

LUCRAREA NR.4

CONEXIUNILE FUNDAMENTALE ALE TRANZISTORULUI BIPOLAR

Scopul lucrării – măsurarea performanțelor amplificatoarelor elementare realizate cu tranzistoare bipolare în cele trei conexiuni fundamentale (bază la masă, emitor la masă, colector la masă), precum și ale amplificatorului cu sarcină distribuită.

1. Montaje fundamentale:

Cele trei scheme fundamentale și amplificatorul cu sarcină distribuită sunt prezentate în figura 4.1, sub forma schemelor de principiu. Pentru fiecare dintre ele se definesc :

- amplificarea de tensiune : $\frac{U_2}{U_1}$ (pentru Z_s dat) ;
- amplificarea de curent : $\frac{I_2}{I_1}$ (pentru Z_s dat) ;
- impedanța de intrare : $\frac{U_1}{I_1}$ (pentru Z_s dat) ;
- impedanța de ieșire : $\frac{U_2}{I_2}$ (pentru R_g dat) și $U_1=0$;

În ceea ce privește comportarea la frecvențe înalte, cele patru montaje sunt caracterizate prin frecvențe-limită de sus de valori diferite (frecvențele la care modulul amplificării de tensiune scade cu 3 dB față de valoarea de la frecvențe medii).

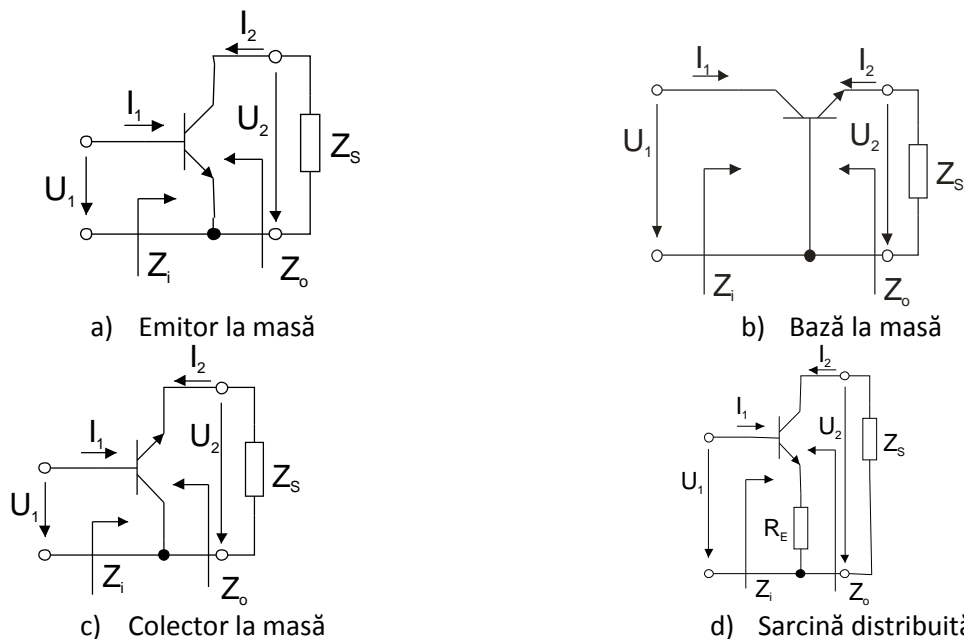


Fig. 4.1 Conexiunile fundamentale ale tranzistorului bipolar (scheme de principiu)

2. Parametrii tranzistorului în regim dinamic

Pentru funcționarea tranzistorului la frecvențe joase, se vor utiliza parametrii hibridi:

$$\begin{cases} U_1 = h_i I_1 + h_o U_2 \\ I_2 = h_f I_1 + h_r U_2 \end{cases} \quad (4.1)$$

Pentru fiecare dintre cele trei conexiuni fundamentale se poate determina câte un set de astfel de parametri ($h_{ij}^{bc}, h_{ij}^{ec}, h_{ij}^{cc}$). Cei mai convenabili parametri hibridi, din punct de vedere practic, sunt cei în conexiune emitor comun (EC); aceștia se vor nota fără indice superior.

3. Mărimile caracteristice amplificatorului cu tranzistor

Pentru cele patru scheme din *figura 4.1*, mărimile caracteristice (mai puțin frecvența limită de sus) se determină teoretic, cunoscând parametrii h ai tranzistorului în punctul static de funcționare.

În relațiile de calcul, date în **tabelul 4.1**:

- Z_s este impedența de sarcină;

- Z_g este impedența generatorului de semnal (nu este reprezentată în *figura 4.1*).

În fiecare caz în parte, sunt trecute și relațiile aproximative de calcul, valabile în ipotezele :

$$\begin{cases} h_o Z_s \ll 1 \\ h_r \ll 1 \\ \Delta h \ll 1 \\ h_f \gg 1 \end{cases} \quad (4.2)$$

Observație: Aceste condiții sunt îndeplinite frecvent în practică (și în circuitul testat).

În tabel s-au folosit notațiile:

$$\begin{aligned} \Delta h &= h_i h_o - h_r h_f \\ N &= h_f + 1 - h_r + \Delta h \end{aligned} \quad (4.3)$$

	EC (Emitor la masă)	BC (Bază la masă)	CM (Colector la masă)	SD (aprox.) (sarcină distribuită)
A_u	$-\frac{h_f Z_s}{h_i + \Delta h \cdot Z_s} \approx -S Z_s$	$\frac{(h_f + \Delta h) Z_s}{h_i + \Delta h \cdot Z_s} \approx S Z_s$	$\frac{(h_f + 1) Z_s}{h_i + (h_f + 1) Z_s} \approx 1$	$-\frac{Z_c}{Z_e}$
A_i	$\frac{h_f}{1 + h_o \cdot Z_s} \approx h_f$	$-\frac{h_f + \Delta h}{N + h_o \cdot Z_s} \approx -1$	$-\frac{h_f + 1}{1 + h_o \cdot Z_s} \approx -h_f$	h_f
Z_i	$\frac{h_i + Z_s \cdot \Delta h}{1 + h_o \cdot Z_s} \approx h_i$	$\frac{h_i + Z_s \cdot \Delta h}{N + h_o \cdot Z_s} \approx \frac{1}{S}$	$\frac{h_i + N \cdot Z_s}{1 + h_o \cdot Z_s} \approx h_i + h_o Z_s$	$h_i + h_f Z_e$
Z_0	$\frac{h_i + R_g}{\Delta h + R_g \cdot h_o}$	$\frac{h_i + N \cdot Z_g}{\Delta h + Z_g \cdot h_o}$	$\frac{h_i + Z_g}{N + Z_g \cdot h_o} \approx \frac{1}{S} + \frac{Z_g}{h_f}$	-

Tabelul 4.1

Pentru determinarea amplificării de tensiune, a amplificării de curent și a impedenței de intrare se folosește schema de măsurare din *figura 4.2*, în care mărimile ce pot fi măsurate direct sunt tensiunile U_1, U_2 și U'_1 .

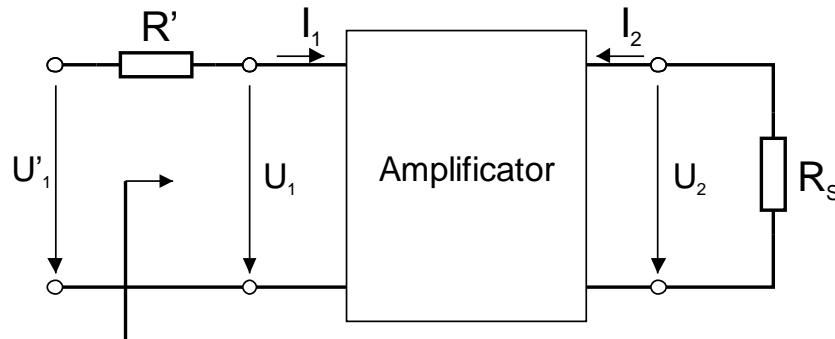


Fig 4.2. Amplificatorul abordat ca un cuadripol

Se deduc ușor relațiile :

$$A_u = \frac{U_2}{U_1} \tag{4.4}$$

$$A_i = \frac{U_2}{U'_1 - U_1} \frac{R'}{R_s} \tag{4.5}$$

$$Z_{int} = \frac{U_1}{U'_1 - U_1} R' \tag{4.6}$$

În privința impedanței de intrare, se observă că, în cazul schemei concrete utilizate (figura 4.4), impedanța de intrare calculată cu relația (4.3) este afectată de prezența circuitului de polarizare, astfel că, pentru montajele emitor la masă (EM), colector la masă (CM) și cu sarcină distribuită (SD), la care intrarea se face pe bază, se obține :

$$Z_{int} = Z_i \parallel R_{b1} \parallel R_{b2} \tag{4.7}$$

iar pentru montajul bază la masă, la care semnalul se aplică pe emitor, se obține:

$$Z_{int} = Z_i \parallel R_e \tag{4.7'}$$

În aceste relații, Z_i este impedanță de intrare definită pentru schema de principiu din figura 4.1 și calculabilă cu relațiile din tabelul 4.1, pentru fiecare schemă în parte.

De asemenea, în tabelul 4.1, prin Z_s se va înțelege combinația, în paralel, a rezistenței de sarcină, R_s , adăugate din exterior și a rezistenței R_c (pentru montajele EM, BM, și SD), respectiv R_{e1} (pentru montajul CM), necesare pentru polarizarea corectă a tranzistorului în curent continuu.

4. Impedanța de ieșire:

Pentru măsurarea impedanței de ieșire se folosește schema de măsură din figura. 4.3, în care R_g este rezistența de ieșire a generatorului de semnal.

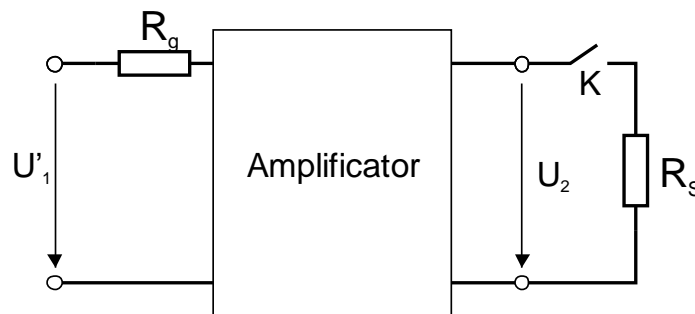


Fig. 4.3 Schema pentru măsurarea impedanței de ieșire

Se deduce relația:

$$Z_{ies} = R_s \left(\frac{A_{\infty}}{A} - 1 \right) = R_s \left(\frac{U_{2\infty}}{U_2} - 1 \right) \quad (4.8)$$

Unde:

- $U_{2\infty}$ este tensiunea de ieșire în gol ($R_s \rightarrow \infty$);
- U_2 este aceeași tensiune de ieșire, măsurată cu rezistența de sarcină R_s (ambele pentru aceeași tensiune de intrare U_1').

De remarcat este faptul că impedanța de ieșire măsurată (Z_{ies}) este dată de impedanța de ieșire definită pentru schema de principiu (Z_0), în paralel cu rezistența R_c (pentru montajele EM, BM și SD):

$$Z_{ies} = Z_0 \parallel R_c \quad (4.9)$$

respectiv cu rezistența R_{e1} (pentru montajul CM) :

$$Z_{ies} = Z_0 \parallel R_{e1} \quad (4.9')$$

5. Frecvența de tăiere superioară

Frecvența de tăiere superioară (frecvența limită de sus) se determină cu circuitul din *figura 4.2*, cu $R' = 0$ și fără rezistență de sarcină din exterior. Frecvența limită de sus se deduce din relația :

$$U_2(f_{\max}) = \frac{U_{20}}{\sqrt{2}} \quad (4.10)$$

unde U_{20} este valoarea tensiunii de ieșire în bandă (la 10kHz), la aceeași amplitudine a semnalului de intrare.

DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

Se identifică montajul din figura 4.4, în care se folosește un tranzistor de tipul **BC547C**.

Se alimentează montajul cu $E_C = 19\text{ V}$ (la borna 2 față de masă – borna 1), se măsoară (direct pe pinii tranzistorului), cu un voltmetru de curent continuu, tensiunile din punctul static de funcționare și apoi se determină curentul prin tranzistor.

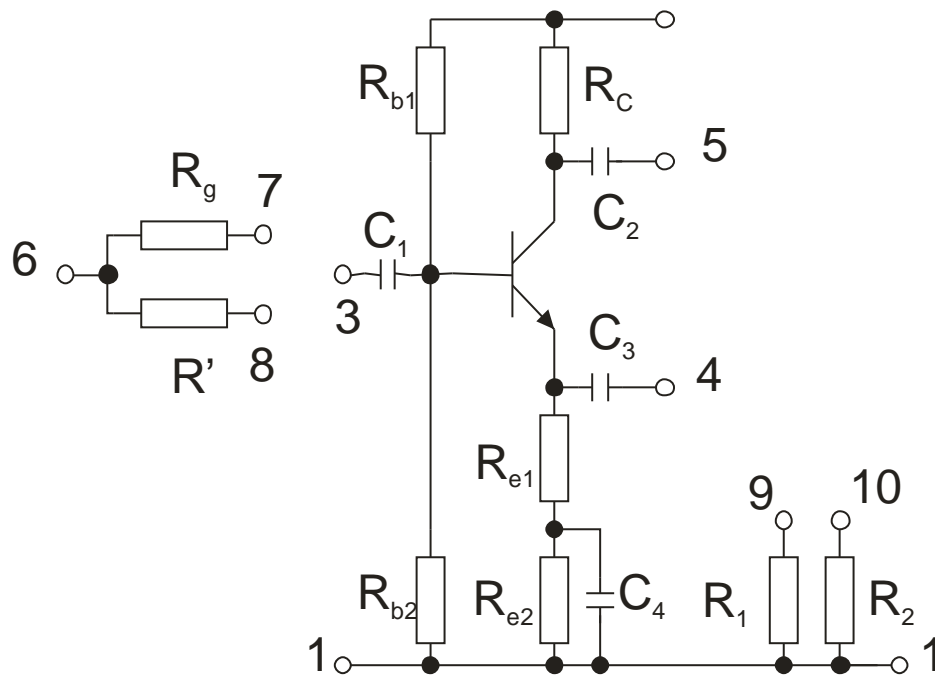


Fig. 4.4 Montajul de laborator

Întrucât se obțin $I_C = 2\text{ mA}$ și $U_{CE} = 5\text{ V}$, pentru verificarea rezultatelor experimentale, se vor lua parametrii h din catalog, adică:

Parametrul h	Grupa A			Grupa B			Grupa C			Unitate
	Min	Tipic	Max	Min	Tipic	Max	Min	Tipic	Max	
h_i	1,6	2,7	4,5	3,2	4,5	8,5	6	8,7	15	$k\Omega$
h_r		1,5			2			3		$\times 10^{-4}$
h_f	125	190	260	240	330	500	450	580	900	
h_o		18	30		30	60		60	110	μS

1. Se realizează, pe rând, cele patru scheme de amplificatoare elementare (figura 4.1. - EM, BM, CM, și SD) folosind, în mod convenabil, condensatoarele C_1 , C_2 și C_3 .

Pentru figura 4.1a (conexiunea emitor la masă), sursa de tensiune variabilă se leagă prin condensatorul C_1 , cu plusul la borna 6, iar cu minusul la masă (borna 1); se conectează bornele 7 și 3. Colectorul tranzistorului (borna 5) se leagă la rezistența de $10k\Omega$ (specificată pe plăcuța de lucru); în paralel cu aceasta se montează un voltmetru numeric, conectat pentru măsurarea tensiunilor alternative. Ca alternativă, se poate folosi un milivoltmetru de c.a. Emitorul se conectează la masă prin condensatorul C_3 (borna 4 la borna 1).

Pentru *figura 4.1b* (bază la masă), sursa de semnal variabil se leagă prin condensatorul C_3 , cu plusul la borna 6 și cu minusul la masă (borna 1); se conectează bornele 8 și 4. Colectorul (borna 5) se leagă la rezistența de $10k\Omega$ în paralel cu un voltmetru numeric. Baza se conectează prin condensatorul C_1 la masă.

Pentru *figura 4.1c* (colector la masă, repetor pe emitor), sursa de semnal variabil se leagă prin condensatorul C_1 , cu plusul la borna 6, iar cu minusul la masă (borna 1); se conectează bornele 7 și 3. Emitorul tranzistorului (borna 4) se leagă la rezistența de $1k\Omega$ (specificată pe plăcuța de lucru); în serie cu aceasta se introduce un ampermetru, iar în paralel cu ea un voltmetru numeric. Colectorul se conectează prin condensatorul C_2 la masă.

Pentru *figura 4.1d*, se realizează un circuit similar cu cel pentru primul caz tratat (EM), introducând rezistența R_e între emitor și masă.

Amplificarea de tensiune, amplificarea de curent și impedanța de intrare se vor determina utilizând schema din *figura 4.2*.

Impedanța de ieșire se determină folosind schema din *figura 4.3*.

Rezultatele se vor trece în **tabelul 4.2**, în care sunt precizate și nivelurile de tensiune ce se aplică la intrarea fiecărui amplificator. În același tabel, se vor trece și rezultatele măsurării frecvenței limită de sus cu schema din *figura 4.3*. Frecvența limită de sus se va măsura folosind etalonarea în dB a milivolmetrului de curent alternativ utilizat în lucrare.

2. Se calculează A_u , A_i și Z_i pentru valorile rezistenței de sarcină specificate în **tabelul 4.2** precum și Z_o impedanța de ieșire, pentru $R_g = 1 k\Omega$, cu relațiile din **tabelul 4.1**; se calculează Z_{int} și Z_{ies} cu relațiile **(4.7)** și **(4.7')**, respectiv **(4.9)** și **(4.9')** și se completează **tabelul 4.2**.

Cerințe:

Referatul va conține:

- schemele de măsurare și relațiile de calcul pentru amplificările de tensiune și de curent și pentru impedanțele de intrare și de ieșire;
- schema de măsurare a frecvenței limită de sus;
- tabelul 4.2 cu rezultatele măsurărilor;
- valorile calculate pentru A_u , A_i , Z_i , Z_o , Z_{int} și Z_{ies} cu relațiile din tabelul 4.1 și cu celelalte relații de calcul date;
- comentarea eficienței formulelor aproximative pentru amplificările de tensiune și de curent și pentru impedanța de intrare.

			EM	BM	CM	SD
$A_u = \frac{U_2}{U_1}$ $A_i = \frac{U_2}{U_1'} \frac{R'}{R_s}$ $Z_{int} = \frac{U_1}{U_1' - U_1} R'$	R'	kΩ	56	1	56	56
	R _s	kΩ	10	10	1	10
	U ₁	mV	5	5	200	100
	U ₁ '	mV				
	U ₂	mV				
	A _u	-				
	A _i	-				
	Z _{int}	kΩ				
$Z_{ies} = R_s \left(\frac{A_\infty}{A} - 1 \right)$	R _g	kΩ	1	1	1	1
	R _s	kΩ	10	10	1	10
	U _s	mV	5	2000	200	100
	U ₂	mV				
	U _{2∞}	mV				
	Z _{ies}	kΩ				
$U_2(f_{max}) = \frac{U_{20}}{\sqrt{2}}$ $U_{20} = U_2(10 \text{ kHz})$	U ₂₀	dB	0	0	-10	0
	U ₂	dB	-3	-3	-13	-3
	f _{max}	kHz				
Se folosesc relațiile din tabelul 3.1 și celelalte formule din lucrare	A _u	-				
	A _i	-				
	Z _i	kHz				
	Z ₀	kHz				
	Z _{int}	kHz				
	Z _{ies}	kHz				

Tabelul 4.2

Datasheet-ul tranzistorului utilizat:

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/BC547B.pdf>