

## Cap.4 Amplificatoare elementare cu tranzistoare

### 2. Scheme de principiu, scheme electrice, scheme echivalente

Performanțele unui amplificator elementar cu tranzistoare BIP sunt determinate de modul de conectare a acestora.

- terminal de referință
- terminal de intrare (de comandă)
- terminal de ieșire (de execuție)

În schemele reale de amplificatoare se pot întâlni oricare dintre structurile fundamentale.

Circuitele de polarizare în c.c. care au rolul de a asigura funcționarea tranzistoarelor într-un punct static de funcționare (PSF) în jurul căruia sunt aplicate semnalele variabile.

TBIP sunt caracterizate prin parametrii de cuadripol hibridi în conexiunea EM (dar se vor face referiri și la parametrii circuitului echivalent Giacoletto).

\* schema de principiu prin care se realizează funcția dorită (de exemplu amplificare de tensiune, producere de oscilații, modulare, demodulare, etc.)

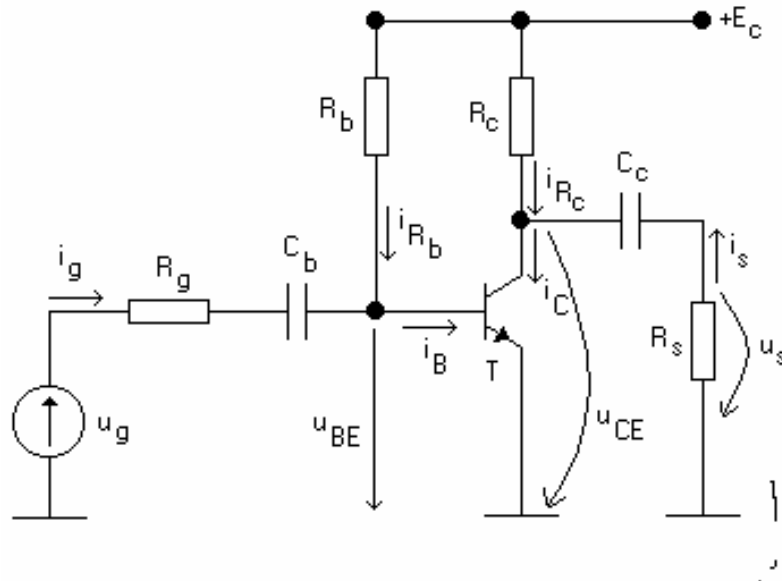
\* schema electrică completă conține toate elementele fizice necesare realizării funcției dorite: elemente necesare pentru polarizarea corectă a tranzistoarelor, pentru corecții statice sau dinamice, pentru reglaje, etc.

\* schemele echivalente pun în evidență anumite performanțe ale circuitului cum ar fi comportarea în c.c., comportarea în regim dinamic, caracteristica de frecvență, de zgomot, etc.

Exemplu: schemă elementară de amplificare cu un tranzistor, conectat cu emitorul comun, comandat cu un generator de semnal cu o anumită rezistență de generator  $R_g$  și care lucrează pe o sarcină dată  $R_s$ .

Se pune în evidență modul de realizare a schemelor echivalente pentru c.c. și pentru regim dinamic.

Fiecare mărime electrică are o componentă continuă peste care se suprapune o componentă variabilă a cărei valoare maximă este astfel încât să nu modifice comportarea în c.c. a circuitului (condiție de semnal minim necesară pentru o comportare liniară a dispozitivelor active).



Capacitățile  $C_b$  și  $C_c$  realizează cuplarea la amplificator a generatorului de semnal respectiv a rezistenței de sarcină.

- împiedică trecerea curentului continuu spre generatorul de semnal sau spre sarcină în așa fel încât acestea să nu influențeze PSF-ul tranzistorului;

- asigură trecerea semnalelor variabile; se va considera că reactanțele acestor capacități la frecvențele de lucru ale semnalelor sunt foarte mici (nule) în comparație cu rezistențele care apar în serie cu bornele lor; pe aceste capacități se va stabili o tensiune continuă, dar prin ele nu va circula decât curentul variabil.

\* legile lui Kirchhoff pe ochiuri și în noduri și legăturile dintre curenții și tensiunile tranzistorului):

$$\begin{cases} i_B = I_B + i_b \\ i_C = I_C + i_c \end{cases} \quad \begin{cases} u_{CE} = U_{CE} + u_{ce} \\ u_{BE} = U_{BE} + u_{be} \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_{R_b} = I_{R_b} + i_{R_b} (v) \\ i_{R_c} = I_{R_c} + i_{R_c} (v) \end{cases}$$

$$\begin{cases} E_C = R_b i_{R_b} + u_{BE} \\ E_C = R_c i_{R_c} + u_{CE} \end{cases} \quad \begin{cases} u_g = R_g i_g + U_{C_b} + u_{BE} \\ u_{CE} = U_{C_c} + u_s \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_g + i_{R_b} = i_B \\ i_{R_c} + i_s = i_C \end{cases} \quad u_s = -R_s i_s$$

$$\begin{cases} i_B = i_B(u_{CE}, u_{BE}) \\ i_C = i_C(u_{CE}, u_{BE}) \end{cases}$$

Se prelucrează relațiile:

$$\begin{cases} E_C = R_b (I_{R_b} + i_{R_b}(v)) + U_{BE} + u_{be} \\ E_C = R_c (I_{R_c} + i_{R_c}(v)) + U_{CE} + u_{ce} \end{cases}$$

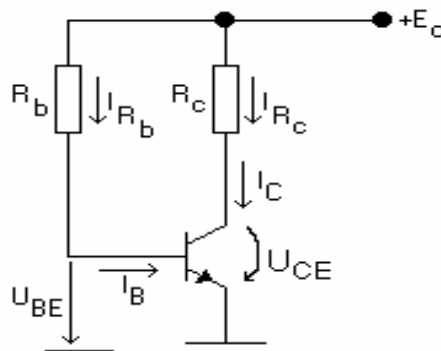
$$\begin{cases} u_g = R_g i_g + U_{C_b} + U_{BE} + u_{be} \\ U_{CE} + u_{ce} = U_{C_c} + u_s \end{cases}$$

$$\begin{cases} I_B + i_b = i_g + I_{R_b} + i_{R_b}(v) \\ I_{R_c} + i_{R_c}(v) = i_s + I_C + i_c \end{cases}$$

În absența semnalului variabil ( $u_g=0$ ), în circuit se stabilește numai un regim de curent continuu:

$$\begin{cases} E_C = R_b I_{R_b} + U_{BE} \\ E_C = R_c I_{R_c} + U_{CE} \end{cases} \quad \begin{cases} 0 = U_{C_b} + U_{BE} \\ U_{CE} = U_{C_c} \end{cases} \quad \begin{cases} I_B = I_{R_b} \\ I_C = I_{R_c} \end{cases}$$

care caracterizează comportarea circuitului în curent continuu și permit determinarea PSF. Se observă că aceste relații corespund unui circuit echivalent în c.c.



Regulă: acest circuit echivalent de curent continuu poate fi construit direct din schema electrică prin considerarea capacităților ca o întrerupere de circuit (prin ele nu circulă curent continuu).

\* determinarea PSF:

$$\begin{cases} E_C = R_b I_B + U_{BE} \\ E_C = R_c I_C + U_{CE} \end{cases} \quad \begin{cases} I_B = I_B(U_{BE}, U_{CE}) \\ I_C = I_C(U_{BE}, U_{CE}) \end{cases}$$

\* metoda analitică - caracter profund neliniar al celor două caracteristici statice ale tranzistorului;

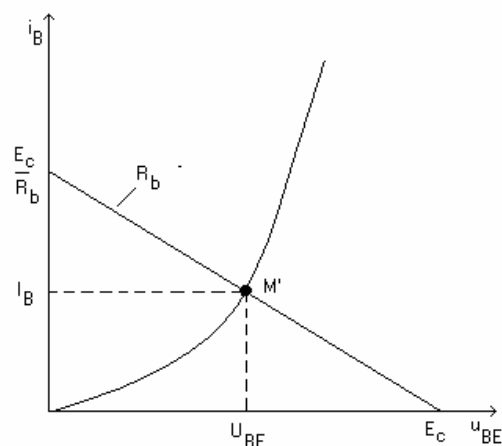
\* metoda grafo-analitică:

\*\* pentru circuitul de intrare:

- caracteristica statică de intrare a tranzistorului în conexiunea EC ( $U_{CE}$  are o influență mică).

- ecuația corespunzătoare dreptei de funcționare statică (în planul  $i_B, u_{BE}$ ).

- la intersecția celor două curbe se obține punctul static de funcționare (în planul  $i_B, u_{BE}$ ),  $M'$ , de coordonate  $(I_B, U_{BE})$ .



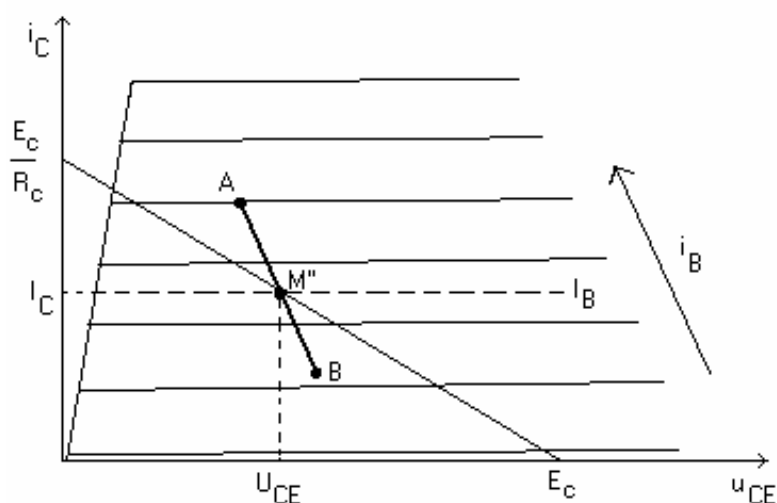
\*\* pentru circuitul de ieșire:

- caracteristicile statice ale tranzistorului în conexiunea EC având ca parametru curentul de bază.

- dreapta de funcționare statică (în planul  $i_C, u_{CE}$ ) a tranzistorului.

- la intersecția dintre această dreaptă și caracteristica corespunzătoare curentului de bază  $I_B$  (dacă nu este trasată ea poate fi

dedusă prin interpolare) se obține punctul static de funcționare  $M''$  în planul  $(i_C, u_{CE})$  de coordonate  $(I_C, U_{CE})$ .



În acest fel, coordonatele complete ale PSF vor fi:

$$M(I_B, I_C, U_{CE}, U_{BE}).$$

Observație: se poate folosi și o metodă iterativă pentru determinarea coordonatelor PSF (de obicei, este satisfăcătoare o primă iterație având în vedere dispersia parametrilor tranzistorului și toleranțele componentelor pasive de circuit și a surselor de alimentare).

a) se presupune  $U_{BE}=0,6V$  (pentru tranzistoarele din siliciu, sau  $0,3V$  pentru tranzistoarele din germaniu); rezultă curentul de bază:

$$I_B = \frac{E_C - U_{BE}}{R_b}$$

b) caracteristicile de ieșire ale tranzistorului se apreciază prin relația  $i_C = \beta_0 i_B$  și se determină curentul de colector al tranzistorului:

$$I_C = \beta_0 I_B$$

( $\beta_0$  este un parametru de catalog al tranzistorului și dispersia acestuia are influență foarte mare asupra coordonatelor PSF, pentru acest circuit de polarizare foarte simplu).

c) tensiunea  $U_{CE}$  rezultă:

$$U_{CE} = E_C - R_c I_C.$$

Observație: indiferent de metoda folosită (determinată de modelul tranzistorului pentru curent continuu), se cunosc coordonatele PSF (în special curentul de colector) și, ca urmare, se pot determina parametrii de regim variabil ai tranzistorului (pentru oricare dintre modelele de c.a. ale TBIP).

c) se determină tensiunile continue cu care se încarcă capacitățile de cuplare  $C_b$  și  $C_c$ :

$$U_{C_b} = -U_{BE} = -0,6V$$

$$U_{C_c} = -U_{CE}$$

În regim dinamic (la semnale mici și de joasă frecvență), se scad relațiile corespunzătoare regimului de c.c. din ecuațiile respective generale:

$$\begin{cases} 0 = R_b i_{R_b}(v) + u_{be} \\ 0 = R_c i_{R_c}(v) + u_{ce} \end{cases} \quad \begin{cases} u_g = R_g i_g + u_{be} \\ u_{ce} = u_s \end{cases}$$

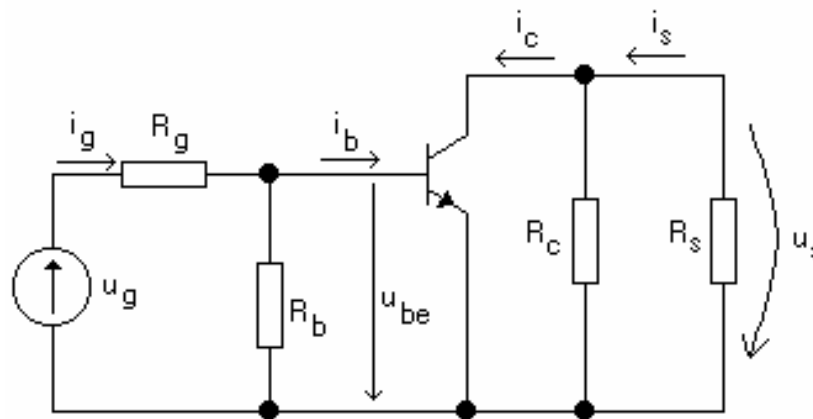
$$\begin{cases} i_b = i_g + i_{R_b}(v) \\ i_{R_c}(v) + i_s = i_c \end{cases}$$

- se explicitază curenții  $i_{R_b}(v)$  respectiv  $i_{R_c}(v)$  din primele două relații și se înlocuiesc în ultimele relații;

$$\begin{cases} u_g = R_g i_g + u_{be} \\ i_b = i_g - \frac{u_{be}}{R_b} \\ i_c = -\frac{u_s}{R_s} - \frac{u_s}{R_c} \end{cases} \quad \begin{cases} i_b = i_b(u_{be}, u_{ce}) \\ i_c = i_c(u_{be}, u_{ce}) \end{cases}$$

- se introduc relațiile dintre curenții și tensiunile tranzistorului care definesc comportarea în regim dinamic a circuitului.

Aceste ecuații pot fi desenate și sub forma unui circuit echivalent pentru regim dinamic al circuitului:



Acest circuit echivalent pentru regim dinamic poate fi construit direct din schema electrică folosind următoarele reguli:

- sursele de curent continuu sunt considerate scurtcircuit în regim dinamic;
- capacitățile de cuplare și de decuplare sunt considerate scurtcircuit la frecvențele de lucru ale semnalului.

Performanțele de regim dinamic ale circuitului analizat pot fi deduse pe baza circuitului echivalent obținut în care TBIP poate fi caracterizat prin orice model de regim dinamic (modelul Early, Giacoletto, cu parametri hibridi, sau alte modele).

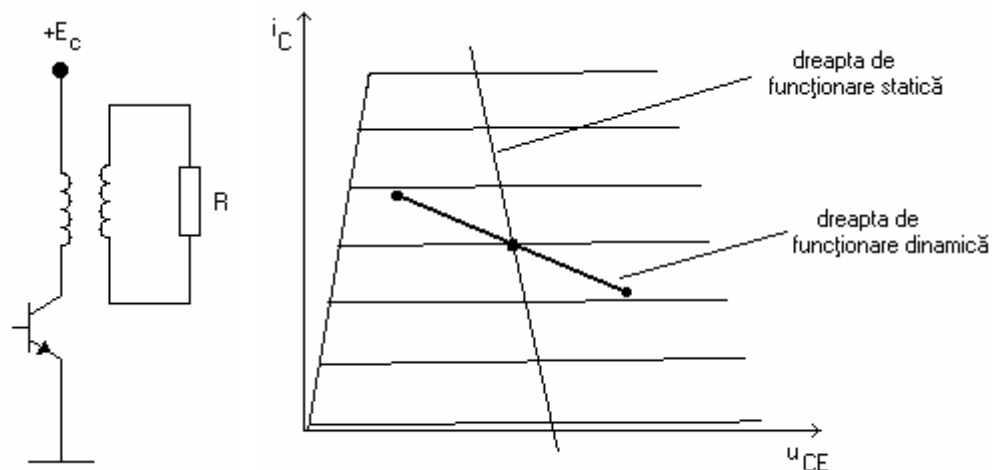
Pentru determinarea performanțelor în regim dinamic se folosesc fie relațiile generale de rezolvare a unui circuit electronic, disponibile prin metodele electrotehnice, fie soluții de tip “electronic” prezentate în paragrafele următoare.

Ultima relație se poate scrie și sub forma:

$$i_C = \frac{u_s}{R_s \parallel R_c} = \frac{u_{ce}}{R_s \parallel R_c}$$

și ea reprezintă ecuația unei drepte în planul  $(i_C, u_{CE})$  denumită dreapta de funcționare dinamică, și care este reprezentată prin segmentul de dreaptă AB care are o pantă diferită de cea a dreptei de funcționare statice. Se observă că dreapta de funcționare dinamică este, de fapt, un segment de dreaptă, care trece (simetric) prin PSF și are o lungime finită, determinată de amplitudinea semnalului (presupus sinusoidal).

Dreapta de funcționare dinamică poate să aibă o pantă mai mică decât a celei statice, egală cu aceasta dacă rezistența de sarcină este chiar  $R_C$ , respectiv mai mare în cazul în care colectorul tranzistorului amplificator este cuplat prin transformator la sursa de tensiune de



alimentare.

- static, dreapta de funcționare este determinată de rezistența serie a primarului (foarte mică) fiind aproape verticală;

- dreapta de funcționare dinamică este determinată de rezistența reflectată de secundar în primar, de valoare mai mare.

Dreapta de funcționare dinamică permite determinarea amplitudinii maxime a semnalului variabil ce poate fi obținut la ieșirea amplificatorului astfel încât elementele active să nu intre în zonele de funcționare profund neliniare.