

Cuprins

1. Tehnologia de fabricare a tranzistorului bipolar KT – 3102.	4
2. Procedee fizice în tranzistorul bipolar	6
3. Caracteristicile statice ale tranzistorului bipolar cuplat in schema emitor comun, baza comuna si colector comun	10
4. Analiza schemelor echivalente ale tranzistorului bipolar	16
5. Parametrii H pentru tranzistorul bipolar	18
6. Funcționarea tranzistorului bipolar la frecvențe înalte	21
7. Funcționarea tranzistorului bipolar în regim de comutatie(impuls).	22
8. Modelul matematic al tranzistorului bipolar	28
9. Parametrii de baza ai tranzistorului bipolar dat.	33
10. Utilizarea tranzistorului bipolar în circuite electronice(se analizeaza o schema de principiu a unui dispozitiv electronic care contine tranzistorul din clasa data)...	35
11. Proiectarea unui amplificator de audiofrecventa cu si fara transformator..	36

Tranzistorii au fost concepuți la Laboratoarele Bell Telephone de fizicienii americani Walter Houser Brattain, John Bardeen și William Bradford Shockley. Pentru această realizare cei trei au împărțit în 1956 Premiul Nobel în fizică. Shockley este cunoscut ca initiatorul cercetărilor asupra materialelor semiconductoare ce au dus la descoperirea acestor tipuri de dispozitive. Colegii săi sunt creditați pentru descoperirea diferitor tipuri de tranzistori. Tranzistorul bipolar conține trei părți din siliciu (germaniu) foarte purificat la care sunt adăugate cantități mici de materiale dopante. Legătura dintre plăcuțele de siliciu se numește joncțiune care dă voie curentului să treacă de la n la p .

Se numesc **emitor** și respectiv **colector** regiunile de la extremități care au același tip de conductibilitate (ambele p sau ambele n). **Bază** este numită regiunea centrală care are o conductibilitate opusă față de extremități. Pe suprafața fiecăreia din cele trei regiuni se depune câte un strat metalic de contact pe care se sudează firele de conexiune.

La un tranzistor, joncțiunea emitor – bază se numește **joncțiunea emitor**, iar joncțiunea colector – bază se numește **joncțiunea colector**. În mod normal joncțiunea emitorului este polarizată direct, iar joncțiunea colectorului este polarizată invers. Acest regim de lucru prezintă **regimul activ normal**.

În funcție de dopare a conexiunilor se deosebesc două tipuri de tranzistoare:

1. de tip $p-n-p$ (emitorul și colectorul sunt de tip p , iar baza este de tip n)
2. de tip $n-p-n$ (emitorul și colectorul sunt de tip n , iar baza este de tip p)

În fig.1.1 sunt arătate structurile simplificate ale tranzistoarelor de tip $p-n-p$ și $n-p-n$ și reprezentările lor grafice.

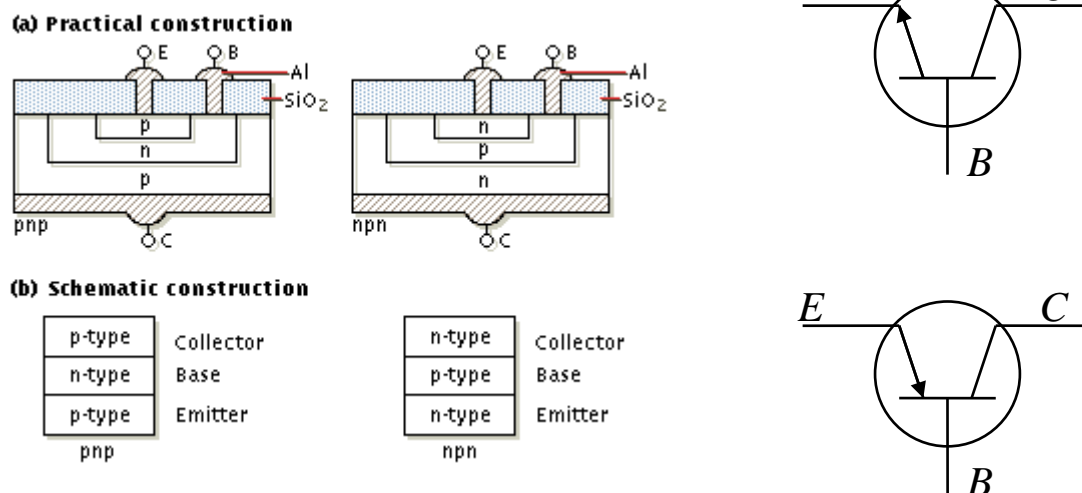


Fig.1.1

1. Tehnologia de fabricare a tranzistorului bipolar KT 3102

Tranzistoarele bipolare se fabrică pe baza germaniului, siliciului și arsenurii de galiu. Cea mai largă utilizare o are germaniul și siliciu. Metodele tehnologice permit de a fabrica tranzistorul în așa mod ca să se realizeze într-o măsură oarecare cerințele pentru parametrii maximi admisibili.

La etapa actuală se utilizează următoarele metode de fabricare ale tranzistoarelor: metoda de aliere, metoda de difuzie, metoda planară, epitaxial-planară și mesa-planară.

Tranzistorul *KT – 3102* reprezintă un tranzistor din siliciu (Si) de tip **n-p-n**. Tranzistorul dat se fabrică prin metoda epitaxial – planară.

Aceasta metoda se bazează pe metoda planară. Pentru început vom analiza metoda planară de fabricare a tranzistoarelor.

Se ia o plachetă de monocristal din siliciu (Si) tip-**n**, (care în structura rezultantă va reprezinta colectorul). Pe această plachetă peste prima mască de oxid se efectuează difuzia acceptorului (de obicei bor) și se primește stratul **p** al bazei. Apoi peste a doua mască se face difuzia donorigilor (de obicei fosfor) astfel primim stratul emitorului. Ultimul tip al procesului tehnologic (*metalizarea*) îl

constituie depunerile metalice (*aluminiu, în acest caz*), care au rolul de a forma contactele de cuplare a elementelor de circuit. 4

Măștile în formă de bioxidul SiO_2 , primită prin metoda oxidării termice a suprafeței plăcii de siliciu, are următoarele priorități:

1. Masca de oxid este legată organic de suprafața plăcii, acordând un contact foarte bun cu ea, și exclude pătrunderea difuzantului în spațiul dintre mască și plachetă.
2. Grosimea măștii de oxid (aproximativ un micron), este de ajuns pentru o protecție sigură a porțiunilor de placă de la pătrunderea difuzantului.
3. Stratul de oxid odată cu funcția de mascare, mai execută și funcția de protecție a suprafeței (înseamnă că și a joncțiunilor p-n, ce ies la suprafață), de la acționarea diferitor factori externi. În cazul metodei de aliere sau mezatehnologiei, pentru aceasta trebuie de folosit mijloace speciale – straturi protectoare.

Măștile de oxid sînt confecționate prin metoda fotolitografierii.

În cazul tehnologiei epitaxial-planare, dintre regiunile bazei și a colectorului se creează un strat de rezistență înaltă și de aceeași conductibilitate ca și colectorul. Acest strat se obține prin așa numita depunere epitaxială a unei pelicule subțire de monocristal de o rezistență înaltă pe o suprafață de cristal ce servește ca corp al colectorului. Regiunile bazei și a emitorului se obțin de obicei prin difuzia locală. Structura unui tranzistor obținut prin metoda epitaxial-planară este arătată în fig.2.1.

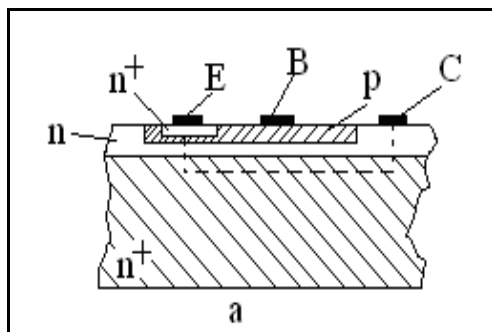


Fig.2.1

Dispozitivul este numit tranzistor bipolar deoarece ambele tipuri de purtători mobili de sarcină intervin în funcționarea sa. În stare de echilibru (când sursele de tensiune de alimentare sunt deconectate) curenții rezultanți ce trec prin ambele joncțiuni sunt egali cu zero. La aplicarea la emitor a unei tensiuni pozitive U_{EB} , iar la colector a unei tensiuni negative U_{CB} se schimbă poziția zonelor energetice (vezi fig.3.1,b). Înălțimea barierei de potențial a emitorului se micșorează, iar a colectorului – crește (vezi fig.3.1, c). Condițiile de mișcare a purtătorilor de sarcină minoritari prin joncțiunea colectorului aproape nu se schimbă. Însă, condițiile de deplasare a purtătorilor de sarcină majoritari prin joncțiunea emitorului se vor ușura (deci se vor deplasa mai mulți și mai repede). Numărul electronilor ce trec din emitor în bază va crește. Curentul emitorului ce conține componenta golurilor și componenta electronilor va crește.

În dependență de grosimea bazei curentul emitorului diferit influențează asupra curentului colectorului I_C . Dacă grosimea bazei este mare, atunci nu toți electronii injectați din emitor în bază reușesc să ajungă în colector, deoarece ei se recombină cu golurile din bază. Astfel se formează curentul de recombinare I_R . Cu cât este mai mică grosimea bazei cu atât mai puțini electroni se vor recombină cu golurile din ea, deci cu câți mai mulți electroni ajung la joncțiunea colectorului cu atât mai mare va fi curentul colectorului.

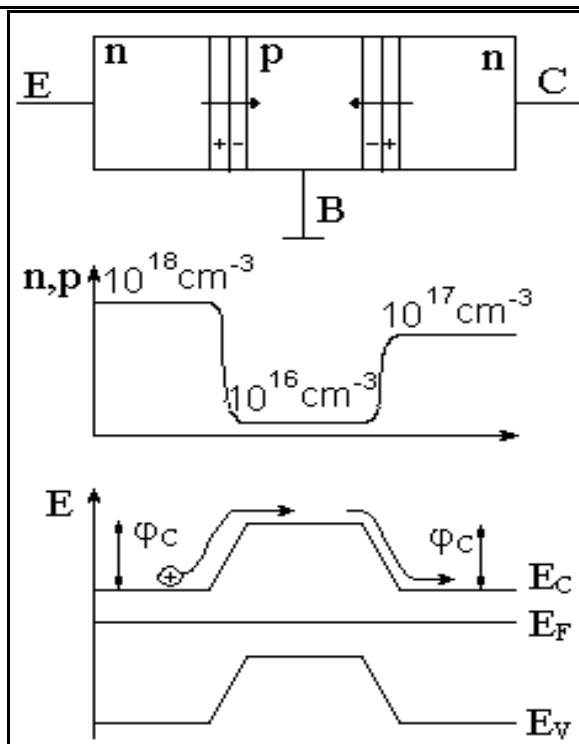


Fig.3.1

Deci, cum s-a văzut că în regim activ curentul total al emitorului $I_E = I_{En} + I_{Ep} + I_{Erec}$ este alcătuit din curentul I_{En} de electroni, injectați din emitor în bază, curentul I_{Ep} a golurilor, injectați din bază în emitor, și curentul I_{Erec} de recombinare a purtătorilor de sarcină în joncțiunea emitorului. În această sumă numai prima componentă este utilă, deoarece anume ea influențează asupra curentului colectorului, celelalte componente sunt dăunătoare, și se tinde de obținut valorile lor cât mai mici. Mișcarea electronilor, injectați în bază este condusă de recombinarea unei părți e electronilor, de aceea curentul electronilor I_{Cn} ce se apropie de joncțiunea colectorului, este mai mic ca curentul I_{En} cu mărimea I_{Brec} , ce se numește curentul de recombinare în bază, care se tinde de a fi micșorat.

Criteriile fundamentale pe care trebuie sa le indeplineasca un tranzistor sunt:

1. Emitorul este mult mai puternic dopat decat baza (curentul prin jonctiunea emitorului trebuie sa fie determinat de purtatorii majoritari ai emitorului injectati in baza, injectia de purtatori majoritari ai bazei in emitor trebuie sa fie neglijabila).

2. Regiunea bazei este fizic subtire, mai mica decat lungimea de difuzie (purtaorii injectati in baza o traverseaza fara a suferi procese de recombinare majore).
3. Zona colectorului este fizic mai larga decat cea a emitorului (ajuta la colectarea curentului injectat de emitor si la disiparea eficienta a caldurii generate pe jonctiunea colectorului).
4. Colectorul este slab dopat fata de baza (in acest fel stratul de baraj are o largime mai mare si jonctiunea colectorului poate suporta tensiuni inverse mari, de zeci pana la sute de volti, fara sa se strapunga).

Curenții tranzistorului. Notînd αI_E , unde α - coeficient de transfer al emitorului, acea parte a curentului emitorului care trece prin jonctiunea colectorului, vom scrie expresia pentru curentul colectorului în modul următor:

$$I_C = \alpha I_E + I_{C0} \quad (3.1)$$

Curentul invers al colectorului I_{C0} este egal cu curentul ce trece prin jonctiunea colectorului, cînd la colector se aplică tensiune inversă și cînd curentul emitorului este egal cu zero. Fiindca I_{C0} este destul de mic, il putem neglija si astfel scriem:

$$I_C = \alpha I_E \quad (3.1a)$$

Prin contactul bazei trece curentul I_B , care este egal cu diferența dintre curentul emitorului și a colectorului:

$$I_B = I_E - I_C \quad (3.2)$$

În așa mod, prin contactul emitorului (circuitul emitor - bază) curge *curentul de dirijare I_E (de intrare)*, prin contactul colectorului (circuitul colector - baza) – *curentul de dirijare I_C (de ieșire)* și curentul invers al colectorului I_{C0} , iar prin contactul bazei – *diferența curentului emitorului și a colectorului*.

$$I_E = I_C + I_B \quad \text{Legea de aur a curenților prin tranzistor}$$

Coeficienții de transfer a curenților. Modificarea curentului colectorului rezultată din modificarea curentului emitorului si este condiționată

numai de electroni. Însă curentul total al emitorului este determinat atât de electroni cât și de goluri. Tranzistorului cu atât mai bine transmite schimbările⁸ curentului emitorului în circuitul colectorului, cu cât mai mulți electroni (în comparație cu numărul golurilor) trec prin joncțiunea emitorului și cu cât mai puțini din acești electroni se recombină în bază, neajungând la joncțiunea colectorului.

Eficacitate emitorului este determinată de coeficientul de injecție γ , care se determină după relația:

$$\gamma = \frac{I_{En}}{I_E} = \frac{I_{En}}{I_{En} + I_{Ep}} \quad (3.5)$$

Trecind prin bază, o parte din electroni recombină atât în straturile adânci ale bazei, cât și la suprafața ei. De aceea nu toți electronii injectați de emitor ating joncțiunea colectorului. Influența recombinării în bază a electronilor asupra curentului colectorului este descrisă de coeficientul de transfer al electronilor prin bază χ_B :

$$\chi_B = \frac{I_C}{I_{En}} \quad (3.6)$$

Coeficientul de transfer χ_B este cu atât mai aproape de unitate cu cât grosimea bazei este mai mică. De aceea grosimea bazei a tranzistoarelor se face foarte mică. Coeficientul de transfer și de injecție pot fi calculați, dar nu pot fi măsurați. De aceea ca parametru al tranzistorului este considerat coeficientul de transfer al emitorului. Din parametrii de baza ai tranzistorului îl prezintă coeficientul de transfer după curent în cuplajul respectiv.

$$K_{trans} = I_{ies} / I_{in}$$

$$K_{trans}(BC) = \alpha = I_C / I_E < 1$$

$$K_{trans}(EC) = \beta = I_C / I_B \gg 1 \quad (3.7)$$

$$K_{trans}(CC) = \beta' = I_E / I_B \gg 1$$

Pentru a defini legatura dintre acesti coeficienti folosim legea de aur a curentului prin tranzistor $I_E = I_C + I_B$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{I_C}{I_E - I_C} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \quad (3.8)$$

$$\beta' = \frac{I_E}{I_B} = \frac{I_C + I_B}{I_B} = \beta + 1 \quad (3.9)$$

Coeficientul β reprezintă un parametru de semnal mare. El se determină din raportul curenților colectorului către curenții bazei la aplicarea unei tensiuni inverse la joncțiunea colectorului. În practică mai des se întâlnește noțiunea de coeficientul diferențial de transfer al curenților bazei, care este egal cu raportul dintre creșterea curenților colectorului către creșterea curenților bazei la aplicarea tensiunii inverse la joncțiunea colectorului:

$$\beta_{dif} = \frac{\partial I_C}{\partial I_B}, \text{ la } U_{CE} = \text{const}$$

3. Caracteristicile statice ale tranzistorului bipolar

Caracteristicile statice ale unui tranzistor bipolar se numesc grafice ce reprezintă dependența dintre curenții ce trec prin bornele tranzistorului și tensiunile ce se aplică la aceste borne.

Tranzistorului fiind un dispozitiv cu trei borne, în orice schemă electrică el poate fi conectat în trei moduri diferite: conectare cu baza comună (BC) (fig.4.1), conectare cu emitorul comun (EC) (fig.3.1,b) și cu colectorul comun (CC) (fig.3.1,c).

Fiecare din schemele de conectare ale tranzistorului se caracterizează prin patru familii de caracteristici:

1. $I_{ieș} = f(U_{ieș})$ la $I_{in} = \text{const}$ – *caracteristici de ieșire.*
2. $I_{in} = f(U_{in})$ la $U_{ieș} = \text{const}$ – *caracteristici de intrare.*
3. $I_{ieș} = f(I_{in})$ la $U_{ieș} = \text{const}$ – *caracteristici de transfer al curenților.*
4. $U_{in} = f(U_{ieș})$ la $I_{in} = \text{const}$ – *caracteristici de reacție inversă după tensiune.*

În cataloage de obicei sunt prezentate primele două tipuri de caracteristici (de intrare și de ieșire), căci sunt cele mai importante și utilizabile. În continuare vom analiza aceste caracteristici în dependență de modul de conectare.

3.1 Caracteristicile statice în conexiune BC.

Circuitul cu tranzistorul în baza comună este prezentat în fig.4.1. Atît pentru circuitul de intrare cît și pentru cel de ieșire borna comună este baza. Circuitul de intrare este cel al emitorului, iar circuitul de ieșire – cel al colectorului. Respectiv parametrii de intrare pentru conexiunea BC sunt: curentul emitorului I_E și tensiunea dintre emitor și bază U_{EB} , iar cei de ieșire – curentul colectorului I_C și tensiunea dintre colector și bază U_{CB} .

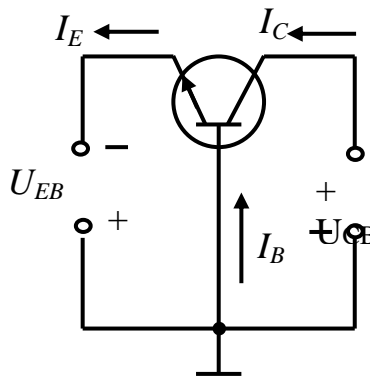


Fig.4.1

Schemă tranzistorului în conexiunea bază comună

Caracteristicile de intrare. Caracteristicile de intrare ale tranzistorului în conexiunea BC sunt grafice ce arată dependența tensiunii dintre emitor și bază de curentul emitorului, cînd tensiunea dintre colector și bază este fixată. Ele sunt arătate în fig.4.2,b. Pentru comoditate variabila I_E se depune pe axa coordonatelor, iar valorile tensiunii U_{EB} – pe axa abscisei. Caracteristica de intrare la $U_{CB} = 0$

este analogică caracteristicii curent-tensiune a diodei: curentul I_E crește exponențial cu creșterea U_{EB} . În cazul valorilor mari ale curenților I_E ¹¹ caracteristicile de intrare sunt aproape liniare. Creșterea temperaturii deplasează caracteristicile de intrare spre axa curenților.

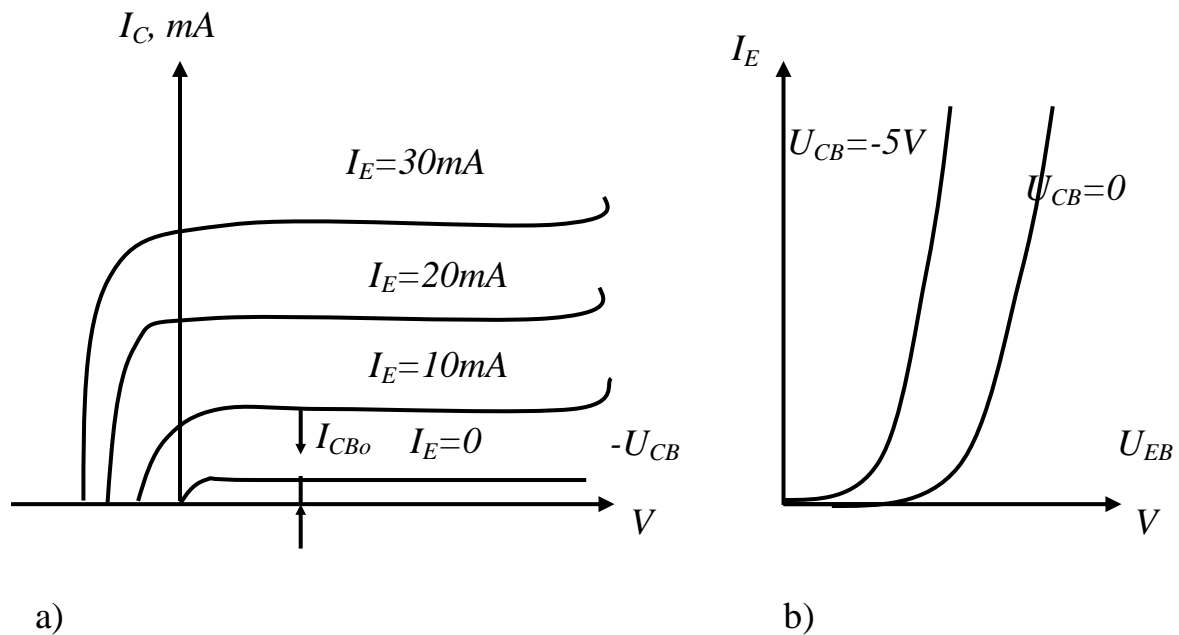


Fig.4.2

Caracteristicile de ieșire (a) și intrare (b) ale tranzistorului
în schema BC

Caracteristicile de ieșire. Familia caracteristicilor de ieșire al tranzistorului în schema BC reprezintă dependența curentului colectorului de tensiunea dintre colector și bază, când valoarea curentului emitorului este constantă. Aceste caracteristici sunt arătate pe fig.4.2,a.

În cazul când curentul $I_E=0$ ($U_{EB}<0$) și tensiunea $U_{CB}<0$ în circuitul colectorului trece curentul I_{Co} care slab depinde de U_{CB} . Regiunea caracteristicilor de ieșire, care corespunde polarizării inverse ale ambelor joncțiuni, este numită regiunea de tăiere.

În cazul cînd curentul $I_E > 0$ ($U_{EB} > 0$) și tensiunea $U_{CB} < 0$ curentul colectorului poate fi calculat conform relației:

12

$$I_C = \alpha I_E + I_{C0} \quad (4.1)$$

Chiar la valorile $U_{CB} = 0$ curentul colectorului I_C poate atinge valori considerabile. Regiunea caracteristicilor de ieșire la conectarea inversă a joncțiunii colectorului și la conectarea directă a joncțiunii emitorului este numită **regiune activă**.

La valori pozitive nu prea mari ale tensiunii U_{CB} caracteristicile de ieșire se curbează brusc, iar regiunea valorilor $U_{CB} > 0$ și $U_{EB} > 0$ poartă denumirea de **regiune de saturație**.

Particularitatea principală a regiunii active a caracteristicilor de ieșire în schema BC este dependența slabă a I_C de tensiunea U_{CB} .

Caracteristicile reale de ieșire ale tranzistoarelor în BC pot fi descrise de formula:

$$I_C = \alpha I_E + I_{C0} + U_{CB}/R_C \quad (4.2)$$

Unde R_C este rezistența colectorului.

3.2 Caracteristicile statice în conexiune EC.

Circuitul cu tranzistorul în conexiune emitor comun este prezentat în fig.4.3. Atît pentru circuitul de intrare cît și pentru cel de ieșire borna comună este emitorul. Circuitul de intrare este cel al bazei, iar circuitul de ieșire – cel al colectorului. Pentru schema cu EC parametrii de intrare sunt curentul bazei I_B și tensiunea dintre bază și emitor U_{BE} , iar parametrii de ieșire – curentul colectorului I_C și tensiunea dintre colector și emitor U_{CE} .

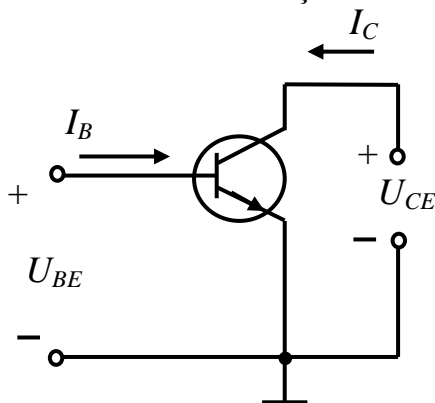


Fig.4.3 Schemă tranzistorului în conexiunea emitor comun

Caracteristicile de intrare. Familia caracteristicilor de intrare în conexiunea EC reprezintă graficile care arată dependența tensiunii dintre bază și emitor de curentul bazei, când tensiunea dintre colector și emitor este fixată $U_{BE} = f(I_B)$ la $U_{CE} = \text{const}$. Această familie este prezentată în fig.4.4, b. Parametrul familiei de caracteristici reprezintă tensiunea dintre colector și emitor.

Caracteristicile de ieșire. Familia de caracteristici de ieșire a tranzistorului în conexiunea EC, care arată dependența curentului colectorului de tensiunea dintre colector și emitor la curentul bazei fixat, adică $I_C = f(U_{CE})$ la $I_B = \text{const}$, este arătată în fig.4.4, a. Parametrul familiei caracteristicilor este curentul bazei (curentul de intrare). Regiunile de început ale caracteristicilor se întâlnesc în originea coordonatelor, deoarece la tensiunea $U_{CE} = 0$ diferența de potențial la joncțiunea colectorului este practic egală cu zero, deci respectiv și curentul colectorului este egal cu zero. În comparație cu caracteristicile de ieșire ale tranzistorului în conectarea BC, cele în conectare EC au un unghi de înclinației mai mare. Aceasta se datorează unei dependenți mai mari a coeficientului de transfer a curentului bazei de tensiunea U_{CE} .

În schema conexiunii EC curentul de intrare este curentul I_B . Deci avem relația:

$$I_C = I_B \beta \quad (4.3)$$

Luând în considerație expresia de mai sus (4.3) vom avea:

$$I_C = \beta I_B + I_{C0} \quad (4.4)$$

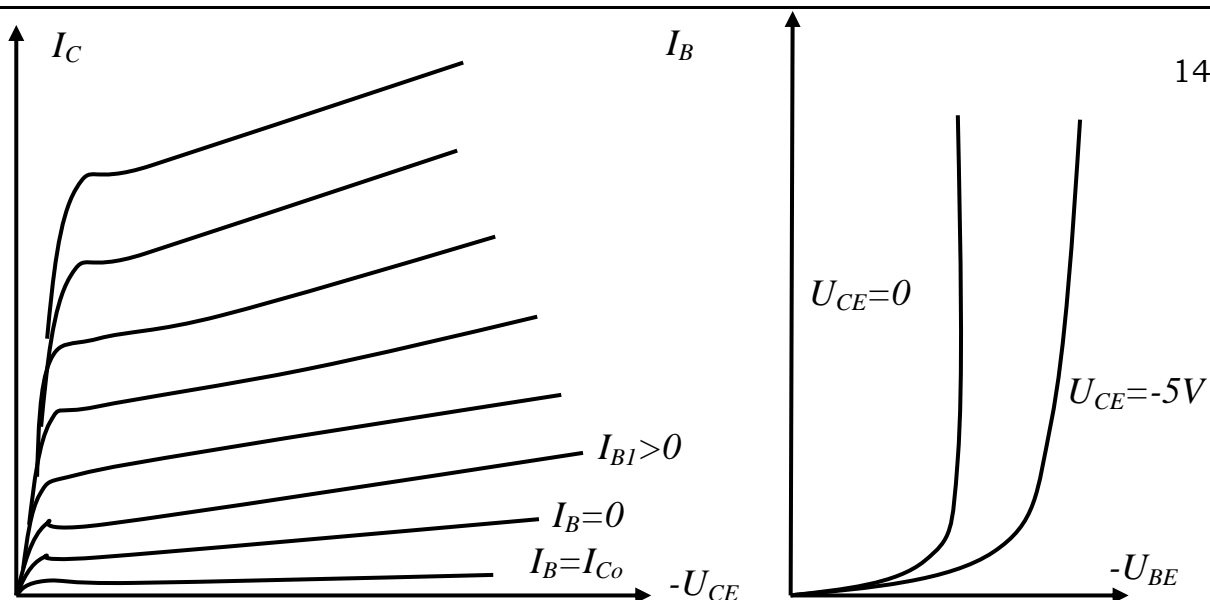


Fig.4.4

Caracteristicile de iesire (a) și intrare (b) a tranzistorului în conexiune EC

Curentul I_{CE0} trece prin circuitul colectorului la circuitul bazei deschis ($I_B = 0$) și reprezintă curentul invers al colectorului în schema EC. Valoarea curentului I_{CE0} poate să atingă dimensiuni destul de considerabile.

Dacă curentul $I_B = -I_{C0}$, atunci valoarea curentului I_C este minim și este egală cu valoarea curentului I_{C0} .

3.3 Cuplarea tranzistorului bipolar n-p-n în CC.

Circuitul cu tranzistorul în conexiune colector comun este prezentat în fig.4.5. Atît pentru circuitul de intrare cît și pentru cel de ieșire borna comună este colectorul. Circuitul de intrare este cel al bazei, iar circuitul de ieșire – cel al emitorului. Pentru schema cu CC parametrii de intrare sunt curentul bazei I_B și tensiunea dintre bază și colector U_{BC} , iar parametrii de ieșire – curentul emitorului I_E și tensiunea dintre emitor și colector U_{EC} .

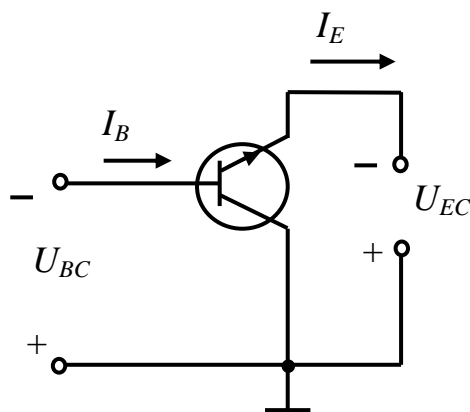


Fig.4.3.1

Schemă tranzistorului în conexiunea emitor comun

Caracteristica principală a conexiunii în colector comun este valoarea rezistenței de intrare foarte joasă. Datorită rezistenței de intrare reduse tranzistorul în conexiunea colector comun este echivalent unui generator de tensiune care se schimbă neesențial la variarea rezistenței de sarcină (bineînțeles până când rezistența de sarcină nu depășește cu mult rezistența de ieșire a generatorului).

4.Schemele echivalente ale tranzistorului bipolar

Frecvență joasă.

Tranzistorul bipolar în funcție de parametrii circuitului în care este conectat are diferite comportări. În acest compartiment vom cerceta tranzistorul la frecvență joasă. Joncțiunea colectorului, cât și joncțiunea emitorului sînt caracterizate prin niște capacități datorate de existența straturilor cu sarcini spațiale în regiunea joncțiunii. Deoarece joncțiunea emitorului este alimentată în sens direct în capacitatea totală a acestei joncțiuni va predomina componenta de difuzie a capacității; invers, pentru joncțiunea colectorului alimentată în sens invers, va predomina capacitatea de barieră C_{cb} . Deși la o joncțiune $p-n$ valoarea capacității de difuzie, în curent alternativ efectul capacității de barieră colectorului (și emitorului) se face simțită pentru frecvențe care nu sunt suficient de joase, astfel încît schema echivalentă a tranzistorului lucrînd la frecvențe joase mai mari de

1000 Hz de exemplu, trebuie să fie completată prin luarea în considerație a acestor capacități și în special prin considerarea capacității colectorului. 16

Capacitatea de difuzie a emitorului C_{BE} a fost reprezentată punctat, subliniindu-se astfel faptul că ea este secundară față de cea a capacității de barieră a colectorului C_{BC} .

Expresiile capacităților joncțiunilor colectorului și emitorului se pot afla prin rezolvarea ecuației Poisson pentru sarcinile spațiale din joncțiunea respectivă. La rândul ei, sarcina spațială poate fi exprimată prin diferite relații în funcție de modul în care sînt distribuite impuritățile în regiunea p și n care formează joncțiunea. În toate cazurile însă, capacitatea joncțiunii va depinde invers proporțional de tensiunea aplicată joncțiunii. Se arată că pentru joncțiuni (deci și tranzistoare)

obținute prin aliere $C \approx \frac{1}{U^2}$ pe când la joncțiunile obținute prin creștere $C \approx \frac{1}{U^3}$.

Pentru tensiuni $U_{C0}=5$ (V), capacitatea colectorului pentru tranzistori obținuți prin aliere, este aproximativ 20-30 pF. Pentru tranzistori obținuți prin creștere, la o tensiune $U_{C0}=5$ (V), capacitatea colectorului este aproximativ 10 pF.

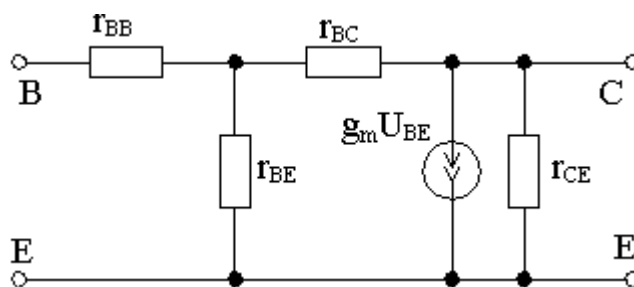


Figura 4.1. Schema echivalentă a tranzistorului la frecvență joasă (la conectarea în emitor comun)

Frecvențe medii.

O deosebire esențială între schemele echivalente ale tranzistorului la frecvență joasă și medie nu este, numai că frecvențe joase mai apare și capacitatea C_{BC} .

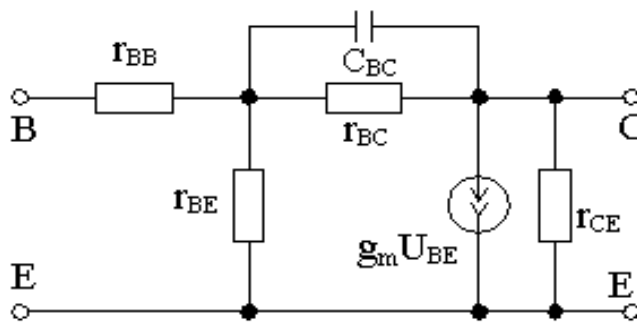


Figura 4.2. Schema echivalentă a tranzistorului
la frecvență medie (la conectarea în emitor comun).

5. Parametrii H ai tranzistoarelor bipolare

Pentru a caracteriza funcționarea tranzistorului ca amplificator, se face apel la **parametrii hibridi (sau parametri „h”)**, care se introduc considerînd tranzistorul un cuadripol.

La intrarea cuadripolului (între baza și emitorul tranzistorului) s-au notat tensiunea și curentul alternativ cu indicele 1, iar la ieșire (între colector și emitor, pentru conexiunea EC) s-a folosit indicele 2, conform fig.6.1, unde R_s este rezistența de sarcină.

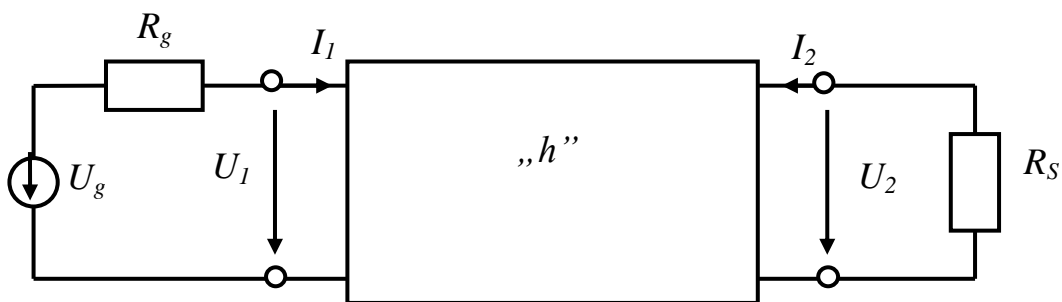


Fig.6.1
Cuadripol descris cu parametrii „h”

Alegînd în calitate de variabile independente curentul de intrare și tensiunea de ieșire, iar în calitate de mărimi dependente – tensiunea de intrare și curentul de ieșire, se poate de obținut ecuațiile cuadripolului în sistemul de parametrii h-.

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_1 &= h_{11}\Delta I_1 + h_{12}\Delta U_2 \\ \Delta I_2 &= h_{21}\Delta I_1 + h_{22}\Delta U_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

18

Coeficienții h_{11} , h_{12} , h_{21} , h_{22} reflectă proprietățile electrice ale tranzistoarelor în relațiile cu semnale mici de frecvență joasă în punctul static de funcționare ales și se numesc parametrii h . Ei pot fi ușor determinați, asigurând regimul de scurtcircuit după curent alternativ la ieșire ($\Delta U_2 = 0$) și regimul de mers în gol la intrare ($\Delta I_1 = 0$).

- Rezistența de intrare când la ieșire avem scurtcircuit:

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \right|_{\Delta U_2=0}$$

- Coeficientul de transfer după tensiune când la intrare avem mers în gol:

$$h_{12} = \left. \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \right|_{\Delta I_1=0}$$

- Coeficientul de transfer după curent când la ieșire asigurăm regim de scurtcircuit:

$$h_{21} = \left. \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} \right|_{\Delta U_2=0}$$

- Conductibilitatea de ieșire când la intrare avem mers în gol:

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} \right|_{\Delta I_1=0}$$

Parametrii menționați mai sus se măsoară în:

- h_{11} – [Ω]
- h_{12} – [adimensional]
- h_{21} – [adimensional]
- h_{22} – [S]

La ridicarea parametrilor h asigurăm regimul de funcționare după curent continuu, iar parametrii h se măsoară după curent alternativ la valori ale semnalului reduse. Parametrii h pot fi determinați din caracteristicile statice.

Legătura dintre parametrii „ h ” și parametrii echivalenți.

Pentru a arăta legătura dintre parametrii „ h ” și cei echivalenți vom prezenta schema echivalentă tranzistorului bipolar (fig.6.2).

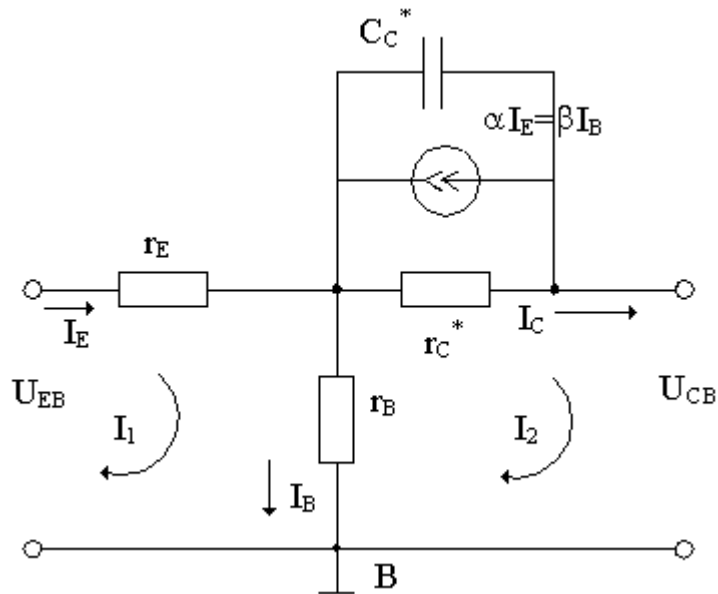


Fig.6.2

Schema echivalentă de conectare în bază comună.

Bază comună:

$$h_{11B} = r_E + r_B(1 - \alpha)$$

$$h_{21B} \approx \alpha$$

$$h_{12B} \approx \frac{r_B}{r_C}$$

$$h_{22B} \approx \frac{1}{r_C}$$

Emitor comun:

$$h_{11E} = r_B + r_E(\beta + 1)$$

$$h_{21E} \approx \beta + 1 = \beta^*$$

$$h_{12E} \approx \beta^* \cdot \frac{r_E}{r_C}$$

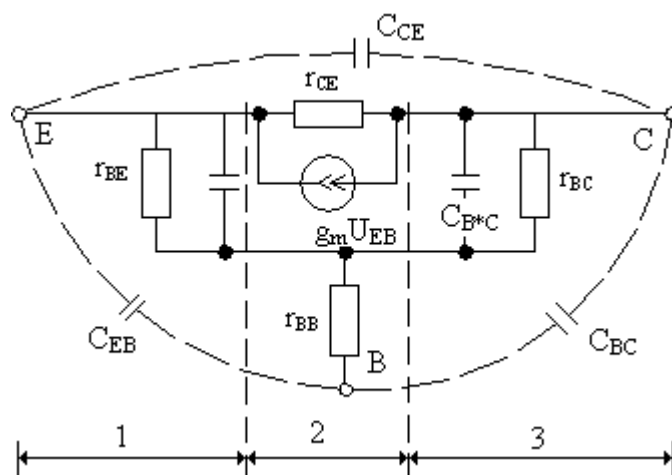
$$h_{22E} \approx \frac{\beta^*}{r_C}$$

Sistemul de parametrii h este hibrid: unii parametrii h se măsoară în regim de mers în gol la intrare, iar alții – în regim de scurtcircuit la ieșire.

Parametrii tranzistorului ca cuadripol depind de alegerea punctului static de funcționare (după curent continuu), temperatură, frecvență și schema de conectare.

Parametrii h necesari pentru calcule practice se pot obține prin metoda grafico-analitică după caracteristicile statice de intrare și ieșire. Pentru

6.Functionarea tranzistorului bipolar la frecvente înalte.



**Figura 10. Circuitul echivalent Giacioletto.
(conexiune bază comună).**

În figura 10. este reprezentată schema circuitului echivalent Giacioletto, pentru un tranzistor montat în conexiunea **BC**.

Distingem trei regiuni: regiunea 1 corespunde joncțiunii emitor-bază, care fiind direct polarizată poate fi echivalentă cu o rezistență r_{BE} , de câteva sute de Ω în paralel cu o capacitate C_{BE} , de ordinul a sute de pF (capacitate de difuzie).

Regiunea 2 modelează fenomenul de transport al purtătorilor prin bază, cu ajutorul generatorului de curent $g_m U_{EB}$ și al rezistenței r_{CE} (de ordinul a zeci de $k\Omega$), ce corespunde difuziei purtătorilor de la emitor spre colector. Totodată, rezistența r_{BB} este rezistența extrinsecă a bazei (baza inactivă) și este în jur de **100 Ω**

Regiunea 3 reprezintă joncțiunea colector-bază (invers polarizată), care se înlocuiește cu o rezistență r_{BC} de valoare mare (de ordinul **1M Ω**) și cu capacitatea C_{BC} de ordinul a câțiva pF (capacitatea debarieră).

Punctul B corespunde regiunii active a bazei și este logic ca generatorul de curent să depindă doar de căderea de tensiune dintre emitor și baza activă (U_{EB}).

Coeficientul de proporționalitate g_m se numește panta tranzistorului și se definește ca raportul dintre creșterea înfinitesimală a curentului de colector și creșterea înfinitesimală a tensiunii bază-emitor care o generează, celelalte mărimi fiind constante.

Așadar:

$$g_m = \frac{\partial I_C}{\partial U_{BE}} = \frac{e}{kT} \cdot I_C$$

și se poate demonstra că:

$$g_m r_{BE} = h_{21B}$$

În fine, pentru ca circuitul să fie complet s-au mai figurat și capacitățile parazite dintre terminale (care sunt exterioare capsulei), și anume C_{EC} , C_{BC} și C_{EB} . Acestea sunt de ordinul a **1- 4 pF**, deci intervin în calcul doar la frecvențe foarte înalte și din acest motiv de cele mai multe ori se pot neglija. De menționat că exceptând r_{CB} și r_{EB} care o variație mică, ceilalți parametri ai circuitului Giacoletto propriu-zis depind puternic de punctul de funcționare static (de exemplu r_{CB} scade cu I_C , iar C_{BE} crește cu I_C).

7. Funcționarea tranzistorului bipolar în regim de comutație(impuls)

Tranzistorul bipolar pe larg se utilizează în dispozitive electrice în calitate de cheie electronică. Funcția cheii este comutarea și decomutarea circuitului electric. Datorită particularităților sale electrice, adică datorită rezistenței mici în starea deschisă și rezistenței mari în starea închisă, tranzistorul bipolar satisface pe deplin cerințele înaintate elementelor de cheie.

Tranzistoarele bipolare care sunt destinate pentru lucrul în regim de cheie electronică se numesc tranzistoare cheie.

În continuare vom prezenta o schemă electrică a unui circuit de comutare și o vom analiza. Această schemă este prezentată în fig.8.1. În cadrul ei distingem: un tranzistor, conectat în conexiunea emitor comun, și două rezistoare R_1 și R_2 , care sunt amplasate în circuitul bazei și respectiv a

colectorului. În circuitul colectorului este conectată o sursă de tensiune continuă E_C .

22

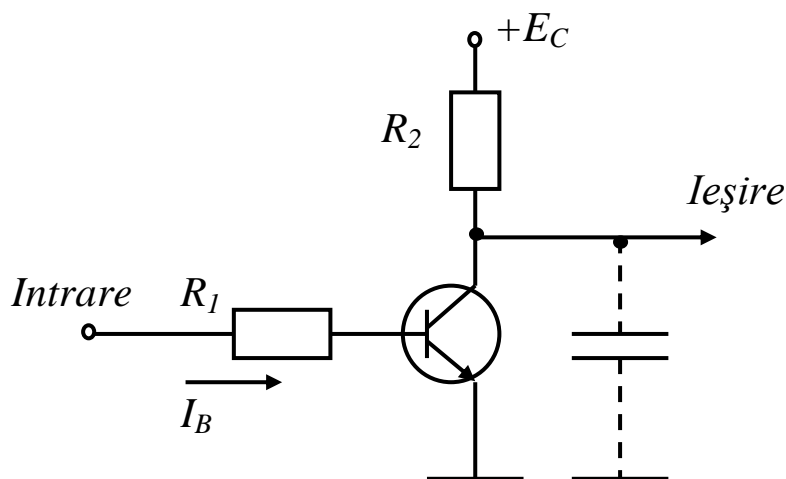


Fig.8.1

Precum am menționat tranzistorul poate să se afle în două stări: deschisă și închisă. Dacă la intrare aplicăm tensiune negativă continuă, atunci tranzistorul se va afla în **regim de tăiere**, curentul colectorului ce curege prin rezistorul R_2 , este practic egal cu zero, iar tensiunea la ieșire este egală cu tensiunea sursei de alimentare E_C , ceea ce corespunde **stării închise a cheii electronice**. Dacă, însă la intrare aplicăm o tensiune pozitivă destul de mare E_{B1} , atunci prin circuitul bazei va curge un curent egal cu:

$$I_{B1} = \frac{E_{B1} - U_{BE}}{R_1},$$

unde U_{BE} este tensiunea directă dintre bază și emitor. În același timp în circuitul colectorului va curge un curent I_C , care creează cădere de tensiune pe rezistorul R_2 . Tensiunea la ieșire va scădea cu valoarea $R_2 I_C$, ceea ce corespunde **stării deschise a cheii electronice**.

Tensiunea de ieșire în starea deschisă a cheii electronice poate fi determinată dacă vom construi caracteristica de ieșire $I_C (U_{CE})$ la $I_B = I_{B1}$, ce este arătată în fig.8.2. și vom trasa dreapta de sarcină, ce corespunde rezistorului R_2 . De obicei, este necesar ca tensiunea $U_{ieș}$ să fie cât mai mică și slab să depindă de tensiunea de intrare și rezistența R_2 . Aceste cerințe sunt satisfăcute dacă punctul de lucru A se află în regiunea curbată a caracteristicii tranzistorului, ceea ce corespunde regimului de saturație. Atunci:

$$U_{ieș} = U_{CEsat}$$

Unde U_{CEsat} este tensiunea de saturație. De asemenea este nevoie de ²³ existența condițiilor de regim de saturație, adică:

$$I_{B1} > \frac{I_{Csat}}{\beta},$$

unde I_{Csat} este curentul colectorului în regim de saturație la $I_{Csat} = \frac{E_C}{R_C}$.

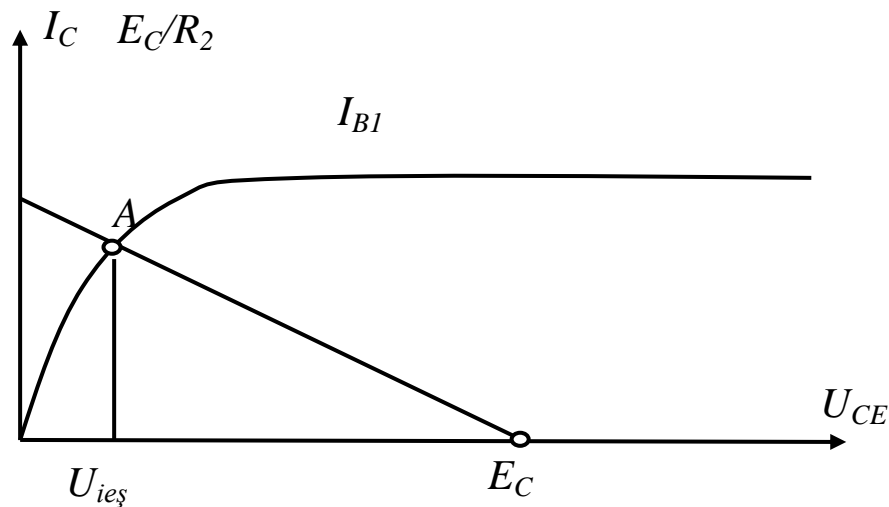


Fig.8.2

Procese de trecere la comutarea tranzistorului.

Sarcina de dezechilibru. La utilizarea practică a tranzistoarelor o mare importanță are viteza de comutare, ce condiționează și viteza aparaturii în care se folosește. Viteza de comutare este condiționată de procesele de acumulare și împrăștiere a sarcinii în baza și colectorul tranzistorului, în joncțiunile emitorului și colectorului.

Pe fig.8.3, a sunt arătate distribuția sarcinii în regim de tăiere a tranzistorului. În joncțiunile emitorului și colectorului se găsesc sarcini necompensate ale atomilor de impurități ionizați – donori și acceptori; sarcina de dezechilibru al regimului de tăiere în bază $Q_{tăiere}$ poate fi considerată egală cu zero.

La trecerea în regim de saturație joncțiunea emitorului se deschide, grosimea joncțiunii și sarcina lui necompensată scade, are loc un fel de²⁴ descărcare a capacității joncțiunii emitorului. Ca rezultat al căderii tensiunii pe sarcina R_2 (vezi fig.8.1) scade tensiunea colectorului, deci se micșorează grosimea grosimea joncțiunii colectorului și a sarcinii în el, adică are loc descărcarea capacității joncțiunii colectorului, se deschide joncțiunea colectorului și în regiunea bazei pe bază injectării electronilor din joncțiunile colectorului și emitorului se acumulează sarcină de dezechilibru de saturație Q_{sat} (vezi fig.8.3,b).

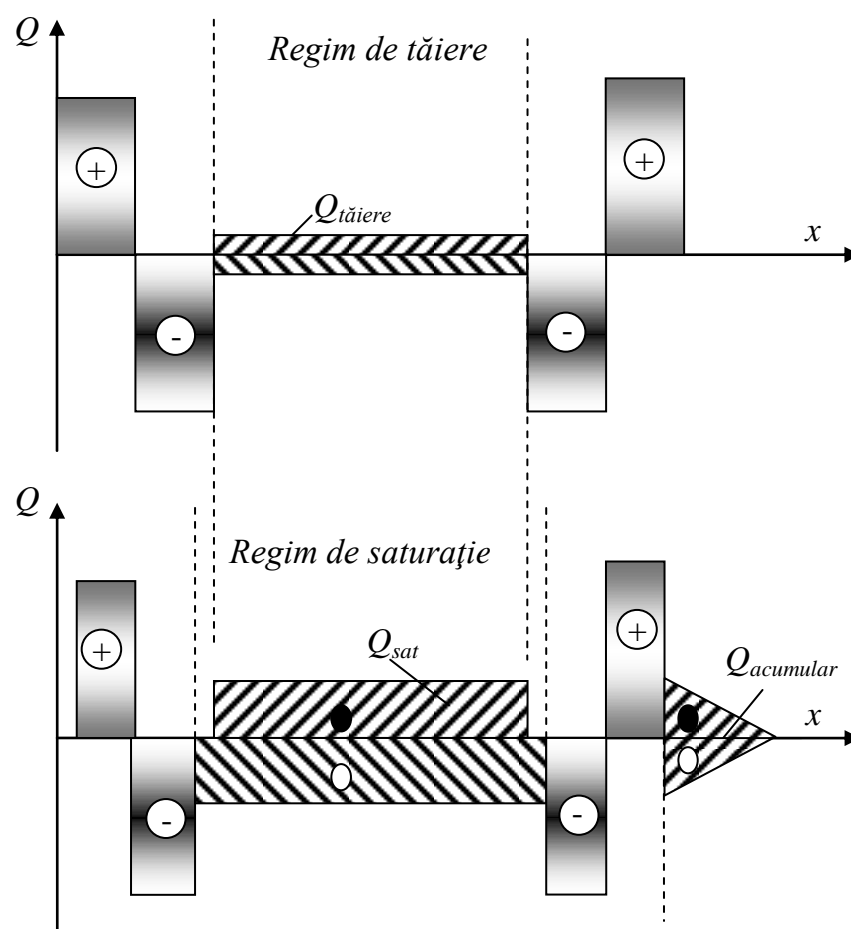
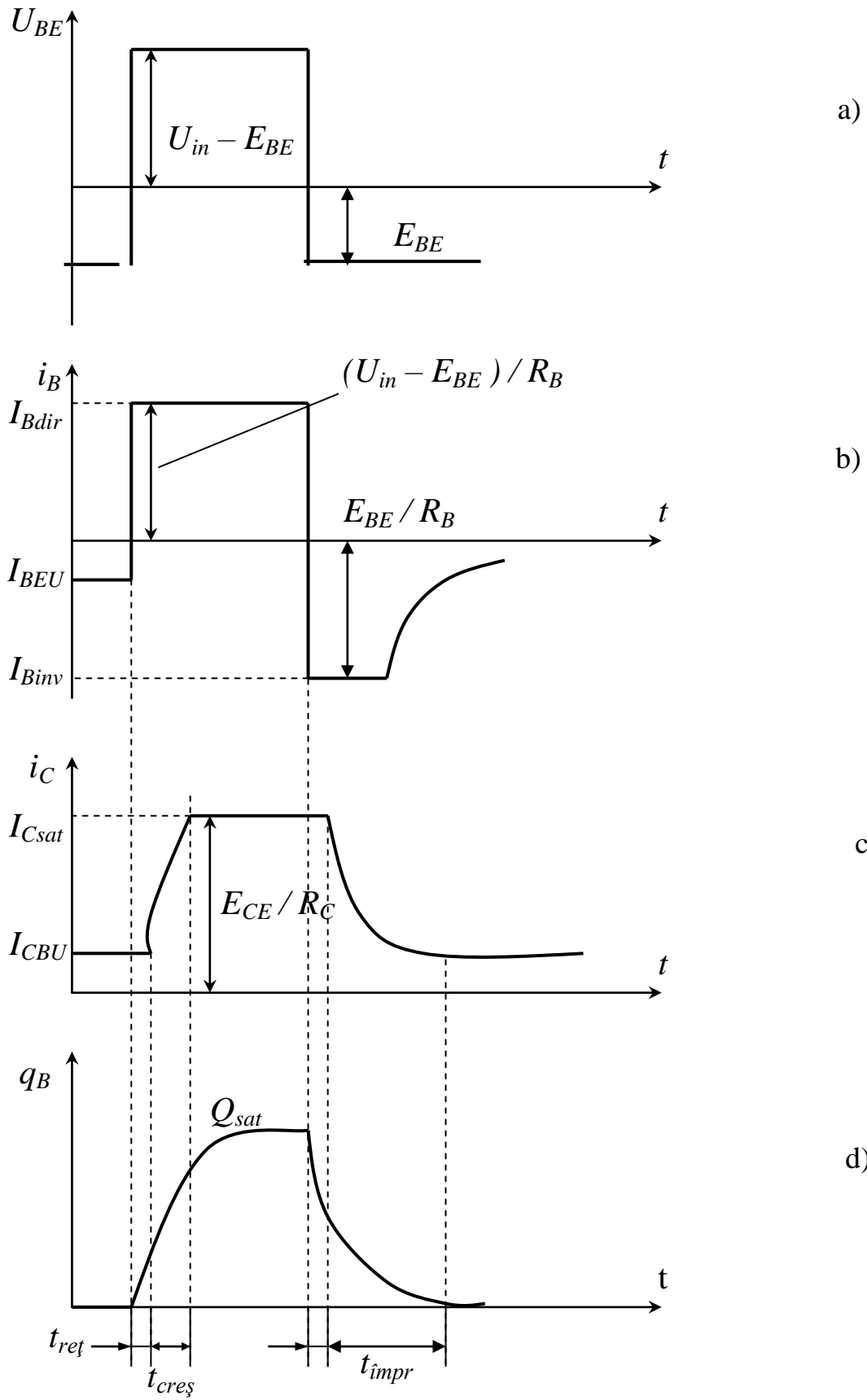


Fig.8.3

Graficele tensiunilor și curenților tranzistorului în regim de comutare. În regimul de comutare tensiunile și curenții atât de intrare cât și de ieșire vor avea o anumită formă. În continuare vom analiza aceste forme, reprezentându-le pe graficele din fig.8.4.



La intrare se aplică un impuls de tensiune directă U_{in} , în același timp tensiunea bazei este egală cu $U_{in} - E_{BE}$, ea este depusă pe fig.8.4,a cu săgeata²⁶ în sus. Tensiunea inversă, egală cu E_{BE} este arătată tot în această figură, dar cu sensul invers (săgeata în jos).

Graficul curentului de intrare este arătat pe fig.8.4, b. Mărimea impulsului curentului direct al bazei I_{Bdir} se determină de rezistorul R_I care se alege de o valoare puțin mai mare decât rezistența joncțiunii emitorului:

$$I_{Bdir} \approx \frac{U_{in} - E_{BE}}{R_I}.$$

După comutarea joncțiunii emitorului în direcția inversă curentul joncțiunii, ca și în diodă, are la început o valoare mare, limitată doar de rezistența R_B .

$$I_{Binv} = \frac{E_{BE}}{R_I}.$$

Pe parcursul împrăstierii sarcinii, rezistența inversă a joncțiunii emitorului crește și curentul bazei tinde la valoarea I_{BEU} .

La forma dreptunghiulară a impulsului curentului de intrare i_B impulsul curentului de ieșire i_C (vezi fig.8.4, c) apare cu o reținere în timp t_{ret} , care se determină în mare parte de viteza de creștere tensiunii joncțiunii emitorului, care depinde de capacitatea joncțiunii și de curentul direct al bazei.

După ce tranzistorul va trece din regimul de tăiere în regim activ, curentul colectorului începe permanent să crească, atingând valoarea determinată în timpul $t_{creștere}$. Acest timp este determinat de viteza de acumulare a sarcinii în bază și viteza descărcării capacității colectorului. În așa fel, timpul total de comutare al tranzistorului constă din timpul de reținere și timpul de creștere:

$$t_{com} = t_{ret} + t_{creș}.$$

Practic acest timp poate avea valori de la câteva nanosecunde pînă la câteva microsecunde.

Procesul de acumulare și împrăstiere a sarcinii bazei q_B la comutarea tranzistorului este arătat în fig.8.4, d. Acumularea sarcinii în bază se începe după timpul de reținere t_{ret} , și sarcina în timpul $t_{creștere}$ atinge valoarea $q_B = Q_{activ}$.

În continuare ca rezulta al scăderii tensiunii colectorului, joncțiunea colectorului se deschide și se începe injectarea sarcinilor în bază. Sarcina bazei²⁷ din nou crește, atingând valoarea impulsului de intrare $q_B = Q_{sat}$.

8. Modelul matematic al tranzistorului bipolar.

Pentru a obține modelul matematic al tranzistorului se utilizează schema prezentată în fig. 1. Fiecare joncțiune este prezentată în formă de o diodă simplă, iar interacțiunea dinre ele este reprezentată prin două generatoare de curent. Dacă joncțiunea emitorului este deschisă atunci în circuitul colectorului va curge un curent, puțin mai mic ca curentul emitorului (din cauza procesului de recombinare în bază). Acest curent este obținut de către generatorul de curent $\alpha_N I_1$ ($\alpha_N < 1$). Indicele N reprezintă conectarea normală sau directă. Deoarece în caz general tranzistorul poate fi conectat și indirect, la care joncțiunea colectorului este deschisă iar cea a emitorului este închisă, astfel rezultă că curentului colector I_2 îi corespunde curentul emitorului $\alpha_I I_2$, în schema echivalentă este introdus al doilea generator de curent $\alpha_I I_2$, unde α_I - coeficientul de transfer al curentului emitorului.

În așa fel curenții emitor și colector în caz general conțin două componente: cea injectată (I_1 sau I_2) și cea colectată ($\alpha_I I_2$ sau $\alpha_N I_1$):

$$I_E = I_1 - \alpha_I I_2, \quad I_C = \alpha_N I_1 - I_2. \quad (1)$$

Joncțiunile emitor și colector sunt analogice joncțiunii p-n a diodei. La conectarea aparte a joncțiunilor tranzistorului atunci caracteristica Volt-Amper se determină la fel ca în cazul diodei. Însă dacă la una din joncțiuni se aplică o tensiune, iar ieșirea cealeilalte joncțiune se scurtcircuitează, atunci curentul, care trece prin joncțiunea p-n, la care a fost aplicată tensiunea, se mărește din cauza schimbării concentrației purtătorilor minoritari de sarcină în bază.

$$I_1 = I'_{ET} \left(e^{U_{EB} / \varphi_T} - 1 \right); \quad I_2 = I'_{CT} \left(e^{U_{CT} / \varphi_T} - 1 \right), \quad (2)$$

unde I'_{ET} - curentul termic al joncțiunii emitorului măsurat la scurtcircuitarea electrozilor bazei și colectorului; I'_{CT} - curentul termic al joncțiunii colectorului măsurat la scurtcircuitarea electrozilor bazei și emitorului. 28

Legătura dintre curenții termici a joncțiunilor I_{CT}, I_{ET} , conectați aparte, și curenții termici a joncțiunilor I'_{CT}, I_{ET} o primim din relațiile (1) și (2). Să presupunem că $I_E = 0$, atunci $I_I = \alpha_I I_2$. Când $|-U_{CB}| \ll \varphi_T$ $I_2 = -I'_{CT}$. Substituim aceste relații în (1) și obținem pentru curentul colectorului următoarea ecuație $I'_{CT} = I_{CT} / (1 - \alpha_N \alpha_I)$.

Respectiv pentru I'_{ET} avem $I'_{ET} = I_{ET} / (1 - \alpha_N \alpha_I)$

Luând în considerație relația (2) vom avea următoarele relații pentru curenții colector și emitor:

$$\begin{aligned} I_E &= I'_{ET} (e^{U_{EB}/\varphi_T} - 1) - \alpha_I I'_{CT} (e^{U_{CT}/\varphi_T} - 1); \\ I_C &= \alpha_N I'_{ET} (e^{U_{EB}/\varphi_T} - 1) - I'_{CT} (e^{U_{CT}/\varphi_T} - 1); \end{aligned} \quad (3)$$

Pe baza legii lui Kirghoff curentul bazei este:

$$I_B = I_E - I_C = (1 - \alpha_N) I'_{ET} (e^{U_{EB}/\varphi_T} - 1) + (1 - \alpha_I) I'_{CT} (e^{U_{CB}/\varphi_T} - 1) \quad (4)$$

La utilizarea relațiilor (1)-(4) trebuie de reținut că în tranzistoare la general este valabilă relația:

$$\alpha_N I_{ET} = \alpha_I I_{CT}. \quad (5)$$

Rezolvînd ecuația (3) în raport cu I_C , vom boține:

$$I_C \alpha_N I_E - I_{CE} (e^{U_{CB}/\varphi_T} - 1). \quad (6)$$

Această ecuație descrie **caracteristicile de ieșire ale tranzistoarelor**.

Dacă ecuația (3) se rezolvă în raport cu U_{EB} atunci se obține relația care reprezintă caracteristicile idealizate de ieșire ale tranzistorului:

$$U_{EB} = \varphi_T I_E \left[I_E / I'_{ET} + 1 + \alpha_N (e^{U_{CT}/\varphi_T} - 1) \right] \quad (7)$$

În tranzistorul real în afară de curenții termici ale joncțiunilor mai sunt și curenții de generare-recombinare, curenți de canal și de scurgere. Deaceia $I_{CT}, I'_{CT}, I_{ET}, I'_{ET}$ de regulă sunt necunoscute.

Dacă joncțiunea p-n este polarizată indirect atunci curentul termic poate fi înlocuit cu curentul de scurgere, adică putem considera că $I_{CT} \approx I_{CB0}$ și $I_{ET} \approx I_{EB0}$. Prima aproximare poate fi utilizată și la polarizarea directă. Cu toate acestea la tranzistorii de siliciu ϕ_T trebuie substituit prin $m\phi_T$, unde coeficientul m reprezintă influența curenților asupra unei joncțiuni reale ($m = 2 \div 4$). Utilizând aceasta, relațiile (3) și (5) adesea se scriu în altă formă care este mai comodă la calcularea parametrilor circuitelor cu tranzistori reali:

$$I_C = \frac{I}{A} [\alpha_N I_{EB0} (e^{U_{EB}/m\phi_T} - 1) - I_{CB0} (e^{U_{CB}/m\phi_T} - 1)]; \quad (8)$$

$$I_E = \frac{I}{A} [I_{EB0} (e^{U_{EB}/m\phi_T} - 1) - \alpha_I I_{CB0} (e^{U_{CB}/m\phi_T} - 1)]; \quad (9)$$

$$\alpha_N I_{EB0} = \alpha_I I_{CB0} \quad (10)$$

unde $A = 1 - \alpha_N \alpha_I$.

Se deosebesc trei regime de bază de funcționare a tranzistorilor bipolari: activ, de blocare și de saturație.

În regimul activ una din joncțiunile tranzistorului este polarizată direct datorită tensiunii aplicate din exterior, iar cealaltă este polarizată indirect. Astfel în regim de polarizare normală activă emitorului este polarizat direct iar tensiunea U_{EB} din relațiile (3) și (8) are semnul „+”. Joncțiunea colectorului este polarizată indirect respectiv tensiunea U_{CB} în relația (3) are semnul „-”. La conecatarea inversoare a tranzistorului în ecuațiile (3) și (8) tensiunea U_{EB} și U_{CB} trebuie să aibă polaritate opusă. Deosebirea dintre regimul inversor și cel activ are numai caracter cantitativ.

Pentru regimul activ, când $|-U_{CB}| \ll \phi_T$ și $I_{CT} \approx I_{CB0}$ relația (6) o vom scrie în forma următoare $I_C = \alpha_N I_E + I_{KB0}$, care corespunde absolut cu relația (1) din punctul anterior.

Luând în considerație că de obicei $\alpha_N \approx 0,9 \div 0,995$ și $(1 - \alpha_N) \approx 0$ ecuația (7) poate fi simplificată:

$$U_{EB} \approx \phi_T \ln I_E / I'_{ET} \approx \phi_T \ln [I_E (1 - \alpha_N \alpha_I)] / I_{EB0} \quad (11)$$

În acest mod, într-un tranzistor ideal curentul colector și tensiunea emitor-bază la o anumită valoare a curentului I_E nu depind de tensiunea aplicată la joncțiunea colector. În realitate la modificarea tensiunii U_{CB} se modifică lărgimea bazei, din cauza schimbării dimensiunilor joncțiunii colector și respectiv se modifică gradientul concentrației purtătorilor minoritari de sarcină. Astfel la mărirea $|U_{CB}|$ are loc micșorarea bazei, gradientul concentrației golurilor în bază și curentul I_E se măresc. În afară de aceasta, se reduce probabilitatea de recombinare a golurilor și se mărește coeficientul α . Pentru menționarea acestui efect, care apare mai pronunțat în regimul activ, în relația (11) se adaugă încă un termen:

$$I_C = \alpha_N I_E + I_{CB0} + U_{CB}/r_{C dif} \quad (12)$$

unde $r_{C dif} = \left. \frac{\partial U_{CB}}{\partial I_C} \right|_{I_E = const}$ - rezistența diferențială a joncțiunii colectorului blocată.

Ațiunea tensiunii U_{CB} asupra curentului I_E se observă cu ajutorul coeficientului de reacție negativă în tensiune:

$$\mu_{CE} = - \left. \frac{dU_{EB}}{dU_{CB}} \right|_{I_E = const}, \quad (13)$$

care arată de câte ori trebuie schimbată tensiunea U_{CB} pentru primirea aceleiași schimbări a curentului I_E . Semnul minus arată că pentru menținerea curentului $I_E = const$ creșterea tensiunii trebuie să aibă polaritate opusă. Coeficientul μ_{CE} este destul de mic ($\mu_{CE} = 10^{-4} \div 10^{-5}$), deaceia la calcule practice de obicei se exclude influența tensiunii colectorului asupra cea a emitorului.

În regim de blocare ambele joncțiuni sunt polarizate indirect de către tensiunile aplicate din exterior. Modulul tensiunilor trebuie să întrecă valoarea $(3 \div 5)m\varphi_T$. Dacă aceste tensiuni vor fi mai mici atunci tranzistorul va rămîne în regim de blocare. Însă curenții electrozilor vor fi mai mari, ca în regim de blocare puternică.

Ținînd cont, că tensiunea U_{CB} și U_{EB} au semn negativ, și avînd în vedere că $|U_{EB}| > 3m\varphi_T$ și $|U_{CB}| > 3m\varphi_T$, relația (8) devine:

$$I_C = (I/A)[- \alpha_N I_{EB0} + I_{CB0}] \quad (14)_{31}$$

$$I_E = (I/A)[- I_{EB0} + \alpha_I I_{CB0}]$$

Substituind în (14) valoarea I_{EB0} , găsită din (9), și înlocuind A prin valoarea sa, obținem:

$$\begin{aligned} I_C &= I_{CB0} \frac{1 - \alpha_I}{1 - \alpha_N \alpha_I}, \\ I_E &= -I_{CB0} \frac{\alpha_I (1 - \alpha_N)}{\alpha_N (1 - \alpha_N \alpha_I)}. \end{aligned} \quad (15)$$

Dacă ținem cont de faptul că $\alpha_N \rightarrow 1$ iar $\alpha_I \ll \alpha_N$ atunci expresia (15) se va simplifica esențial și va avea forma:

$$\begin{aligned} I_C &= I_{CB0}, \\ I_E &= -\frac{\beta_I}{\beta_N} I_{CB0} \end{aligned} \quad (16)$$

unde $\beta_N = \frac{\alpha_N}{1 - \alpha_N}$; $\beta_I = \frac{\alpha_I}{1 - \alpha_I}$.

Din (16) se vede că în regimul de blocare curentul colector are valoarea minimă care este egală cu curentul unei monojoncțiuni polarizate indirect. Curentul emitorului are semn opus și esențial mai mic ca curentul colector, așa cum $\alpha_I \ll \alpha_N$. Deaceea în multe cazuri el se consideră egal cu zero.

Curentul bazei în regim de blocare aproximativ este egal cu curentul colector:

$$I_B = I_E - I_C \approx -I_{CB0}. \quad (17)$$

Acest regim caracterizează starea de blocare a tranzistorului, în care rezistența sa este maximă, iar curenții electrozilor sunt minimi. Regimul este utilizat în dispozitivele de impulsuri, unde tranzistorii funcționează în regim de cheie electronică.

În regim de saturație ambele joncțiuni ale tranzistorului sunt polarizate direct datorită tensiunii aplicate din exterior. Astfel căderea de tensiune pe tranzistor (U_{CE}) este minimă iar valoarea lui este de zeci de milivolți. Regimul de saturație apare atunci când curentul colector al tranzistorului este limitat de către parametrii

sursei de alimentare și de schema în care este amplasat, unde el nu întrece o valoare maximă I_{Cmax} . În același timp parametrii semnalului de intrare luat astfel³² încât curentul emitorului este esențial mai mare ca valoarea curentului din rețeaua colectorului: $I_{Cmax} < \alpha_N I_E$.

Atunci joncțiunea colectorului este deschis, căderea de tensiune pe tranzistor este minimală și nu depinde de curentul emitorului. Mărimea ei la conectare normală pentru un curent mic I_C ($I_C = I_{CB0}$) este egală cu:

$$U_{CEsat} \approx \varphi_T \frac{1 - \alpha_I}{\alpha_I} . \quad (18)$$

Pentru conectarea inversoare:

$$U_{CEsat} \approx \varphi_T \frac{1 - \alpha_N}{\alpha_N} \quad (19)$$

În regim de saturație ecuația (12) devine falsă. Deoarece pentru trecerea tranzistorului din regimul activ în regimul de saturație este necesar de mărit curentul emitorului (la conectare normală) în așa mod încât să se îndeplinească condiția $I_{Cmax} < \alpha_N I_E$. Iar valoarea curentului I_E , la care se începe acest regim, depinde de curentul I_{Cmax} care este determinat de parametrii circuitului în care este amplasat tranzistorul.

9.Parametrii de bază ai tranzistorului KT 3102

Parametrii electrici ai tranzistorului KT 3102:

Coeficientul de transfer al curentului “ h_{21} ”:

KT 3102A.....	100-250
KT 3102Б.....	200-500
KT 3102В.....	200-500
KT 3102Г.....	400-1000
KT 3102Д.....	200-500
KT 3102Е.....	400-1000

Capacitatea joncțiunii colectorului “ C_c ”6 (pF)

Constanta de timp a circuitului legăturii inverse “ τ ”100 (psec)

Curentul invers “ $I_{CB0}(I_{CE0})$ ”, in μA :

KT 3102A.....	0.05(10)
KT 3102Б.....	0.05(10)
KT 3102B.....	0.015(10)
KT 3102Г.....	0.015(10)
KT 3102Д.....	0.015(10)
KT 3102E.....	0.015(10)

Caracteristicile de exploatare limită

Tensiunea constantă colector – bază “ U_{CB} ”, in V:

KT 3102A.....	50
KT 3102Б.....	50
KT 3102B.....	30
KT 3102Г.....	20
KT 3102Д.....	30
KT 3102E.....	20

Tensiunea constantă colector – emitor “ U_{CE} ”, in V:

KT 3102A.....	50
KT 3102Б.....	50
KT 3102B.....	30
KT 3102Г.....	20
KT 3102Д.....	30
KT 3102E.....	20

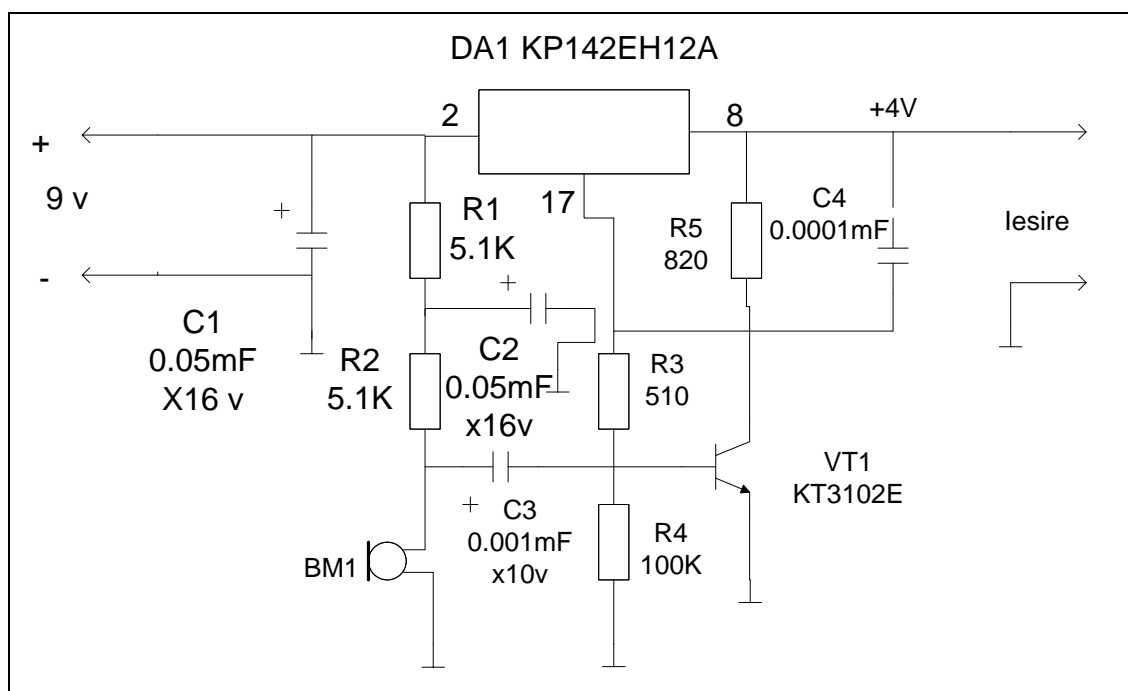
Tensiunea constantă emitor – bază “ U_{EB} ”.....5(V)

Curentul colectorului “ I_C ”.....100(200), mA

Puterea constantă disipată “ P_C ”.....250(mW)

10.Utilizarea tranzistorului bipolar KT 3102 în scheme electronice.

Curentul prin borna de conducere a microschemei este stabil, deoarece unirea la el a etajului pe tranzistor ne va permite sa obtinem un amplificator de tensiune cu un coeficient inalt de amplificare. Astfel se va reusi construirea unui modulator simplu pentru o mica statie radio AM. Amplificarea lui e asa, incit la folosirea microfonului BM1 de sensibilitate medie amplitudinea tensiunii de iesire a microschemei va constitui citiva volti. Dar aceasta este de ajuns pentru modularea etajului de iesire a emitatorului. Selectind rezistorul R3 se stabileste la iesirea microschemei tensiune constanta, egala cu jumatate din tensiunea de alimentare. Tranzistorul trebuie sa aiba coeficientul de transfer dupa curent $h_{21} > 200$.

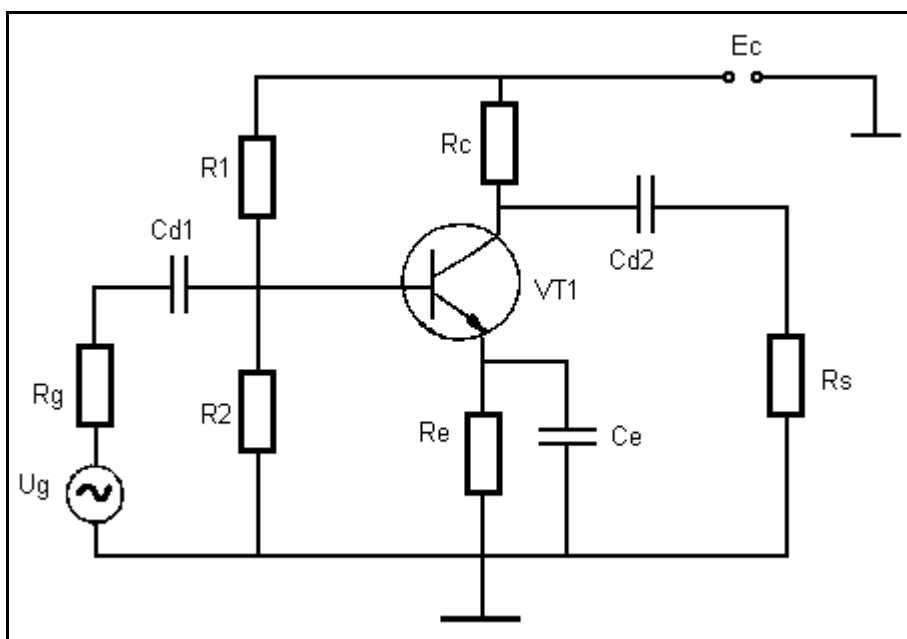


11. Proiectarea unui amplificator de audiofrecventa cu si fara transformator

a) Sa se proiecteze un etaj de amplificare in audiofrecventa cu tranzistor bipolar. Sa se lamureasca destinarea fiecarui element al schemei in parte si principiul de functionare al amplificatorului. Datele initiale pentru proiectare sunt indicate in tabelul 1.

Tabel1

Varianta	$U_{ies.max}$	$R_s, \text{ Ohm}$	$F_j, \text{ Hz}$	M_j	$E_c, \text{ V}$
14	3.4	600	150	1.15	12

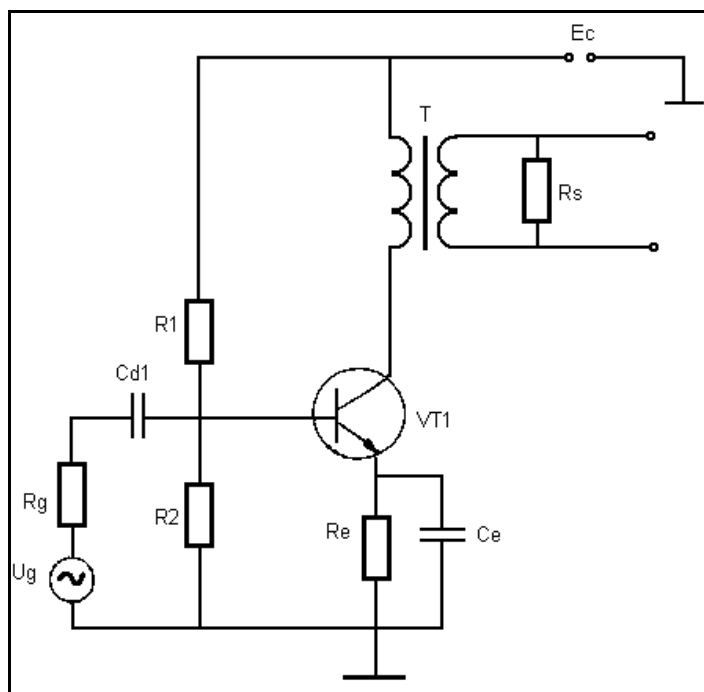


Schema pricipiala a etajului de amplificare in audiofrecventa a amplificatorului cu tranzistor bipolar cuplat in EC

b) Sa se proiecteze un amplificator de putere dupa schema prezentata in fig.
 2. Sa se lamureasca destinarea fiecarui element al schemei in parte si principiul de functionare al amplificatorului. Datele initiale pentru proiectare sunt indicate in tabelul 2.

Tabel 2

Varianta	Pies., W	R_s , Ohm	F_j , Hz	M_j	E_c , V
14	1.5	8	120	1.2	12



Schema pricipiala a etajului de amplificare in putere a amplificatorului cu tranzistor bipolar cuplat in EC

Bibliografie

1. Дулин В.Н. „Электронные приборы” – М.:Энергия, 1977.
2. Степаненко И.П. „Основы теории транзисторов” – М.:Энергия, 1977.
3. «Электронные приборы» под редакцией Г.Г. Шишкина
4. Ю.В. Виноградов «Электронные приборы».
5. «Радио», 11/89.
6. Internet