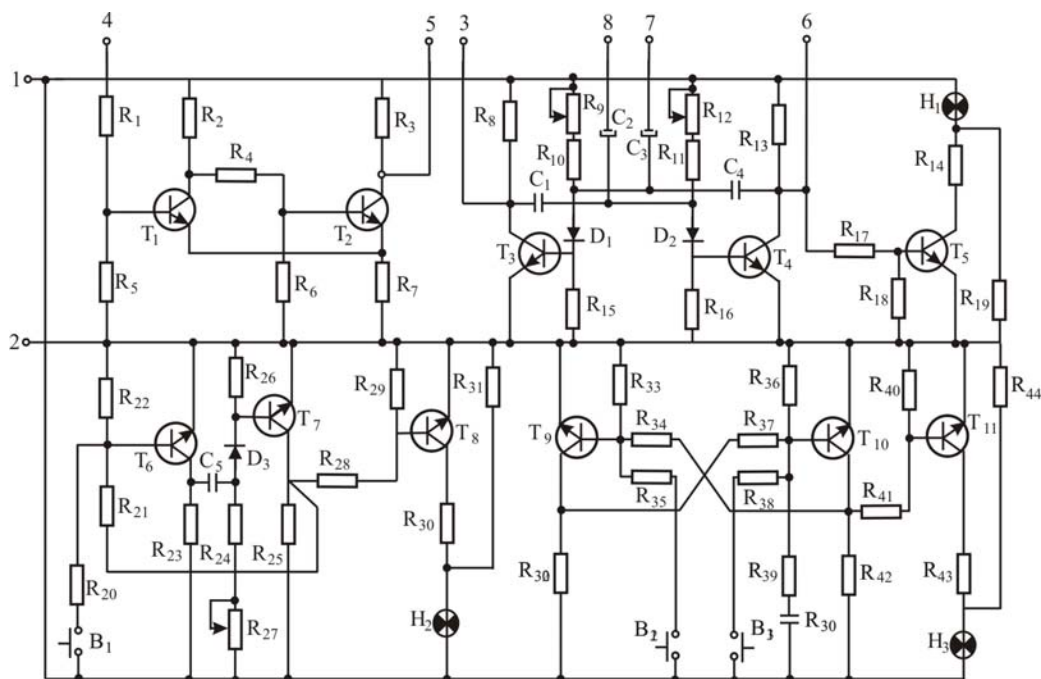


Figura 8. Configuratia platformei experimentale

Bibliografie:

1. S. Harghel, M. Mart, A. Simion, si alti, Electrotehnica si electronica industrială, Institutul politehnic Iasi, 1984.
2. C. Miroiu, V Olaru Lucrari practice de componente si circuite electronice, Editura didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1983.