

Cap.4. Amplificatoare elementare cu tranzistoare

5. Influența circuitelor de polarizare asupra performanțelor amplificatoarelor elementare cu TBIP

Comparație între cele trei amplificatoare fundamentale:

- amplificarea de tensiune:
 - negativă și mare în valoare absolută pentru EM;
 - pozitivă și mare pentru BM;
 - unitară(foarte aproape de 1, <1) pentru CM;
- amplificarea de curent:
 - mare pentru EM;
 - practic egală cu -1 pentru BM;
 - mare pentru CM;
- impedanța de intrare:
 - medie pentru EM;
 - foarte mică pentru BM;
 - foarte mare pentru CM;
- impedanța de ieșire:
 - mare pentru EM;
 - foarte mare pentru BM;
 - foarte mică pentru CM;
- amplificarea de putere (sarcină rezistivă);
 - foarte mare pentru EM;
 - mare pentru BM;
 - mare pentru CM;

Observație: tranzistorul este capabil de amplificare de putere în oricare dintre cele trei conexiuni fundamentale

Conexiune	EM	BM	CM
amplificare de tensiune	mare negativă	mare pozitivă	1
amplificare de curent	mare	-1	mare
impedanță de intrare	medie	foarte mică	foarte mare
impedanță de ieșire	mare	foarte mare	foarte mică
amplificare de putere	foarte mare	mare	mare

* performanțele calitative și cantitative ale celor trei amplificatoare fundamentale permit aprecierea rapidă a performanțelor unei scheme mai complicate și pot fi alese cele mai potrivite scheme pentru realizarea unei funcții de prelucrare analogică date.

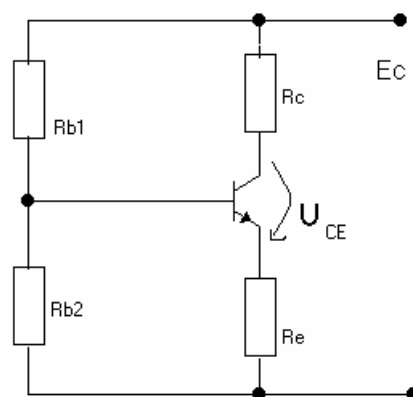
* toate aceste performanțe sunt afectate, mai mult sau mai puțin, de circuitele de polarizare ale tranzistorului. Aceste circuite, mai simple sau mai complicate, sunt necesare pentru precizarea PSF în jurul căruia variază semnalele variabile. Mai mult, coordonatele PSF influențează parametrii de regim dinamic ai tranzistorului și, deci, performanțele dinamice ale amplificatorului. Din acest motiv, întotdeauna trebuie alese acele circuite de polarizare care să asigure o stabilitate cât mai bună a PSF în condițiile reale de funcționare (dispersii ale parametrilor, variația temperaturii, variația tensiunilor de alimentare, îmbătrânirea componentelor, variația sarcinii).

* PSF trebuie astfel alese încât să asigure evoluția semnalului variabil în limitele necesare fără ca elementele active să intre în regiunile profund neliniare (saturație sau blocare).

* în general, condițiile de proiectare a circuitelor de polarizare vin în contradicție cu condițiile de obținere a unor performanțe maxime ale amplificatorului.

* pentru a pune în evidență și sub formă numerică deosebiriile dintre cele trei amplificatoare elementare și pentru a vedea influența circuitelor de polarizare, se va considera o schemă de polarizare clasică (cu patru rezistențe) a unui tranzistor pentru precizarea PSF și apoi schema respectivă va fi conectată pe rând în fiecare din cele trei conexiuni fundamentale, în regim dinamic.

* se vor calcula parametrii circuitului atât pentru schema de principiu cât și pentru amplificatorul complet, cu circuitele de polarizare.



* tranzistorul va fi caracterizat prin următorii parametri:

- pentru regimul static: $\beta_0 \rightarrow \infty$ (aceasta permite neglijarea curentului de bază în raport cu alți curenți), $V_{BE} = 0,6 V$ (considerat constant), ceilalți parametri fiind neglijăți;

- pentru regimul dinamic: $h_f = 100$, $S = 40I_C$ (relație care permite determinarea parametrului h_i cu relația $h_i = h_f/S$), $h_r = 0$ și $h_0 = 0$ (se neglijează acești parametri pentru a putea folosi relațiile simplificate, suficient pentru evidențierea aspectelor urmărite). Generatorul de semnal, de rezistență internă $R_g = 1k\Omega$, se cuplează capacitiv pentru a nu influența PSF iar sarcina este constituită dintr-o rezistență $R_s = 3k\Omega$, de asemenea cuplată capacitiv.

- elementele de circuit au valorile: $R_{b1} = 30k\Omega$, $R_{b2} = 10k\Omega$, $R_e = 1,2k\Omega$, $R_c = 3k\Omega$ iar $E_c = 12V$.

- determinarea coordonatelor PSF se face calculând, mai întâi, tensiunea bazei față de masă, prin neglijarea curentului de bază:

$$V_B = \frac{R_{b2}}{R_{b1} + R_{b2}} E_c = 3V$$

Tensiunea emitorului față de masă va fi:

$$V_E = V_B - V_{BE} = 2,4V$$

iar curentul de emitor (practic egal cu curentul de colector):

$$I_C \cong I_E = 2mA.$$

Tensiunea colector – emitor este:

$$V_{CE} = E_c - R_C I_C - R_E I_E = 3,6V. \text{ (tranzistorul este în RAN)}$$

Se calculează parametrul h_i al tranzistorului:

$$h_i = \frac{h_f}{S} = \frac{h_f}{40I_C} = \frac{100}{40 \cdot 2} = 1,25k\Omega$$

a) Amplificator cu emitorul la masă

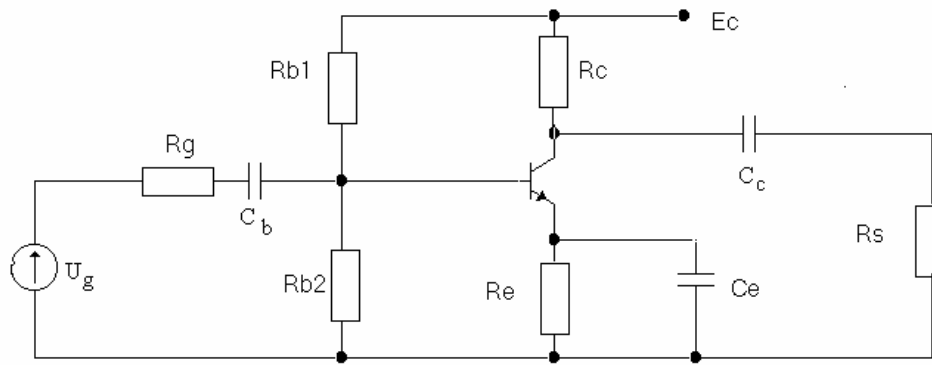
- se scurtcircuitază emitorul la masă în regim dinamic printr-o capacitate de decuplare C_e ;

- sursa de semnal se cuplează prin capacitatea de cuplare C_b ;

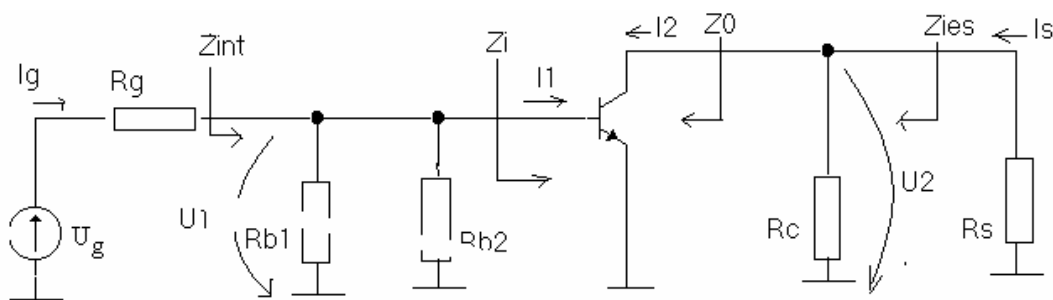
- sarcina se cuplează printr-o capacitate de cuplare, C_c ;

- toate capacitățile au reactanța foarte mică în comparație cu rezistențele echivalente la borne.

- se obține schema electrică a unui amplificator cu emitorul la masă.



* schema echivalentă pentru regim dinamic (reguli):



- Z_i și Z_0 sunt impedanțele de intrare, respectiv de ieșire din schema de principiu;
- Z_{int} este impedanța de intrare în amplificator (adică ceea ce vede sursa de semnal spre amplificator);
- Z_{ies} este impedanța pe care o oferă amplificatorul sarcinii (adică ceea ce vede sarcina spre amplificator).
- aceste două impedanțe sunt afectate de elementele circuitelor de polarizare.

Se calculează următoarele mărimi:

- **amplificarea de tensiune A_u :**

$$A_u = - \frac{h_f}{h_i} Z_s = - \frac{h_f}{h_i} R_s \parallel R_c = - 120$$

- Z_s este impedanța totală văzută în colectorul tranzistorului;
- amplificarea obținută este negativă și de valoare mare;
- rezistența R_c necesară numai pentru polarizarea corectă a colectorului reduce amplificarea de tensiune la jumătate în comparație cu valoarea pe care ar fi avut-o dacă amplificatorul ar fi lucrat numai pe sarcina explicită, R_s .

- **amplificarea de curent, A_i :**

$$A_i = h_f = 100.$$

- **impedanța de intrare, Z_i :**

$$Z_i = h_i = 1,25k\Omega.$$

- **impedanța de ieșire, $Z_0 \rightarrow \infty$.**

- **impedanța de intrare în amplificator, Z_{int} :**

$$Z_{int} = R_{b1} \parallel R_{b2} \parallel Z_i = 1,07k\Omega.$$

(efectul rezistențelor de polarizare nu este prea important).

- **amplificarea globală de curent:**

$$A_{ig} = \frac{I_s}{I_g} = \frac{I_s}{I_2} \frac{I_2}{I_1} \frac{I_1}{I_g} = \frac{R_c}{R_c + R_s} A_i \frac{R_{b1} \parallel R_{b2}}{R_{b1} \parallel R_{b2} + Z_i} = 42,8.$$

- efectul rezistenței de colector

- **amplificarea globală de tensiune:**

$$A_{ug} = \frac{U_2}{U_g} = \frac{U_2}{U_1} \frac{U_1}{U_g} = A_u \frac{Z_{int}}{Z_{int} + Z_g} = 62.$$

(amplificarea de tensiune realizată de circuit este circa 25% din ceea ce poate realiza tranzistorul pe sarcina de $3k\Omega$).

- **impedanța de ieșire a amplificatorului:**

$$Z_{ies} = Z_0 \parallel R_c = R_c = 2k\Omega.$$

- efectul rezistenței de colector

- **amplificarea de putere, A_p , pentru: $R_s \rightarrow R_s \parallel R_c$:**

$$A_p = |A_u| \times |A_i| = 120 \times 100 = 12000.$$

- în absența rezistenței de polarizare, R_c , amplificarea de putere maximă ce ar fi putut fi realizată cu acest montaj este de 24000;

- **amplificarea totală de putere** - definită ca raportul dintre puterea dată în sarcina R_s și puterea cedată de sursa de semnal va fi:

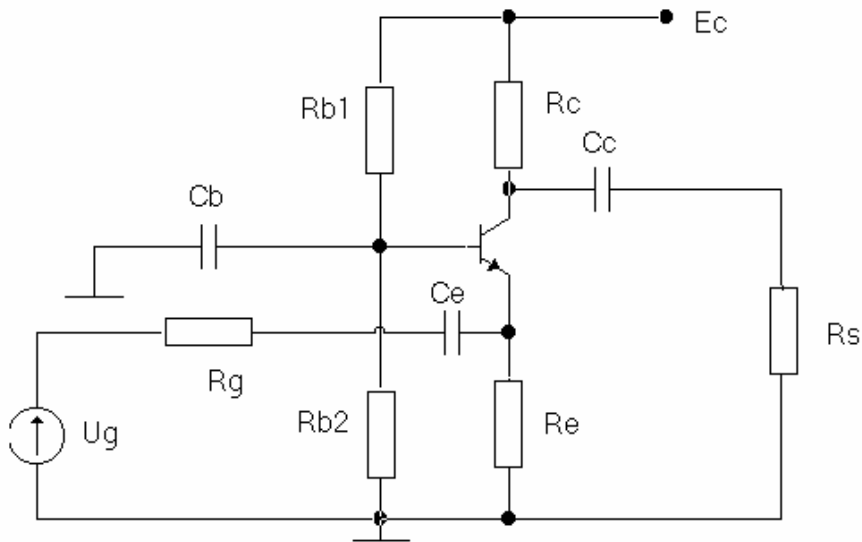
$$A_{pt} = \frac{R_s I_s^2}{U_g I_g} = \frac{U_2 I_s}{U_g I_g} = A_{ug} \times A_{ig} = 62 \times 42,8 = 2654$$

(din cauza circuitelor de polarizare și a valorii finite a impedanței de intrare medie, se obține o amplificare de putere de numai circa 20% din amplificarea de putere maximă posibilă cu acest circuit, dar, totuși, de valoare mare).

* se pot folosi și alte circuite de polarizare în curent continuu

b) Amplificator cu baza la masă

* schema electrică:



- se decuplează baza la masă prin capacitatea de decuplare C_b ;
- generatorul se cuplează prin C_e la emitor;
- sarcina este cuplată capacitiv în colectorul tranzistorului, prin C_c ;
- toate capacitățile sunt de valori mari.

* schema echivalentă pentru regim dinamic:

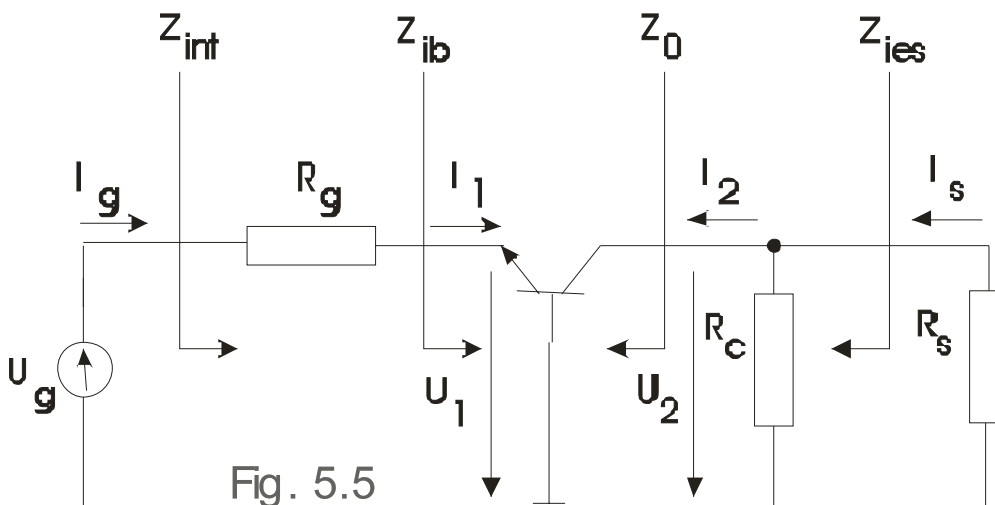


Fig. 5.5

Se calculează următoarele mărimi:

- amplificarea de tensiune:

$$A_{ub} = \frac{h_f Z_s}{h_i} = \frac{h_f}{h_i} R_c \parallel R_s = 120.$$

- amplificarea este pozitivă, mare și are aceeași valoare ca și modulul amplificării de tensiune pentru amplificatorul cu EM;

- **amplificarea de curent**, A_{ib} , este -1 ;

- **impedanța de intrare**, Z_{ib} :

$$Z_{ib} \cong \frac{h_i}{h_f + 1} \cong 12,4 \Omega \text{ . (de valoare foarte mică).}$$

- **impedanța de ieșire**, $Z_{ob} \rightarrow \infty$;

- **impedanța de intrare în amplificator**, Z_{int} :

$$Z_{int} = Z_{ib} \parallel R_e \cong 12,3 \Omega$$

- practic neschimbată, pentru că Z_{ib} este foarte mică.

- **impedanța de ieșire din amplificator**, Z_{ies} :

$$Z_{ies} = Z_{ob} \parallel R_c = R_c = 3k\Omega.$$

- influență foarte puternică a circuitului de polarizare care adaugă unui generator de curent aproape ideal o impedanță în paralel de numai $3k\Omega$;

- **amplificarea globală de tensiune:**

$$A_{ug} = \frac{U_2}{U_g} = \frac{U_2}{U_1} \frac{U_1}{U_g} = A_u \frac{Z_{int}}{Z_{int} + Z_g} \cong 1,46.$$

- o reducere foarte puternică a amplificării de tensiune deoarece un amplificator cu BM nu se comandă cu un generator de tensiune cu o impedanță internă așa de mare; este necesar ca $Z_g \ll Z_{ib}$!)

- **amplificarea globală de curent:**

$$A_{ig} = \frac{I_s}{I_g} = \frac{I_s}{I_2} \frac{I_2}{I_1} \frac{I_1}{I_g} = \frac{R_c}{R_c + R_s} A_i \frac{R_e}{R_e + Z_{ib}} \cong -0,5.$$

- rămâne numai influența rezistenței de polarizare din colectorul tranzistorului;

- **amplificarea de putere**, A_{pb} :

$$A_{pb} = |A_{ub}| \times |A_{ib}| = 120 \times 1 = 120$$

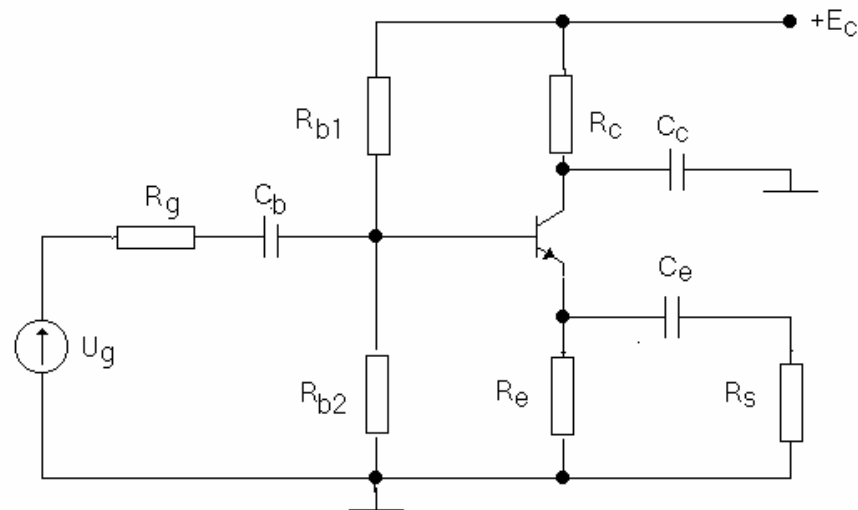
- amplificarea de putere este mare datorită amplificării de tensiune;

* concluzie:

- amplificatorul cu BM trebuie comandat cu un generator de tensiune cât mai apropiat de cel ideal din cauza impedanței de intrare de valoare foarte mică;
- în circuitul de ieșire, amplificatorul cu BM se comportă ca un generator de curent, dar caracterul său este puternic modificat de rezistența de polarizare din colector.

c) Amplificator cu colector comun (repetor pe emitor)

* schema electrică:



* schema echivalentă în regim dinamic

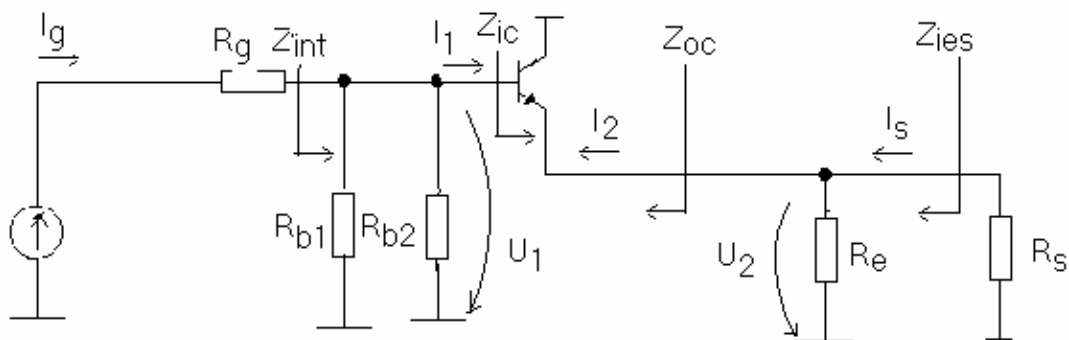


Fig. 5.7

* se calculează următoarele mărimi:

- **amplificarea de tensiune** este $A_{uc} = I$;

- se verifică mai întâi faptul că:

$$S \cdot Z_S = S \cdot R_e \parallel R_s = \frac{h_f}{h_i} R_e \parallel R_s \cong 69 \gg 1.$$

- valoarea exactă a amplificării este 0,986;

- **amplificarea de curent** este $A_{ic} = -101$;

- **impedanța de intrare**, Z_{ic} :

$$Z_{ic} = h_i + (h_f + 1)R_e \parallel R_s = 87,8k\Omega$$

- se constată contribuția esențială a celui de al doilea termen;

- **impedanța de ieșire**, Z_{oc} :

$$Z_{oc} = \frac{h_i + Z_g}{h_f + 1} = \frac{h_i + R_g \parallel R_{b1} \parallel R_{b2}}{h_f + 1} = 21,1\Omega$$

- impedanța de ieșire este foarte mică;

- efectul rezistenței generatorului de semnal este diminuat;

- **impedanța de intrare în amplificator** este:

$$Z_{int} = R_{b1} \parallel R_{b2} \parallel Z_{ic} = 6,91k\Omega$$

- este puternic influențată de circuitul de polarizare;

- **impedanța de ieșire din amplificator** este:

$$Z_{ies} = Z_{oc} \parallel R_e = 19,3\Omega$$

- este de valoare mică;

- conferă caracterul unui generator de tensiune pentru repetorul pe emitor;

- nu este afectată substanțial de rezistența de polarizare, R_e ;

- **amplificarea globală de tensiune**:

$$A_{ug} = \frac{U_2}{U_g} = \frac{U_2}{U_1} \frac{U_1}{U_g} = A_{ic} \frac{Z_{int}}{Z_{int} + Z_g} = 1 \times \frac{6,91}{7,91} = 0,873$$

- reducerea amplificării de tensiune este dată de valoarea nu foarte mare a impedanței de intrare;

- **amplificarea globală de curent**:

$$A_{ig} = \frac{I_s}{I_g} = \frac{R_e}{R_e + R_s} \times A_i \times \frac{R_{b1} \parallel R_{b2}}{R_{b1} \parallel R_{b2} + Z_{ic}} = -2,27$$

- reducerea substanțială a amplificării de curent este determinată de valoarea mică a rezistențelor din divizorul de polarizare a bazei în comparație cu impedanța de intrare;

- **amplificarea de putere** este:

$$A_{PC} = |A_{uc}| \times |A_{ic}| = 1 \times 101 = 101$$

- valoare mare a amplificării de putere datorită amplificării de curent.

- **amplificarea globală de putere** va fi mult micșorată datorită micșorării amplificării globale de curent.

* concluzie:

- eficiența repetorului pe emitor este cu atât mai bună cu cât circuitul de polarizare a bazei are o influență mai mică asupra impedanței de intrare a circuitului.