

**LUCRAREA DE LABORATOR NR. 5****AMPLIFICATOR CU TRANZISTOR I****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**

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

**3. INTRODUCERE TEORETICĂ**

Pentru ca un tranzistor să lucreze ca amplificator trebuie ales un punct static de funcționare corespunzător.  $V_{CE}$  trebuie să fie aproximativ jumătate din  $PS-1$  pentru a permite excursia maximă a semnalului de ieșire.

După cum arată relația (5.1) curentul de colector este de  $\beta$  ori mai mare decât curentul de bază, dacă tranzistorul este polarizat în RAN. În consecință, o mică modificare a curentului de bază determină o modificare importantă a curentului de colector:

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \beta \quad (5.1)$$

Prin urmare, dacă în bază vom conecta o sursă de semnal de mică putere, iar în colector o rezistență de sarcină, vom putea obține în sarcină, un curent de aceeași formă cu cel de la intrare, dar la o putere mult mai mare. Tranzistorul se comportă ca amplificator.

Aceasta nu înseamnă că el ar produce energie. Dimpotrivă, el însuși consumă energie. Puterea consumată de la sursa de semnal de intrare  $P_{IN}$  este mică. Dar la comanda semnalului de intrare, tranzistorul transferă o putere semnificativă de la sursa de alimentare în sarcină,  $P_{IES}$ . Acest transfer se face însă cu un randament subunitar deoarece o parte din puterea consumată de la sursă,  $P_{CC}$ , este disipată de tranzistor. Această putere  $P_P$  se pierde prin efect termic.

Prin urmare putem vorbi de amplificare numai în ceea ce privește raportul:

$$a_p = \frac{P_{IES}}{P_{IN}} > 1 \quad (5.2)$$

În ceea ce privește randamentul, acesta este subunitar:

$$\eta = \frac{P_{IES}}{P_{CC} + P_{IN}} < 1 \quad (5.3)$$

Pentru a putea vorbi de amplificarea, nu este suficient ca relația (5.2) să fie satisfăcută. Mai trebuie ca forma semnalului de intrare să fie identică, sau cel puțin foarte apropiată de forma semnalului de ieșire. Din nefericire, caracteristica de intrare a TB este puternic neliniară (exponențială) și prin urmare o variație  $\Delta V_{BE}$  a tensiunii de intrare va produce o variație  $\Delta I_B$  care nu va fi proporțională cu tensiunea de intrare. Conform relației (5.1) nici  $\Delta I_C$  nu va fi proporțional cu semnalul de intrare și prin urmare nici tensiunea pe rezistența de sarcină nu va avea aceeași formă de variație ca și  $\Delta V_{BE}$ .

Numai dacă  $\Delta V_{BE}$  este foarte mic, putem aproxima caracteristica de intrare cu tangenta la ea în punctul static de funcționare și putem înlocui joncțiunea bază emitor prin rezistența ei dinamică. Prin urmare putem utiliza tranzistorul ca amplificator de semnal mic.

În figura 5.2 este prezentat un exemplu. Circuitul de polarizare asigură o tensiune  $V_{BE} = 670\text{mV}$ . În consecință, potrivit caracteristicii de intrare va rezulta  $I_B = 13\mu\text{A}$ . Dacă peste această polarizare în curent continuu se aplică în bază un semnal  $v_i = \Delta V_{BE}$ , va rezulta o modificare  $\Delta I_B$  a curentului de bază. Cum  $\Delta V_{BE}$  este suficient de mic pentru ca graficul caracteristicii de intrare să se suprapună practic cu tangenta dusă în punctul static de funcționare, putem afirma în consecință că:

*În condiții de semnal mic ( $\Delta V_{BE} \ll V_T$ ) variațiile curentului de bază sunt proporționale cu variațiile tensiunii bază emitor. Factorul de proporționalitate este  $r_{BE}$ , rezistența dinamică a joncțiunii bază emitor.*

Se poate remarca în figura 5.2 că :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta I_B}{\Delta V_{BE}} \quad (5.4)$$

și prin urmare  $r_{BE}$  se poate determina grafic:

$$r_{BE} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (5.5)$$

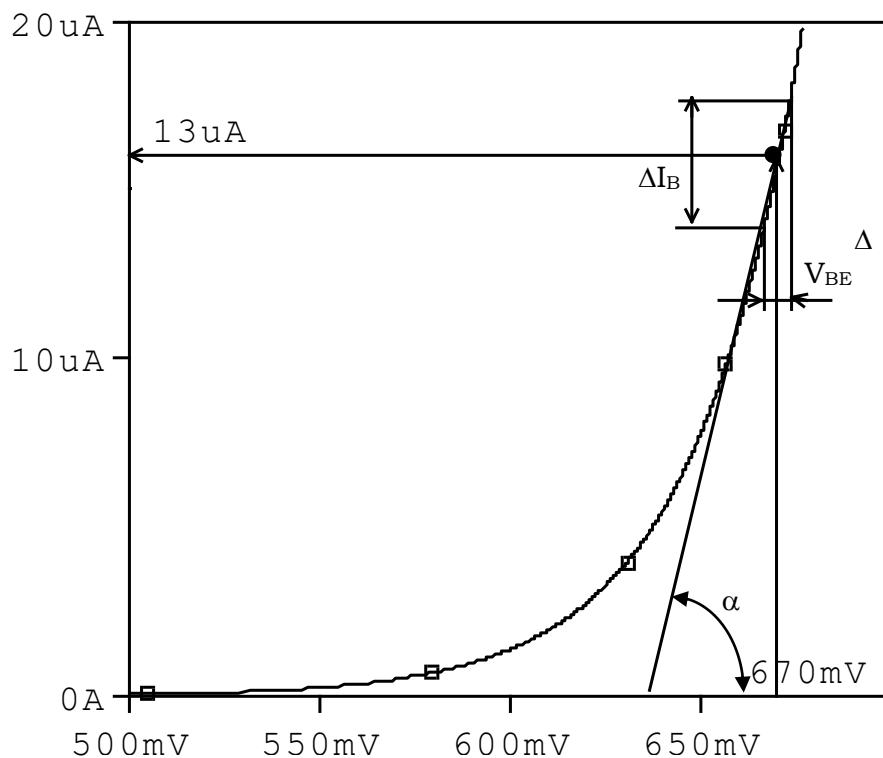


Figura 5.2. Aproximarea caracteristici prin tangenta la curbă pentru variații mici ale tensiunii BE

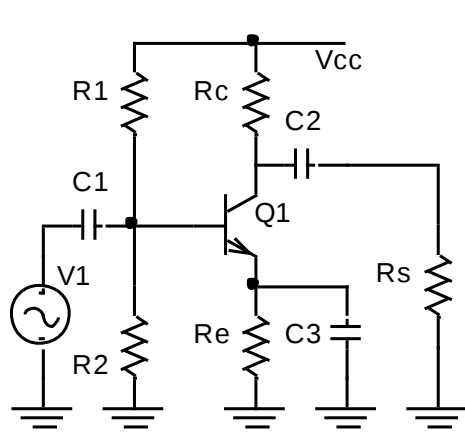
**Amplificator de semnal mic în conexiunea emitor comun**

Figura 5.3 Amplificator în conexiunea EC

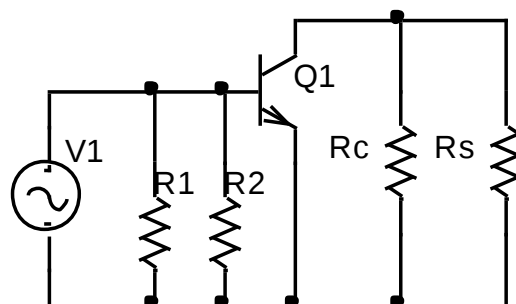


Figura 5.4. Schema echivalentă de curent alternativ

O schemă uzuală de astfel de amplificator este dată în figura 5.3. 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 TB. Condensatorul  $C_2$  are rolul de a cupla rezistența de sarcină fără ca aceasta să afecteze PSF. Condensatorul  $C_3$  pune la masă emitorul TB în curent alternativ, în timp ce în curent continuu lasă în circuit rezistența de polarizare din emitor.

**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 5.4.

Notăm:

$$R_{CECH} = R_C \parallel R_S = \frac{R_C R_S}{R_C + R_S}$$

și vom avea:

$$v_2 = -i_C R_{CECH} = -\beta i_B R_{CECH} = -\beta \frac{v_1}{r_{BE}} R_{CECH}$$

Prin urmare amplificarea de tensiune a montajului va fi:

$$\frac{v_2}{v_1} = a_v = -\beta \frac{R_{CECH}}{r_{BE}} \quad (5.6)$$

Relația (5.6) 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  $\beta$ .

Amplificarea de curent se determină la fel de simplu:

$$i_2 = \frac{R_C}{R_C + R_S} i_C = \frac{R_C}{R_C + R_S} \beta i_B = \frac{R_C}{R_C + R_S} \frac{R_{12}}{r_{BE} + R_{12}} \beta i_1$$

unde prin  $R_{12}$  am notat rezistența echivalentă a  $R_1$  și  $R_2$  puse în paralel. Amplificarea de curent rezultă:

$$\frac{i_2}{i_1} = a_i = \frac{R_C}{R_C + R_S} \frac{R_{12}}{r_{BE} + R_{12}} \beta \quad (5.7)$$

Pentru ca amplificarea de curent să se apropie de valoarea  $\beta$  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 (5.6) și (5.7) 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

$$r_I = \frac{V_1}{i_1} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{BE} \approx r_{BE} \quad (5.8)$$

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  $v_2$ :

$$r_O = \frac{V_2}{i_2} \cong R_C \quad (5.9)$$

În concluzie, ***TB 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 kohmilor).***

#### 4. MODUL DE LUCRU

1. Localizați circuitul care conține tranzistorul Q4 (stânga jos).

##### Punctul static de funcționare

2. Realizați conexiunile din figura 5.5. Reglați PS-1 la 10 V.
3. Din RV3 reglați  $V_{CE}=5V$
4. Măsurăți și treceți în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1. Valorile pentru calcularea PSF

| VBE | VCE | VR14 | VR13 |
|-----|-----|------|------|
|     |     |      |      |

5. Calculați curentul de colector știind că  $R_{14}=4,7k\Omega$   
 $I_C = VR_{14}/R_{14} = \dots\dots\dots$
6. Calculați curentul de bază știind că  $R_{13}=22k\Omega$   
 $I_B = VR_{13}/R_{13} = \dots\dots\dots$
7. Calculați câștigul în curent ( $\beta$ ).  
 $\beta = I_C/I_B = \dots\dots\dots$

##### Amplificarea

8. Conectăm generatorul de semnal la intrare.
9. Ajustăm generatorul la 2kHz semnal sinusoidal.

10. Monitorizăm semnalul de intrare cu canalul 1 al osciloscopului.
11. Monitorizăm tensiunea de colector cu celălalt canal al osciloscopului.
12. Deconectăm generatorul și reglăm din RV3,  $V_{CE}=5V$ . Reconectăm generatorul.
13. Se reglează generatorul pentru a obține un semnal sinusoidal nedistorsionat de  $4V_{V-V}$  în colector. Deci  $V_{out} = \dots\dots\dots V_{V-V}$
14. Măsurăm  $V_{in}$ .  $V_{in} = \dots\dots\dots V_{V-V}$
15. Calculăm amplificarea în tensiune  $A_v = V_{out}/V_{in}$  și trecem în tabelul 5.2.
16. Repetăm punctele 13-15 pentru  $R_L=680\Omega$  și trecem în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Valorile amplificărilor

|                  | $A_v$ | $A_i$ | $A_p$ |
|------------------|-------|-------|-------|
| $R_L=4,7k\Omega$ |       |       |       |
| $R_L=680\Omega$  |       |       |       |

17. Calculăm amplificarea de curent  $A_i$  și trecem în tabel.  
 $A_i = I_{out}/I_{in} = (V_{out}/R_{out}) / (V_{in}/R_{in}) = A_v * R_{in}/R_{out}$   
 Se aproximează  $R_{in} = R_{12} || R_{13}$  (neglijăm rezistența bazei) și  $R_{out} = R_L$ .
18. Calculăm amplificarea de putere  $A_p$  și trecem în tabel.  
 $A_p = A_v * A_i$

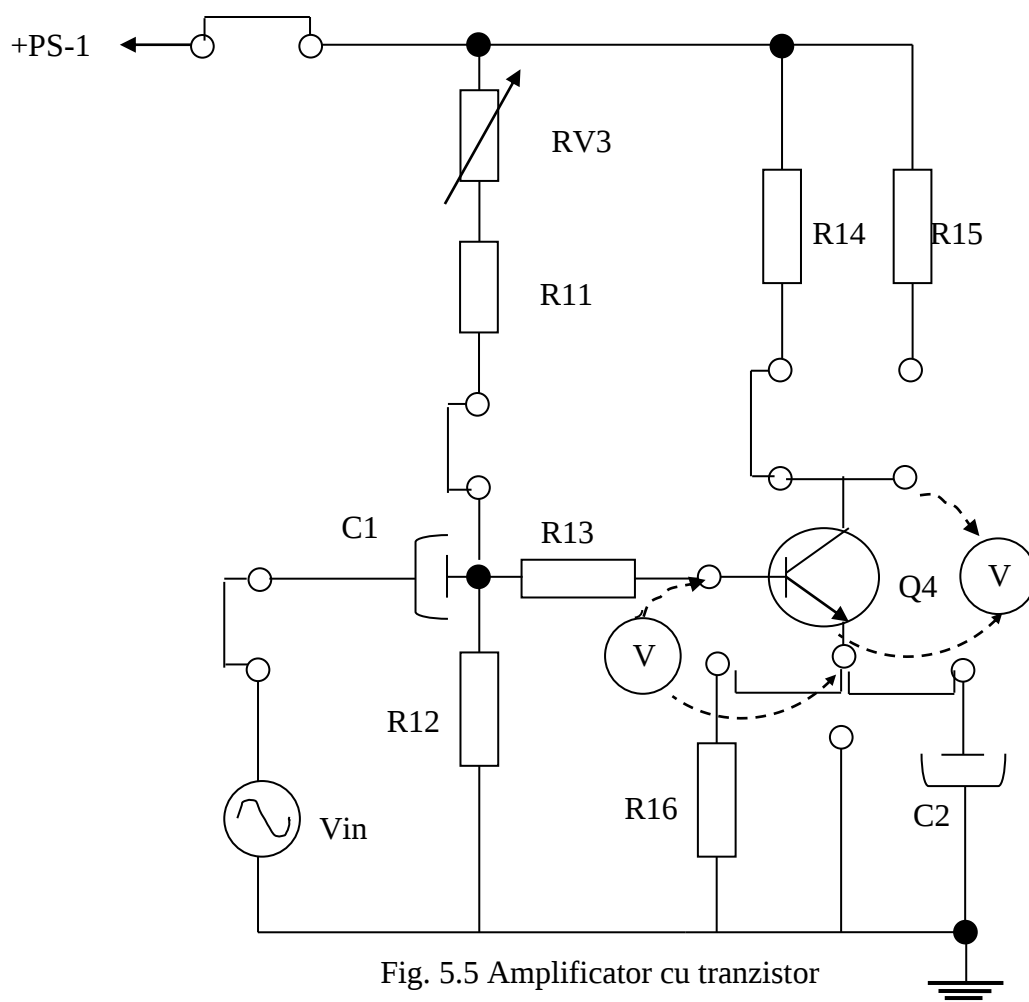


Fig. 5.5 Amplificator cu tranzistor

19. Deconectăm condensatorul de decuplare C2.
20. Ce se întâmplă cu amplificarea de tensiune?
21. Reconectăm C2.
22. Deconectăm generatorul de semnal.
23. Reglăm din RV3,  $V_{CE}=8V$ .

24. Reconectați generatorul de semnal.
25. Explicați motivele pentru care apar distorsiuni.
26. Semnalul de intrare forțează tranzistorul să iasă din regiunea normală? Dacă da în care regiune?
27. Deconectați generatorul de semnal.
28. Reglați RV3 pentru a obține  $V_{CE}=2,5V$ . Dacă reglajul nu este suficient R11 se poate scurtcircuita.
29. Reconectați generatorul de semnal.
30. Explicați motivele distorsiunilor.
31. În ce regiune forțează semnalul de intrare tranzistorul?