



Режими на работа на биполярният транзистор

Волт-Амперни характеристики на биполярен транзистор

На предишната лекция установихме основния принцип на биполярния транзистор: малък базов ток I_b позволява протичането на голям колекторен ток I_c , което ни дава коефициент на усиливане по ток, β .

$$I_c = \beta * I_b$$

Това беше „активният“ режим, при който транзисторът действа като усилвател. Но това е само част от историята.

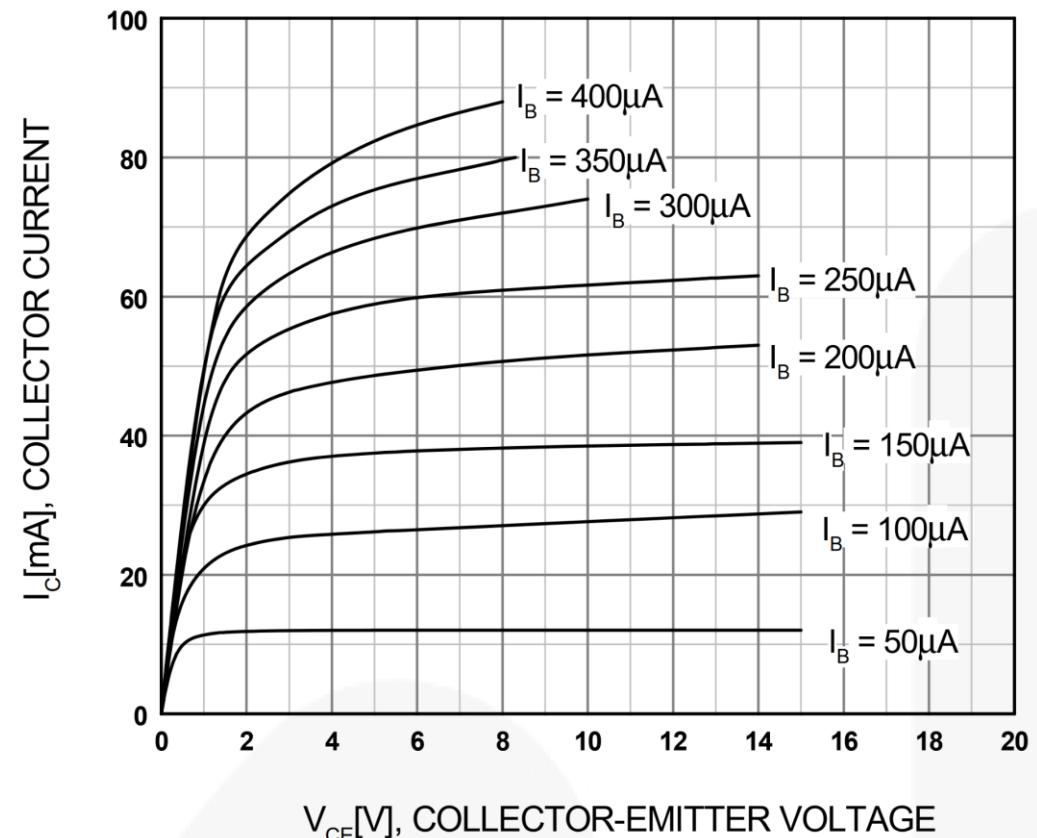
Транзисторът не винаги е усилвател. Той може да бъде и напълно „изключен“ или напълно „включен“ ключ.

Днес ще създадем „карта“, която показва всички тези различни поведения.

Тази карта е характеристиката $I_c = f(U_{ce})$. Нарича се още „изходна характеристика“. Разбирането ѝ е ключът към анализа на всяка транзисторна схема.

Картата изобразява изходния ток (I_c) по оста у спрямо изходното напрежение (U_{ce}) по оста x.

Различните „пътища“ на тази карта се определят от входния ток, I_b .



Област на отсечка

Условие: Нека базовият ток $I_B = 0$. Ако в базата не тече ток, то от емитерът не се инжектират електрони.

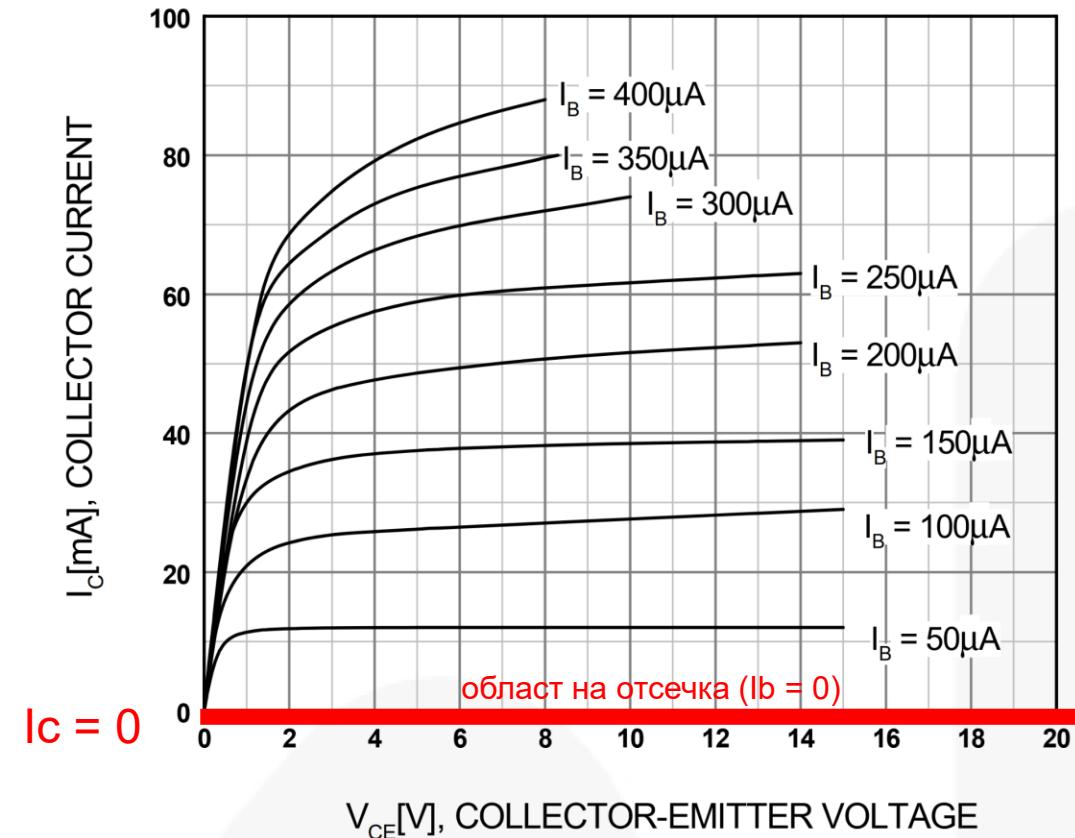
Резултат: $I_C = 0$

Наричаме тази част от характеристиката **област на отсечка** (cutoff).

В областта на отсечка таразисторът е в изключено състояние. Независимо от стойността на U_{CE} , ток не тече.

Аналогия:

Електрически ключ в отворено състояние (off switch) – веригата е прекъсната, ток не тече.



Активна област

Условие: Нека инжектираме малък постоянен базов, например $I_B = 50 \mu A$. Да приемем, че транзисторът има $\beta = 250$.

Резултат: $I_C = \beta * I_B = 250 * 50 \mu A = 12,5 mA$

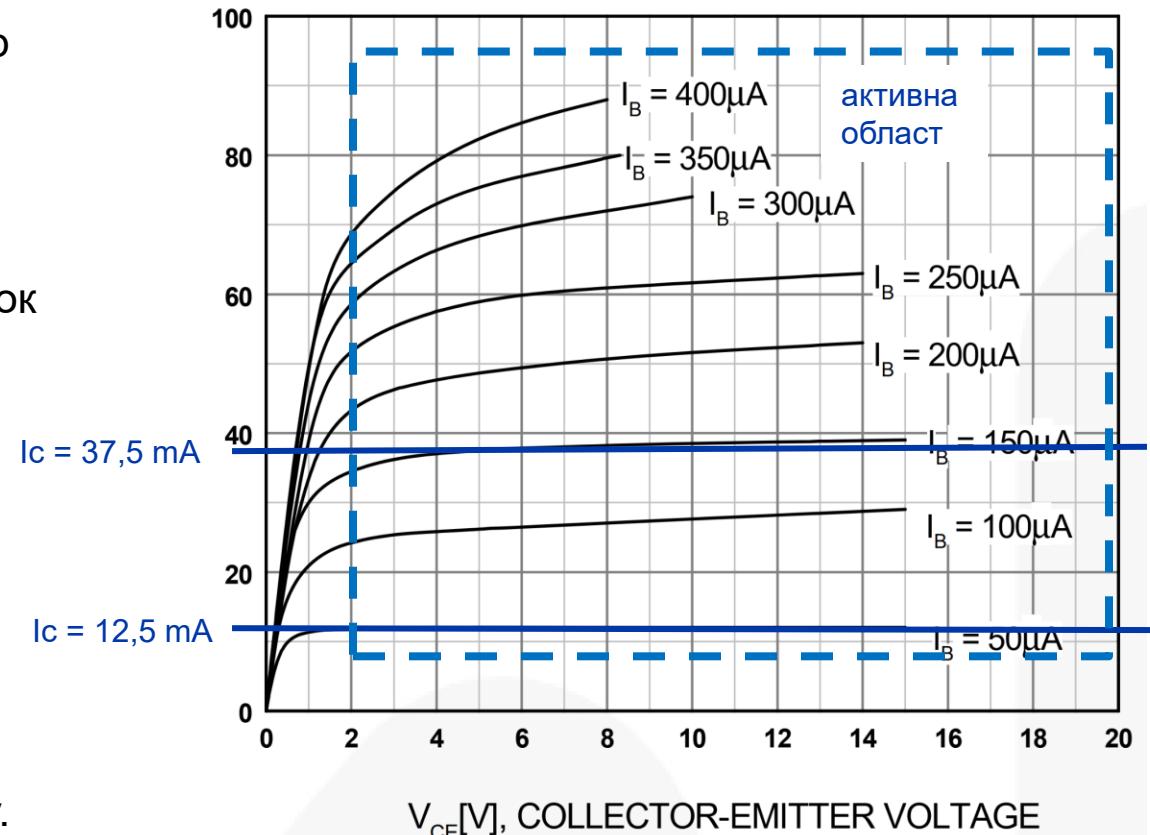
Обърнете внимание, че с увеличаване на U_{CE} , колекторният ток I_C остава почти постоянно на $12,5 mA$. В тази област колекторният ток се контролира само от базовия ток, а не от колекторното напрежение. Това е **активната област**.

Какво ще стане ако зададем $I_B = 150 \mu A$?

Транзисторът ще установи колекторен ток

$$I_C = \beta * I_B = 250 * 150 \mu A = 37,5 mA$$

Лекият наклон на графиките се дължи на т. нар. ефект на Early. С увеличаване на U_{CE} се разширява забранената зона на прехода база-колектор. Тя навлиза в базата и намалява ефективната широчина на базата. По-тънка база води до по-голям коефициент на усиливане по ток β .



Област на насищане

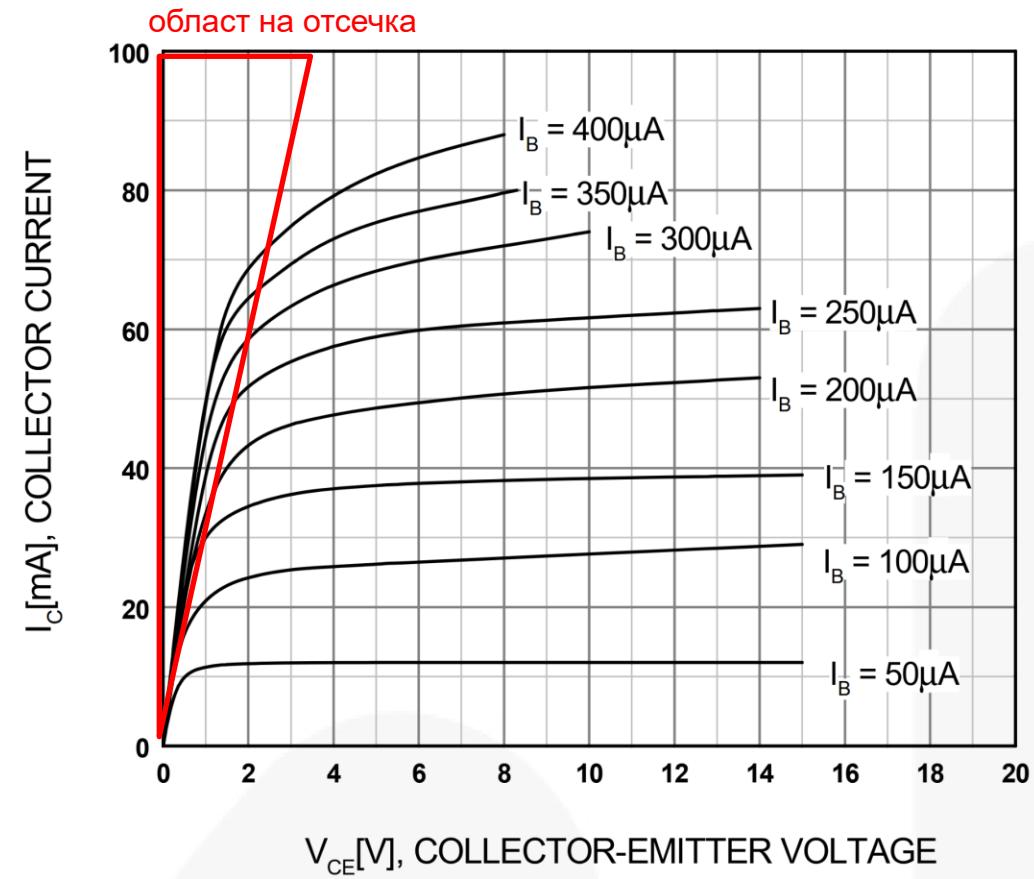
Всички криви в активната област изглеждат хоризонтални, но вляво всички се сблъскват в „стена“ и се спускат към началото на координатната система.

Каква е тази стена?

Условие: Нека се върнем към нашата крива $I_b = 150\mu A$, където I_c е $37,5mA$. Намаляваме напрежението колектор-емитер, U_{ce} . Тъй като U_{ce} става много малко (около $0,2V$), преходът колектор-база вече не е обратно свързан. Той става право свързан.

Физическото следствие: Когато преходът колектор-база стане право свързан, колекторът губи способността си ефективно да „събира“ всички електрони, преминаващи през базата. Той се насища с носители на заряд. Връзката $I_c = \beta * I_b$ се разпада. Колекторният ток вече не може да се справи с изискванията на формулата $I_c = \beta * I_b$.

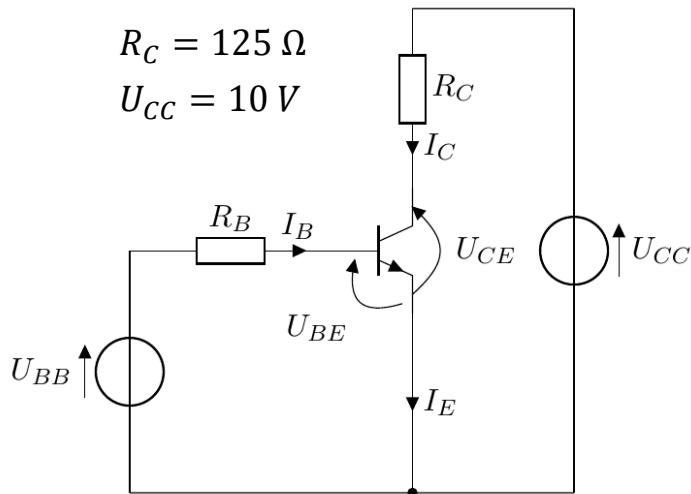
Външни ограничения: В това състояние колекторният ток вече не се определя от бета, а е ограничен от външните компоненти във веригата (захранващото напрежение и товарния резистор).



Аналогия: Електрически ключ затворен (on switch) – веригата е непрекъсната, протича ток.

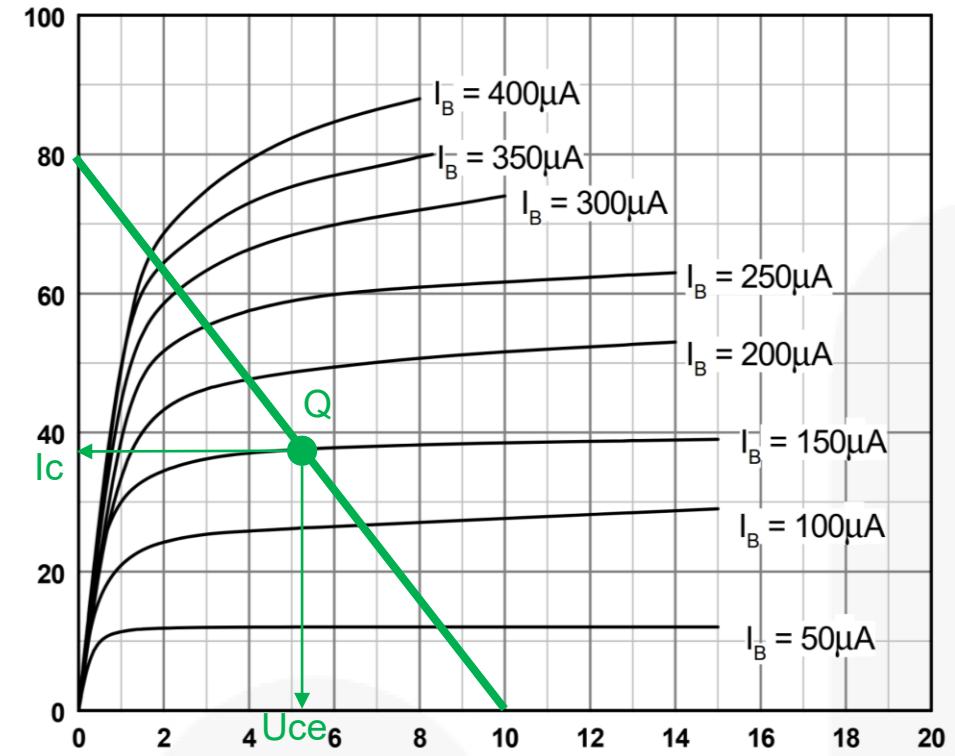
Товарна права

Ако построим схема, къде на тази характеристика всъщност ще работи транзисторът? Не можем просто да изберем точка.
Работната точка е ограничена от външните елементи на схемата.



$$U_{CC} = I_C \cdot R_C + U_{CE}$$

$$I_C = -\frac{1}{R_C} \cdot U_{CE} + \frac{U_{CC}}{R_C}$$



Това е уравнение на права линия, която наричаме „товарна права“.

Тя пресича оста Y (където $U_{CE}=0$) в точка $I_C = U_{CC}/R_C = 10 V / 125 \Omega = 80 \text{mA}$ и

Оста X (където $I_C=0$) в точка $U_{CE} = U_{CC} = 10V$.

Работната точка на транзистора, трябва да лежи някъде на тази линия. Тя е пресечната точка на товарната права с характеристиката, съответстваща на I_B , което сме задали с нашия базов резистор.
На графиката е означена работната точка при $I_B = 150 \mu A$

Товарна права

Ако направим $I_b = 0$, работната точка е в долната част на линията на товарната права (отсечка).

Ако осигурим умерено I_b , работната точка е в средата (активна област).

Ако осигурим много голямо I_b , работната точка се отмества нагоре по товарната права, докато стигне до областта на насищане и не може да продължи по-нататък.

Товарната права е нашият графичен инструмент за анализ на схеми с транзистори. Тя ни показва как промяната на входа (I_b) премества изхода (I_c , U_{ce}) между трите различни области на работа.

