

11. Tranzistor bipolar: de ce bipolar? Structura, tipuri de TB, simboluri

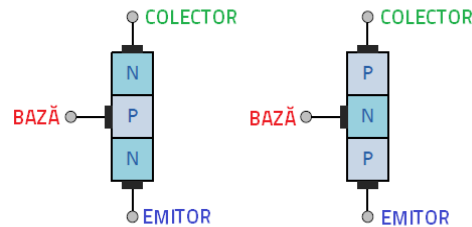
Tranzistorul se numește **bipolar** deoarece la conducția curentului electric participă atât electroni (sarcini electrice negative) cât și goluri (sarcini electrice pozitive).

Structura. TB are 3 regiuni dopate diferit:

- 2 zone de tip n separate de o regiune de tip p care alcătuiesc TB de tipul npn
- 2 zone de tip p separate de o regiune de tip n care alcătuiesc TB de tipul pnp

Conexiunile la cele 3 regiuni se numesc

- COLECTOR
- BAZĂ
- EMITOR

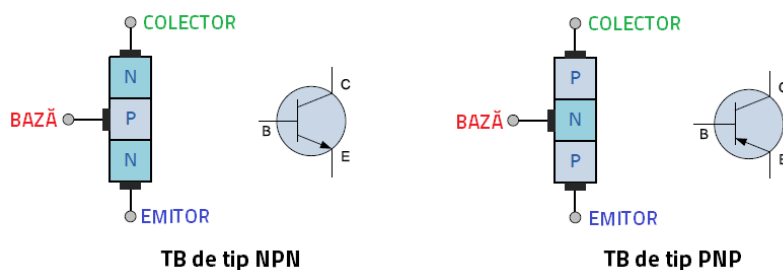


Poate fi componentă de sine stătătoare sau poate face parte din circuite integrate care conține zeci sau sute de TB.

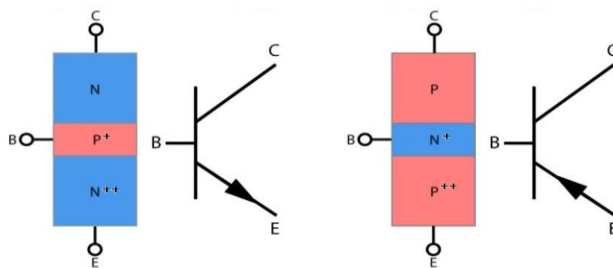
Se folosește în:

- amplificatoare
- comutatoare
- oscilatoare

Simbol. Schema bloc simplificată și simbolurile TB



În simbolul TB săgeata este îndreptată, conform regulii generale, de la semiconductorul de tip **p** către cel de tip **n**, adică de la bază la emitor la npn, respectiv de la emitor la bază la pnp.



Observații

- Baza este mai îngustă decât regiunile de emitor și colector;
- Emitorul este foarte puternic dopat (n^{++} sau p^{++});
- Baza este dopată mediu (p^+ sau n^+);
- Colectorul este slab dopat (n sau p).
- În simbolul TB săgeata este îndreptată, conform regulii generale, de la semiconductorul de tip p către cel de tip n, adică de la bază la emitor la *nnp*, respectiv de la emitor la bază la *pnnp*.

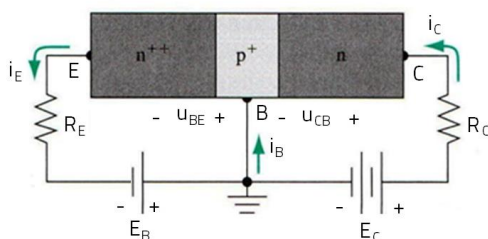
12. TB: Principiul de functionare

Tranzistoarele npn și pnp sunt dispozitive complementare.

Teoria se dezvoltă pentru TB npn, principiile de bază și relațiile fiind valabile și pentru TB pnp dacă se înlocuiesc electronii cu goluri și invers, se schimbă polaritatea tensiunilor și sensul curenților.

Pentru manifestarea efectului de tranzistor:

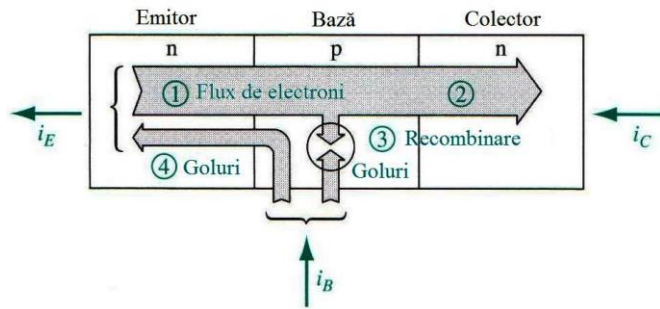
- joncțiunea bază-emitor se polarizează direct iar
- joncțiunea bază-colector se polarizează invers.



Denumirea de **tranzistor** provine de la: **TRAN**sfer re**SISTOR**

Se referă la transferarea curentului dintr-un circuit cu rezistență mică – circuitul B-E, unde joncțiunea B-E este polarizată direct, într-un circuit cu rezistență mare – circuitul B-C, unde joncțiunea B-C este polarizată invers.

- Deplasarea purtătorilor de sarcină prin tranzistorul bipolar:



Unde **1** - Fluxul de electroni din emitor (componenta principală a curentului i_E)

2 - Fluxul de electroni atrași de potențialul pozitiv al colectorului (comp principală a curentului i_C)

3 - Flux de goluri ce se recombina cu electronii din fluxul principal de electroni (componenta principală a curentului i_B)

4 - Flux de goluri al joncțiunii pn (B-E), polarizată direct

Pentru obținerea efectului de tranzistor se impun următoarele **condiții**:

1. grosimea bazei trebuie să fie mult mai mică decât lungimea de difuzie a purtătorilor minoritari din bază (goluri în cazul tranzistorului *pnp*, respectiv electroni în cazul tranzistorului *nnp*);
2. emitorul trebuie să fie mai puternic dopat decât baza, astfel încât curentul de emitor să fie practic în întregime un curent de electroni la *nnp*, respectiv de goluri la *pnp*.

- Concentrațiile tipice de dopare sunt:

- Emitor: 10^{19} cm^{-3}
- Bază: 10^{17} cm^{-3}
- Colector: 10^{15} cm^{-3}

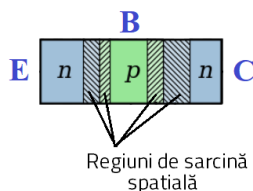
Consecințe

Prima condiție (grosimea bazei trebuie să fie mult mai mică decât lungimea de difuzie a purtătorilor minoritari din bază) determină ca valoarea curentului de recombinare (notat cu 3) să fie mică și deci valoarea curentului de bază, i_B , să fie mică în comparație cu curenții de emitor, i_E și colector, i_C .

A doua condiție (emitorul trebuie să fie mai puternic dopat decât baza) determină o valoare foarte mică a curentului de goluri la *nnp* (notat cu 4) respectiv de electroni la *pnp*, ceea ce înseamnă un curent de bază format în principal din curentul de recombinare (notat cu 3).

Polarizarea directă a joncțiunii B-E determină îngustarea regiunii de sarcină spațială a joncțiunii emitorului iar polarizarea inversă a joncțiunii B-C duce la lărgirea regiunii de sarcină spațială a joncțiunii colectorului.

Regiunea de emitor de tip n , puternic dopată, este plină de electroni de conducție care alcătuiesc curentul de emitor, i_E și care difuzează ușor prin joncțiunea B-E, polarizată direct (regiune de sarcină spațială îngustă), în baza de tip p .



Numărul redus de electroni recombinăți ies din bază ca electroni de valență (mișcarea în sens opus a electronilor de valență = mișcare de goluri) și alcătuiesc un mic curent de electroni numit curentul de bază, i_B .

Cea mai mare parte a electronilor care curg din emitor prin regiunea de bază subțire și ușor dopată nu se recombină și difuzează mai departe în regiunea de sarcină spațială B-C.

Ajunși aici, electronii sunt atrași prin joncțiunea B-C, polarizată invers, de tensiunea de alimentare pozitivă de la colector.

Electronii se mișcă prin regiunea de colector, ies prin terminalul de colector și intră prin borna plus a sursei de alimentare.

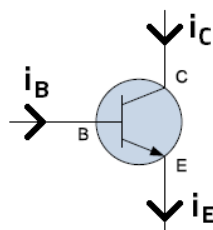
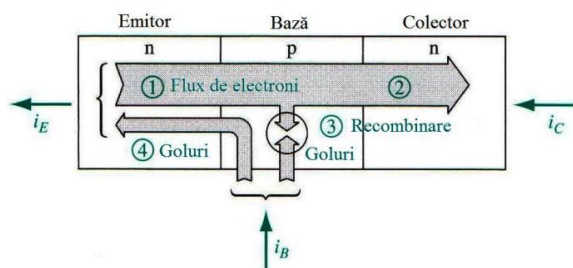
Acești electroni alcătuiesc curentul de colector, i_C .

Curentul de colector este mult mai mare decât cel de bază.

Acesta este motivul pentru care tranzistoarele prezintă un câștig în curent.

13. TB: Curentii prin transistor

Tranzistorul poate fi asemănat cu un „nod de circuit” doar din punct de vedere a circulației curenților: curentul de bază, i_B și cel de colector, i_C intră în tranzistor (nod) iar curentul de emitor, i_E iese din tranzistor (nod).



Relația dintre curentii prin tranzistor

Se poate aplica teorema I a lui Kirchhoff și se obține prima relație importantă pentru tranzistor:

$$i_E = i_B + i_C$$

Factorii de amplificare în curent

Raportul $\alpha = \frac{i_C}{i_E}$ se numește factor de amplificare în curent pentru circuitele în care mărimea de intrare este curentul de emitor iar cea de ieșire – curentul de colector (conexiunea bază comună). Parametrul $\alpha < 1$ dar este foarte aproape de 1.

Raportul $\beta = \frac{i_C}{i_B}$ se numește factor de amplificare în curent pentru circuitele în care mărimea de intrare este curentul de bază iar cea de ieșire – curentul de colector (conexiunile emitor comun și colector comun, dacă la acesta din urmă se ține seama de aproximația $i_E \cong i_C$). Parametrul β este mult supraunitar ($\beta \gg 1$).

Dacă se ține seama că din relațiile
$$\begin{cases} i_E = i_B + i_C \\ i_C = \alpha i_E \end{cases}$$
 se obține $i_B = (1 - \alpha)i_E$, atunci

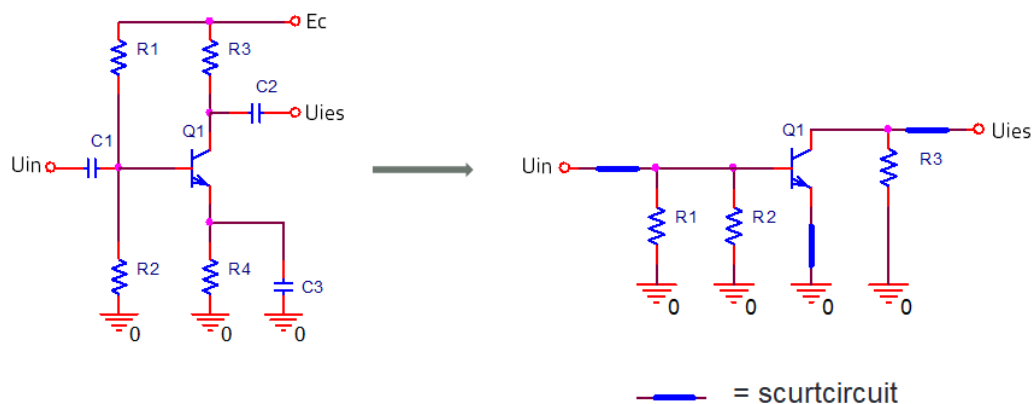
$$\beta = \frac{i_C}{i_B} = \frac{\alpha i_E}{(1 - \alpha)i_E} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

relație din care rezultă $\beta - \alpha\beta = \alpha$ sau $\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$

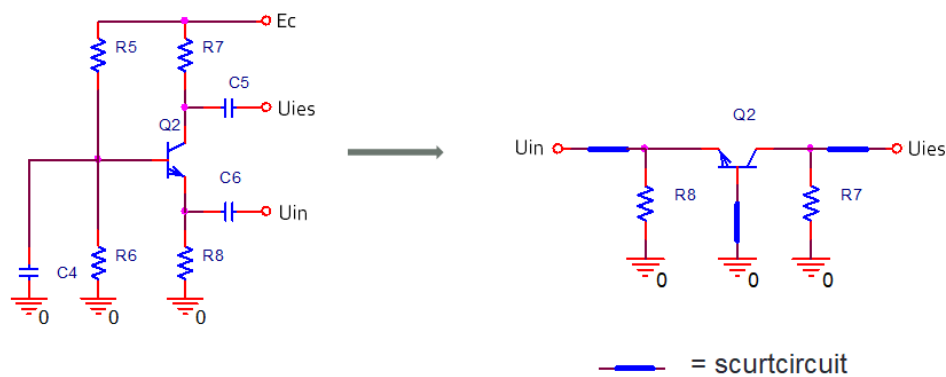
Curentul de colector este un curent de difuzie și este controlat de tensiunea B-E:

$$i_C = I_S e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$$

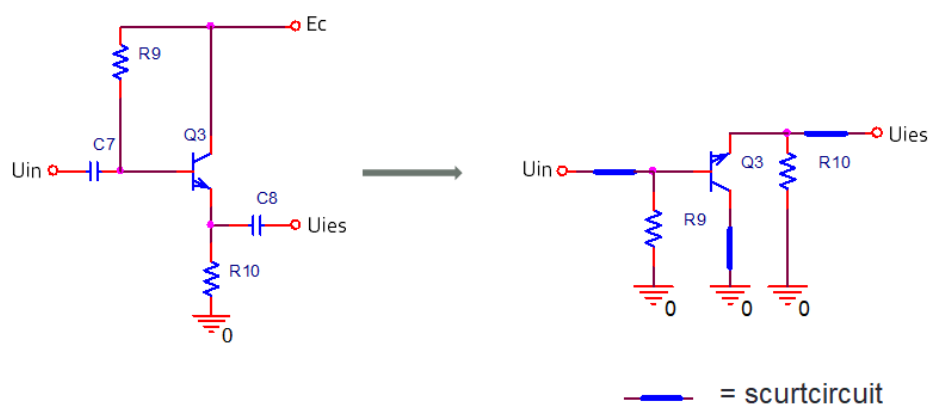
Conexiunea EC



Conexiunea BC



Conexiunea CC



14. TB: Caracteristicile statice

Curentul de colector depinde de tensiunea B-E:

$$I_C = I_S e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$$

I_S - curentul de saturație la polarizare inversă
a joncțiunii BE

U_T - tensiunea termică. La 300K, $U_T=26\text{mV}$

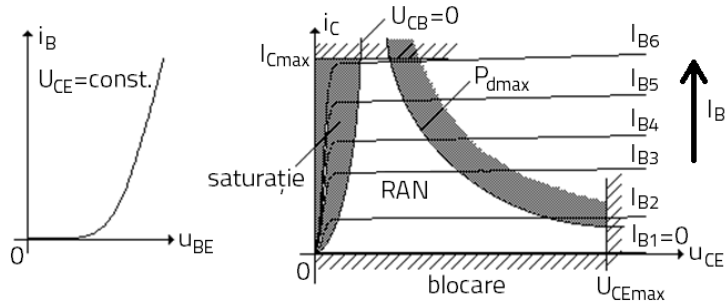
Acțiunea tranzistorului constă în controlul curentului (i_C) de la un terminal (colectorul) de către tensiunea (v_{BE}) dintre celelalte două terminale (baza și emitorul).

Factorii de amplificare α și β sunt determinați în c.c. și se găsesc în literatura de specialitate ca și în programul SPICE de simulare a circuitelor electrice sub forma α_{DC} și β_{DC} (DC = Direct Current – curent continuu);

Parametrii α_{DC} și β_{DC} se determină în așa numitul PUNCT STATIC DE FUNCȚIONARE (PSF) care se găsește pe caracteristicile statice ale TB.

În conexiunea EC se definesc următoarele caracteristici statice, numite astfel deoarece se determină în c.c.:

- Caracteristica de intrare $i_B = f(u_{BE})$, $U_{CE} = \text{const.}$
- Caracteristicile de ieșire $i_C = f(u_{CE})$, $I_B = \text{const.}$



15.TB: valori limită maxime, comparație între β_{DC} și β_{ac}

TB are limitări în funcționare, reprezentate hașurat pe caracteristicile de ieșire.

În afară de zonele de blocare și de saturație, între care are loc funcționarea liniară, TB prezintă limitări la mărimile:

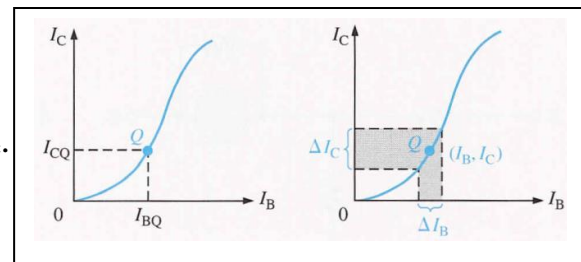
- Curent de colector maxim, I_{Cmax}
- Tensiune C-E maximă, U_{CEmax} și
- Putere disipată maximă, P_{dmax}

I_C și U_{CE} nu pot fi maxime simultan și sunt legate prin relația: $I_C = \frac{P_{dm, ax}}{U_{CE}}$.

Comparație între β_{DC} și β_{ac}

Factorul de amplificare în c.a. se notează β_{ac} .

β_{DC} se determină în PSF: $\beta_{DC} = I_{CQ} / I_{BQ}$



β_{ac} se determină pe caracteristica neliniară $i_C(i_B)$ pentru mici variații în jurul PSF ale mărimilor care intervin în relație:

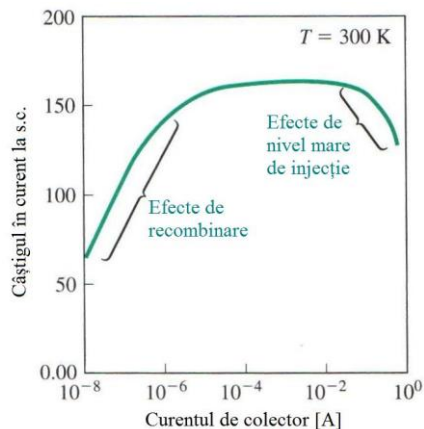
$$\beta_{ac} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

- De obicei, $\beta_{DC} \neq \beta_{ac}$
- În cele ce urmează se va lucra cu un singur factor de amplificare în curent, β .

16.TB: dependenta lui β de temperature si curentul de colector

Dependența lui β de curentul de colector

La curenți de colector mici, factorul de amplificare β scade (uneori mult) față de valoarea curentului de ordinul mA sau zeci de mA.

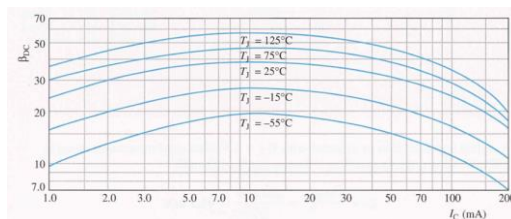


Din foile de catalog pentru TB-2N3904, rezultă:

I_c [mA]	0.1	1.0	10	50	100
h_{FE}	40	70	100	60	30

Dependența lui β de temperatură

La aceeași valoare a curentului de colector, β de current continuu, β_{DC} crește odată cu creșterea temperaturii.

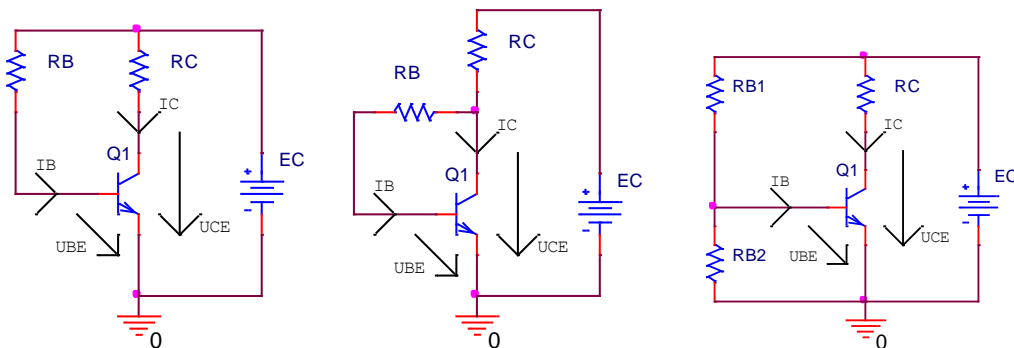


17.Circuite de polarizare (cu rezistenta in baza, cu rezistenta colector-baza, cu divizor rezistiv in baza)

Circuitul cu 2 surse de polarizare este neeconomică și nepractică. Se preferă alimentarea dintr-o singură sursă de c.c.

Se folosesc mai des 3 circuite:

- cu rezistență în bază (a)
- cu rezistență colector-bază (b)
- cu divizor rezistiv în bază (c)

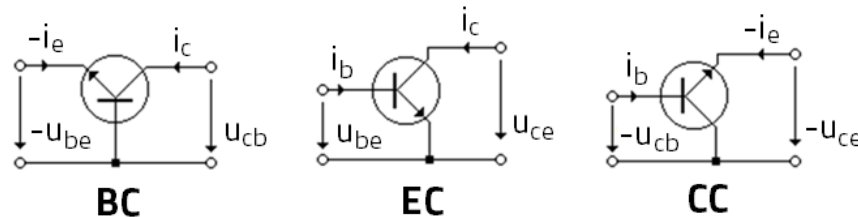


18.TB – tipuri de conexiuni: emitor-comun, baza-comuna, colector-comun

TB fiind un dispozitiv cu 3 terminale iar circuitele în care se conectează având 4 terminale (2 de intrare, respectiv 2 de ieșire), un terminal al TB trebuie să fie comun atât intrării cât și ieșirii.

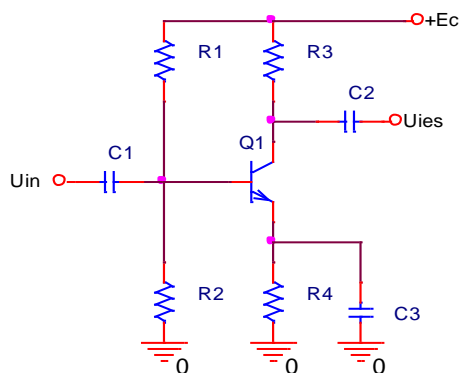
Definiția 1: Terminalul comun (care, pentru analiza în c.a., este legat la masa montajului) dă numele conexiunii:

- Emitor comun - EC
- Bază comună – BC
- Colector - comun

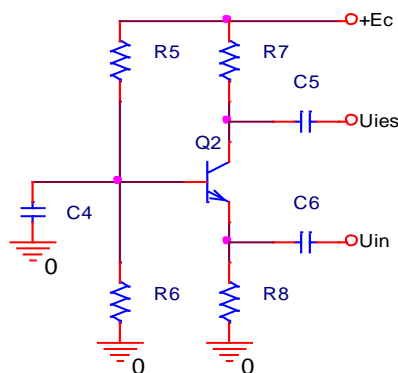


Definiție alternativă: terminalul nenumit dă tipul conexiunii.

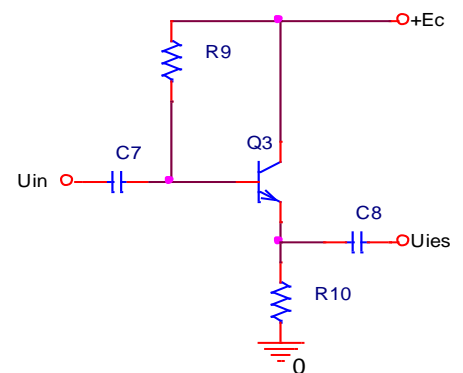
- **Emitor comun**, EC – dacă semnalul se aplică în bază și se culege din colector (EMITORUL este nenumit);
- **Baza comuna** – BC – dacă semnalul se aplică în emitor și se culege din colector (BAZA este nenumită);
- **Colector comun** - CC – dacă semnalul se aplică în bază și se culege din emitor (COLECTORUL este nenumit)



Conexiunea EC



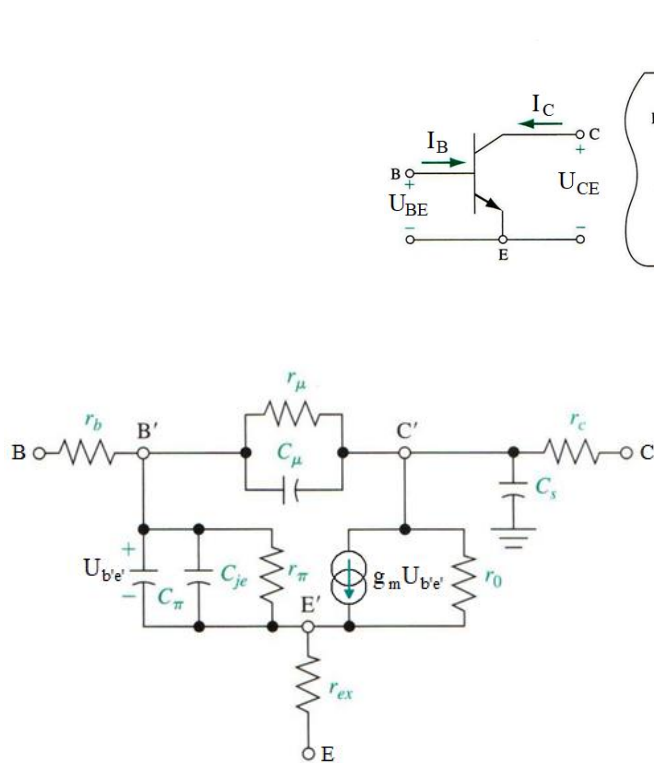
Conexiunea BC



Conexiunea CC

19.TB: Circuitul echivalent pi-hibrid(π -hibrid)

Modelul pi-hibrid se dezvoltă pentru un TB de tipul npn în conexiune EC și de forma:



Semnificația parametrilor

r_b =rezistența serie a bazei

C_π =capacitatea de difuzie a joncțiunii BE

r_π =rezistența de difuzie a joncțiunii BE

C_{je} =capacitatea joncțiunii BE

r_{ex} =rezistența serie a emitorului (1...2 Ω)

r_c =rezistența serie a colectorului

C_s =capacitatea joncțiunii colector-substrat

r_o =rezistența de ieșire

g_m =transconductanța sau panta

r_μ =rezistența de difuzie a joncțiunii BC polarizată invers

C_μ =capacitatea joncțiunii BC polarizată invers

Observații:

- În mod obișnuit r_μ este de ordinul M Ω și poate fi neglijat (se înlocuiește cu gol).
- Capacitatea C_μ este mult mai mică decât C_π , dar din cauza reacției, conduce, prin efect Miller, la capacitatea Miller care se adaugă la C_π (pe schema echivalentă obținută după aplicarea teoremei Miller).
- Numărul mare de componente ale modelului pi-hibrid complet necesită analiză cu ajutorul calculatorului.
- Capacitățile modelului influențează comportarea în frecvență a TB și anume determină frecvența de tăiere superioară a montajului în care este conectat TB (= frecvența maximă a semnalului pe care îl poate reda tranzistorul fără modificarea semnificativă a amplitudinii semnalului prelucrat).

Modelul simplificat conține doar rezistența bază-emitor și sursa de curent controlată de tensiunea bază-emitor (valoarea de c.a.)

Panta tranzistorului
$$g_m = \frac{I_{C(PSF)}}{U_T} = \frac{I_{C(PSF)}}{0,0259} = 38,6 \cdot I_{C(PSF)} \cong 40 \cdot I_{C(PSF)} \quad [\text{mA/V}]$$

Relația utilizată este **$g_m = 40I_C$**

Rezistența de difuzie a joncțiunii B-E
$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} [\text{k}\Omega]$$

20. Amplificator de semnal mic: schema tipică, forme de unda, rolul elementelor

Amplificatoare de c.a.

Dacă sunt de putere mică se mai numesc și **amplificatoare de semnal mic**

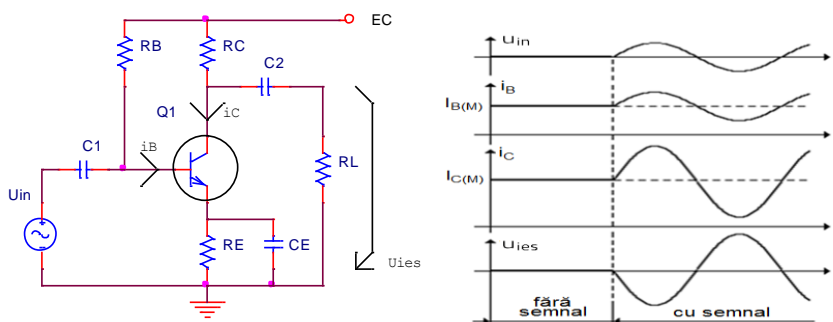
Intră în componența (structura) oricărui sistem de procesare a semnalului de audiofrecvență sau radiofrecvență și precede amplificatorul de putere (etajul final), de unde și denumirea de **preamplificator**.

Amplificatorul de semnal mic îndeplinește următoarele roluri:

- realizează adaptarea de impedanță dintre sursa de semnal și amplificator;
- corectează semnalul audio din punct de vedere al tonului (corectoare de ton, egalizatoare grafice);
- amplifică semnalul la un astfel de nivel, încât la ieșirea amplificatorului de putere să se obțină puterea utilă necesară (specificată).

Amplificatorul se numește de “semnal mic”, deoarece variația tensiunii bază-emitor, datorată semnalului alternativ ce trebuie amplificat, este mult mai mică decât tensiunea termică (26mV la 300K).

Amplificatorul de semnal mic se mai numește și amplificator cu cuplaj RC, deoarece semnalul se culege de pe o rezistență (R) și se aplică mai departe prin intermediul unui condensator (C).



Rolul elementelor

- rezistoarele R_B și R_E au rolul de a polariza tranzistorul bipolar;
- rezistorul R_C participă la polarizarea tranzistorului, fixează panta dreptei de sarcină împreună cu R_E ($R_C + R_E$) și, alături de R_L , constituie rezistența de sarcină ($R_C || R_L$);
- condensatorul C_1 permite cuplarea sursei de semnal cu baza tranzistorului, în așa fel încât să nu modifice potențialul continuu al bazei (condensatorul nu conduce c.c., realizând, deci, o separare galvanică);
- condensatorul C_E conectează emitorul tranzistorului la masă din punct de vedere al semnalului variabil;
- condensatorul C_2 asigură separarea galvanică între R_L și colectorul tranzistorului.

Formele de undă se pot deduce dacă se utilizează caracteristicile tranzistorului de intrare, $i_B(u_{BE})$, respectiv de ieșire, $i_C(u_{CE})$

