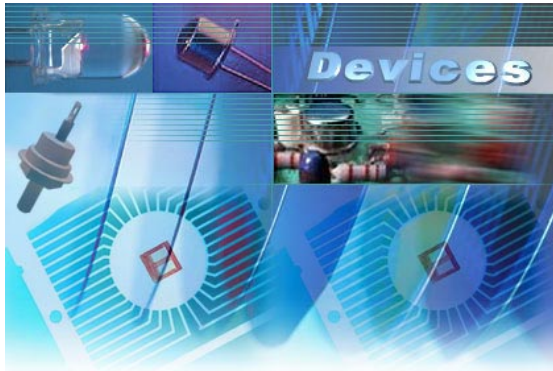




Биполярни транзистори



Полупроводникови
Елементи

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

1

Откриване на транзистора – 1947



Първият транзистор (с точков контакт)
AT&T Bell Laboratories

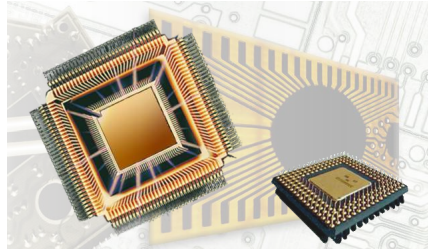
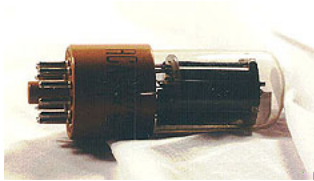


William Shockley,
Walter Brattain, и John Bardeen
Нобелова награда по физика 1956

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

2

Предимства



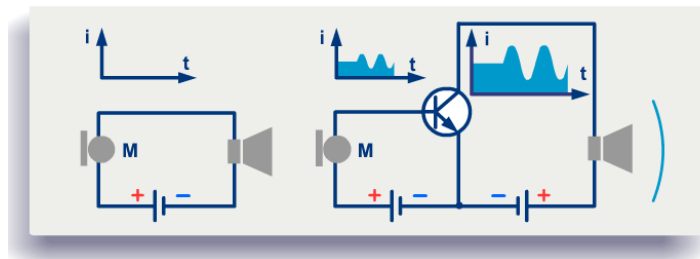
Биполярните транзистори заместват вакуумните електронни лампи.

Техни предимства са:

- твърд корпус и малки размери;
- ниско топлинно излъчване;
- относително ниска консумирана мощност;
- висока надеждност.

Тези предимства позволяват миниатюризацията на сложни схеми.

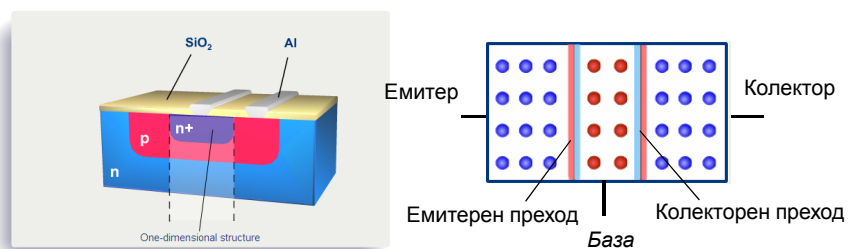
Основни свойства



Биполярният транзистор е полупроводников елемент, предназначен за усилване, управление и генериране на електрически сигнали.

Той е **активен** полупроводников елемент. Транзисторът позволява с много **малък сигнал** да се управлява значително **по-голям сигнал**.

Структура на транзистора

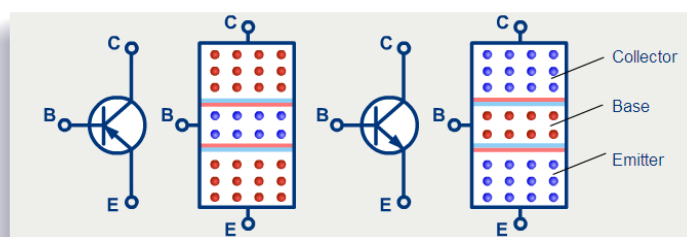


Биполярният транзистор има 3 области: **емитер, база, и колектор**;
Емитерът е силно легиран и инжектира токоносителите.
Базата управлява потока на токоносителите. Тя е много тънка.
Колекторът събира токоносителите от базата.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

5

Типове и схемно означение



Съществуват два типа транзистори - *NPN* и *PNP*. Те имат един и същ принцип на действие, но се различават по поляритет на приложените напрежения на преходите и по посока на токовете.

Фигурата илюстрира схемните означения на транзисторите и връзката между електродите и структурата на транзистора.
Стрелката върху емитера показва посоката на тока през елемента.

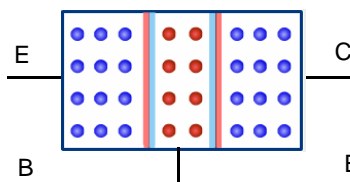
© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

6

Режими на работа на транзистора

Според поляритета на напреженията, приложени към $p-n$ преходите, се различават четири режима на работа:

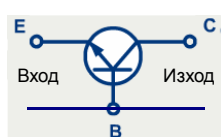
- **Активен-нормален режим**
емитерен преход – право включване
колекторен преход – обратно включване
- **Режим на отсечка**
емитерен преход – обратно включване
колекторен преход – обратно включване
- **Режим на насищане**
емитерен преход – право включване
колекторен преход – право включване
- **Инверсен-активен режим**
емитерен преход – обратно включване
колекторен преход – право включване



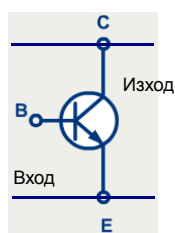
© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

7

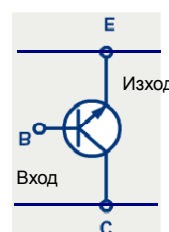
Схеми на включване



Обща база



Общ емитер



Общ колектор

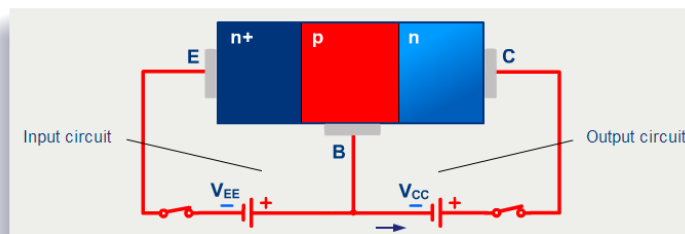
В зависимост от това, кой от електродите в транзистора е **общ** между **входната**, и **изходната** верига се различават 3 схеми на свързване –обща база (ОБ), общ емитер (ОЕ) и общ колектор (ОК).

В схема **обща база**, базата е **обща** между входната и изходната вериги.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

8

Схема обща база – активен режим



Биполярният транзистор нормално е запушен. За да започне да провежда ток, трябва на *pn* преходите да се подадат постоянни напрежения.

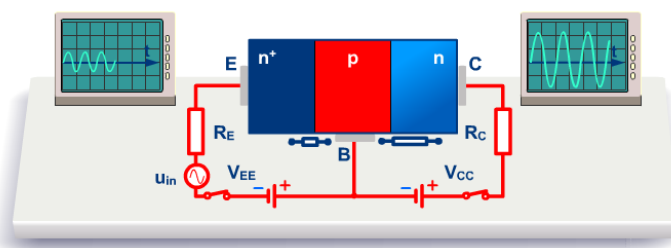
В **активен режим** емитерният преход се поляризира в права посока, а колекторният преход – в обратна.

За *PNP* транзистор, поляритетът на напреженията е обратен.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

9

Принцип на действие



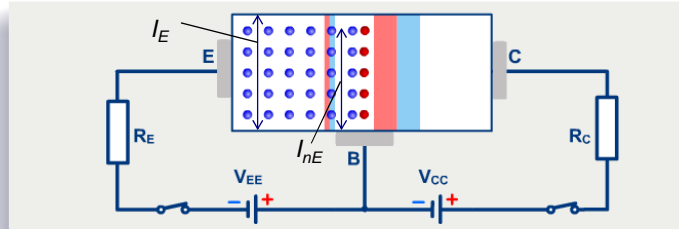
Принципът на действие на транзистора се основава на явленията, протичащи в два близко разположени и **взаимодействащи си** *pn* прехода.

Наименованието "*transistor*" произтича от "*trans resistor*" – пренася ток от верига с ниска *R* на право включен емитерен преход към верига с много по-високото *R* на обратно включен колекторен преход.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

10

Физически процеси в емитера



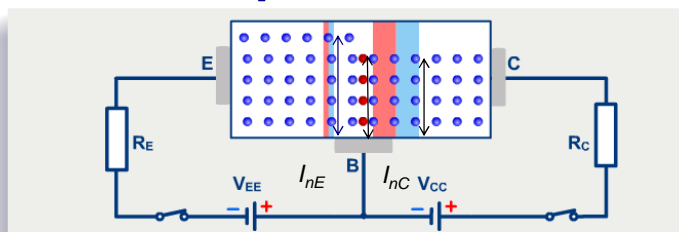
Ако V_{EE} е по-голям от потенциалната бариера на емитерния преход, започва явлението **инжекция**. Тък като емитерът е по-силно легиран от базата, инжекцията е едностранен процес и токът през прехода се състои **предимно от електрони**.

$$\gamma = \frac{I_{nE}}{I_E} < 1 \quad \text{Коефициент на инжекция}$$

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

11

Физически процеси в Б и К



Електроните, навлизайки в P базата, са неосновни токоносители там. Тъй като базата е много тънка, незначителен брой електрони **рекомбинират** с дупки в базата и **по-голяма част** от тях достигат до колекторния преход.

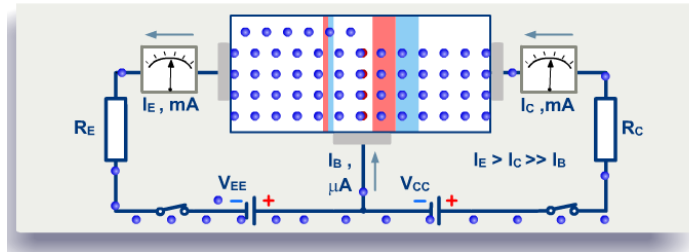
$$\chi = \frac{I_{nC}}{I_{nE}} < 1 \quad \text{Коефициент на пренасяне} \quad I_C = \beta I_{nC}$$

Достигнали до колектора, те се **екстрахират** от обратно включен колекторен преход. В резултат почти всички електрони, инжектирани от емитера, преминават в колекторната верига.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

12

Токове в транзистора



$$I_C = M I_{nC} = M \chi_{nC} = M \chi_{nE} = \alpha I_E$$

$$I_C = \alpha I_E$$

$$\alpha = \chi M$$

В транзистора има три тока :

Емитерният ток е най-големият ток, защото е източник на свободни електрони.

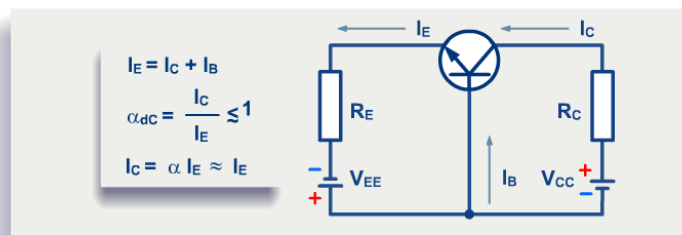
Колекторният ток е приблизително равен на емитерния, но **по-малък** от него.

Базисният ток е най-малкият. I_B се измерва в микроампери.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

13

Връзка между токовете в сх. ОБ



$$I_E = I_C + I_B$$

$$\alpha_{dC} = \frac{I_C}{I_E} \leq 1$$

$$I_C = \alpha I_E \approx I_E$$

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

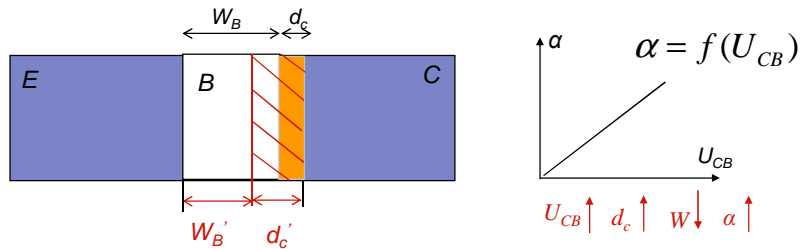
$$\alpha = \frac{I_C - I_{CB0}}{I_E} \approx \frac{I_C}{I_E} < 1$$

Уравнение на колекторния ток в схема ОБ

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

14

Влияние на U_{CB} – эффект на Early



$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0} + \frac{U_{CB}}{r_C}$$

$$I_C = f(U_{CB})$$

Уравнение на колекторния ток в схема ОБ с отчитане влиянието на U_{CB}

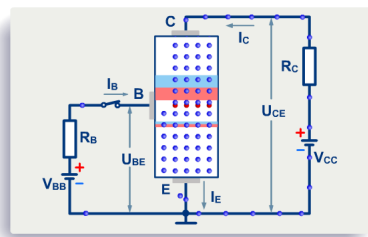
$$r_C = \frac{dU_{CB}}{dI_C} = \frac{\Delta U_{CB}}{\Delta I_C} \neq \infty$$

$$\mu_{EC} = - \left. \frac{dU_{EB}}{dU_{CB}} \right|_{I_E = \text{const}}$$

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

15

Схема Общ емитер



Принципът на действие на транзистора не зависи от схемата на включване.

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0}$$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \alpha I_E + I_{CB0} = \alpha(I_C + I_B) + I_{CB0} = \alpha I_C + \alpha I_B + I_{CB0}$$

$$I_C(1 - \alpha) = \alpha I_B + I_{CB0} \quad I_C = \frac{\alpha}{(1 - \alpha)} I_B + \frac{1}{(1 - \alpha)} I_{CB0}$$

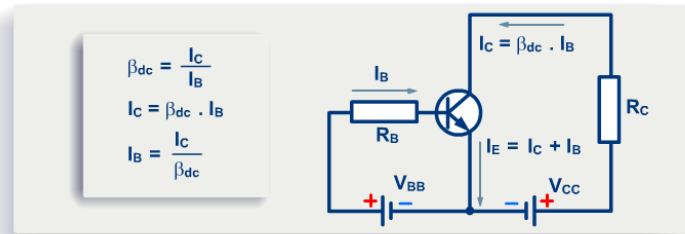
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CB0}$$

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

16

Връзка между токовете в сх. ОЕ



$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta)I_{CE0} \quad \text{If } I_B=0, I_C = I_{CE0} \quad I_{CE0} = (1 + \beta)I_{CB0}$$

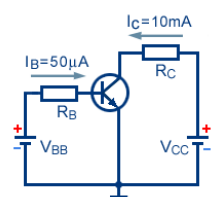
$$I_C = \beta I_B + I_{CE0} \quad \beta = \frac{I_C - I_{CE0}}{I_B} \approx \frac{I_C}{I_B} \gg 1$$

Отношението на колекторния към базисния ток се нарича **коэффициент на усилване по ток** в схема ОЕ, и се означава като β_{dc} или h_{FE} .

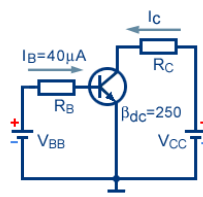
© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

17

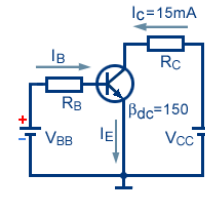
Примери



$$\beta = ?$$



$$I_C = ?$$

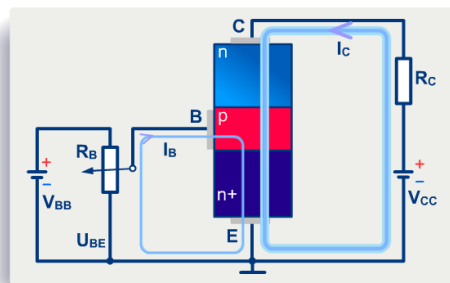


$$I_E = ?$$

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

18

Коефициент на усилване по ток



Коефициентът на усилване по ток в схема OE е много голям, тъй като $I_C \gg I_B$.

За маломощни транзистори, β_{dc} типично е от 100 до 300.

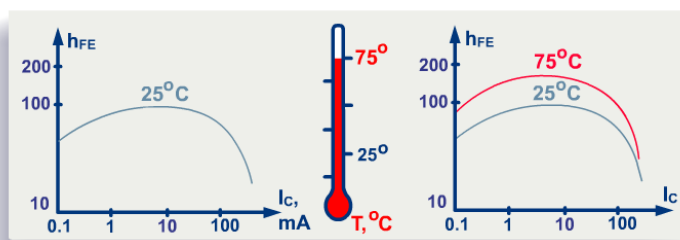
Малка промяна на базисния ток в транзистора предизвиква голямо увеличение на колекторния ток.

Транзисторът в схема OE има голямо **усилване по ток**, голямо усилване по напрежение и следователно голямо усилване по мощност.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

19

Изменение на β



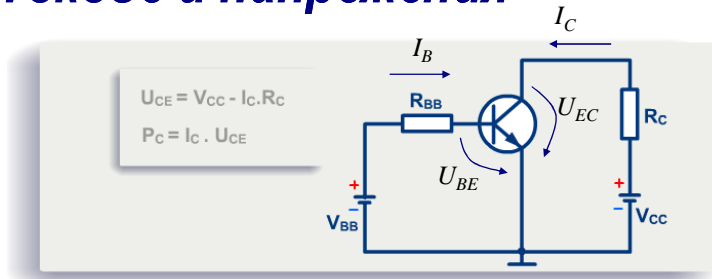
Коефициентът на усилване по ток β се променя в широки граници при изменение на колекторния ток, температурата и при смяна на транзистора.

Поради производствените толеранси, коефициентът на усилване по ток може да варира в диапазон 3:1 при замяна с транзистор от същия тип.

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

20

Токове и напрежения



$$U_{CE} = V_{CC} - I_C \cdot R_C$$

$$P_C = I_C \cdot U_{CE}$$

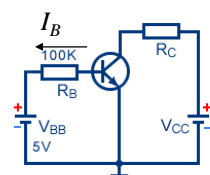
$$E_{BB} = U_{BE} + I_B R_B \quad I_B = \frac{E_{BB} - U_{BE}}{R_B}$$

$$U_{CE} = E_{CC} - I_C R_C \quad I_C = \frac{E_{CC} - U_{CE}}{R_C} \quad I_E = I_C + I_B$$

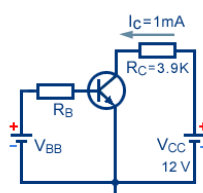
© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

21

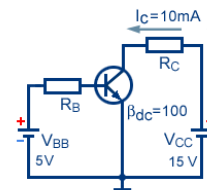
Примери



$$I_B = ?$$

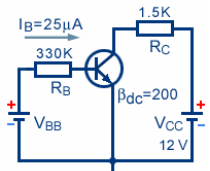


$$U_{CE} = ?$$

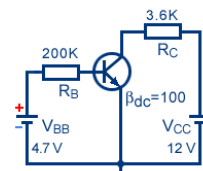


$$R_C, R_B = ?$$

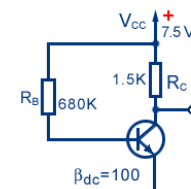
така че $U_{CE} = 7.5V$



$$U_{CE} = ?$$



$$P_C = ?$$

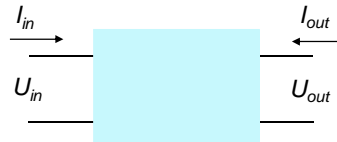


$$P_C = ?$$

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

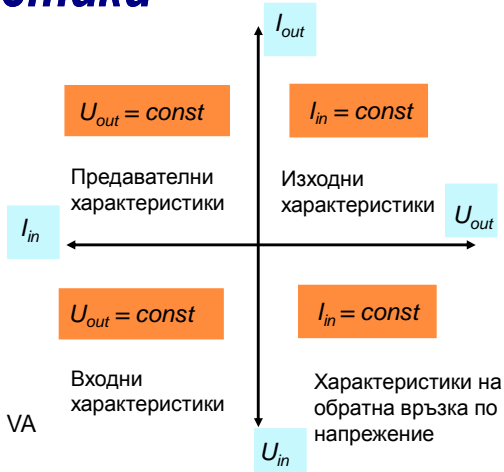
22

VA характеристики

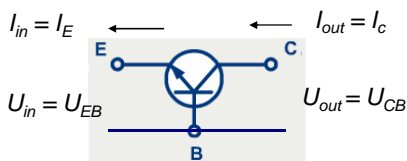


Съществува взаимна връзка между входните и изходни токове и напрежения в транзистора.

Фигурата илюстрира 4 фамилии VA характеристики. Най-важни са изходните и входни характеристики.

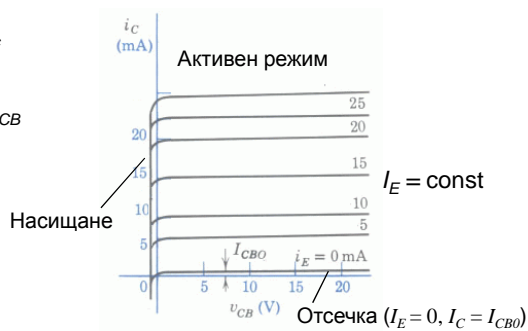


ОБ – Изходни характеристики



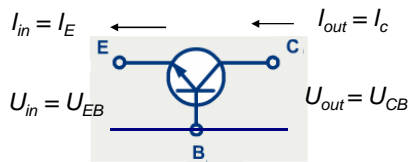
$$I_C = f(U_{CB}) \Big|_{I_E = \text{const}}$$

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} + \frac{U_{CB}}{r_C}$$

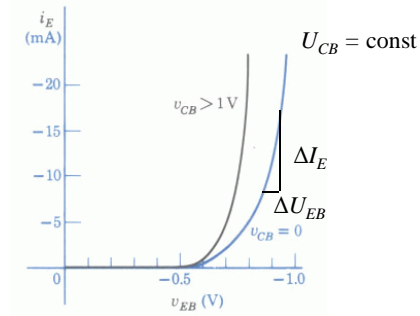


$$\alpha = f(I_E) \quad r_C = \frac{dU_{CB}}{dI_C} \Big|_{I_E = \text{const}}$$

ОБ – Входни характеристики

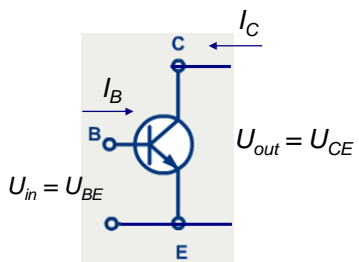


$$I_E = f(U_{EB}) \Big|_{U_{CB} = \text{const}}$$

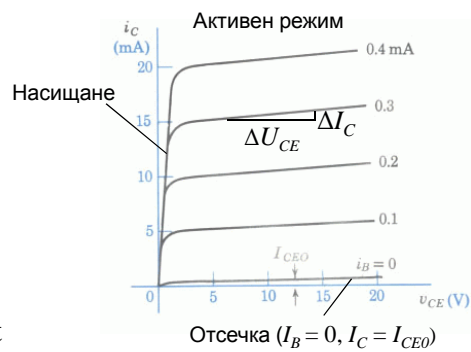


$$r_{in} = \frac{dU_{EB}}{dI_E} = \frac{\Delta U_{EB}}{\Delta I_E}$$

ОЕ – Изходни характеристики



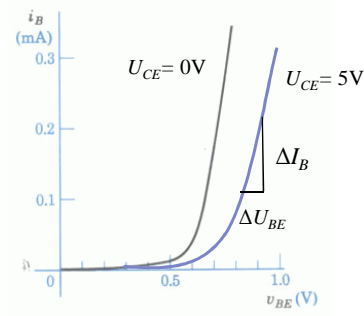
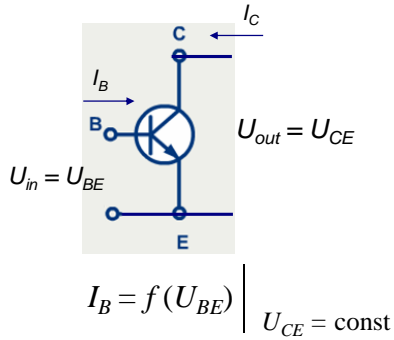
$$I_C = f(U_{CE}) \Big|_{I_B = \text{const}}$$



$$I_C = \beta I_B + I_{CE0} + \frac{U_{CE}}{r_C^*}$$

$$\beta = f(I_C) \quad r_C^* = \frac{dU_{CE}}{dI_C} = \frac{r_C}{1 + \beta}$$

ОЕ – Входни характеристики



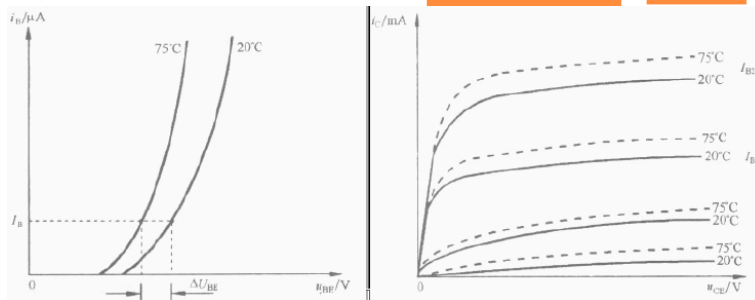
$$r_{in} = \frac{dU_{BE}}{dI_B} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}$$

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

27

Влияие на температурата

$$I_{CE0} = (1 + \beta) I_{CB0} \quad \beta = f(T)$$



Транзисторът в схема ОЕ е по-температурно зависим спрямо схема ОБ защото I_{CE0} и β се увеличават по-бързо с температурата отколкото I_{CB0} и α .

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

28

Мах допустими параметри

Максимално допустимите параметри определят границите на токове, напрежения, мощности и други величини в транзистора, които не трябва да се надвишават, за да се гарантира надеждна експлоатация.

Тези параметри нормално определят нивата, над които елементът се разрушава. Те не би трябвало дори да се доближават за всички режими на работа на транзистора. В противен случай елементът може да не функционира нормално или да се скъси срокът му за експлоатация.

Максимално допустимите параметри се задават в каталозите от фирмите производители за всеки тип транзистор.

Максимална мощност

- Мах температура на прехода $T_{Cmax} < T_p$, където $n=p=n_j$
- Мах мощност в колектора P_{Cmax}

$P = U_C I_C$ Мощност, отделена в колекторния преход

$$P = \frac{T_C - T_a}{R_{th}}$$

Мощност, разсеяна в околната среда

Когато се отделя мощност в колекторния преход, температурата му T_C се повишава. По-голяма мощност – по-висока температура.

$$UI = \frac{T_C - T_a}{R_{th}}$$

$$P_{Cmax} = \frac{T_{Cmax} - T_a}{R_{th}}$$

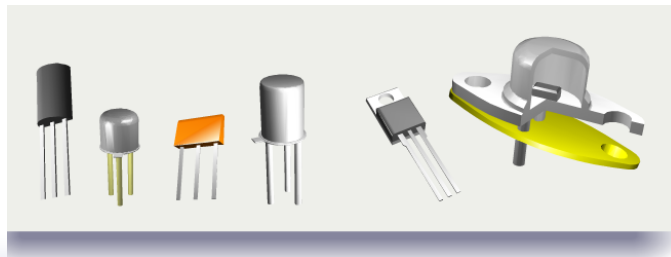
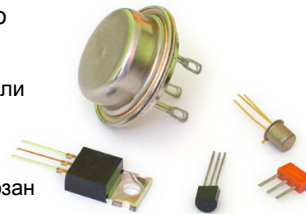
Отделената мощност трябва винаги да е по-малка от мах допустимата P_{Cmax} . В противен случай елементът се разрушава.

Корпуси на транзистора

Максималната мощност може да се повиши, ако вътрешната топлина се разсейва по-бързо.

Биполарните транзистори се срещат с пластмасови или метални корпуси.

При мощните транзистори корпусът е метален за по-бързото разсейване на топлината. Колекторът е свързан към него.



© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

31

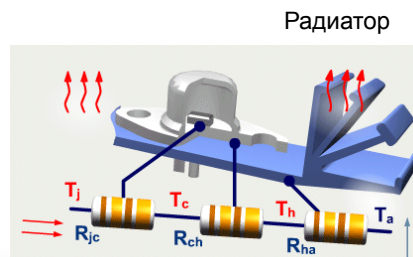
Топлинно съпротивление

Топлинното съпротивление R_{th} показва ефективността при отделяне на топлината от транзистора и се измерва в $^{\circ}K/W$.

$$R_{th} = R_{th_{jc}} + R_{th_{ca}} \quad R_{th_{ca}} \gg R_{th_{jc}} \quad P_{C \max} = \frac{T_{C \max} - T_a}{R_{th}}$$

Колкото по-малко е топлинното съпротивление толкова по-голяма е максимално допустимата мощност.

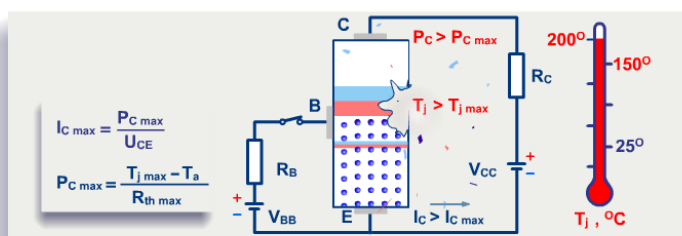
$$R_{th} = R_{th_{jc}} + R_{th_{ch}} + R_{th_{ha}}$$



© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

32

Мах ток



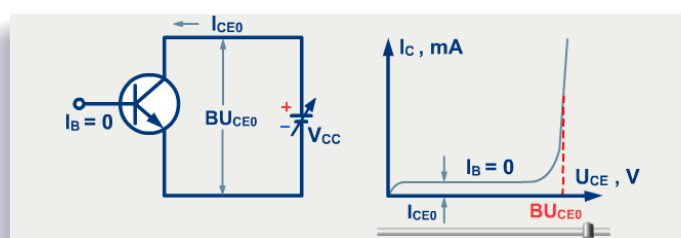
Максималният колекторен ток I_{Cmax} показва максималният ток, който може да протече през транзистора без да се надвиши P_{Cmax} .

$$U_{CE} I_{Cmax} = P_{Cmax} = \frac{T_{Cmax} - T_a}{R_{th}}$$

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

33

Пробиви в транзистора



U_{BRCE0} представлява напрежението между емитера и колектора, при отворена база. Това е пробивното напрежение в схема ОЕ.

U_{BRCE0} представлява напрежението между колектора и база, при отворен емитер. Това е пробивното напрежение в схема ОЕ.

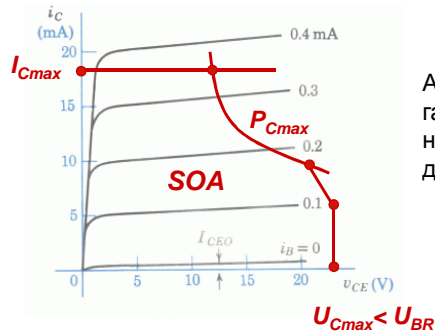
За нормална работа на транзистора напреженията трябва винаги да бъдат по-малки от пробивните.

$$U_{BRCE0} > U_{BRCE0} \gg U_{BRE0}$$

© 2010, Доц.д-р. Т.Василева

34

Област на безопасна работа



Ако работната точка е в ОБР, това гарантира, че по време на работа никога няма да се надвишат max допустимите параметри.

Тестване на транзистора



Съпротивлението на PN преходите може да се провери с омметър – трябва да е малко при право включване и голямо при обратно. При тестване на транзистор този подход се използва за всеки от двата PN прехода.