

7. Биполярни транзистори: устройство и действие, параметри, гранични режими, статични характеристики, схеми на свързване



История на транзистора

1945 – Bell Laboratories започва изследване на потенциала за приложение на полупроводниците;

23 декември 1947 – **William Shockley, Walter Brattain** и **John Bardeen** създават първия германиев транзистор с точков контакт. Те публикуват постижението си след Коледните празници, поради което в много източници за година на създаване на транзистора се посочва 1948;

1950 – **Shockley** създава устройство, наречено “биполярен транзистор” (BJT = Bipolar Junction Transistor). Биполярният транзистор бил по-лесен за създаване и по-евтин от точковия си еквивалент;

1959 – **Jean Hoerni** измисля планарния процес, при който посредством оптични литографски техники базата се дифузира в колектора, а впоследствие емитера се дифузира в базата. (Първоначално транзисторите били произвеждани посредством mesa процес от отделни кристали с p- и n-проводимост, разположени един върху друг). По-късно **Robert Noyce** изобретява техниката за израстване на SiO₂ върху така получения транзистор.

История на транзистора – продължение



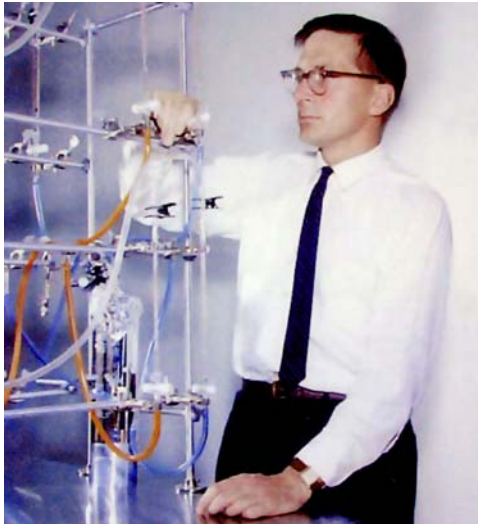
William Shockley



Walter Brattain



John Bardeen



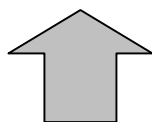
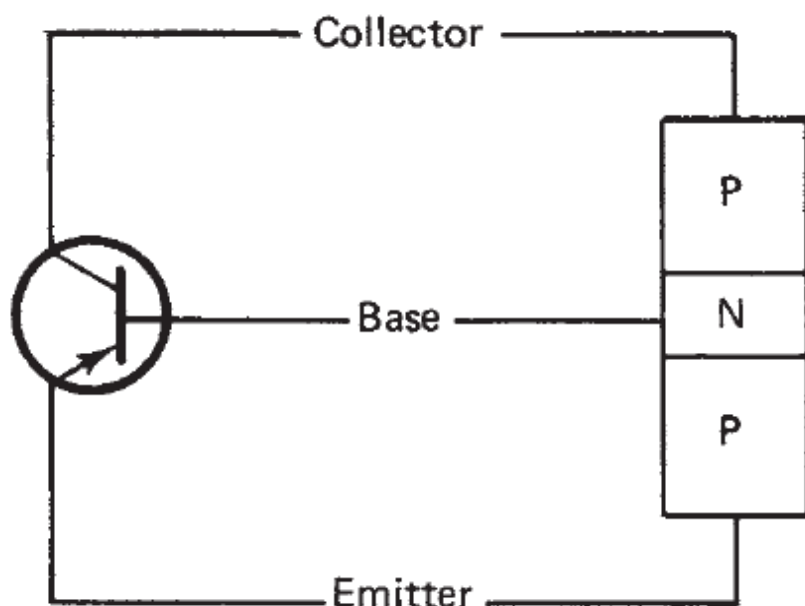
Jean Hoerni



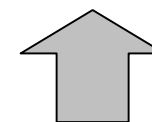
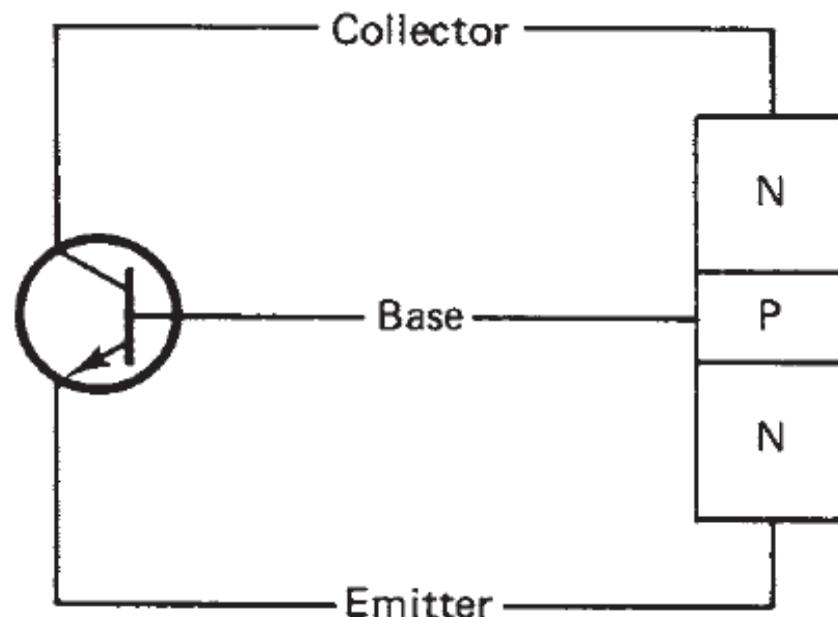
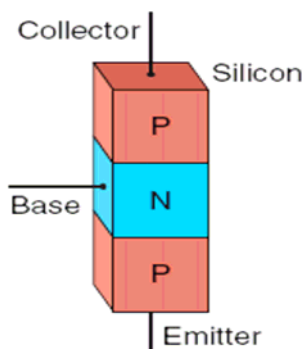
Robert Noyce

Думата “**transistor**” е съкращение от “current **transferring resistor**”.

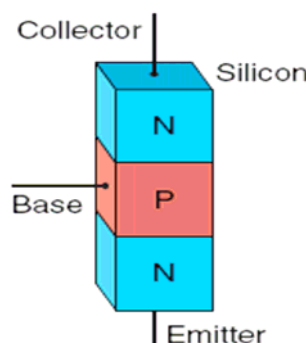
рпр и прп биполярни транзистори



Символ и кристална структура на **рпр**-транзистор

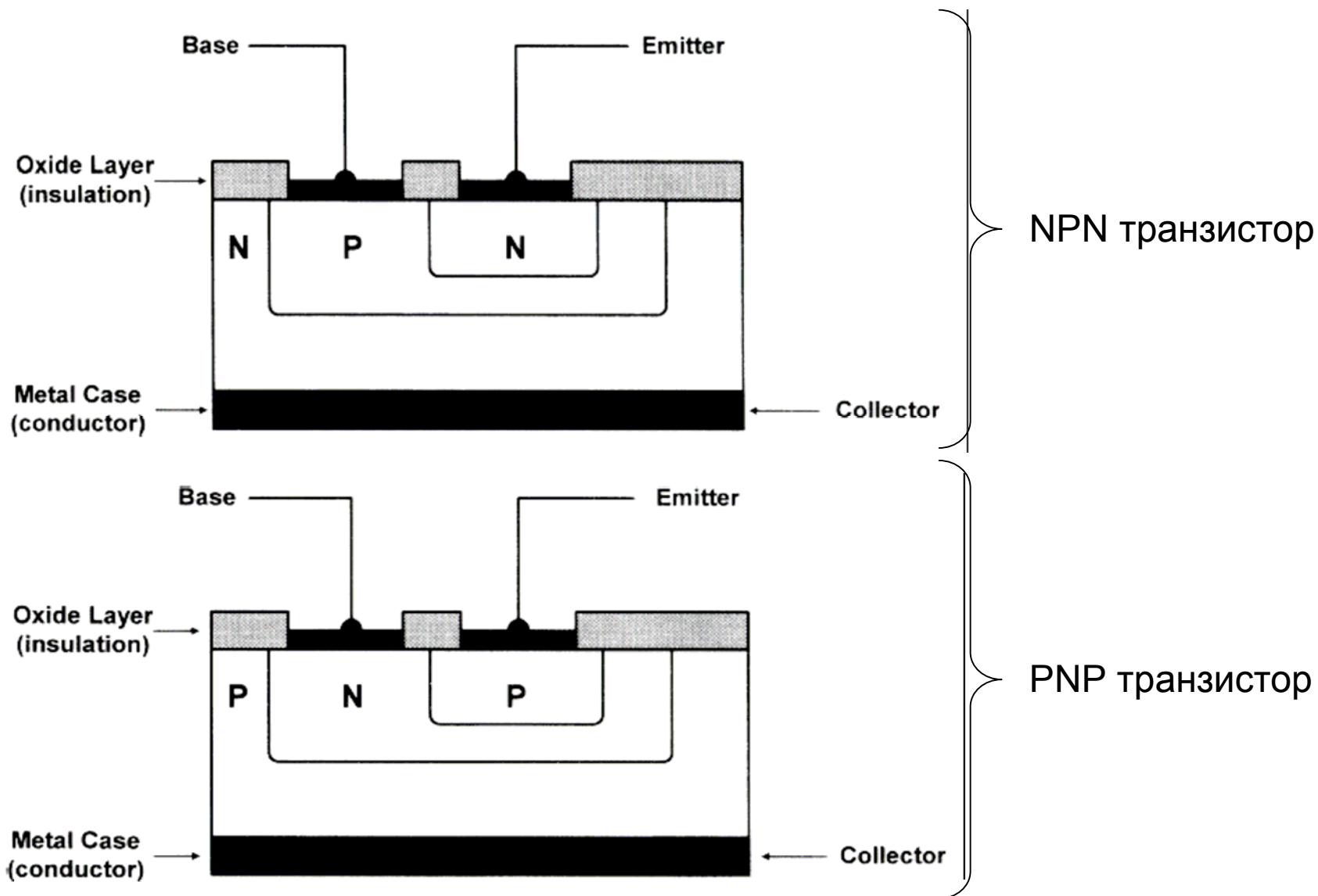


Символ и кристална структура на **прп**-транзистор

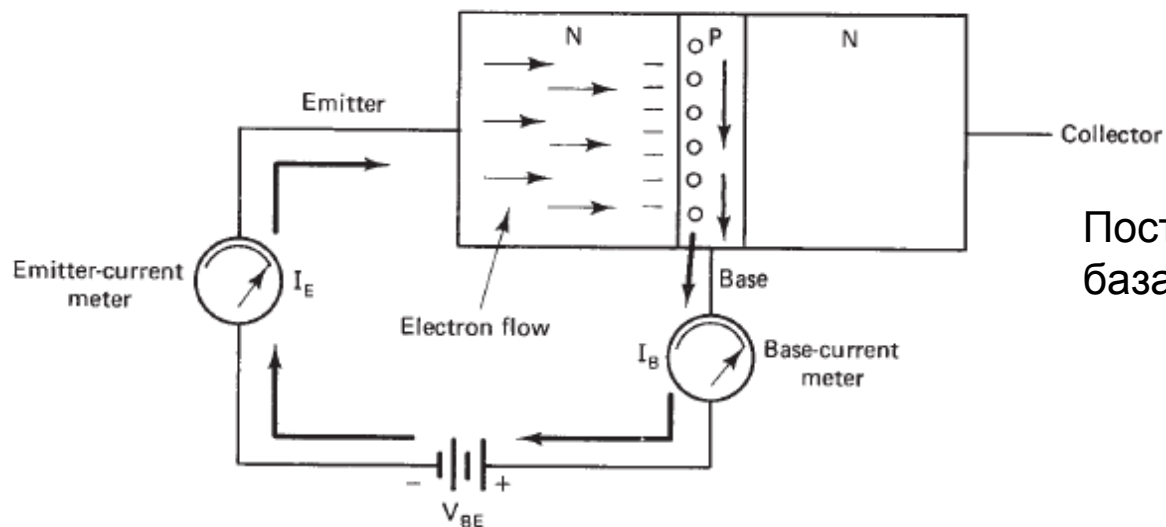


За нормалната работа на биполярния транзистор единият от преходите трябва да е свързан в права, а другия в обратна посока!

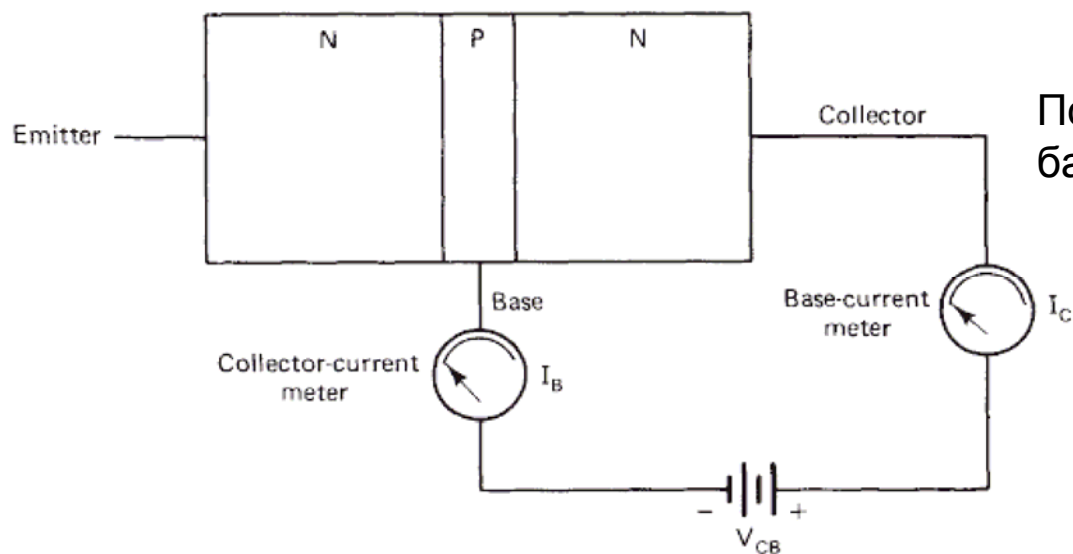
Конструкция на биполярен транзистор



Постояннотоков режим на биполярните транзистори



Постояннотоков режим емитер-база: свързан в права посока



Постояннотоков режим колектор-база: свързан в обратна посока

Начин на свързване на биполярния транзистор и параметри

$$\text{Beta} = \frac{\text{collector current}}{\text{base current}} \quad \beta = I_C / I_B$$

$$h_{FE} = I_C / I_B$$

Усилване по ток при схема обща база



$$I_C = \alpha I_E$$

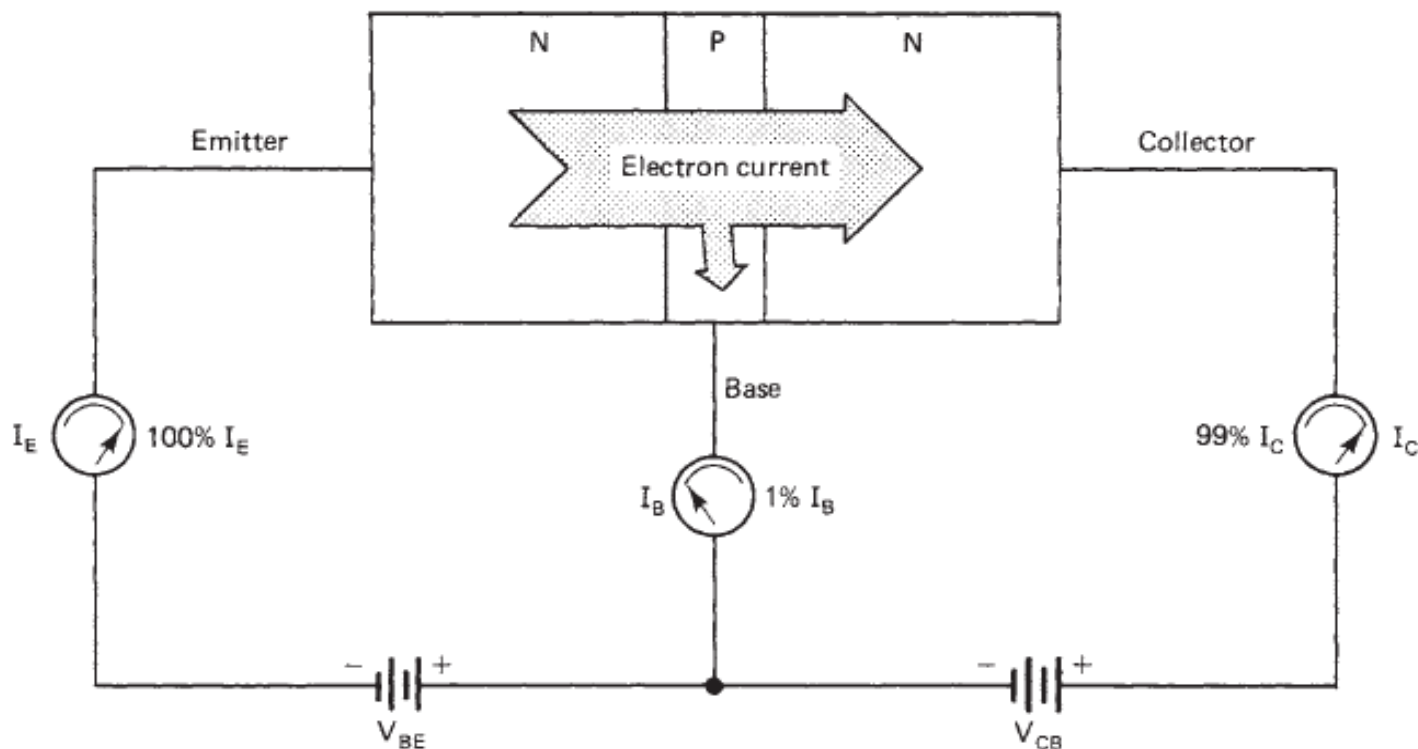
Усилване по ток при схема общ емитер



$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B$$

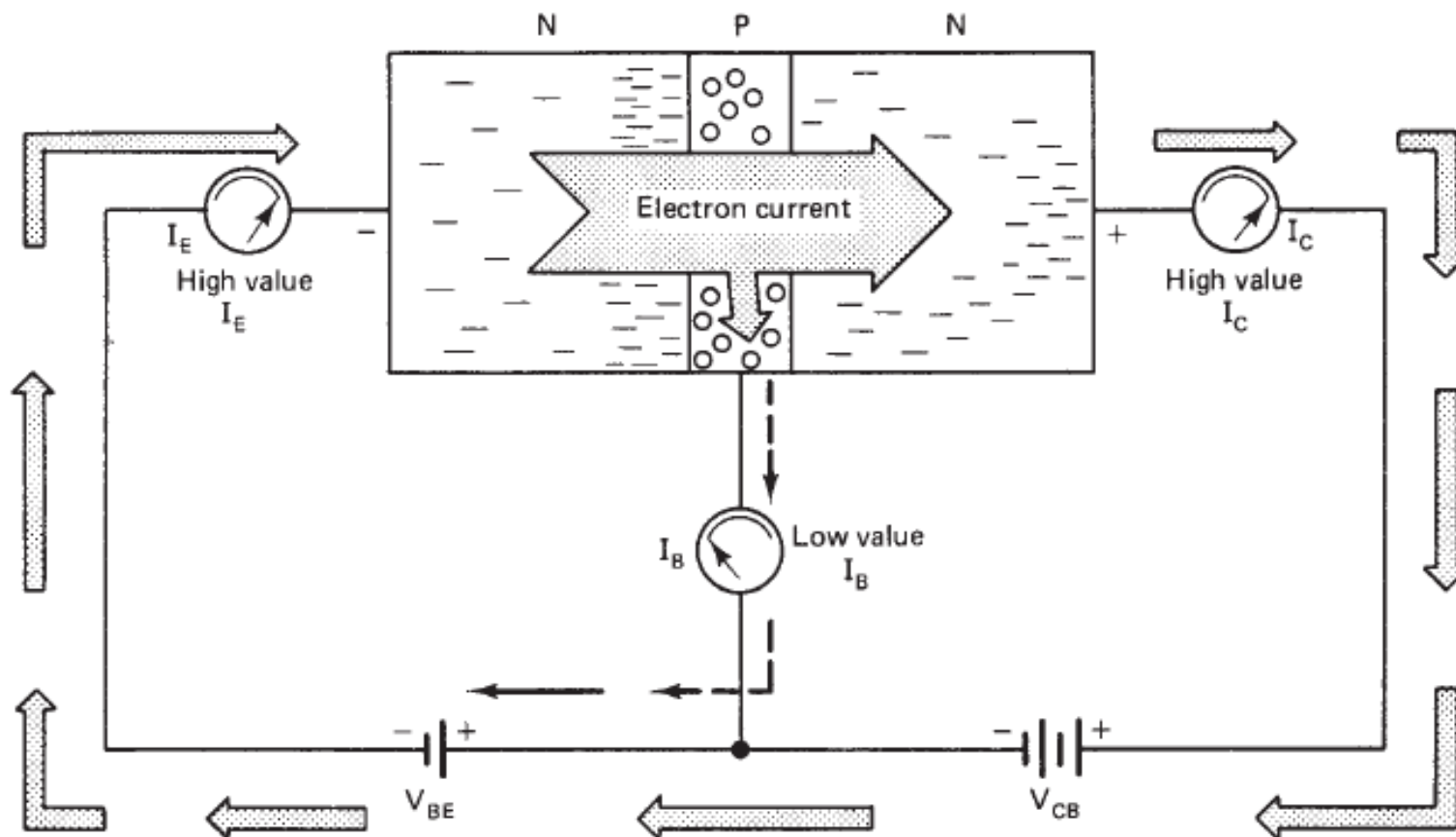
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$



$$I_E = I_B + I_C \quad \leftarrow \text{Уравнение на токовете на биполярен транзистор}$$

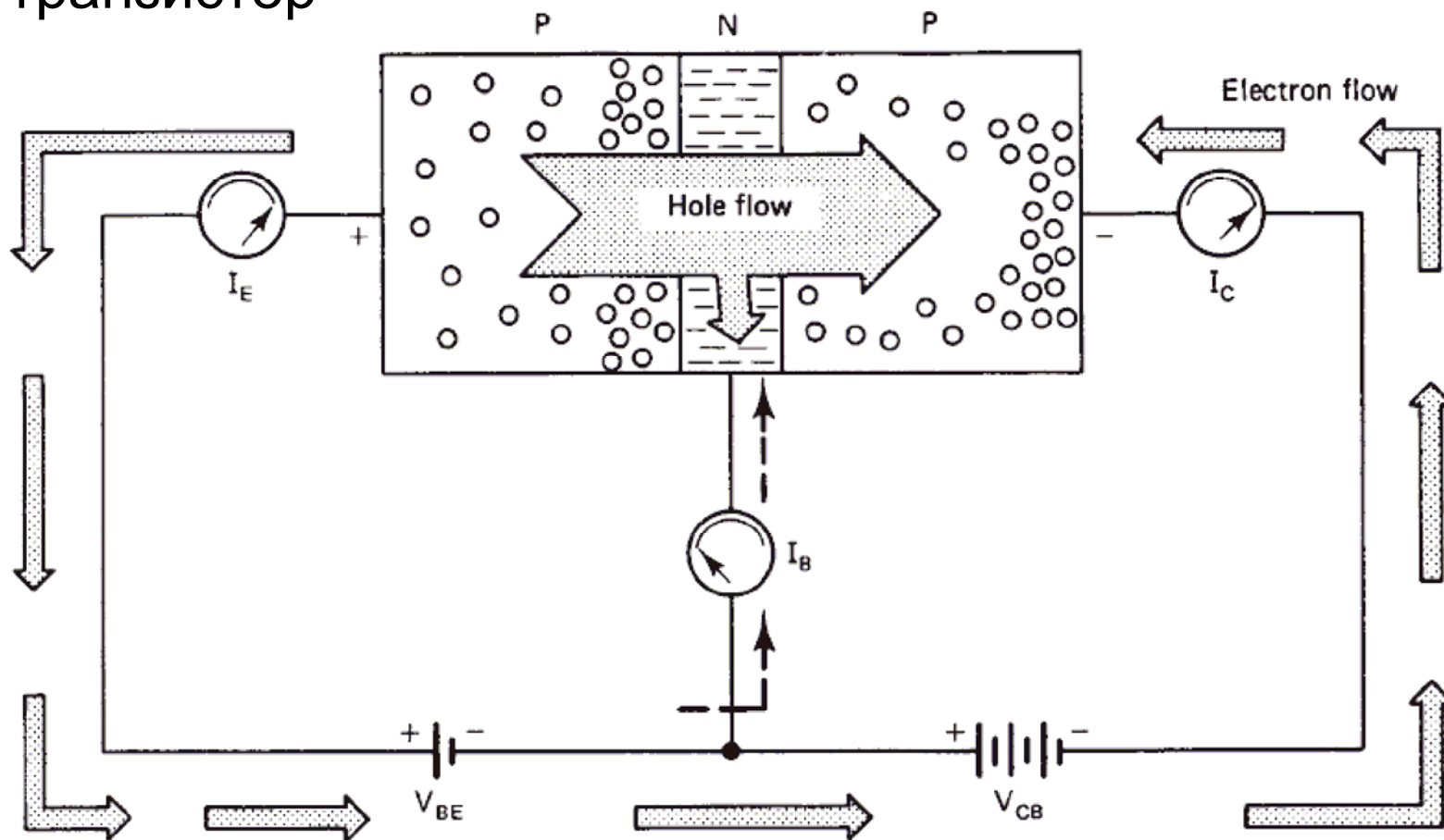
Посредством коефициента на усилване по ток малки промени на базовия ток предизвикват големи промени на колекторния ток.

Разпределение на токовете в биполярния транзистор (npn-транзистор)



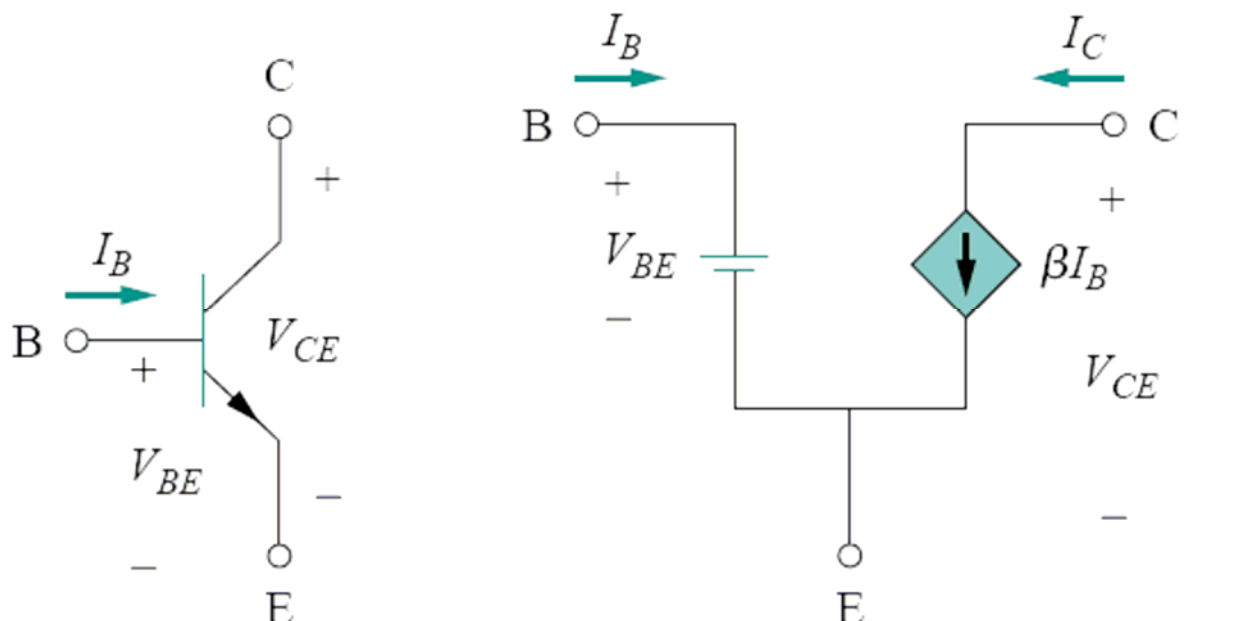
Обикновено базата се прави извънредно тънка (0.0025mm), поради което неосновните токоносители, влизащи откъм емитера, продължават транзитно през нея като колекторен ток.

Разпределение на токовете в pnp биполярен транзистор



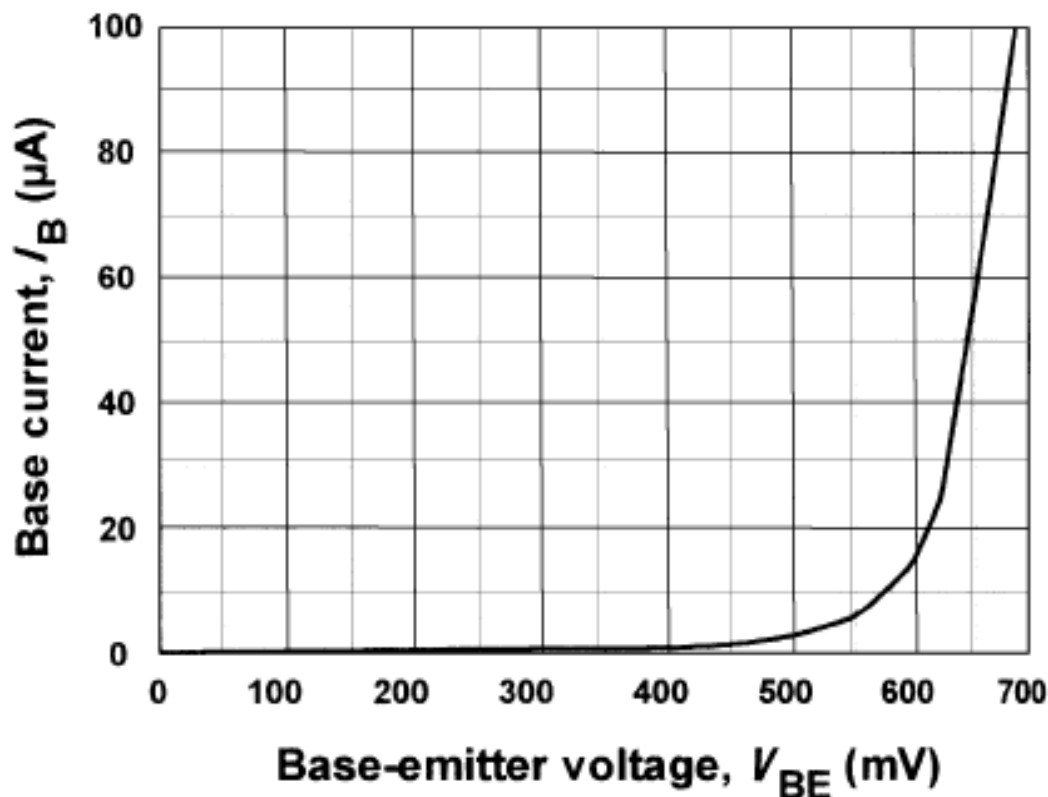
В днешно време npn-транзисторите са по-разпространени, тъй като основните токоносители при тях (електроните) имат по-добра мобилност в кристала, поради което тези транзистори са по-бързи (високочестотни).

Постояннотоков модел на биполярен транзистор (еквивалентна схема)



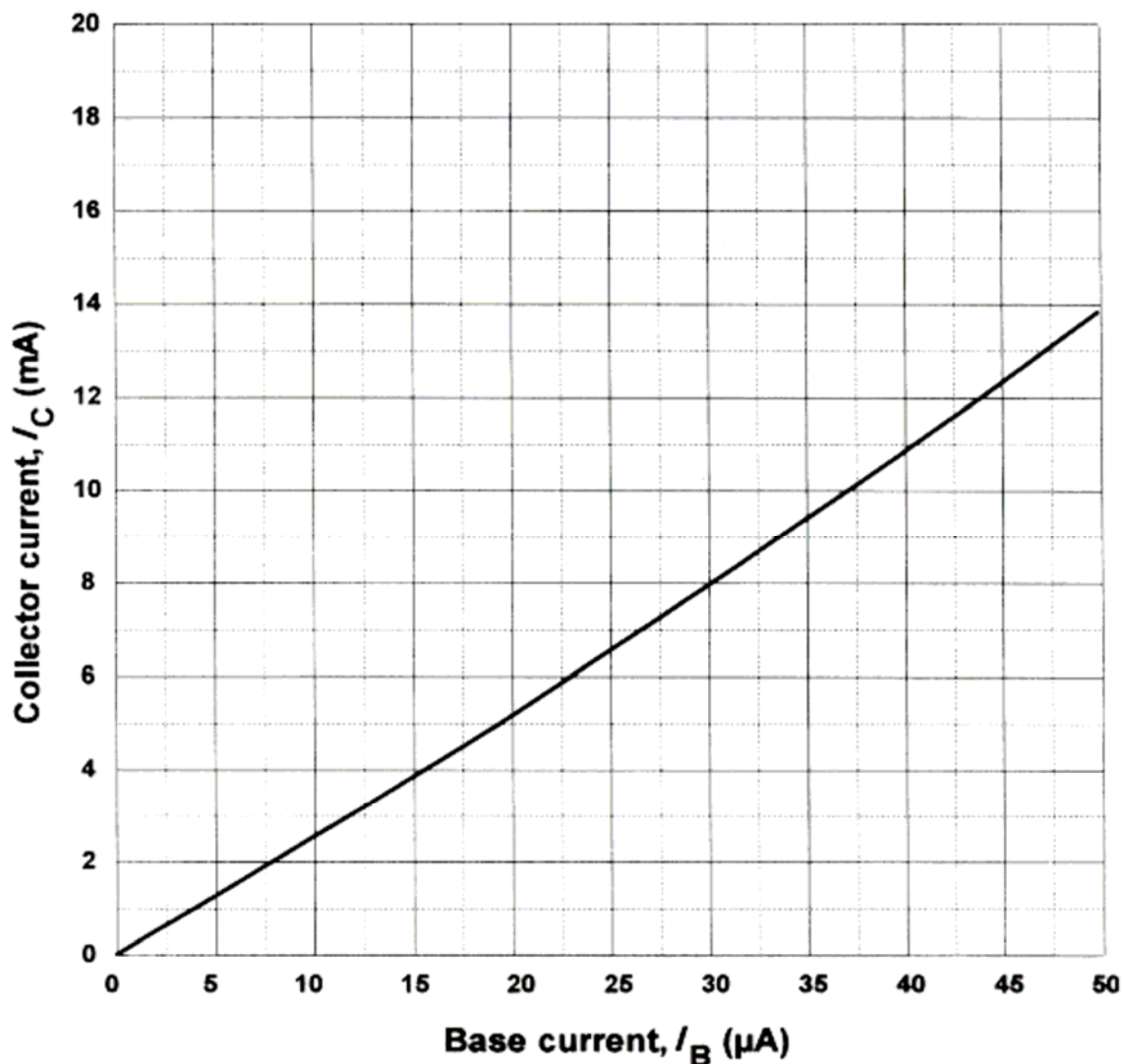
При моделирането на биполярния транзистор се използва абстракцията на зависимите източници (на ток или напрежение). В случая се използва **генератор на ток, управляван с ток**. Трябва да се отбележи, че използването на подобна еквивалентна схема позволява използването на метода на възловите потенциали. При директното представяне на транзистора като транзистор метода на възловите потенциали не работи, тъй като между изводите на транзистора съществуват потенциални разлики.

Характеристики на биполярния транзистор



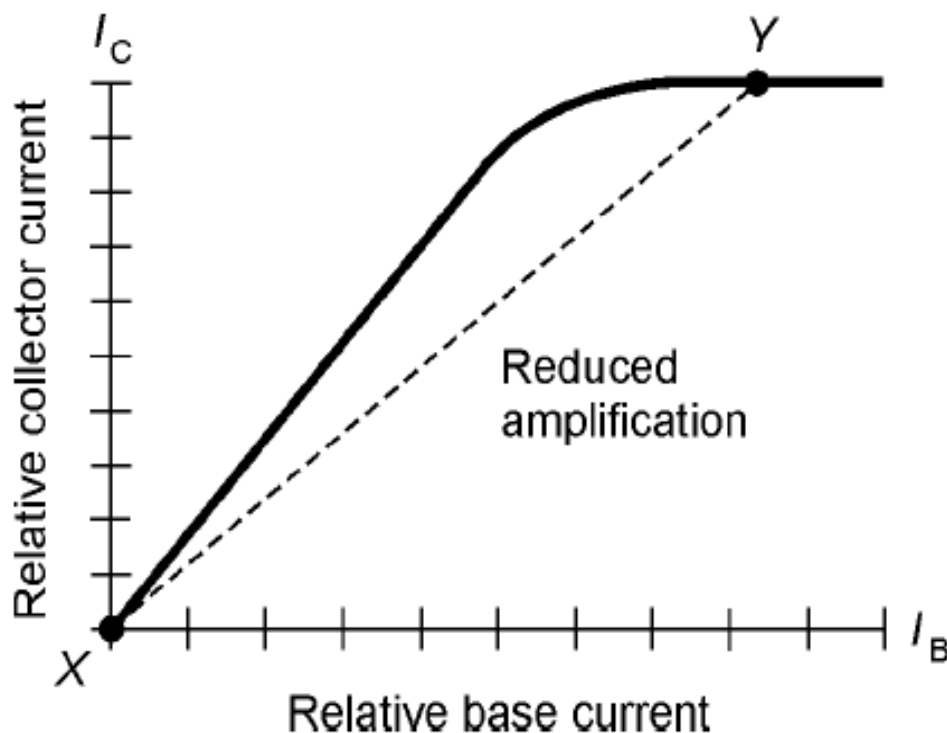
Входна характеристика на биполярен транзистор – напомня характеристиката на свързан в права посока полупроводников диод (валидна за схема общ емитер).

Характеристики на биполярния транзистор



Предавателна характеристика за транзистор, свързан по схема общ емитер – характеристиката показва липса на зависимост на коефициента на усилване по ток от V_{CE} .

Характеристики на биполярния транзистор

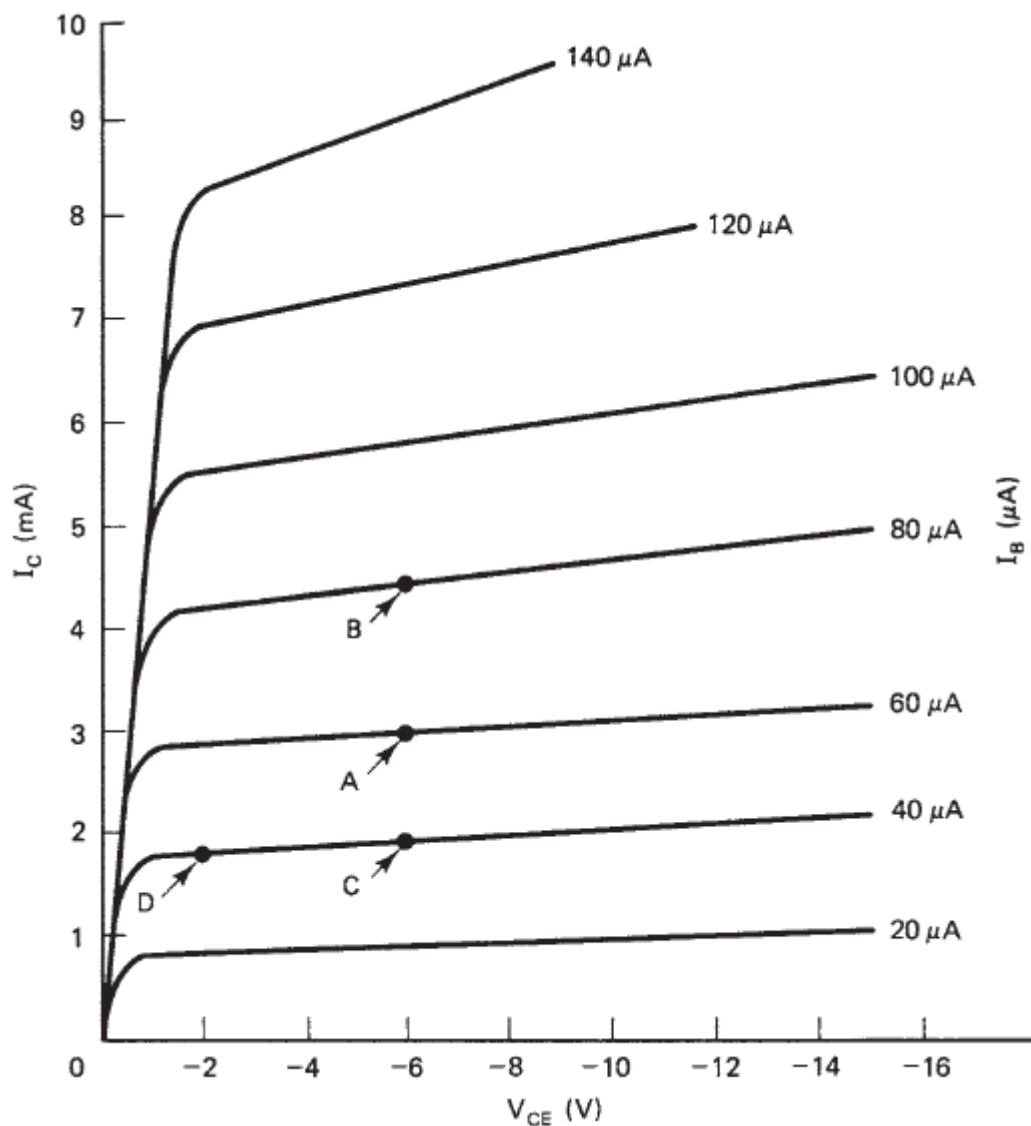


Състояние на претоварване на биполярния транзистор, при което малосигналния параметър усилване по ток намалява:

$$\text{Усилване по ток} = dI_C / dI_B$$

Подобна ситуация поради голямата нелинейност на характеристиката в работната точка, която се използва, ще предизвика големи изкривявания на изходния сигнал.

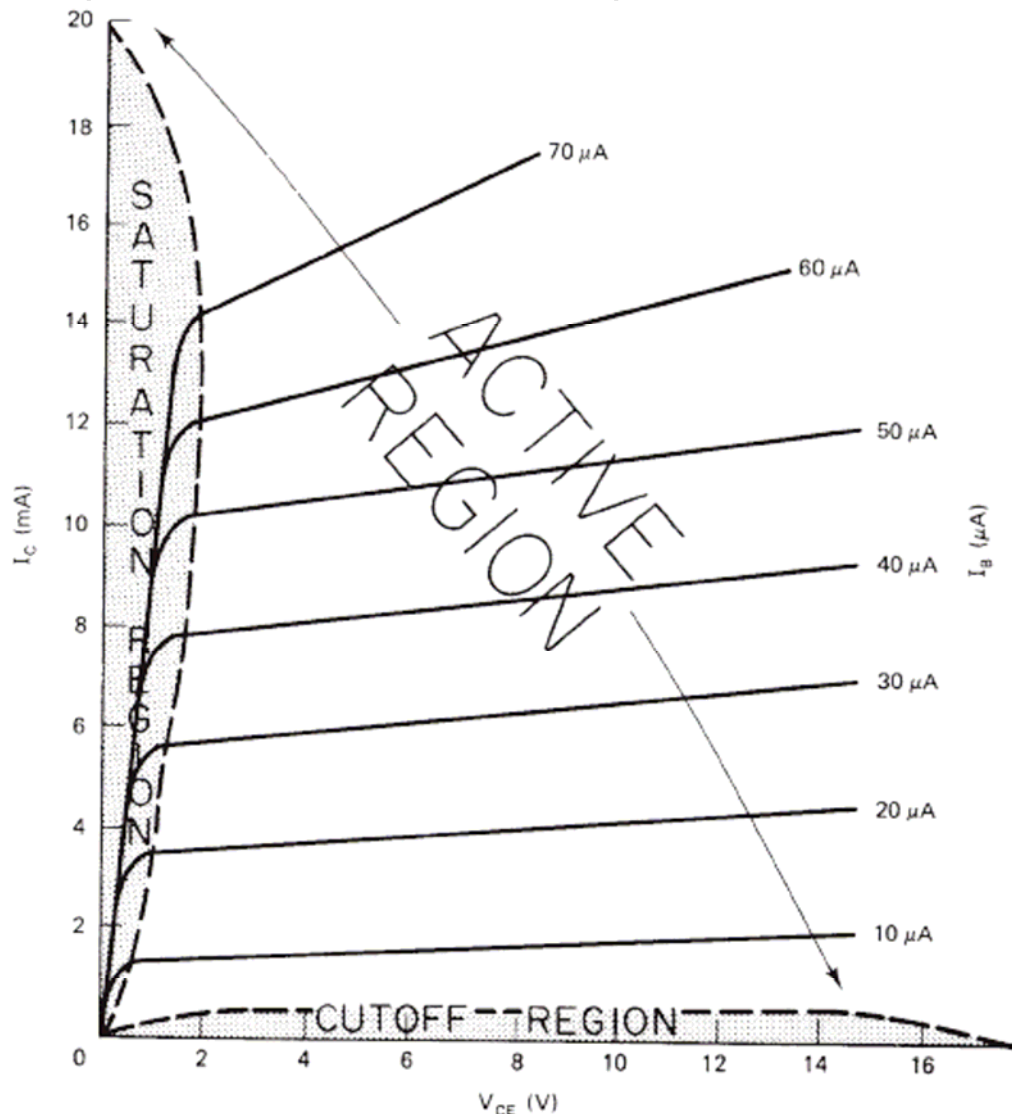
Характеристики на биполярния транзистор



Семейството характеристики показва зависимостта на колекторния ток от напрежението колектор-емитер за различни стойности на базовия ток. Обикновено тези характеристики могат да се използват за получаване на статичните параметри на биполярния транзистор (например $\beta = I_C / I_B$), но също така при подаване на променлив ток (изменение на базовия ток между В и С) могат да дадат и динамичните параметри (динамичен коефициент на усилване по ток: $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$).

А – работна точка на биполярния транзистор (определя се от постоянно-токовия му режим)

Области на работа на биполярния транзистор (гранични режими)

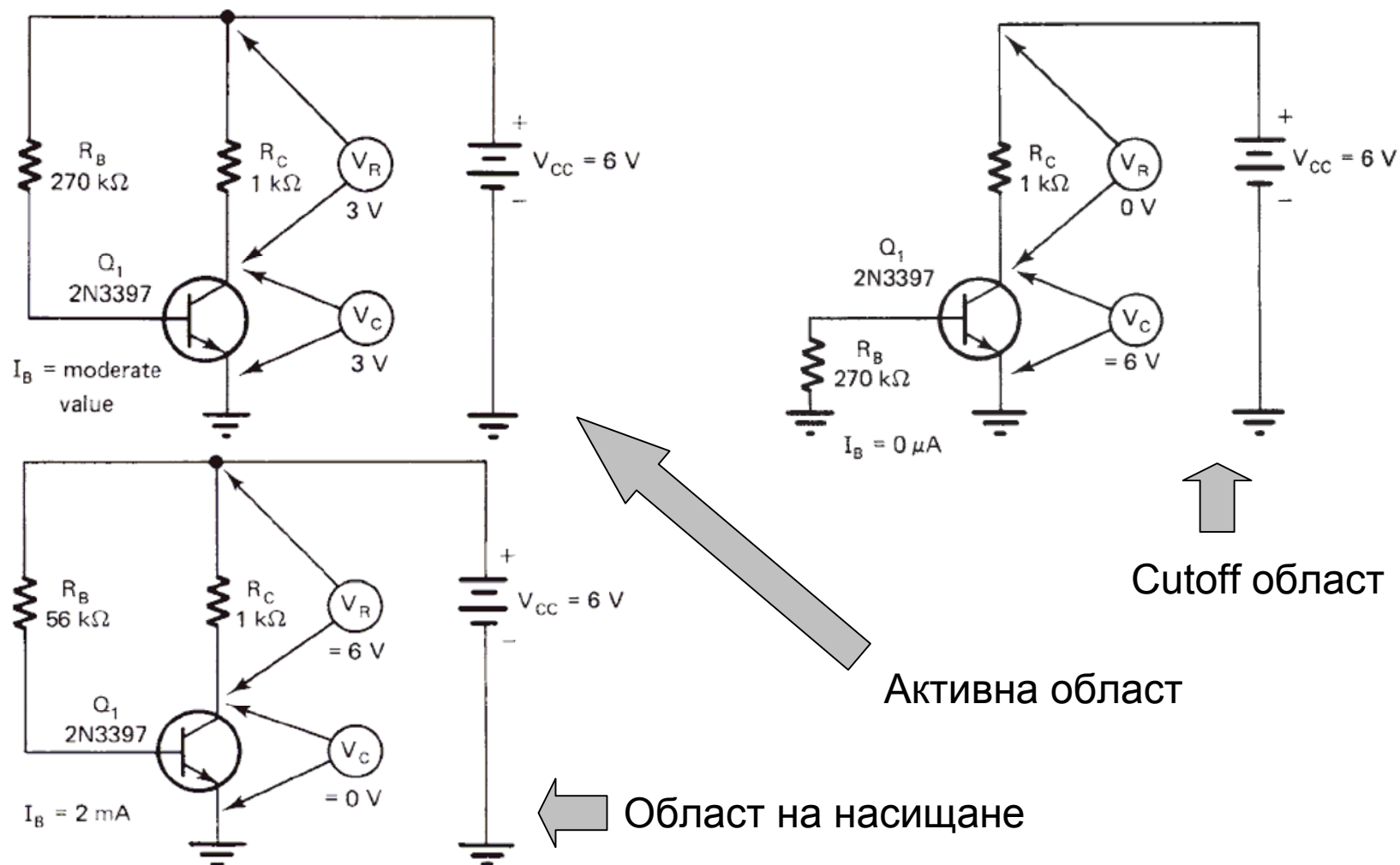


В **cutoff-областта** базовия ток е толкова малък, че на практика транзистора има поведение на отворен ключ.

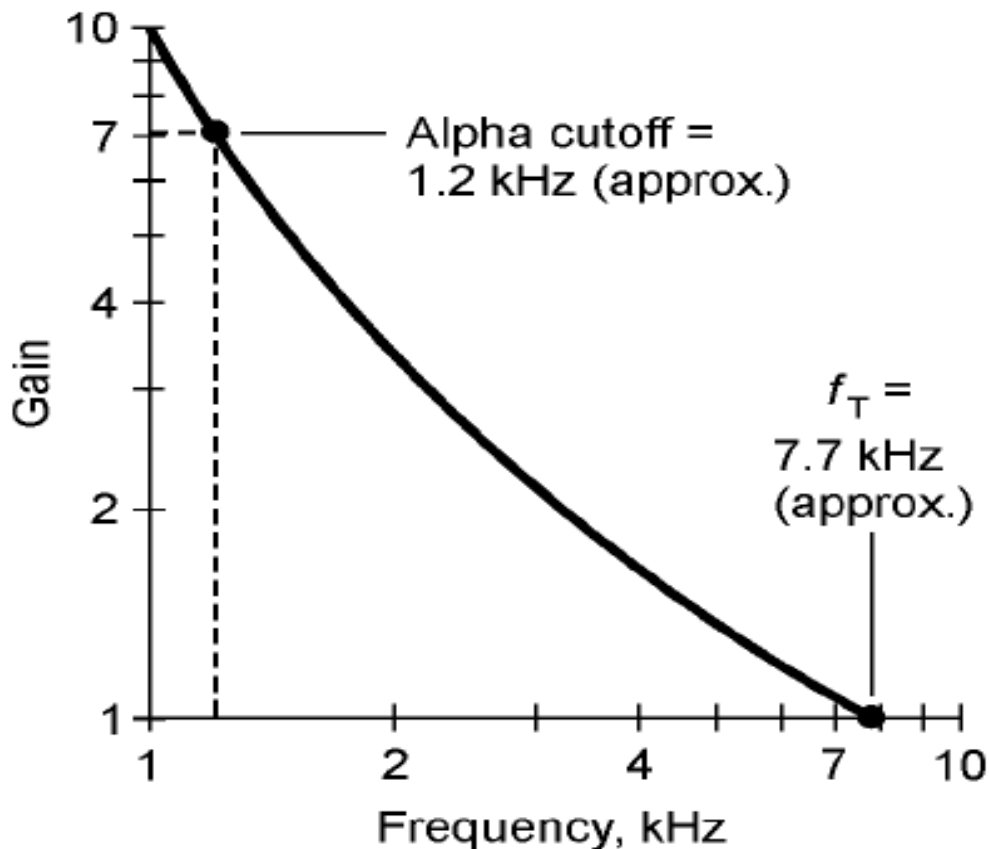
В **областта на насищане** транзистора има поведение на затворен ключ и върху него на практика няма пад на напрежение.

В различните усилвателни схеми транзистора работи в **активната си област**.

Схеми за получаване на трите области на работа на биполярния транзистор



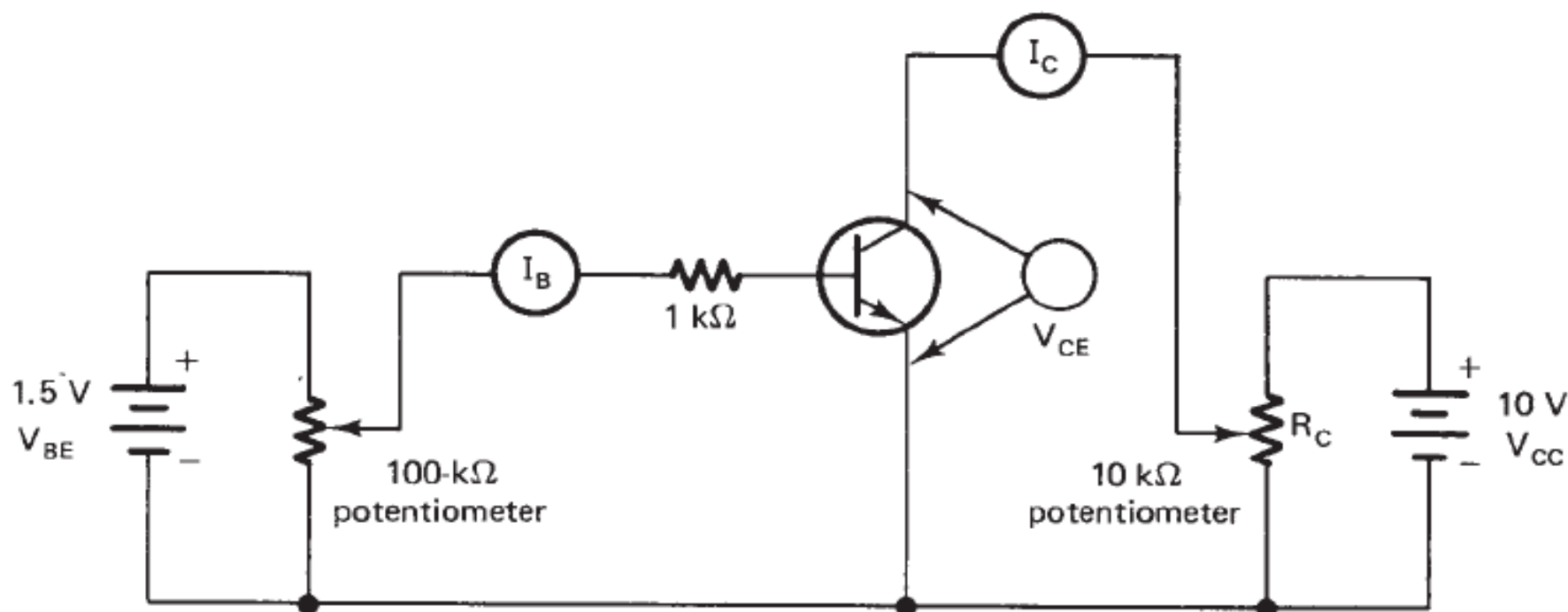
Честотно поведение на усилването



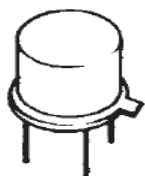
Коефициента на широколентовост f_T определя честотата, на която усилването на транзистора става равно на 1. α -честотата на срез се дефинира като честотата, на която усилването пада до 0.707 от стойността си при 1 kHz.

Не е възможно проектирането на усилвателна схема, работеща на честота, надхвърляща f_T за съответния транзистор.

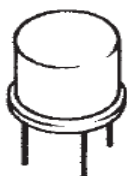
Опитна постановка за получаване на характеристиките на биполярния транзистор



Типични корпуси на биполярни транзистори



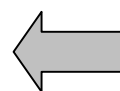
TO-5



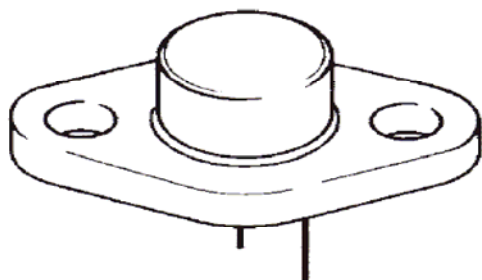
TO-39



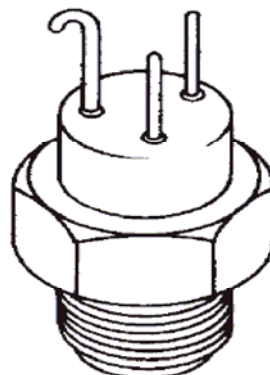
TO-92



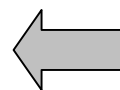
Маломощни
транзистори



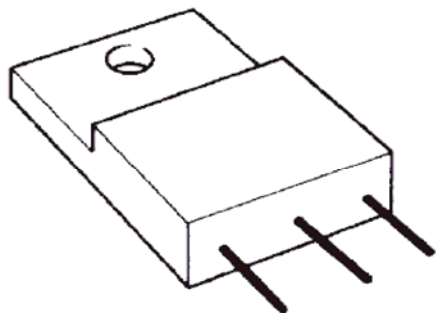
TO-3



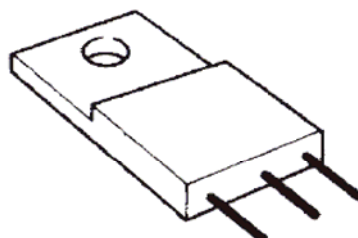
TO-63



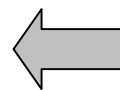
Мощни транзистори в
метални корпуси



SP-110



SP-67



Мощни транзистори в
пластмасови
(епоксидни) корпуси

TO = Transistor Outline

SP = Semiconductor Package

Класификация на биполярните транзистори

Нискочестотни транзистори: разработени за аудио приложения до 100kHz;

Високочестотни транзистори: разработени за радиочестотни приложения над 100kHz;

Мощни транзистори: те допълнително се подразделят на такива за аудио приложения и за радиочестотни приложения;

Ключови транзистори: разработени за комутация на сигнали;

Малощумящи транзистори: използват се основно за усилване на сигнали с ниска амплитуда;

Високоволтови транзистори: Проектирани за работа с високи напрежения;

Драйверни транзистори: Работят на средни нива на напреженията и мощностите си (средномощни транзистори) и обикновено се използват преди крайното мощно стъпало на транзисторния усилвател.

Кодиране на наименованието на транзистора:

Първа буква: А – германиев; В – силициев;

Втора буква: С – маломощни, нискочестотни; D – мощни, нискочестотни; F – маломощни, високочестотни; L – мощни, високочестотни;

Трета буква: използва се за транзистори за специални и индустриални приложения.