

LUCRAREA DE LABORATOR NR.1**PROTECȚIA MUNCII. PREZENTAREA LABORATORULUI.****1. OBIECTIVE**

- 1.1. Prezentarea Legislației în domeniul securității și sănătății în muncă.
- 1.2. Prezentarea Normelor de protecția muncii în laboratoarele școlare.
- 1.3. Prezentarea Normelor de Protecție a Muncii specifice în Laboratorul de Electronică analogică.
- 1.4. Prezentarea laboratorului de electronică analogică.

2. PROTECȚIA MUNCII**2.1. Legislația în domeniul securității și sănătății în muncă**

În ultimii ani, legislația română în domeniul securității și sănătății în muncă a suferit multe modificări în sensul transpunerii legislației europene în domeniu. Se poate afirma că în acest moment un angajat român este apărut de aceleași prevederi legislative ca și lucrătorii din Uniunea Europeană.

Principalele acte normative în domeniul securității și sănătății în muncă sunt:

- Constituția României 2003, art. 34 și 41.
- Legea 53/2003, Codul muncii, art. 171 – 187.
- Legea securității și sănătății în muncă nr. 319/2006, publicată în Monitorul Oficial al României nr. 646 din 26 iulie 2006.
- Normele generale de protecție a muncii 2002.
- Reglementări și bune practici în domeniul securității și sănătății în muncă, 2005.
- Legea nr. 360/2003 privind regimul substanțelor și preparatelor chimice periculoase.
- HG nr.971/2006 privind cerințele minime pentru semnalizarea de securitate și/sau de sănătate la locul de muncă.
- HG nr.1048/2006 privind cerințele minime de securitate și sănătate pentru utilizarea de către lucrători a echipamentelor individuale de protecție la locul de muncă.
- HG nr. 1091/2006 privind cerințele minime de securitate și sănătate pentru locul de muncă.
- HG nr. 1425/2006 pentru aprobarea Normelor metodologice de aplicare a prevederilor Legii securității și sănătății în muncă nr.319/2006.

2.2. Terminologia în domeniul securității și sănătății în muncă

Protecția muncii are ca principal scop prevenirea accidentelor de muncă și a bolilor profesionale prin măsuri menite să elimine, să evite sau să diminueze acțiunea factorilor de risc asupra organismului uman. Terminologia în domeniul securității și sănătății în muncă cuprinde ca și elemente principale următoarele noțiuni:

- *Factori* - însușiri, stări, procese, fenomene, comportamente proprii elementelor implicate în procesul de muncă și care pot provoca accident de muncă și/sau boli profesionale.
- *Evenimentul* - reprezintă orice accident care a antrenat vătămări corporale sau decesul, orice incident periculos care s-a produs pe teritoriul persoanei juridice / fizice sau la orice loc de muncă.
- *Risc* – probabilitatea ca evenimentul de muncă să se producă.
- *Factori de risc* – cauze potențiale ale accidentelor de muncă și bolilor profesionale. După producerea acestor evenimente negative, factorii de risc se transformă în cauze ale accidentelor și bolilor profesionale.

- *Factor periculos* – factor de risc a cărui acțiune asupra executantului duce, în anumite condiții, la accidentarea acestuia.
- *Factor nociv* – factor de risc a cărui acțiune asupra executantului duce, în anumite condiții, la îmbolnăvirea acestuia.
- *Pericol* – situație, întâmplare care pune sau poate pune în primejdie existența sau integritatea angajatului.

2.3. Norme de protecția muncii specifice laboratoarelor școlare

Laboratoarele școlare sunt locurile în care studenții sunt mult expuși riscurilor cauzate de existența reactivilor chimici, ustensilelor de laborator și aparatelor electrice/electronice.

Pentru prevenirea situațiilor periculoase se vor avea în vedere următoarele reguli generale:

- Instrucțiunile scrise să fie afișate la loc vizibil și regulile de securitate evidențiate;
- Instrucțiunile de securitate să fie prezentate verbal și comunicate la începutul fiecărui experiment;
- Elaborarea unui set de fișe tehnice de securitate pentru reactivii chimici periculoși folosiți astfel încât proprietățile fizico-chimice și toxicologice, efectele asupra sănătății, măsurile de protecție necesare la manipularea lor și procedurile de urgență să fie cunoscute;
- Laborantul trebuie să aibă un comportament exemplar din punct de vedere al securității în muncă;
- Să existe o supraveghere suficientă a studenților în orice moment;
- Trebuie purtat echipamentul individual de protecție și îmbrăcămintea de lucru adecvată;
- Aparatura electrică/electronică să fie verificată și întreținută în mod regulat, aparatele electrice să aibă împământare;
- Reactivii chimici și ustensilele de laborator să fie depozitați în locuri sigure pentru a preveni utilizarea lor neautorizată;
- Laboratoarele școlare să fie ventilate și iluminate corespunzător, să aibă un nivel adecvat de umiditate, spațiu suficient și să fie curate;
- Pardoselile să fie bine întreținute, păstrate curate pentru reducerea riscurilor de alunecare și împiedicare;
- Să fie asigurată dotarea corespunzătoare pentru prim ajutor pentru utilizare în cazul unui eveniment sau situație de urgență.
- Să fie asigurate măsurile și mijloacele de prevenire a incendiilor.

Norme specifice pentru studenți:

- Materialele didactice, reactivii chimici și ustensilele folosite în laboratoarelor școlare se vor utiliza numai sub supravegherea profesorului/laborantului.
- Nu vor introduce obiecte în prizele electrice.
- Vor avea grijă de mobilierul și mijloacele didactice din dotarea laboratoarelor.

2.4. Norme de protecție a muncii specifice în laboratorul de electronică analogică

1. În laborator nu se intră decât însoțit de profesor.
2. Aparatura nu se utilizează înainte de a primi instrucțiunile de utilizare de la profesor.
3. Aparatura electronică nu se pornește fără acordul profesorului.
4. Jocurile cu orice fel de aparatură sunt complet interzise.
5. Aparatura se utilizează doar în parametri normali și nu se va încerca forțarea acesteia în vederea obținerii unor rezultate mai bune.
6. Efectuarea montajelor la mesele de lucru nu se va face decât cu întreruptoarele de alimentare închise.
7. Pentru a evita deteriorarea consumatorilor aleși și a accidentelor cauzate de acestea, se va urmări ca tensiunea de alimentare să corespundă cu tensiunea nominală a acestora.

9. După începerea lucrării la montajul aflat sub tensiune se interzice atingerea cu mâna a părților neizolate.
 10. Se vor lega la pământ toate părțile metalice ale instalației utilizate.
 11. Nu se va încerca nici un fel de operațiune de modificare/reparare a aparaturii. Orice defecțiune se va sesiza profesorului.
 12. La apariția oricărui defect pe durata efectuării unui montaj, se anunța imediat profesorul.
 13. Sub nici o formă nu se va atinge partea metalică a letconului, chiar dacă acesta este oprit, existând posibilitatea ca acesta să fie încă fierbinte.
 14. Nu se scutura letconul în jurul altor persoane.
 15. Este interzisă atingerea simultană cu ambele mâini a părților metalice aflate sub tensiune.
 16. Nu se va sta cu ochii în fumul degajat la lipire.
 17. Intre două lipituri cu letconul, acesta va fi plasat în suportul special destinat pentru el (nu se lasă pe masă sau pe alte materiale).
 18. Orice modificare a montajului se va face după scoaterea lui de sub tensiune.
 19. Deconectarea consumatorilor aflați în sarcină se va face numai de la sursa de alimentare.
 20. În cazul în care în montajul lucrării sunt incluse condensatoare, este interzis a se atinge chiar și după scoaterea lor de sub tensiune, deoarece condensatoarele continuă să rămână încărcate. De aceea după terminarea lucrării, condensatoarele se vor descărca scurtcircuitând terminalele prin atingerea cu un conductor metalic. Operația se va repeta de 2-3 ori până la descărcarea completă.
 21. La sfârșitul lucrării toată aparatura trebuie deconectată.
 22. La terminarea lucrării nu se va începe desfacerea montajului decât după ce se vor opri întrerupătoarele de alimentare astfel încât nici o bornă a aparatului și nici un conductor care face parte din montaj să nu se afle sub tensiune.
 23. După prelucrarea normelor de protecție a muncii se face un tabel nominal cu studenții pentru luarea la cunoștință a prelucrării acestor norme.
- Am luat la cunoștință și sunt de acord cu Normele de Protecție a Muncii în cadrul Laboratorului de Electronică analogică:

Tabelul 1.1. Tabel nominal cu studenții pentru luarea la cunoștință a prelucrării normelor de protecție a muncii.

Nr. Crt.	Nume și Prenume	Grupa	Data	Semnătura
1		IELAL1		
2		IELAL1		
3		IELAL1		
4		IELAL1		
5		IELAL1		
6		IELAL1		
7		IELAL1		
8		IELAL1		
9		IELAL1		
10		IELAL1		
11		IELAL1		
12		IELAL1		
13		IELAL1		
14		IELAL1		
15		IELAL1		

3. PREZENTAREA LABORATORULUI DE ELECTRONICĂ ANALOGICĂ.

Scopul lucrării îl constituie prezentarea standului DEGEM utilizat în dezvoltarea aplicațiilor practice și studiul funcționării și utilizării principalelor aparate folosite pe parcursul desfășurării experimentelor practice descrise în cadrul prezentului material. Se detaliază aspecte legate de multimetrul digital, generatorul de semnal, sursele de tensiune continuă și osciloscopul cu 2 spoturi.

3.1. Multimetrul digital

Este un aparat destinat măsurării mai multor mărimi electrice, în principal tensiunea și curentul electric (curent alternativ sau curent continuu), a rezistenței electrice, etc. Prin urmare acest aparat poate fi folosit, în principal, ca și voltmetru, ampermetru sau ohmetru. Unele multimetre dispun și de posibilitatea măsurării capacității electrice, a inductivității, a frecvenței unui semnal electric, a factorului β la tranzistoarele bipolare sau se pot folosi la testarea continuității unui circuit.

Observații pentru buna utilizare a multimetrului digital:

- Asigurați-vă că domeniul selectat și bornele aparatului la care sunt legate cablurile de măsură sunt corespunzătoare tipului de măsurătoare ce se dorește a fi efectuată.
- Nu folosiți multimetrul dacă el sau cablurile de măsură prezintă fisuri.
- Nu măsurați rezistența electrică într-un circuit aflat sub tensiune.
- Nu atingeți terminalele metalice ale cablurilor de măsură în momentul efectuării măsurătorii.
- Se vor manipula cu atenție sporită circuitele în care tensiunea depășește 60V(cc) sau 30V (ca) deoarece există pericol de electrocutare.

3.2. Generatorul de semnal

Este un aparat destinat generării unui semnal periodic, de amplitudine, offset, frecvență și formă care pot fi ajustate.

Este un aparat capabil să genereze semnale de formă sinusoidală, dreptunghiulară și triunghiulară cu frecvența cuprinsă între 0,05Hz și 50MHz și amplitudine 10V_{vv} pe o sarcină de 50 Ω sau 20V_{vv} în gol. Alegerea formei semnalului se face din comutatorul formei de semnal. Reglajul frecvenței se face în decade, brut, sau fin, folosind butoanele corespunzătoare de pe panoul frontal al standului. Amplitudinea semnalului se modifică din butonul *Amplitude*.

3.3. Sursele de tensiune continuă

Sunt destinate alimentării cu tensiune continuă, stabilizată, a montajelor electronice. În principal standul prezintă două surse independente, cu tensiunea reglabilă în mod continuu între 0 și 12V, două surse de tensiune fixă de 12V și o a treia sursă de 5V, utilizată în lucrările cu circuite TTL. Aparatul poate fi utilizată ca o sursă de tensiune reglabilă între 0 și 24V dacă se leagă în serie sursa PS-1 și sursa PS-2.

3.4. Osciloscopul

Osciloscopul este un aparat destinat vizualizării și aprecierii calitative și cantitative a semnalelor cu o variație periodică în timp sau staționare. Funcționarea sa este bazată pe utilizarea tubului catodic. Se folosește deflexia electrostatică pentru deplasarea pe verticală și orizontală a fascicolului de electroni generat de un tun electronic. Impactul fascicolului de electroni cu luminoforul (substanța fotoemisivă) determină efectul vizual.

Vizualizarea formei de variație în timp a unor tensiuni cu osciloscopul presupune aplicarea pe plăcile X (de deflexie orizontală) a unei tensiuni liniar variabile iar pe plăcile Y a semnalul de vizualizat. Imaginea pe ecran va fi stabilă dacă frecvența de repetiție a tensiunii liniar variabile este multiplu/submultiplu întreg față de frecvența semnalului de vizualizat. Sincronizarea poate fi realizată și în regim declanșat când baza de timp generează tensiunea liniar variabilă numai corelat cu un semnal de sincronizare.

Principalele aspecte legate de utilizarea osciloscopul catodic se referă la:

- Punerea în funcțiune a osciloscopului.
- Modul de măsurare a tensiunilor variabile și fixe.
- Măsurarea perioadei unui semnal și determinarea frecvenței acestuia.
- Măsurarea defazajului și a raportului de frecvențe dintre două semnale.

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

4.1. Se vor identifica elementele de reglaj și de comandă ale sursei de tensiune continuă și ale multimetrului de pe standul DEGEM.

4.2. Se conectează multimetrul la sursa de tensiune continuă stabilizată PS-1 și se măsoară valoarea acesteia pentru diferite poziții ale butonului de reglaj.

4.3. Se urmărește setarea unei tensiuni de 10V la bornele sursei PS-2. Pentru măsurarea unei tensiuni, voltmetrul se va conecta în paralel cu consumatorul a cărei tensiune la borne se dorește a fi determinată.

4.4. Se vor experimenta modurile de conexiune ale celor două surse de tensiune continuă pentru a obține o tensiune maximă.

4.5. Se vor identifica elementele de reglaj și de comandă ale generatorului de funcții și ale osciloscopului.

4.6. Se vor efectua măsurători de amplitudine și frecvență pentru diverse semnale, generate cu ajutorul generatorului de semnal.

LUCRAREA DE LABORATOR NR.2

CARACTERISTICILE DIODEI CU JONCTIUNE

1. OBIECTIVE

După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să aveți aptitudinea :

- 1.1 De a măsura căderea de tensiune și curentul prin dioda polarizată direct.
- 1.2 De a măsura căderea de tensiune și curentul prin dioda polarizată invers.
- 1.3 De a desena caracteristica statică a unei diode.
- 1.4 De a determina rezistența dinamică a unei diode.
- 1.5 De a găsi un model pentru o diodă polarizată invers.

2. ECHIPAMENT NECESAR

- multimetre de cc.
- osciloscop cu două spoturi.
- cadru de bază PU-2000.
- placă EB-111.
- placă de bază.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

3.1. Noțiuni de bază

Structura și simbolul unei diode semiconductoare sunt prezentate în figura 2.1.

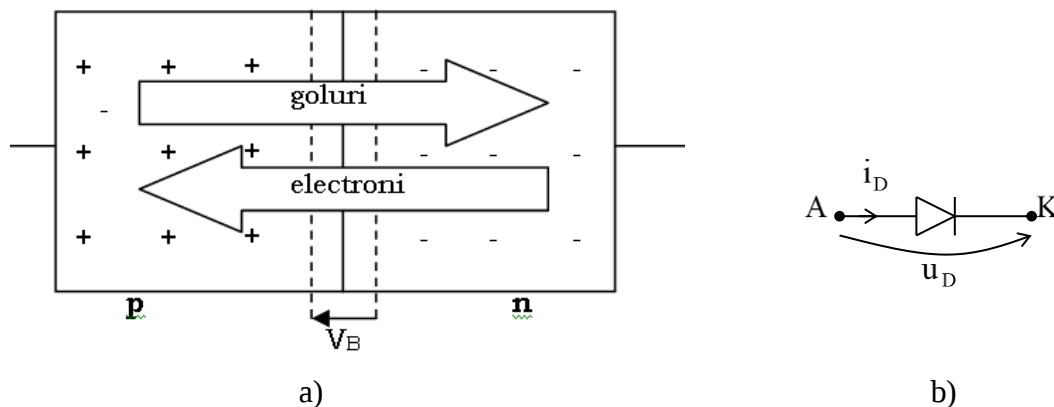


Fig.2.1.Structura a) și simbolul unei diode semiconductoare b).

Ecuția diodei semiconductoare este dată de relația 2.1.

$$i_D = I_S \left(e^{\frac{u_D}{\eta U_T}} - 1 \right) \quad (2.1)$$

unde :

- I_s este curentul invers de saturație (are valori de ordinul nA la diodele cu siliciu de mică putere)
- η = factorul de idealitate $\eta = 1$ la Ge și Si, $\eta = 2$ la GaAs
- $U_T = \frac{KT}{2}$ este tensiunea termică $U_T = 25\text{mV}$ la $T = 297^\circ\text{K}$ (temperatura camerei).

În conducție directă

$$u_D > 0, \quad i_D \cong I_s \cdot e^{\frac{u_D}{\eta U_T}}, \text{ dacă } u_D \gg U_T \quad (2.2)$$

$$\text{În conducție inversă } u_D < 0, \quad i_D \cong -I_s, \text{ dacă în valoare absolută } u_D \gg U_T \quad (2.3)$$

Prin logaritmare a ecuației diodei obținem expresia tensiunii pe diodă:

$$u_D = \eta \cdot U_T \cdot \ln \frac{i_D + I_s}{I_s} \quad (2.4)$$

La curenți mari se ține cont și de căderile de tensiune pe zonele neutre ale joncțiunii diodei astfel că expresia tensiunii pe diodă devine:

$$u_D = r_D \cdot i_D + \eta \cdot U_T \cdot \ln \frac{i_D + I_s}{I_s} \quad (2.5)$$

unde, r_D este rezistența zonelor neutre.

3.2. Modelele echivalente pentru dioda semiconductoră

3.2.1. Modelul de semnal mare

Regimul de semnal mare este regimul în care dioda trece în timpul funcționării circuitului de la blocare la conducție și invers, în condițiile unei amplitudini corespunzătoare a semnalului de intrare care să permită acest lucru.

Dioda are trei modele echivalente posibile:

- 1) Modelul exact prezentat în figura 2.2.

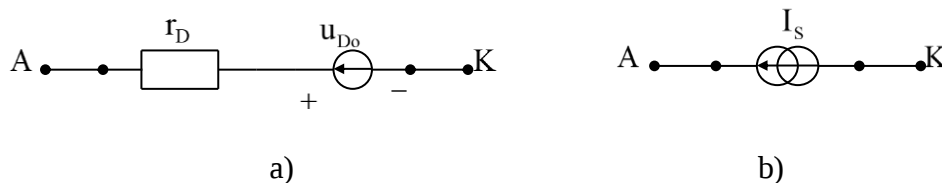


Fig.2.2. Modelul exact al diodei semiconductoră: a) în conducție directă și b) în stare blocată

unde, r_D este rezistența diferențială de semnal mare definită cu relația (2.6) și are valori tipice ohmi-zeci de ohmi:

$$r_D = (U_{D\max} - U_{D\min}) / (I_{D\max} - I_{D\min}) \quad (2.6)$$

Tensiunea $U_{D0} \cong 0,7\text{V}$ la siliciu și $U_{D0} \cong 0,2-0,3\text{V}$ la germaniu.

Cele două stări sunt prezentate în figura 2.3.

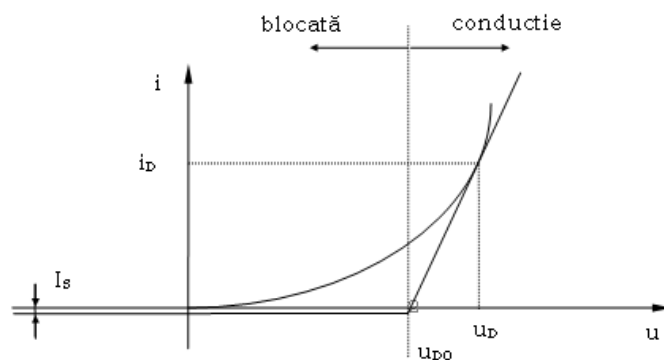


Fig.2.3. Reprezentarea grafică a stărilor diodei la modelul exact.

2) Modelul aproximativ prezentat în figura 2.4.



Fig.2.4. Modelul aproximativ al diodei semiconductoare: a) în conducție directă și b) în stare blocată.

Cele două stări ale modelului aproximativ sunt prezentate în figura 2.5.

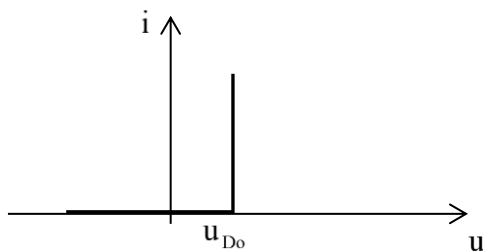


Fig.2.5. Reprezentarea grafică a stărilor diodei la modelul aproximativ.

3) Modelul ideal prezentat în figura 2.6.

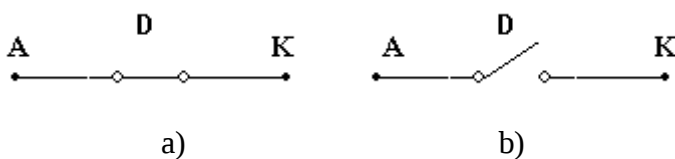


Fig.2.6. Modelul ideal al diodei semiconductoare: a) în conducție directă și b) în stare blocată.

Cele două stări ale modelului ideal sunt prezentate în figura 2.7:

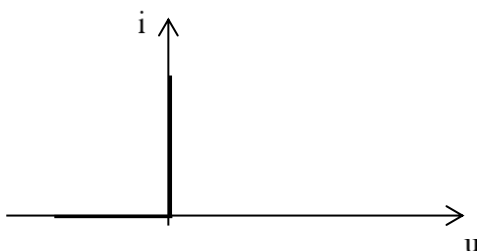


Fig.2.7. Reprezentarea grafică a stărilor diodei la modelul ideal.

3.2.2. Modelul de semnal mic

Regimul de semnal mic este regimul asociat cu un punct static de funcționare definit de o pereche de valori I_D , U_D legate între ele prin ecuația diodei peste care se suprapune o variație de curent, respectiv de tensiune, de amplitudine mult mai mică decât valoarea continuă din punctul static de funcționare (PSF). Practic pentru a putea aproxima caracteristica diodei cu tangenta dusă la aceasta în PSF trebuie ca $u_D \leq U_T$.

Reprezentarea echivalentă a diodei este prezentată în figura 2.8:

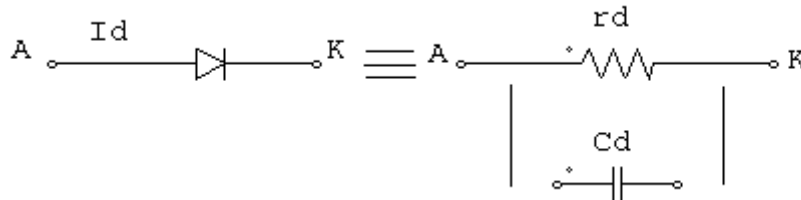


Fig.2.8. Reprezentarea echivalentă a diodei la modelul pentru semnal mic.

unde: - r_d este rezistența diferențială de semnal mic

$$r_d = \frac{\eta \cdot U_T}{I_D} \quad (2.7)$$

unde I_D este curentul continuu din punctul static de funcționare al diodei

3.3. Punctul static de funcționare.

Diodele semiconductoare pot îndeplini în circuitele electronice mai multe funcții (redresare, detecție, limitare etc.), în multe din aceste situații fiind necesară stabilirea unui regim static de funcționare.

Pentru circuitul cu diodă din figura 2.9.a), punctul static de funcționare se determină prin rezolvarea sistemului de ecuații format din ecuația caracteristicii statice a diodei și ecuația dreptei de sarcină, figura 2.9.b).

$$u_A = E - R \cdot i_A \quad (2.8)$$

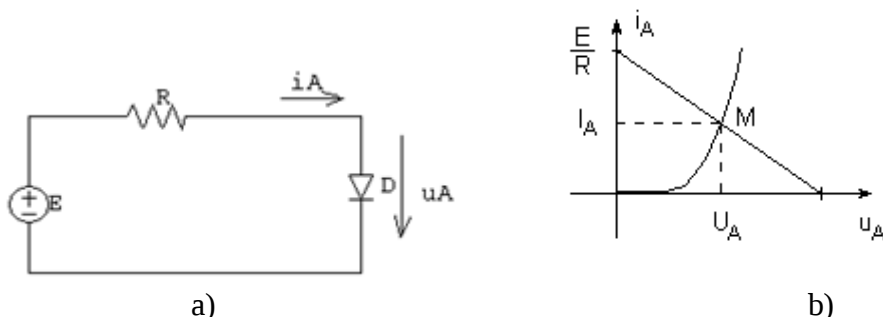


Fig.2.9.Determinarea punctului static de funcționare: a) circuitul cu diodă, b) reprezentarea grafică.

Punctul static de funcționare, M, are coordonatele $M(U_A, I_A)$, iar în acest punct de funcționare, dioda este caracterizată, din punct de vedere al semnalelor lent variabile, printr-o rezistență dinamică, determinată cu relația:

$$r_d = \frac{\eta \cdot U_T}{I_D} \quad (2.9)$$

Rezistența dinamică, r_d , se determina, experimental, prin calculul pantei caracteristicii statice în punctul static de functionare, M , conform relației :

$$r_d = \frac{\Delta u_A}{\Delta i_A} \text{ (M)} \quad (2.10)$$

Dioda este un dispozitiv neliniar, graficul $I=f(V)$ evidențiind acest lucru. Panta tangentei la această curbă, în orice punct al ei reprezintă rezistența dinamică a diodei.

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

1. Pe placa EB-111 localizați circuitul care conține dioda D1 (stânga sus). Conectați multimetrul, setat pe mA curent continuu, ca în figura 2.10 pentru a măsura curentul I_F prin diodă.
2. Conectați multimetrul, setat pe tensiune continuă, ca în figura 2.10 pentru a măsura tensiunea V_F pe diodă.

4.1. Polarizare directă

3. Ajustați, din sursa reglabilă de tensiune PS-1 tensiunea pe diodă, V_F , pentru valorile din tabelul 2.1 .
4. Măsurați curentul prin circuit I_F , corespunzător pentru fiecare valoare a tensiunii V_F și treceți în tabelul 2.1.

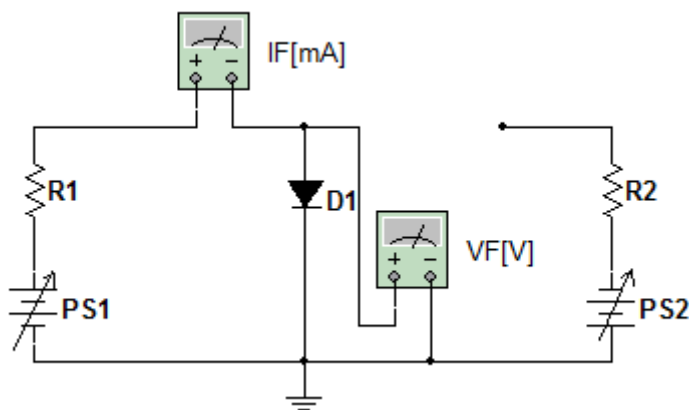


Fig. 2.10 Polarizarea directă a diodei

Tabelul 2.1. Curentul prin diodă.

$V_F(V)$	0	0,2	0,4	0,5	0,6	0,62	0,64	0,66	0,68	0,7	0,72	0,74
$I_F(mA)$												

5. Desenați graficul $I_F=f(V_F)$ în figura 2.11.

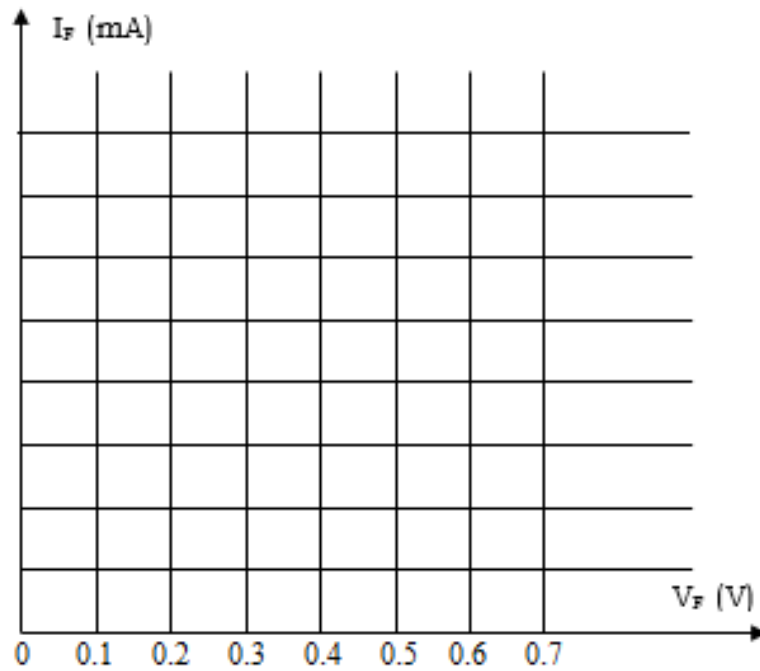


Fig. 2.11. Caracteristica statică a diodei la polarizare directă

6. Din grafic determinați rezistența dinamică în punctele $V_F=0,5V$ și $V_F=0,66V$ utilizând relația (2.10)

$r_d(0,5V)=\dots\dots\dots$

$r_d(0,66V)=\dots\dots\dots$

7. Calculați rezistența dinamică folosind relația (2.9) unde $\eta = 2$, $U_T = 25mV$ și I_D curentul corespunzător celor două valori ale tensiunii. Comparați rezultatele.

$r_d(0,5V)=\dots\dots\dots$

$r_d(0,66V)=\dots\dots\dots$

4.2. Polarizare inversă

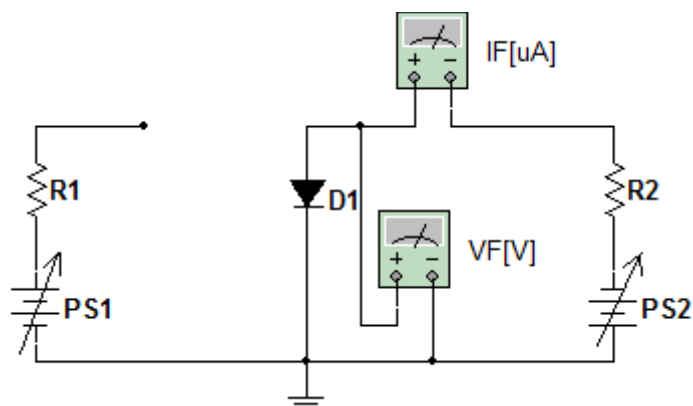


Fig. 2.12. Polarizarea inversă a diodei

8. Modificați circuitul ca în figura 2.12.
9. Ajustați din PS-2 tensiunea sursei la valorile din tabelul 2.2.
10. Măsurăți curentul în circuit pentru tensiunile specificate și treceți valorile în tabelul 2.2.

Tabelul 2.2. Curentul invers prin diodă.

VPS-2(V)	0	-1	-5	-10
I_F (μ A)				

11. Desenați graficul pentru polarizare inversă în figura 2.13.

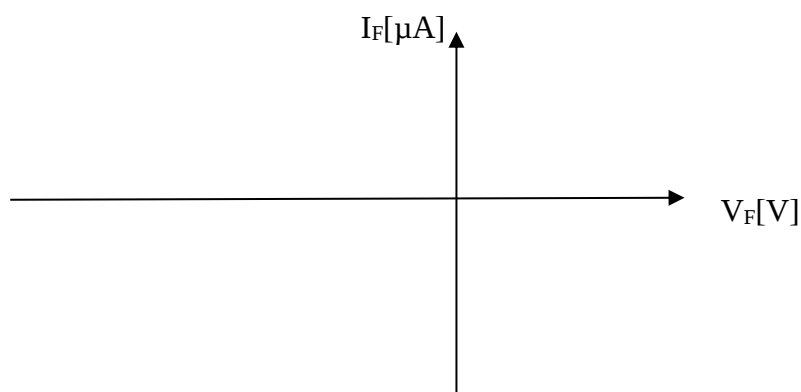


Fig.2.13.Caracteristica statică a diodei la polarizare inversă

4.3. Aplicația software

12. Lansați programul MULTISIM.
 13. Creați un proiect nou intitulat „L2- Dioda cu joncțiuni”. Atenție proiectul trebuie creat în directorul de lucru al echipei din care faceți parte(ex. EA1\Echipa1).
 14. Realizați circuitele din figurile 2.10 și 2.12. și efectuați simulări pentru câte una din valorile din tabelele 2.1 și 2.2. Salvați rezultatele într-un fișier Word.
 15. Comparați rezultatele obținute experimental cu cele obținute prin simularea software.
- NOTĂ: Valorile componentelor pentru aplicația software le găsiți în Anexa 1.

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 3

DIODA CA REDRESOR

1. OBIECTIVE

După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să aveți aptitudinea :

- 1.1 De a utiliza un osciloscop pentru vizualizarea formelor de undă.
- 1.2 De a stabili dacă dioda se comportă ca o diodă ideală.
- 1.3 De a desena caracteristica de transfer a redresorului.

2. ECHIPAMENT NECESAR

- generator de semnal.
- osciloscop cu două spoturi.
- cadru de bază PU-2000.
- placă EB-111.
- placă de bază.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

Redresarea reprezintă un procedeu de transformare a tensiunii alternative în tensiune continuă. În funcție de numărul de faze ale transformatorului, redresoarele se pot clasifica în: redresoare monofazate (folosite la puteri mai mici, de până la 1KW) și redresoare polifazate (folosite la puteri mari, de peste 1KW). În funcție de numărul de alternanțe redresate se deosebesc cele de tip monoalternanță, când se redresează o singură alternanță, respectiv cele dublă alternanță, când sunt redresate ambele alternanțe.

Un redresor monofazat are schema bloc din fig. 3.1. Transformatorul modifică mărimea tensiunii alternative și izolează circuitul de rețea, blocul redresor conține elemente de circuit care realizează redresarea propriu-zisă prin aceea că permit conducția curentului numai într-un sens iar filtrul reduce pulsațiile formei de undă.

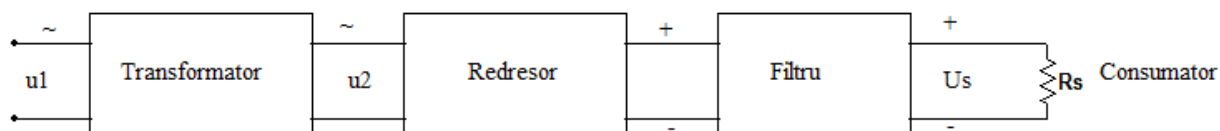


Fig. 3.1. Schema bloc a redresorului monofazat

3.1. Redresorul monofazat monoalternanță

Redresoarele monofazate monoalternanță se conectează la rețeaua de 220V/50Hz prin intermediul unui transformator monofazat și au schema din figura 3.2. Formele de undă aferente funcționării pot fi urmărite în fig.3.3.

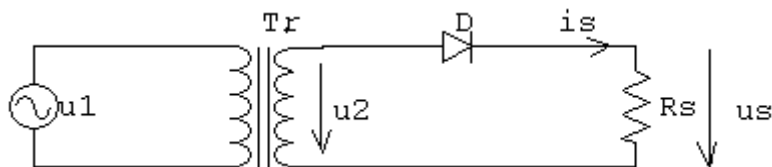


Fig. 3.2. Redresor monofazat monoalternanță.

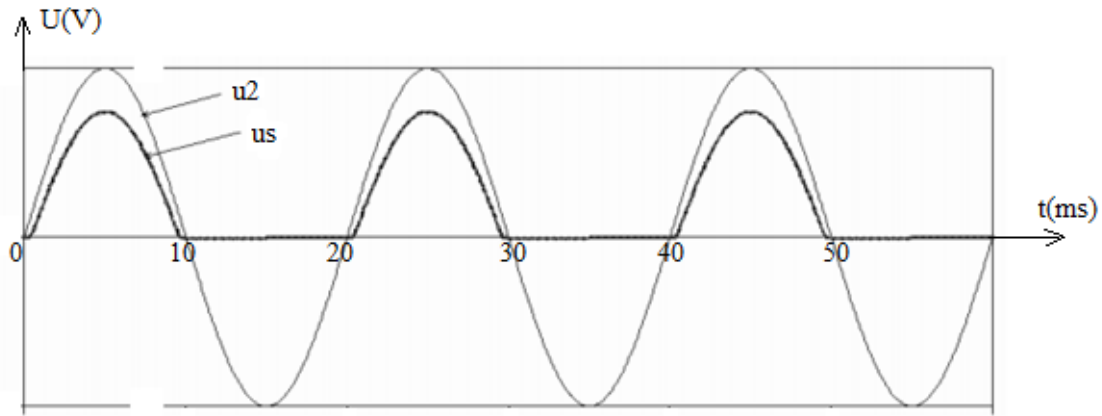


Fig. 3.3. Formele de undă pentru tensiunea din secundarul transformatorului, u_2 , și pentru tensiunea de pe rezistența de sarcină, u_s

Tensiunea din secundarul transformatorului este sinusoidală:

$$u_2(t) = U_{2m} \sin \omega t = \sqrt{2} U_{2ef} \sin \omega t \quad (3.1)$$

Valoarea medie a tensiunii pe sarcină se determină cu relația:

$$U_a = \frac{1}{T} \int_0^T u_s(\omega t) d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi U_{2m} \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{U_{2m}}{\pi} = \frac{\sqrt{2} U_{2ef}}{\pi} \quad (3.2)$$

În alternanța negativă a tensiunii din secundar, la bornele diodei se aplică tensiune inversă având valoarea maximă:

$$U_{Dinv.max} = U_{2max} \quad (3.3)$$

3.2. Redresorul monofazat dublă alternanță

Redresoarele monofazate dublă alternanță se utilizează sub forma a două montaje tipice: montajul cu transformator cu priză mediană în secundar (fig.3.4) și montajul în punte (fig.3.5). Formele de undă prezente în funcționarea circuitelor sunt înfățișate în fig. 3.6 și 3.7.

În primul caz, priza mediană din secundar asigură obținerea a două tensiuni de amplitudini egale și defazate cu 180° . Diodelor li se aplică o tensiune de polarizare directă sau inversă, în alternanța pozitivă conduce D1 iar D2 este blocată, respectiv invers, în alternanța negativă. În ambele alternanțe prin rezistența de sarcină curentul circulă în același sens, deci polaritatea căderii de tensiune la bornele sarcinii nu se schimbă.

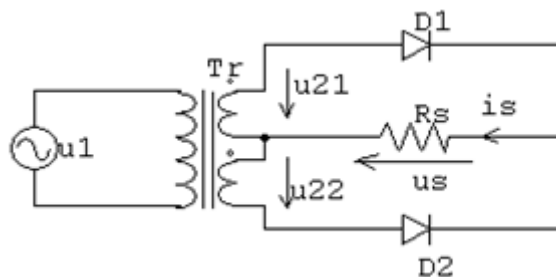


Fig.3.4. Redresor dublă alternanță cu priză mediană

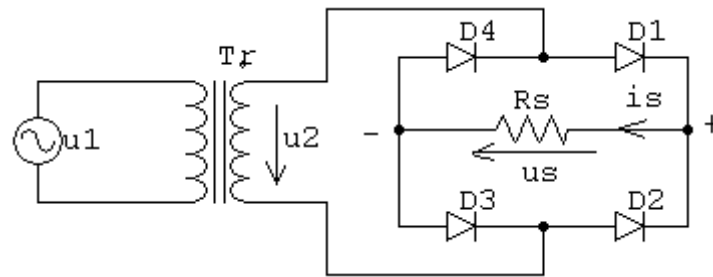


Fig.3.5. Redresoare dublă alternanță în punte.

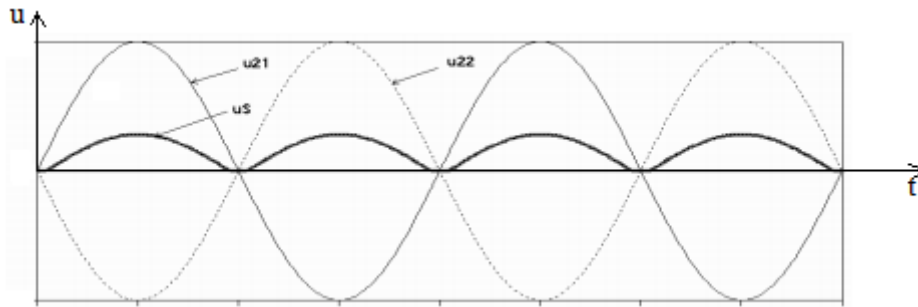


Fig. 3.6. Forme de undă pentru redresorul dublă alternanță cu priză mediană.

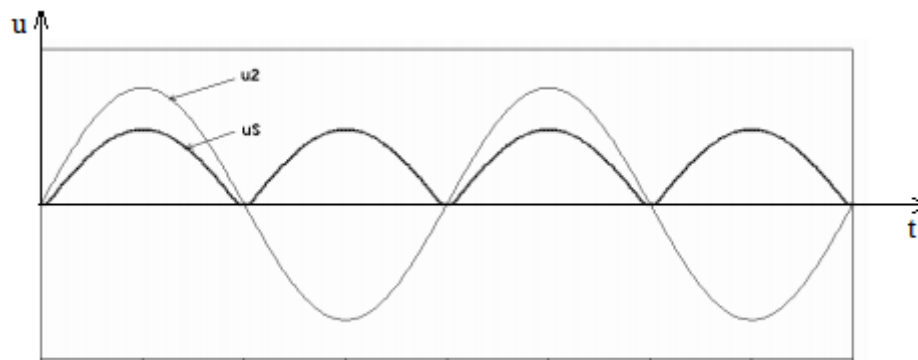


Fig. 3.7. Forme de undă pentru redresorul dublă alternanță în punte.

Într-o perioadă T apar două semialternanțe ale tensiunii redresate astfel că valoarea medie a tensiunii pe sarcină este:

$$U_0 = 2U_{2m}/\pi \quad (3.4)$$

Pentru determinarea tensiunii inverse maxime pe diodă, dacă conduce dioda D1 spre exemplu, rezultă că dioda D2 este polarizată invers cu o tensiune egală cu $u_s + u_{21}$, deci:

$$U_{Dinv,max} \cong 2U_{2max} \quad (3.5)$$

Pentru cazul redresorului dublă alternanță în punte, relațiile rămân valabile, diferă doar valoarea tensiunii inverse maxime pe o diodă a punții:

$$U_{Dinv,max} = U_{2max} \quad (3.6)$$

3.3. Filtre de netezire

În cazurile în care se dorește o formă a tensiunii redresate cât mai stabilă, între redresor și sarcină se introduc filtre care să reducă pulsațiile sau undulațiile tensiunii redresate. Schemele unor circuite simple de filtrare sunt prezentate în figura 3.8.

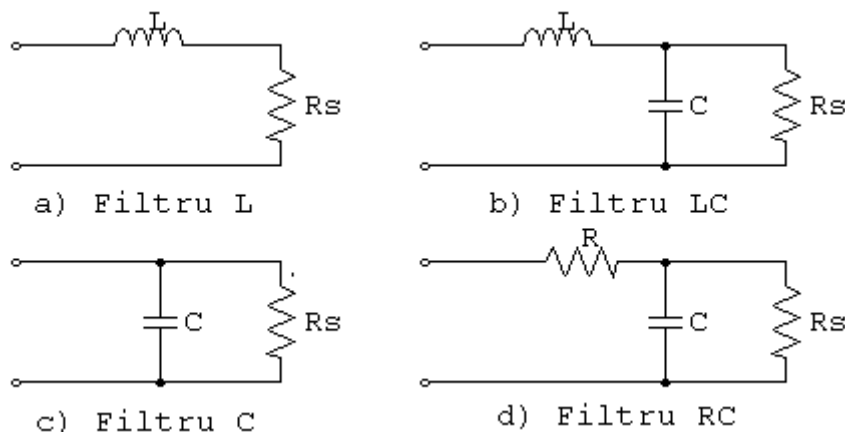


Fig. 3.8. Scheme pentru circuitele de filtrare.

Un filtru este cu atât mai bun cu cât are o eficacitate mai mare (raportul dintre amplitudinea vârf la vârf a pulsațiilor la ieșirea filtrului și amplitudinea vârf la vârf a pulsațiilor la intrare, să fie cât mai mic) și cădere de tensiune continuă pe el cât mai mică. Pentru redresoarele de mică putere se utilizează de obicei filtre C sau RC fiind mai simple, cu gabarit redus și mai ieftine, cu toate că au o eficacitate mai mică și căderi de tensiune mai mari decât filtrele LC. Mărirea eficacității unui filtru se poate realiza prin folosirea în cascadă a mai multor filtre RC sau LC.

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

4.1. Redresor monofazat monoalternanță cu diodă

1. Localizați circuitul care conține dioda D_2 .
2. Conectați un generator de semnal la bornele V_{in} .
3. Setați generatorul pe $4V_{V-V}$ și 200Hz sinusoidal cu offset 0.
4. Conectați cele două canale ale osciloscopului ca în figura 3.9.
5. Pe ambele canale fixați 1V/diviziune și 2msec/diviziune.
6. Desenați formele de undă ale celor două semnale în figura 3.10.
7. Puneți osciloscopul în mod X-Y cu $V_{in}=X$ și $V_{R3}=Y$ pentru a obține caracteristica de transfer a redresorului. Desenați caracteristica în figura 3.11.
8. Repetați punctele 2-7 pentru semnal triunghiular și desenați formele de undă ale semnalelor în figurile 3.12 și 3.13.
9. Repetați punctele 2-7 pentru semnal dreptunghiular și desenați formele de undă ale semnalelor în figurile 3.14 și 3.15.
10. Comparați formele de undă și caracteristicile de transfer pentru cele trei tipuri de semnale.

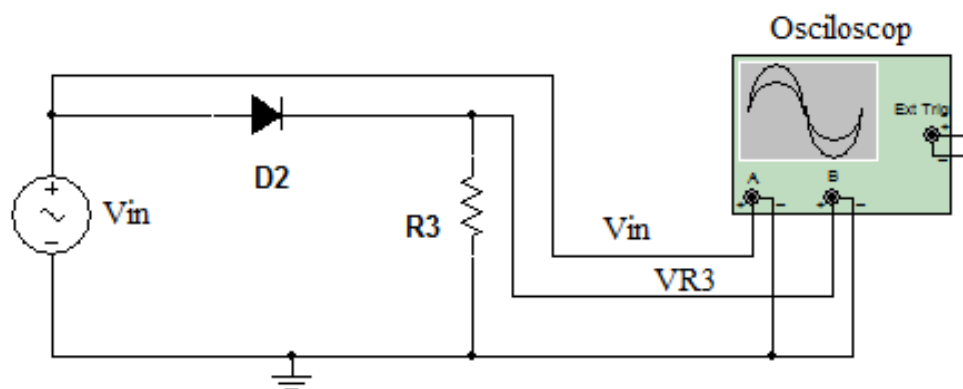


Fig. 3.9 Circuit redresor cu diodă

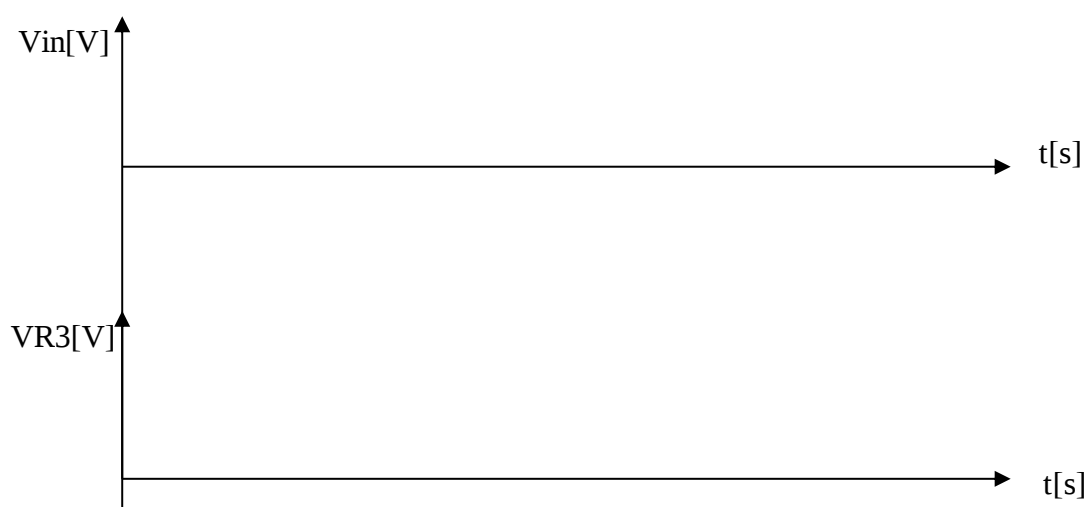


Fig.3.10. Formele de undă ale semnalelor pentru semnal de intrare sinusoidal



Fig.3.11. Caracteristica de transfer a redresorului pentru semnal de intrare sinusoidal

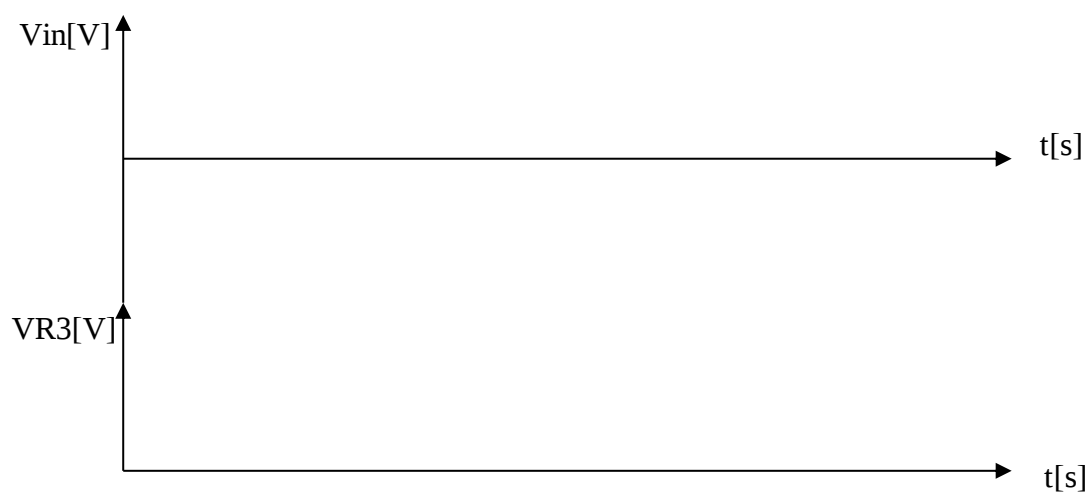


Fig.3.12. Formele de undă ale semnalelor pentru semnal de intrare triunghiular



Fig.3.13. Caracteristica de transfer a redresorului pentru semnal de intrare triunghiular

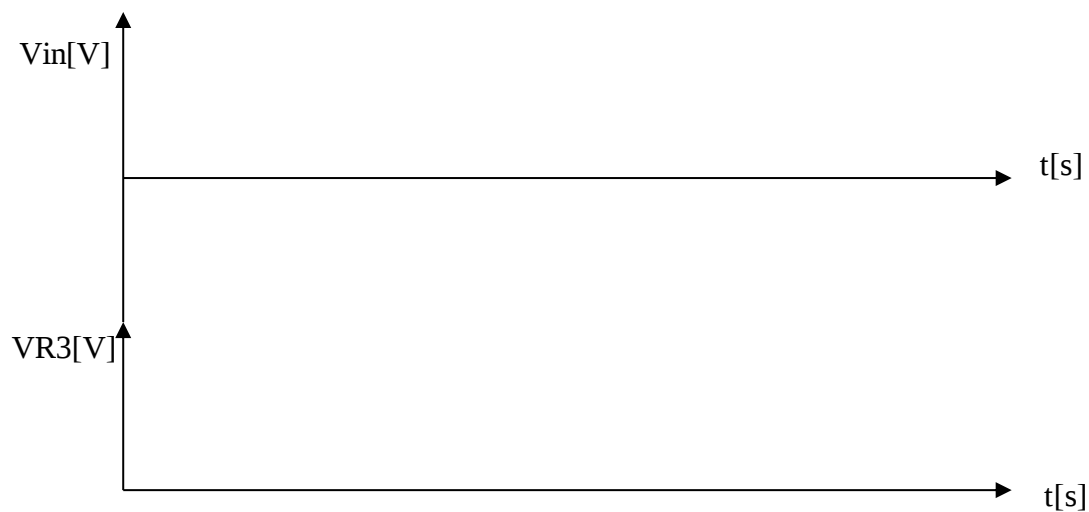


Fig.3.14. Formele de undă ale semnalelor pentru semnal de intrare dreptunghiular



Fig.3.15. Caracteristica de transfer a redresorului pentru semnal dreptunghiular

4.2. Aplicația software

11. Lansați programul MULTISIM.
 12. Creați un proiect nou intitulat „L3- Dioda ca redresor”. Atenție proiectul trebuie creat în directorul de lucru al echipei din care faceți parte(ex. EA1\Echipa1).
 13. Realizați circuitul din figura 3.9. și efectuați simulări pentru cele trei tipuri de semnale. Salvați rezultatele într-un fișier Word.
 14. Realizați circuitele din figura 3.4. și 3.5 și efectuați simulări pentru cele trei tipuri de semnale. Salvați rezultatele într-un fișier Word.
 15. Adăugați un filtru C și observați influența valorii capacității condensatorului asupra formei tensiunii de pe sarcină.
 16. Comparați rezultatele obținute experimental cu cele obținute prin simularea software.
- NOTĂ: Valorile componentelor pentru aplicația software le găsiți în Anexa 1.

LUCRAREA DE LABORATOR NR.4 STABILIZATOR DE TENSIUNE CU DIODĂ ZENER

1. OBIECTIVE

După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să aveți aptitudinea :

- 1.1 De a desena caracteristica statică a unei diode Zener.
- 1.2 De a determina tensiunea de străpungere.
- 1.3 De a testa un circuit de stabilizare cu diodă Zener.
- 1.4 De a determina stabilizarea de tensiune.

2. ECHIPAMENT NECESAR

- multimetre de curent continuu
- osciloscop cu două spoturi.
- cadru de bază PU-2000.
- placă EB-111.
- placă de bază.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

Diodele Zener sunt diode semiconductoare special construite pentru a lucra în regim de polarizare inversă. După cum se poate vedea în figura 4.1, la tensiuni de polarizare inversă mai mari decât tensiunea de străpungere, tensiunea pe diodă se modifică foarte puțin la variații mari ale curentului invers. Cu alte cuvinte, rezistența internă a diodei este foarte mică în această regiune a caracteristicii statice.

Panta abruptă a caracteristicii începe de la un curent I_{Zmin} . Curentul prin diodă nu trebuie să depășească o valoare I_{Zmax} pentru ca puterea disipată de diodă să nu depășească valoarea maxim admisibilă.

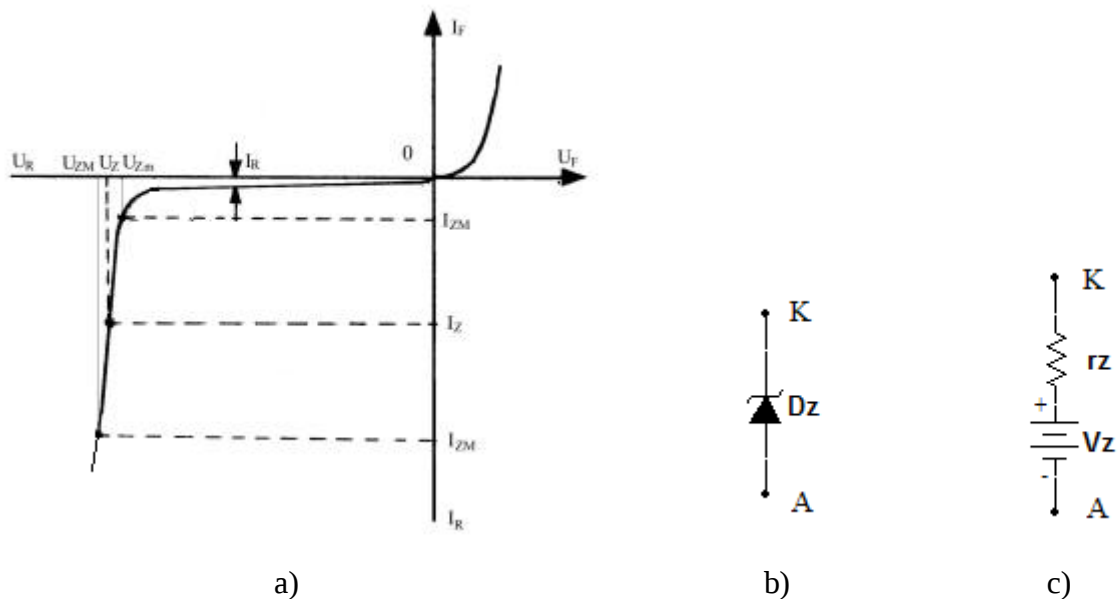


Fig. 4.1. Dioda Zener: a) caracteristica statică b) simbolul c) schema electrică echivalentă.

De exemplu, dioda Zener PL5V1 are tensiunea de străpungere de aproximativ 5,1V (eroarea putând fi de cel mult 5%). Ea poate să disipe maximum 1W și are o rezistență de 5Ω la un curent de 100mA.

Dacă este asigurat un curent mai mare decât I_{zmin} prin diodă, ea tinde să mențină constantă tensiunea la bornele ei, cu o anumită eroare, dată de căderea de tensiune pe r_z , care depinde de curentul prin diodă. Prin urmare, dioda Zener se poate modela printr-o sursă de tensiune constantă, în serie cu o rezistență de ordinul ohmilor. Tendința de menținere a tensiunii la valoarea V_z este folosită pentru realizarea stabilizatoarelor de tensiune. Schema unui stabilizator parametric cu diodă Zener este prezentată în figura 4.2.

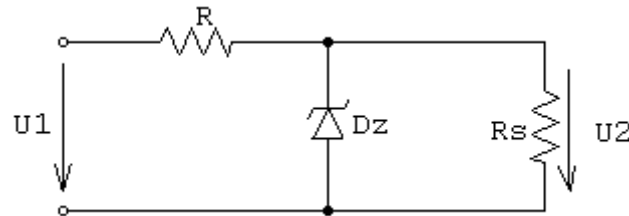


Figura 4.2. Stabilizator parametric cu diodă Zener

Cu cât U_1 este mai mare decât V_z , cu atât R poate fi ales de valoare mai mare. În practică este recomandat ca U_1 să fie cu cel puțin 30% mai mare decât V_z .

Pentru a caracteriza funcționarea unui stabilizator de tensiune se definesc doi parametri importanți:

- rezistența de ieșire (internă) a stabilizatorului:

$$R_0 = \left. \frac{\partial u_0}{\partial i_L} \right|_{V=const.} = \frac{R \cdot r_{dz}}{R + r_{dz}} \cong r_{dz} \quad (4.1)$$

- coeficientul de stabilizare:

$$S_0 = \left. \frac{\partial V}{\partial u_0} \right|_{i_L=const.} = \frac{r_{dz} + R}{r_{dz}} \quad (4.2)$$

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

4.1. Caracteristica statică a diodei Zener.

1. Localizați circuitul care conține dioda D3 (mijloc dreapta).
2. Conectați cele două voltmetre ca în figura 4.3: voltmetrul 1 pentru a măsura tensiunea de intrare și voltmetrul 2 pentru a măsura tensiunea pe dioda Zener.

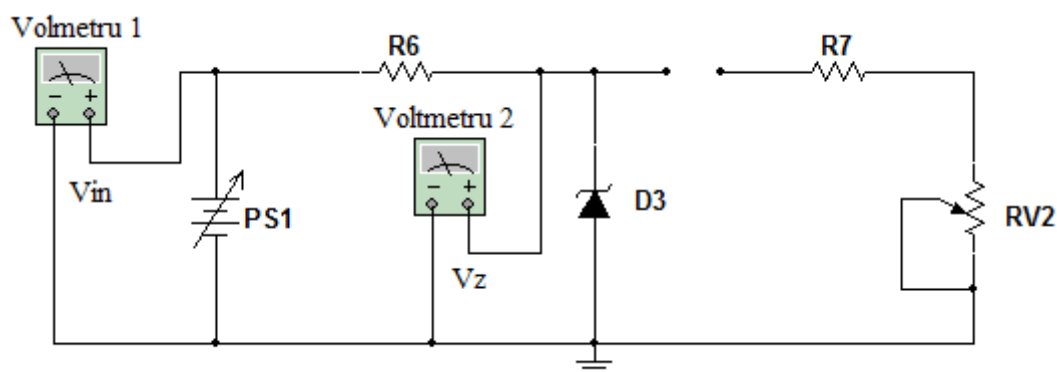


Fig.4.3. Circuit pentru ridicarea caracteristici diodei Zener

3. Reglați sursa de tensiune PS-1 pentru a obține valorile tensiunii de intrare, V_{in} , din tabelul 4.1.
4. Măsurăți tensiunea, V_z , pe diodă și treceți valorile corespunzătoare în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1. Caracteristica diodei Zener.

V_{in}	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	(V)
V_z												(V)
I_z												(mA)

5. Calculați curentul I_z prin diodă cu formula $I_z = \frac{V_{in} - V_z}{R_6}$, știind că rezistorul R_6 are valoarea de 150Ω . Treceți rezultatele în tabelul 4.1. Atenție! Valoarea lui I_z se cere în mA.
6. Desenați caracteristica statică a diodei în figura 4.4.

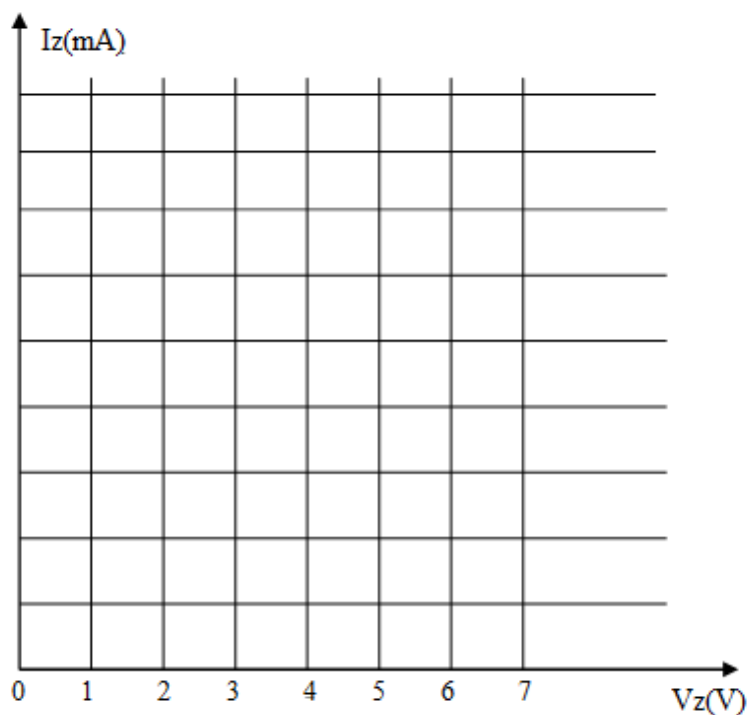


Fig. 4.4. Caracteristica statică a diodei Zener

4.2. Stabilizarea tensiunii la variațiile rezistenței de sarcină

7. Ajustați valoarea rezistenței de sarcină $R_s = R_{V2} + R_7$ la 800Ω folosind un ohmetru ca în figura 4.5.

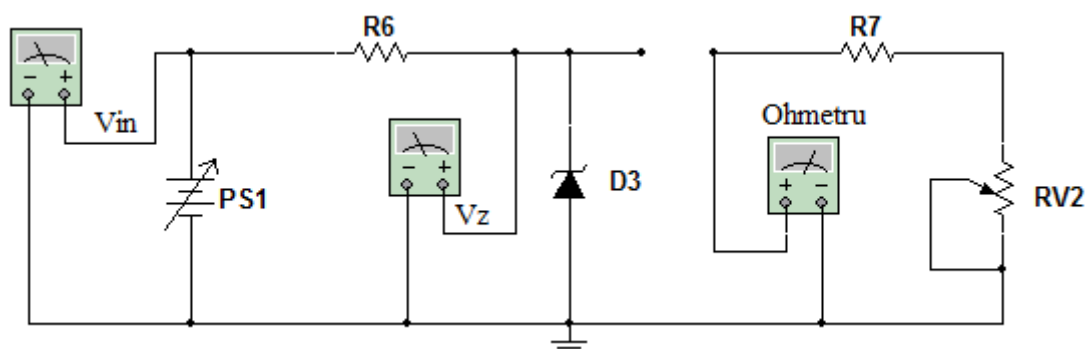


Fig.4.5. Ajustarea valorii rezistenței de sarcină

8. Conectați un jumper între catodul lui D3 și rezistorul R7.
 9. Reglați din PS-1 $V_{in} = 5V$, măsurați V_z și notați în tabelul 4.2.
 10. Repetați măsurătorile pentru tensiunile, V_{in} , din tabelul 4.2.

Tabelul 4.2. Stabilitatea tensiunii la variațiile sarcinii.

$V_{in}[V]$	5	6	7	8	9	10
$V_z, R_s=800\Omega$						
$V_z, R_s=500\Omega$						
$V_z, R_s=300\Omega$						
$V_z, R_s=130\Omega$						
STABILIZAREA[%]						

11. Repetați experimentul pentru valorile de rezistență din tabelul 4.2.
 Atenție! Pentru măsurarea corectă a rezistenței R_s se deconectează jumperul dintre D3 și rezistorul R7.
 12. Calculați stabilizarea cu relația $S = \{[V_z(800\Omega) - V_z(130\Omega)] / V_z(800\Omega)\} * 100$
 13. Desenați graficul $STABILIZAREA = f(V_{in})$ în figura 4.5.
 14. Desenați graficul $V_z = f(V_{in})$, pentru diferitele valori ale rezistenței de sarcină (vezi tabelul 4.2), în figura 4.6.



Fig.4.5. Variația stabilizării în funcție de valoarea tensiunii de intrare

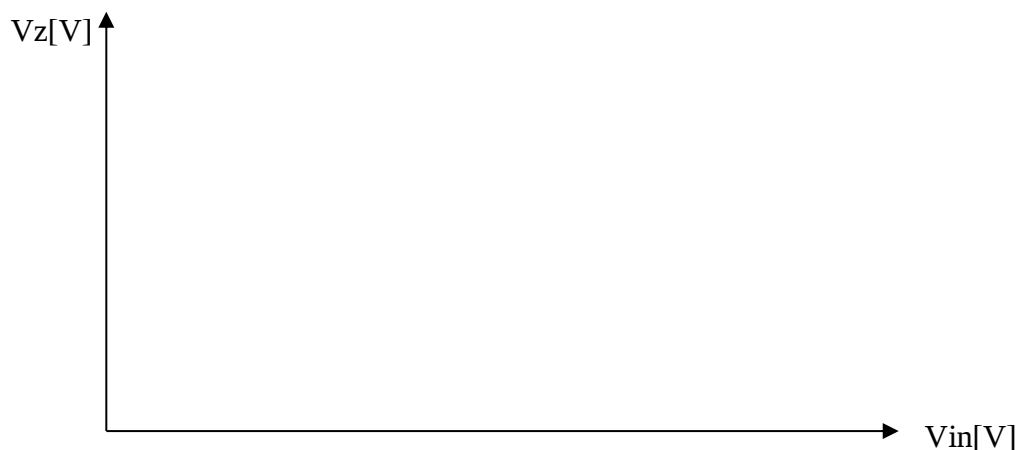


Fig.4.6. Variația tensiunii stabilizate în funcție de valoarea tensiunii de intrare

4.3. Aplicația software

15. Lansați programul MULTISIM.
 16. Creați un proiect nou intitulat „L4- Stabilizator cu diodă Zener”. Atenție proiectul trebuie creat în directorul de lucru al echipei din care faceți parte(ex. EA1\Echipa1).
 17. Realizați circuitul din figura 4.3 și efectuați simulări pentru câte una din valorile din tabelele aferente. Salvați rezultatele într-un fișier Word.
 18. Comparați rezultatele obținute experimental cu cele obținute prin simularea software.
- NOTĂ: Valorile componentelor pentru aplicația software le găsiți în Anexa 1.

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 5 CARACTERISTICILE TRANZISTOARELOR BIPOLARE

1. OBIECTIVE

- 1.1 După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să aveți aptitudinea :
- 1.2 De a desena caracteristica de intrare a unui tranzistor bipolar.
- 1.3 De a determina câștigul în curent (β) din valorile măsurate.
- 1.4 De a testa circuitul cu emitor comun pentru a vedea dacă se comportă ca o sursă de curent constant.
- 1.5 De a desena caracteristica de ieșire.
- 1.6 De a identifica regiunea activă, de saturație și de tăiere pe aceste caracteristici.
- 1.7 De a determina câștigul în curent (β) din caracteristicile de ieșire.

2. ECHIPAMENT NECESAR

- multimetre de curent continuu
- osciloscop cu două spoturi.
- cadru de bază PU-2000.
- placă EB-111.
- placă de bază.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

Tranzistorul bipolar este un dispozitiv electronic cu trei terminale (emitor, colector și bază) conectate la trei regiuni semiconductoare, dintre care cea din mijloc este dopată cu impurități de tip opus regiunilor alăturate. Se numește bipolar deoarece conducția de curent electric se realizează prin aportul a două tipuri de purtători de sarcină (electroni și goluri).

Există două tipuri de tranzistoare bipolare, în funcție de modul în care sunt aranjate cele trei regiuni semiconductoare: PNP și NPN (fig. 5.1). Sensul săgeții din reprezentarea tranzistorului indică sensul real de circulație al curentului prin tranzistor atunci când joncțiunea emitoare este direct polarizată. Cele trei regiuni semiconductoare formează două joncțiuni: joncțiunea emitorului și joncțiunea colectorului.

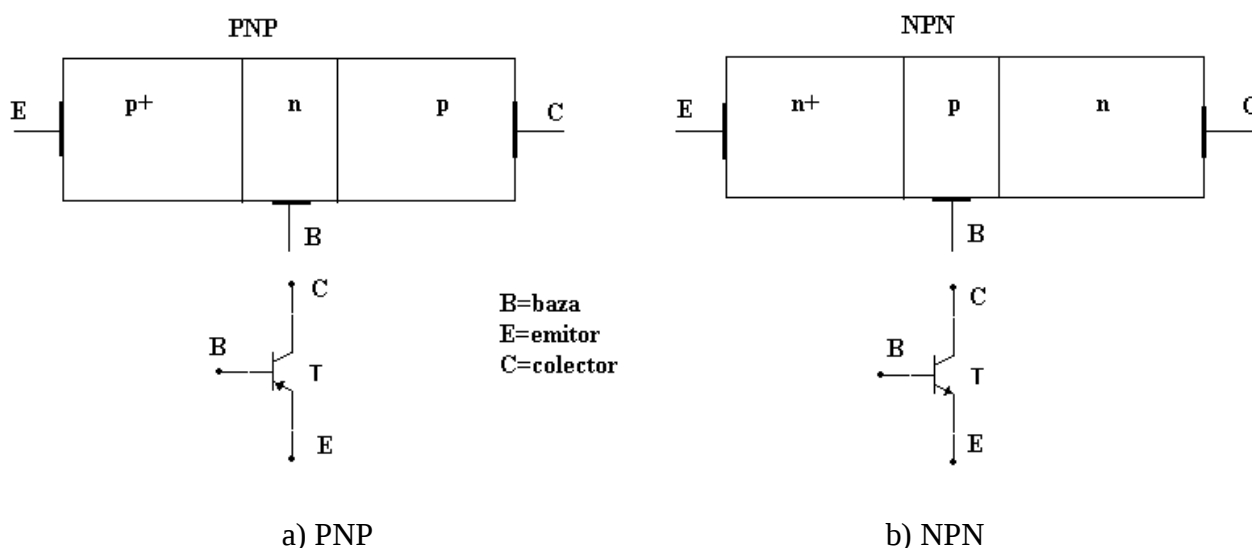


Fig.5.1. Tipuri de tranzistoare bipolare și simboluri folosite la reprezentarea acestora.

Pentru reprezentarea simbolică a tranzistoarelor și a mărimilor aferente funcționării acestora în polarizare directă se folosesc notațiile din figura 5.2.

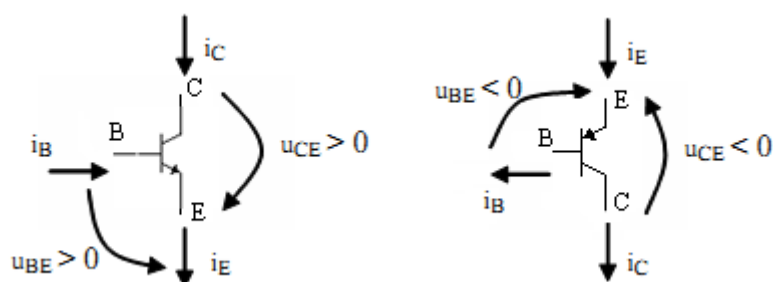


Fig. 5.2. Reprezentarea simbolică a tranzistoarelor și a mărimilor aferente funcționării acestora în polarizare directă

Structura unui tranzistor PNP polarizat normal precum și fluxurile purtătorilor de sarcină pot fi observate în figura 5. 3.

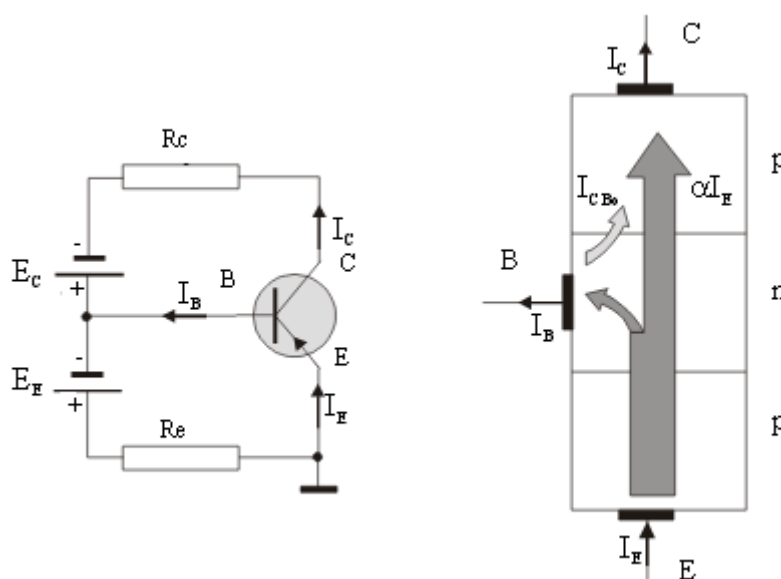


Fig. 5.3. Structura unui tranzistor PNP și fluxurile purtătorilor de sarcină

Se pot scrie următoarele relații între curenți:

$$I_C = \alpha \cdot I_E + I_{CB0} \quad (5.1)$$

$$I_E = I_B + I_C \quad (5.2)$$

în care I_{CB0} reprezintă curentul rezidual colector-bază iar α exprimă fracțiunea din curentul de emitor care constituie curentul de colector. În general α este o constantă subunitară, apropiată de unitate ($\alpha \cong 1$) deci $I_C \cong I_E$. Înlocuind în relația (5.1) expresia curentului din emitor din relația (5.2) se obține:

$$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_B + \frac{1}{1-\alpha} I_{CB0} = \beta \cdot I_B + I_{CE0} \quad (5.3)$$

în care I_{CE0} reprezintă curentul rezidual colector-emitor iar β este denumit factor de amplificare în curent în conexiune EC, fiind ca ordin de mărime cuprins între 10 și 10^3 .

Caracteristicile statice ale tranzistorului bipolar reprezintă relațiile de dependență între mărimile electrice, un curent în funcție de o tensiune, ce caracterizează funcționarea acestuia.

În funcție de dependențele exprimate, se definesc următoarele caracteristici:

- *Caracteristica de intrare:* $I_B = f(U_{BE})$ cu $U_{CE} = \text{const.}$

Denumirea este justificată prin faptul că exprimă o dependență între două mărimi de intrare ale tranzistorului. Schema de principiu pentru ridicarea acestei caracteristici este prezentată în figura 5.4.

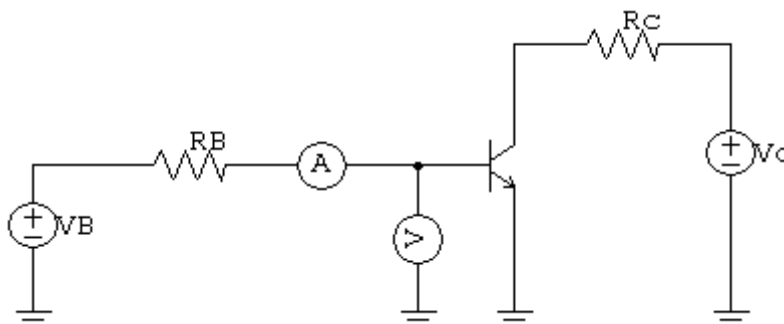


Fig. 5.4. Schema de principiu pentru ridicarea caracteristicii de intrare.

- *Caracteristica de transfer:* $I_C = f(U_{BE})$ cu $U_{CE} = \text{const.}$

Aceasta exprimă dependența dintre o mărime de la ieșirea tranzistorului în funcție de o mărime de la intrare. Schema de principiu pentru ridicarea acestei caracteristici este prezentată în figura 5.5.

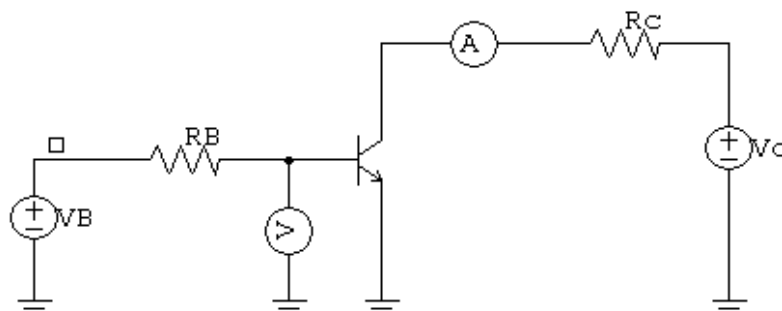


Fig. 5.5. Schema de principiu pentru ridicarea caracteristicii de transfer.

- *Caracteristica de ieșire:* $I_C = f(U_{CE})$ cu $I_B = \text{const.}$

Denumirea se justifică prin faptul că ea exprimă dependența dintre două mărimi de la ieșirea tranzistorului. Schema de principiu pentru ridicarea acestei caracteristici este prezentată în figura 5.6.

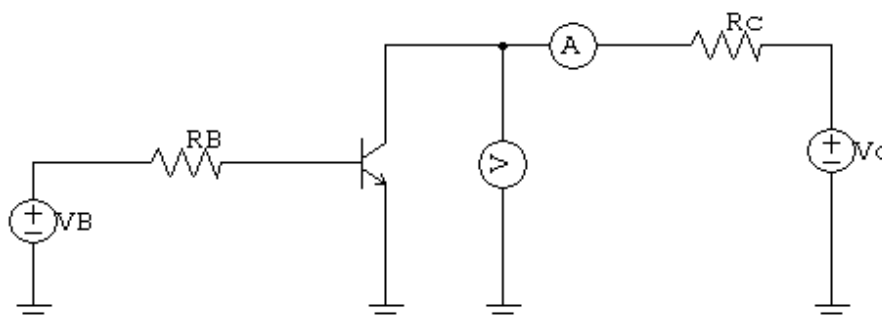


Fig. 5.6. Schema de principiu pentru ridicarea caracteristicii de ieșire.

Cîștigul în curent (β) al unui tranzistor conectat în configurația cu emitorul comun poate fi calculat făcînd raportul dintre curentul de colector și curentul de bază. Pentru tranzistorul ideal β are o valoare constantă. Pentru tranzistoarele reale β se modifică dacă curentul de bază se modifică.

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

4.1. Caracteristica de intrare

1. Localizați circuitul care conține tranzistorul Q1 (dreapta sus).
2. Realizați conexiunile ca în figura 5.7. Alegeți $V_{BB}=+5V$.
3. Reglați din potențiometrul RV1 pentru a obține curenții de bază din tabelul 5.1 (dacă nu puteți obține un curent de bază de 120-200 μA înlocuiți sursa V_{BB} cu sursa de +12V).

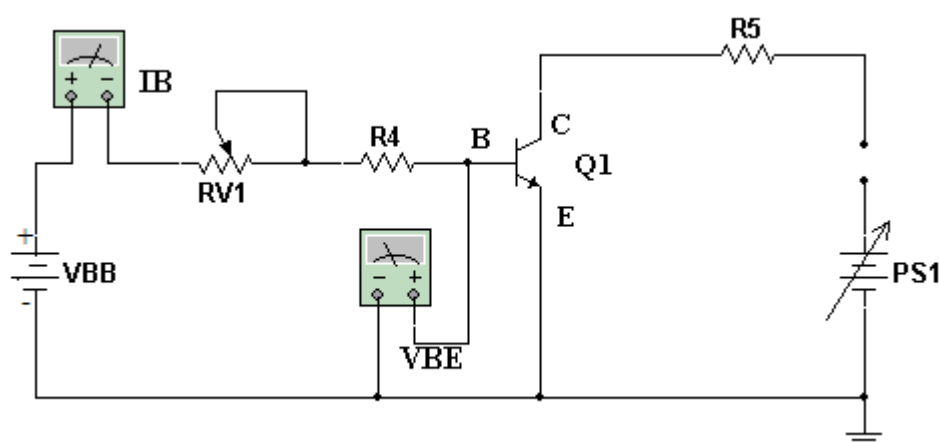


Fig. 5.7 Montajul pentru ridicarea caracteristici de intrare

4. Înregistrați rezultatele în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1. Caracteristica de intrare.

$I_B (\mu A)$	10 μA	20 μA	40 μA	80 μA	120 μA	160 μA	200 μA
$V_{BE}(V)$							

5. Desenați caracteristica de intrare a tranzistorului în figura 5.8.

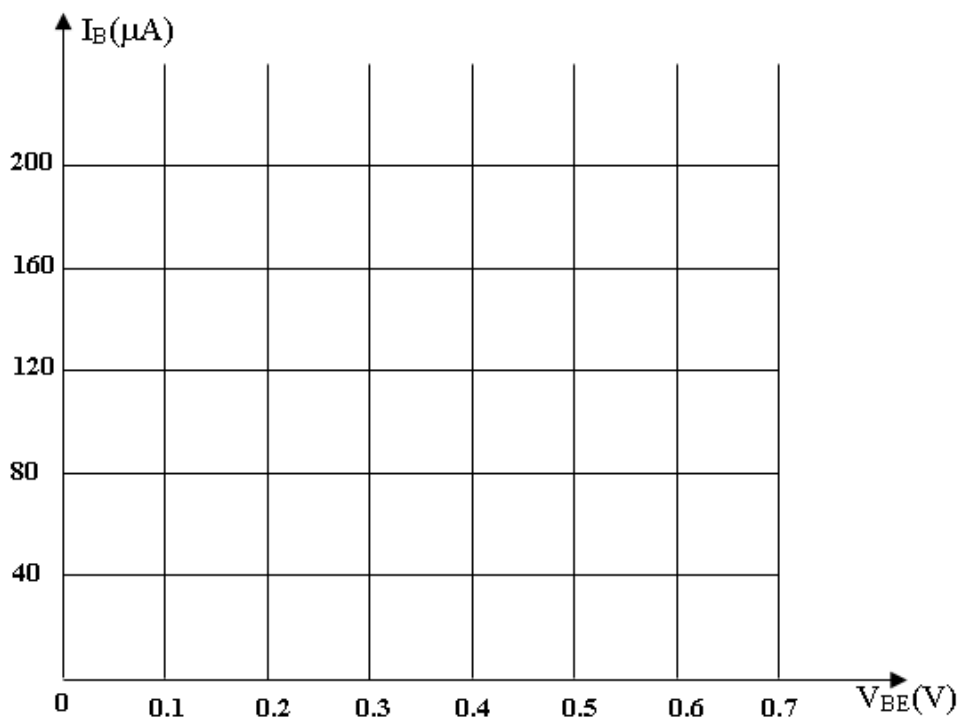


Fig. 5.8. Caracteristica de intrare

4.2. Câștigul de curent

6. Faceți conexiunile din figura 5.9.
7. Ajustați sursa de tensiune PS-1 La 10V.
8. Reglați din RV1 curentul de bază conform notațiilor din tabelul 5.2.
9. Măsurăți tensiunea colector-emitor V_{CE} pentru fiecare valoare a curentului de bază și completați în tabel.
10. Calculați curentul de colector știind că $R5=470\Omega$. Atenție curentul se cere în mA!

$$I_C = (10V - V_{CE}) / R5$$

11. Înregistrați rezultatele în tabelul 5.2.
12. Calculați câștigul de curent (β) și treceți în tabelul 5.2.

$$\beta = I_C / I_B$$

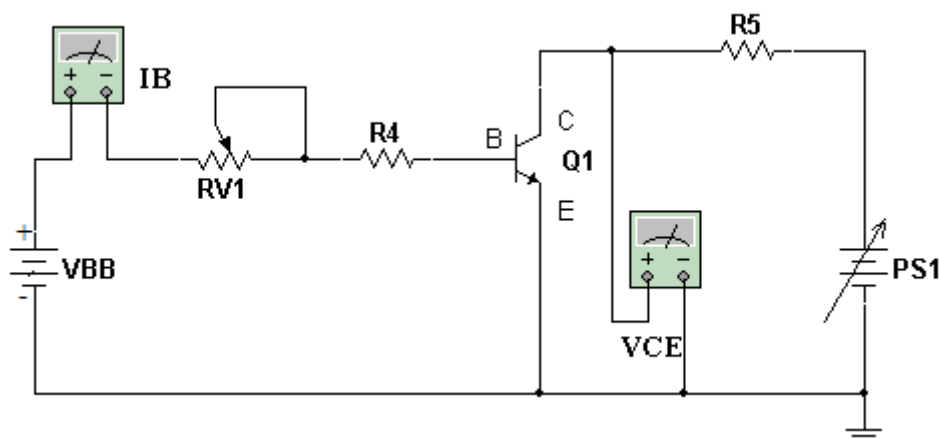


Fig. 5.9 Montajul pentru determinarea câștigului de curent.

Tabelul 5.2. Determinarea câștigului de curent

$I_B (\mu A)$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$V_{CE} (V)$										
$I_C (mA)$										
β										

4.3. Tranzistorul ca sursă de curent

13. Faceți conexiunile ca în figura 5.10.

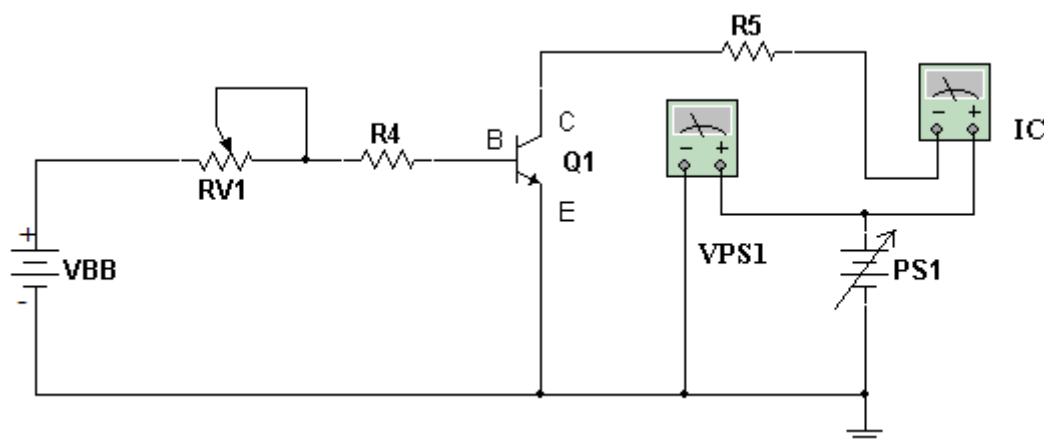


Fig. 5.10 Tranzistorul ca sursă de curent

14. Fixați sursa de tensiune PS-1 la 2V.

15. Reglați din potențiometrul RV1 până obțineți un curent de colector de 2 mA.

16. Modificați sursa de tensiune PS-1 pentru a obține valorile din tabelul 5.3 și notați curentul de colector măsurat.

Tabelul 5.3. Tranzistorul ca sursă de curent.

VPS-1 (V)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I_C (mA)										

4.4. Caracteristicile de ieșire

17. Faceți conexiunile din figura 5.11. Scurtcircuitați rezistorul R5 cu un jumper.

18. Reglați din potențiometrul RV1 până obțineți un curent de bază de $10 \mu A$.

19. Reglați sursa de tensiune PS-1 pentru a obține o tensiune colector-emitor $V_{CE}=0,5V$.

20. Măsurați curentul de colector, I_C , corespunzător și înregistrați valoarea în tabelul 5.4.

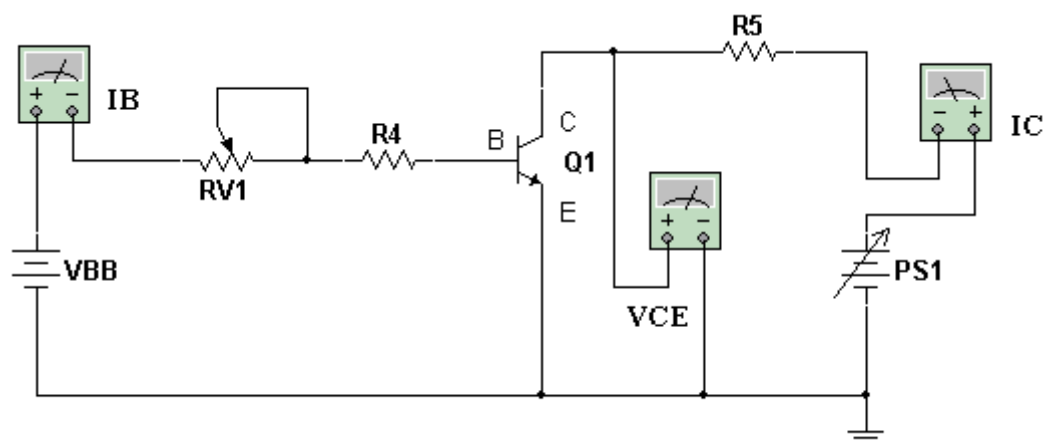


Fig. 5.11 Montaj pentru ridicarea caracteristicilor de ieșire

Tabelul 5.4. Caracteristicile de ieșire.

$I_B(\mu A)$	10	20	40	60	80	100
$V_{CE}(V)$	$I_C(mA)$					
0,5						
1						
2						
4						
6						
8						
10						

21. Modificați sursa de tensiune PS-1 pentru a obține toate tensiunile V_{CE} din tabelul 5.4. Pentru fiecare valoare înregistrați curentul de colector. **Nu modificați RV1!**
22. Repetați măsurătorile pentru toate valorile curentilor de bază din tabelul 5.4.
23. Desenați familia de curbe $I_C=f(V_{CE})$ cu parametru curentul de bază I_B , în figura 5.12.
24. Identificați pe grafic regiunile activă, de blocare și de saturație.
25. Determinați din grafic câștigul de curent în regiunea activă normală.

$$\beta = \Delta I_C / \Delta I_B = \dots\dots\dots$$

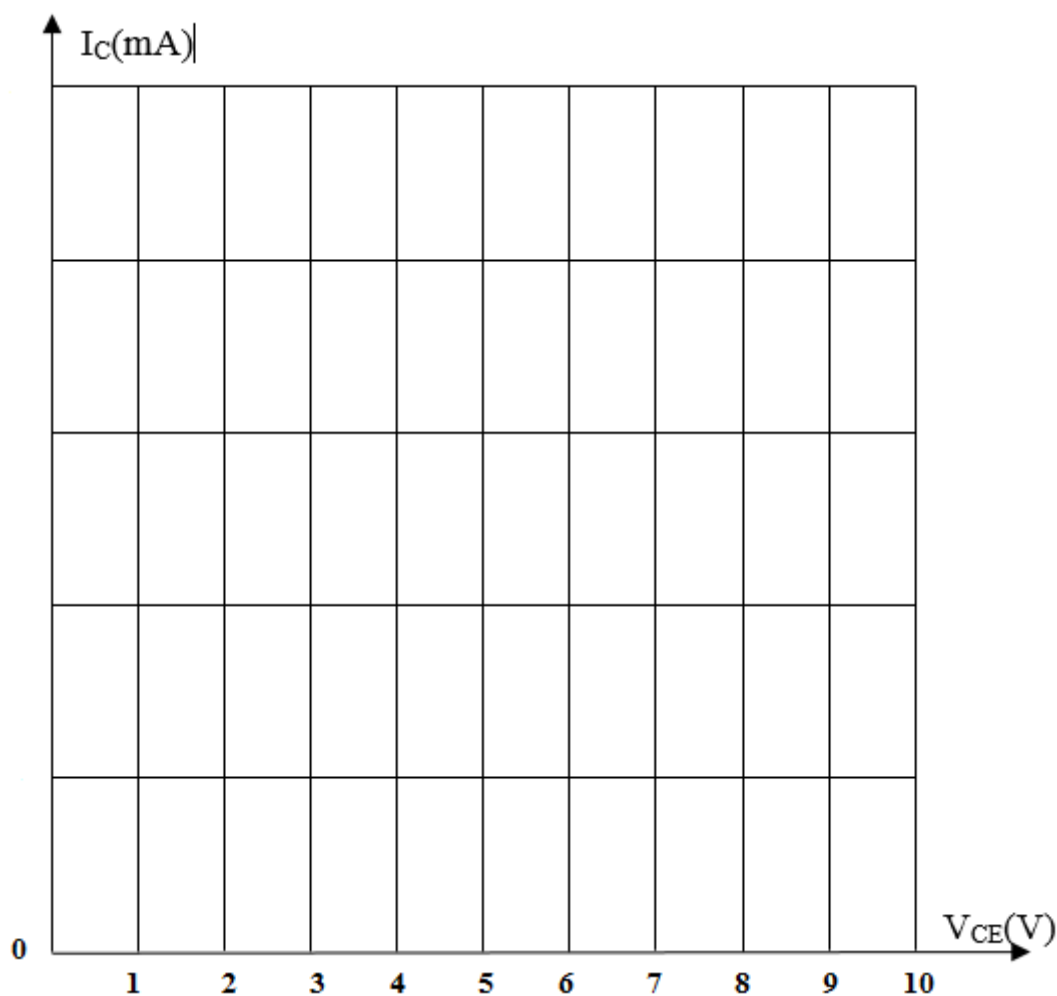


Fig. 5.12. Caracteristicile de ieșire $I_C=f(V_{CE})$ cu parametru curentul I_B .

4.5. Aplicația software

26. Lansați programul MULTISIM.
 27. Creați un proiect nou intitulat „L5- Tranzistorul bipolar”. Atenție proiectul trebuie creat în directorul de lucru al echipei din care faceți parte(ex. EA1\Echipa1).
 28. Realizați circuitele din figurile 5.7 , 5.9., 5.10 și 5.11 și efectuați simulări pentru câte una din valorile din tabelele aferente. Salvați rezultatele într-un fișier Word.
 29. Comparați rezultatele obținute experimental cu cele obținute prin simularea software.
- NOTĂ: Valorile componentelor pentru aplicația software le găsiți în Anexa 1.

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 6 AMPLIFICATOR CU TRANZISTOR BIPOLAR

1. OBIECTIVE

După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să aveți aptitudinea :

- 1.1 De a determina curentul de bază măsurând căderea de tensiune pe o rezistență de valoare cunoscută.
- 1.2 De a determina câștigul în tensiune al amplificatorului.
- 1.3 De a determina câștigul în curent al amplificatorului.
- 1.4 De a determina câștigul în putere al amplificatorului.
- 1.5 De a identifica cauza pentru care tensiunea de ieșire este distorsionată.

2. ECHIPAMENT NECESAR

- multimetru
- generator de semnal
- osciloscop cu două spoturi.
- cadru de bază PU-2000.
- placă EB-111.
- placă de bază.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

3.1. Circuite de polarizare a tranzistorului bipolar.

Pentru ca un tranzistor să lucreze ca amplificator trebuie ales un punct static de funcționare (PSF) corespunzător. Tensiunea colector-emitor, V_{CE} , trebuie să fie aproximativ jumătate din valoarea tensiunii de alimentare pentru a permite excursia maximă a semnalului de ieșire. Vom studia circuitul de polarizare prin divizor de tensiune prezentat în figura 6.1.

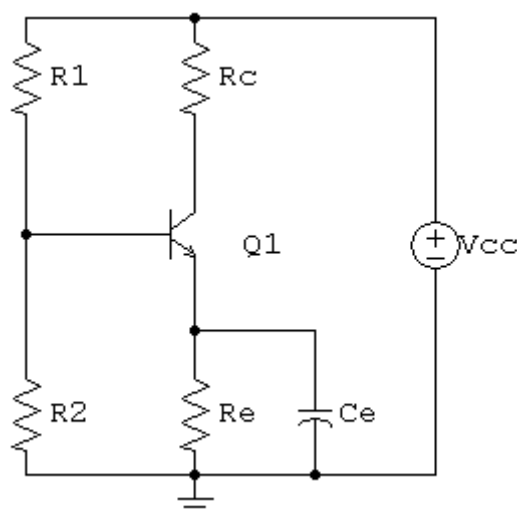


Fig.6.1. Circuitul de polarizare prin divizor de tensiune.

Rezistoarele R_1 și R_2 formează un divizor de tensiune care fixează potențialul bazei, iar rezistorul R_e determină valoarea curentului de colector. Neglijând curentul de bază, foarte mic față

de curentul care trece prin divizorul de tensiune, putem afirma conform formulei divizorului de tensiune că:

$$V_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} \quad (6.1)$$

Potențialul emitorului va fi :

$$V_E = V_B - 0,7V \quad (6.2)$$

Prin urmare :

$$I_E \cong I_C = \frac{V_E}{R_E} \quad (6.3)$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) \quad (6.4)$$

Se poate remarca din relațiile de mai sus că β nu intră în calcule și prin urmare punctul static de funcționare este independent de tipul de tranzistor folosit. În realitate concluzia este adevărată numai cu o oarecare aproximație, deoarece în relația (6.1) am neglijat efectul curentului de bază asupra divizorului de tensiune iar în relația (6.3) am neglijat din nou curentul de bază. Dacă nu neglijăm curentul de bază, β ar fi apărut în expresia punctului static de funcționare. Cu toate acestea acest circuit de polarizare asigură o stabilitate foarte bună a punctului static de funcționare atât la variațiile de temperatură cât și la înlocuirea tranzistorului cu un altul (modificarea β). Din acest motiv acest circuit este foarte des utilizat în practică.

3.2. Amplificator de semnal mic în conexiunea emitor comun.

O schemă uzuală a unui astfel de amplificator este dată în figura 6.2.

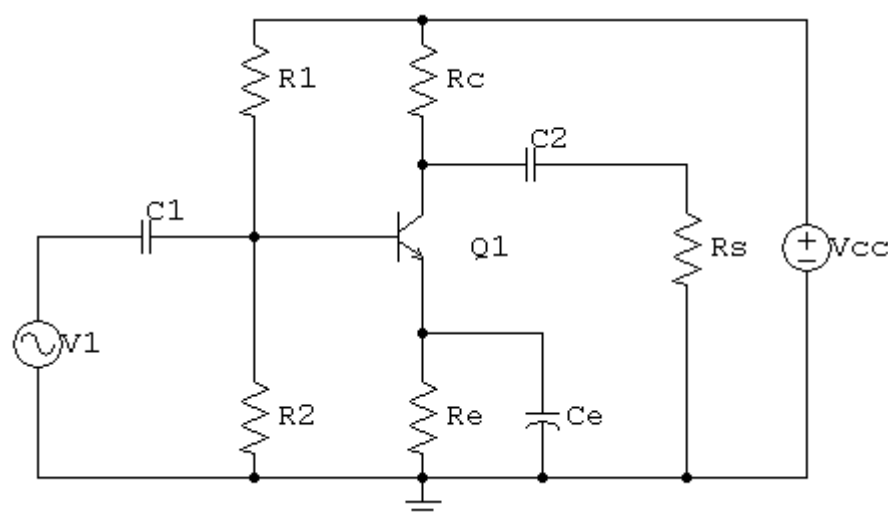


Fig. 6.2. Amplificator în conexiunea EC.

Condensatorul C_1 cuplează în curent alternativ sursa de semnal la amplificator dar o decuplează din punctul de vedere al curentului continuu. Astfel V_1 nu afectează circuitul de polarizare al tranzistorului bipolar. Condensatorul C_2 are rolul de a cupla rezistența de sarcină

fără ca aceasta să afecteze PSF. Condensatorul C_e pune la masă emitorul tranzistorului în curent alternativ, în timp ce în curent continuu lasă în circuit rezistența de polarizare din emitor.

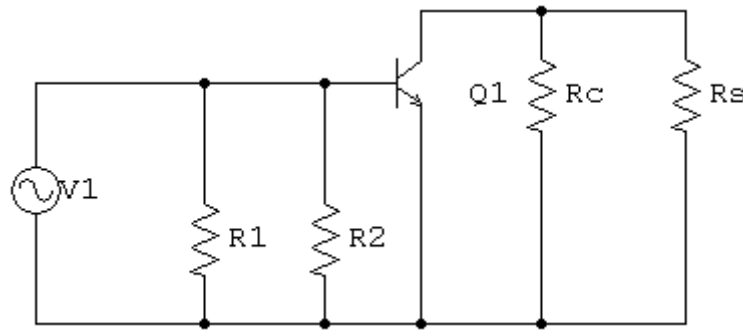


Fig. 6.3. Schema echivalentă de curent alternativ

Din punctul de vedere al variațiilor de semnal, V_{CC} este un punct virtual de masă deoarece valoarea lui nu se modifică. Prin urmare schema echivalentă de semnal alternativ se va desena considerând V_{CC} legat la masă și condensatoarele ca fiind scurtcircuitate. Obținem schema din figura 6.3.

Dacă notăm:

$$R_{CECH} = R_C \parallel R_S = \frac{R_C R_S}{R_C + R_S} \quad (6.5)$$

Amplificarea de tensiune a montajului va fi:

$$\frac{V_2}{V_1} = a_v = -\beta \frac{R_{CECH}}{r_{BE}} \quad (6.6)$$

Relația (6.6) ne arată că amplificarea în tensiune a montajului este mare dacă rezistența echivalentă din colector nu este foarte mică în comparație cu r_{BE} .

De obicei R_{CECH} și r_{BE} au valori comparabile prin urmare amplificarea în tensiune este mare, de ordinul zecilor sau sutelor, în funcție de valoarea factorului β .

Amplificarea de curent se determină cu relația:

$$\frac{i_2}{i_1} = a_i = \frac{R_C}{R_C + R_S} \frac{R_{12}}{r_{BE} + R_{12}} \beta \quad (6.7)$$

Pentru ca amplificarea de curent să se apropie de valoarea β trebuie ca R_C să fie mare în raport cu R_S și R_{12} mare în raport cu r_{BE} . A doua condiție este de regulă îndeplinită prin grija proiectantului. Prima condiție depinde de valoarea rezistenței de sarcină deoarece valoarea R_C este impusă din considerente de polarizare.

Din relațiile (6.6) și (6.7) se poate trage concluzia că amplificarea este maximă, atât în curent cât și în tensiune dacă rezistența de sarcină și rezistența din colector sunt una și aceeași rezistență. De câte ori este posibil inginerii aleg această soluție pentru proiectarea circuitului.

Rezistența de intrare a circuitului este dată de relația:

$$r_I = \frac{V_1}{i_1} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{BE} \approx r_{BE} \quad (6.8)$$

deoarece așa cum am specificat R_1 și R_2 sunt de obicei cu mult mai mari decât r_{BE} .

Rezistența de ieșire se determină cu intrarea în scurtcircuit și ieșirea în gol, considerând că în locul rezistenței de sarcină avem o sursă de tensiune v_2 :

$$r_o = \frac{v_2}{i_2} \cong R_C \quad (6.9)$$

În concluzie, tranzistorul bipolar în conexiune EC are amplificare mare atât în curent cât și în tensiune (de ordinul zecilor, chiar sutelor) și are rezistențele de intrare și ieșire medii (de ordinul $k\Omega$ -ilor).

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

4.1. Punctul static de funcționare

1. Localizați circuitul care conține tranzistorul Q4 (stânga jos).
2. Realizați conexiunile necesare pentru a obține circuitul din figura 6.4. Reglați tensiunea sursei PS-1 la 10 V.
3. Din potențiometrul RV3 reglați tensiunea colector-emitor a tranzistorului Q4, $V_{CE}=5V$. Dacă nu puteți regla $V_{CE}=5V$ scurtcircuitați rezistorul R11.
4. Măăsurați și treceți în tabelul 6.1 celelalte valori de tensiuni pentru determinarea PSF.

Tabelul 6.1. Valorile pentru determinarea PSF

$V_{BE}(V)$	$V_{CE}(V)$	$V_{R14}(V)$	$V_{R13}(V)$

5. Calculați curentul de colector știind că $R14=4,7k\Omega$.
 $I_C = V_{R14}/R14 = \dots\dots\dots (mA)$
6. Calculați curentul de bază știind că $R13=22k\Omega$.
 $I_B = V_{R13}/R13 = \dots\dots\dots (\mu A)$
7. Calculați câștigul în curent (β).
 $\beta = I_C/I_B = \dots\dots\dots$

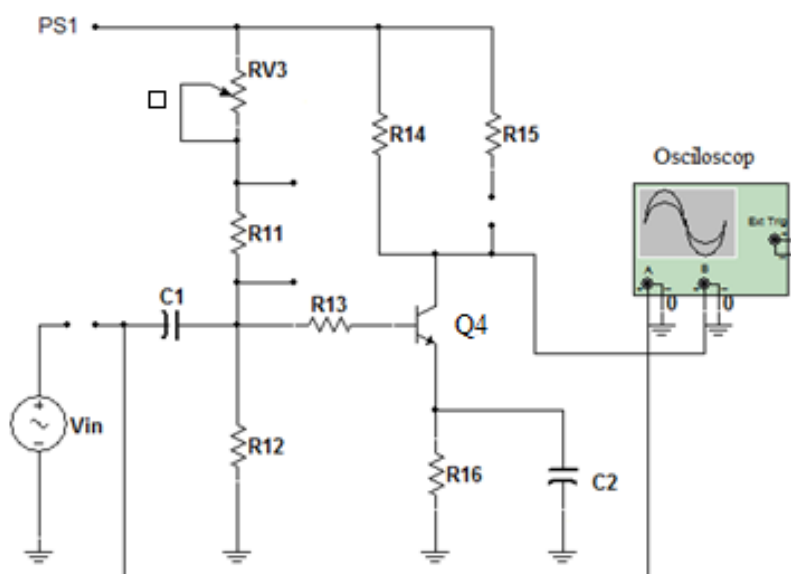


Fig.6.4. Amplificator cu tranzistor bipolar

4.2. Amplificarea tranzistorului bipolar.

8. Conectați generatorul de semnal la intrare.
9. Ajustați frecvența generatorul de semnal la 2kHz, semnal sinusoidal.
10. Monitorizați semnalul de intrare cu canalul 1 al osciloscopului.
11. Monitorizați tensiunea de colector cu canalul 2 al osciloscopului.
12. Deconectați generatorul și reglați din RV3 (dacă este cazul), $V_{CE}=5V$. Reconectați generatorul.
13. Se reglează generatorul pentru a obține un semnal sinusoidal nedistorsionat de $4V_{V-V}$ în colectorul tranzistorului. Notăm $V_{out} = \dots\dots\dots V_{V-V}$
14. Măsurăți tensiunea de la intrare, V_{in} , în aceste condiții. $V_{in1} = \dots\dots\dots V_{V-V}$
15. Calculați amplificarea în tensiune

$$A_{v1} = V_{out}/V_{in1} = \dots\dots\dots$$

16. Treceți valoarea obținută în tabelul 6.2.
17. Repetați punctele 9-15 înlocuind rezistorul $R_{14}=4,7k\Omega$ cu rezistorul $R_{15}=680\Omega$ și treceți rezultatul în tabelul 6.2.
Atenție! Pentru a nu avea semnal distorsionat trebuie reglată din nou tensiunea $V_{CE}=5V$.
 $V_{in2} = \dots\dots\dots V_{V-V}$

$$A_{v2} = V_{out}/V_{in2} = \dots\dots\dots$$

Tabelul 6.2. Valorile amplificărilor

	A_V	A_I	A_P
$R_L=4,7k\Omega$			
$R_L=680\Omega$			

18. Calculați amplificarea de curent A_I și treceți în tabelul 6.2.

$$A_I = I_{out}/I_{in} = (V_{out}/R_{out})/(V_{in}/R_{in}) = A_V \cdot R_{in}/R_{out} = \dots\dots\dots$$

Se aproximează $R_{in}=R_{12} || R_{13}$ (neglijăm rezistența bazei) și $R_{out}=R_L$ (din tabel).
Se cunosc $R_{12}=10k\Omega$ și $R_{13}=22k\Omega$.

19. Calculați amplificarea de putere A_P și treceți în tabel.

$$A_P = A_V \cdot A_I = \dots\dots\dots$$

4.3. Influența PSF asupra formei semnalului.

20. Deconectați condensatorul C2.
21. Ce se întâmplă cu amplificarea de tensiune?
22. Amplificarea de tensiune scade/crește?
23. Răspuns:.....
24. Reconectați C2.
25. Deconectați generatorul de semnal.
26. Reglați din potențiometrul RV3, tensiunea $V_{CE}=8V$.
27. Reconectați generatorul de semnal.
28. Explicați motivele pentru care apar distorsiuni.
29. Semnalul de intrare forțează tranzistorul să iasă din regiunea activă normală? Dacă da în care regiune?
30. Răspuns:.....

31. Deconectați generatorul de semnal.
32. Reglați din potențiometrul RV3 pentru a obține $V_{CE}=2,5V$. Dacă reglajul nu este suficient R11 se poate scurtcircuita.
33. Reconectați generatorul de semnal.
34. Explicați motivele distorsiunilor.
35. În ce regiune forțează semnalul de intrare tranzistorul?
36. Răspuns:.....

4.4. Aplicația software

37. Lansați programul MULTISIM.
 38. Creați un proiect nou intitulat „L6- Amplificator cu tranzistor bipolar 1”. Atenție proiectul trebuie creat în directorul de lucru al echipei din care faceți parte(ex. EA1\Echipa1).
 39. Realizați circuitul din figura 6.4. și efectuați simulări pentru valorile din tabelele 6.1 și 6.2. Salvați rezultatele într-un fișier Word.
 40. Comparați rezultatele experimentale cu cele obținute din simularea software.
- NOTĂ: Valorile componentelor pentru aplicația software le găsiți în Anexa 1.

LUCRAREA DE LABORATOR NR.7**AMPLIFICATOR CU TRANZISTOR . RĂSPUNSUL ÎN FRECVENȚĂ.****1. OBIECTIVE**

După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să aveți aptitudinea :

- 1.1 De a determina răspunsul în frecvență al amplificatorului.
- 1.2 De a determina timpul de creștere al semnalului de ieșire.
- 1.3 De a testa un amplificator inversor.

2. ECHIPAMENT NECESAR

- multimetru digital.
- generator de semnal
- osciloscop cu două spoturi.
- cadru de bază PU-2000.
- placă EB-111.
- placă de bază.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ**3.1. Răspunsul în frecvență al amplificatoarelor cu tranzistoare bipolare**

Răspunsul în frecvență al unui amplificator cu tranzistori este afectat de condensatoarele de cuplaj și de condensatoarele de decuplare, care determină o frecvență limită inferioară și de capacitățile parazite din circuitul practic și capacitățile interne ale tranzistorului, care stabilesc o frecvență limită superioară.

Prin răspuns în frecvență înțelegem modul în care se modifică amplificarea și defazajul dintre semnalul de intrare și cel de ieșire atunci când frecvența semnalului de intrare crește de la 0 la infinit.

Amplificarea depinde de frecvența semnalului de intrare, ea putând fi considerată constantă într-un domeniu limitat de frecvențe.

Se definește lărgimea de bandă ca fiind domeniul de frecvențe în care amplificarea nu scade la mai mult de 70,7% din valoarea ei maximă.

Dacă în loc de amplificare folosim câștigul pentru a caracteriza un amplificator atunci lărgimea de bandă este domeniul de frecvențe în care câștigul nu scade cu mai mult de 3dB.

În tabelul 7.1 se prezintă relația dintre amplificare și câștig, iar în tabelul 7.2 corespondența dintre câteva valori uzuale ale amplificării și câștigului.

Tabelul 7.1. Relația dintre amplificare și câștig.

Amplificarea [mărime adimensională]	Câștigul [decibeli]
De tensiune a_v	$G_{dB} = 20 \log_{10} a_v$
De curent a_i	$G_{dB} = 20 \log_{10} a_i$
De putere a_p	$G_{dB} = 10 \log_{10} (P_o/P_i)$

Tabelul 7.2. Corespondența dintre câteva valori uzuale ale amplificării și câștigului.

Amplificarea	Câștigul [dB]
0,5	-6
0,707	-3
1	0
2	6
10	20
100	40
1000	60
10000	80
100000	100

Se poate observa din tabelul 7.2 că pentru amplificare subunitară (atenuare) corespunde un câștig negativ iar pentru amplificare unitară câștigul este 0.

În figura 7.1 avem reprezentarea grafică a dependenței amplificării de frecvență numită caracteristica de frecvență a amplificatorului. Se definește ca fiind banda amplificatorului intervalul de frecvențe:

$$B = f_s - f_j \quad (7.1)$$

unde:

- f_s este frecvența limită superioară, pentru care câștigul scade la $(G_{\max} - 3\text{dB})$. Valoarea ei este determinată de capacitățile parazite din circuit și de parametrii de semnal mic ai dispozitivelor electronice.
- f_j este frecvența limită inferioară, pentru care câștigul crește peste valoarea $(G_{\max} - 3\text{dB})$. Valoarea ei este determinată de condensatoarele de cuplare și de decuplare care apar în circuitele de amplificare. De aceea pentru obținerea unor amplificatoare de curent continuu ($f_j = 0$) trebuie evitată folosirea condensatoarelor de cuplaj între etaje și deci atât sursa de semnal cât și etajele amplificatorului trebuie să fie cuplate direct. Această cerință exclude posibilitatea de a polariza separat tranzistoarele din două etaje consecutive deci PSF al unui tranzistor poate influența PSF al oricărui alt tranzistor din montaj.

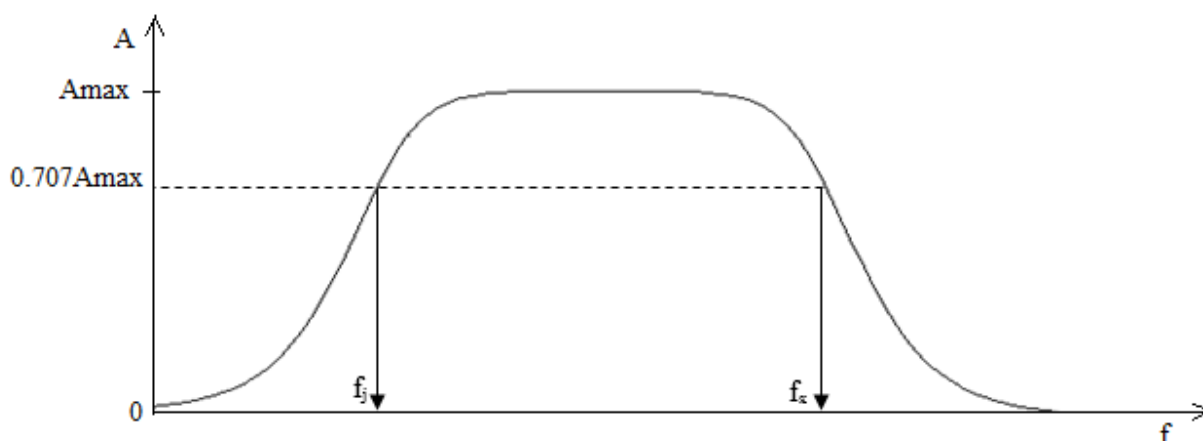


Fig. 7.1. Caracteristica de frecvență tipică a unui amplificator

Frecvența limită superioară se poate determina experimental, vizualizând răspunsul circuitului la un semnal dreptunghiular. Forma tipică a răspunsului este dată în figura 7.2.

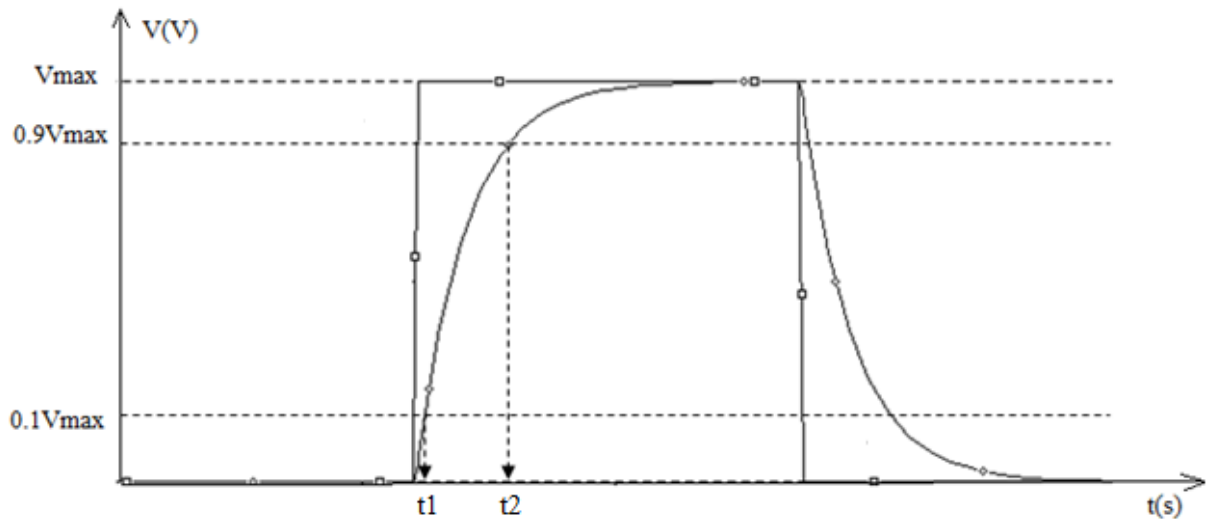


Fig. 7.2 Răspunsul amplificatoarelor la semnal dreptunghiular

Se definește *timpul de creștere al semnalului de ieșire* intervalul de timp:

$$t_r = t_2 - t_1 \quad (7.2)$$

care reprezintă timpul în care semnalul crește de la 10% la 90% din valoarea finală. Cu cât acest timp este mai mare cu atât frecvența limită superioară a amplificatorului este mai mică. Ea se poate determina cu relația:

$$f_s = \frac{0,35}{t_r} \quad (7.3)$$

De asemenea β scade pe măsura creșterii frecvenței și prin urmare scade și amplificarea în tensiune a etajelor cu tranzistoare bipolare.

Frecvența începând de la care β scade la mai puțin de 70% din valoarea de la frecvențe medii se poate determina cu relația :

$$f_\beta = \frac{f_T}{\beta} \quad (7.4)$$

unde f_T este frecvența la care factorul de amplificare în curent al tranzistorului devine unitar. Această frecvență este una din datele de catalog importante ale tranzistoarelor.

Tranzistorul poate fi folosit și ca un inversor digital. Timpul de creștere este în acest caz un parametru care determină timpul de răspuns al amplificatorului. El este definit ca fiind timpul în care semnalul de ieșire crește de la 10% la 90% din valoarea finală.

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

4.1. Caracteristica de frecvență.

1. Localizați circuitul care conține tranzistorul Q4 (stânga jos).
2. Faceți conexiunile din figura 7.3. Reglați tensiunea PS-1 la 10 V.

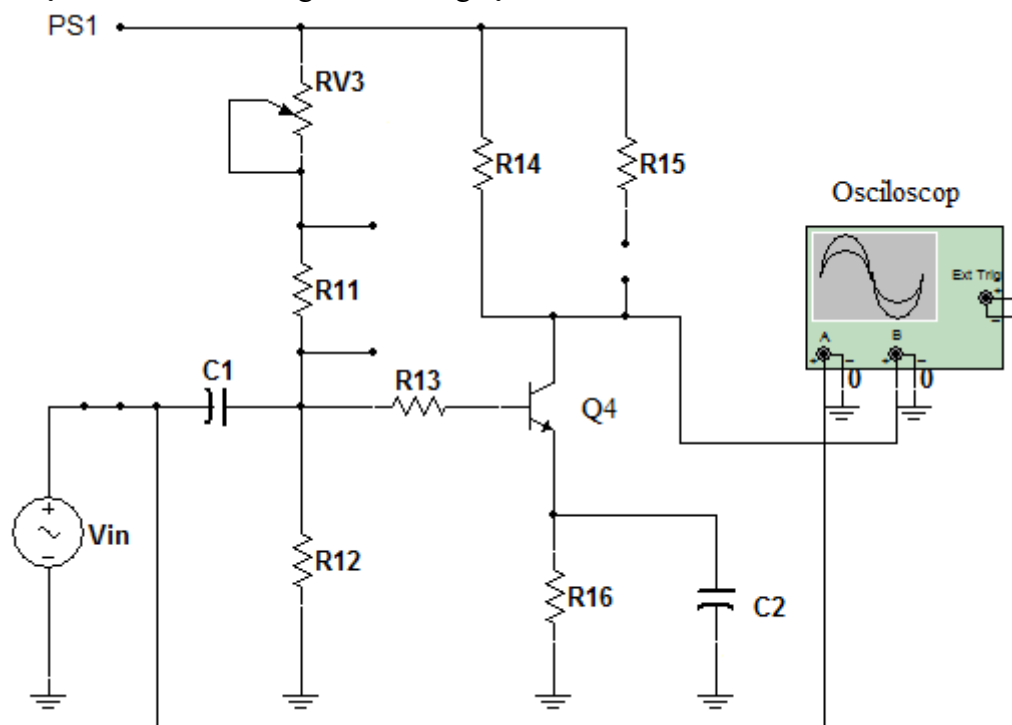


Fig.7.3. Amplificator cu tranzistor

3. Reglați din RV3, V_{CE} la 5V.
4. Reglați generatorul de semnal la frecvența de 1kHz, semnal sinusoidal.
5. Reglați amplitudinea semnalului generat astfel încât la ieșirea amplificatorului să obțineți o tensiune sinusoidală $V_{out} = 6V_{VV}$.
6. Măsurați semnalul de intrare $V_{in} = \text{_____} V_{VV}$. Amplitudinea semnalului de intrare rămâne cea măsurată.
7. Repetați măsurătorile tensiunii de la ieșirea amplificatorului pentru toate frecvențele din tabelul 7.3.

Tabelul 7.3. Răspunsul în frecvență

Frecvența (Hz)	100	200	500	1k	2k	5k	10k	20k	50k	100k
V_{out} -v										
Amplificarea										

8. Calculați amplificarea $A_V = V_{out}/V_{in}$.
9. Desenați caracteristica de frecvență a amplificatorului (graficul amplificării în funcție de frecvență) în figura 7.4. Atenție: pentru a putea reprezenta frecvența vom folosi o scară logaritmică.

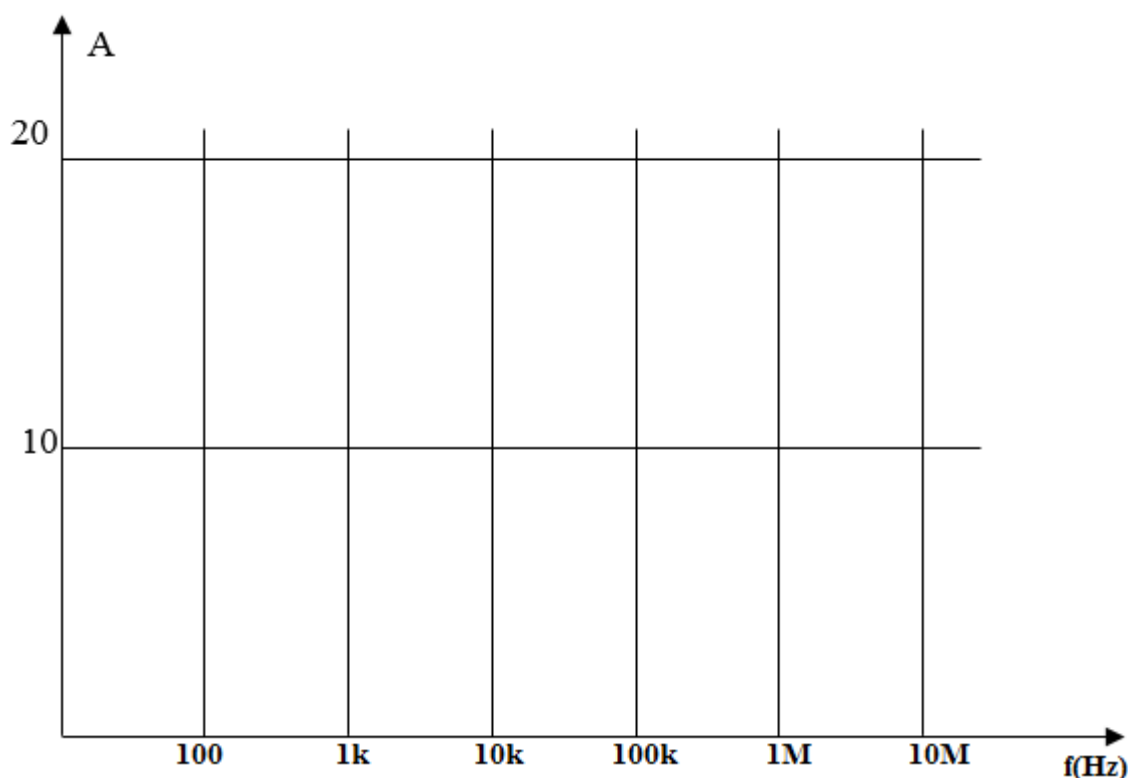


Fig.7.4. Caracteristica de frecvență a amplificatorului.

10. Deconectați C2 pentru a introduce o reacție negativă.
11. Reglați V_{in} pentru a obține $V_{out}=3V_{vv}$ la ieșire pentru o frecvență de 1kHz. Măsurați tensiunea de intrare $V_{in}=\underline{\hspace{2cm}}V_{vv}$
12. Notați valorile tensiunilor de ieșire pentru diferite frecvențe în tabelul 7.4.

Tabelul 7.4.Caracteristica de frecvență fără condensatorul C2

Frecvența (Hz)	20	50	100	200	500	1k	5k	10k	20k	50k	100k
$V_{out}v-v$											
Amplificarea											

13. Calculați amplificarea $A_v=V_{out}/V_{in}$.
 14. Desenați caracteristica de frecvență a amplificatorului(graficul amplificării funcție de frecvență), în figura 7.5.
- Completați fraza următoare: reacția negativă (mărește/micșorează)
amplificarea și (mărește/micșorează)..... lărgimea de bandă a
 amplificatorului.

4.2. Măsurarea timpului de creștere

13. Schimbați semnalul de intrare cu unul dreptunghiular și frecvență de 20kHz.
14. Deconectați condensatorul C2.
15. Măsurați timpul de creștere pe osciloscop. $T_{c1}=\dots\dots\dots$
16. Conectați condensatorul C2.
17. Măsurați timpul de creștere pe osciloscop. $T_{c2}=\dots\dots\dots$
18. Completați fraza următoare: *reacția negativă (mărește/micșorează)**timpul de creștere.*

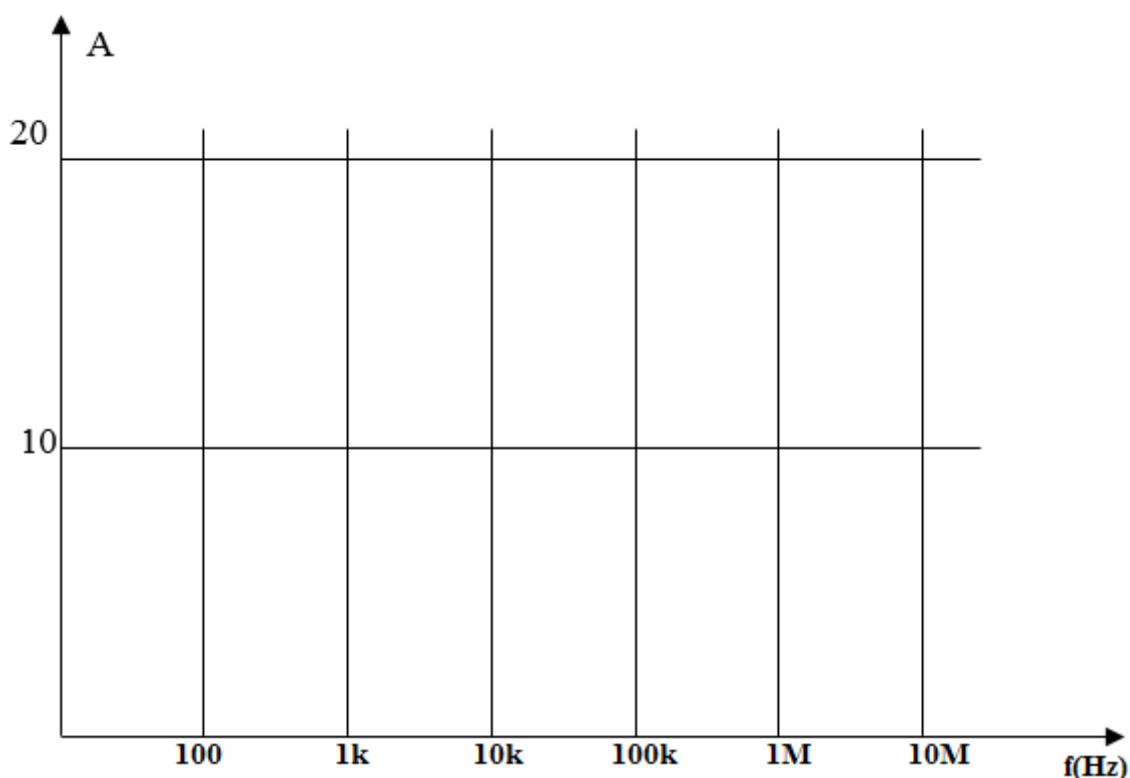


Fig.7.4. Caracteristica de frecvență a amplificatorului fără condensatorul C2.

4.3. Tranzistorul bipolar ca inversor digital.

19. Reglăm PS1 la 5V
20. Reglați RV3 pentru a obține $V_{CE}=2,5$ V.
21. Generatorul de semnal se pune pe semnal dreptunghiular cu frecvența de 2 kHz .
22. Măriți semnalul de intrare încet până când semnalul de ieșire nu mai crește .
23. Notați valoarea tensiunii de intrare $V_{in}=.....V_{vv}$
24. Fixăm $V_{in}=0,5V_{vv}$. Tensiunea de ieșire este $V_{out} =V_{vv}$.
25. Fixăm $V_{in}=4,0V_{vv}$. Tensiunea de ieșire este $V_{out} =V_{vv}$.

4.4. Aplicația software

26. Lansați programul MULTISIM.
 27. Creați un proiect nou intitulat „L7- Amplificator cu tranzistor bipolar 2”. Atenție proiectul trebuie creat în directorul de lucru al echipei din care faceți parte(ex. EA1\Echipa1).
 28. Realizați circuitul din figurile 7.3. și efectuați simulări pentru câte una din valorile din tabelele 7.3 și 7.4 Salvați rezultatele într-un fișier Word.
 40. Comparați rezultatele experimentale cu cele obținute din simularea software.
- NOTĂ: Valorile componentelor pentru aplicația software le găsiți în Anexa 1.

LUCRAREA DE LABORATOR NR.8**REPETORUL PE EMITOR ȘI AMPLIFICATORUL PUSH-PULL.****1. OBIECTIVE**

După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să aveți aptitudinea :

- 1.1 De a determina amplificarea etajului repetor.
- 1.2 De a testa repetorul pe emitor în montajul de stabilizator de tensiune.
- 1.3 De a determina factorul de stabilizare.
- 1.3 De a obține formele de undă de la intrare și ieșire pentru un amplificator push-pull

2. ECHIPAMENT NECESAR

- multimetru digital.
- generator de semnal
- osciloscop cu două spoturi.
- cadru de bază PU-2000.
- placă EB-111.
- placă de bază.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

Repetorul pe emitor mai este cunoscut și ca montajul cu **colector comun** deoarece din punct de vedere al semnalului alternativ colectorul este la masă.

Schema unui astfel de amplificator și schema echivalentă de semnal mic sunt prezentate în figura 8.1.

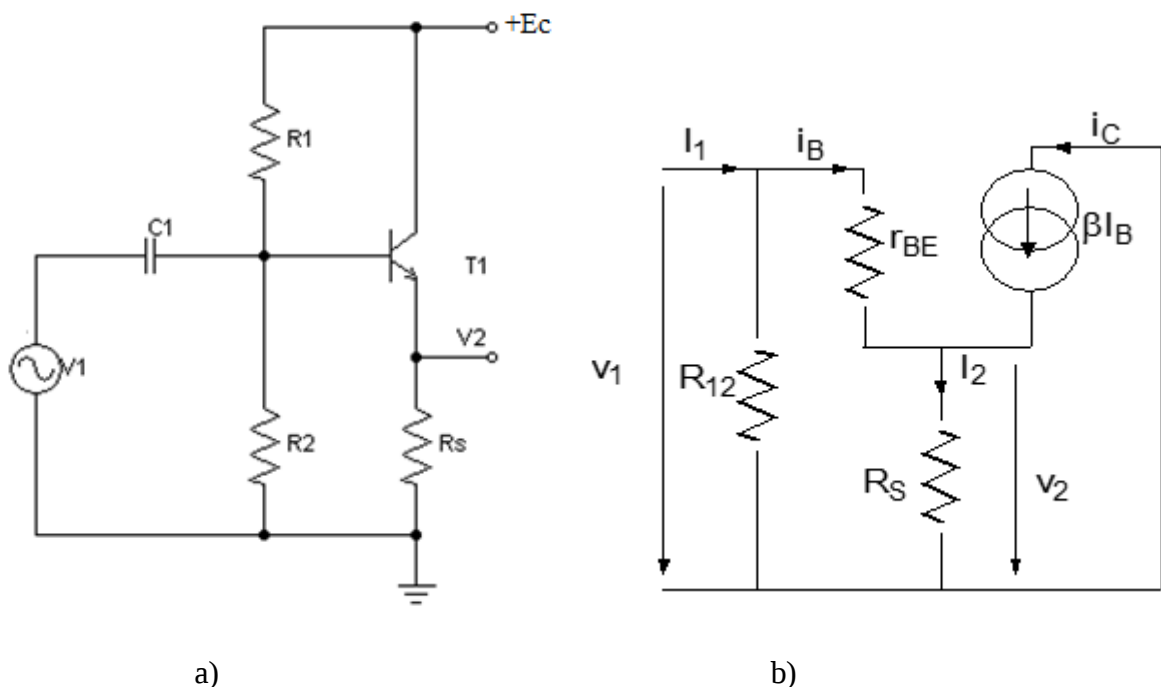


Fig.8.1. Amplificator cu tranzistor bipolar în conexiunea colector-comun:
a) schema de circuit, b) schema echivalentă de semnal mic

Amplificarea de tensiune a circuitului este:

$$\frac{v_2}{v_1} = a_v = \frac{R_s}{\frac{r_{BE}}{\beta + 1} + R_s} \quad (8.1)$$

Relația (8.1) arată că amplificarea de tensiune a acestui montaj este subunitară.

Dacă $r_{BE}/(\beta+1) \ll R_s$, cum este cazul de obicei, amplificarea de tensiune se apropie de unitate adică $a_v \cong 1$.

Amplificarea de curent a circuitului este:

$$\frac{i_2}{i_1} = a_i = \frac{R_{12}}{R_s} \quad (8.2)$$

Prin urmare amplificarea de curent a montajului poate fi foarte mare dacă valoarea echivalentă a rezistențelor R_1 și R_2 legate în paralel este mult mai mare decât rezistența de sarcină. Evident relația (8.2) este un rezultat aproximativ. Ea a fost obținută prin neglijarea curentului de bază în raport cu curentul prin R_{12} .

Rezistența de intrare a circuitului este:

$$r_i = R_{12} \parallel [r_{BE} + (\beta+1)R_s] \quad (8.3)$$

În funcție de valoarea R_s rezistența de intrare poate să fie foarte mare dar nu mai mare decât R_{12} .

Rezistența de ieșire a circuitului este:

$$r_o = \frac{r_{BE}}{\beta + 1} \quad (8.4)$$

Observăm că valoarea dată de relația (8.4) este foarte mică dacă β este mare.

În concluzie în conexiunea colector comun, tranzistorul bipolar repetă la ieșire tensiunea de la intrare, motiv pentru care acest montaj se mai numește și *repetor pe emitor*. Amplificarea de curent este mare, maximum $\beta+1$. Rezistența de intrare este mare și rezistența de ieșire mică.

Circuitul se folosește ca adaptor de impedanță între sursele de semnal și rezistențele mici de sarcină.

Amplificatorul push-pul este realizat cu două tranzistoare și are randament mai bun decât amplificatorul cu un tranzistor. Un tranzistor amplifică semialternanța pozitivă, iar celălalt semialternanța negativă a semnalului de intrare.

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

4.1. Repetorul pe emitor

1. Localizați circuitul care conține tranzistorul Q2 (dreapta jos).
2. Faceți conexiunile pentru a obține circuitul din figura 8.2. Reglați tensiunea PS-1 între 4 și 6 V.

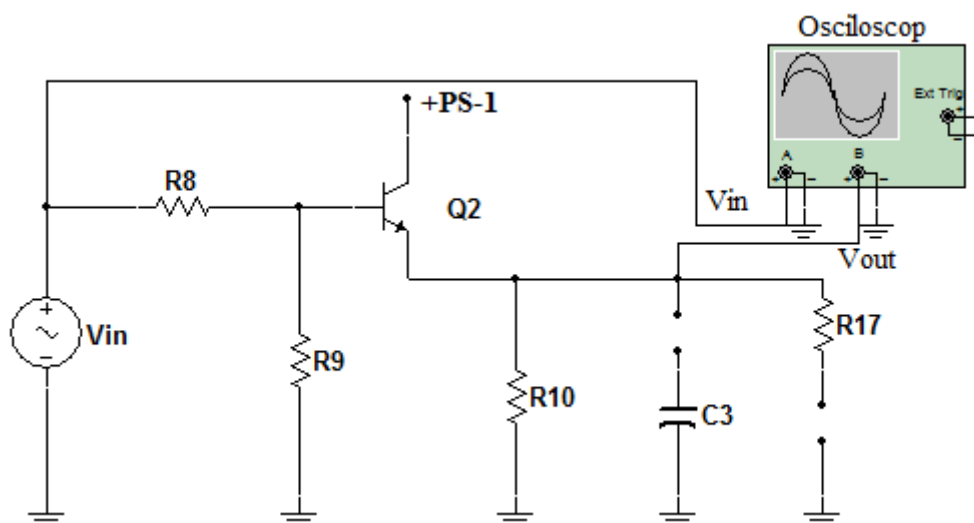


Fig.8.2. Repetorul pe emitor

3. Reglați generatorul pe semnal triunghiular cu frecvența de 2 kHz și amplitudinea de 6V_{vv}.
4. Observați pe cele două canale ale osciloscopului semnalele de intrare și ieșire.
5. Completați tabelul 8.1.

Tabelul 8.1. Repetorul pe emitor

V _{in}	-3	-2	-1	-0,5	0	0,5	1	2	3
V _{out} R ₁₀ =1kΩ									
V _{out} R ₁₇ =100Ω									

6. Repetați experimentul pentru R₁₇=100Ω conectat în locul lui R₁₀=1kΩ.

4.2. Repetorul pe emitor ca stabilizator de tensiune.

7. Realizați montajul din figura 8.3 folosind cele două circuite diferite de pe EB-111, partea dreaptă (stabilizatorul cu diodă Zener și repetorul pe emitor).
8. Reglați PS-1 la aproximativ 9V.
9. Măsurați tensiunea pe dioda Zener V_{D3}=.....V.
10. Măsurați tensiunea de la ieșirea repetorului pe emitor V_{out}=.....V.
11. Conectați R₁₇ în loc de R₁₀.
12. Măsurați V_{D3} și V_{out}. V_{D3}=.....V, V_{out}=.....V.
13. Calculați stabilizarea $S = [\Delta V_{out} / V_{out}(R_{10})] * 100\% = \dots\dots\dots$
14. Comparați rezultatul cu cel de la stabilizatorul cu diodă Zener.

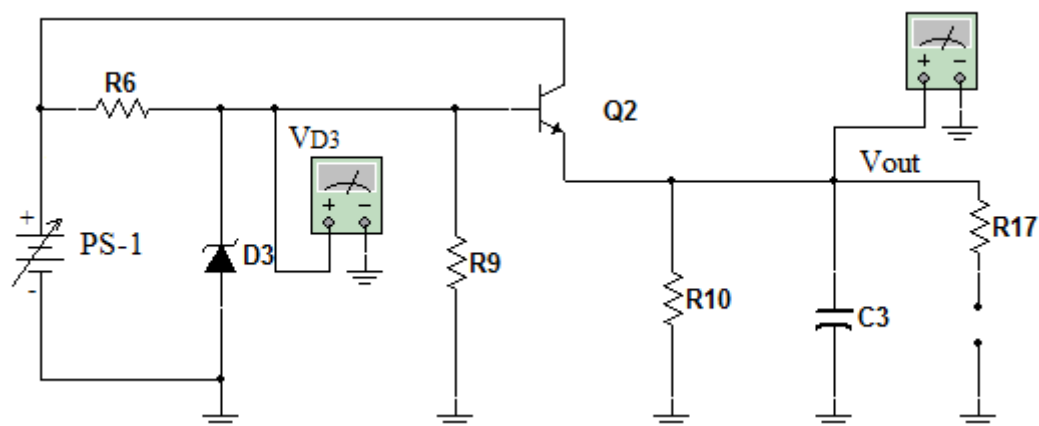


Fig. 8.3. Repetorul pe emitor ca stabilizator de tensiune

4.3. Amplificatorul push-pull

15. Realizați circuitul din fig. 8.4.
16. Reglăm valoarea tensiunilor PS-1 și PS-2 la aprox. 10V.
17. Generatorul de semnal se pune pe undă triunghiulară cu frecvența de 2 khz și amplitudinea de 6V_{vv}.
18. Vizualizați semnalul de ieșire și completați tabelul 8.2.

Tabelul 8.2. Amplificatorul push-pull

V _{in}	-3	-2	-1	-0,5	0	0,5	1	2	3
V _{out} R ₁₀ =1kΩ									
V _{out} R ₁₇ =100Ω									

19. Conectați R₁₇ în loc de R₁₀ și repetați măsurătorile.

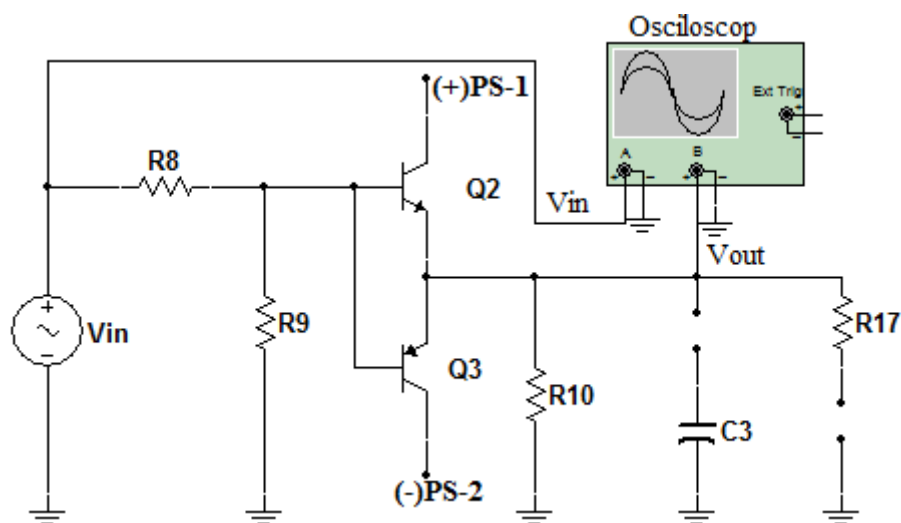


Fig. 8.4. Amplificatorul push-pull

4.4. Aplicația software

20. Lansați programul MULTISIM.
 21. Creați un proiect nou intitulat „L8- Repetorul pe emitor”. Atenție proiectul trebuie creat în directorul de lucru al echipei din care faceți parte(ex. EA1\Echipa1).
 22. Realizați circuitele din figurile 8.2 , 8.3. și 8.4 și efectuați simulări pentru câte una din valorile din tabelele 8.1 și 8.2. Salvați rezultatele într-un fișier Word.
 23. Comparați rezultatele experimentale cu cele obținute din simularea software.
- NOTĂ: Valorile componentelor pentru aplicația software le găsiți în Anexa 1.

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 9 DEPANAREA CIRCUITELOR CU DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE

1. OBIECTIVE

După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să aveți aptitudinea :

- 1.1 De a identifica punctele de test în circuitul complet.
- 1.2 De a măsura tensiunile importante din circuit.
- 1.3 De a determina etajul defect prin urmărirea semnalului.
- 1.4 De a localiza piesa defectă în cadrul etajului defect.

2. ECHIPAMENT NECESAR

- multimetru digital.
- generator de semnal
- osciloscop cu două spoturi.
- cadru de bază PU-2000.
- placa EB-111.
- placă de bază.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

Metoda fundamentală de depanare este urmărirea semnalului de la intrarea și ieșirea diverselor etaje ale circuitului. Etajul defect va avea semnal corect la intrare dar incorect la ieșire. Prin câteva măsurători în etajul defect, componenta defectă poate fi localizată.

Schema bloc a circuitului care urmează a fi depanat se dă în figura 9.1.

După cum se vede din figură testele sunt bazate pe măsurări de tensiune plus o măsurătoare de curenți de pierderi cu ampermetrul.

Schema în detaliu a circuitului care urmează a fi depanat se dă în figura 8.2.

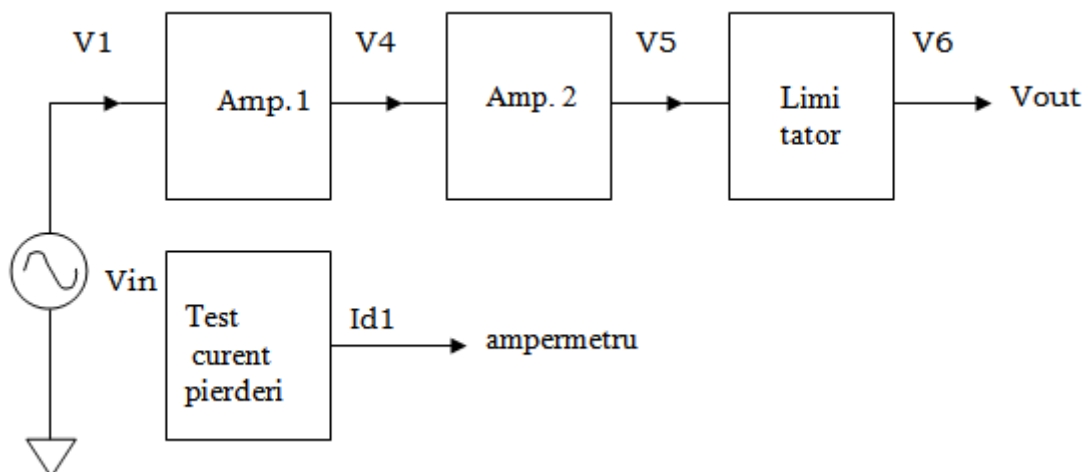


Fig. 9.1 Schema bloc a circuitului de depanat

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

1. Circuitul din figura 9.2 va fi realizat cu elementele de pe placa EB-111, pas cu pas după cum urmează:
2. Reglați tensiunile PS-1 la +12V și PS-2 la -6V.
3. Conectați emitorul tranzistorului Q4 la masă, colectorul la R15, și R12 la R13, ca în figura 9.2.
4. Ajustați din RV3 , $V_{CE}=3,5V$ pentru Q4 .

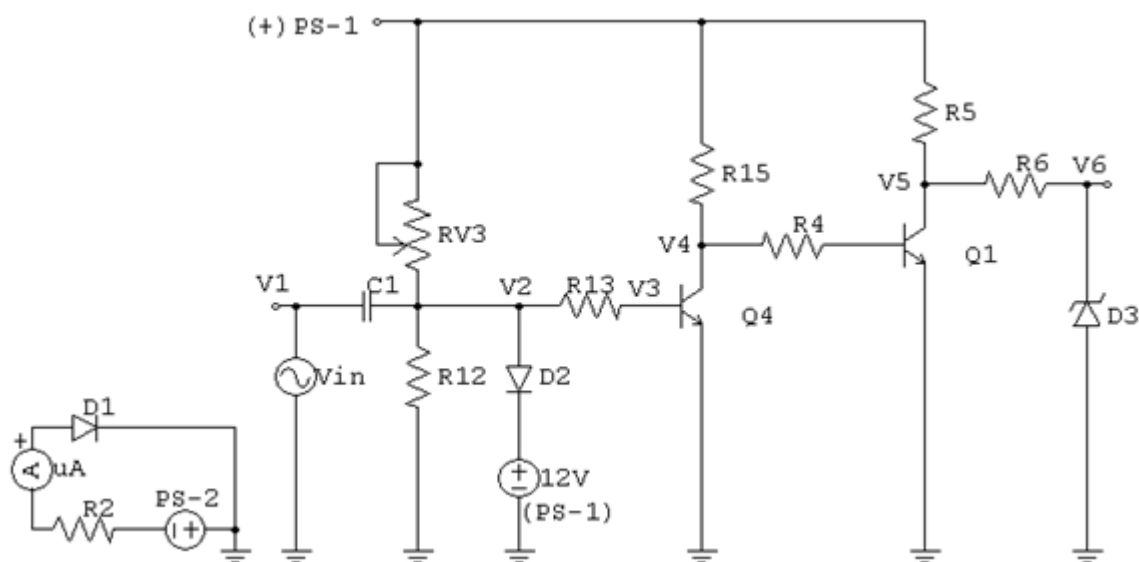


Fig.9.2.Circuitul experimental

5. Conectați un generator de semnal la V_{in} și legați condensatorul C1.
6. Ajustați generatorul de semnal pentru a obține semnal dreptunghiular cu amplitudinea de 2 V_v și frecvența de 2kHz.
7. Conectați osciloscopul astfel încât să puteți măsura tensiunea din colectorul Q4.
8. Modificați nivelul de la ieșirea generatorului de semnal astfel încât tensiunea din colectorul Q4 să fie de aproximativ 6V_v.
9. Conectați catodul lui D2 la PS-1 și anodul la R13 ca în figura 9.2.
10. Convingeți-vă cu ajutorul osciloscopului că forma tensiunii din colectorul Q4 este nemodificată.
11. Conectați colectorul lui Q4 la R4 și PS-1 la R5 ca în figura 9.2.
12. Conectați colectorul tranzistorului Q1 la R6.
13. Desenați formele de undă din punctele V1 – V6 în figura 9.3.

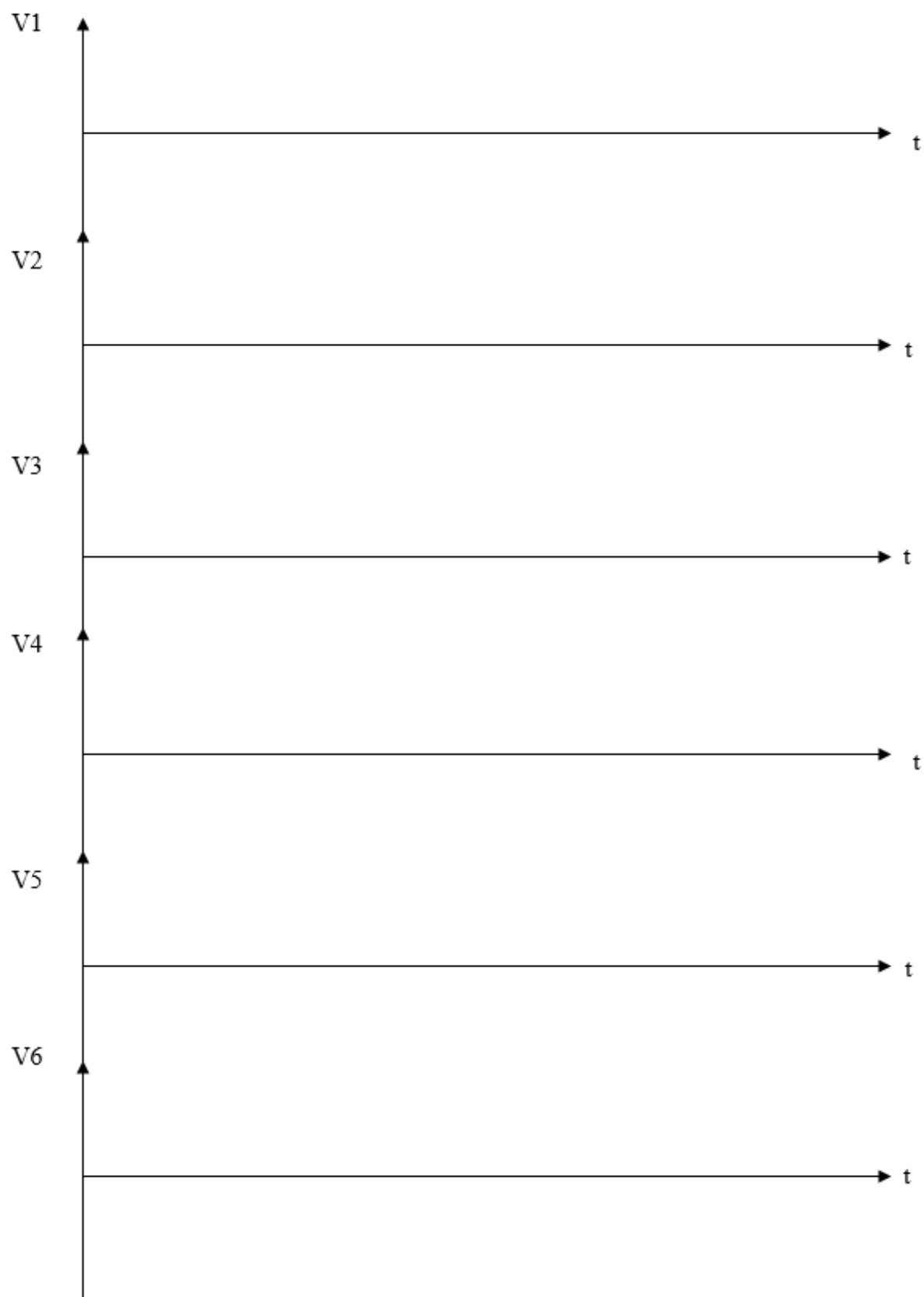


Fig.9.3. Formele de undă din punctele V1 – V6.

14. Conectați un ampermetru între R2 și D1 pentru a măsura curentul de pierderi.
15. Folosiți osciloscopul pentru a urmări semnalul de la etaj la etaj.
16. Defectul introdus poate fi unul din tabelul 9.1.

Tabelul 9.1. Defecte posibile

Componenta	Defectul	codul
C3	SCURT	2
RV3	INTRERUPERE	5
Q4	SCURT BAZĂ EMITOR	8
Q4	SCURT BAZĂ COLECTOR	10
D1	CURRENT INVERS MARE	11
Q1	ZGOMOTOS	12
D2	CURRENT INVERS MARE	14
D3	ÎNTRERUPERE	15
Q4	SCURT COLECTOR EMITOR	16
D3	IMPEDANȚA ZENER MARE	18
Q4	COLECTORUL ÎNTRERUPT	20

17. Comparați formele de undă cu cele desenate și izolați etajul defect, apoi componenta defectă.

LUCRARE DE LABORATOR NR.10 TRANZISTORUL CU EFECT DE CÂMP

1. OBIECTIVE

După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să aveți aptitudinea:

- 1.1 De a ridica caracteristica de drenă a tranzistorului cu efect de câmp.
- 1.2 De a ridica caracteristica de transfer a tranzistorului cu efect de câmp
- 1.3 De a determina rezistența canalului drenă- sursă a tranzistorului cu efect de câmp.
- 1.4 De a conecta tranzistorul cu efect de câmp într-un circuit de atenuare.
- 1.5 De a determina transconductanța tranzistorului cu efect de câmp.

2. ECHIPAMENT NECESAR

- cadru de bază PU-2000.
- placă EB-112.
- placă de bază.
- generator de semnal.
- 2 multimetre digitale.
- osciloscop cu două spoturi.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

La o joncțiune $p-n$ invers polarizată apare o regiune golită de purtători de sarcină cu atât mai mare cu cât tensiunea de polarizare inversă a joncțiunii este mai mare. Funcționarea tranzistoarelor $J - FET$ se bazează pe modificarea conductivității unui canal semiconductor de tip p sau n prin îngustarea lui mai mult sau mai puțin accentuată. Îngustarea se face prin extinderea sau reducerea regiunii golite a unei joncțiuni $p-n$ invers polarizate.

Caracteristici:

- Curentul este format numai de purtători de sarcină de un anumit tip (goluri sau electroni) motiv pentru care tranzistoarele se mai numesc și tranzistoare unipolare.
- Tehnologia acestor tranzistoare este simplă, iar dispozitivul are dimensiuni mici.
- Au o rezistență de intrare mult mai mare decât tranzistoarele bipolare, tipic de ordinul $M\Omega$.
- Prezintă, în general, un zgomot mai redus comparativ cu tranzistoarele bipolare.
- La tensiuni drenă-sursă mici dispozitivul se comportă ca o rezistență comandată și care spre deosebire de cazul tranzistoarelor bipolare nu are înseriată cu ea o sursă de tensiune.
- Dependența de temperatură a parametrilor tranzistorului este mai slabă decât a tranzistorului bipolar.

Simbolurile tranzistoarelor JFET sunt prezentate în figura 10.1.

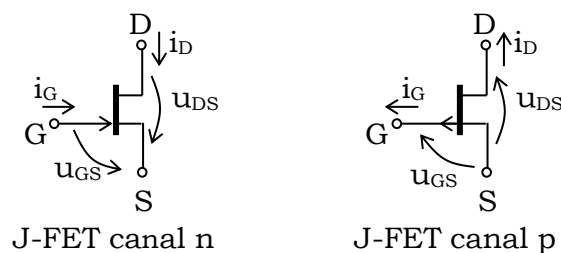


Fig.10.1. Tranzistoarele J-FET .

În figura 10.2 sunt prezentate caracteristicile de transfer și de ieșire ale tranzistoarelor JFET.

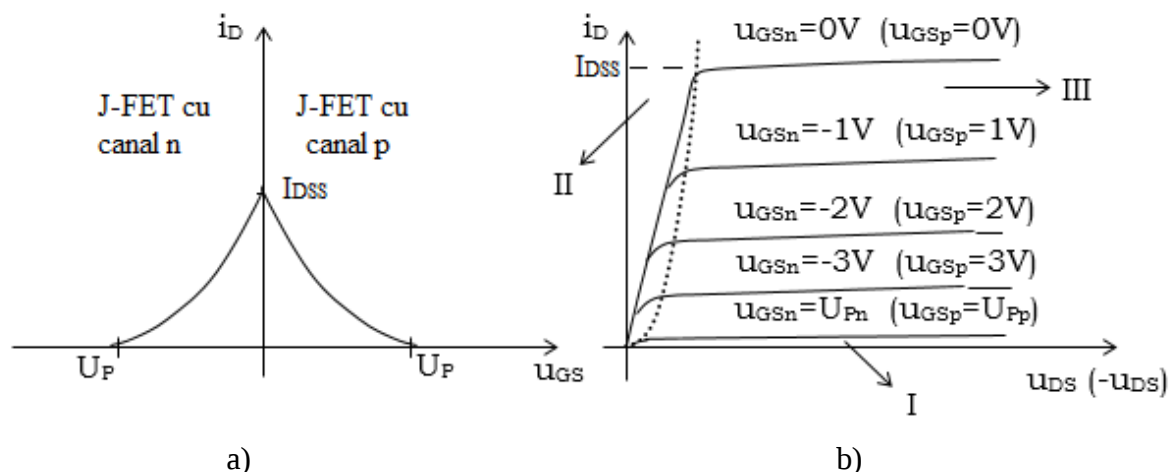


Fig.10.2. Caracteristicile de transfer a) și de ieșire b) ale tranzistoarelor JFET

Din caracteristica de ieșire se disting trei regiuni de funcționare.

- Regiunea I - este regiunea de blocare a tranzistorului. În această regiune curentul de drenă, i_D este zero.
- Regiunea II - este regiunea ohmică a tranzistorului. Expresia matematică ce definește această regiune este pentru J-FET cu canal n:

$$0 < u_{DS} < u_{GS} - U_P \quad (10.1)$$

iar pentru J-FET canal p:

$$u_{GS} - U_P < u_{DS} < 0 \quad (10.2)$$

Pentru valori mici ale tensiunii u_{DS} , din ecuația de gradul 2 (neliniară) a curentului de drenă

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_P} \right)^2 \quad (10.3)$$

se obține o ecuație liniară,

$$i_D \cong 2I_{DSS} \left(\frac{u_{GS}}{U_P} - 1 \right) \frac{u_{DS}}{U_P} \quad (10.4)$$

În aceste condiții rezistența în această regiune se obține derivând ecuația liniară,

$$r_{DS}^{-1} = \frac{\partial i_D}{\partial u_{DS}} = \frac{2I_{DSS}}{U_P} \left(\frac{u_{GS}}{U_P} - 1 \right) \quad (10.5)$$

Deci valoarea rezistenței depinde de valoarea tensiunii u_{GS} . În această regiune tranzistorul se utilizează ca rezistență comandată în tensiune.

- Regiunea III - este regiunea de saturare a curentului de drenă. În această regiune curentul de drenă, i_D este dat de ecuația de gradul 2:

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_P} \right)^2 \quad (10.6)$$

și este independent de valoarea tensiunii u_{DS} .

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

4.1. Caracteristica de drenă și caracteristica de transfer

1. Identificați pe placa EB-112 circuitul care conține tranzistorul Q1. Realizați circuitul din figura 10.3 și conectați aparatele de măsură conform specificațiilor din figură.

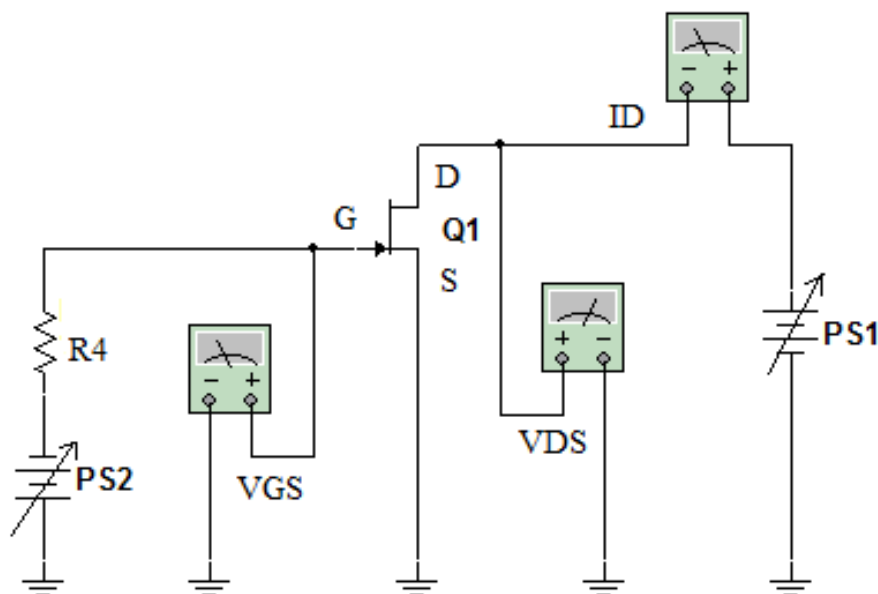


Fig.10.3. Circuit cu tranzistor JFET

2. Setați tensiunea grilă-sursă (V_{GS}) la 0V ajustând sursa de tensiune PS-2. Modificați tensiunea V_{DS} , ajustând sursa de tensiune PS-1, pentru valorile din tabel, măsurați curentul de drenă corespunzător acestor valori și treceți în tabel.
3. Completați tabelul 10.1.

Tabelul 10.1. Caracteristicile de ieșire.

$V_{DS}(V)$	0	0.1	0.25	0.5	1.0	2.0	5.0	10
$V_{GS}(V)$	$I_D(mA)$							
0								
-0.5								
-1.0								
-1.5								
-3								

4. Desenați în figura 10.4 familia de caracteristici de ieșire ale tranzistorului J-FET.

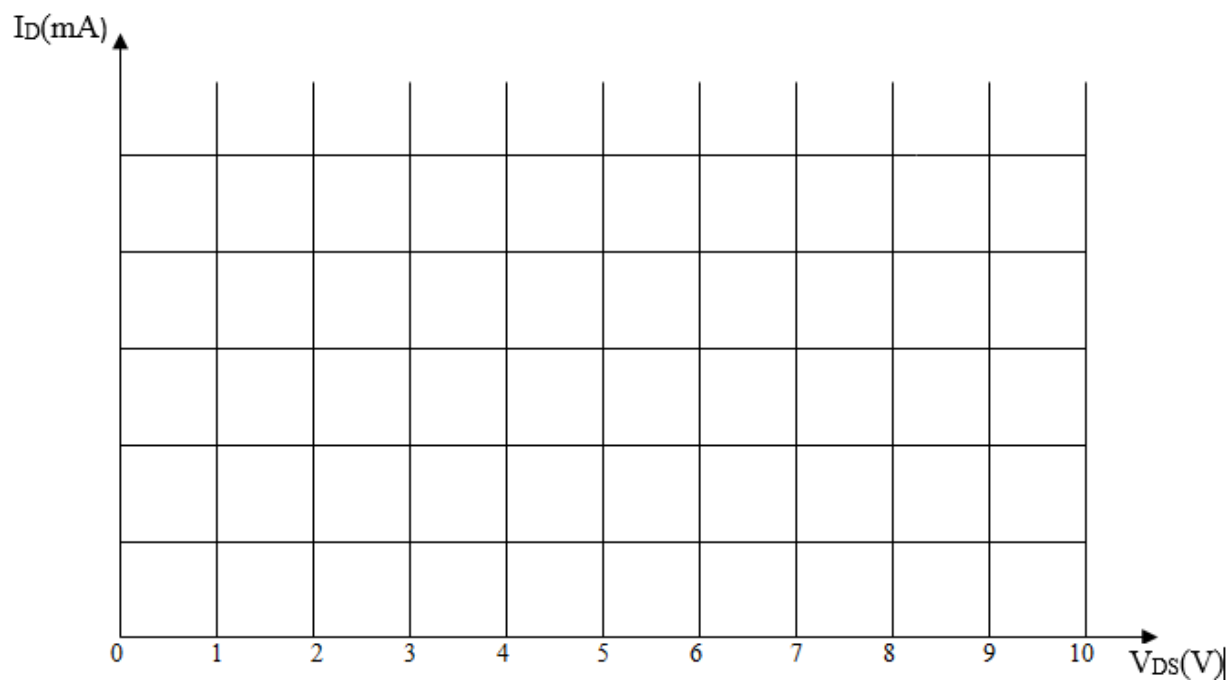


Fig.10.4. Caracteristicile de ieșire ale tranzistorului J-FET

5. Folosindu-vă de specificațiile de la punctul doi măsurați și completați tabelul 10.2.

Tabelul 10.2. Caracteristicile de transfer.

$V_{GS}(V)$	0	-0.5	-1.0	-1.5	-3
$V_{DS}(V)$	$I_D(mA)$				
0.1					
1					
10					

6. Ridicați caracteristicile de transfer

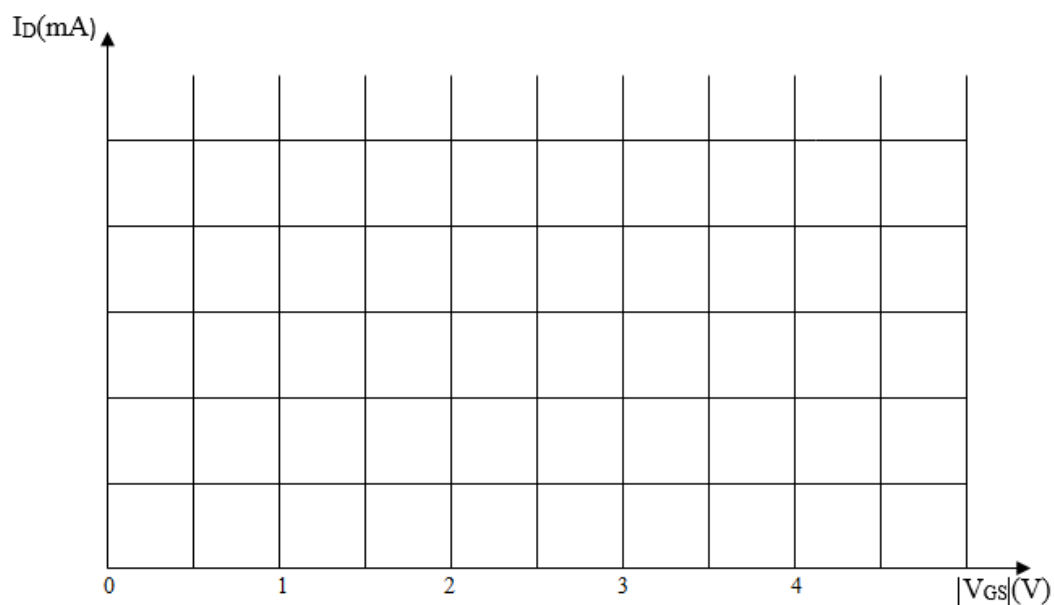


Fig.10.5. Caracteristicile de transfer

7. Care sunt valorile I_{DSS} si V_P ?

$I_{DSS} = \dots\dots\dots[\text{mA}]$ $V_P = \dots\dots\dots[\text{V}]$

4.2. Rezistența Drenă – Sursă

8. Realizați pe placa EB-112 circuitul din figura 10.6 și conectați aparatele de măsură conform specificațiilor din figură.

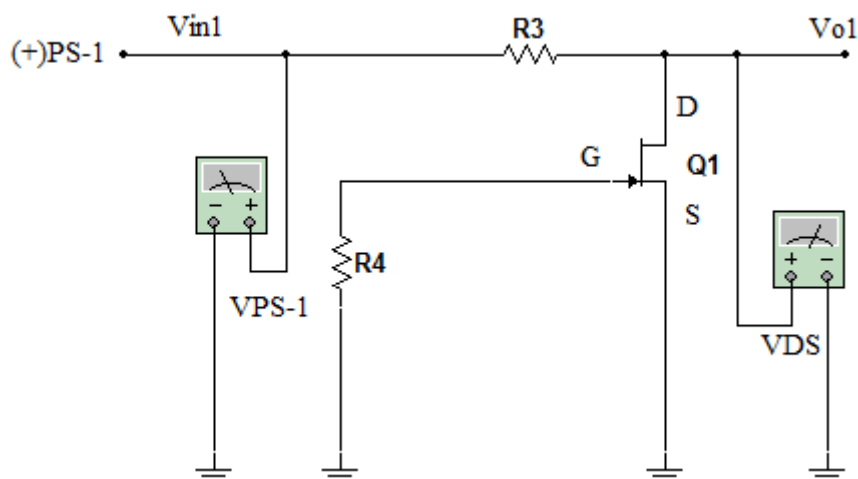


Fig.10.6. Măsurarea rezistenței drenă-sursă.

9. Ajustați sursa de tensiune PS-1 la 1V

10. Măsurăți tensiunea drenă – sursă și completați tabelul 3

Tabelul 10.3.Măsurarea rezistenței drenă-sursă

$V_{DS}(\text{mV})$	$V_{PS-1}(\text{V})$	$R_{DSON}(\Omega)$
	1	
	2	

11. Calculați rezistența canalului drenă – sursă după următoarea formulă:

$$R_{DS(ON)} = \frac{R3 * V_{DS}}{(V_{in} - V_{DS})}, \text{ unde } R3 = 10\text{k}\Omega.$$

4.3. Tranzistorul J-FET ca atenuator

12. Realizați pe placa EB-112 circuitul din fig. 10.7 și conectați aparatele de măsură conform specificațiilor din figură.

13. Ajustați V_{GS} la 0V

14. Ajustați generatorul de semnal pentru a obține un semnal sinusoidal cu frecvența de 1KHz și amplitudinea de 200mVv cu un offset de 100mV ca în figura 10.8.

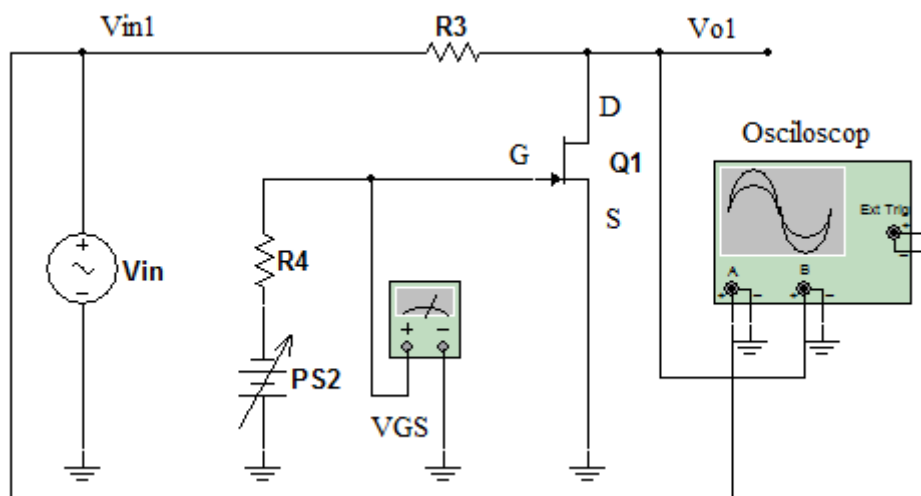


Figura 10.7. Tranzistorul J-FET ca atenuator

15. Măsurăți tensiunea V_{DS} și tensiunea V_{in} și completați valorile în tabelul 10.4.

Tabelul 10.4. Măsurătorile atenuatorului

$V_{GS}[V]$	$V_{DS}[mV]$	$V_{in}[mV]$
0		
-1		
-2		
-3		
-4		
-5		

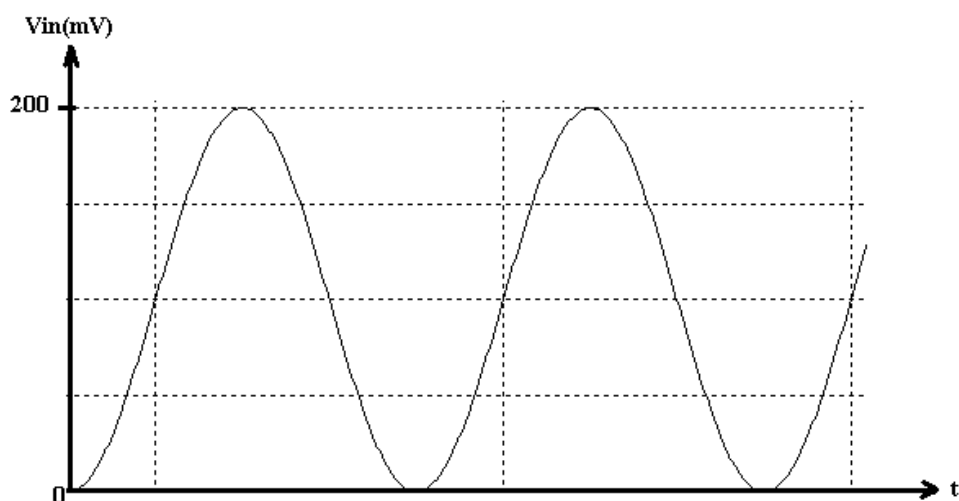


Fig.10.8. Forma semnalului de intrare

16. Repetați măsurătorile pentru un semnal de intrare de $V_{in} = 3V_{v-v}$ cu un offset de 1,5V. Modificați valoarea tensiunii V_{GS} de la 0V la -5V și observați schimbările tensiunii V_{DS} .

Întrebare: Există distorsiuni? Explicați cauza.

4.4. Trasconductanța

17. Realizați pe placa EB-112 circuitul din fig.10.9 și conectați aparatele de măsură conform specificațiilor din figură.

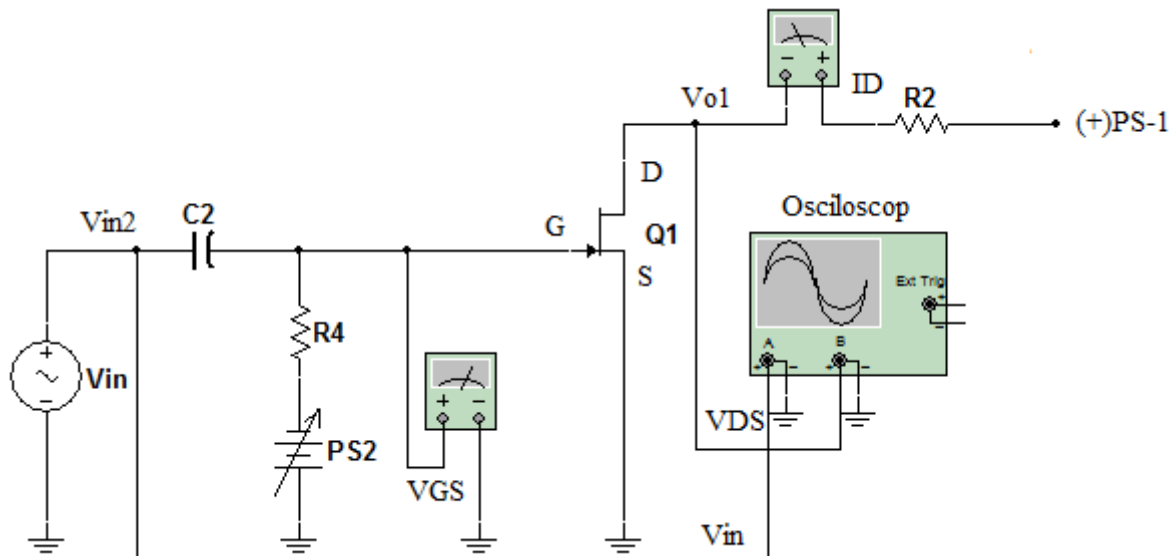


Fig.10.9.Circuitul de măsurare a transconductanței.

18. Ajustați sursa de tensiune PS – 1 pentru a obține un curent $I_D = I_{DSS}$
19. Ajustați generatorul de semnal pentru a obține un semnal sinusoidal cu frecvența de 1KHz și amplitudinea de 100mV_{v-v}
20. Măsurati tensiunea de drenă și tensiunea de grilă corespunzătoare și calculați transconductanța conform formulei următoare:
 $V_{DS} = \dots\dots\dots [mV_{vv}] \quad V_{in} = \dots\dots\dots [mV_{vv}]$

$$g_m = \frac{V_{DS}}{V_{in} * R_2} = \dots\dots\dots$$

unde: $R_2 = 2,2K\Omega$

pentru $V_{GS} = 0V$ g_m este denumit și g_{mo} .

$$g_{mo} = \frac{2 * I_{DSS}}{V_p} = \dots\dots\dots$$

21. Calculați valorile conform acestei formule și comparați rezultatele.

4.5. Aplicația software

22. Lansați programul MULTISIM.
23. Creați un proiect nou intitulat „L10- Tranzistorul J-FET”. Atenție proiectul trebuie creat în directorul de lucru al echipei din care faceți parte(ex. EA1\Echipa1).
24. Realizați circuitele din figurile 10.3, 10.6, 10.7 și 10.9. și efectuați simulări pentru câte una din valorile din tabelele aferente. Salvați rezultatele într-un fișier Word.
25. Comparați rezultatele experimentale cu cele obținute din simularea software.
NOTĂ: Valorile componentelor pentru aplicația software le găsiți în Anexa 1.

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 11 AMPLIFICATOR CU TRANZISTOR J-FET.

1. OBIECTIVE

După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să cunoașteți:

- 1.1 Măsurarea valorilor de curent continuu la amplificatoare cu tranzistoare FET.
- 1.2 Determinarea răspunsului în frecvență prin măsurarea valorilor.
- 1.3 Determinarea modului de dependență a amplificării de tensiune A_V de rezistența de sarcină.

2. ECHIPAMENT NECESAR

- cadru de bază PU-2000.
- placă EB-112.
- placă de bază.
- generator de semnal.
- multimetru digital.
- osciloscop cu două spoturi.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

Ca și tranzistoarele bipolare, și tranzistoarele cu efect de câmp J-FET se pot folosi ca și amplificatoare de semnal mic. În acest scop ele vor fi polarizate în regiunea de saturație a curentului de drenă. În figura 11.1 avem un amplificator cu J-FET în conexiunea sursă comună, iar în figura 11.2 modelul de semnal mic al circuitului.

Condensatoarele C_1 și C_2 decuplează din punctul de vedere al curentului continuu sarcina, respectiv sursa de semnal de la intrare. Condensatorul C_3 șuntează rezistența de polarizare R_s în gama de frecvențe pentru care este proiectat amplificatorul. În schema echivalentă de semnal mic, aceștia au fost înlocuiți cu scurtcircuite.

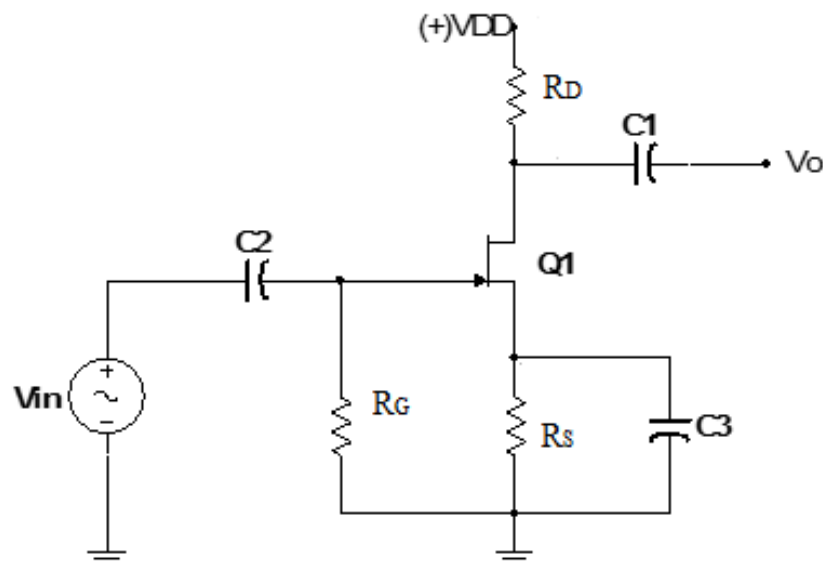


Fig.11.1. Amplificator cu tranzistor J-FET.

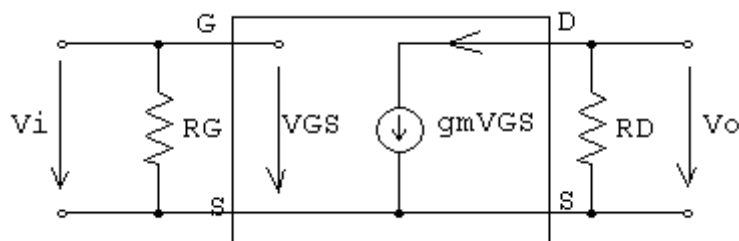


Fig.11.2. Modelul de semnal mic al amplificatorului cu transistor J-FET.

Tensiunea de ieșire va fi:

$$V_o = -i_D R_D = -g_m V_{GS} R_D = -g_m V_i R_D \quad (11.1)$$

de unde amplificarea de tensiune:

$$A_v = V_o / V_i = -g_m R_D \quad (11.2)$$

În cazul în care am avea o rezistență de sarcină R_S conectată la ieșire, aceasta ar apărea în schema de semnal mic în paralel cu R_D . În acest caz relația (10.1) este aplicabilă dacă în loc de R_D punem rezistența echivalentă $R_D \parallel R_S$.

Rezistența de intrare în montaj este R_G . Dacă sursa de semnal de intrare are rezistența internă R_i , ea va forma un divizor de tensiune cu R_G și la intrarea amplificatorului va ajunge numai o parte din semnalul sursei. Relația (11.2) devine în acest caz:

$$\frac{V_o}{V_i} = -g_m R_D \times \frac{R_G}{R_G + R_i} \quad (11.3)$$

Pentru un R_i dat, trebuie ca $R_G \gg R_i$ pentru ca amplificarea dată de relația (11.3) să fie maximă. Din acest motiv se alege R_G de ordinul megaohmilor.

Se poate remarca faptul că, față de un amplificator cu transistor bipolar în conexiune EC, rezistența de intrare a amplificatorului cu J-FET este mult mai mare, ceea ce constituie un avantaj. Amplificarea de tensiune este însă mai mică. Ținând cont de faptul că g_m are valori tipice de ordinul (2 – 5) mA / V iar R_D este de ordinul kohmilor rezultă pe baza relației (11.2) că amplificarea unui etaj cu J-FET va fi de ordinul zecilor. În cazul tranzistorului bipolar amplificarea poate fi de ordinul sutelor.

Desigur, în loc de J-FET se poate folosi orice alt tip de tranzistor cu efect de câmp, modificând corespunzător circuitul de polarizare. Valoarea amplificării va fi tot cea dată de relația (11.2).

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

4.1. Caracteristicile montajului sursă comună

1. Introduceți circuitul EB-112 în unitatea PU-2000.
2. Realizați pe placa EB-112 circuitul din fig. 11.3 și conectați aparatele de măsură conform specificațiilor din figură.
3. Ajustați PS-1 pentru a obține $V_{DD} = 12$ V.
4. Ajustați din RV1 tensiunea de polarizare la $V_D = 1/2 V_{DD}$.
5. Măsurați tensiunile de polarizare ale tranzistorului și le treceți în tabelul 11.1.

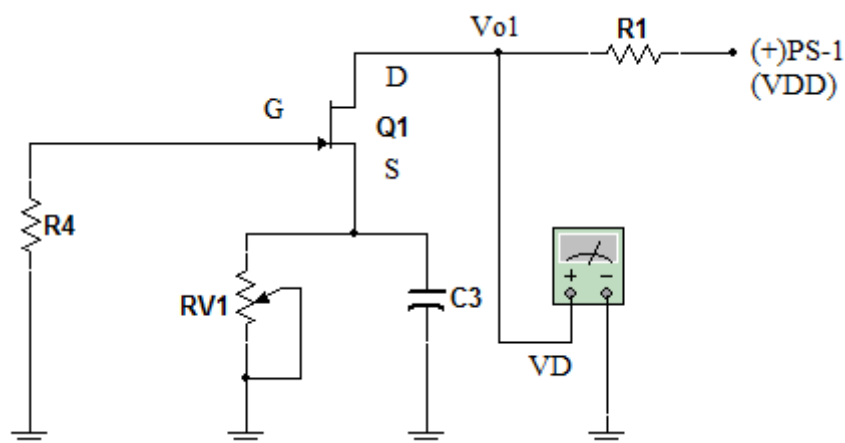


Fig.11.3. Tranzistorul J-FET în montajul sursă comună

Tabelul 11.1. Polarizarea montajului sursă comună

$V_S(V)$	$V_D(V)$	$V_G(V)$
1.58	6.11	0

4.2. Răspunsul în frecvență

6. Conectați osciloscopul la ieșirea amplificatorului ca în figura 11.4 ($R_L=R_1=10\text{ K}\Omega$).
7. Conectați generatorul de semnal la V_{in2} .Reglați frecvența semnalului de intrare la 1 kHz și amplitudinea la 200 mV_{V-V}.

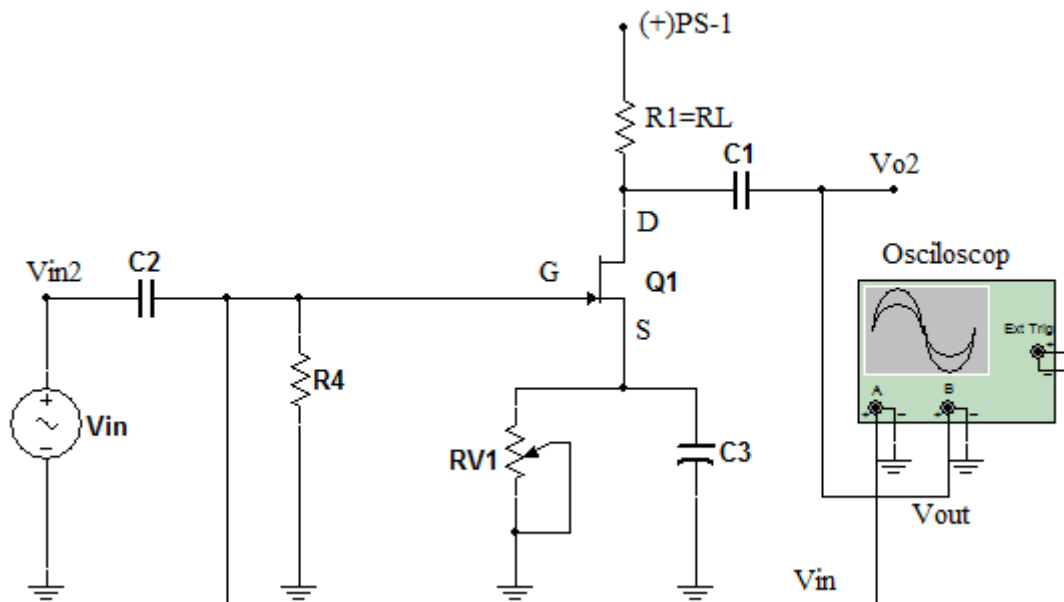


Fig. 11.4. Montajul sursă comună pentru măsurarea răspunsului în frecvență

8. Măurați tensiunea de intrare și ieșire și treceți rezultatele în tabelul 11.2 . (Dacă este necesar corectați din RV1 tensiunea de polarizare).
9. Modificați frecvența semnalului de intrare ca în tabelul 11.2 și completați tabelul. Verificați ca tensiunea de intrare să nu se modifice.
10. Calculați amplificarea de tensiune $A_V = V_{out} / V_{in}$ și treceți în tabel.

Tabelul 11.2

f(kHz)	V _{in} (V)	V _{out} (V)	A _v
0,1	0.2	1.1	5,5
1	0.2	2.86	14.3
10	0.2	3	15
50	0.2	3	15
100	0.2	3	15

4.3. Influența rezistenței de sarcină

11. Reglați generatorului de semnal la frecvența 1 kHz și 200 mV_V-V
12. Măsurăți și treceți în tabelul 10.3 valorile V_{in} și V_{out} pentru rezistența de sarcină R_L=R₁.
13. Calculați amplificarea de tensiune A_v și treceți în tabel.
14. Înlocuiți pe R₁ cu R₂ și repetați măsurătorile și calculele.

Tabelul 10.3. Influența rezistenței de sarcină

R _L (kΩ)	V _{in} (V)	V _{out} (V)	A _v
R ₁ = 10 kΩ	0.2	2.86	
R ₂ = 2,2 kΩ	0.2	0.7	

4.4. Aplicația software

15. Lansați programul MULTISIM.
 16. Creați un proiect nou intitulat „L11- Amplificator cu tranzistor J-FET”. Atenție proiectul trebuie creat în directorul de lucru al echipei din care faceți parte(ex. EA1\Echipa1).
 17. 15. Realizați circuitele din figurile 11.3 și 11.4. și efectuați simulări pentru câte una din valorile din tabelele 11.2 și 11.3. Salvați rezultatele într-un fișier Word.
 18. Comparați rezultatele cu cele din aplicația practică.
 19. Comparați rezultatele experimentale cu cele obținute din simularea software.
- NOTĂ: Valorile componentelor pentru aplicația software le găsiți în Anexa 1.

LUCRAREA DE LABORATOR NR. 12

CARACTERISTICILE TRANZISTORUL V-MOS

1. OBIECTIVE

După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să aveți aptitudinea:

- 1.1 De a ridica caracteristicile tranzistorului VMOS:
- 1.2 De a realiza un circuit digital de comutație cu tranzistorul VMOS și de a-i determina caracteristicile de comutare.
- 1.3 De a realiza un circuit analog de comutație cu tranzistor VMOS și de a-i determina caracteristicile de comutație

2. ECHIPAMENT NECESAR

- cadru de bază PU-2000
- placă EB-112
- placă de bază
- generator de semnal
- multimetru digital
- osciloscop cu două spoturi

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

Tranzistorul VMOS (Vertical Metal Oxide Silicon) este un tranzistor cu efect de câmp de putere. În comparație cu un tranzistor cu efect de câmp obișnuit, care transferă un curent de câțiva miliamperi, tranzistorul VMOS poate transfera un curent de sute de miliamperi. (ex. VN10KM transferă 300mA).

Tranzistorul VMOS este folosit în circuite de comutație, realizând legătura dintre circuitele de putere mare și cele de putere mică.

În figura 12.1 este prezentată structura unui transistor V-MOS cu canal indus de tip n.

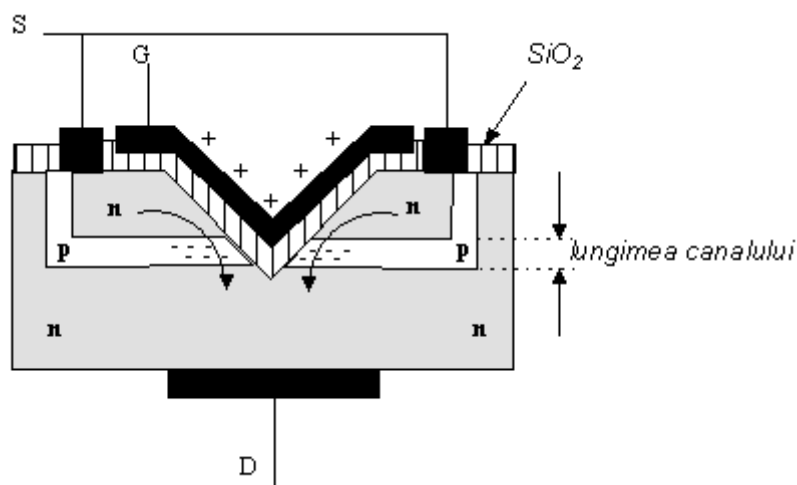


Fig.12.1. Structura tranzistorului V-MOS

Regiunile de tip n ale sursei și drenei sunt separate de o regiune de tip p. Dacă poarta este polarizată pozitiv față de sursă, sarcina pozitivă acumulată în metalizarea porții va atrage electronii minoritari din regiunea p în apropierea vârfului “V”-ului. Se induce astfel canalul de tip n care permite trecerea curentului de la sursă la drenă. Principiul de funcționare este deci identic cu al unui tranzistor MOS FET planar dar electronii trec transversal prin canal. În consecință lungimea canalului este foarte mică în timp ce secțiunea lui este mare. Canalul are prin urmare o rezistivitate mică și permite trecerea unui curent mare fără producerea unei încălziri exagerate.

De exemplu tranzistorul V-MOS de tipul BUZ 90 poate disipa 75 W la temperatura de 250°C. Tensiunea maximă drenă – sursă este de 600V iar curentul maxim de drenă 4,5A. În starea de conducție, rezistența drenă – sursă este de numai 1,6 Ω . Tensiunea maximă între poartă și sursă este de ± 20 V. valoarea de prag a tensiunii V_{GS} este $V_P = (2,1 - 4)V$. O valoare foarte bună are transconductanța acestui tranzistor: $g_m = 3,8$ S. El este utilizat de exemplu în sursele de alimentare în comutație ale unor monitoare.

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

4.1. Caracteristicile tranzistorului V-MOS

1. Realizați pe placa EB-112 circuitul din figura 12.2 și conectați aparatele de măsură conform specificațiilor din figură.
2. Ajustați $V_{GS}=0$ folosind potențiometrul PS-2, măsurați valoarea curentului de drenă I_D pentru diferite valori ale tensiunii V_{DS} și completați tabelul 12.1.
3. Repetați măsurătorile pentru diferite valori ale tensiunii V_{GS} .

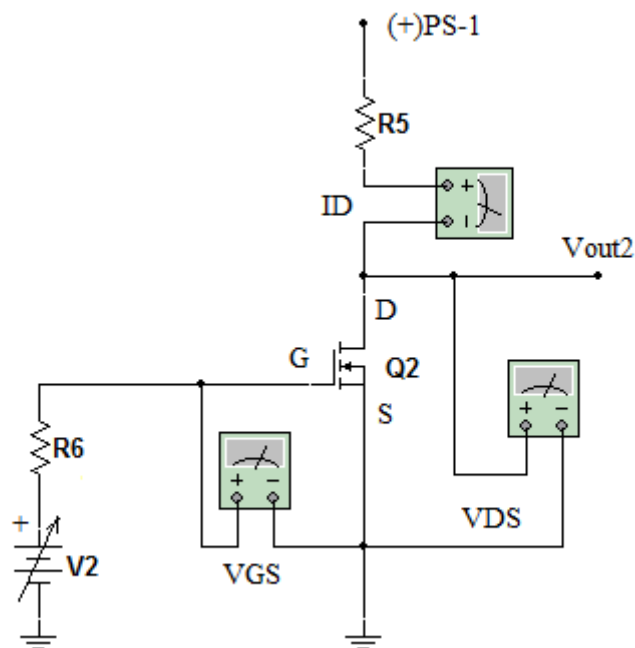


Fig.12.2 Circuit cu tranzistorul V-MOS pentru ridicarea caracteristicilor

Tabelul 12.1. Caracteristicile tranzistorului V-MOS

$V_{Ds}[V]$	0	0.005	0.1	0.25	0.5	1	2	5	7.5	10
$V_{Gs}[V]$	$I_D[mA]$									
0										
1										
1.5										
2										
2.5										
3										
4										
5										

4. Ridicați caracteristicile de ieșire la scară logaritmică în figura 12.3.

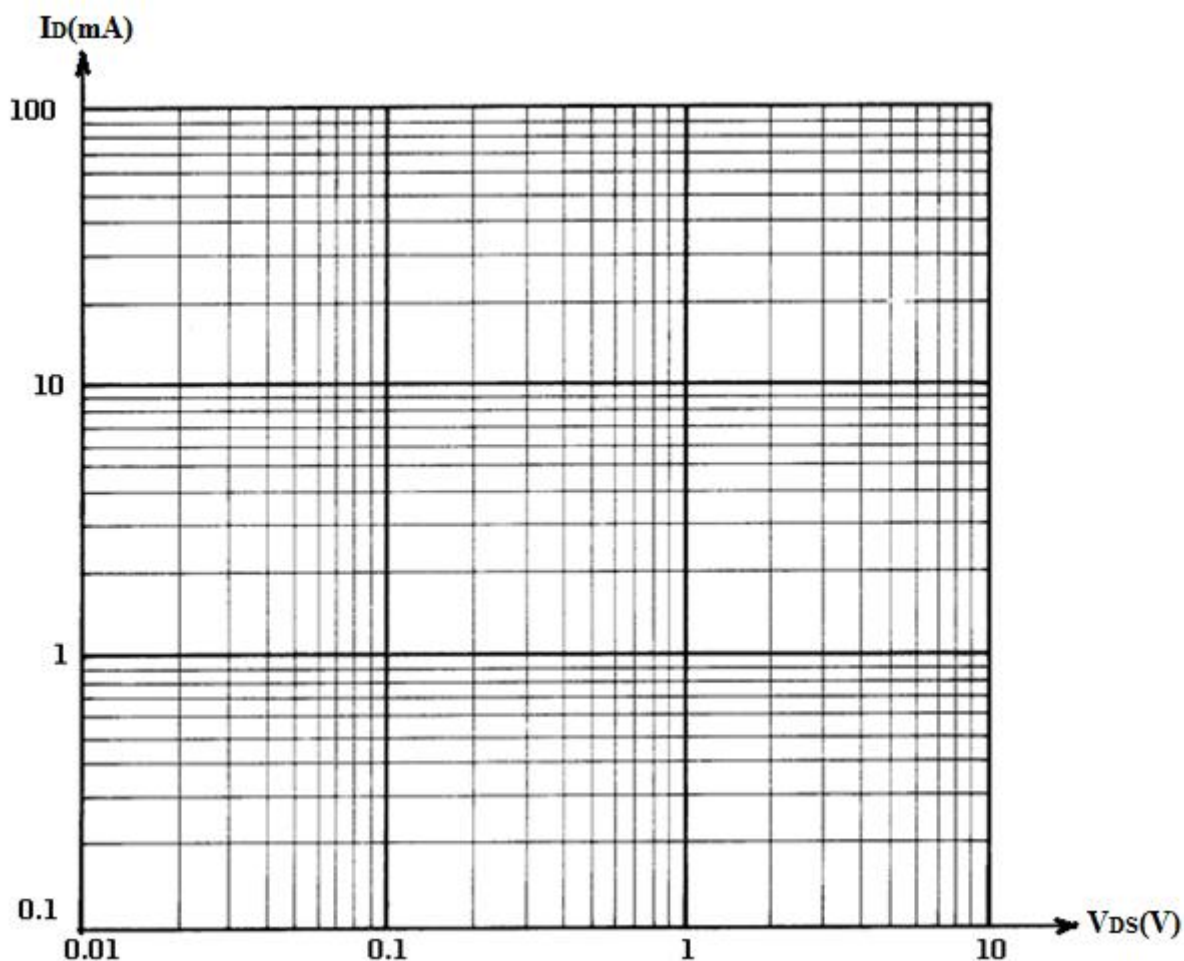


Fig.12.3. Caracteristicile de ieșire ale tranzistorului V-MOS

4.2. Răspunsul tranzistorului V-MOS la un semnal dreptunghiular

5. Conectați aparatele de măsură conform specificațiilor din figura 12.4

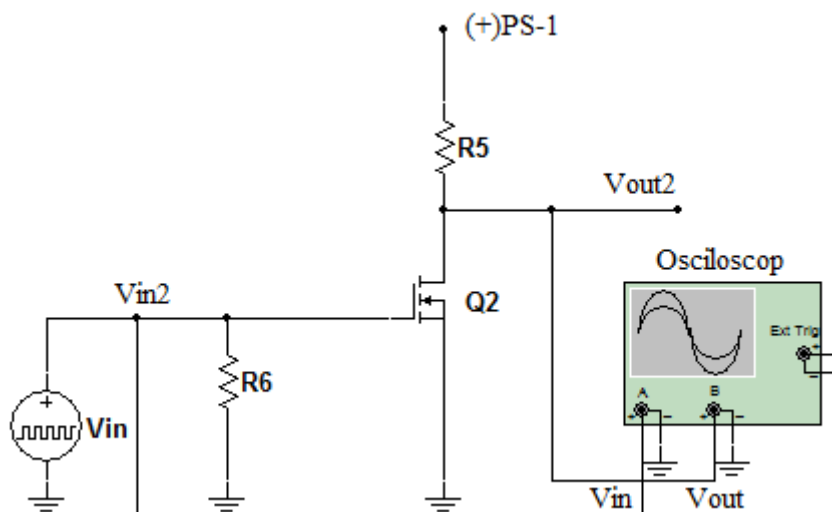


Fig.12.4. Tranzistorul V-MOS ca și comutator

6. Reglați generatorul de semnal pentru a obține un semnal dreptunghiular cu frecvența de 1KHz și o amplitudine de 5V.
 7. Setati sursa de tensiune PS-1 la 5V.
 8. Folosiți osciloscopul pentru a vizualiza formele de undă ale semnalelor de la intrarea și ieșirea circuitului.
 9. Trasați formele de undă în figura 12.5

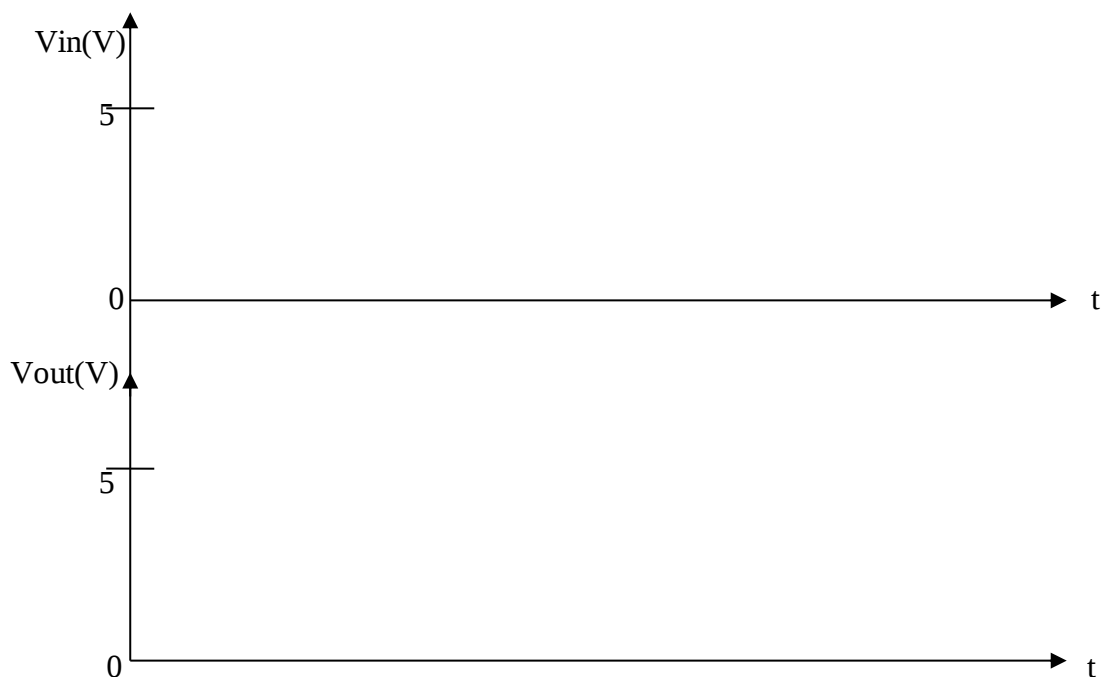


Fig.12.5. Formele de undă la comutația tranzistorului V-MOS

10. Repetați măsurătorile pentru frecvențe diferite: 1Hz, 10Hz, 100Hz, 1kHz, 10kHz, 100kHz, 1MHz.

Întrebare: Cum este răspunsul în frecvență? Există distorsiuni?

4.3. Comutator analogic cu tranzistorul V-MOS

11. Conectați aparatele de măsură conform specificațiilor din figura 12. 6

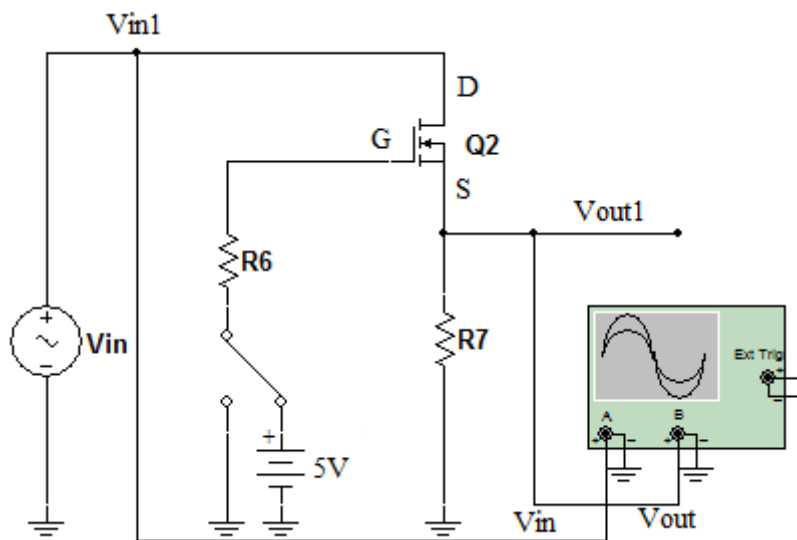


Fig.12.6. Comutator analogic cu tranzistorul V-MOS.

12. Alternativ conectați la rezistența R6, +5V sau 0V. Atenție, să nu le cuplați în același timp!

13. Ajustați generatorul de semnal pentru a obține un semnal sinusoidal cu frecvența de 1kHz având tensiune cuprinsă în intervalul $0,2V < V_{in} < 0,4 V$.

14. Cuplați și decuplați tranzistorul și desenați în figura 12.7 formele de undă obținute.

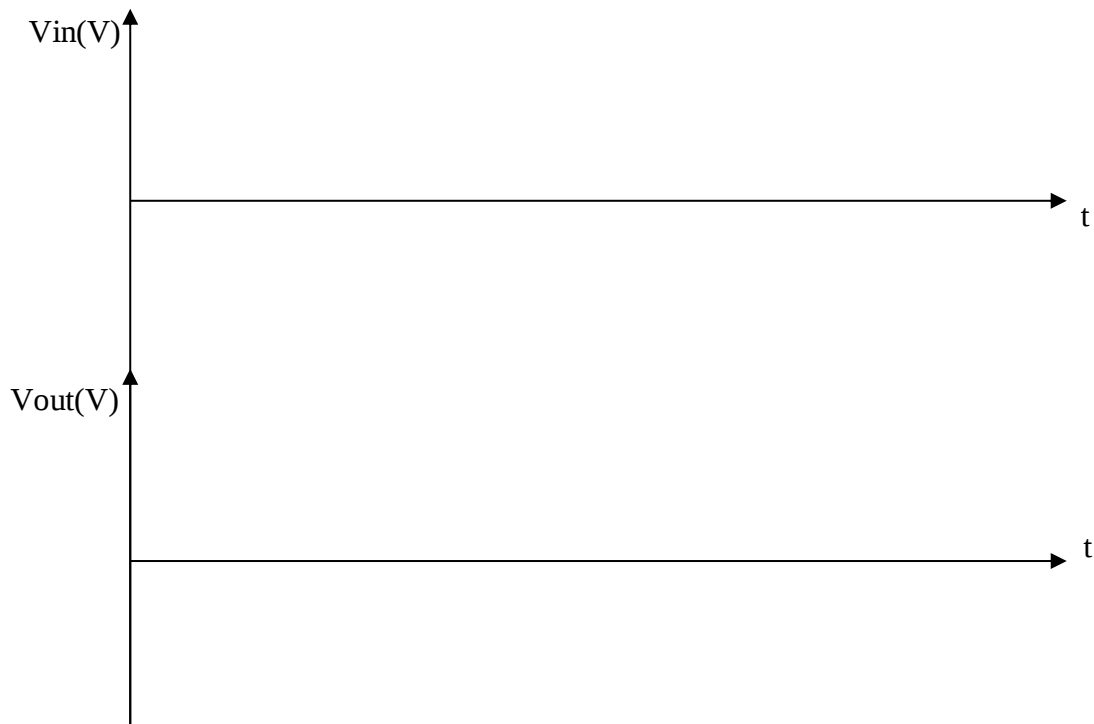


Fig.12.7. Formele de undă ale comutatorului analogic

15. Decuplați tranzistorul și verificați dacă se comportă ca un întrerupător ideal la frecvențele de 10Hz, 100Hz, 10kHz, 100kHz.
 16. Schimbați forma de undă sinusoidală cu una dreptunghiulară. Cum se modifică comportarea circuitului?
 17. Repetați măsurătorile pentru un semnal sinusoidal având amplitudinea cuprinsă în intervalul $-3V < V_{in} < +3V$
- Întrebare:** Se comportă tranzistorul VMOS ca un întrerupător analogic bidirecțional?
Ce se va întâmpla dacă veți folosi V2 (variabil) în loc de +5V?

LUCRAREA DE LABORATOR NR.13**CARACTERISTICILE TIRISTORULUI****1. OBIECTIVE**

După executarea acestei lucrări de laborator trebuie să aveți aptitudinea :

- 1.1 De a ridica caracteristicile tiristorului.
- 1.2 De a conecta tiristorul în polarizare directă.
- 1.3 De a determina curentul de menținere (hold).
- 1.4 De a determina curentul și tensiunea de amorsare a tiristorului.
- 1.5 De a măsura unghiul de aprindere a circuitului de control în fază.
- 1.6 De a măsura tensiunea de ieșire a unei surse variabile de tensiune în c.c. realizată cu tiristoare.

2. ECHIPAMENT NECESAR

- cadru de bază PU-2000.
- placă EB-112.
- placă de bază.
- generator de semnal.
- multimetru digital.
- osciloscop cu două spoturi.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

Tiristorul face parte din categoria dispozitivelor electronice de putere funcționând cu agățare, parțial controlabile, comandate în curent, cu comandă intermitentă. În literatura tehnică este cunoscut sub numele de SCR (Silicon Controlled Rectifier) care, în traducere liberă, înseamnă element redresor comandat având la bază o structură de siliciu. Denumirea face referire la domeniul principal de utilizare al tiristorului și anume, la realizarea convertoarelor unidirecționale și bidirecționale de curent.

Tiristorul este un component robust, admite o densitate mare de curent și suportă tensiuni ridicate atât la blocarea în direct cât și la blocarea în invers. Ca dezavantaj major va fi menționată frecvența sa relativ scăzută de comutație. Structura tiristorului este alcătuită dintr-o succesiune de patru straturi PNPN suprapuse. În figura 13.1 este redată structura, schema electrică echivalentă și simbolul tiristorului. Proprietatea de agățare este conferită tiristorului de conexiunea colector-bază a celor două tranzistoare echivalente $T_{N^+PN^-}$ și T_{PN^-P} , conexiune ce se constituie într-o buclă cu reacție pozitivă.

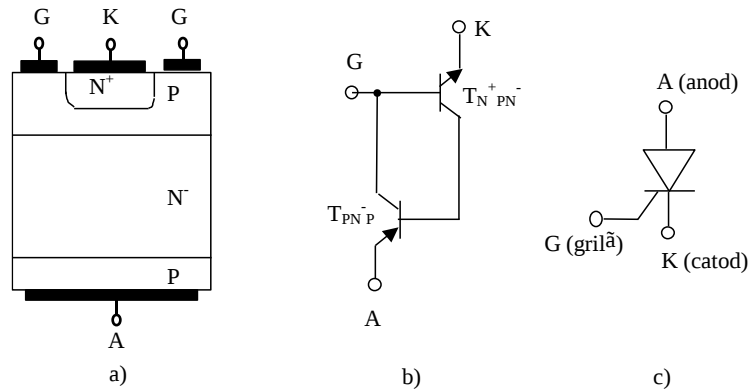


Fig. 13.1 Tiristorul: a) secțiune transversală b) schema electrică echivalentă c) simbolul

3.1. Caracteristica statică a tiristorului

Caracteristica statică curent-tensiune a unui tiristor este redată în figura 13. 2.

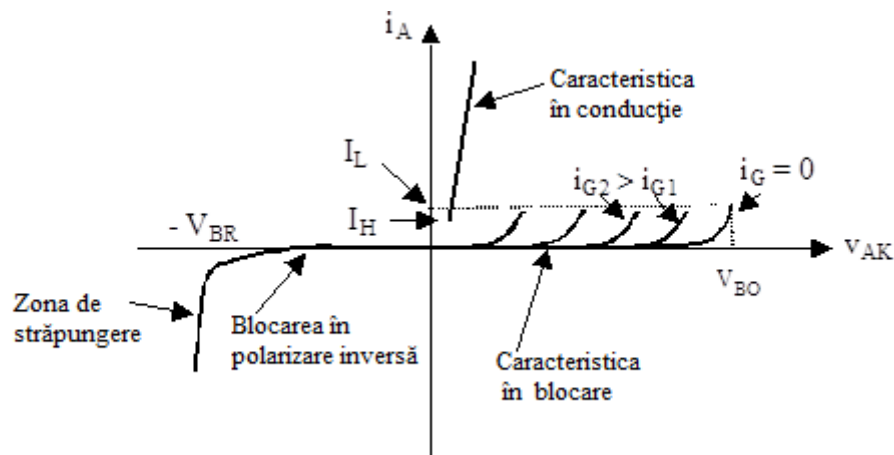


Fig.13. 2. Caracteristica statică a tiristorului

Din caracteristica statică a tiristorului prezentată în figura 13.2 se disting următoarele stări posibile :

- blocare ($0 < V_{AK} < V_{BO}$, $i_A = 0$),
- conducție ($V_{AK} > 0$, $i_A \neq 0$),
- blocare în polarizare inversă ($-V_{BR} < V_{AK} < 0$, $i_A = 0$),
- străpungere ($V_{AK} < -V_{BR}$, $i_A \rightarrow -\infty$).

Trecerea din starea de blocare în direct în starea de conducție se realizează prin aplicarea în grilă a unui curent.

Tiristorul are două regimuri de funcționare:

- 1) *regim de conducție* - tiristorul conduce și are o rezistență mică;
- 2) *regim de blocare* – tiristorul este blocat și are o rezistență mare.

Când la poarta tiristorului se aplică un curent suficient de mare (curentul de amorsare), tiristorul va intra în regim de conducție. Pentru a intra în regimul de blocare, curentul prin tiristor trebuie să fie mai mic decât curentul de menținere I_H . Tiristorul este folosit în multe circuite de control atât în curent alternativ cât și în curent continuu.

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

4.1. Caracteristicile tiristorului

1. Realizați pe placa EB-112 circuitul din figura 13.3 și conectați aparatele de măsură conform specificațiilor din figură.

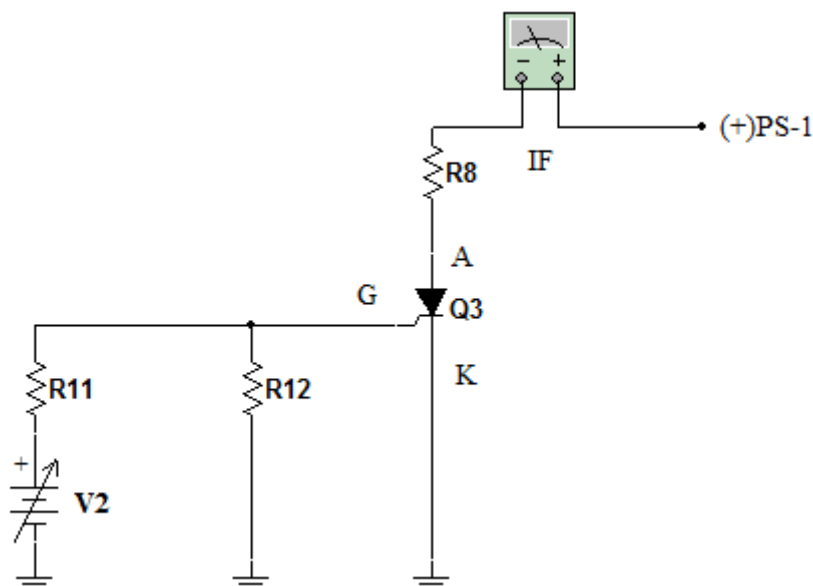


Fig.13.3.Măsurarea curentului anodic

2. Setati sursa de tensiune PS-1 și sursa de tensiune V_2 la valoarea de 0V.

Observație: Potentiometrul V_2 este ieșirea inversată a sursei de tensiune PS-2.

3. Modificați tensiunea sursei PS-1 până la valoarea de 11V.

4. Măsurați curentul de anod I_F

$$I_F = \dots\dots\dots \mu A$$

4.2. Caracteristica tiristorului în conducție directă

5. Realizați pe placa EB-112 circuitul din figura 13.4 și conectați aparatele de măsură conform specificațiilor din figură.

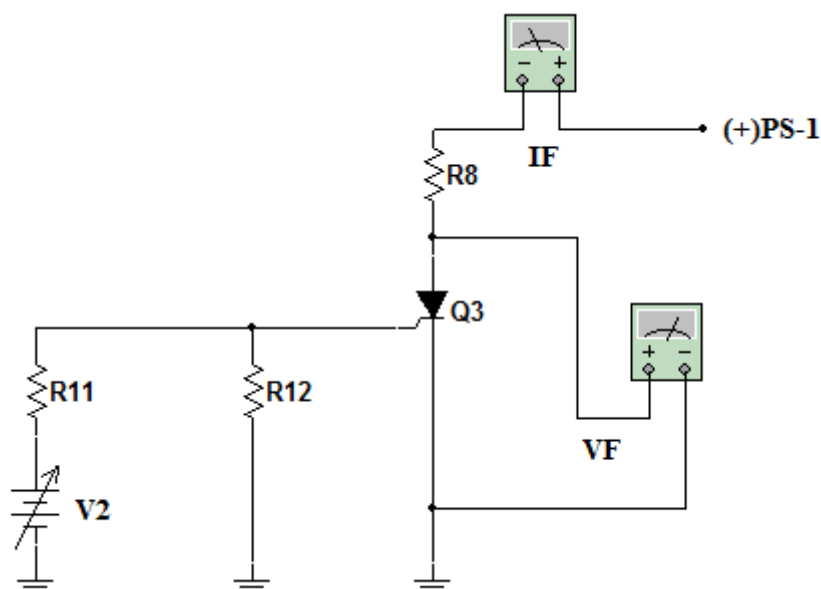


Fig.13.4. Ridicarea caracteristicii statice a tiristorului

6. Setați sursa de tensiune PS-1 la 2V și sursa de tensiune V_2 la valoare maximă. Asigurați-vă că tiristorul se află în conducție.

7. Creșteți tensiunea sursei PS-1 până se obține un curent anodic $I_F = 100 \text{ mA}$. Măsurați tensiunea V_F pe tiristor .

8. Reduceți curentul de anod I_F modificând tensiune sursei PS-1 pentru a obține valorile din tabelul 13.1. Măsurați tensiunea V_F corespunzătoare pentru fiecare din aceste valori și completați tabelul 13.1.

Tabelul 13.1. Caracteristica statică a tiristorului

$I_F[\text{mA}]$	100	75	50	25	10	5
$V_F[\text{V}]$						

9. Ridicați graficul $I_F = f(V_F)$ în figura 13.5..

Întrebare: Cât de mult s-a modificat tensiunea V_F ? Care este cauza ?

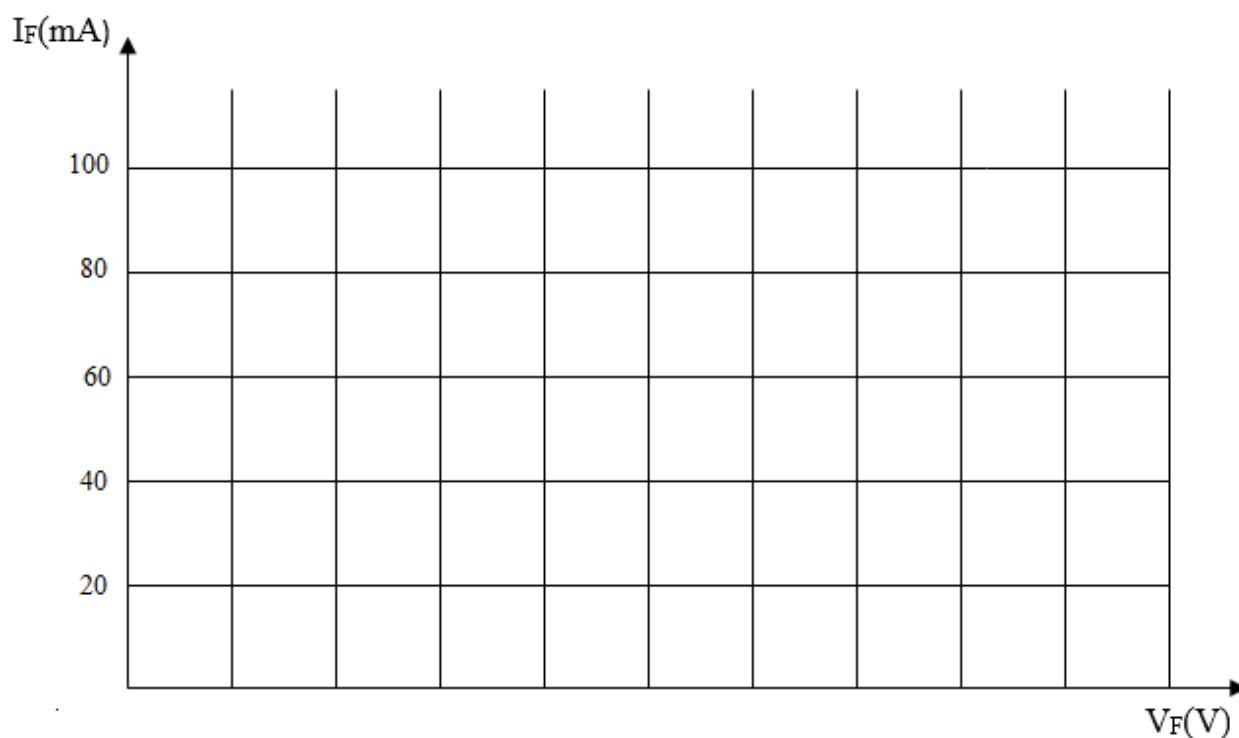


Fig. 13.5. Caracteristica statică a tiristorului

4.3. Curentul de menținere

10. Realizați circuitul din figura 13.6 și ajustați tensiunea sursei PS-1 la 11V și tensiunea sursei V_2 la 0V. Amorsați tiristorul crescând tensiunea sursei V_2 la valoare maximă. Ajustați potențiometrul P_1 la valoare minimă.

11. Setați tensiunea pe poarta $V_{GT} = 0V$ cu ajutorul sursei V_2 .

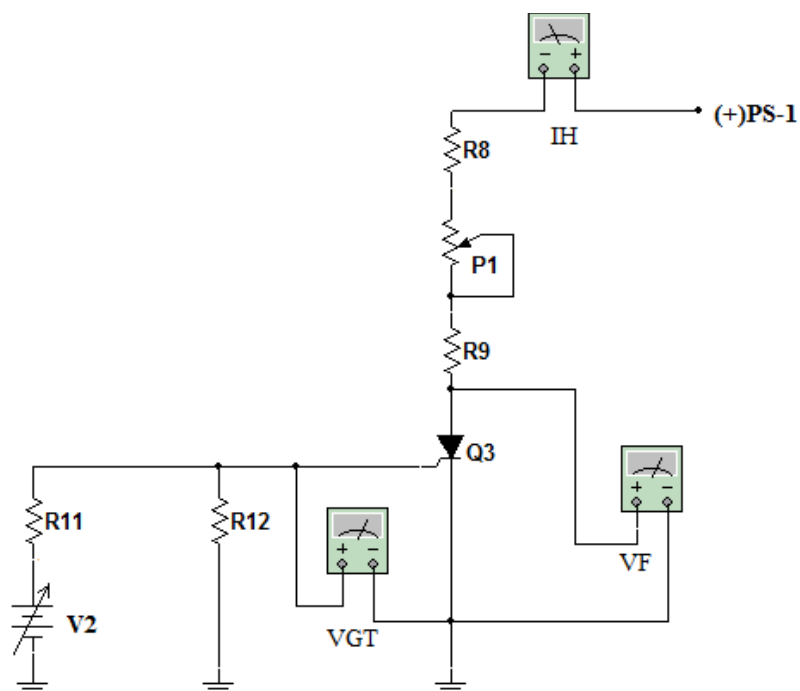
12. Ajustați potențiometrul P_1 pentru a scădea valoarea curentului I_H .

13. Înregistrați valoarea curentului I_H la care încetează conducția.

14. Repetați pași 10 ÷ 13 pentru a asigura o măsurare corectă a curentului de menținere.

Valoarea curentului de menținere este:

$I_H = \dots\dots\dots$ mA.

Fig.13.6. Măsurarea curentului de menținere I_H

4.4. Tensiunea și curentul de amorsare

15. Folosind circuitul din Fig.13.7 efectuați următoarele setări: PS-1 la 11V, V_2 la 0V și potențiometrul P_1 la valoarea minimă.

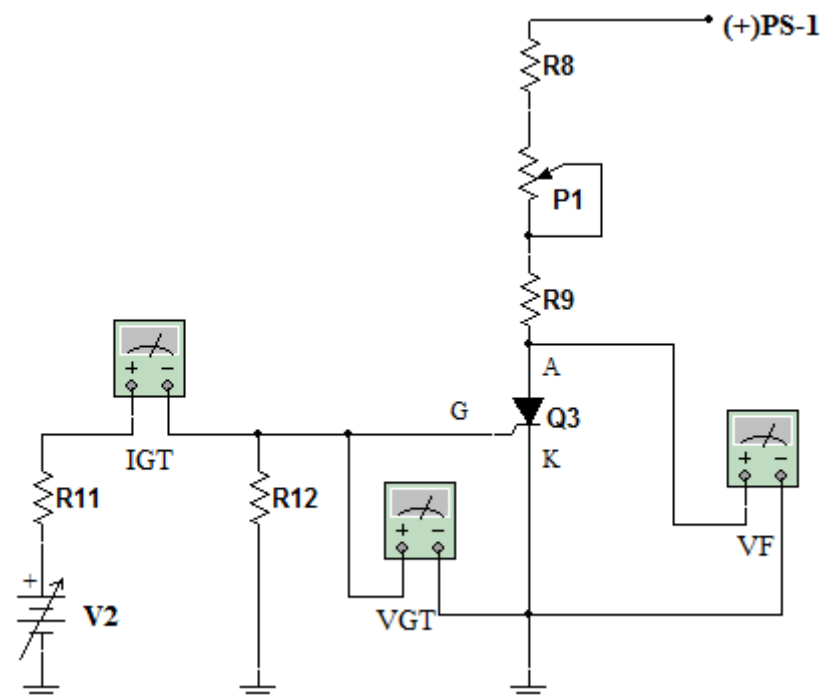


Fig. 13.7. Măsurarea curentului și a tensiunii de amorsare

16. Verificați dacă tiristorul se află în regim de blocare ($I_G = 0\text{mA}$).

Întrebare: Dacă tiristorul este blocat, care este valoarea tensiunii V_F ?

17. Creșteți încet valoarea tensiunii sursei V_2 și înregistrați valorile corespunzătoare tensiunii V_{GT} și curentului I_{GT} la momentul tranziției din regimul de blocare în regimul de conducție.

18. Repetați pași 15 ÷ 17 pentru a asigura o măsurare corectă.

$V_{GT} = \dots\dots\dots V$ $I_{GT} = \dots\dots\dots mA$

Întrebare: Ce se va întâmpla cu tensiunea V_F în momentul tranziției ?

LUCRAREA DE LABORATOR NR.14 STUDIUL TRIACULUI

1. OBIECTIVE

După terminarea laboratorului veți putea să:

- 1.1. Înțelegeți structura internă a triacului și condițiile de operare
- 1.2. Măsurați parametrii specifici ai triacului.
- 1.3. Înțelegeți principiul circuitului de control al fazei.
- 1.4. Construiți un circuit pentru reglarea nivelului de iluminare cu triac.

2. ECHIPAMENT NECESAR

- Placa de bază
- PU-2000
- Placa EB-113
- Osciloscop cu 2 canale
- Generator de semnal
- Multimetru digital.

3. INTRODUCERE TEORETICĂ

Triacul este un dispozitiv semiconductor care aparține familiei tiristoarelor. Denumirea sa provine din cuvintele **TRIODE AC SWITCH**, cuvinte prin care se definește de fapt domeniul de utilizare al acestui dispozitiv și anume circuitele de curent alternativ. În figura 14.1 sunt reprezentate structura, schema electrică echivalentă și simbolul unui triac.

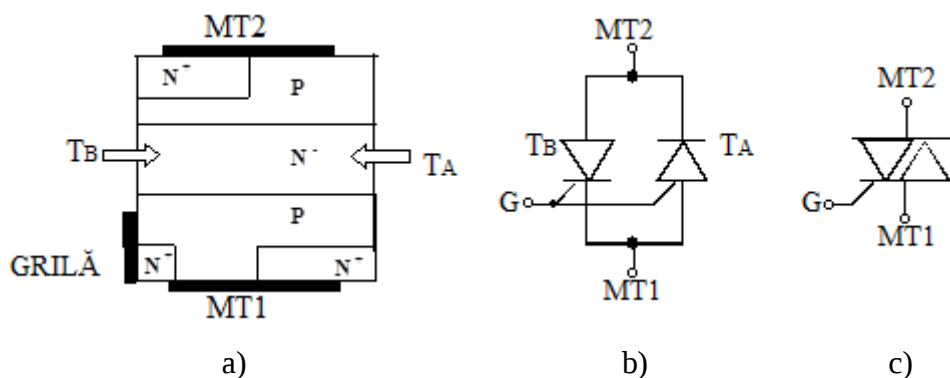


Fig. 14.1. Triacul:

a) structura; b) schema electrică echivalentă; c) simbolul.

3.1. Caracteristica statică a triacului

Regiunea grilei este mai complexă ceea ce îi permite triacului să funcționeze în patru moduri posibile:

- a) în cadranul I al caracteristicii curent-tensiune cu un curent pozitiv în grilă;
- b) în cadranul I al caracteristicii curent-tensiune cu un curent negativ în grilă;
- c) în cadranul III al caracteristicii curent-tensiune cu un curent pozitiv în grilă;

- d) în cadranul III al caracteristicii curent-tensiune cu un curent negativ în grilă.

Caracteristica statică a triacului este prezentată în figura 14.2.

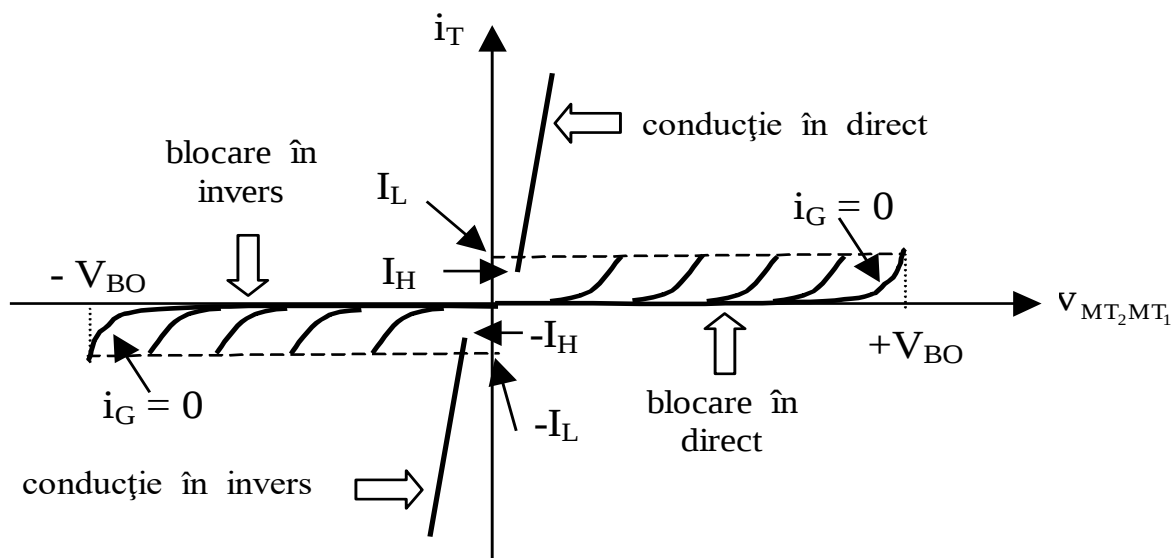


Fig.14.2. Caracteristica statică a triacului

4. APLICAȚIA PRACTICĂ

1. Introducem placa EB-113 în soclul PU-2000.
2. Localizăm circuitul care conține triacul Q2.

4.1. Măsurarea parametrilor pentru curent pozitiv

3. Realizați circuitul ca și în figura 14.3 după următoarea procedură:
 - a. Ajustăm tensiunea din PS-1 la 10V.
 - b. Ajustăm tensiunea din PS-2 la 0V.
 - c. Conectăm toți jumperii pentru a obține circuitul din figura 14.3.
 - d. Conectăm ampermetrul între grila triacului și rezistorul R12.
 - e. Conectăm un multimetru la MT2 pentru a măsura tensiunea V_F pe triac.
 - f. Conectăm un multimetru în grilă pentru a măsura tensiunea V_G .
4. Creștem încet tensiunea din PS-2 și observăm modificarea curentului de grilă. Trecem în tabelul 14.1 curentul I_G și tensiunea V_G la intrarea în conducție a triacului. Măsurăm tensiunea V_F când triacul este în conducție.

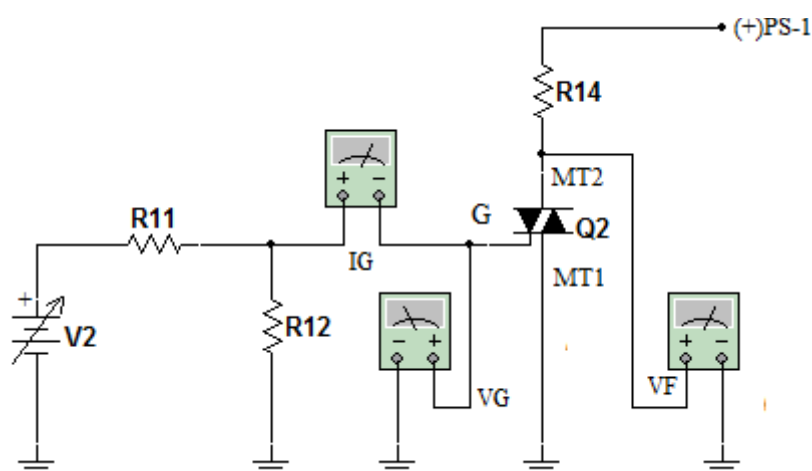


Fig. 14.3. Măsurarea parametrilor triacului pentru curent pozitiv, cu curent pozitiv de grilă

5. Calculăm curentul I_F și trecem în tabelul 14.1, $R14 = 100\Omega$.

$$I_F = (V_{PS1} - V_F) / R14 = \dots\dots\dots \text{mA}$$

Tabelul 14.1. Măsurarea parametrilor triacului pentru curent pozitiv

$V_{AA}(V)$	$V_{GG}(V)$	$V_G(V)$	$V_F(V)$	$I_G(\text{mA})$	$I_F(\text{mA})$
+10 V	V2				
+10 V	PS-2				

6. Conectăm circuitul ca și în figura 14.4.

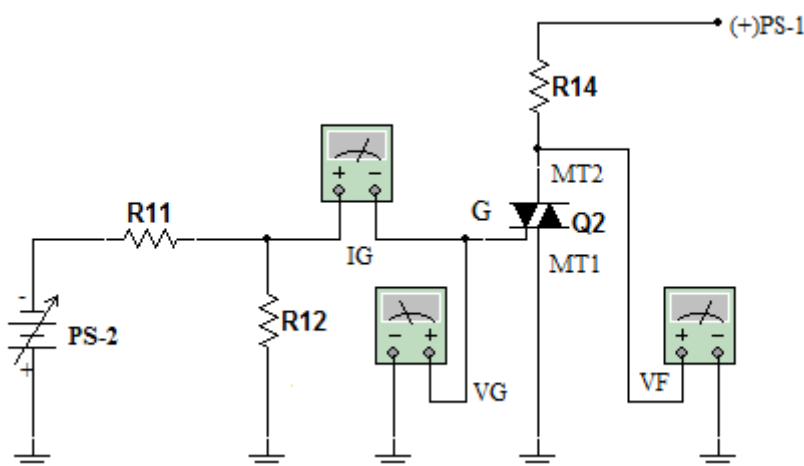


Fig. 14.4. Măsurarea parametrilor triacului pentru curent pozitiv cu curent negativ de grilă

- Reglăm VPS-2 la 0V. Deconectăm jumperul dintre punctele 5 și 6 pentru a dezamorsa triacul și apoi îl conectăm din nou.
- Creștem încet tensiunea din PS-2 și observăm modificarea curentului de grilă. Trecem în tabelul 14.1 curentul I_G și tensiunea V_G la intrarea în conducție a triacului. Măsurăm V_F când triacul este în conducție.
- Calculăm curentul I_F Cu formula de la punctul 5 și trecem rezultatul în tabelul 14.1.

4.2. Măsurarea parametrilor pentru curent negativ

10. Conectăm circuitul ca și în figura 14.5.

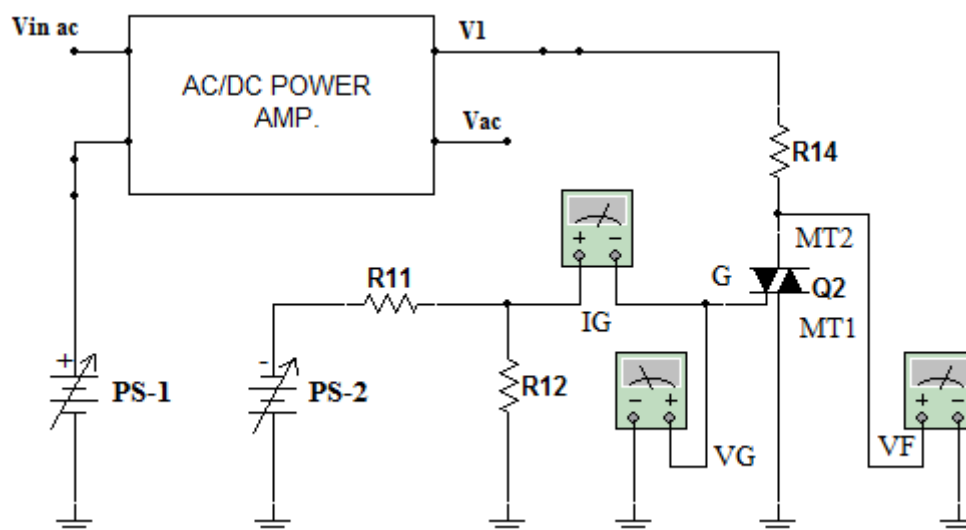


Fig. 14.5. Măsurarea parametrilor triacului pentru curent negativ cu curent negativ de grilă

11. Conectăm PS-1 la intrarea **in** a circuitului AC/DC POWER AMP.
12. Ajustăm VPS-2 la 0V.
13. Ajustăm V1 la -10V.
14. Creștem încet tensiunea din PS-2 și observăm modificarea curentului de grilă. Trecem în tabelul 14.2 curentul I_G și tensiunea V_G la intrarea în conducție a triacului. Măsurăm V_F când triacul este în conducție.
15. Calculăm curentul I_F ca și la punctul 5 și trecem rezultatul în tabelul 6.2.

Tabelul 14.2. Măsurarea parametrilor triacului pentru curent negativ

$V_{AA}(V)$	$V_{gg}(V)$	$V_g(V)$	$V_F(V)$	$I_G(mA)$	$I_F(mA)$
-10 V	PS-2				
-10 V	V2				

16. Conectăm circuitul ca și în figura 14.6.
17. Ajustăm VPS-2 la 0V. Deconectăm jumperul pentru a dezamorsa triacul și apoi îl conectăm din nou.
18. Creștem încet tensiunea din PS-2 și observăm modificarea curentului de grilă. Trecem în tabelul 14.2 curentul I_G și tensiunea V_G la intrarea în conducție a triacului. Măsurăm V_F când triacul este în conducție
19. Calculăm curentul I_F ca și la punctul 5 și trecem rezultatul în tabelul 14.2.
20. Deconectăm toate conexiunile făcute.

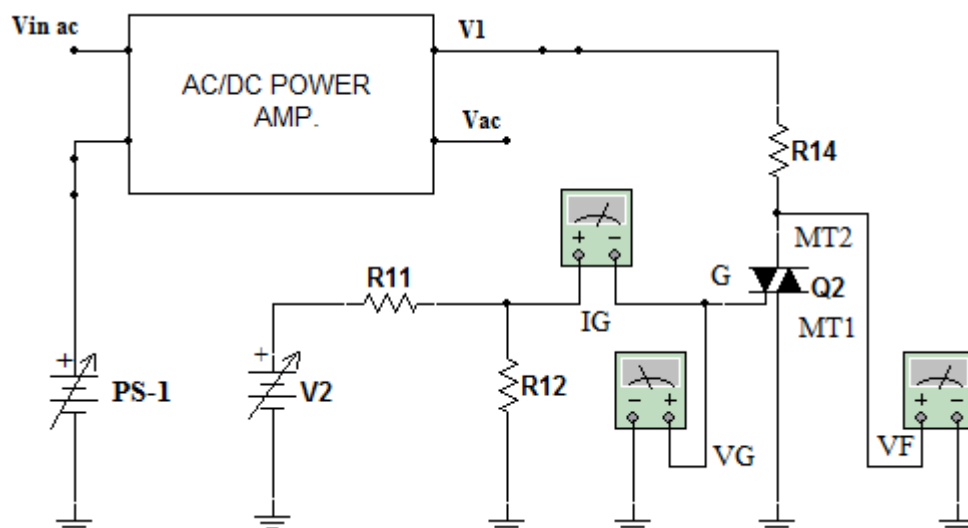


Fig. 14.6. Măsurarea parametrilor triacului pentru curent negativ, cu curent pozitiv de grilă

4.3. Circuit de control al fazei pentru reglarea intensității luminii

21. Conectăm circuitul ca în figura 14.7.

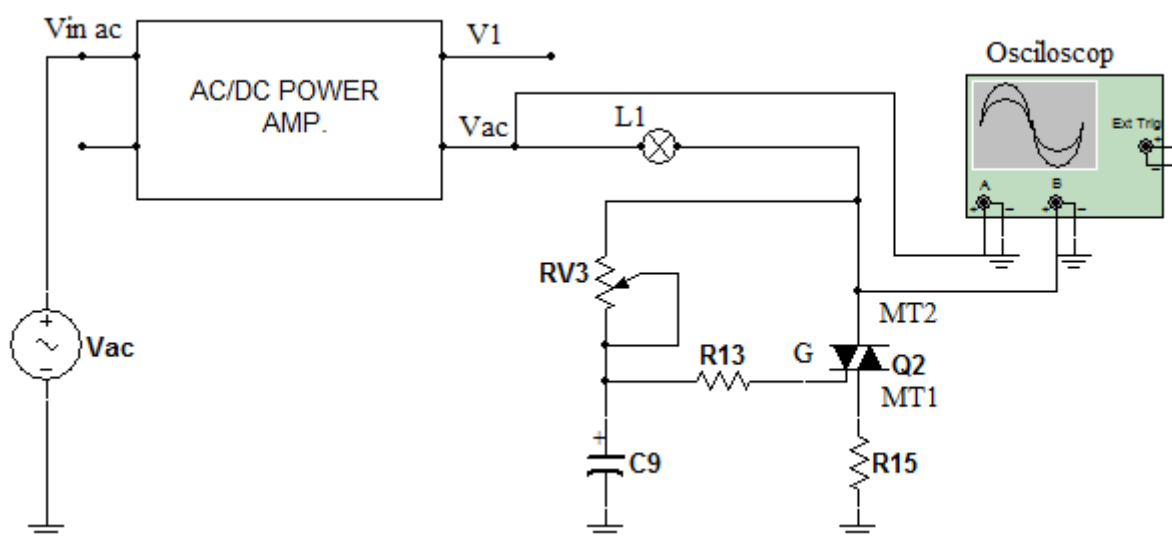


Fig. 14.7. Circuit de control al intensității luminii

22. Ajustăm semnalul generatorului la 50 Hz semnal sinusoidal.
23. Conectăm semnalul la Vin ac și reglăm astfel încât să obținem 18 V_{VV} la ieșirea Vac.
24. Conectăm canalele osciloscopului ca în figura 14.7.
25. Rotiți potențiometru RV3 la maxim în sensul acelor de ceasornic.
26. Observăm și desenăm formele de undă de pe cele două canale ale osciloscopului în figura 14.8.
27. Deconectăm canalul 1 al osciloscopului de la Vac și îl conectăm pe rezistorul R15; VR15 are forma curentului prin rezistor. Desenăm forma semnalului în figura 14.8.

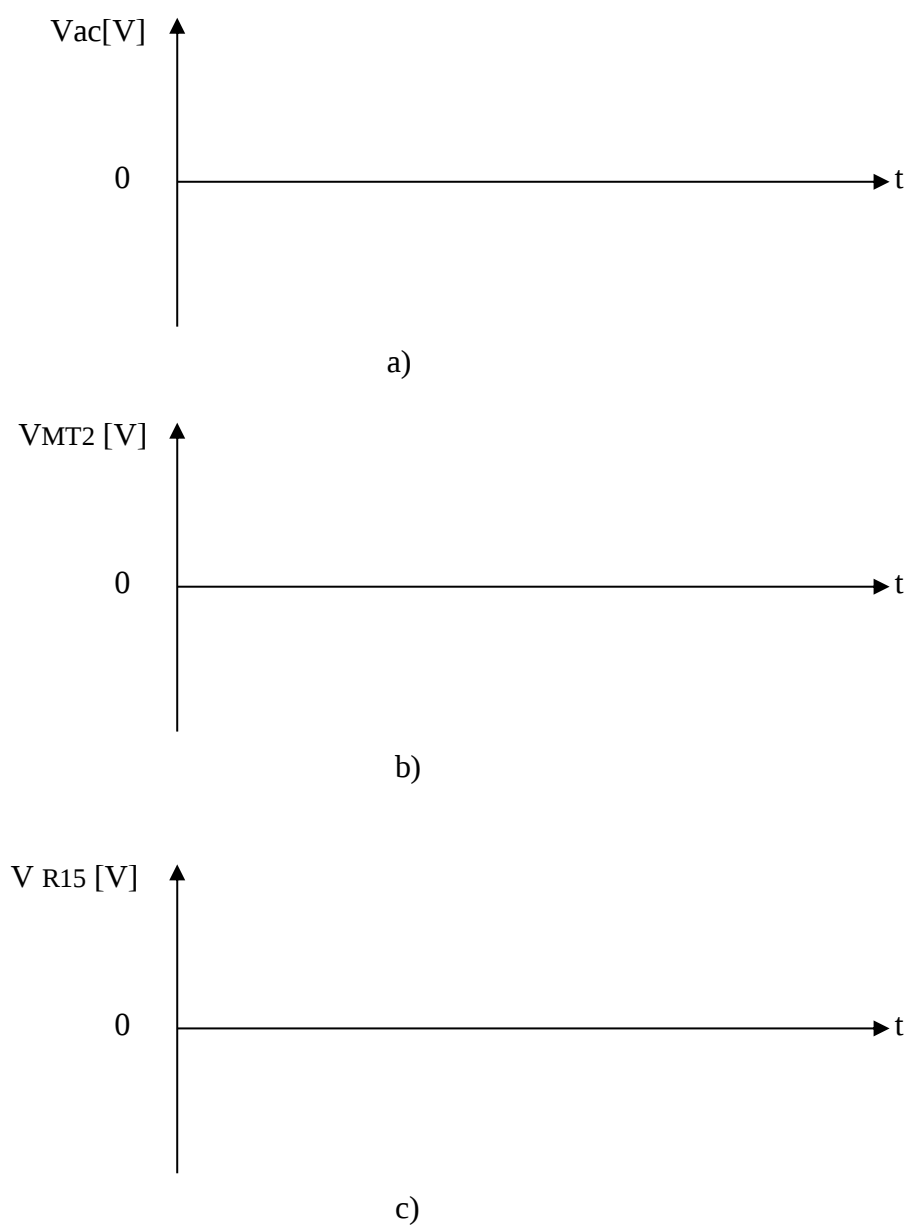


Fig. 14.8. Formele de undă

28. Rotiți potențiometrul RV3 ușor în sens invers acelor de ceasornic și observați cum circuitul funcționează ca un circuit de reglare a intensității luminii.
29. Observați modificările în forma tensiunii V_{MT2} .