

Lucrarea 7. Polarizarea tranzistorului bipolar

Scopul lucrării

- Introducerea unor noțiuni elementare despre funcționarea tranzistoarelor bipolare
- Identificarea prin măsurători a regiunilor de funcționare ale tranzistorului bipolar.
- Prezentarea circuitelor de polarizare ale tranzistoarelor bipolare

Cuprins

- Noțiuni introductive.
- Determinarea prin măsurători a caracteristicii de transfer a unui circuit cu tranzistor bipolar.
- Măsurarea factorului de amplificare în curent β al tranzistorului.
- Evaluarea performanțelor circuitelor de polarizare elementare prin simularea acestora în Orcad.

I. Noțiuni introductive

Tranzistorul bipolar este un dispozitiv semiconductor cu trei terminale, furnizat de obicei în trei producții sub diverse forme (capsule), iar în Figura 1 sunt prezentate variantele de capsule întâlnite cel mai frecvent în cazul tranzistoarelor bipolare de mică putere.



Figura 1. Tranzistoare bipolare.

Cele trei terminale ale tranzistorului bipolar au următoarele nume:

- EMITOR, notat **E**,
- BAZĂ, notat **B**,
- COLECTOR, notat **C**.

Cele trei terminale ale tranzistorului bipolar sunt dispuse pe capsulă în ordinea specificată în Figura 1. La tranzistoarele bipolare utilizate în aplicațiile studiate în cadrul lucrărilor de laborator, dispunerea acestora este indicată în Figura 2, în care se prezintă secțiunea transversală a capsulei tranzistorului, văzută dinspre terminalele acestuia.

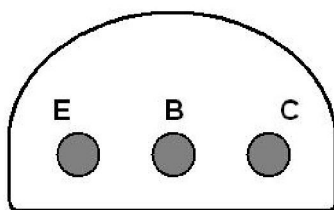


Figura 2. Dispunerea terminalelor tranzistoarelor bipolare.

În funcție de structura lor fizică, există două tipuri de tranzistoare bipolare și anume:

- Ø tranzistor bipolar de tip NPN
- Ø tranzistor bipolar de tip PNP

În circuitele electronice, tranzistoarele bipolare sunt simbolizate ca în Figura 3.

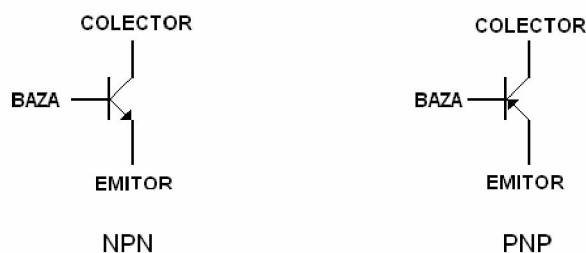


Figura 3. Simbolul electronic al tranzistoarelor bipolare.

Lucrarea 7. Polarizarea tranzistorului bipolar

La nivelul tranzistorului bipolar apar 6 mrimi electrice:

- Ø 3 curenți electrice – curenții electrice prin cele 3 terminale:
 - i_E – curentul de emitor
 - i_B – curentul de bază
 - i_C – curentul de colector
- Ø 3 tensiuni electrice – tensiunile între terminalele tranzistoarelor:
 - v_{BE} – tensiunea bază-emitor
 - v_{BC} – tensiunea bază-colector
 - v_{CE} – tensiunea colector-emitor

Sensul curenților este același cu sensul săgeții care indică în simbolul electronic emitorul. Referințele tensiunilor depind de tipul tranzistorului bipolar. Sensul curenților, respectiv referințele tensiunilor celor două tipuri de tranzistoare bipolare sunt prezentate în Figura 4.

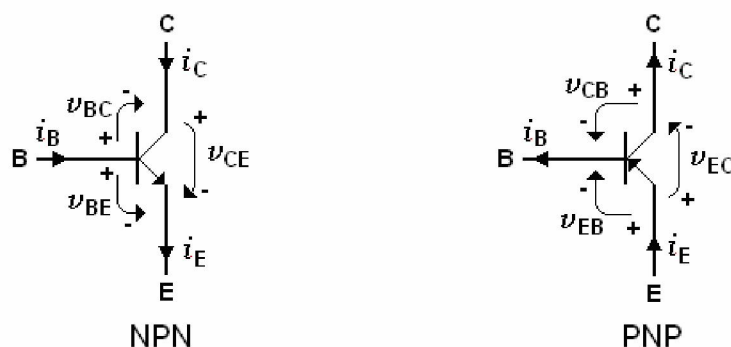


Figura 4. Mrimile electrice ale tranzistoarelor bipolare.

Tensiunile, respectiv curenții electrice ai tranzistorului bipolar respectă relațiile generale:

$$v_{BC} = v_{BE} - v_{CE} \text{ (NPN)}$$

$$v_{CB} = v_{EB} - v_{EC} \text{ (PNP)}$$

$$i_E = i_B + i_C$$

1

Tranzistorul bipolar poate funcționa în patru moduri distincte, denumite regiuni de funcționare, stabilite de semnul tensiunilor bază-emitor, respectiv bază-colector. Astfel, pentru un tranzistor bipolar de tip NPN, cele patru regiuni de funcționare sunt:

Ø **Regiunea Activ Normal (RAN):**

- condiția de funcționare: $v_{BE} > 0[V]$ și $v_{BC} < 0[V]$
- în această regiune tranzistorul bipolar poate fi utilizat pentru prelucrarea semnalelor (informațiilor) analogice, fiind singura regiune de funcționare în care acesta poate amplifica liniar semnalele respective;

Ø **Regiunea de Saturație:**

- condiția de funcționare: $v_{BE} > 0[V]$ și $v_{BC} > 0[V]$
- în această regiune de funcționare $v_{CE} < 0,5[V]$
- este o regiune de funcționare în care tranzistorul bipolar poate fi utilizat pentru prelucrarea semnalelor digitale;

Ø **Regiunea de Blocare:**

- condiția de funcționare: $v_{BE} < 0[V]$ și $v_{BC} < 0[V]$
- în această regiune de funcționare toți curenții electrice de terminal ai tranzistorului sunt nuli
- este o regiune de funcționare în care tranzistorul bipolar poate fi utilizat pentru prelucrarea semnalelor digitale;

Ø **Regiunea Activ Invers :**

- condiția de funcționare: $v_{BE} < 0[V]$ și $v_{BC} > 0[V]$
- în această regiune de funcționare, tranzistorul poate fi utilizat pentru prelucrarea semnalelor analogice, dar, datorită amplificării foarte slabe a acestora, se evită utilizarea tranzistorului în această regiune;

Polarizarea tranzistorului bipolar

Regiunea în care funcționează un tranzistor bipolar este stabilit prin **polarizarea** acestuia, care este realizat prin intermediul unui circuit electronic special, numit **circuit de polarizare**. De regulă, în sistemele electronice analogice, polarizarea tranzistoarelor bipolare se realizează astfel încât acestea funcționează în RAN, regiune în care tranzistorul bipolar poate amplifica liniar semnalele. În RAN, curentul de colector depinde de curentul de bază prin relația:

$$i_C = \beta \cdot i_B \quad 2$$

unde β reprezintă un parametru al tranzistorului bipolar, numit **factor de amplificare în curent** (valoarea uzuală a acestuia, pentru tranzistoarele bipolare de tip NPN de mică putere, fiind de ordinul sutelor). După cum se observă din relația de mai sus, tranzistoarelor bipolare le este caracteristic **fenomenul de amplificare a curentului din bază**, factorul de amplificare în curent fiind egal cu β . În consecință, curentul de bază este mult mai mic decât cel din colector și din acest motiv, pe baza relației (1) se poate aproxima:

$$i_C \cong i_E \quad 3$$

În urma polarizării tranzistorului, prin, respectiv pe terminalele tranzistorului se stabilesc curenți electrici continui, respectiv tensiuni continue (deoarece polarizarea se realizează de la o sursă de tensiune continuă), astfel încât, de fapt, se stabilește regiunea de funcționare a tranzistorului respectiv.

Regiunea de funcționare a tranzistorului este caracterizată complet prin intermediul unei perechi de mărimi electrice continue de tipul curent-tensiune, (restul mărimilor electrice ale tranzistorului fiind determinate din relațiile 1-3, în care se include tensiunea continuă V_{BE} este aproximativ egală cu **0,6[V]** pentru tranzistoarele realizate din siliciu, respectiv cu **0,2[V]** pentru tranzistoarele realizate din germaniu).

De obicei, identificarea regiunii de funcționare a tranzistorului bipolar în regim de curent continuu este realizată prin intermediul perechii de mărimi electrice I_C - V_{CE} . Cele două mărimi electrice stabilesc ceea ce se numește **punctul static de funcționare** al tranzistorului (prescurtat **PSF**).

În Figura 5 se prezintă cel mai simplu circuit de polarizare (în continuare se consideră numai cazul tranzistorului bipolar de tip NPN, pentru tranzistorul bipolar de tip PNP singura modificare care trebuie adusă circuitelor prezentate constă în inversarea polarității sursei de alimentare). Curentul din baza tranzistorului bipolar este asigurat de către rezistorul de polarizare R_B , de la sursa de tensiune continuă V_{CC} , care reprezintă sursa de alimentare a circuitului. Punctul Static de Funcționare al acestui circuit se calculează cu relațiile:

$$I_C = \beta_F \cdot \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} \quad 4.a$$

$$V_{CE} = V_{CC} - R_C \cdot I_C \quad 4.b$$

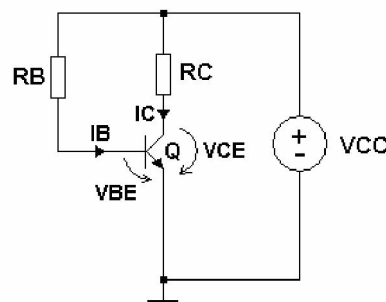


Figura 5. Circuite de polarizare pentru tranzistorul bipolar.

Pe lângă rolul de a asigura polarizarea tranzistorului în RAN, circuitul de polarizare mai are rolul de a menține PSF-ul constant la variațiile condițiilor de funcționare (variații ale temperaturii de lucru, ale tensiunii de alimentare sau ale parametrilor dispozitivelor electronice). Deoarece factorul de amplificare în curent β al tranzistorului bipolar prezintă fenomenul de dispersie tehnologică (variația valorii sale într-un domeniu larg, pentru aceeași serie de tranzistoare) precum și o puternică dependență de temperatura de lucru, circuitele de polarizare trebuie să fie astfel proiectate încât curentul I_C să fie cât mai puțin dependent de parametrul β . În circuitele de polarizare se mai are în vedere anularea efectelor determinate de variația tensiunii V_{BE} cu temperatura (această tensiune scade cu $2[mV]/[^\circ C]$).

Lucrarea 7. Polarizarea tranzistorului bipolar

Revenind la anularea efectului parametrului β , circuitul din Figura 5 nu este capabil să stabilizeze PSF-ul, datorită relației directe proporționale dintre curentul I_C și β_F (relația 4.a). O stabilizare mai bună a PSF-ului se obține pentru circuitul de polarizare din Figura 8.b. În acest caz, expresia curentului I_C devine:

$$I_C = \beta \cdot \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\beta \cdot R_E + R_B} \quad 5$$

Dacă în relația de mai sus termenul dominant al numitorului ar fi produsul $\beta \cdot R_E$, atunci curentul I_C nu ar mai depinde de β și ar rezulta mai stabil la variațiile condițiilor de lucru sau la dispersia parametrului β . Pentru aceasta trebuie îndeplinită condiția:

$$R_B \ll \beta_F \cdot R_E \quad 6$$

În realizările practice ale circuitului din Figura 8.b, pentru valori uzuale ale curenților prin tranzistorul bipolar (valori de ordinul miliamperilor pentru un tranzistor polarizat în RAN), rezistența R_B rezultă de valori foarte mari, (ordinul sutelor de $[k\Omega]$ până la $[M\Omega]$), iar valorile maxime ale lui R_E nu pot depăși câțiva kiloohmi. Aadar, condiția 6 este dificil de îndeplinit într-un circuit practic de tipul celui din Figura 8.b. Din acest motiv, se propune circuitul de polarizare prezentat în Figura 8.c, în care polarizarea tranzistorului se realizează prin intermediul unui divizor rezistiv R_{B1} - R_{B2} conectat în baza acestuia. În acest caz curentul de colector I_C rezultă:

$$I_C = \beta \cdot \frac{V_{BB} - V_{BE}}{\beta \cdot R_E + R_B} \quad 7$$
$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC} \quad R_B = R_{B1} \parallel R_{B2}$$

unde V_{BB} și R_B sunt tensiunea echivalentă, respectiv rezistența echivalentă, determinate prin teorema lui Thevenin aplicată pentru divizorul rezistiv. Se observă că relația 7 are aceeași formă ca relația 5, deci, pentru ca I_C să nu depindă de β este necesar să fie îndeplinită condiția 6. Spre deosebire de dificultățile întâmpinate în cazul circuitului de polarizare din Figura 8.b, acum, această condiție este ușor de îndeplinit datorită faptului că pentru rezistența R_{B1} se pot alege valori suficient de mici fără a afecta polarizarea în RAN a tranzistorului bipolar.

II. Modul de lucru

CIRCUIT PRACTIC: REALIZAREA UNUI CIRCUIT ELECTRONIC CU TRANZISTOR BIPOLAR

A. Determinarea caracteristicii de transfer a unui circuit cu tranzistor bipolar

Caracteristica de transfer a circuitului cu tranzistor este dată de graficul variației tensiunii de ieșire a circuitului V_O în funcție de tensiunea de intrare a circuitului, V_I : $V_O = f(V_I)$. Determinarea prin măsurători a caracteristicii de transfer a circuitului cu tranzistor bipolar se realizează parcurgând pașii indicați în continuare, în ordinea precizată.

1. Se verifică la sursa de alimentare HM8040 dacă aceasta este decuplată de circuitul de test (dacă ledul **ON** de pe panoul frontal al aparatului este stins); dacă nu este decuplată, atunci se apasă butonul **OUTPUT** de pe panoul frontal al sursei de alimentare HM8040 și se decuplează sursa de alimentare (se stinge ledul **ON** de pe panoul frontal al aparatului).

2. Se setează multimetrul digital pe gama **20V** din secțiunea **DCV**.

3. Se realizează circuitul din Figura 6 (în care se prezintă modul în care va trebui să fie introdus voltmetrul digital pentru măsurarea mărimilor electrice de interes).

Circuitul este compus din 2 surse de tensiune continuă, notate V_{CC} și V_{BB} , (care provin de la sursa HM8040 – cele 2 surse din lateral, de pe panoul frontal al echipamentului electronic) și rezistoarele R_{B1} , R_{B2} , R_B , R_C . Sursa de tensiune V_{CC} reprezintă sursa de alimentare a circuitului. Regiunea de funcționare a tranzistorului este impusă de valoarea sursei reglabile de tensiune V_{BB} , care controlează valoarea punctului static de funcționare al tranzistorului bipolar. Sursele de tensiune se vor seta inițial la valorile $V_{CC}=10[V]$, iar $V_{BB}=0[V]$. Pe durata măsurătorii, sursa de tensiune V_{BB} se va regla la valorile indicate la punctele următoare, iar sursa de tensiune V_{CC} se va menține permanent la valoarea **10[V]**.

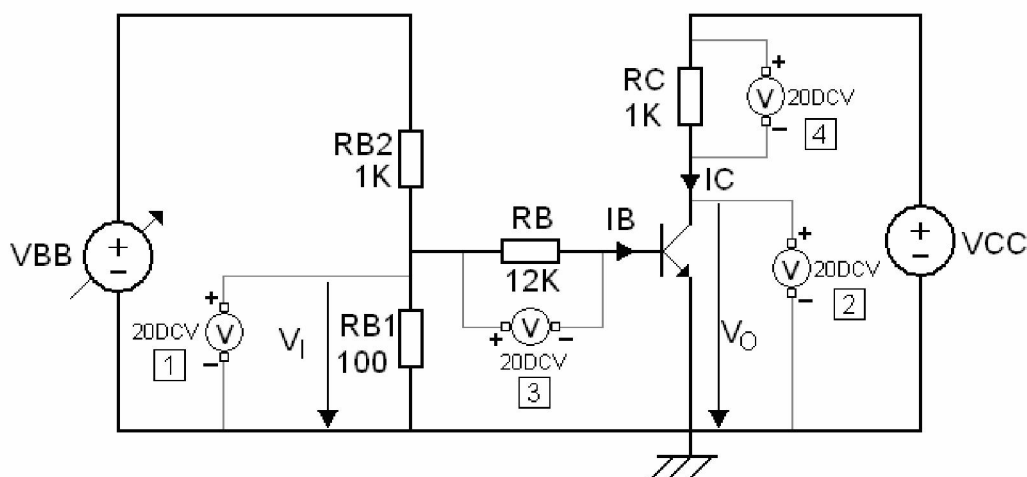


Figura 6. Circuit practic pentru determinarea caracteristicii de transfer a unui circuit cu tranzistor bipolar.

Dup realizarea circuitului, se cheam cadrul didactic pentru verificarea acestuia.

4. Pentru în alegerea procedurii utilizate în determinarea caracteristicii de transfer a circuitului, se analizează funcționarea teoretică a circuitului:

Tensiunea de ieșire V_O a circuitului este tensiunea măsurată între colectorul tranzistorului și masa circuitului, iar tensiunea de intrare V_I a circuitului este tensiunea măsurată între terminalul superior al rezistorului R_{B1} și masa circuitului – vezi Figura 6.

Observând circuitul din Figura 6, tensiunea de ieșire V_O se poate calcula cu relația:

$$V_O = V_{CC} - V_{RC} = V_{CC} - I_C \cdot R_C \quad (8)$$

Valoarea curentului I_C depinde de regiunea în care tranzistorul funcționează, care este controlat la rândul ei de valoarea tensiunii V_{BB} . Rezultă că valoarea tensiunii de ieșire V_O depinde de V_{BB} . Totodată, tensiunea de intrare în circuit, notată V_I , depinde la rândul ei de V_{BB} , astfel încât, în final, prin variația valorii tensiunii V_{BB} se modifică simultan și tensiunea de ieșire a circuitului V_O , și tensiunea de intrare a circuitului V_I . Aadar, pentru fiecare valoare V_{BB} se pot obține prin măsurători perechi de mărimi (V_O , V_I), care reprezintă puncte de pe caracteristica de transfer a circuitului.

În funcție de valoarea tensiunii V_{BB} tranzistorul bipolar funcționează în regiuni diferite:

A. Funcționarea tranzistorului în regiunea de blocare: atâ timp cât tensiunea V_{BB} are valori mici, tranzistorul bipolar funcționează în regiunea de blocare, iar curentul de colector prin acesta este nul, caz în care, vezi relația 8, tensiunea V_O este egală cu V_{CC} .

B. Funcționarea tranzistorului în RAN: pe măsură ce valoarea tensiunii V_{BB} crește, funcționarea tranzistorului bipolar trece din regiunea de blocare în RAN. Tensiunea de intrare V_I , la care are loc ieșirea din regiunea de blocare și intrarea în RAN a tranzistorului este notată cu $V_{I,MIN}$. Prin intrarea în RAN a funcționării tranzistorului, prin acesta apare un curent de colector, care crește pe măsură ce valoarea tensiunii V_{BB} crește. Din acest motiv – vezi relația 8, tensiunea V_O începe să scadă pe măsură ce valoarea tensiunii V_{BB} crește.

C. Funcționarea tranzistorului în regiunea de saturație: Prin creșterea continuă a valorii tensiunii V_{BB} , la un moment dat, funcționarea tranzistorului bipolar iese din RAN și ajunge în regiunea de saturație. Tensiunea de intrare V_I la care are loc acest fenomen este notată $V_{I,MAX}$. În acest caz, curentul de colector prin tranzistor nu mai prezintă o creștere semnificativă, atingând valoarea sa maximă și tensiunea pe R_C devine maximă și aproximativ egală cu valoarea tensiunii V_{CC} . În consecință – vezi relația 8 – tensiunea de ieșire V_O este aproximativ 0[V] (în circuitul practic $V_O < 0,5[V]$).

Caracteristica de transfer IDEAL a circuitului din Figura 6 este schițată în Figura 7. Panta caracteristicii de transfer a circuitului reprezintă amplificarea în tensiune a circuitului. Deoarece tranzistorul amplifică liniar numai dacă funcționează în RAN, rezultă că domeniul de valori al semnalului de intrare în care circuitul amplifică liniar este $[V_{I,MIN}, V_{I,MAX}]$.

Lucrarea 7. Polarizarea tranzistorului bipolar

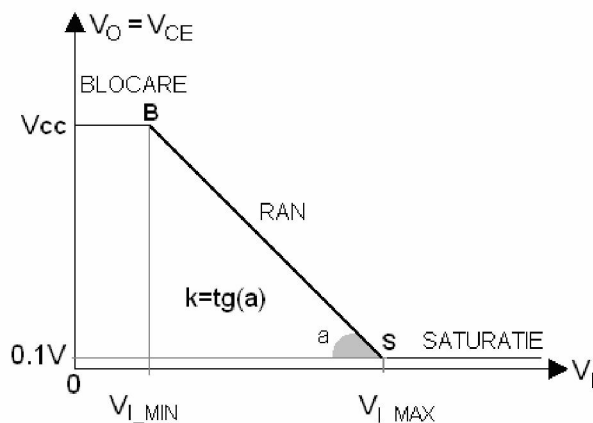


Figura 7. Caracteristica de transfer a circuitului din Figura 6.

5. Se cuplează sursele de alimentare la circuitul testat, prin apăsarea comutatorului **OUTPUT** de pe panoul frontal al aparatului (se constată aprinderea led-ului **ON** de pe panoul frontal).

REGIUNEA DE BLOCARE

6. Cu voltmetrul introdus în circuit în poziția 1 - vezi Figura 6 (testerul conectat la borna "+" a voltmetrului se aplică pe terminalul superior al rezistorului R_{B1} , iar testerul conectat la borna "-" a voltmetrului se aplică pe terminalul inferior al rezistorului R_{B1}), se măsoară tensiunea V_I , iar data obținută se va introduce în Tabelul 1 - prima valoare din tabel.

7. Cu voltmetrul introdus în circuit în poziția 2 - vezi Figura 6 (testerul conectat la borna "+" a voltmetrului se aplică pe colectorul tranzistorului, iar testerul conectat la borna "-" a voltmetrului se aplică pe emitorul tranzistorului), se măsoară tensiunea V_O , iar data obținută se va introduce în Tabelul 1 - prima valoare din tabel.

DOMENIUL DE VALORI ÎN CARE TRANZISTORUL FUNCȚIONEAZ ÎN RAN

8. Se determină intervalul de valori al tensiunii de intrare $[V_{I_MIN}, V_{I_MAX}]$ în care tranzistorul bipolar funcționează în RAN. În acest scop, se respectă procedura indicată în continuare:

a. se observă momentul în care tranzistorul bipolar trece din regiunea de blocare în RAN: cu voltmetrul pus în circuit în poziția 2 - vezi Figura 6, se crește progresiv, de la panoul frontal al sursei de alimentare, valoarea tensiunii V_{BB} . Simultan, se urmărește pe ecranul voltmetrului valoarea tensiunii de ieșire V_O . Trecerea tranzistorului bipolar din regiunea de blocare în RAN are loc atunci când valoarea tensiunii V_O începe să scadă sub valoarea tensiunii $V_{CC}-0,5[V]$; pentru circuitul prezentat, se va considera că momentul în care tranzistorul intră în RAN are loc atunci când tensiunea de ieșire devine $V_O=9,5[V]$. În momentul în care $V_O=9,5[V]$, poziția în care se aplică voltmetrul în circuit se modifică din poziția 2 în poziția 1 - vezi Figura 6 - și apoi, cu voltmetrul în poziția 1 se măsoară valoarea tensiunii V_I ; valoarea indicată de voltmetru reprezintă pragul de tensiune V_{I_MIN} indicat în Figura 7. Valoarea măsurată se introduce în Tabelul 1.

b. se observă momentul în care tranzistorul bipolar trece din RAN în regiunea de saturație: cu voltmetrul introdus din nou în circuit în poziția 2 - vezi Figura 6, se crește progresiv (de la panoul frontal al aparatului) valoarea tensiunii V_{BB} . Simultan, se urmărește pe ecranul voltmetrului valoarea tensiunii de ieșire V_O . Se observă scăderea continuă a acestei valori. Atât timp cât se remarcă acest fenomen, tranzistorul bipolar funcționează în RAN. Scăderea tensiunii V_O continuă până în momentul în care tranzistorul bipolar iese din RAN și trece în regiunea de saturație. După momentul în care tranzistorul bipolar intră în regiunea de saturație, tensiunea V_O rămâne la o valoare aproximativ constantă. Pentru circuitul prezentat, se va considera că momentul în care tranzistorul iese din RAN și ajunge în regiunea de saturație, are loc în momentul în care tensiunea de ieșire devine $V_O=0,5[V]$. În momentul în care $V_O=0,5[V]$, poziția în care se aplică voltmetrul în circuit se modifică din poziția 2 în poziția 1 - vezi Figura 6 - și apoi, cu voltmetrul în poziția 1 se măsoară valoarea tensiunii V_I ; valoarea indicată de voltmetru reprezintă pragul de tensiune V_{I_MAX} indicat în Figura 7. Valoarea măsurată se introduce în Tabelul 1.

REGIUNEA DE SATURARE

9. Se reglează $V_{BB}=20[V]$. Cu voltmetrul introdus în circuit în poziția 1 - vezi Figura 6 (testerul conectat la borna "+" a voltmetrului se aplică pe terminalul superior al rezistorului R_{B1} , iar testerul conectat la borna "-" a voltmetrului se aplică pe terminalul inferior al rezistorului R_{B1}), se măsoară tensiunea V_I , iar datele obținute se introduc în Tabelul 1 – ultima valoare din tabel.

10. Cu voltmetrul introdus în circuit în poziția 2 - vezi Figura 6 (testerul conectat la borna "+" a voltmetrului se aplică pe colectorul tranzistorului, iar testerul conectat la borna "-" a voltmetrului se aplică pe emitorul tranzistorului), se măsoară tensiunea V_O , iar datele obținute se introduc în Tabelul 1 – ultima valoare din tabel.

Regiunea Activ Normal - RAN

11. La punctul 8, s-a determinat intervalul de valori a tensiunii de intrare $[V_{I_{MIN}}, V_{I_{MAX}}]$ în care tranzistorul bipolar funcționează în RAN. În continuare, se vor determina prin măsurători coordonatele V_O, V_I a 7 puncte de pe caracteristica de transfer a circuitului, corespunzătoare funcționării în RAN a tranzistorului bipolar. Deoarece funcționarea tranzistorului în RAN are loc numai dacă tensiunea V_I a circuitului aparține intervalului de valori $[V_{I_{MIN}}, V_{I_{MAX}}]$, valoarea sursei de tensiune V_{BB} se alege astfel încât, pentru setul de 7 măsurători, tensiunea V_I să aparțină intervalului de valori $[V_{I_{MIN}}, V_{I_{MAX}}]$. Alegerea valorilor V_I în domeniul de valori $[V_{I_{MIN}}, V_{I_{MAX}}]$, se va realiza astfel încât acestea să acopere la intervale aproximativ echidistante domeniul respectiv. Toate datele obținute prin măsurători se introduc în Tabelul 1, apoi se desenează graficul caracteristicii de transfer a circuitului.

B. Măsurarea factorului de amplificare în curent β al tranzistorului.

Factorul de amplificare în curent al tranzistorului, notat β , este definit de relația:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad 9$$

Pentru măsurarea valorii acestuia, se parcurg următorii pași:

1. Se reglează valoarea tensiunii V_{BB} astfel încât tranzistorul să funcționeze în RAN. Acest lucru se verifică astfel: se introduce voltmetrul în poziția 1 - vezi Figura 6 și se reglează de la panoul frontal al sursei de alimentare valoarea tensiunii V_{BB} astfel încât valoarea indicată pe ecranul voltmetrului, care reprezintă valoarea lui V_I , să fie undeva în domeniul de valori $[V_{I_{MIN}}, V_{I_{MAX}}]$ – preferabil la mijlocul intervalului.

2. Cu voltmetrul introdus în circuit în poziția 3 - vezi Figura 6 (testerul conectat la borna "+" a voltmetrului se aplică pe terminalul stâng al rezistorului R_B , iar testerul conectat la borna "-" a voltmetrului se aplică pe terminalul drept al rezistorului R_B), se măsoară tensiunea V_{RB} de pe rezistorul R_B , apoi se calculează curentul din baza tranzistorului cu ajutorul legii lui Ohm:

$$I_B = \frac{V_{RB}}{R_B}$$

Rezultatul obținut se va introduce în Tabelul 2.

3. Cu voltmetrul introdus în circuit în poziția 4 - vezi Figura 6 (testerul conectat la borna "+" a voltmetrului se aplică pe terminalul superior al rezistorului R_C , iar testerul conectat la borna "-" a voltmetrului se aplică pe terminalul inferior al rezistorului R_C), se măsoară tensiunea V_{RC} de pe rezistorul R_C , apoi se calculează curentul din colectorul tranzistorului cu ajutorul legii lui Ohm:

$$I_C = \frac{V_{RC}}{R_C}$$

Rezultatul obținut se va introduce în Tabelul 2.

4. Cu relația 9 se calculează factorul de amplificare în curent, iar rezultatul se introduce în Tabelul 2.

5. Se decuplează sursele de alimentare de la circuitul testat, prin apăsarea comutatorului **OUTPUT** de pe panoul frontal al aparatului (ledul **ON** de pe panoul frontal al aparatului se stinge).

SIMULARE ÎN ORCAD: ANALIZA CIRCUITELOR ELEMENTARE DE POLARIZARE A TRANZISTORULUI BIPOLAR

Scopul acestei simulări constă în determinarea variației curentului continuu de colector I_C din PSF, în funcție de variația temperaturii de lucru. Se reamintește că un circuit de polarizare este cu atât mai performant cu cât variația curentului I_C este mai mică la variația temperaturii de lucru. Circuitele elementare de polarizare ale tranzistorului bipolar sunt prezentate în Figura 8. Simularea acestora se realizează parcurgând următorii pași:

1. Se editează circuitul din Figura 8.a, în care, pentru modelul tranzistorului bipolar se alege din biblioteca **Bipolar** (care trebuie atașat proiectului), în funcție de masa de lucru, din tabelul indicat mai jos:

Masa 1	Masa 2	Masa 3	Masa 4	Masa 5	Masa 6
Q2N2218	Q2N2219	Q2N2270	Q2N2282	Q2N2369	Q2N2509

Valorile componentelor circuitului sunt precizate în tabelul de sub Figura 8, iar sursa de tensiune continuă V_{CC} este de tip **VDC** și are valoarea **10[V]**.

2. Se determină valoarea curentului continuu din colector: în acest scop, asupra circuitului se realizează analiza **Bias Point** (analiza este prezentată în lucrarea de laborator 1). Curentul de colector astfel obținut este valabil la temperatura implicită, care are valoarea **25[°C]**. Valoarea obținută se introduce în Tabelul 3, în coloana **IC(25°C)**.
3. Se activează fereastra **Simulation Settings** prin comanda: **Pspice** → **Edit Simulation Profile** și se bifează caseta **Temperature (Sweep)**, iar în caseta corespunzătoare secțiunii **Run the simulation at temperature** se setează temperatura la care se va simula din nou circuitul la valoarea **75** (grade celsius).
4. Se reface simularea și se citește din nou curentul de colector, valoarea obținută fiind trecut în Tabelul 3, în coloana **IC(75°C)**.
5. Se determină variația curentului de colector la variația temperaturii de lucru cu relația:

$$\Delta I_C = I_C[75^\circ C] - I_C[25^\circ C]$$

iar rezultatul se introduce în Tabelul 3.

6. Punctele 1-5 se repetă și pentru circuitele din figurile 8.b, respectiv 8.c.

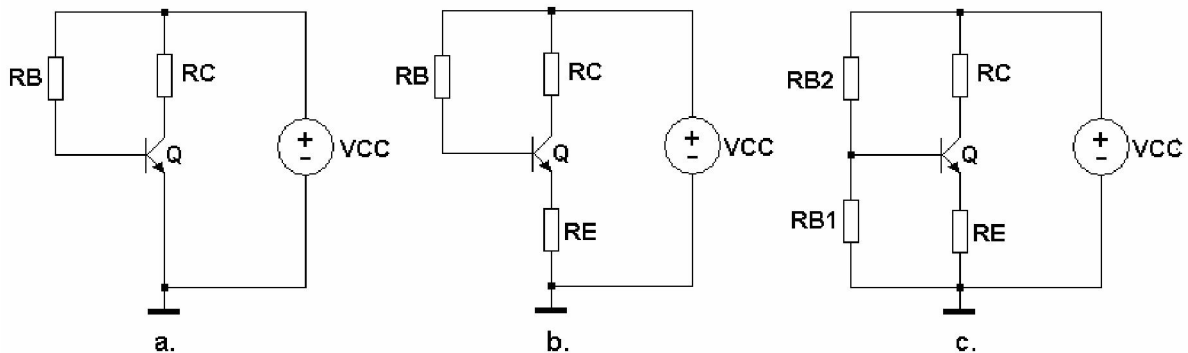


Figura 8. Circuite elementare de polarizare a tranzistorului bipolar.

Figura 8.a		Figura 8.b			Figura 8.c			
RB	RC	RB	RC	RE	RB1	RB2	RC	RE
910K	1.2K	910K	3.3K	470	5.6K	37K	1.2K	470

Lucrarea 7. Polarizarea tranzistorului bipolar

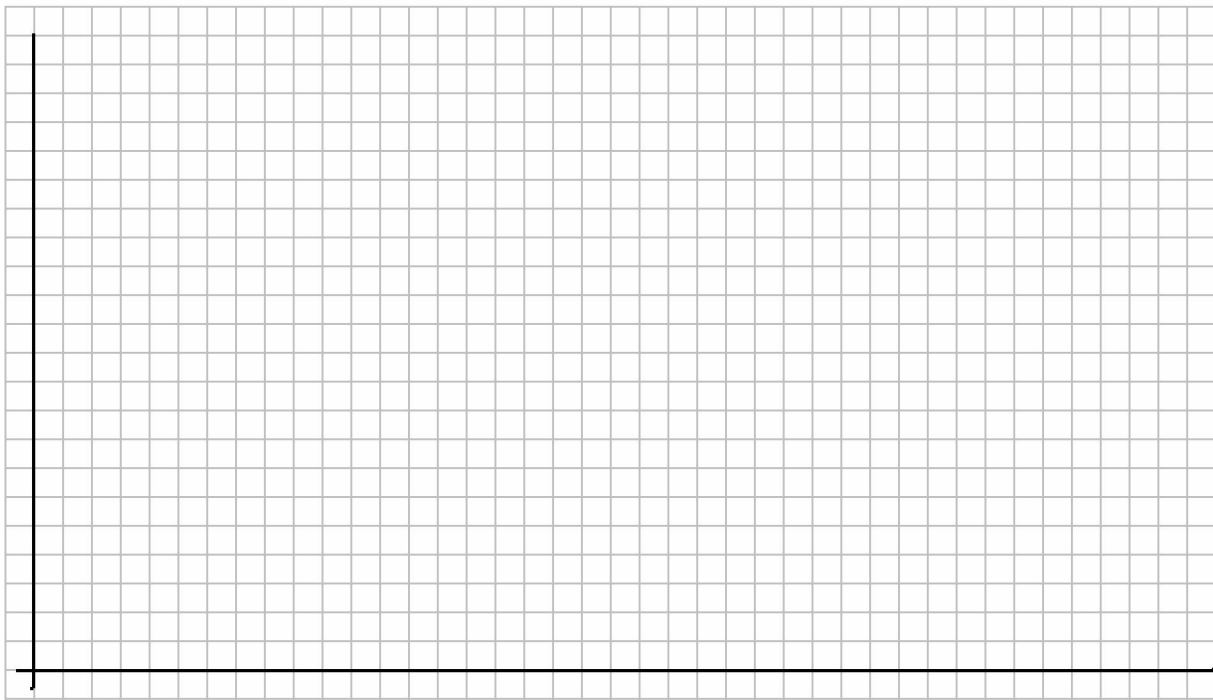
Nume, Prenume, Grupa:

1.	2.	3.
-----------	-----------	-----------

Tabelul 1. Caracteristica de transfer a circuitului de amplificare

V _I [V]	BLOCARE	V _{IMIN}	RAN						V _{IMAX}	SATURA IE
V _O [V]		9,5							0,5	

Caracteristica de transfer a circuitului: indica i pe axele graficului m rimile electrice ale caracteristicii de func ionare a circuitului, respectiv valorile numerice i unit ile de m sur ale punctelor graficului.



Tabelul 2. M surarea factorului de amplificare în curent al tranzistorului bipolar

I _B	I _C	β

Tabelul 3. Circuitele elementare de polarizare ale tranzistorului bipolar.

Modelul tranzistorului utilizat:								
Figura 8.a			Figura 8.b			Figura 8.c		
IC(25 ⁰ C)	IC(75 ⁰ C)	ΔIC	IC(25 ⁰ C)	IC(75 ⁰ C)	ΔIC	IC(25 ⁰ C)	IC(75 ⁰ C)	ΔIC