



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 усилване по ток,  $\beta$ .

$$I_C = \beta * I_B$$

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

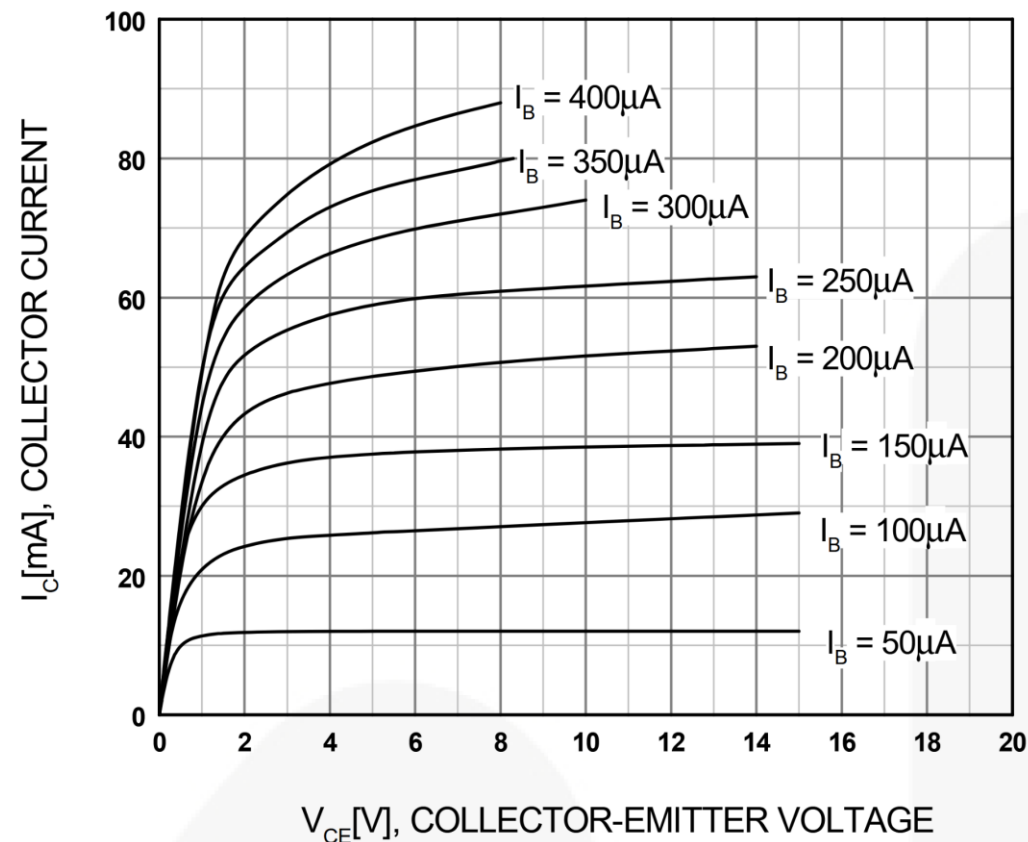
Транзисторът не винаги е усилвател. Той може да бъде и напълно „изключен“ или напълно „включен“ ключ.

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 y 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.

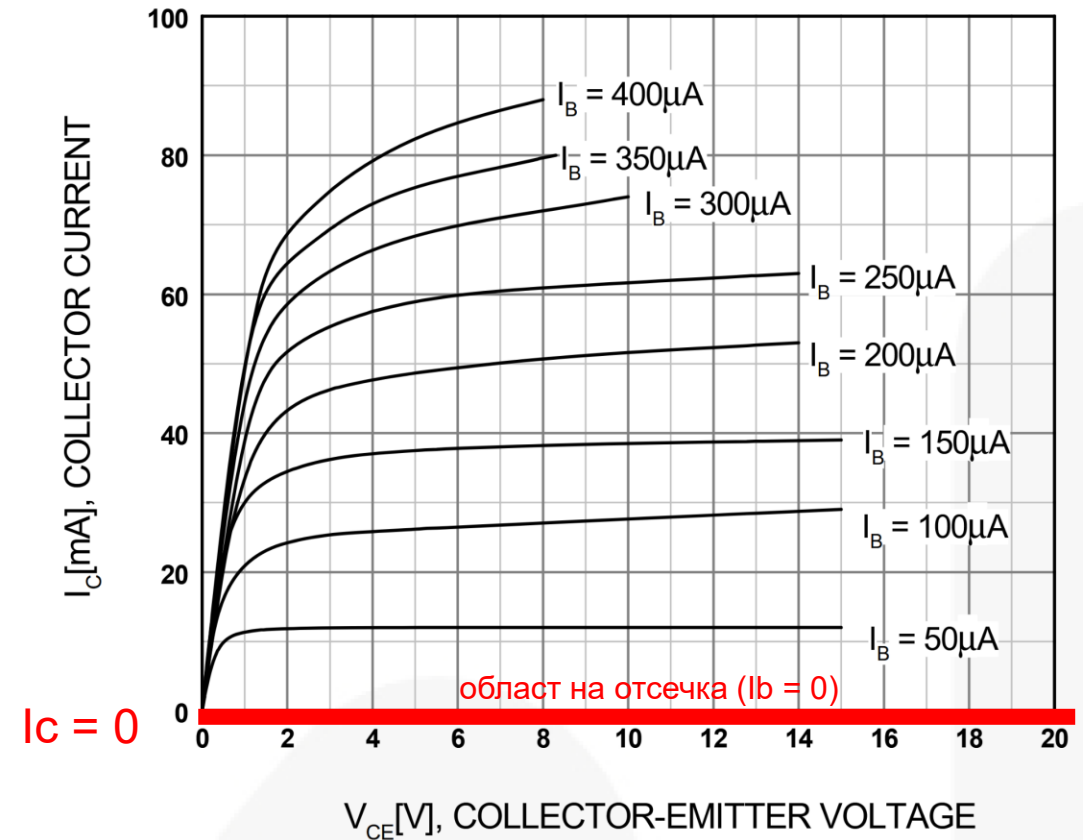
Резултат:  $I_C = 0$

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  $I_B = 50 \mu\text{A}$ . Да приемем, че транзисторът има  $\beta = 250$ .

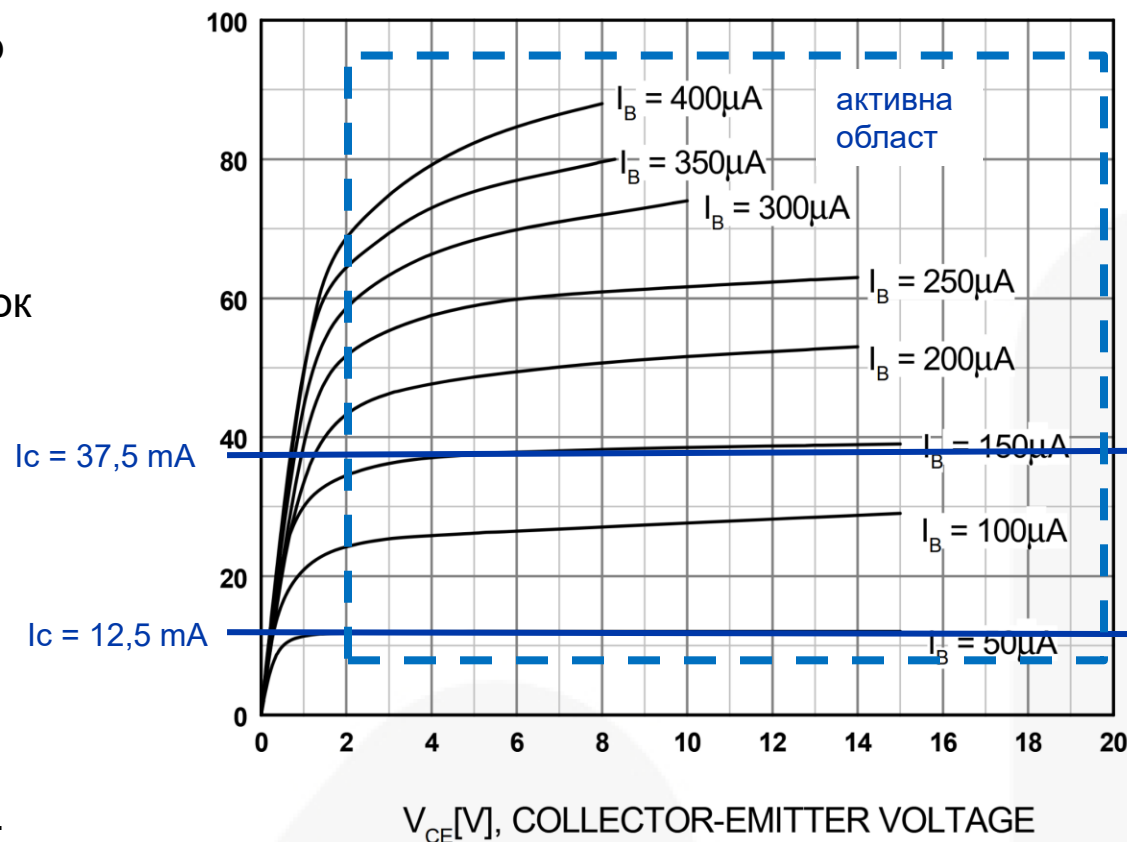
Резултат:  $I_C = \beta * I_B = 250 * 50 \mu\text{A} = 12,5 \text{ mA}$

Обърнете внимание, че с увеличаване на  $U_{CE}$ , колекторният ток  $I_C$  остава почти постоянен на  $12,5 \text{ mA}$ . 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  $I_B = 150 \mu\text{A}$ ?  
Транзисторът ще установи колекторен ток

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

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 ширина на базата. По-тънка база води до по-голям коефициент на усилване по ток  $\beta$ .



# Област на насищане

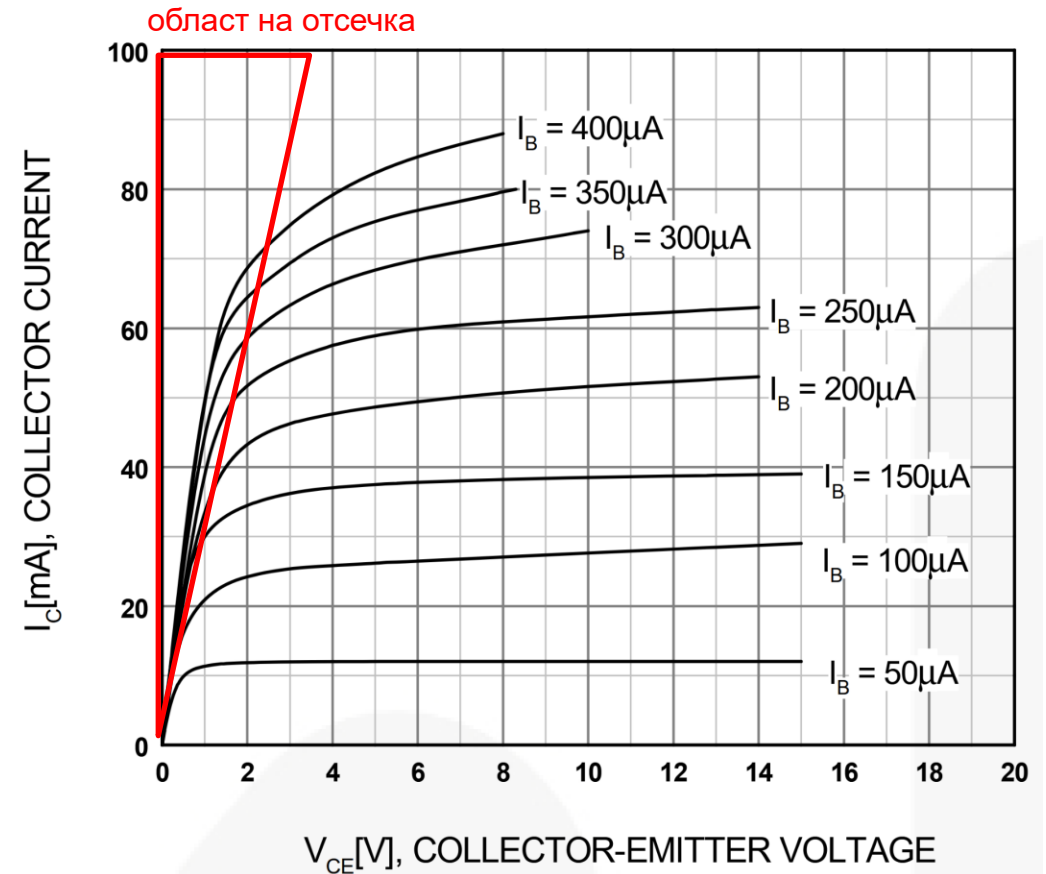
Всички криви в активната област изглеждат хоризонтални, но вляво всички се сблъскват в „стена“ и се спускат към началото на координатната система.

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  $I_C = \beta * I_B$ .

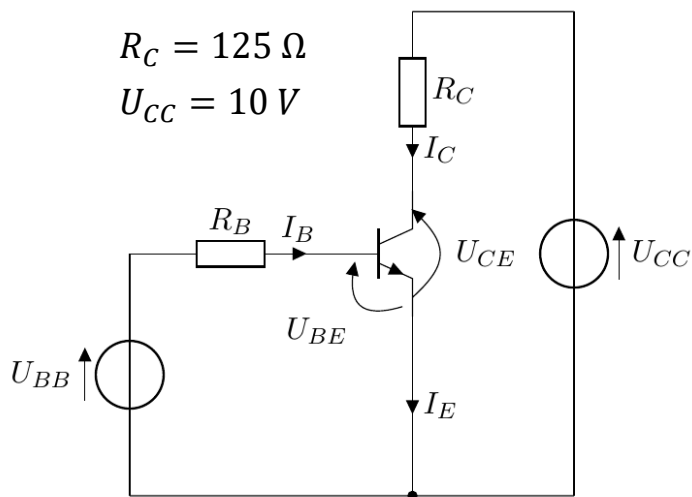
Външни ограничения: В това състояние колекторният ток вече не се определя от бета, а е ограничен от външните компоненти във веригата (захранващото напрежение и товарния резистор).



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

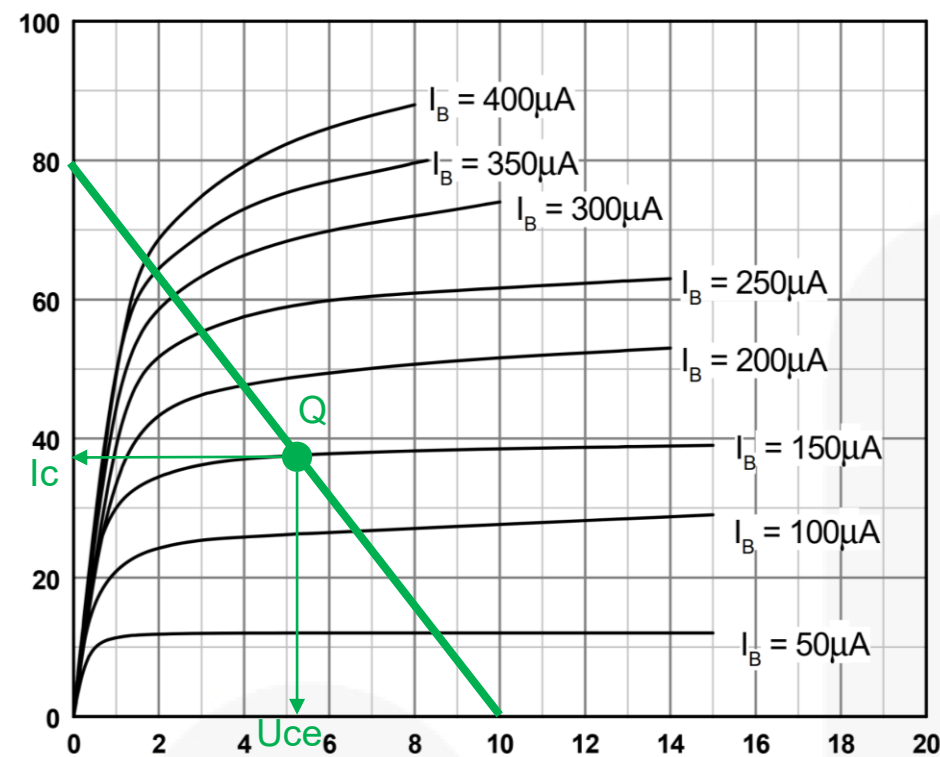
# Товарна права

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  $U_{CE} = U_{CC} = 10 \text{ V}$ .

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.

