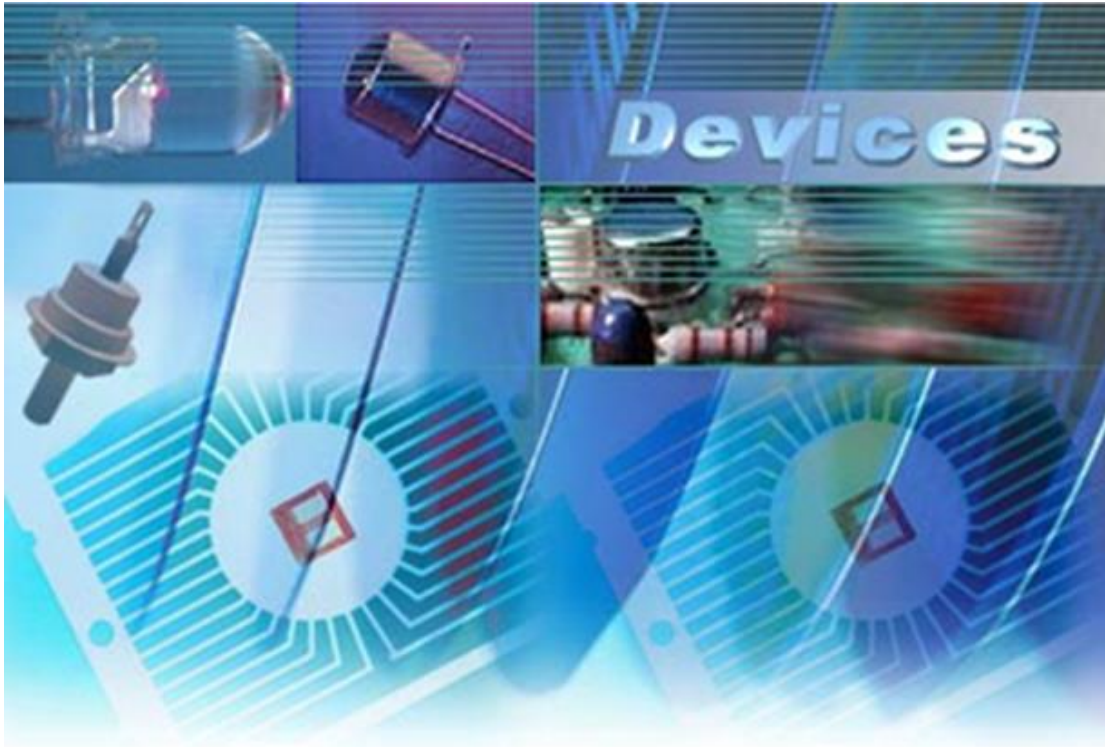


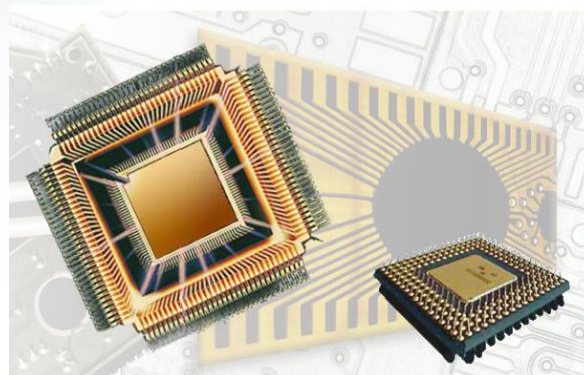


Ключов режим на биполярни транзистори



Полупроводникови
елементи

Основни приложения



Транзисторът **като ключ** се използва във всички цифрови схеми, които са в основата на компютърната техника. В този режим работят транзисторите в микропроцесорите, микроконтролерите, полупроводниковите памети и др. Компютри и компютъризирано управление на машини и оборудване се срещат навсякъде в индустрията, транспорта и в ежедневиия ни живот.

Цели и предпоставки

Разглежда се работата на транзистора като ключ, преходните процеси и импулсните параметри на транзистора

Познавате

Разбирате

Анализирате

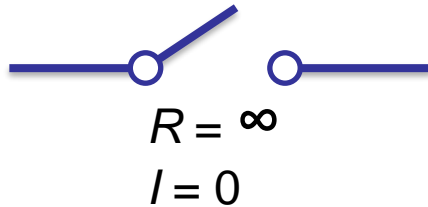
След изучаване на материала вие би трябвало да:

- ✚ Състоянията на транзистора като ключ
- ✚ Ключ в схема общ емитер
- ✚ Режими на работа в крайните състояния на ключа
- ✚ Причината за навлизане на транзистора в режим на насищане
- ✚ Процесите, протичащи при превключване
- ✚ Факторите, влияещи върху импулсните параметри
- ✚ Връзката между токовете в транзистора при насищане
- ✚ Токовете и напреженията в схеми с транзистори

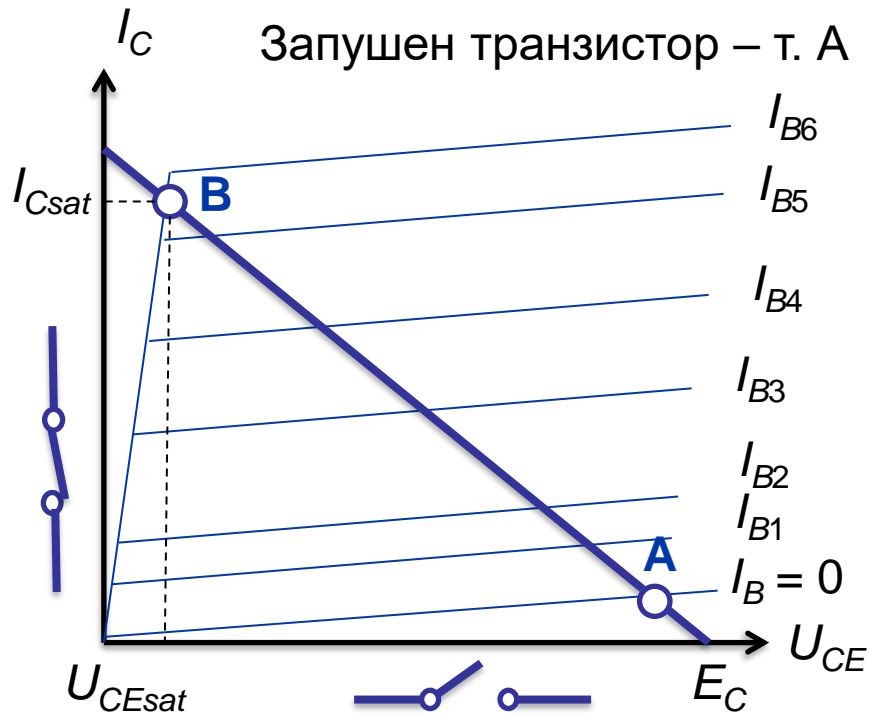
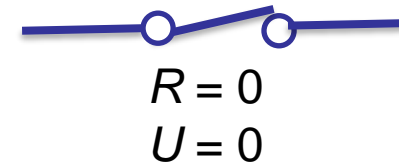
Предпоставки: биполярен транзистор

Крайни състояния на ключа

Отворен



Затворен

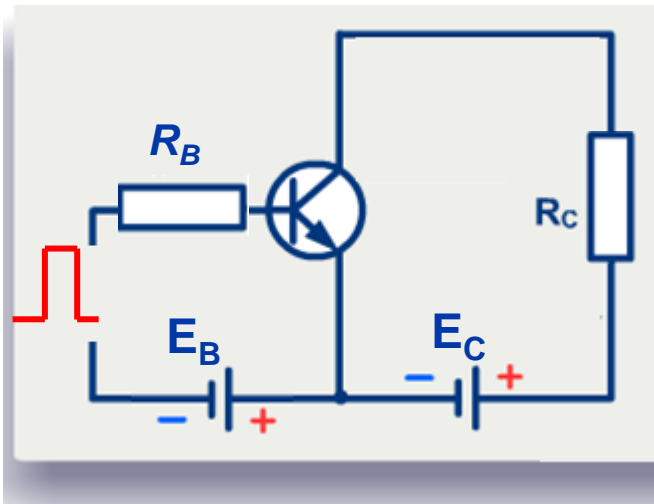


Наситен транзистор – т. В

В двете крайни състояния на ключа транзисторът е пасивен елемент и не може да се управлява.

При превключване работната точка се движи по **товарната права**, изминавайки всички точки между т. А и т. В

Ключ общ емитер



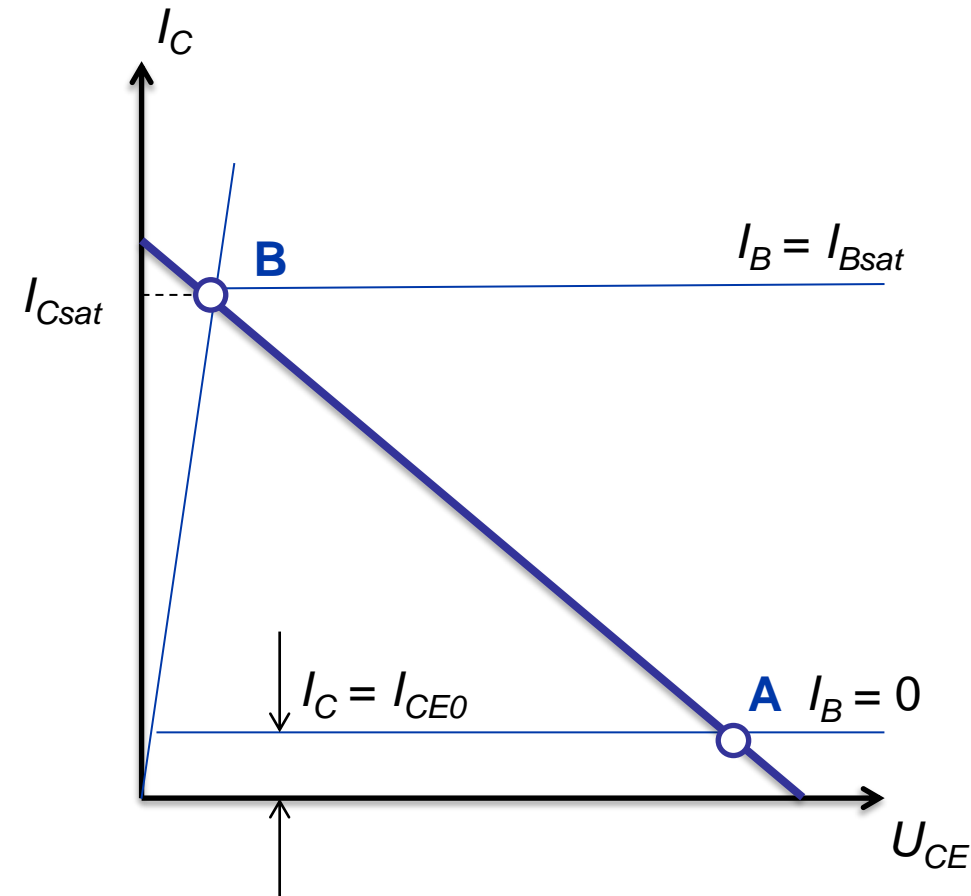
Предимства:

- ✚ Малка мощност на управление
- ✚ Малко съпротивление при включено състояние

В изходно състояние транзисторът е запушен (емитерният и колекторният преход са в обратно включване) поради подаденото преднапрежение E_B .

Състоянието на ключа се определя от амплитудата на входния положителен отпушващ импулс.

Режим на отсечка



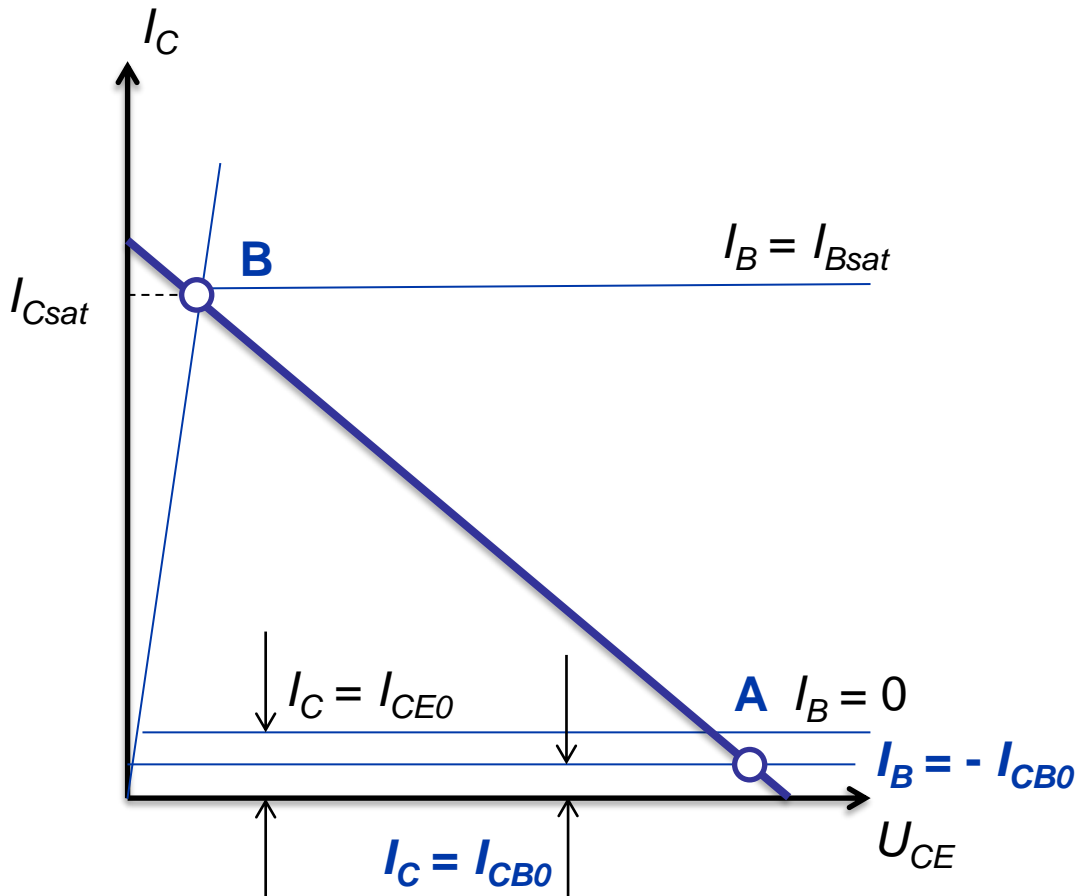
$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CB0}$$

Ако $I_B = 0$

$$I_C = (1 + \beta) I_{CB0} = I_{CE0}$$

Режим на отсечка

Режим на дълбока отсечка



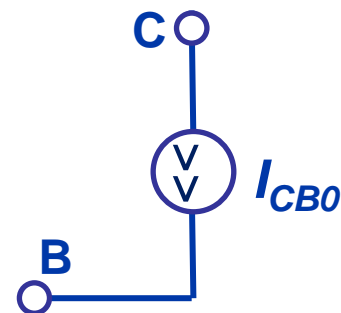
Режим на дълбока отсечка

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

Ако $I_B = -I_{CB0}$

$$I_C = I_{CB0}$$

Режим на дълбока отсечка – т. А



Еквивалентна схема в режим на отсечка

Активен режим

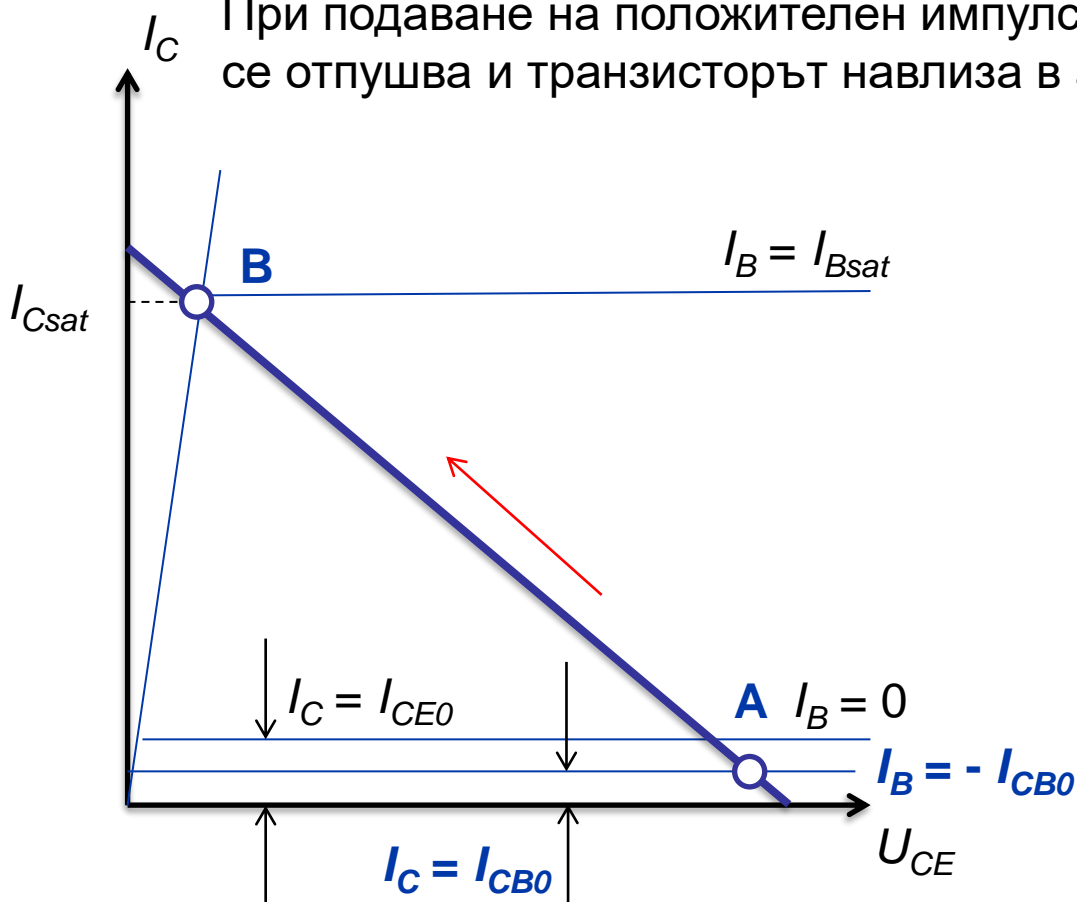
При подаване на положителен импулс на входа $u_{IN} > 0$, емитерният преход се отпушва и транзисторът навлиза в активен нормален режим.

С нарастване на входното напрежение работната точка се движи по товарната права.

Моментните стойности на токовете в базата и колектора са съответно:

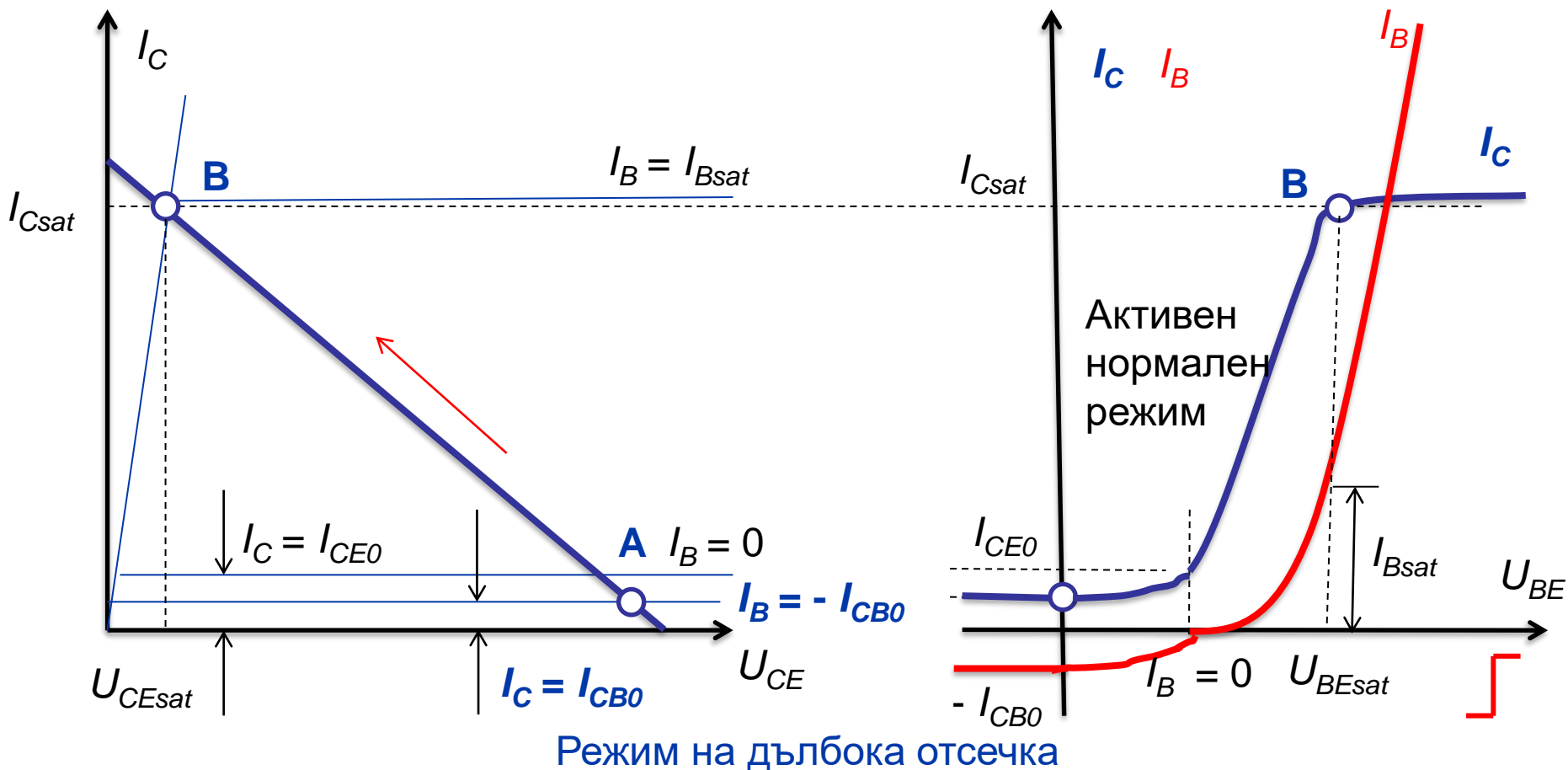
$$i_B = \frac{u_{IN} - u_{BE}}{R_B}$$

$$i_C = \beta i_B = \beta \frac{u_{IN} - u_{BE}}{R_B}$$



Режим на дълбока отсечка

Графично изменение на токовете



Преминаване към насищане

В активен режим, когато се увеличава базисният ток I_B

⚙ **Нараства** U_{BE} съгласно входните характеристики

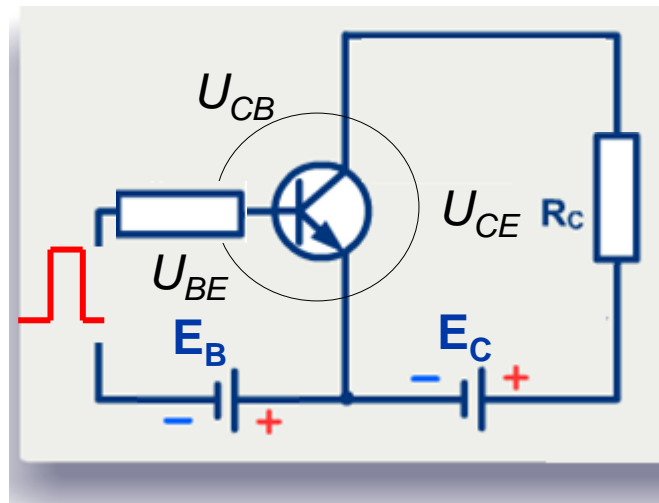
⚙ **Намалява** U_{CE} , защото

$$I_B \uparrow \Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B \uparrow \Rightarrow I_C \cdot R_C \uparrow \Rightarrow \downarrow U_{CE} = E_C - I_C \cdot R_C$$

Между напреженията в транзистора има връзка

$$U_{CE} = U_{CB} + U_{BE}$$

откъдето за напрежението на колекторния преход U_{CB} се получава



$$U_{CB} = U_{CE} - U_{BE}$$

Изменение на напряженията

В активен режим, когато се увеличава базисният ток

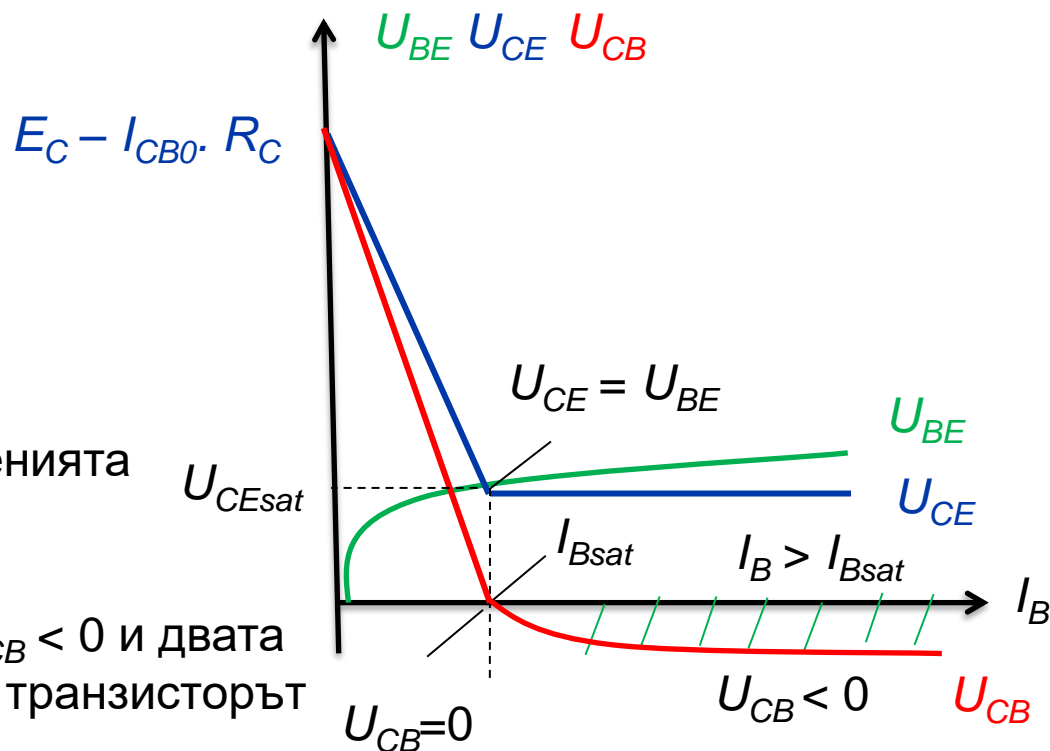
⊕ **Нараства** U_{BE}

⊕ **Намалява** U_{CE}

$$U_{CB} = U_{CE} - U_{BE}$$

При ток на базата I_{Bsat} напреженията $U_{CE} = U_{BE}$ и $U_{CB} = 0$

За ток $I_B > I_{Bsat}$ напрежението $U_{CB} < 0$ и двата прехода са в право включване – транзисторът **навлиза в режим на насищане**



Режим на насищане

В режим на насищане двата прехода се включват в права посока. Те инжектират токоносителни в базата и напрежението $U_{CEsat} \approx 0$. (Реално $U_{CEsat} \approx 0,1 \div 0,4 \text{ V}$)

Колекторният ток в режим на насищане I_{Csat} е

$$I_{Csat} = \frac{E_C - U_{CEsat}}{R_C} = \frac{E_C}{R_C}$$

I_{Csat} не зависи от транзистора

Базисният ток на насищане I_{Bsat} е

$$I_{Bsat} = \frac{I_{Csat}}{\beta} = \frac{E_C}{R_C \beta}$$

Условие за настъпване на насищане

Условието транзисторът да навлезе в режим на насищане е **базисният ток да е по-голям от базисния ток на насищане**.

$$I_B > I_{Bsat}$$

$$\text{Тогава } I_C = I_{Csat} = \text{const} = \frac{E_C}{R_C}$$

При $I_B > I_{Bsat}$ се сменя поляритета на напрежението U_{CB} и двата прехода се включват в права посока. В режим на насищане **не важи условието** $I_C = \beta \cdot I_B$.

Насищане може да настъпи при много малки токове, тъй като то не зависи от големината на тока, а от **съотношението** между токовете I_B и I_{Bsat} .

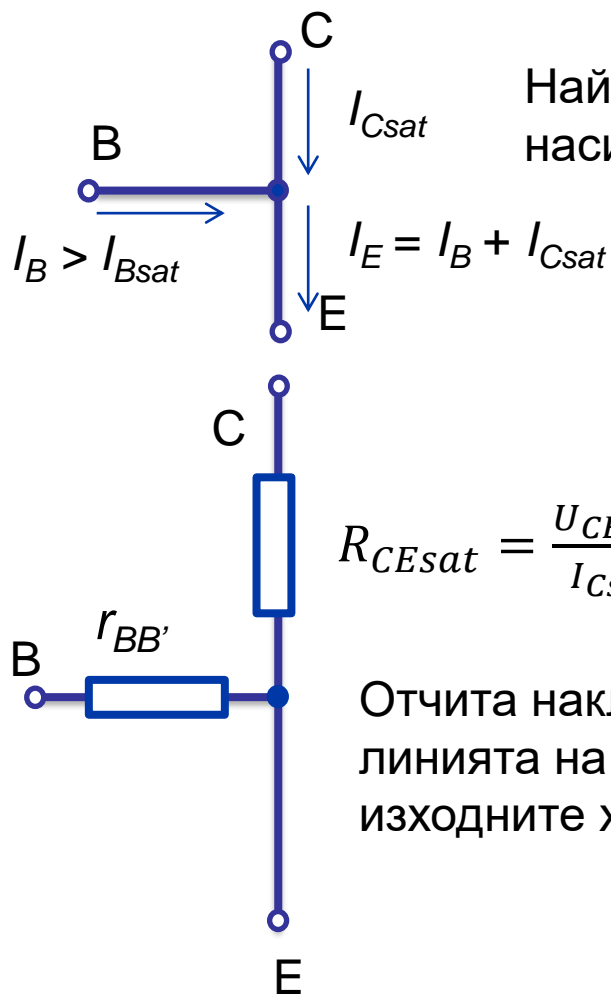
Степен на насищане

$$N = \frac{I_B}{I_{Bsat}}$$

$$I_B > I_{Bsat}$$

$$N = 2 \div 5$$

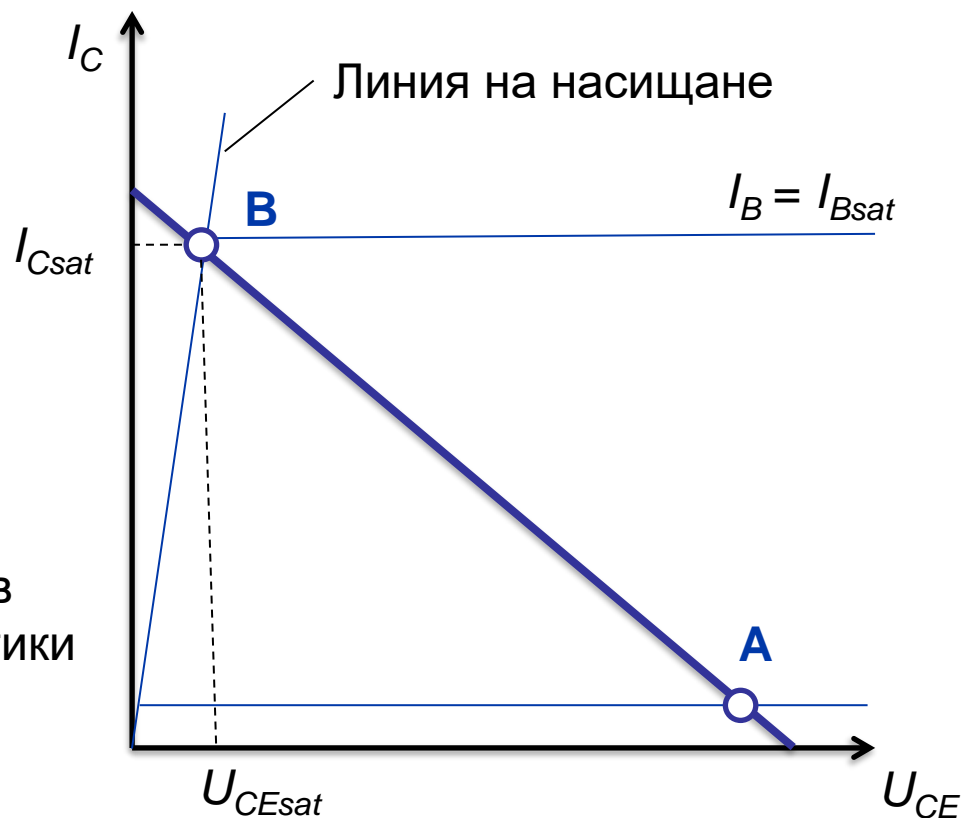
Еквивалентни схеми в насищане



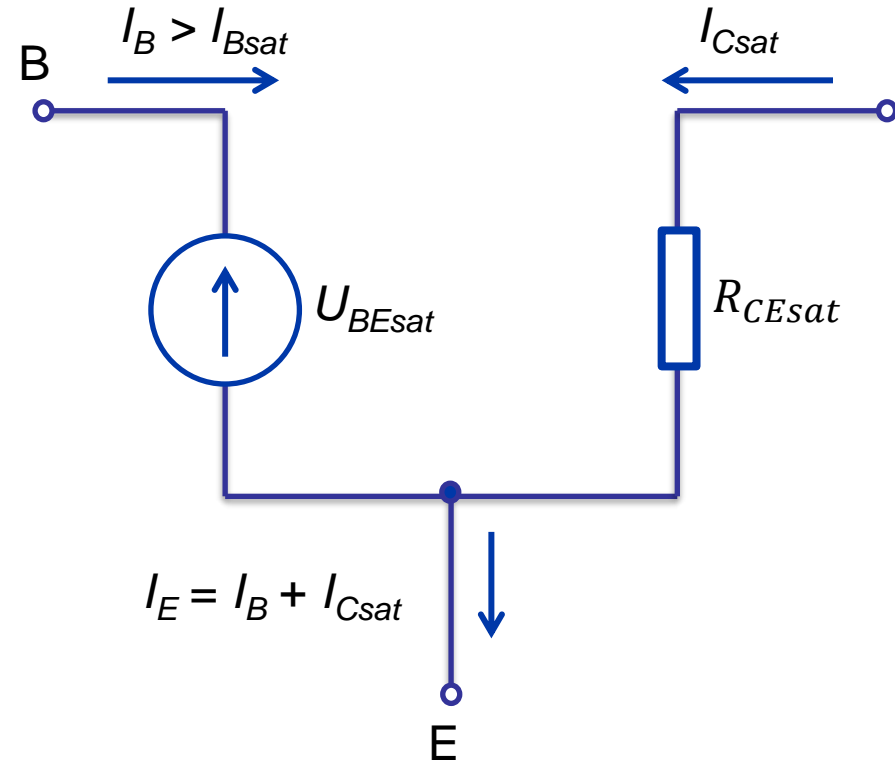
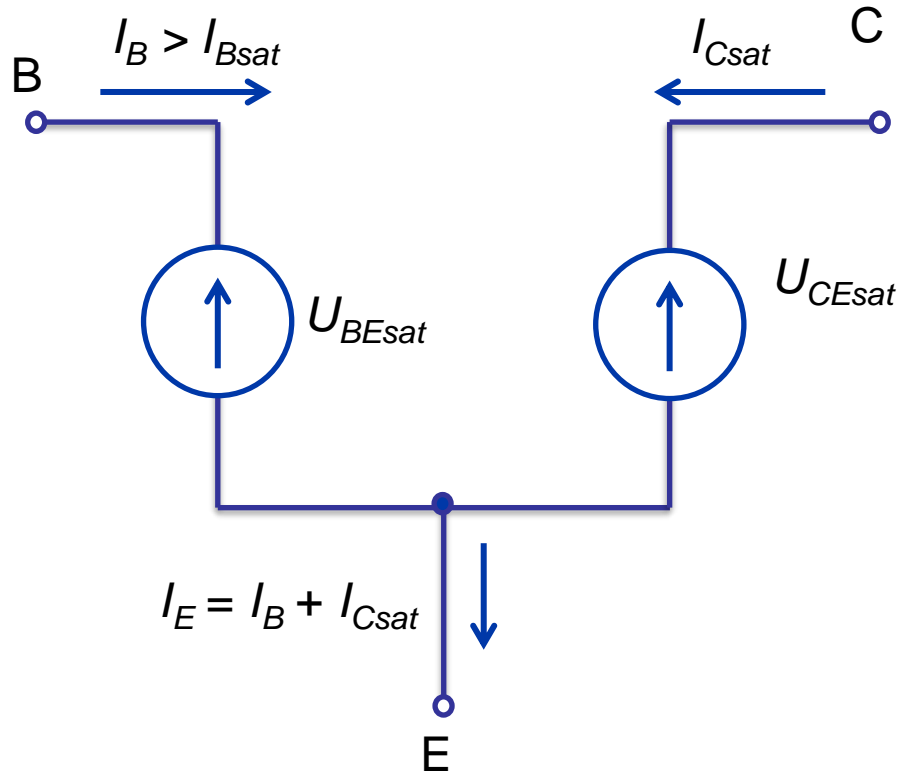
Най-простата еквивалентна схема на транзистор в насищане е еквипотенциална точка

$$R_{CEsat} = \frac{U_{CEsat}}{I_{Csat}}$$

Отчита наклона на линията на насищане в изходните характеристики



Еквивалентни схеми в насищане



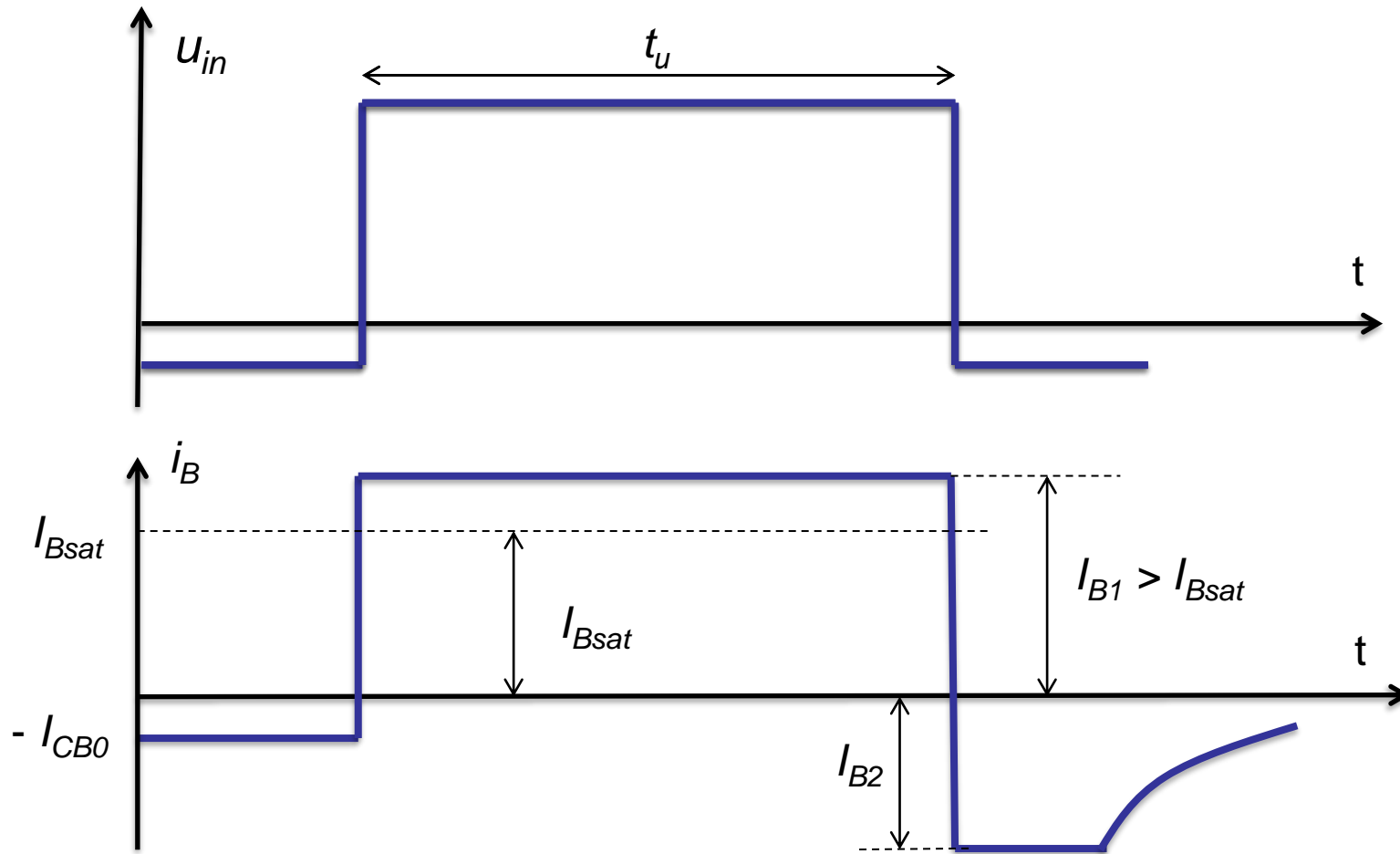
Бързодействие на ключа

Бързодействието на ключа зависи от продължителността на преходните процеси при превключване. Преходните процеси се дължат на:

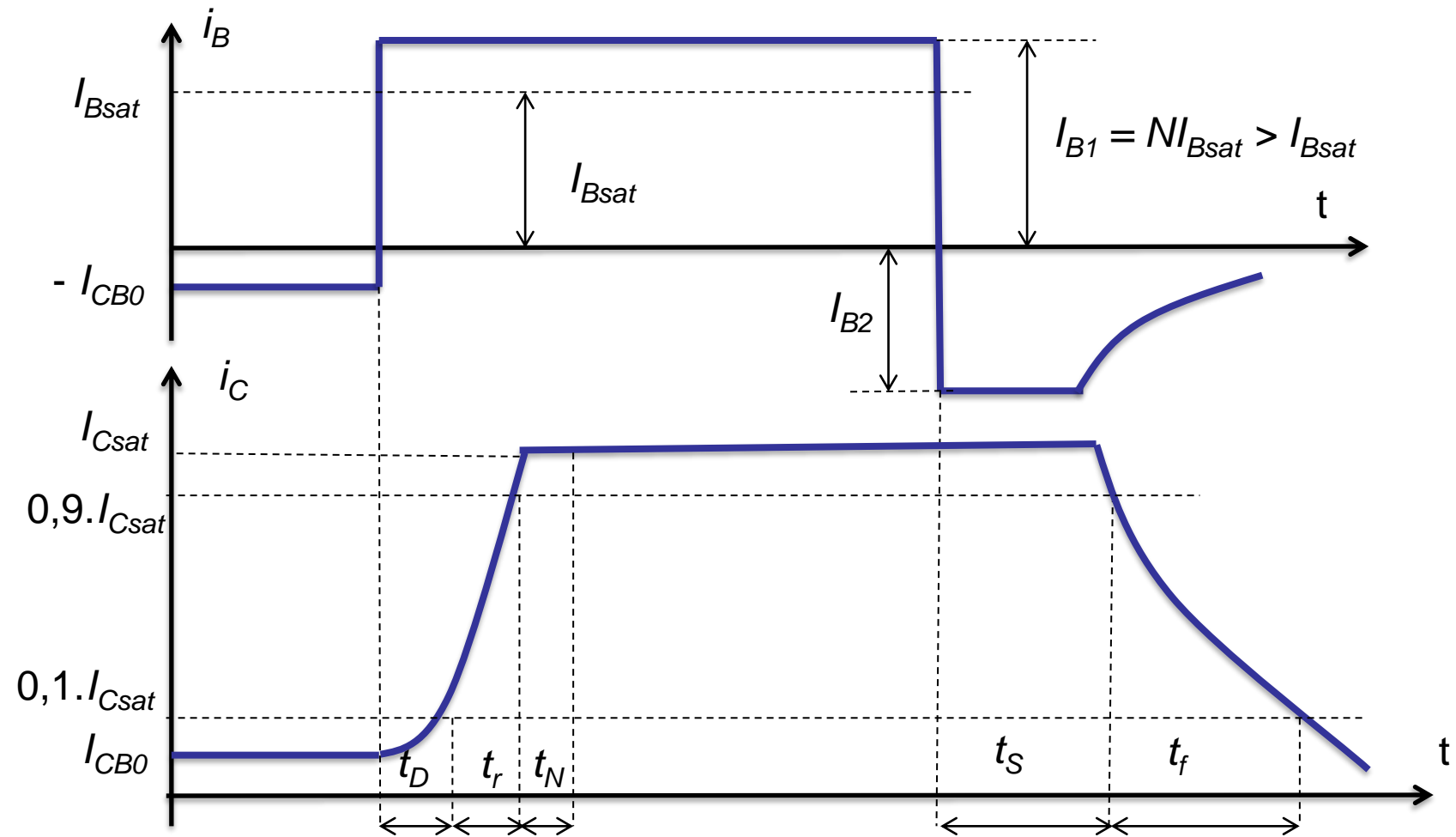
- ✚ **Инерционността на процесите на пренасяне, натрупване и разнасяне на токоносителите в базата и колекторния транзистора**
- ✚ **Времето, необходимо за презареждане на кондензаторите на преходите**
- ✚ **Наличието на паразитни кондензатори на корпуса и индуктивности на изводите**

В изходно състояние транзисторът е запушен. На входа му се подава отпущащ положителен импулс. Пренебрегват се преходните процеси в базата и се предполага, че напрежението е достатъчно транзисторът да влезе в насищане. След време, равно на продължителността на импулса, поларитетът на входното напрежение се променя.

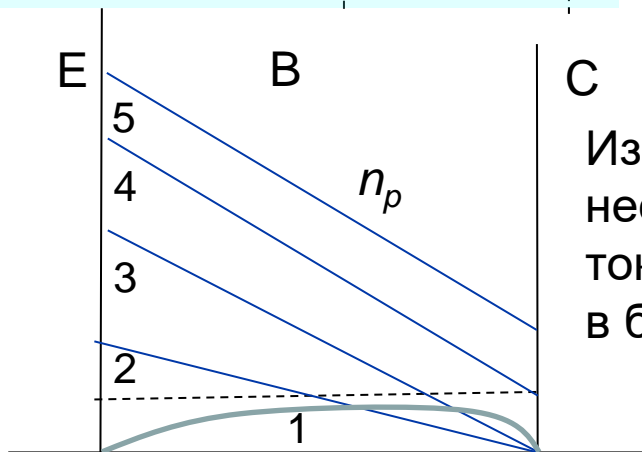
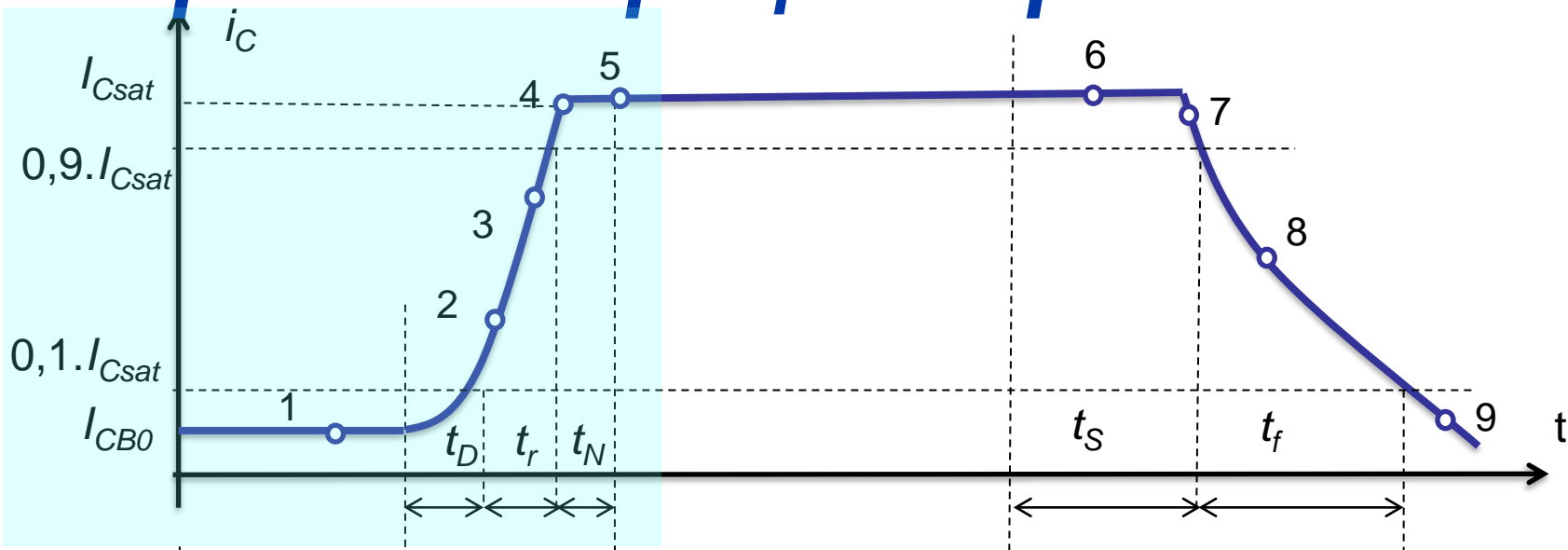
Преходни процеси при превключване



Преходни процеси при превключване



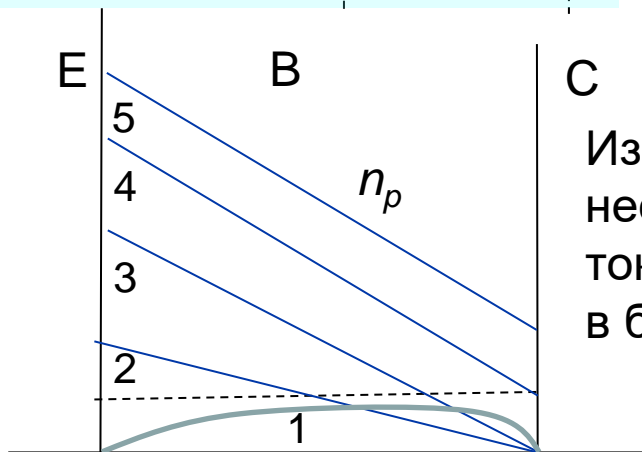
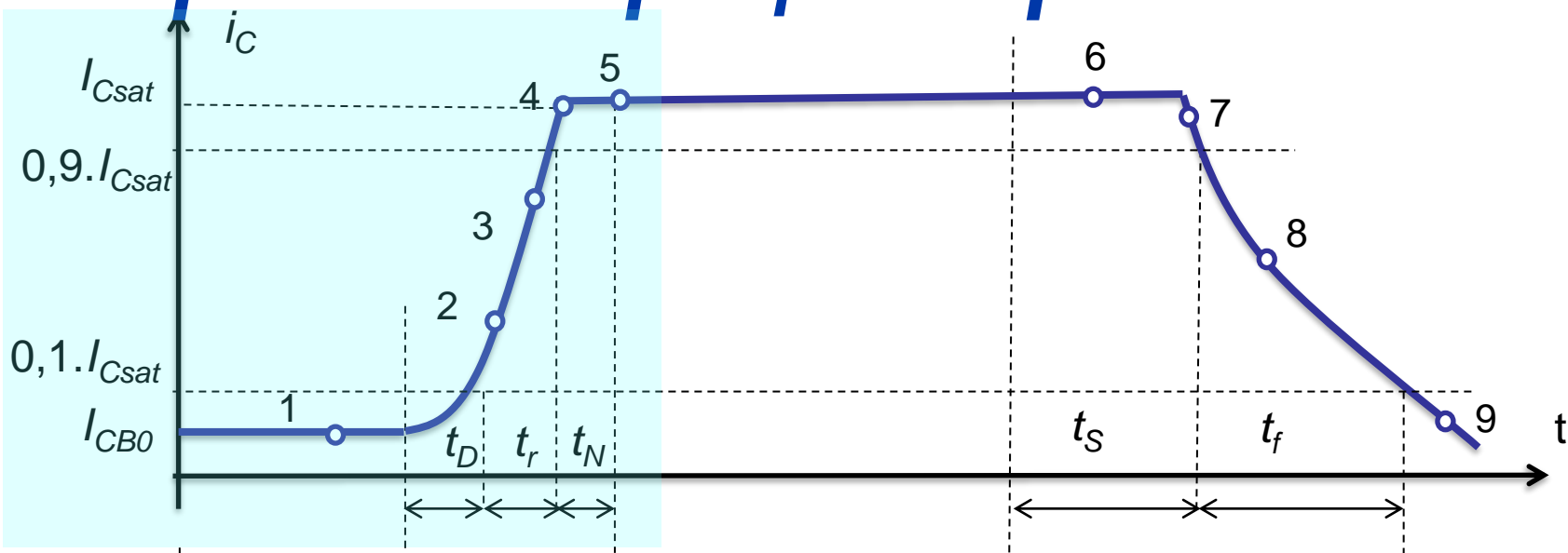
Преходни процеси при включване



Изменение на неосновните токоносители в базата

При подаване на отпушващ импулс i_B нараства скокообразно. Поради времето, необходимо за зареждане на C_E , i_C нараства бавно. Времето за достигане на i_C до 10% от I_{csat} се нарича **време на закъснение** t_D .

Преходни процеси при включване

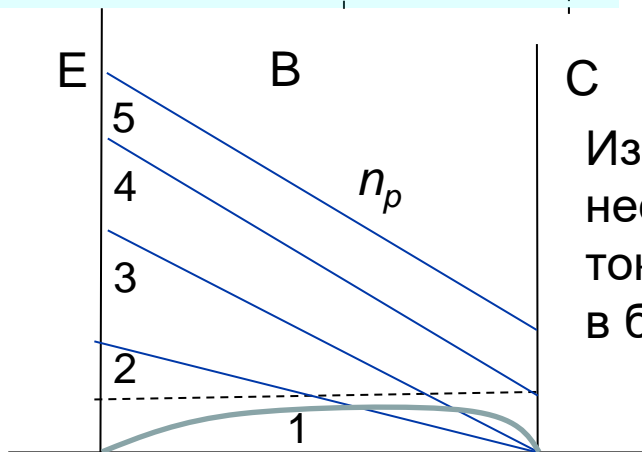
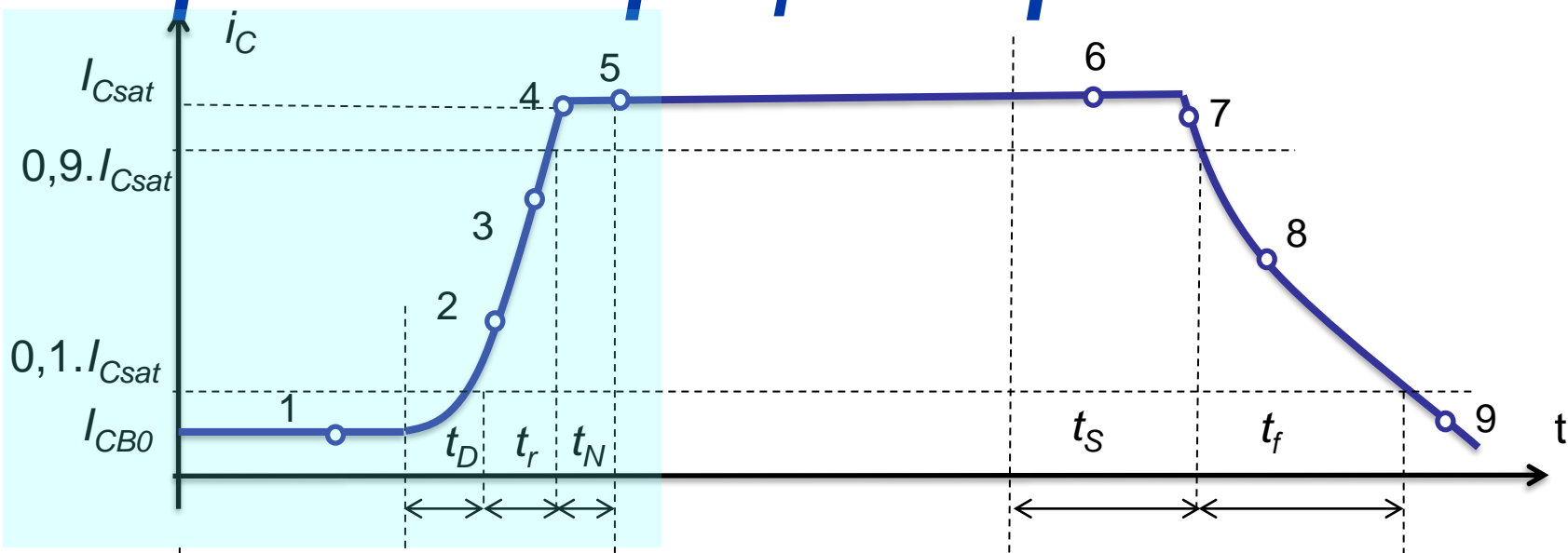


Изменение на неосновните токоносители в базата

Времето за достигане на i_C от 10% до 90% от I_{Csat} се нарича **време на нарастване** t_r

Транзисторът работи в активен режим. Тук влияе инерционността на токоносителите и времето за презареждане на C_C .

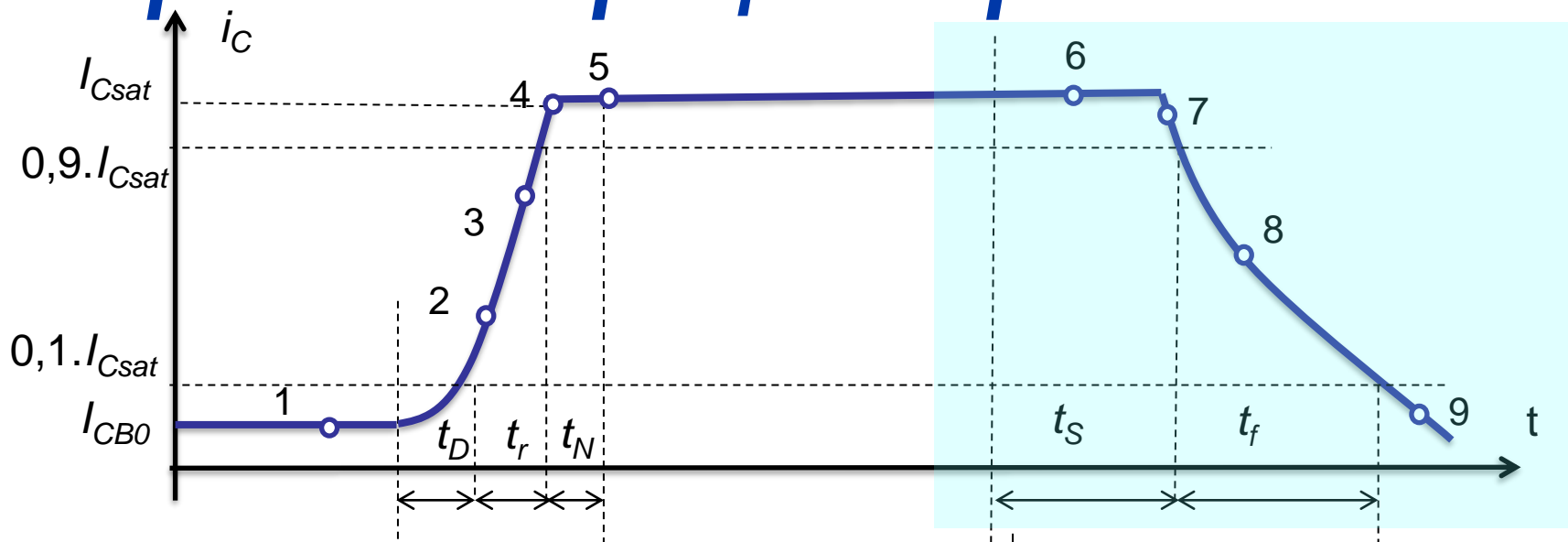
Преходни процеси при включване



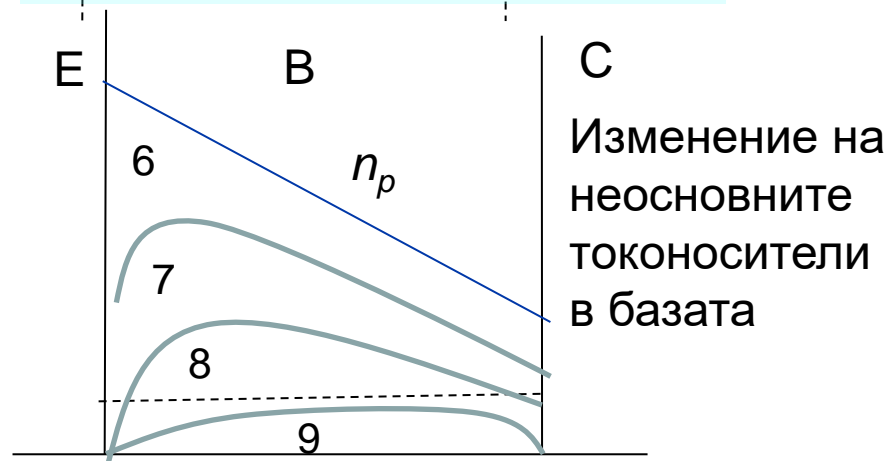
Изменение на неосновните токоносители в базата

При навлизане на транзистора в насищане, i_C достига I_{csat} , но натрупването на токоносителите продължава в зависимост от степента на насищане N за **време за натрупване** t_N , с което преходният процес при включване завършва.

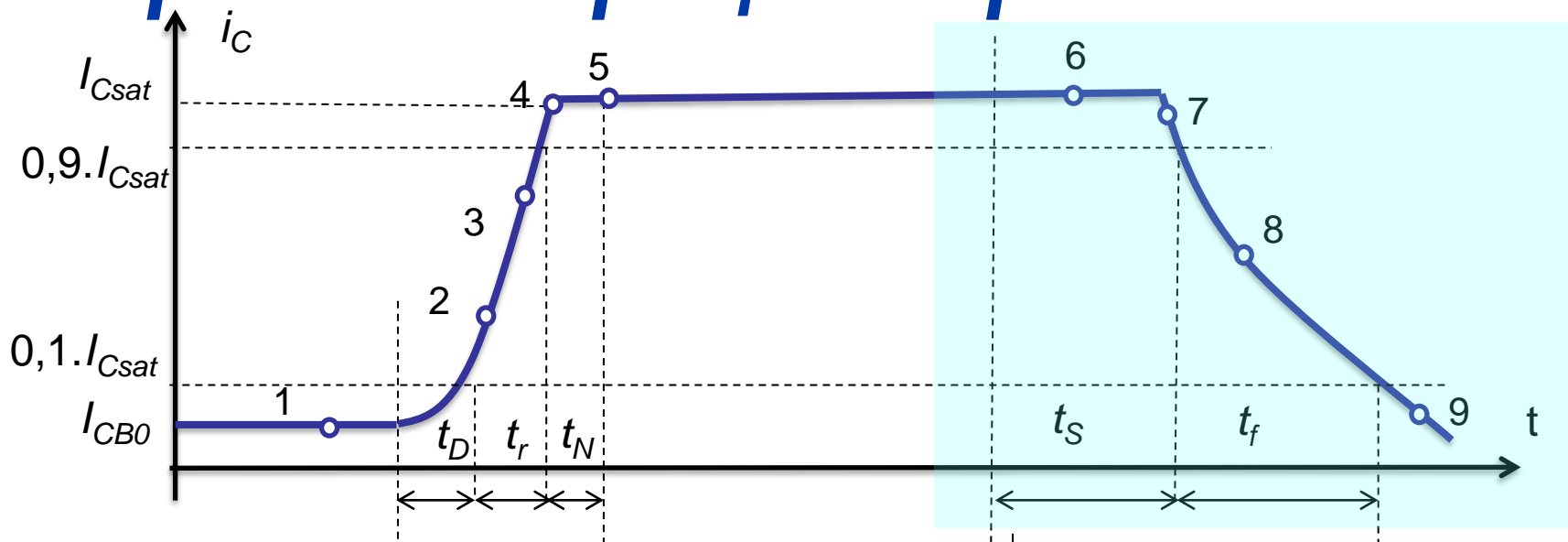
Преходни процеси при изключване



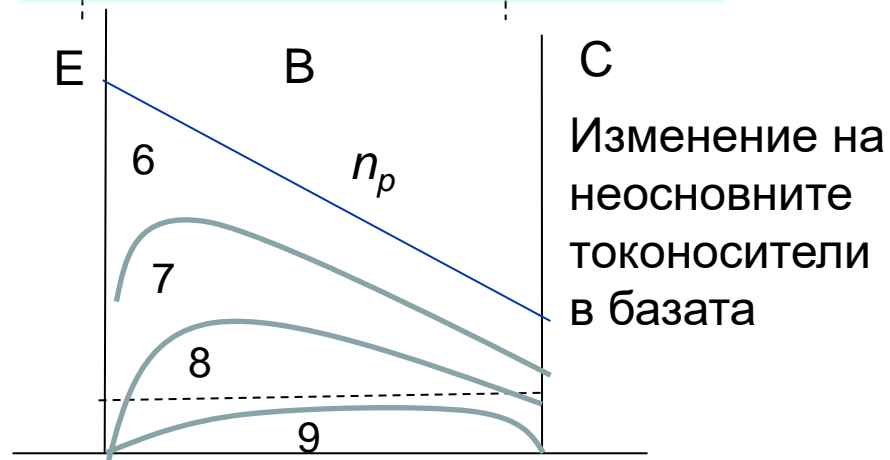
При подаване на запущащ импулс i_B сменя знака си. Започва разнасяне на натрупаните токоносителни, но $i_C = I_{Csat}$. Дефинира се **време за разнасяне на токоносителите** t_S , за което i_C спада до 90% от I_{Csat} .



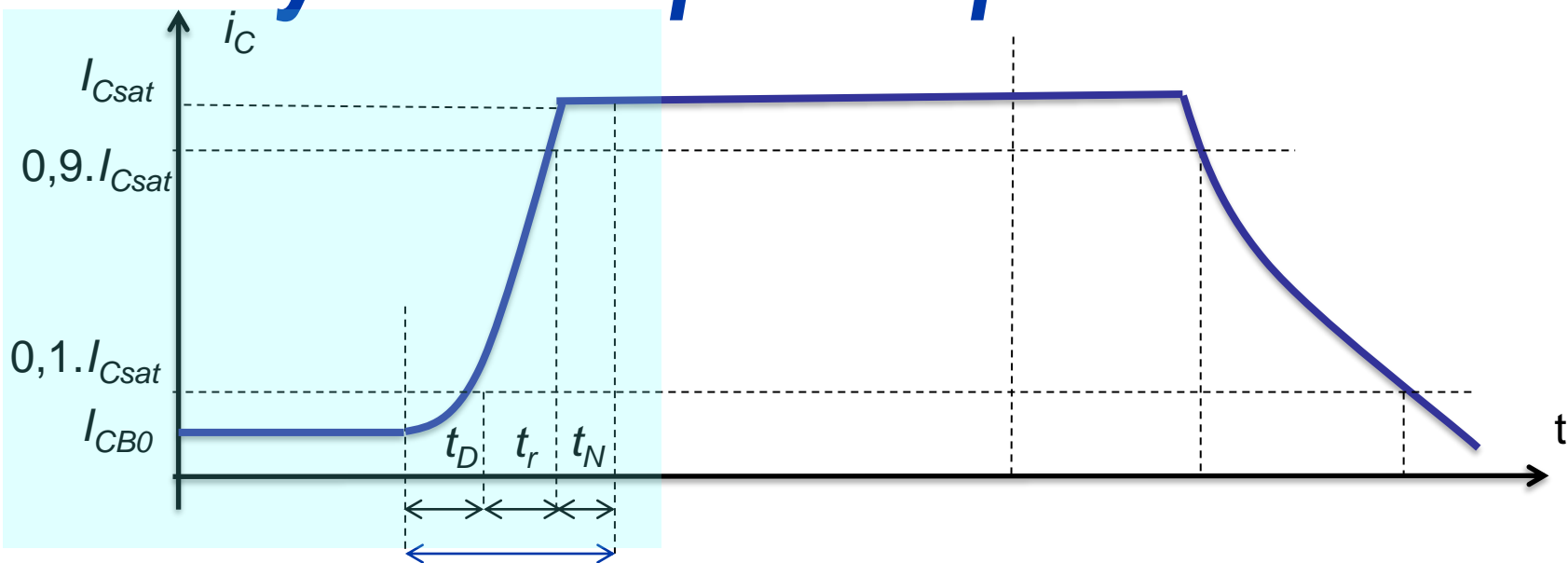
Преходни процеси при изключване



След t_S колекторният ток започва да спада. Дефинира се **време за спадане** t_f , за което i_C спада от 90% до 10% от I_{csat} , където се приема, че транзисторът се запушва.



Импулсни параметри – включване



$$t_{ON} = t_D + t_r + t_N$$

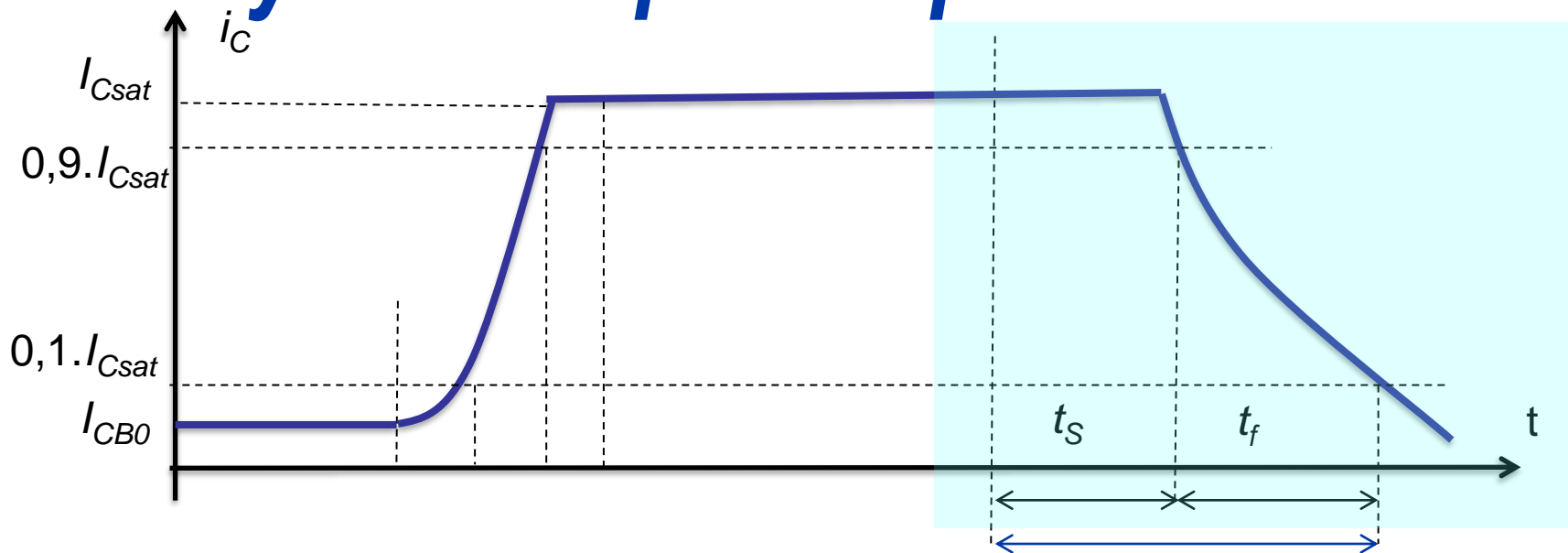
t_{ON} – време на включване

t_D – време на закъснение – времето от подаване на отпушващ импулс до достигане на $i_C = 0,1 \cdot I_{Csat}$

t_r – време за нарастване – времето нарастване на i_C от $0,1 \cdot I_{Csat}$ до $0,9 \cdot I_{Csat}$

t_h – време за натрупване – времето за натрупване на токоносителите, съответстващи на $i_B = N \cdot I_{Bsat}$

Импульсни параметри – изключване



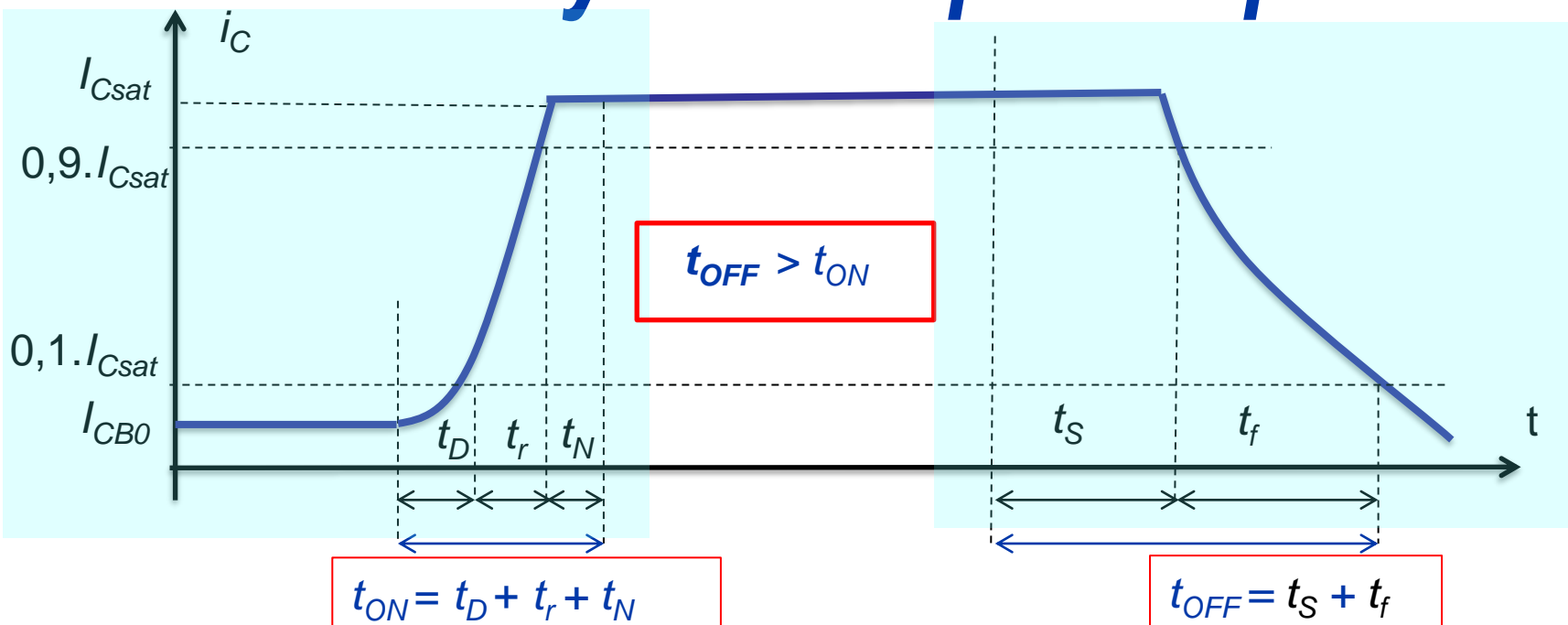
t_{OFF} – време на изключване

$$t_{OFF} = t_S + t_f$$

t_S – време на разнасяне – времето от подаване на запущащ импулс до достигане на $i_C = 0,9 \cdot I_{Csat}$

t_f – време за спадане – времето спадане на i_C от $0,9 \cdot I_{Csat}$ до $0,1 \cdot I_{Csat}$

Импулсни параметри



t_{ON} – време на включване

t_{OFF} – време на изключване

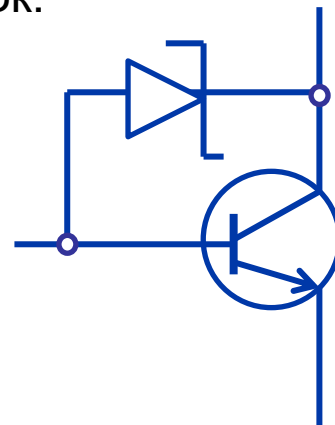
Времето на изключване t_{OFF} е много по-голямо от времето за включване t_{ON} .

Импулсни параметри – зависимости

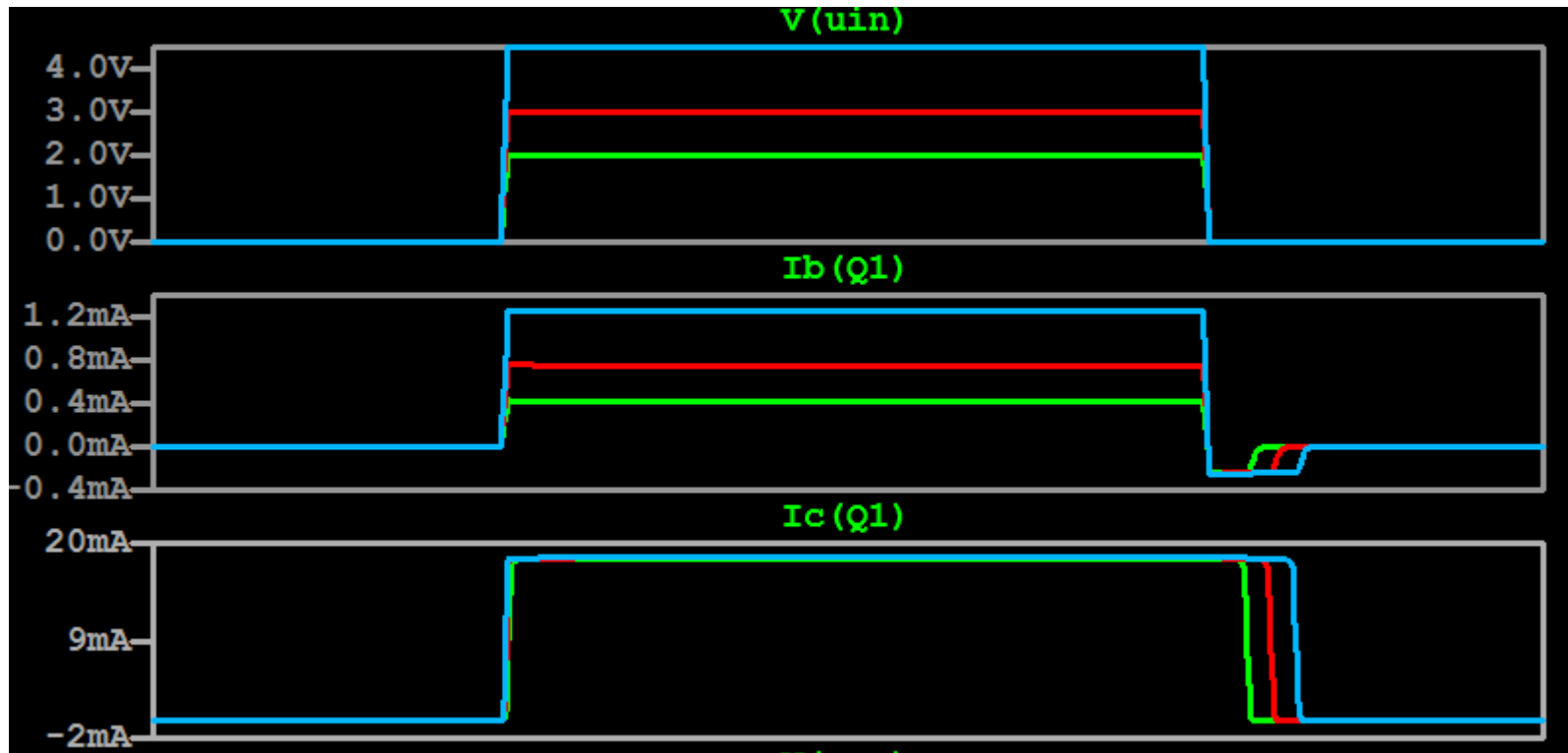
- Времената t_S и t_f зависят от I_{B2} и от честотните свойства на транзистора (геометрични размери и време на живот)
- Времето за разнасяне зависи от пълното количество носители натрупани в базата – т.е от I_{B1} (от степента на насищане N)

За по-голямо бързодействие времето на разнасяне се намалява, чрез по-малко време на живот на токоносителите (легиране със злато). Това, обаче, намалява коефициента на усилване и увеличава обратния ток.

В интегралните схеми колекторният преход се шунтира с диод на Шотки, където $U_F = 0,1 - 0,3$ V. Това ограничава тока през колекторния преход при право включване и натрупването на токоносители, откъдето t_S рязко намалява. При Шотки диода липсва инжекция на неосновни токоносители.

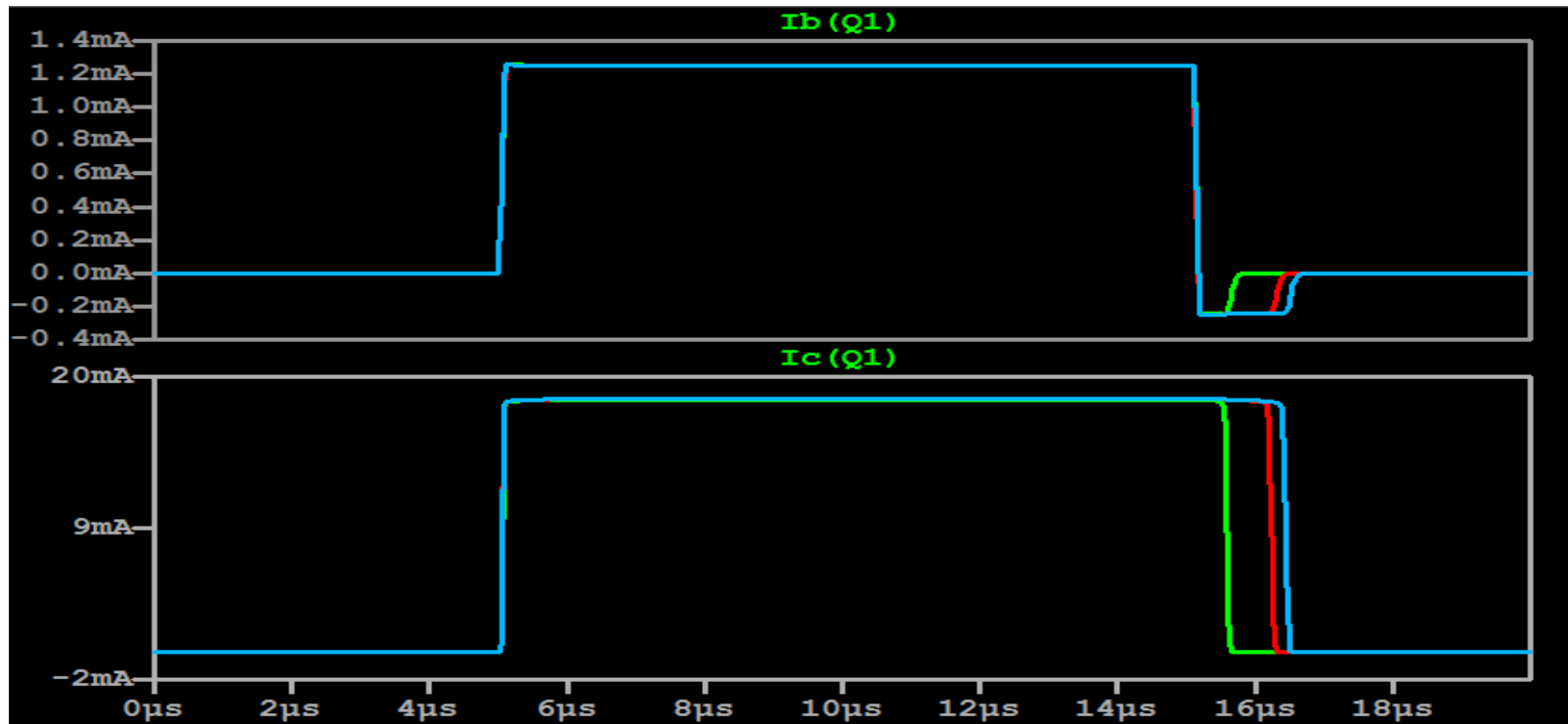


Влияние на входното напрежение



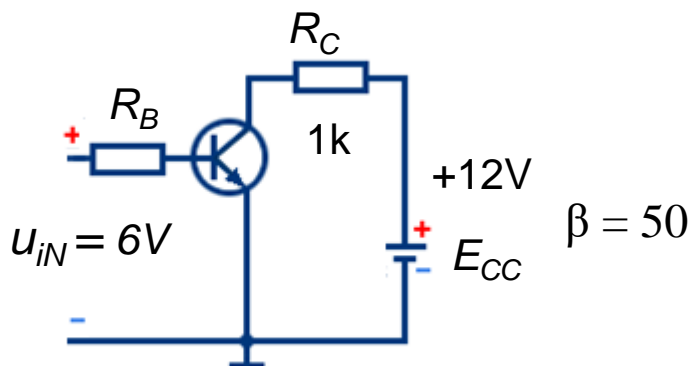
$$U_{in} \uparrow \Rightarrow I_B = \frac{U_{in} - U_{BE}}{R_B} \uparrow \quad I_{Bsat} = \frac{I_{Csat}}{\beta} = \frac{E_C}{R_C \beta} \Rightarrow N = \frac{I_B}{I_{Bsat}} \uparrow \Rightarrow t_{OFF} \uparrow$$

Влияние на коэффициента β

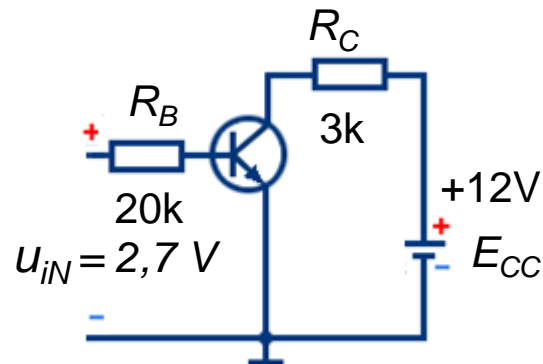


$$U_{in} \text{ и } I_B = \frac{U_{in} - U_{BE}}{R_B} = \text{const} \quad I_{Bsat} = \frac{I_{Csat}}{\beta} = \frac{E_C}{R_C \beta} \downarrow \Rightarrow N = \frac{I_B}{I_{Bsat}} \uparrow \Rightarrow t_{OFF} \uparrow$$

Примери

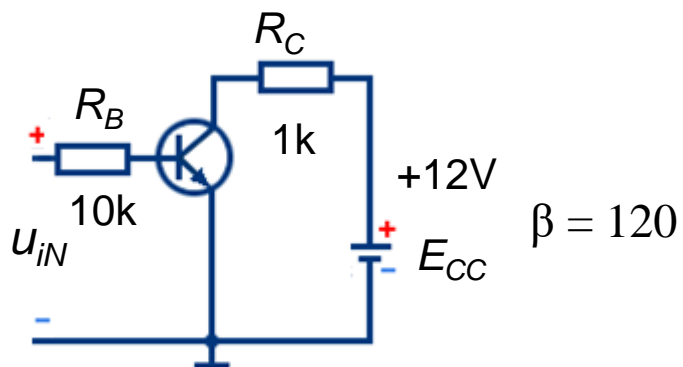


Да се определи максималната стойност на R_B , при която транзисторът от фигурата ще работи в режим на насищане.

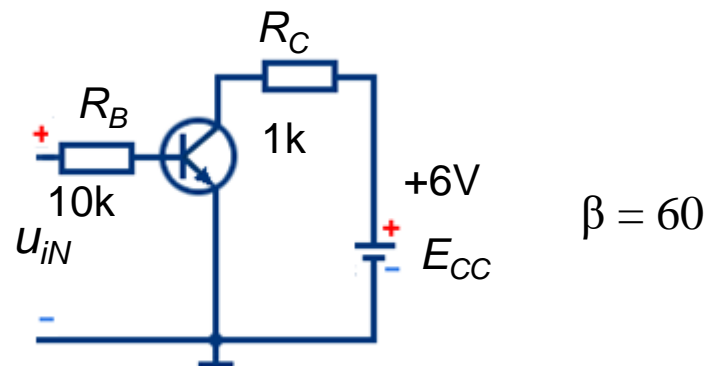


Да се определи минималната стойност на коефициента β , при която транзисторът от фигурата ще работи в режим на насищане.

Примери



$I_C = ?$, $U_{CE} = ?$,
ако $u_{iN} = 2,7\text{ V}$



$I_C = ?$, $U_{CE} = ?$,
ако $u_{iN} = 4,7\text{ V}$