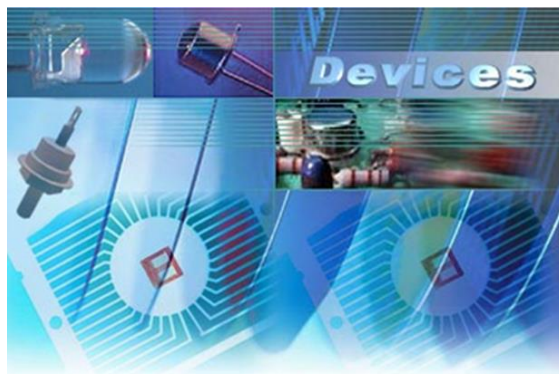




Ключов режим на биполярни транзистори



Полупроводникови елементи



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 1 от ...

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 ежедневието ни живот.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!

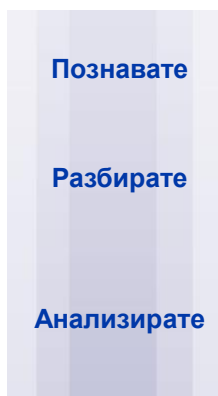


Европейски социален фонд

стр. 2 от ...

Цели и предпоставки

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



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



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!

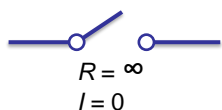


Европейски социален фонд

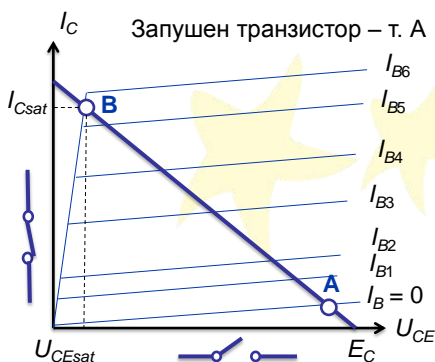
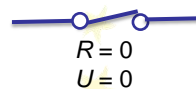
стр. 3 от ...

Крайни състояния на ключа

Отворен



Затворен



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



Европейски съюз

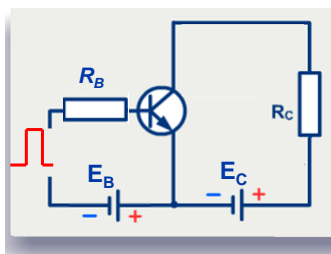
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 4 от ...

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.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042

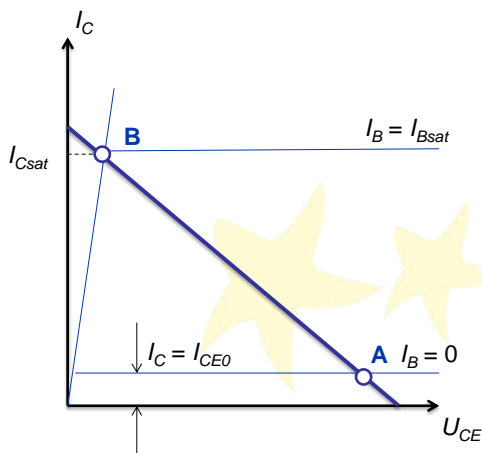
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 5 от ...

Режим на отсечка



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

Ако $I_B = 0$

$$I_C = (1 + \beta) I_{CBO} = I_{CEO}$$

Режим на отсечка



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042

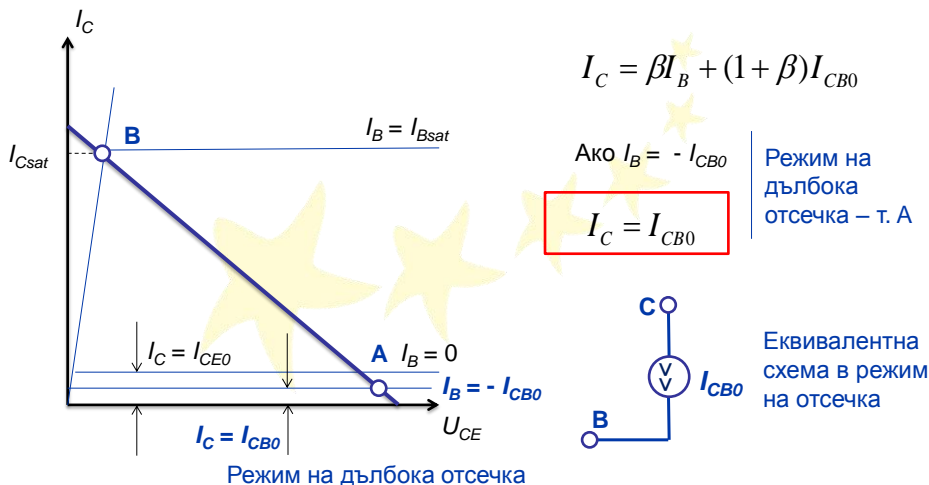
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 6 от ...

Режим на дълбока отсечка



Европейски съюз

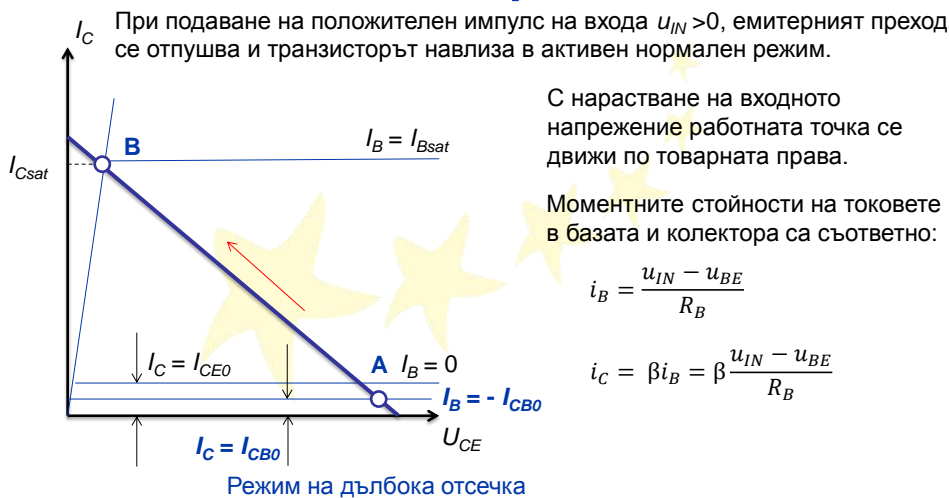
ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 7 от ...

Активен режим



Европейски съюз

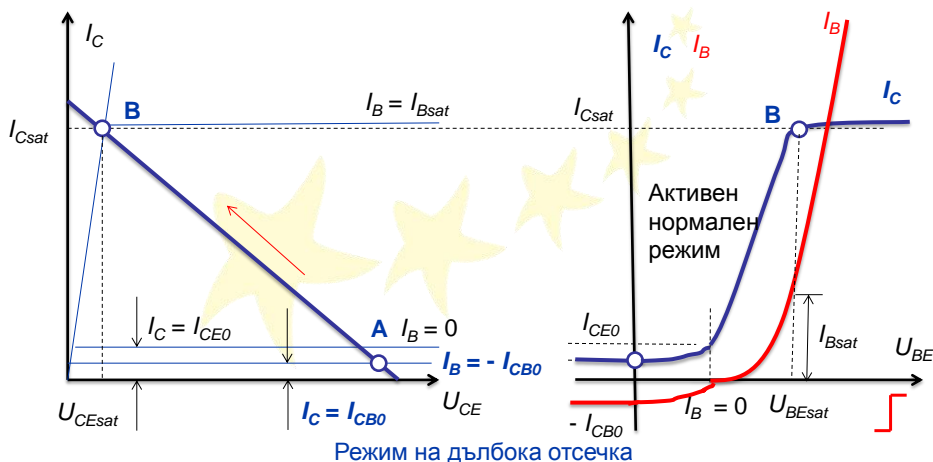
ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 8 от ...

Графично изменение на токовете



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



стр. 9 от ...

Преминаване към насищане

В активен режим, когато се увеличава базисният ток I_B

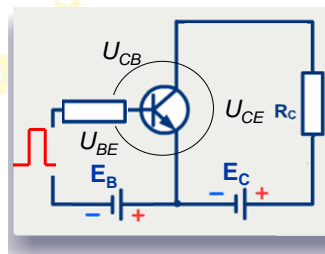
- ✦ **Нараства** U_{BE} съгласно входните характеристики
- ✦ **Намалява** U_{CE} , защото

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

Между напреженията в транзистора има връзка

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

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



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



ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



стр. 10 от ...

Изменение на напреженията

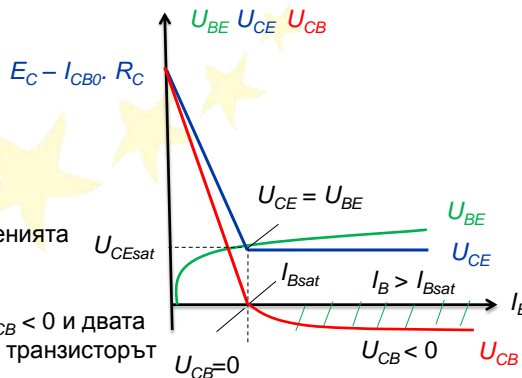
В активен режим, когато се увеличава базисният ток

- ✦ 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



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 11 от ...

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 $U_{CEsat} \approx 0,1 \div 0,4$ 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

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



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 12 от ...

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**.

$$I_B > I_{Bsat}$$

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

При $I_B > I_{Bsat}$ се сменя поляритетата 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

$$N = \frac{I_B}{I_{Bsat}} \quad I_B > I_{Bsat} \quad N = 2 \div 5$$



Европейски съюз

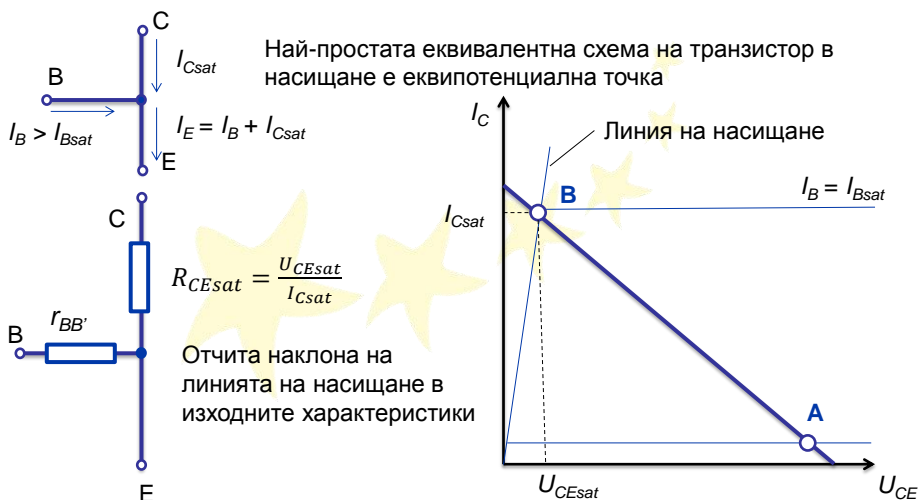
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 13 от ...

Еквивалентни схеми в насищане



Европейски съюз

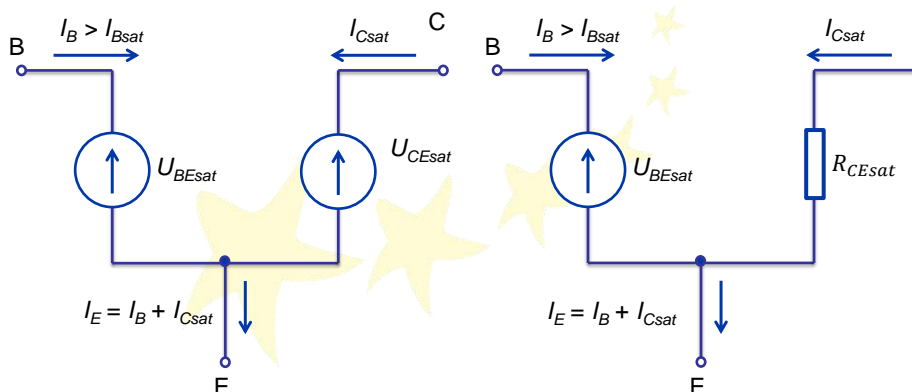
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 14 от ...

Еквивалентни схеми в насищане



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 15 от ...

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 колектоевия транзистора**
- ✦ **Времето, необходимо за презареждане на капацитетите на преходите**
- ✦ **Наличието на паразитни капацитети на корпуса и индуктивности на изводите**

В изходно състояние транзисторът е запушен. На входа му се подава отпушващ 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, поляритетът на входното напрежение се променя.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

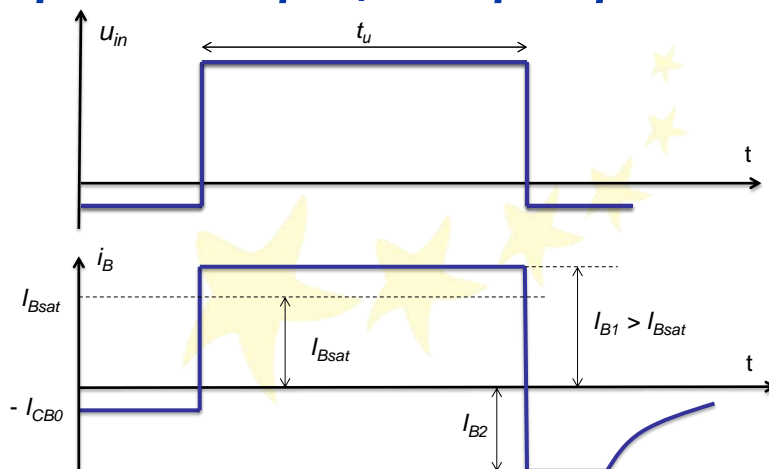
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 16 от ...

Преходни процеси при превключване



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

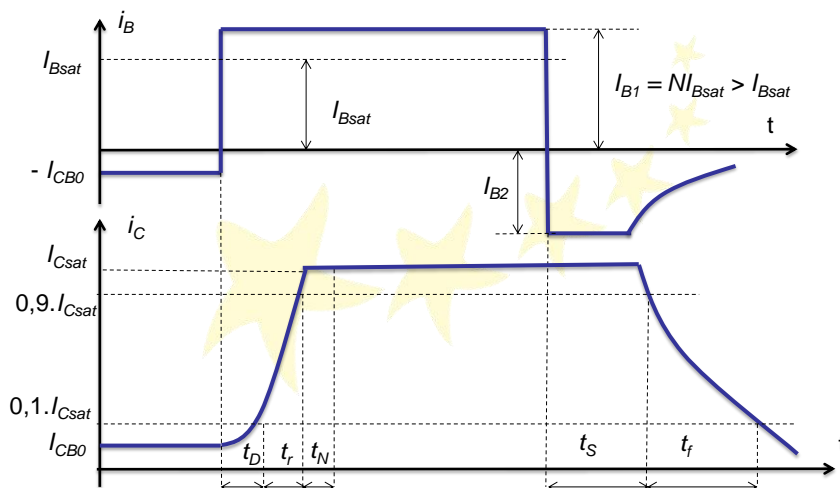
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 17 от ...

Преходни процеси при превключване



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

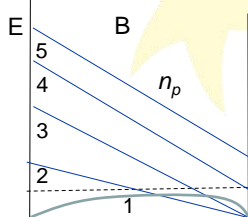
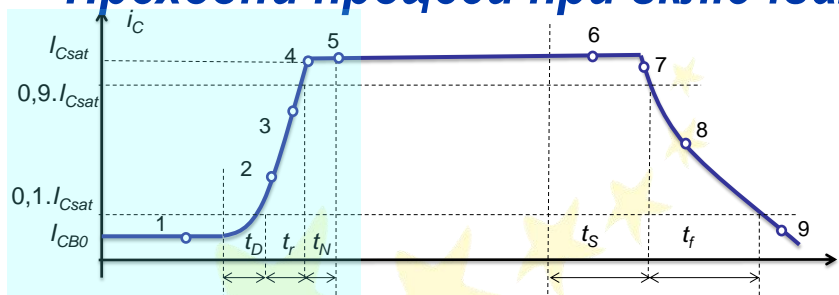
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 18 от ...

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 .



Европейски съюз

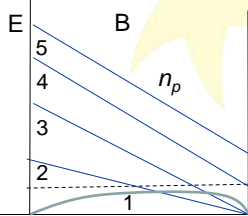
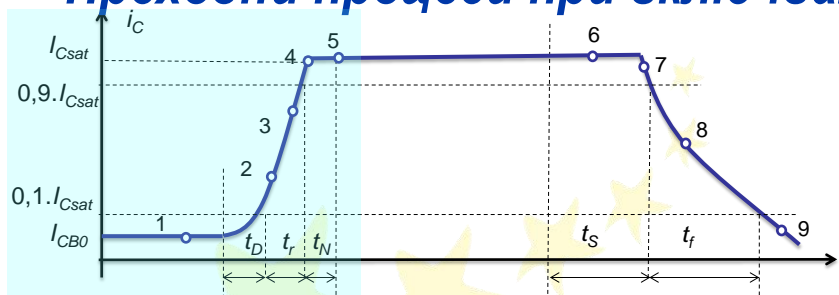
ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 19 от ...

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 .



Европейски съюз

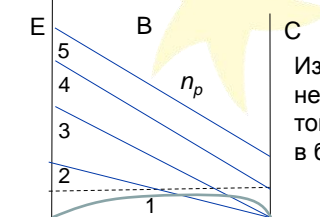
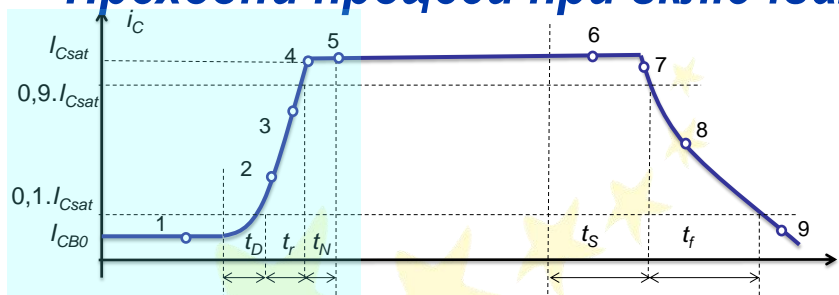
ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 20 от ...

Преходни процеси при включване



Изменение на неосновните токоносители в базата

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



Европейски съюз

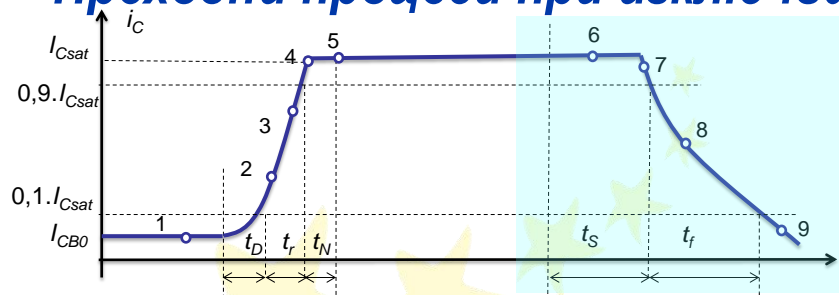
ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042 **завършва.**
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



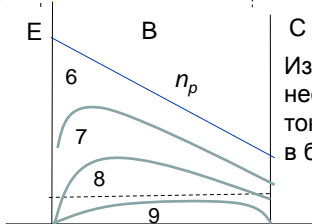
Европейски социален фонд

стр. 21 от ...

Преходни процеси при изключване



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



Изменение на неосновните токоносители в базата



Европейски съюз

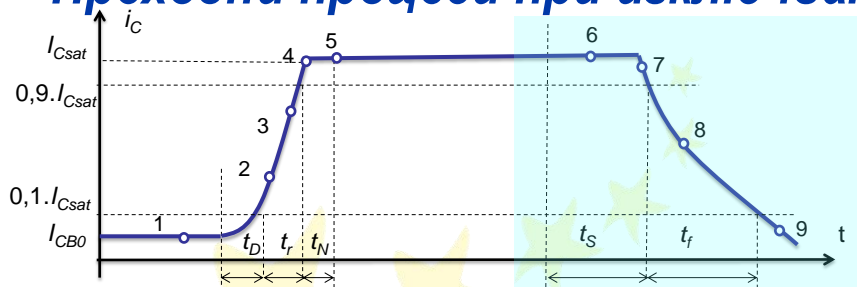
ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042 **завършва.**
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



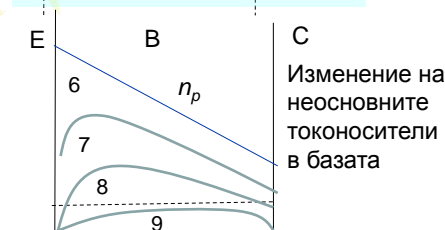
Европейски социален фонд

стр. 22 от ...

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.



Европейски съюз

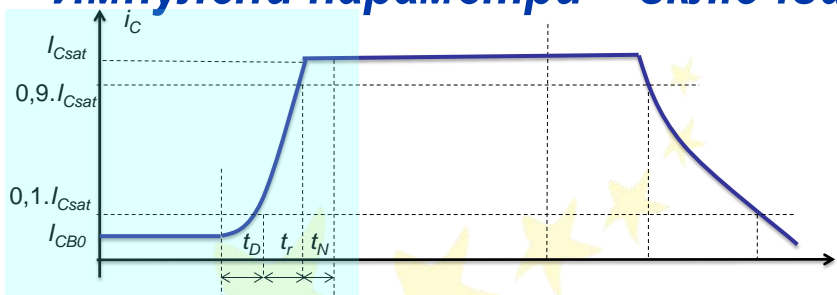
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 23 от ...

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



Европейски съюз

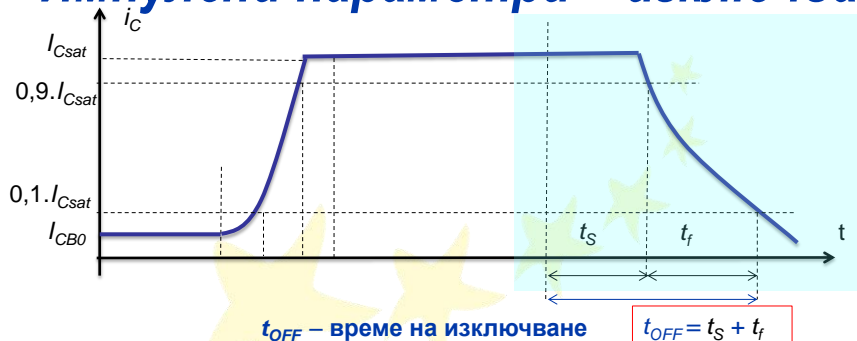
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 24 от ...

Импулсни параметри – изключване



t_s – време на разнасяне – времето от подаване на запущаващ 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 $0,1 \cdot I_{Csat}$



Европейски съюз

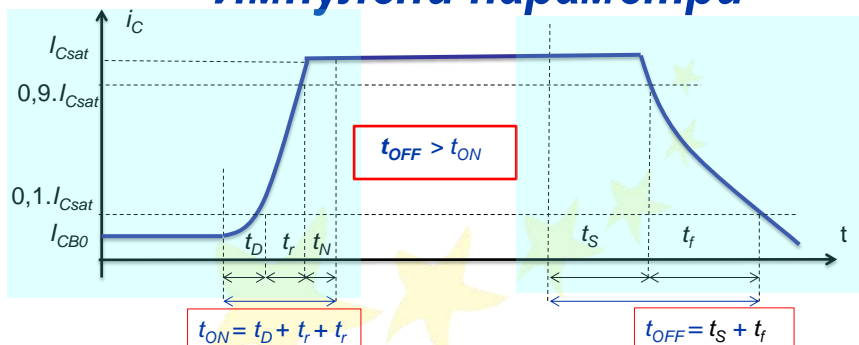
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 25 от ...

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} .



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през
 целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
 Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
 съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

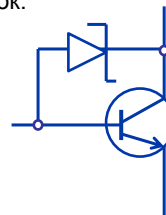
стр. 26 от ...

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.



Европейски съюз

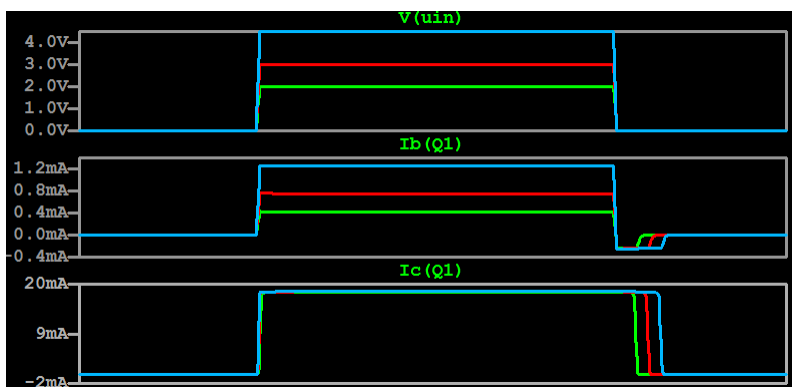
ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 27 от ...

Влияние на входното напрежение



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



Европейски съюз

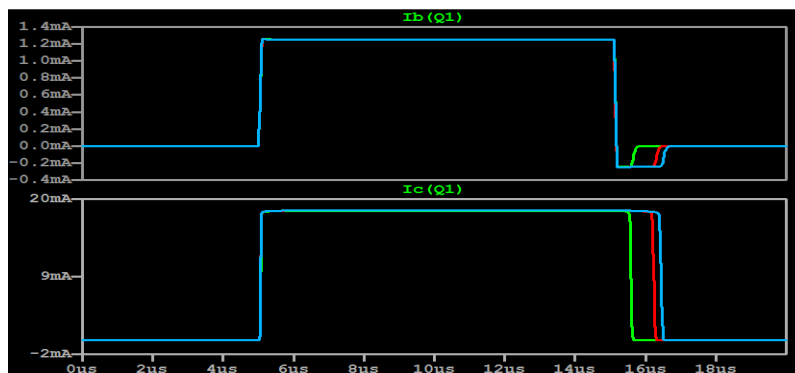
ПРОЕКТ BG051P0001--4.3.04-0042
 „Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”
 Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 28 от ...

Влияние на коэффициента β



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



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

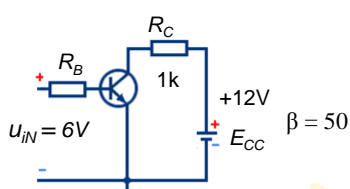
Инвестира във вашето бъдеще!



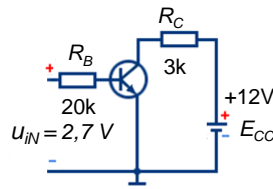
Европейски социален фонд

стр. 29 от ...

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 коэффициента β , при която транзисторът от фигурата ще работи в режим на насищане.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

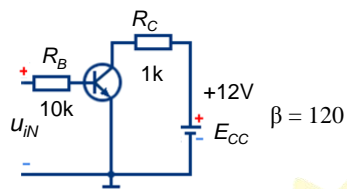
Инвестира във вашето бъдеще!



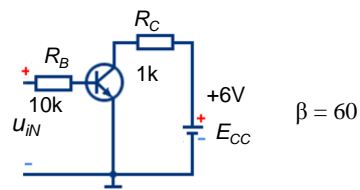
Европейски социален фонд

стр. 30 от ...

Примери



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



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



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организациона и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции“
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

стр. 31 от ...