

L2. REGIMUL DINAMIC AL TRANZISTORULUI BIPOLAR

Se studiază regimul dinamic, la semnale mici, al tranzistorului bipolar la o frecvență joasă, fixă. Se determină principalii parametri ai circuitului echivalent natural și se demonstrează dependența lor de punctul static de funcționare. Se utilizează acești parametri pentru calculul unui etaj de amplificare.

1. Considerații teoretice

A. Modelul de regim dinamic liniar

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

$$V_{b'e} \leq 2,6 \text{ mV la } T_0=300 \text{ K} . \quad (1)$$

În aceste condiții tranzistorul poate fi înlocuit în curent alternativ, la frecvențe joase, prin circuitul echivalent natural de semnal mic prezentat în fig.1.

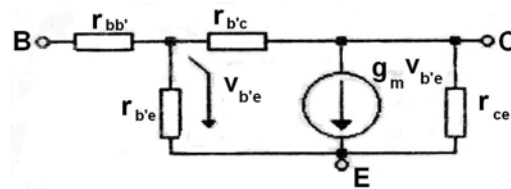


Fig.1.

Elementele circuitului natural depind de punctul static de funcționare al tranzistorului. La tranzistoarele din siliciu, pentru un curent de colector de ordinul miliamperilor panta tranzistorului g_m are valori de zeci de sute de mA / V, iar ordinul de mărime al rezistențelor este $r_{bb'}$ – zeci de Ω , $r_{b'e}$ – k Ω , $r_{b'c}$ – M Ω , r_{ce} – zeci de k Ω . Efectul rezistenței $r_{b'c}$ este neglijabil în majoritatea aplicațiilor.

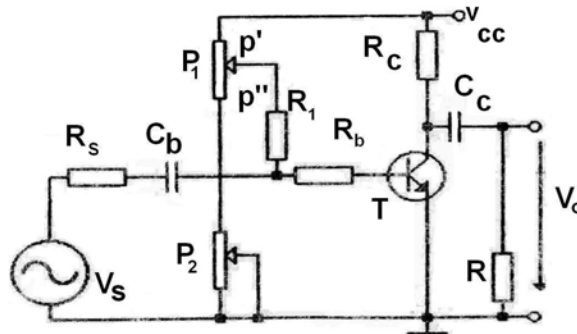


Fig.2.

În continuare vom expune procedeele de determinare ale elementelor circuitului natural. În acest scop se folosește etajul cu tranzistorul în conexiunea emitor comun (EC) – fig.2.

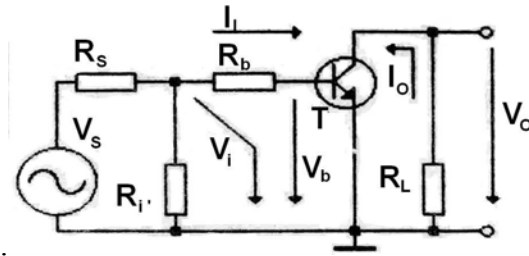


Fig.3.

$$R_i' = R_2 + p' \parallel (p'' + p_2)$$

$$R_L = R_C \parallel R$$

Schema de curent alternativ a etajului este reprezentată în fig. 3. La intrare se aplică un semnal sinusoidal de joasă frecvență de la sursa V_s , cu rezistența internă R_s . Circuitul fiind liniar toate mărimile de curent alternativ vor fi sinusoidale. În formulele de calcul se vor folosi valorile efective ale mărimilor de curent alternativ.

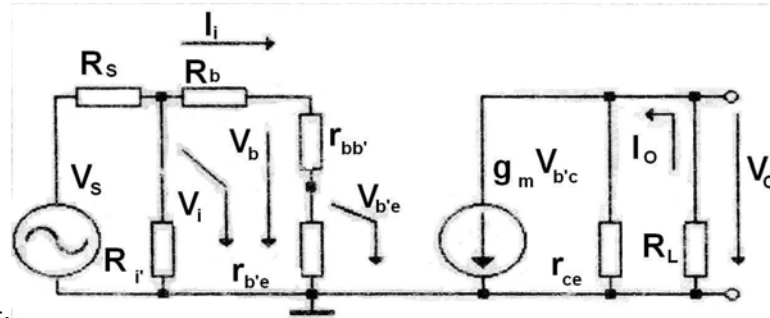


Fig.4.

Înlocuind tranzistorul prin circuitul său echivalent natural se obține schema din fig.4. Pe această schemă se pot calcula modulul mărimilor.

- amplificarea în tensiune.

$$A_V = \frac{V_o}{V_i} ; A_V = \frac{B_o R_L}{(r_{bb'} + r_{b'e})(1 + R_L / r_{ce})} \quad (2)$$

- amplificarea în curent.

$$A_I = \frac{I_o}{I_i} ; A_I = \frac{B_o}{1 + R_L / r_{ce}} \quad (3)$$

- rezistența de intrare

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} ; R_i = r_{bb'} + r_{b'e} \quad (4)$$

, unde $B_o = r_{b'e} * g_m$ (5) este câștigul în curent al tranzistorului în regim dinamic, la frecvențe joase. V_i , V_o , I_i , I_o sunt valori efective.

Dacă rezistența de sarcină R_L este mult mai mică decât r_{ce} și dacă se are în vedere că $r_{bb'} \ll r_{b'e}$ din relațiile (2-5) rezultă:

$$g_m = \frac{A_v}{I_I} \Big|_{R_L \ll r_{ce}} \quad \text{sau} \quad g_m = \frac{V_o}{R_L \cdot V_I} \Big|_{R_L \ll r_{ce}} \quad (6)$$

$$B_o = A_I \Big|_{R_L \ll r_{ce}} \quad \text{sau} \quad B_o = \frac{V_o / R_L}{(V_I - V_b) / R_b} \Big|_{R_L \ll r_{ce}} \quad (7)$$

$$r_{b'e} \approx R_I \quad \text{sau} \quad r_{b'e} = \frac{V_b}{(V_I - V_b)} * R_b \quad (8)$$

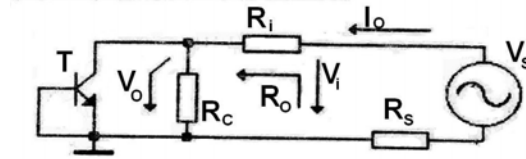


Fig.5.

Pentru măsurarea rezistenței r_{ce} se folosește tot etajul din fig.2. Semnalul sinusoidal se aplică la ieșire prin intermediul rezistenței R_i iar intrarea se leagă în curent alternativ la masă – fig.5.

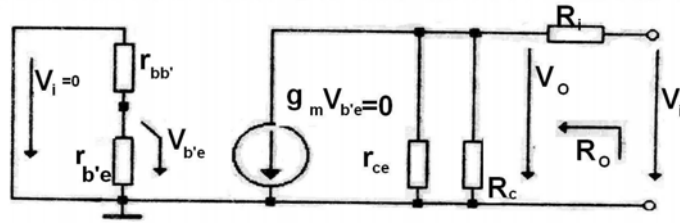


Fig.6.

Înlocuind tranzistorul cu circuitul natural de semnal mic se obține schema din fig.6 din care se deduce:

$$\frac{1}{r_{ce}} = \frac{1}{R_o} - \frac{1}{R_c} \quad (9)$$

unde:

$$R_o = \frac{V_o}{I_o} \Big|_{V_b = 0} \quad \text{sau} \quad R_o = \frac{V_o}{(V_I - V_o) / R_I} \quad (10)$$

B. Comportarea tranzistorului in regim neliniar

Funcționarea dinamică a tranzistorului devine neliniară dacă se depășesc limitele regiunii active normale ale caracteristicilor, intrându-se in regiunea de saturație sau în regiunea de tăiere (fig.7.). Semnalul de ieșire va fi distorsionat.

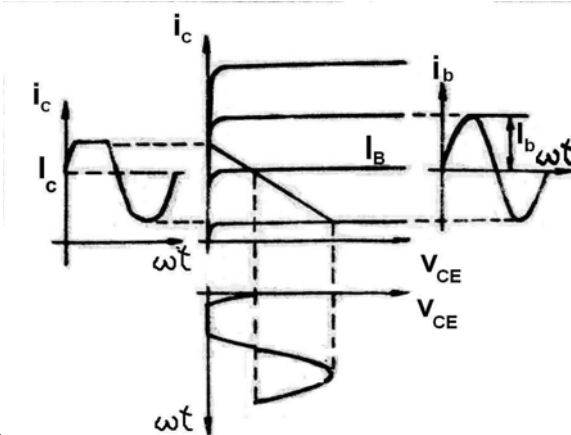


Fig.7.

La limita intrării în saturație:

$$V_{omax} = V_{CE} \quad (11)$$

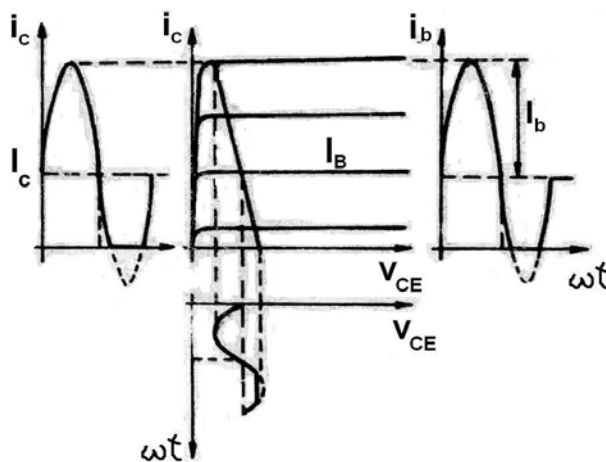


Fig.8.

La limita intrării în blocare:

$I_O = I_C$ ($V_{omax} = R_L * I_C$)
 , unde V_O și I_O sunt amplitudinile tensiunii și curentului de ieșire (componente alternative).

2.Mod de lucru

Fig. 9. prezintă montajul experimental. Tehnica de polarizare permite modificarea punctului static de funcționare precum și măsurarea precisă a curentului de intrare.

Alimentarea în curent continuu se face prin bornele 14 (+V_{CC}) și 15 (masa). Semnalul sinusoidal, de frecvență fixă (10 kHz), se aplică la bornele 4 (polul cald) și 5 (masa). S-a ales frecvența de 10 kHz pentru a minimiza influența condensatoarelor de cuplaj.

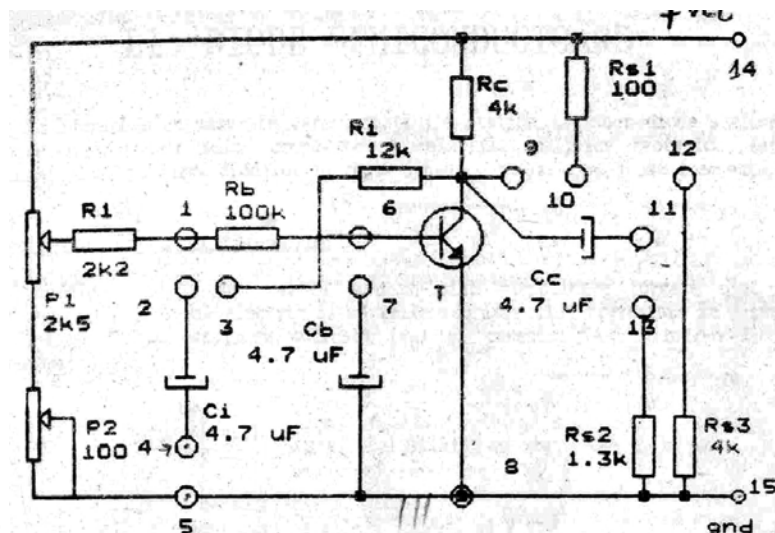


Fig.9.

Aparate necesare:

- sursă de tensiune continuă reglabilă 0 – 24 V ;
- sursă de semnal sinusoidal, reglabile ;
- multimetru electronic ;
- osciloscop.

3.Desfășurarea lucrării

A. Determinarea parametrilor: B_F , B_0 , g_m , $r_{b'e}$

1. Se realizează configurația de circuit din fig. 10. si se fixează punctul static de funcționare (PSF) al tranzistorului la primul set de valori indicate în tabelul 1.

$I_C = 1 \text{ mA}$ si $V_{CE} = 4 \text{ V}$ ($V_{CC} = 8 \text{ V}$)

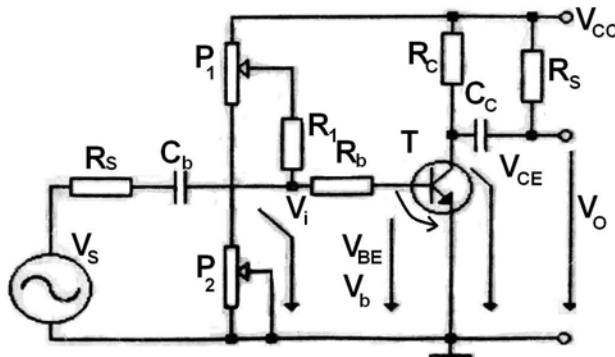


Fig. 10.

Reglarea PSF se obține din potențiometrul sursei de tensiune continuă (pentru V_{CC}) și din potențiometrele P_1 , P_2 (pentru V_{CE}). Se măsoară potențialele continue V_{BB} și V_{BE} ; valorile se trec în tabelul 1.

2. La intrarea circuitului se aplică un semnal sinusoidal de 10 khz cu amplitudinea astfel încât $V_b = 2 \text{ mV}$. Se măsoară potențialele alternative V_i (zeci, sute de mV) și V_o (zeci de mV) și se trec în tabelul 1.

3. Se determină:

-factorul de amplificare în current continuu:

$$B_F = \frac{I_C}{I_B}, \quad B_F = \frac{R_b \cdot I_C}{V_{BB} - V_{BE}} \quad (13)$$

-factorul de amplificare dinamic cu relația (7) în care se înlocuiește $R_b=100 \text{ k}\Omega$ și $R_L=100 \text{ }\Omega$:

$$B_O = 1000 * \frac{V_O}{V_I - V_b} \quad (14)$$

-panta de semnal mic cu relația (6), știind $R_L=100 \text{ }\Omega$:

$$g_m = 10 * \frac{V_O}{V_I} \quad (\text{mA/V}) \quad (15)$$

-rezistența de intrare cu relația (8), știind $R_b=100 \text{ k}\Omega$:

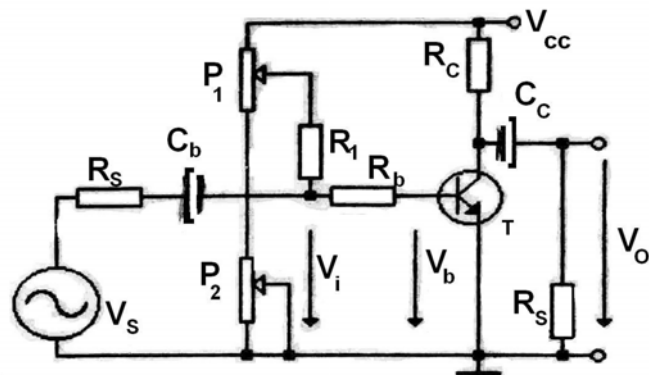
$$R_I = 100 * \frac{V_b}{V_I - V_b} \quad (16)$$

Valorile obținute se trec în tabelul 1.

4. Se reiau măsurătorile de la punctele 1-3 pentru celelalte valori ale PSF din tabelul 1 (pentru ultimele trei valori rezistența R_L va fi cuplată direct în curent continuu în colectorul tranzistorului).

Tabelul 1.

V _{CC} (v)	V _{CE} (V)	I _C (mA)	V _{BB} (mV)	V _{BE} (mV)	V _i (mV)	V _o (mV)	B _F	B ₀	g _m (mA/V)	r _{b'e} (k Ω)
8	4	1								
12	4	2								
16	4	3								
20	4	4								
20	12	2								
4,6	4	6								
4,8	4	8								
5	4	10								



Fig,11

B. Determinarea rezistenței de ieșire a tranzistorului r_{ce}

5. Se va realiza circuitul din fig. 11. Se fixează PSF la valorile $I_c = 1 \text{ mA}$, $V_{CE} = 4 \text{ V}$ ($V_{CC} = 8 \text{ V}$). Se aplică un semnal sinusoidal de 10 khz cu amplitudinea V_s reglată astfel încât $V_o = 0,5 \text{ V}$. Se măsoară V_i (cu valori mai mari de 2 V); valorile se trec în tabelul 2.

Tabelul 2.

$V_{CC} \text{ (V)}$	4	8	12	16	20
$I_c \text{ (mA)}$	1	2	3	4	2
$V_{CE} \text{ (V)}$	4	4	4	4	12
$V_i \text{ (V)}$					
$r_{ce} \text{ (k}\Omega\text{)}$					

6. Se determină rezistența r_{ce} :

$$r_{ce} = \frac{12}{V_i / V_o - 4} ,$$

conform relațiilor (9) – (10) și $R_i = 12 \text{ k}\Omega$, $R_c = 4 \text{ k}\Omega$. Valorile se trec în tabelul 2.

7. Măsurătorile și determinările de la punctul 5 și 6 se repetă pentru toate seturile de valori ale PSF indicate în tabelul 2.

C. Amplificatorul cu tranzistorul în montaj EC.

8. Se realizează montajul din figura 12. se fixează PSF la valorile $I_c = 1 \text{ mA}$, $V_{CE} = 4 \text{ V}$. La ieșire se alege $R_{S2} = 1,3 \text{ k}\Omega$ astfel încât rezistența de sarcină să fie de $1 \text{ k}\Omega$ ($R_c \parallel R_{S2}$).

9. Se aplică la intrare un semnal sinusoidal de 10 khz cu amplitudinea reglată astfel încât $V_b = 2 \text{ mV}$. Se măsoară V_i (zeci, sute de mV) și V_o (sute de mV); valorile se trec în tabelul 3.

10. Se reiau măsurătorile pentru rezistența de sarcină de $2 \text{ k}\Omega$ ($R_c \parallel R_3$) precum și $4 \text{ k}\Omega$ (numai R_c).

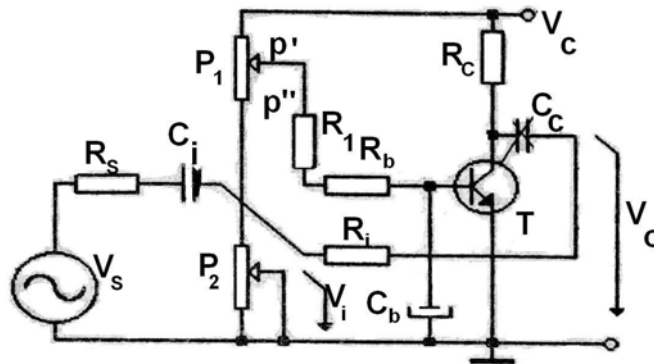


Fig.12

11. Se determină :

-amplificarea de tensiune:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

-amplificarea de curent:

$$A_i = \frac{R_b * V_o}{R_L * (V_i - V_b)}$$

-rezistența de intrare cu relația (16).

Valorile se trec in tabelul 3.

PSF	EXPERIMENTAL						CALCULAT		
	RL (kΩ)	V _i (mV)	V _o (mV)	A _v	A _i	R _i (kΩ)	A _v	A _i	R _i (kΩ)
Ic=1mA VCE=4V	1								
	2								
	4								
Ic=2mA VCE=4V	1								
	2								
	4								
Ic=4mA VCE=4V	1								
	2								
	4								

12. Măsurătorile de la punctele 8-11 se reiau si pentru celelalte valori ale PSF din tabelul 3.

D. Comportarea neliniară a tranzistorului

13. Se folosește montajul din fig. 12 alimentat la Vcc= 20 V; PSF cu V_{CE}=8V. Se vor vizualiza cu osciloscopul formele de undă de la intrarea și ieșirea montajului pentru o frecvență de 10 khz.

14. Se studiază pe osciloscop efectul măririi semnalului de intrare pentru două valori ale rezistenței de sarcină: R_L=4 kΩ (numai Rc) si R_L=1 kΩ (Rc || R_{S2}).

Pentru R_L=4 kΩ limitarea apare prin intrarea tranzistorului în saturație (fig. 7) – limitare inferioara.

Pentru R_L=1 kΩ limitarea apare prin intrarea tranzistorului în zona de blocare (fig.8) – limitare superioara.

Se vor desena formele de undă in ambele cazuri.

15. Se măsoară valorile tensiunii V_o la care apare limitarea în cele două cazuri și se trec în tabelul 4.

Tabelul 4.

Tip limitare	Vo (V)	
	mas.	calc.
blocare		
saturare		

4. Prelucrarea datelor experimentale

1. Se va reprezenta pe baza datelor din tabelul 1, variația în funcție de curentul I_c (pentru $V_{CE} = 4 \text{ V}$) a mărimilor B_F și B_o pe un grafic și respectiv a rezistențelor $r_{b'e}$ și g_m pe alt grafic.

2. Se va comenta diferența dintre valorile factorului de amplificare în curent continuu B_F și factorul de amplificare dinamic B_o .

3. În tabelul 5 se vor compara valorile experimentale ale pantei tranzistorului (din tabelul 1) cu cele calculate cu relația $g_m = 40 I_c$.

Tabelul 5.

Ic (mA)		1	2	4	8	10
g_m (mA/V)	mas.					
	calc.					

4. Se va reprezenta pe baza datelor din tabelul 2 variația rezistenței r_{ce} în funcție de I_c (pentru $V_{CE} = 4 \text{ V}$).

5. Cu formulele (2) – (4) se vor calcula A_V , A_i și R_i . Se vor folosi valorile mărimilor B_o , $r_{b'e}$ și r_{ce} din tabelul 1 și 2 (cu $r_{bb'} = 0$). Valorile se trec în tabelul 3 și se compară cu cele experimentale.