

**Universitatea Politehnica din București**  
**Facultatea de Electronică Telecomunicații și Tehnologia Informației**

# **DISPOZITIVE ELECTRONICE**

## **ÎNDRUMAR DE LABORATOR**

**București-2009**

## ***LUCRAREA II-Modulul MCM4/EV***

---

### **CUPRINS**

**CAP. I01:** *PREZENTAREA TRANZISTORUL BIPOLAR*

**CAP. I02:** METODE DE MASURĂ ȘI POLARIZARE A TRANZISTORULUI BIPOLAR

**CAP. I03:** EFECTE ALE VARIAȚIEI CURENTULUI DE COLECTOR  $I_C$  ȘI AL TENSIUNII DE COMANDĂ  $V_{BE}$  CU TEMPERATURA.

**CAP. I04:** REGIMUL DINAMIC AL TRANZISTORULUI BIPOLAR

**CAP. I05:** MONTAJUL EXPERIMENTAL PENTRU MASURATORI DE CURENT CONTINUU

**CAP. I06:** MONTAJUL EXPERIMENTAL PENTRU MĂSURATORI DE REGIM DINAMIC.

**CAP. I07:** ÎNTREBĂRI

## ***INSTRUCȚIUNI DE UTILIZARE***

---

- Pentru utilizarea modulului MCM4-EV citiți și mențineți la îndemână acest manual.
- La dezambalarea modulului sau la începerea lucrării puneți toate accesoriile în ordine pentru a nu le pierde și verificați integritatea acestuia. Faceți un control vizual pentru a vă asigura ca nu sunt stricăciuni vizibile.
- Înainte de conectarea modulului la tensiunea de alimentare de +/-12V, verificați că puterea estimată corespunde cu puterea sursei de alimentare.
- Înainte de alimentarea modulului verificați dacă cablurile de alimentare sunt corect conectate la sursa de alimentare.
- Acest modul trebuie utilizat numai conform scopului pentru care a fost conceput respectiv pentru educație și trebuie utilizat numai sub directa supervizare a personalului specializat.
- Orice altă utilizare nu este corectă și astfel periculoasă. Utilizarea improprie, proastă sau nerațională a modulului poate conduce la stricăciuni iremediabile.

## CAPITOLUL I01

### PREZENTAREA TRANZISTORUL BIPOLAR

#### 1.1 Prezentarea tranzistorului de tip PNP și NPN

Tranzistoarele de tip PNP și NPN sunt prezentate în figura 1.1 și arată cum sunt dispuse joncțiunile PN și forma grafică de prezentare în schemele electrice.

Tranzistorul **bipolar** are două tipuri de purtători de sarcină: electroni și "goluri". "Golurile" sunt asimilate electronilor doar că au sarcina pozitivă. Sunt purtători de sarcină fictivi necesari în explicarea teoretică a funcționării tranzistorului bipolar.

Tranzistorul bipolar este format din două joncțiuni PN: CB și BE. (fig.1.1) și este definit ca un amplificator de curent, unde curentul principal colector-emitor este controlat de un curent mult mai mic - curentul baza-emitor prin intermediul factorului de amplificare  $\beta$ .

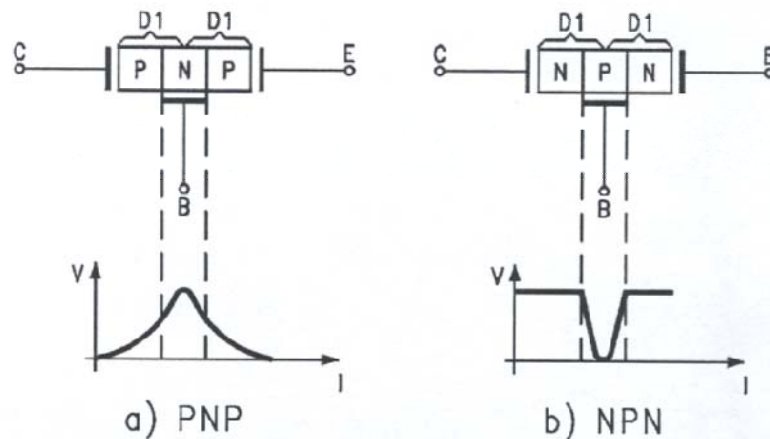


Fig.1.1

#### 1.2 Modul de polarizare (se studiază tranzistorul NPN)

Modul de polarizare sau de alimentare în curent continuu a joncțiunilor determină următoarele regimuri de funcționare:

#### Regimul normal de funcționare RAN

Joncțiunea BE este polarizată în direct (+p;-n)

Joncțiunea BC este polarizată în invers până la tensiunea de străpungere (-p;+n)

Polarizarea se poate face cu două surse de alimentare sau cu o singură sursă de alimentare pentru curentul principal ( $I_C$ ) și un divizor rezistiv pentru alimentarea joncțiunii BE (curentul de comandă  $I_B$ )

În acest regim de funcționare :

-Joncțiunea BE se comportă ca o diodă polarizată în direct (tensiunea de polarizare pentru Si: 0,6V-0,7V iar pentru Ge: 0,2V-0,3V) iar

-Joncțiunea BC se comportă ca o diodă polarizată în invers (tensiunea aplicată  $\leq$  tensiunea de străpungere)

Tranzistorul se comportă ca un amplificator de curent. ( $I_C = \beta I_B$ )

#### Regimul de funcționare inversat RAI

În acest regim de funcționare

- Joncțiunea BE este polarizată în direct iar
- Joncțiunea CB este polarizată în direct dar la tensiuni mici până la tensiunea de deschidere a diodei CB (0,6V-0,7V)

**Regimul de lucru blocat**

- Joncțiunea BE polarizată în invers sau la 0V (potențialul bazei=potențialul emitorului)
  - Joncțiunea CB polarizată în invers
- Prin tranzistor circulă numai curentul rezidual  $I_{CEO}$

**Regimul de lucru saturat**

- Joncțiunea BE polarizată în direct la o tensiune mai mare de 0.6-0.7V pentru Si și 0.2-0.3V pentru Ge
  - Joncțiunea CB polarizată în invers dar valoarea tensiunii aplicate este foarte mica (0,6V pentru Si)
- În această regiune curentul  $I_C$  nu depinde de  $I_B$  ci numai de tensiunea de polarizare BC.

**1.3 Regimul de curent continuu în tranzistorul bipolar**

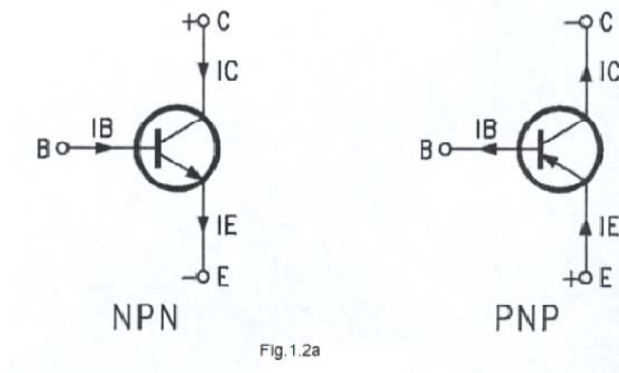


Fig.1.2a

**1.3.1 Modul de circulație a curenților în tranzistorul bipolar**

este prezentat în fig.1.2a și 1.2b

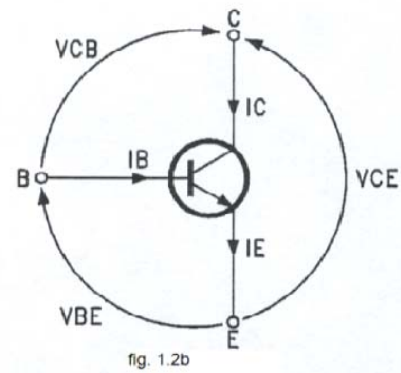


fig. 1.2b

Relațiile dintre curenți:

$$I_E = I_C + I_B \tag{1.1}$$

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0} \tag{1.2}$$

Unde  $\alpha$  este un coeficient cuprins între 0,9-0,999 iar  $\alpha I_E$  arată fracțiunea curentului de emitor din curentul de colector.

$I_{CB0}$  este curentul invers al joncțiunii BC fiind de ordinul nA și se măsoară între terminalele BC polarizată în invers, până la tensiunea de străpun gere când terminalul emitorului este nelegat în circuit (în gol)

Înlocuind  $I_E$  din (1.1) în (1.2)

$$I_C = \alpha(I_C + I_B) + I_{CB0} \tag{1.3}$$

$$I_C(1 - \alpha) = \alpha I_B + I_{CB0} \tag{1.4}$$

$$I_C = \frac{\alpha}{1-\alpha} I_E + \frac{I_{CB0}}{1-\alpha} \quad (1.5)$$

$$I_C = \beta I_B + I_{CE0} \quad (1.6)$$

Unde  $\beta$  este definit ca fiind:

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (1.7)$$

Iar:

$$I_{CE0} = (\beta + 1) I_{CB0} \quad (1.8)$$

Uzual  $\beta$  este cuprins între 10-100 dar poate avea valori și mai mari și este definit ca factor de amplificare în curent.

Relațiile dintre tensiuni în tranzistorul bipolar.

$$V_{CE} = V_{BE} + V_{CB} \quad (1.9)$$

### 1.3.2 Caracteristicile statice ale tranzistorului bipolar

Din relațiile (1.6), (1.9) rezultă  $\beta$  static (sau de curent continuu) și se notează cu  $\beta_F$ .

$$\beta_F = \frac{I_C - I_{CB0}}{I_B + I_{CB0}} \quad (1.10)$$

Știind că  $I_{CB0}$  este un curent rezidual mult mai mic decât  $I_C$  sau  $I_B$  se poate neglija în ecuația (1.10) iar  $\beta_F$  coeficientul de amplificare static are expresia simplificată:

$$\beta_F = \frac{I_C}{I_B} = h_{FE} \quad (1.11)$$

În fig. 1.3 se prezintă caracteristica de intrare al unui tranzistor NPN în configurație emitor-comun:  $I_B/V_{BE}$  la  $V_{CE}$  constant.

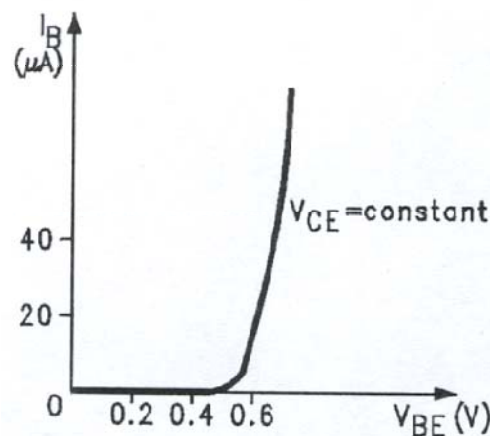


Fig.1.3 Caracteristica de intrare a tranzistorului NPN în configurație emitor-comun

În fig. 1.4a se prezintă caracteristica de transfer  $I_C/I_B$  la  $V_{CE}$  constant.

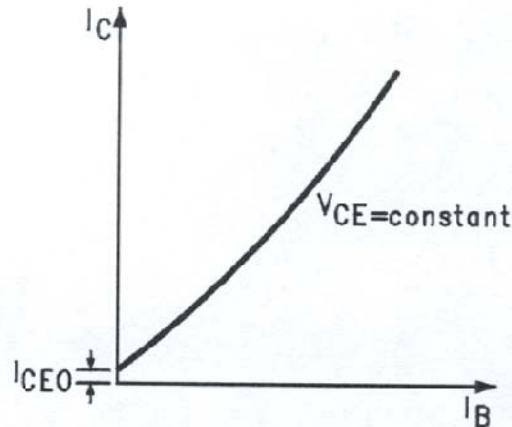


Fig 1.4a Caracteristica de transfer a tranzistorului NPN

Caracteristica de ieșire a unui tranzistor NPN în configurație emitor comun este prezentată în fig.1.4b .Această caracteristică arată evoluția curentului de ieșire  $I_C$  atunci când  $V_{CE}$  variază, iar  $I_B$  este parametru. Din această caracteristică se poate determina  $\beta$  static, zonele de saturatie, blocare si străpungere ale tranzistorului bipolar.

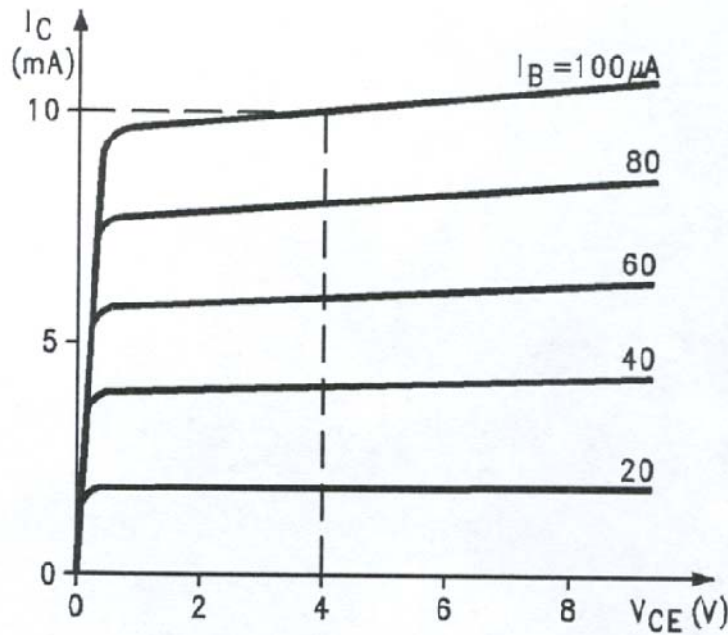


Fig.1.4b Caracteristica de ieșire a tranzistorului NPN

### 1.3.3 Configurații de amplificare cu tranzistor bipolar aflat în regim dinamic

Sunt trei configurații de amplificare după electrodul comun al intrării și ieșirii.

Cele trei configurații sunt prezentate în fig.1.5,1.6 și 1.7 și sunt scheme de curent alternativ (nu sunt atașate schemele de polarizare în curent continuu)

#### Configurația emitor-comun

Schema din fig.1.5 prezintă configurația ”emitor-comun”, intrarea IN este între BE iar ieșirea OUT este între CE, emitorul fiind electrodul comun.

$$\underline{I_C} = \beta_0 \underline{I_B} \tag{1.12}$$

În curent continuu ecuațiile sunt următoarele:

$$I_C = \beta_F I_B \tag{1.13}$$

$$V_{RC} = V_{CC} - V_{CE} \tag{1.14}$$

$$I_C = V_{RC} / R_C \tag{1.15}$$

Creșterea curentului  $I_C$  duce la creșterea tensiunii  $V_{RC}$  și implicit a scăderii tensiunii  $V_{CE}$ . Similar dacă  $V_{BE}$  scade,  $V_{CE}$  crește (scade  $I_C$ ). Pentru această configurație amplificarea în tensiune a etajului este foarte mare. ( $A_V = V_O/V_{IN}$ ) și este de tip inversor. (semnalul de ieșire este defazat față de cel de la intrare cu  $180^\circ$ )

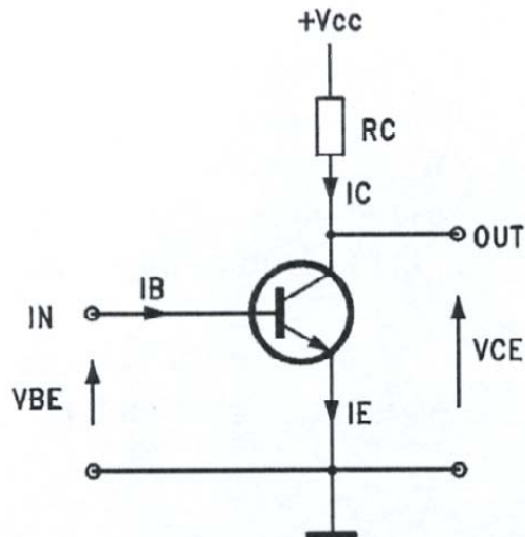


Fig.1.5 Configurație emitor-comun

#### Configurația colector-comun

Este prezentată în fig.1.6. Electroful comun intrării și ieșirii este colectorul.

$$V_O = I_E R_E \quad (1.16)$$

$$V_O = V_{IN} - V_{BE} \quad (1.17)$$

Cum  $V_{BE}$  este relativ constant,  $V_O \approx V_{IN}$  deci amplificarea în tensiune este 1

Amplificatorul este neinversor și este folosit în general ca adaptor de impedanță:

Impedanță mare la intrare ( $\beta R_E$ )/impedanță foarte mică la ieșire ( $R_g/\beta$ )/ $R_E$ .

( $R_g$  este rezistența serie a generatorului de semnal)

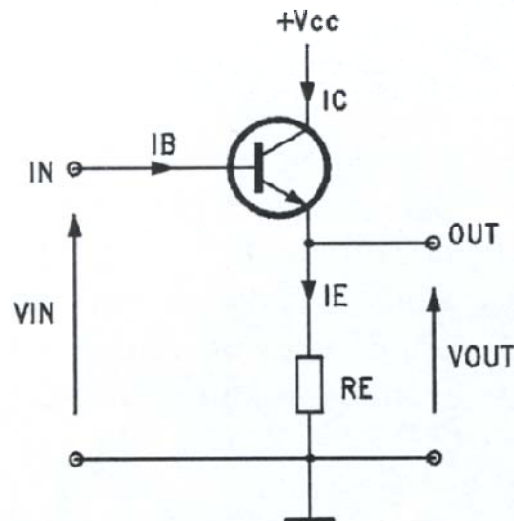


Fig.1.6 Configurație colector-comun



Configurația bază-comună

Este prezentată în fig.1.7.În această configurație semnalul care trebuie amplificat se aplică pe emitor (între EB) iar semnalul amplificat se masoară în colector (între CB) electrodul Bază fiind comun.

Relații de curent continuu:

$$V_{CB}=V_{CC}-R_C I_C \quad (1.18)$$

*Caracteristici principale*

Amplificatorul este neinversor

Amplificarea în tensiune este proporțională cu valoarea lui  $R_C$

Impedanța de intrare este foarte mica –zeci de ohmi

Este configurație des utilizată la construirea amplificatoarelor de înaltă frecvență.

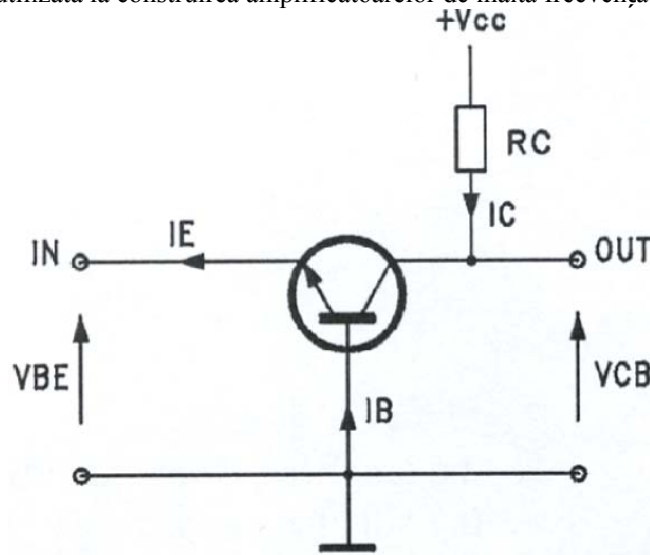


Fig.1.7 Configurație bază-comună

În tabelul nr.1 de mai jos sunt date prin comparație principalele caracteristici a celor trei tipuri de configurații: emitor comun,colector comun și bază comună unde:

$R_g$  este rezistența serie a generatorului de semnal, iar

$r_e$  este un parametru al schemei echivalente de semnal mic și are o valoare de aproximativ  $25mV/I_E$

TABELUL 1

Configurație Parametri	Emitor –comun	Colector-comun	Bază-comună
Impedanță de intrare $R_{IN}$	$\beta r_e$ - mică	$\beta R_E$ - foarte mare	$r_e$ - foarte mică
Impedanță de ieșire $R_{OUT}$	$R_C$ - mare	$(R_g/\beta)/R_E$ -foarte mică	$R_C$ - mare
Amplificare în curent $A_i$	$\beta$ - mare	$\beta$ - mare	1
Amplificare în tensiune $A_v$	$R/r_e$ - mare	1	$R/r_e$ - mare
Amplificare în putere $A_p$	$A_i A_v$ – foarte mare	$A_i$ - mare	$A_v$ - mare
Relații de fază între $V_{IN}$ și $V_{OUT}$	$180^0$	$0^0$	$0^0$

## CAPITOLUL I02

### METODE DE MASURĂ ȘI POLARIZARE A TRANZISTORULUI BIPOLAR

#### 2.1 Polarizarea tranzistorului bipolar în configurație emitor-comun

Modul de polarizare în vederea măsurătorilor parametrilor pentru un tranzistor NPN este arătat în fig.2.1a. Tensiunea de colector  $V_{CE}$  se aplica prin intermediul rezistenței  $R_C$  de la o sursă de alimentare externă  $V_{CC}$ . Tensiunea de bază  $V_{BE}$  se aplica prin intermediul rezistenței  $R_B$  de măsură de la o sursă de tensiune  $V_{BB}$  care poate fi preluată prin divizor rezistiv de la sursa  $V_{CC}$ , sau poate fi exterioară.

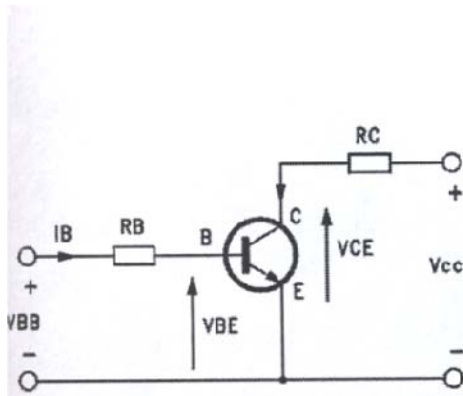


fig.2.1a

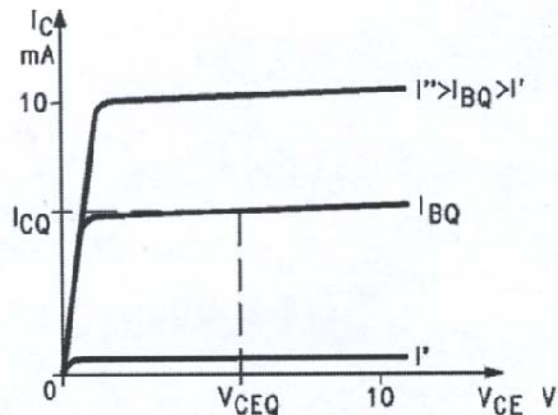


fig.2.1b

Caracteristica de ieșire este prezentată în fig.2.1b punctul determinat în planul  $I_C/V_{CE}$  de intersecția  $I_{CQ}, V_{CEQ}$  se numește punct static de funcționare al tranzistorului Q sau PSF. Acestui punct îi corespunde un curent de bază  $I_{BQ}$  (parametru)

Punctul static de funcționare definește astfel tensiunile între toți electrozii tranzistorului precum și toți curenții care trec prin tranzistor:  $V_{BE}, V_{CE}, V_{CB}, I_B, I_C$  și  $I_E$ .

Pentru determinarea PSF se au în vedere și relațiile:

$$I_E = I_C + I_B \quad (2.1)$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \quad (2.2)$$

Unde  $V_{BE}$  este o mărime aproximativ fixă și depinde de tipul materialului din care este realizat semiconductorul.

Asadar pentru determinarea PSF sunt necesare măsurători asupra mărimilor  $I_C, V_{CE}$  și  $I_B$  în condițiile în care tensiunile  $V_{CC}$  și  $V_{BB}$  au valori precizate.

$$V_{CC} = V_{CE} + R_C I_C \quad (2.3)$$

$$R_C = (V_{CC} - V_{CE}) / I_C \quad (2.4)$$

$$I_B = I_C / \beta \quad (2.5)$$

$$V_{BB} = V_{BE} + R_B I_B \quad (2.6)$$

$$R_B = (V_{BB} - V_{BE}) / I_B \quad (2.7)$$

Măsurătorile au în vedere asadar, determinarea tensiunilor  $V_{BB}, V_{BE}$  și  $V_{CE}$

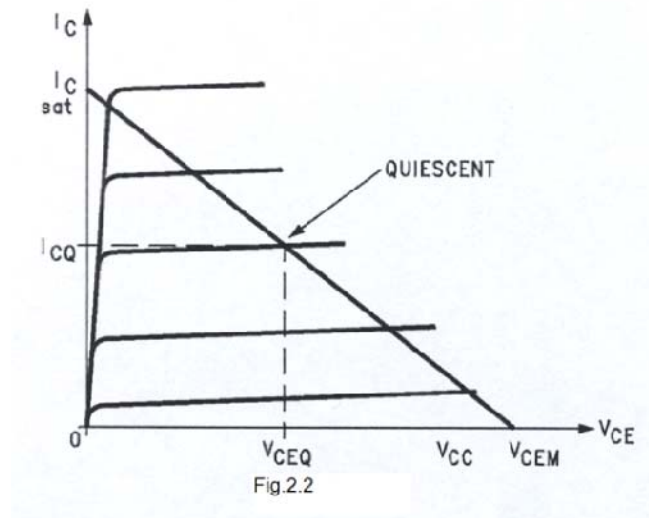
Din ecuațiile 2.3; 2.4; 2.5; 2.6 și 2.1 rezultă:  $\beta, I_C, I_E$

$$I_C = (V_{CC} - V_{CE}) / R_C \quad (2.8)$$

$$I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_B \quad (2.9)$$

$$\beta = I_C / I_B \quad (2.10)$$

Marcarea PSF pe caracteristicile de ieșire se face ca în fig.2.2



$I_{C\text{ sat}}$  se află pe dreapta ( $V_{C\text{emax}}, 0$ ) de sarcină și este curentul prin tranzistor atunci când  $I_C$  nu depinde de  $I_B$  ( $V_{CE}=V_{C\text{esat}}=\text{aprox.}0,6\text{V}$ )

Considerând ecuația 2.8 rezultă condiția de calcul a valorii minime a rezistenței  $R_C$

$$R_C = V_{CC} / I_{C\text{sat}} \quad (2.11)$$

Valorile curentului  $I_B$  și a tensiunii  $V_{BE}$  se determină din caracteristica de intrare

$V_{BE}=f(I_B)$  și respectiv caracteristica de ieșire  $I_C=f(V_{CE})$

### 2.2 Regiunile din caracteristica de ieșire în care operează tranzistorul bipolar în configurație emitor-comun

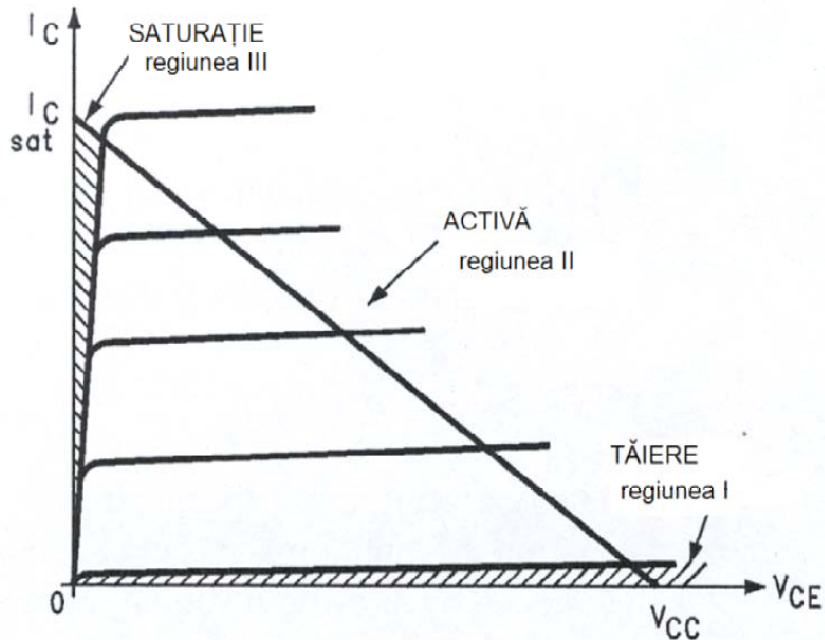


Fig.2.3

- În regiunea I: sau zona de blocare (tăiere) tranzistorul practic nu conduce:

$$V_{BE}=0$$

$$I_C=I_{CE0}$$

$$V_{CE}=V_{CC}$$

- În regiunea II: Tranzistorul se află în regim normal de funcționare (RAN)

$I_C=\beta I_B$  vloare practic independenta de valoarea tensiunii  $V_{CE}$

- În regiunea III valoarea tensiunii  $V_{CE}$  este foarte mică iar  $I_C$  depinde numai de această valoare și nu de valoarea curentului  $I_B$ .

### 2.3 Circuite de polarizare de la o singură sursă de alimentare

Tensiunea  $V_{BB}$  poate fi a doua sursa de polarizare sau realizata din sursa de colector cu divizor rezistiv, această din urmă soluție rezultând ca urmare a diferenței foarte mari (cu un ordin sau mai multe ordine de mărime) dintre curentul de colector și curentul de bază ( $I_B = I_C/\beta$ )

Curentul prin divizorul rezistiv trebuie să aibă o valoare de cel puțin  $10I_B$  și care este mult mai mic (cu cel puțin un ordin de mărime) decât  $I_C$

Schema de polarizare este prezentată în fig.2.4

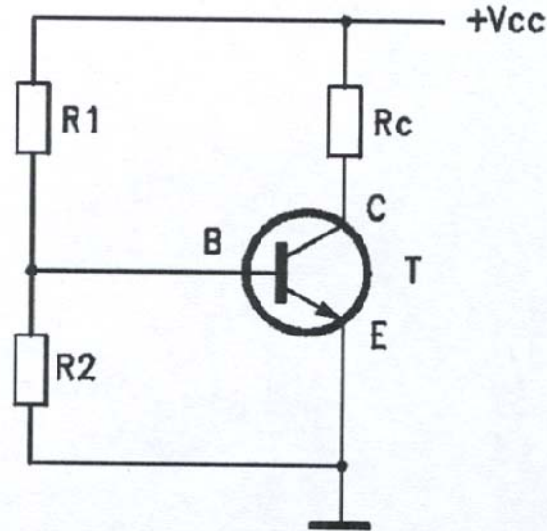


Fig.2.4

Calculul  $R_1$  și  $R_2$  are în vedere ipoteza că valoarea curentului  $I_D$  prin divizor este  $10I_B$ .

Curentul  $I_C$ :

$$I_C = (V_{CC} - V_{CE})/R_C \text{ iar } I_B = I_C/\beta \text{ astfel:}$$

Curentul  $I_D$

$$I_D = 10I_C/\beta = 10(V_{CC} - V_{CE})/\beta R_C$$

$$(R_1 + R_2)I_D = V_{CC} \quad (2.12)$$

$$I_D R_2 = V_{CC} R_2 / (R_1 + R_2) \quad (2.13)$$

Sau:

$$V_{BB} = V_{CC} R_2 / (R_1 + R_2) \text{ dacă notăm } R_B = (R_1 // R_2) \quad (2.14)$$

$$R_1 = R_B (V_{CC} / V_{BB}) \quad (2.15)$$

### 2.4 Clasele de operare ale tranzistorului bipolar.

Fixarea punctului static de funcționare (PSF) a unui tranzistor bipolar pe dreapta de sarcină din cadrul caracteristicii de transfer, din punct de vedere alternativ forțază funcționarea tranzistorului în trei clase:

**Clasă A:** PSF este fixat în mijlocul drepte de sarcină ( $V_{CEQ}$  se afla la mijlocul drepte de sarcină)

În acest caz semnalul din bază este reprodus la ieșire în mod liniar :

$V_{OUT} = A_V V_{IN}$  situația este prezentată în fig.2.5

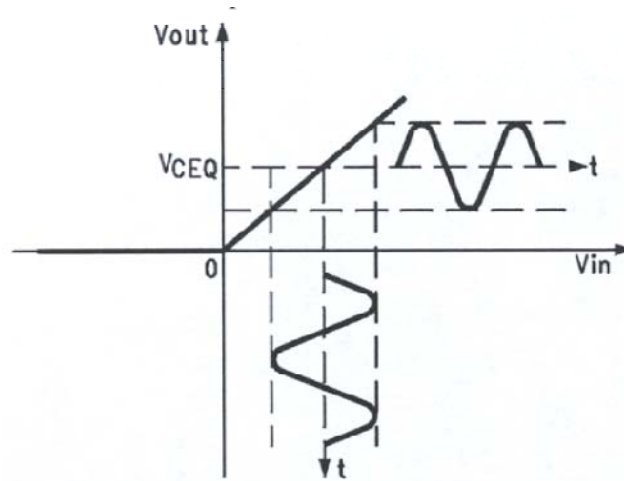


Fig.2.5

**Clasă B:** În acest caz, PSF este plasat spre zona de tăiere a tranzistorului, iar forma semnalului la ieșire se prezintă ca în fig.2.6: este amplificată numai semialternanța pozitivă cea negativă fiind suprimată.

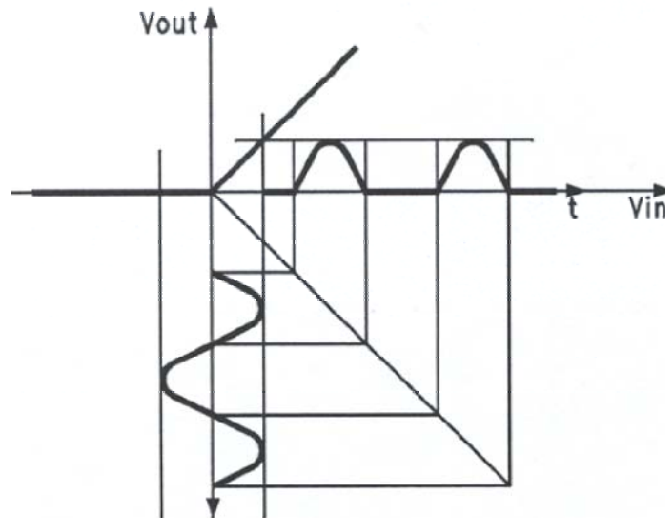


Fig. 2.6

**Clasă C:** PSF este mutat în zona de blocare iar curentul de ieșire este pulsatoriu perioada de conducție a tranzistorului este mai mica decât perioada de blocare fig 2.7.

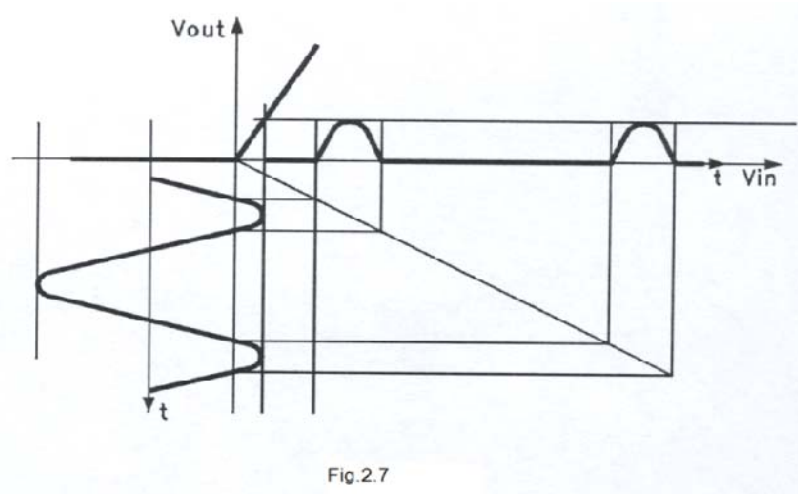


Fig.2.7

## CAPITOLUL I03

**EFECTE ALE VARIATIEI CURENTULUI DE COLECTOR  $I_C$  SI AL TENSIUNII DE COMANDĂ  $V_{BE}$  CU TEMPERATURA.****3.1 Efecte termice**

Curentul de colector este în legătură directă cu puterea disipată pe tranzistor:

$$P_D = V_{CE} I_C \quad (3.1)$$

Puterea disipată este corelată cu temperatura joncțiunilor de care depinde mărimea curentului rezidual  $I_{CBO}$ . Astfel acest curent, spre exemplu, se dublează la creșterea temperaturii joncțiunilor cu  $10^0C$ .

Acest curent intră însă în expresia curentului de colector (1.2), astfel încât putem afirma că temperatura influențează direct această mărime.

Marimea tensiunii  $V_{BE}$  de asemenea depinde de temperatură crescând aproximativ cu  $2,5mV/0C$  iar creșterea  $V_{BE}$  duce imediat la creșterea curentului  $I_C$

**Stabilizarea PSF pentru menținerea constantă a curentului  $I_C$** 

Metoda reacției negative : este cea prezentată în fig.3.1.

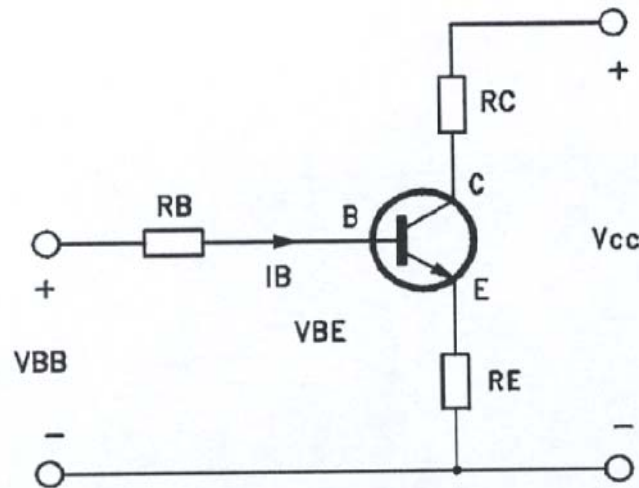


Fig.3.1

-Se atașează emitorului o rezistență  $R_E$  cu rolul de limitare a curentului  $I_C$  potențialul pe  $R_E$  este dependent de tensiunea  $V_{BB}$  care furnizează un curent  $I_B$  constant prin rezistența  $R_B$  (reacția negativă).

Metoda fixării unei rezistențe între bază și colector prezentată în fig.3.2

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad (3.2)$$

$$I_B = V_{CB} / R_F = (V_{CE} - V_{BE}) / R_F \quad (3.3)$$

Dacă  $I_C$  crește  $V_{CE}$  scade, deci scade  $I_B$  care astfel menține constant curentul de colector.

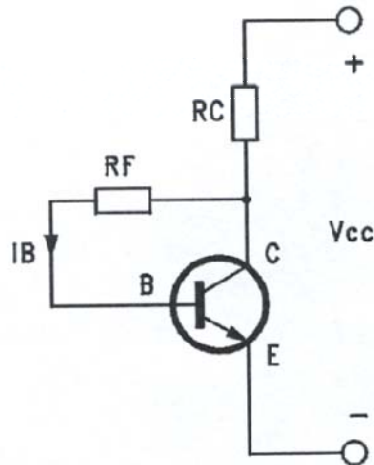


Fig.3.2

Influența variației curentului  $I_C$

Efectul creșterii temperaturii este creșterea curentului  $I_{CB0}$

Se definește termenul de stabilitate în curent  $S_i$  (Fig.3.1)

$$S_i = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CB0}} = \frac{\beta(R_B + R_E)}{R_B + \beta R_E} \tag{3.4}$$

Sau:

$$\frac{R_B}{R_E} = \frac{\beta(S_i - 1)}{\beta S_i} \tag{3.5}$$

Un  $S_i$  mic arată o mare stabilitate a PSF ,dacă se consideră  $S_i \leq 10$  rezultă imediat condiția:  $R_B \leq 9R_E$ .

Influența variației tensiunii  $V_{BE}$

Se definește stabilitatea în tensiune  $S_V$ : în condițiile în care  $I_{CB0}$  și  $\beta$  sunt constanți.

$$S_V = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} = \frac{1}{\frac{R_B}{\beta} + R_E} \tag{3.6}$$

Un  $S_V$  mic arată o stabilitate bună cu variația lui  $V_{BE}$

Menținând condiția  $R_B \leq 9R_E$

Afirmând că o bună stabilitate a tensiunii  $V_{BE}$  este atunci când nu variază cu mai mult de 10%

$$S_V = -1/R_E \tag{3.7}$$

Astfel formula(3.6) poate fi scrisă:

$$\frac{\Delta I_C}{I_C} = - \frac{\Delta V_{BE}}{R_E I_C} \tag{3.8}$$

Variație mică a curentului  $I_C$  presupune o valoare mare a produsului  $R_E I_C$

Se admite o variație de 5-10% a curentului de colector, rezultă imediat :

$$R_E I_C \approx 10-20 |V_{BE}|$$

Influența parametrului  $\beta$

$$S_\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta \beta} = \frac{I_C S_{i2}}{\beta_1 + (1 + \beta_2)} \tag{3.9}$$

Unde:

$S_{i1}$  este stabilitatea în curent la  $\beta_1$

$S_{i2}$  este stabilitatea în curent la  $\beta_2$

$$\Delta \beta = \beta_2 - \beta_1 \tag{3.10}$$

$R_E$  introduce o puternică reacție negativă în regim dinamic, de aceea în mod obișnuit ea este scurcircuitată cu un capacitor a carui marime se calculează funcție de banda frecvențelor de lucru.

## CAPITOLUL I04

### REGIMUL DINAMIC AL TRANZISTORULUI BIPOLAR

Se studiază regimul dinamic, la semnal mic al tranzistorului bipolar la frecvență joasă, fixă. Se determină principalii parametri ai circuitului echivalent natural și se demonstrează dependența lor de punctul static de funcționare.

#### 4.1 Modelul de regim dinamic liniar

Caracteristicile tranzistorului bipolar sunt neliniare în regiunea activă normală (RAN); funcționarea sa dinamică este liniară numai la semnal mic. Se consideră că tranzistorul lucrează la semnal mic atunci când tensiunea dintre baza internă și emitor verifică inegalitatea:

$$V_{b'e} \ll \frac{kT}{q} \quad (4.1)$$

sau  $V_{b'e} \leq 2,6\text{mV}$  la  $T_0=300\text{K}$

În aceste condiții tranzistorul poate fi înlocuit în curent alternativ, la frecvențe joase prin circuitul echivalent natural la semnal mic prezentat în fig.4.1

Elementele circuitului natural depind de punctul static de funcționare al tranzistorului. La tranzistoarele cu siliciu pentru un curent de colector de ordinul miliamperilor panta tranzistorului  $g_m$  are valori de zeci și chiar sute de mA/V, fiind un parametru de transfer. Ordinul de mărime al rezistențelor  $r_{bb'}$ -zeci de ohmi,  $r_{b'e}$ -khilooohmi,  $r_{b'c}$ -megaohmi,  $r_{ce}$ -zeci de khilooohmi. Efectul rezistenței  $r_{b'e}$  este neglijabil pentru aplicații de joasă frecvență.

Obs:

Notațiile înscrise între paranteze în schema 4.1 sunt echivalente.

$I_c, I_b, I_e, V_o, V_{in}, V_{b'e}$ , sunt valori ale regimului dinamic (de curent alternativ)

Se pot scrie următoarele relații de definiție pentru parametrii tranzistorului bipolar:

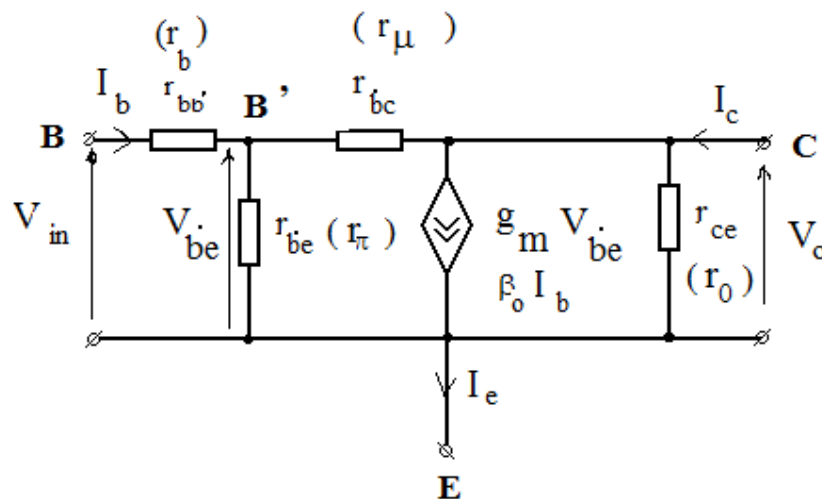


Fig.4.1



- **Factorul de amplificare în curent alternativ în conexiune emitor-comun.**  $\beta_0$

$$\beta_0 = I_C / I_B \quad | V_0 = 0 \quad (4.2)$$

$\beta_0$  sau  $\beta$  dinamic se masoară în condițiile rezultate ca urmare a scurtcircuitării în curent alternativ a ieșirii. ( $V_0=0$ )

- **Panta tranzistorului (conductanța de transfer)  $g_m$**

$$g_m = I_C / V_T \quad | V_0 = 0 \quad (4.3)$$

Cum  $V_{b'e} \approx V_{in}$  deoarece  $r_{bb'} \ll r_{b'e}$  se poate aproxima:  $g_m = I_C / V_{in} | V_0 = 0$

- **Rezistența echivalentă la intrare:  $R_i$**

$$R_i = r_{bb'} + r_{b'e} \approx r_{b'e} \approx V_T / I_B \quad (4.4)$$

Relația de legătură dintre  $\beta_0$  și  $g_m$

$$\beta_0 = g_m r_{b'e} \quad (4.5)$$

- **Rezistența echivalentă la ieșire  $r_{ce}$**

$$r_{ce} = V_A / I_C \quad | V_{in} = 0 \quad (4.6)$$

$V_{in}=0$  înseamnă scurtcircuit în curent alternativ la intrare.

**Elementele acestui circuit depind de PSF astfel:**

$$g_m = I_C / V_T \approx 40 I_C \quad (4.7)$$

$$r_{b'e} = \beta_0 / g_m \quad (4.8)$$

$$r_{ce} = V_A / I_C \quad (4.9)$$

unde  $V_{th}$  este tensiunea termică,  $I_C$  este curentul de colector continuu,  $V_A$  este tensiunea Early.

## CAPITOLUL I05

### MONTAJUL EXPERIMENTAL PENTRU MASURATORI DE CURENT CONTINUU

#### I05.1 OBIECTIVE

- Măsurarea curentului de bază și al curentului de colector în curent continuu
- Măsurători în vederea determinării caracteristicii  $I_C/V_{CE}$  cu parametru  $I_B$
- Desenarea graficului caracteristicii statice de ieșire

#### I05.2 APARATE NECESARE

- Sursă de alimentare PS1-PSU/EV sau PSLC/EV, Unitate de control individual SIS1/SIS2/SIS3 (opțional).
- Modulul MCM4/EV
- Multimetru
- Osciloscop

#### 105.3 DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

MCM-4	Deconectați toate șunturile
Montați SIS1	Setați toate comutatoarele pe deschis
SIS2	Introduceți cod lecție: B04

Se pornește de la modulul aflat pe placa MCM-4 stânga sus cu schema electrică prezentată în fig.5.1a: Tehnica de polarizare aleasă este cu doua surse:

Sursa fixă de 12V și un divizor rezistiv reglabil pentru tensiunea  $V_{BE}$

Sursă variabilă 1,2V-24V ( $V_{CC}$ ) și o rezistență serie pentru polarizarea joncțiunii BC.

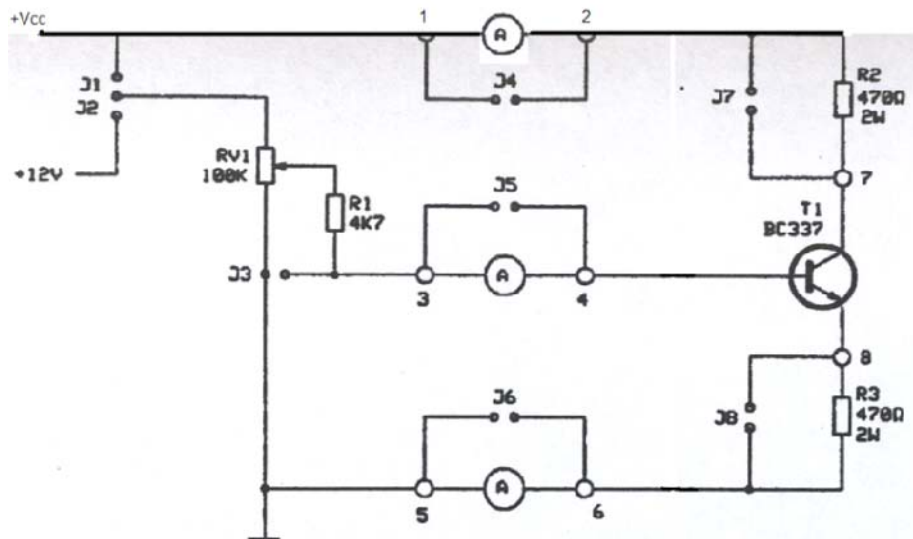


Fig5.1

Fig.5.1a

Măsurătorile de curenți au la bază legea lui Ohm: se măsoară tensiunea pe o rezistență de măsură cu valoare precizată, după care curentul prin această rezultă imediat:  $I=V_R/R$

Montajul este astfel realizat pentru ca tensiunea pe rezistența de măsură să se masoare cu voltmetrul sau osciloscopul, alternativ față de masă la bornele acestei rezistențe (nu se masoară direct la bornele rezistenței de măsură) obținându-se  $V_{R1}$  respectiv  $V_{R2}$  Tensiunea pe rezistență este:

$$V_R = V_{R1} - V_{R2}$$

Rezistența de măsură pentru curentul de bază în acest caz este  $R_1 = 4,7K$

Schema de măsură rezultată în urma efectuării scurturilor realizate cu șunturile  $J_2 ; J_5 ; J_4 ; J_8 ; J_6$ , în schema 5.1a, este prezentată în fig. 5.1b

**Mod de lucru**

- Se măsoară tensiunile  $V_{BB}, V_{BE}$  și  $V_{CE}$  în următoarele condiții:
- Se fixează tensiunea  $V_{CC}$  la valoarea de 14V
- Se modifică  $R_{V1}$  pentru obtinerea valorilor tensiunii  $V_{BB}$  conform Tabelului 2
- Se măsoară tensiunea  $V_{CE}$  de fiecare dată de câte ori se măsoară  $V_{BB}$  și se trece în Tabelul 2
- Se măsoară tensiunea  $V_{BE}$  de fiecare dată de câte ori se măsoară  $V_{BB}$  și se trece în Tabelul 2

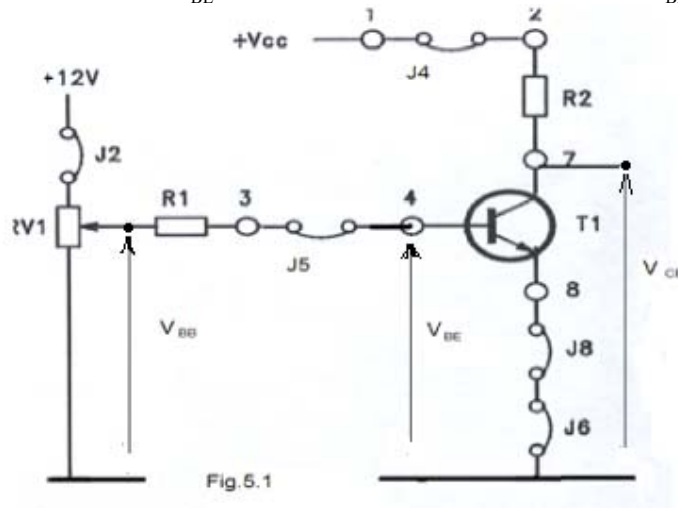


Fig.5.1b

Curenții  $I_B$  și  $I_C$  se calculează:

$$I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_1$$

$$R_1 = 4,7K\Omega; R_2 = 470\Omega$$

$$I_C = (V_{CC} - V_{CE}) / R_2$$

$$\beta_F = I_C / I_B$$

Se ridică curbele:

- $I_B = f(V_{BE})$ , caracteristica de intrare
- $I_C = f(I_B)$  caracteristica de transfer în curent al tranzistorului  $T_1$
- $I_C = f(V_{BE})$  caracteristica de transfer al tranzistorului  $T_1$

unde:

$$I_C = I_S \exp(V_{BE} / V_{th}), (I_S \text{ este curentul de saturație al tranzistorului.})$$

**Tabelul 2**

$V_{BB}(mV)$	647	741	835	929	1023	1070
$V_{BB}$ valori măsurate						
$V_{BE}(mV)$						
$V_{CE}(V)$						
$I_B(mA)$						
$I_C(mA)$						
$\beta_F$						

**105.4 Determinarea caracteristicii de ieșire  $I_C=f(V_{CE})$  cu parametru  $I_B$** 

<b>MCM-4</b>	<b>Deconectați toate șunturile</b>
<b>Montați SIS1</b>	<b>Setați toate comutatoarele pe deschis</b>
<b>SIS2</b>	<b>Introduceți cod lecție: B04</b>

Se pornește de la modulul aflat pe placa MCM-4 stânga sus cu schema electrică prezentată în fig.5.1a:

Tehnica de polarizare aleasă este cu doua surse:

Sursa fixă de 12V și un divizor rezistiv reglabil pentru tensiunea  $V_{BE}$

Sursă variabilă 1,2V-24V ( $V_{CC}$ ) și o rezistență serie pentru polarizarea joncțiunii BC.

**Schema de măsură rezultată în urma efectuării scurturilor**

**realizate cu șunturile  $J_2$  ;  $J_5$  ;  $J_4$  ;  $J_8$  ;  $J_6$ , în schema 5.1a, este prezentată**

**în fig. 5.1b**

Modul de lucru:

**Se măsoară tensiunile  $V_{BB}$ ,  $V_{BE}$  și  $V_{CE}$  în următoarele condiții:**

- Se fixează tensiunea  $V_{CE}$  la valoarea de 0,1V modificând tensiunea  $V_{CC}$ .
- Se modifică  $R_{V1}$  pentru fixarea valorilor tensiunii  $V_{BB1}$  înscrisă în Tabelului 3
- Se măsoară de fiecare dată tensiunea  $V_{BE}$  și se trece în Tabelul 3
- Se modifică tensiunea  $V_{CC}$  de la valoarea de 0,1V la 12V menținându-se valoarea lui  $V_{BB1}$  constantă (pentru obținerea unor tensiuni  $V_{CE}$  conform Tabelului 3).
- Se măsoară de fiecare dată tensiunea  $V_{CC}$  și  $V_{BE}$  care apoi se trec în Tabelul 3
- Se reiau măsurătorile după ce se modifică  $R_{V1}$  în vederea fixării  $V_{BB2}$  respectiv  $V_{BB3}$  înscrise în Tabelul 3.
- Se calculează  $I_{C1}, I_{C2}, I_{C3}$  cu ajutorul formulei:  $I_C=(V_{CC}-V_{CE})/R_2$

$$(I_{C1}=(V_{CC1}-V_{CE})/R_2, I_{C2}=(V_{CC2}-V_{CE})/R_2, I_{C3}=(V_{CC3}-V_{CE})/R_2)$$

- Se calculează  $I_B$  cu ajutorul formulei:  $I_B=(V_{BB}-V_{BE})/R_1$

**Tabelul 3**

<b><math>V_{CE}(V)</math></b>	0,1	0,5	1	5	8	12	
<b><math>V_{CC1}(V)</math></b>							
<b><math>V_{BB1}(mV)</math></b>	800	800	800	800	800	800	
<b><math>V_{BE1}(mV)</math></b>							
<b><math>I_{B1}(\mu A)</math></b>							
<b><math>I_{C1}(mA)</math></b>							
<b><math>V_{CC2}(V)</math></b>							
<b><math>V_{BB2}(mV)</math></b>	950	950	950	950	950	950	
<b><math>V_{BE2}(mV)</math></b>							
<b><math>I_{B2}(\mu A)</math></b>							
<b><math>I_{C2}(mA)</math></b>							
<b><math>V_{CC3}(V)</math></b>							
<b><math>V_{BB3}(mV)</math></b>	1070	1070	1070	1070	1070	1070	
<b><math>V_{BE3}(mV)</math></b>							
<b><math>I_{B3}(\mu A)</math></b>							
<b><math>I_{C3}(mA)</math></b>							

**Cu valorile obținute se ridică caracteristica de ieșire  $I_C=f(V_{CE})$  la  $I_{B1}, I_{B2}$  și  $I_{B3}$**

Rezultă o familie de trei caracteristici statice de ieșire:

Comentariu:

Curentul de colector crește la tensiuni mici  $V_{CE}$ , rapid cu  $V_{CE}$  apoi curba evoluează cvasiparalel cu axa  $V_{CE}$ , Curentul de colector în această parte a curbei depinde numai de  $I_B$  pentru valori mici ale acestuia din urmă. Această zonă este specifică zonei cvasiliniare ale tranzistorului bipolar. Pentru curenți mari  $I_B$  curentul de colector se saturează și nu mai depinde de  $I_B$  ci numai de mărimea lui  $V_{CE}$ .

În regiunea lineară, rezistența statică de ieșire este mare ( $R_{ieșire}=V_{CE}/I_C \text{ K}\Omega$ )

Tabelul 4 rezultă din Tabelul 3 și cuprinde valorile  $I_B, I_C$  și  $\beta_F$  măsurate la tensiunea  $V_{CE}=5V$

**Tabelul 4**

$I_B(\mu A)$ (se trece valoarea măsurată)	$\approx 30$	$\approx 50$	$\approx 100$
$I_C(mA)$			
$\beta_F$			

Se ridică caracteristicile:

- $I_C=f(I_B)$
- $\beta_F=f(I_C)$  pentru cele 3 valori ale lui  $I_B$

## CAPITOLUL I06

### MONTAJUL EXPERIMENTAL PENTRU MĂSURATORI DE REGIM DINAMIC.

#### I06.1 OBIECTIVE

- Măsurarea curentului de bază și al curentului de colector în curent alternativ (semnal alternativ cu frecvența mai mare de 1KHz)
- Determinarea lui  $\beta_0$  coeficientul de amplificare dinamic
- Determinarea parametrilor schemei echivalente la semnal mic a tranzistorului bipolar
- Determinarea rezistențelor de intrare și ieșire la frecvența de măsură.

#### I06.2 APARATE NECESARE

- Sursă de alimentare PS1-PSU/EV sau PSLC/EV, Unitate de control individual SIS1/SIS2/SIS3 (opțional).
- Modulul MCM4/EV
- Multimetru
- Osciloscop
- Generator de semnal

#### 106.3 DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

MCM-4	Deconectați toate șunturile
Montați SIS1	Setați toate comutatoarele pe deschis
SIS2	Introduceți cod lecție: B04

Se pornește de la modulul aflat pe placa MCM-4 cu schema electrică prezentată în fig.5.2a:

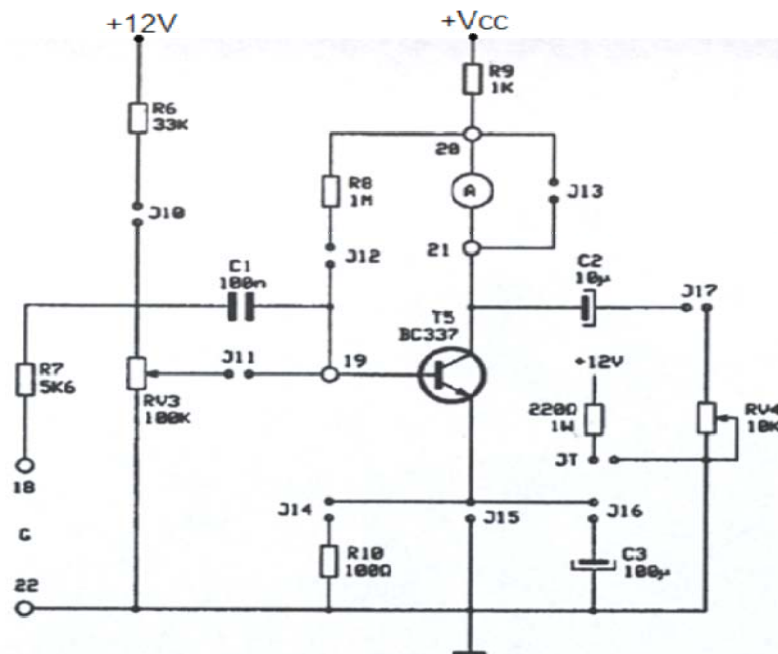


Fig.5.2a

Tehnica de polarizare aleasă este cu doua surse:  
 Sursa fixă de 12V si un divizor rezistiv reglabil pentru tensiunea  $V_{BE}$   
 Sursă variabilă 1,2V-24V ( $V_{CC}$ ) si o rezistență serie pentru polarizarea joncțiunii BC.

**Schema de măsură prezentată în fig. 5.2b este rezultată în urma efectuării scurturilor realizate cu șunturile  $J_{10}$  ;  $J_{13}$ ;  $J_{16}$ ;  $J_{17}$ ,  $J_{14}$  în schema 5.2.a iar generatorul de semnal G se fixează între ploturile 18 și 22.**

**Mod de lucru:**

- Tranzistorul T5 se polarizează (PSF) în următoarele condiții:
- Tensiunea  $V_{CC}=15V$  fixată.
- Se atașează rezistența adițională  $R_{adit}=10K\Omega$  la  $J_{11}$
- Se reglează  $R_{V4}$  la valoarea de  $100\Omega$
- Tensiunea  $V_{BB}$  de polarizare a bazei se fixează cu ajutorul semireglabilului  $R_{V3}$ , astfel încât  $I_C$  să aibă valorile impuse de Tabelul5.  
(Se modifică  $R_{V3}$  pentru a obține  $V_{R10}= 0,1V$  etc.)
- Curentul  $I_C$  se măsoară indirect măsurându-se tensiunea pe rezistența din emitor  $R_E \cdot V_{R10}$  (deasemenea înscrisă în Tabelul5)

$$I_C = V_{RE} / R_E$$

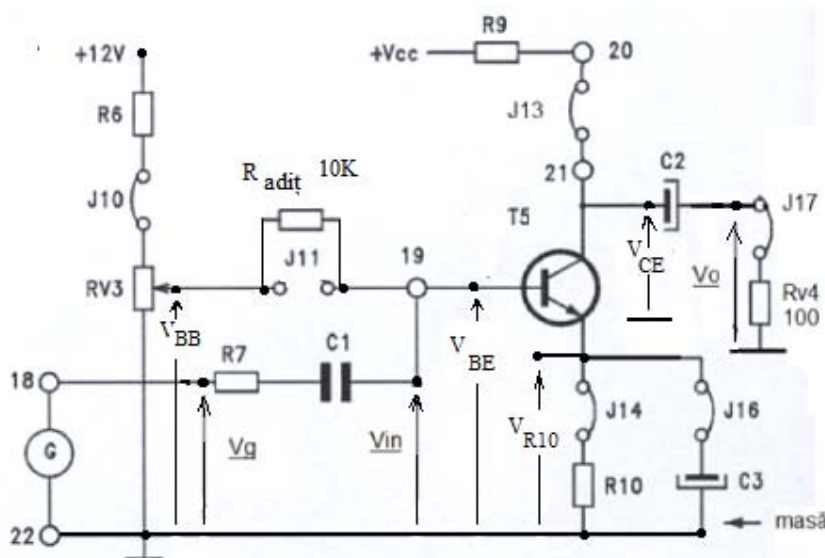


Fig.5.2b

-Se determină variația parametrilor dinamici  $\beta_0, g_m, R_{in}$  și respectiv  $A_v = V_o / V_{in}$  cu curentul continuu de colector  $I_C$  conform Tabelului 5.

**După aplicarea tensiunilor de curent continuu (fixarea PSF)**

- Se aplică de la generatorul de semnal G o tensiune alternativă sinusoidală cu frecvența de 1Khz și o amplitudine necesară obținerii condiției ca  $V_{in}$  să fie aproximativ 10mV RMS sau mai mică (valoarea este înscrisă în Tabelul5, astfel încât  $V_o$  să nu aibă forma de undă modificată față de intrare (condiția de semnal mic)

Măsurătorile în curent alternativ se fac numai cu osciloscopul, măsurându-se pe rând valorile RMS ale tensiunilor  $V_{in}, V_g$  și  $V_o$ , aceste valori fiind apoi trecute în Tabelul 5

Obs.:

Valorile amplitudinilor tensiunilor și curenților alternativi sunt date în mărimi RMS

Tabelul 5

$V_{R10}(V)$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
$I_C(mA)$	1	2	3	4	5	6
$V_g(mV)$						
$V_{in}(mV)$	5	5	5	5	5	5
$V_o(mV)$						
$A_v$						
$g_m(mA/V)$						
$\beta_0$						
$R_{in}(k\Omega)$						

Obs:

Pentru măsurătorile în regim dinamic, îndeplinirea condiției de scurt-circuit în alternativ la ieșire se realizează cu o rezistență sarcină  $R_{v4}=100\Omega$  de valoare mult mai mică decât  $R_c+r_{ce}$ , astfel încât:

Marimile  $A_v$ ,  $g_m(mA/V)$ ,  $\beta_0$ ,  $R_{in}(k\Omega)$  se pot calcula cu formulele: (6.4),(6.2),(6.1) respectiv (6.3) și se trec în Tabelul 5

$$\beta_0 = \frac{\frac{V_o}{R_{v4}}}{\frac{V_g - V_{in}}{R_7}} \quad /la V_o=0 \quad (6.1)$$

$$g_m = \frac{\frac{V_o}{R_{v4}}}{V_{in}} \quad /la V_o=0 \quad (6.2)$$

$$R_{in} \cong \frac{V_{in}}{\frac{(V_g - V_{in})}{R_7}} \quad /la V_o=0 \quad (6.3)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_{in}} \quad (6.4)$$

Se ridică caracteristicile:

- $\beta_0=f(I_C)$ ,
- $g_m=f(I_C)$ ,
- $R_{in}= f(I_C)$  și
- $A_v= f(I_C)$

### Măsurarea rezistenței de ieșire $r_{ce}$

Se realizează configurația din fig.5.3.

Rezistența de ieșire a tranzistorului bipolar care lucrează în RAN prin definiție este:

$$r_{ce} = \frac{V_o}{I_c} = 0 \quad (6.5)$$

Condiția de  $V_{in}=0$  este asigurată în curent alternativ de capacitorul  $C_3$  fixat între bază și masă cu un accesoriu ce realizează un scurtcircuit între  $C_3$  și  $J_{11}$

Calculul rezistenței de ieșire are în vedere determinarea curentului alternativ  $I_c$

Punctul static de funcționare este stabilit conform Tabelului 6

Curentul de colector este stabilit de divizorul rezistiv  $R_6, R_{v3}$  prin reglajul curentului de bază. Tensiunea  $V_{CE}$  se menține la valoarea din Tabelul 6 modificând corespunzător  $V_{CC}$ .



Semnalul sinusoidal se aplică de la generator la ieșirea tranzistorului prin rezistența  $R_{V4}$  cu valoarea maximă de  $10K\Omega$  (cu ajutorul unui accesoriu care face legătura între cablul de generator și  $J_{17}$ )  
 Frecvența semnalului sinusoidal este fixată la  $1KHz$  iar amplitudinea se reglează astfel încât  $V_0=0,4V$  RMS

**Modul de lucru**

- Se fixează  $V_{CC}$  la o tensiune fixă de  $15V$
- Se reglează curentul de colector conform Tabelului 6 din semireglabilul  $R_{V3}$  astfel încât tensiunea  $V_{CE}$  să fie cea înscrisă în acelaș tabel.

Pentru fiecare  $I_C$  se măsoară în curent alternativ:  
 Tensiunea  $V_0$  și tensiunea  $V_{rv4}$  și se trec în Tabelul 6.  
 Valoarea rezistenței de ieșire se calculează cu formula de mai jos:

$$r_{ce} = \frac{V_0}{I_c} = \frac{V_0}{\frac{V_{rv4} - V_0}{R_{V4}}}$$

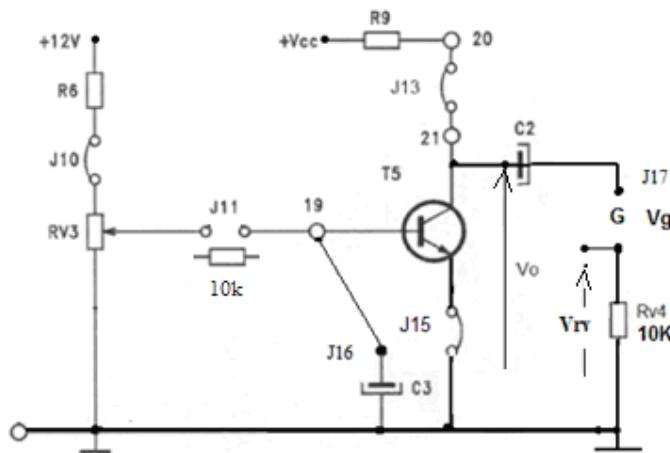


Fig.5.3

**Tabelul 6**

$V_{CE}(V)$	14	13	12	11	10
$I_C(mA)$	1	2	3	4	5
$V_0(mV)$					
$V_{rv}(V)$					
$r_{ce}(K)$					

Se ridică caracteristica:

- $r_{ce}=f(I_C)$

## CAPITOLUL I07

**INTREBĂRI ȘI EXERCITII REFERITOARE LA FUNCȚIONAREA ÎN CURENT CONTINUU A TRANZISTORULUI BIPOLAR**

MCM-4	Deconectați toate șunturile
Montați SIS1	Setați toate comutatoarele pe deschis
SIS2	Introduceți cod lecție: B04

**7.1 Între ce valori este cuprins  $\beta_F$ ?**

- a. 1-10
- b. 10-20
- c. 20-40
- d. 100-400
- e. 500-1000
- f. 1000-2000

**7.2 Ce se întâmplă în circuit dacă curentul de colector este 0?**

- a. sursa de tensiune de colector este deconectată și  $I_C=0$
- b.  $I_C=0$  deoarece circuitul colectorului este întrerupt
- c.  $I_C=0$  deoarece circuitul emitorului este întrerupt
- d.  $I_C=0$  deoarece este scurt-circuit între baza și emitorul tranzistorului

**7.3 Câte joncțiuni are un tranzistor NPN?**

- a. 3
- b. 2
- c. 1
- d. 0

**7.4 Ce raport definește coeficientul  $\alpha$  de amplificare?**

- a.  $I_B/I_C$
- b.  $I_E/I_B$
- c.  $(I_C - I_{CB0})/I_C$
- d.  $I_C/I_E$
- e.  $(I_C + I_{CB0})/I_E$

**7.5 Considerând direcția curenților cea normală (de la+ la-) ecuațiile unui tranzistor PNP sunt:**

- a.  $I_E = I_C + I_B$
- b.  $I_B = I_C + I_E$
- c.  $-I_E = I_B - I_C$
- d.  $I_E = I_B - I_C$

**7.6. Coeficientul de amplificare  $\beta$  rezultă din ecuațiile:**

- a.  $\alpha/2 = \beta + 1$
- b.  $\alpha = (\beta - 1)(\beta + 1)$
- c.  $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$
- d.  $\beta = \alpha + 1$