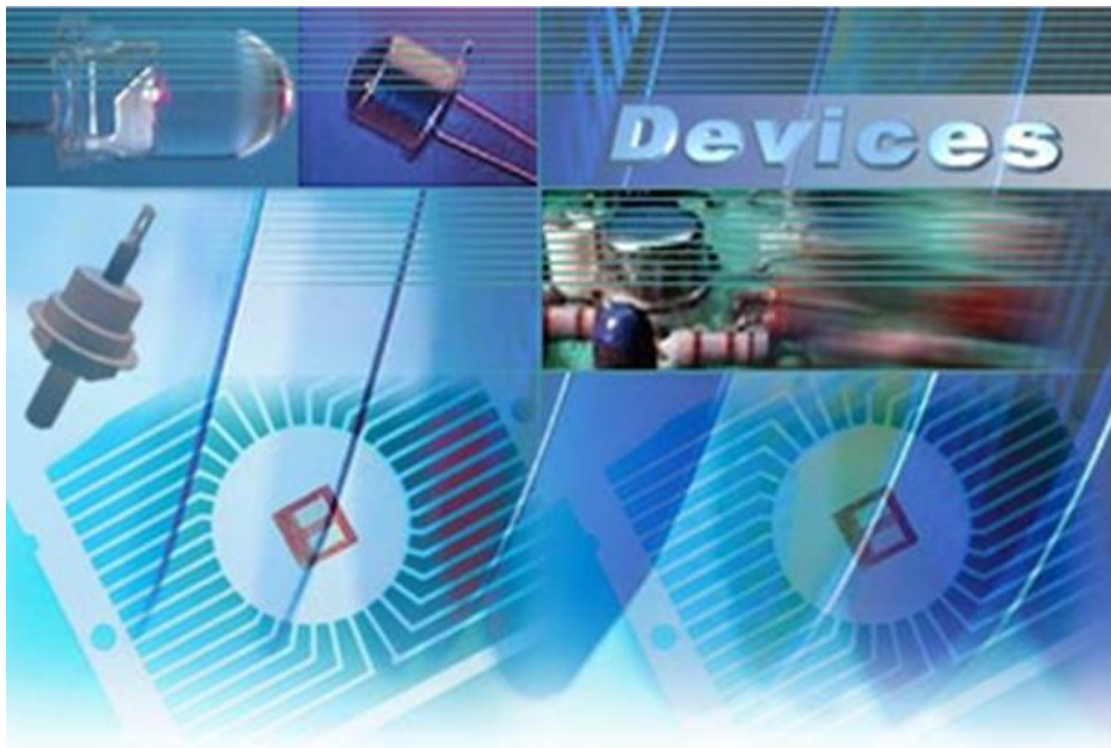




Работа на транзистора като усилвател



Полупроводникови
елементи



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

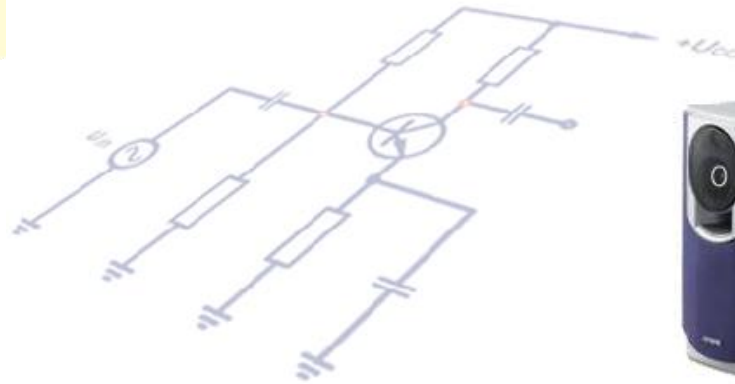
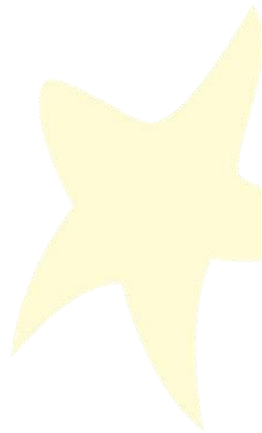
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Въведение

Усилвател е електронна схема, която увеличава амплитудата на сигнала. Усилвателите управляват високоговорителите на стерео системи, за да се възпроизведе достатъчно силен звуков сигнал, усилват видео сигнала за да се подобри контраста и яркостта на телевизионния образ, усилват управляващи сигнали в системи за контрол и др.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

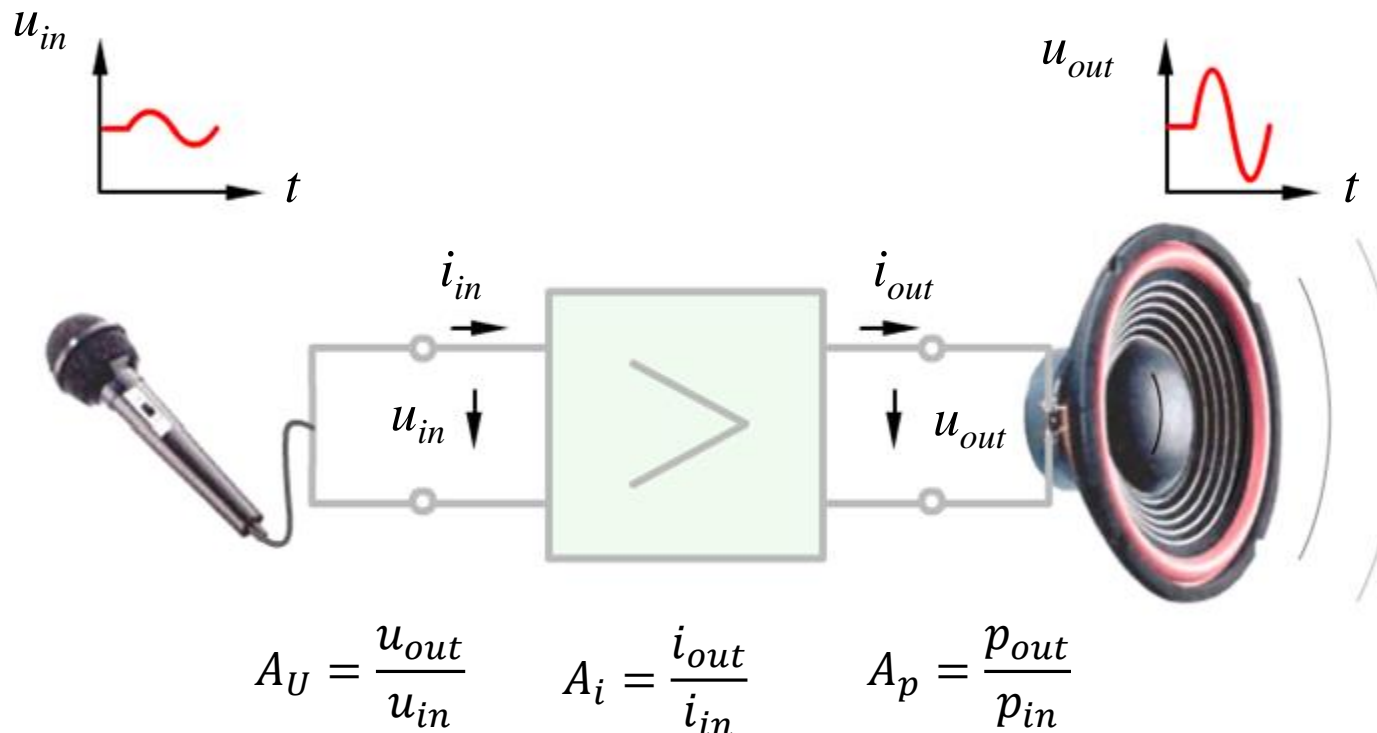
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Какво е усилвател?



Транзисторът работи като усилвател, ако при осигурен подходящ постоянно токов режим, към входа му е свързан **източник на променлив сигнал**, а в изхода – **товар**, върху който се получава усиления променлив сигнал.



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!



Цели и предпоставки

Разглеждат се основите на транзисторните усилватели с биполярни транзистори.

Познавате

Разбирате

Анализирате

След изучаване на материала вие би трябвало да:

- ✦ Различни конфигурации на транзисторни усилватели
- ✦ Схемите за постоянно токово захранване
- ✦ Променливо токовите еквивалентни схеми
- ✦ Граничните честоти на транзистора
- ✦ Как се получава изходния променлив сигнал
- ✦ Важността на товарната права и работната точка
- ✦ Влиянието на честотата на сигнала върху усилването
- ✦ Токовете и напреженията в усилвателни схеми
- ✦ Амплитудата на изходния сигнал

Предпоставки: биполярни транзистори



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

Схеми на включване

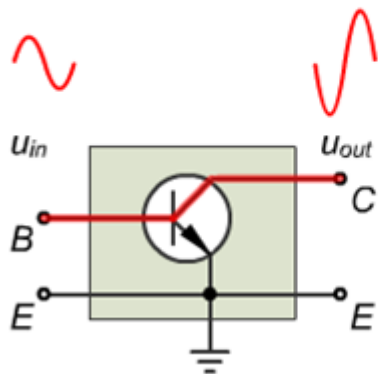
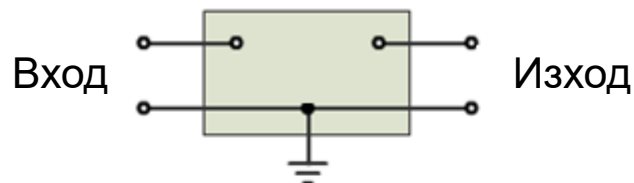


Схема ОЕ

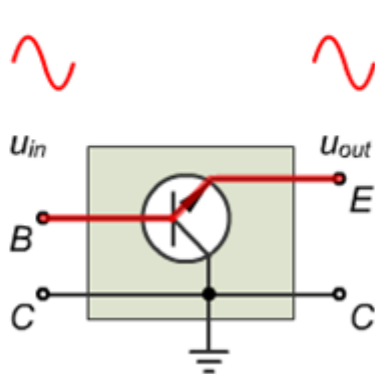


Схема ОК

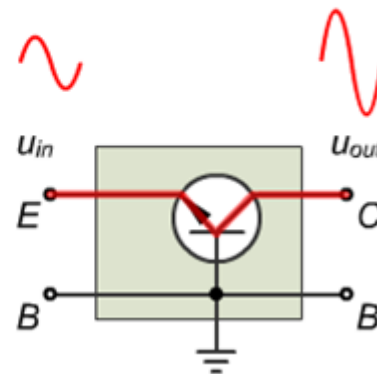


Схема ОБ

В зависимост от това, кой от електродите на транзистора е общ за входната и изходната верига **по отношение на променливата съставка** на сигнала се различават схеми ОЕ, ОБ и ОК.

Схема ОЕ дефазира изходния сигнал на 180° спрямо входния. При схеми ОБ и ОК сигналите са във фаза.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

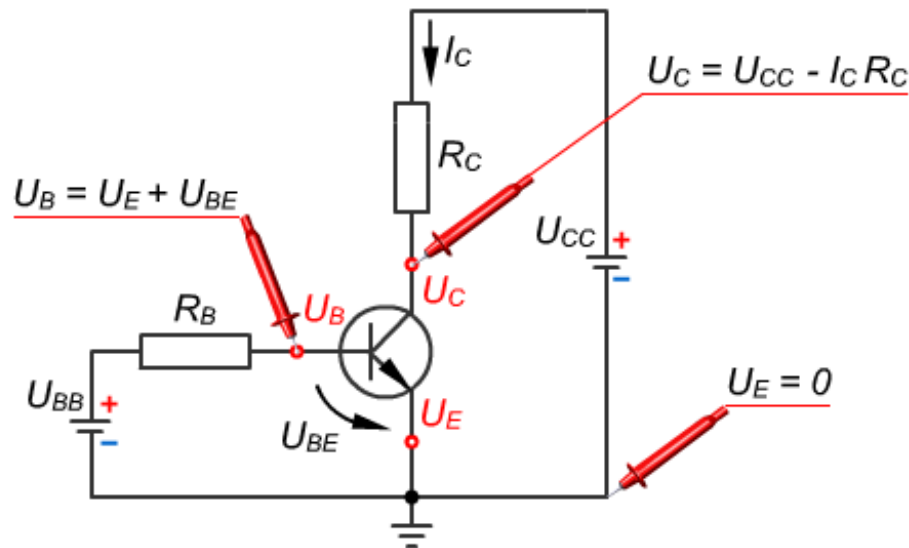
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!



Установяване на работна точка

Схема с фиксиран базов ток



Биполярният транзистор трябва да е включен в **активен нормален режим**.
Постоянните съставки U_B , U_C , U_E се определят, както е показано по-горе.

Недостатък на схемата – силна зависимост на I_C от параметъра β , който има големи производствени толеранси.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

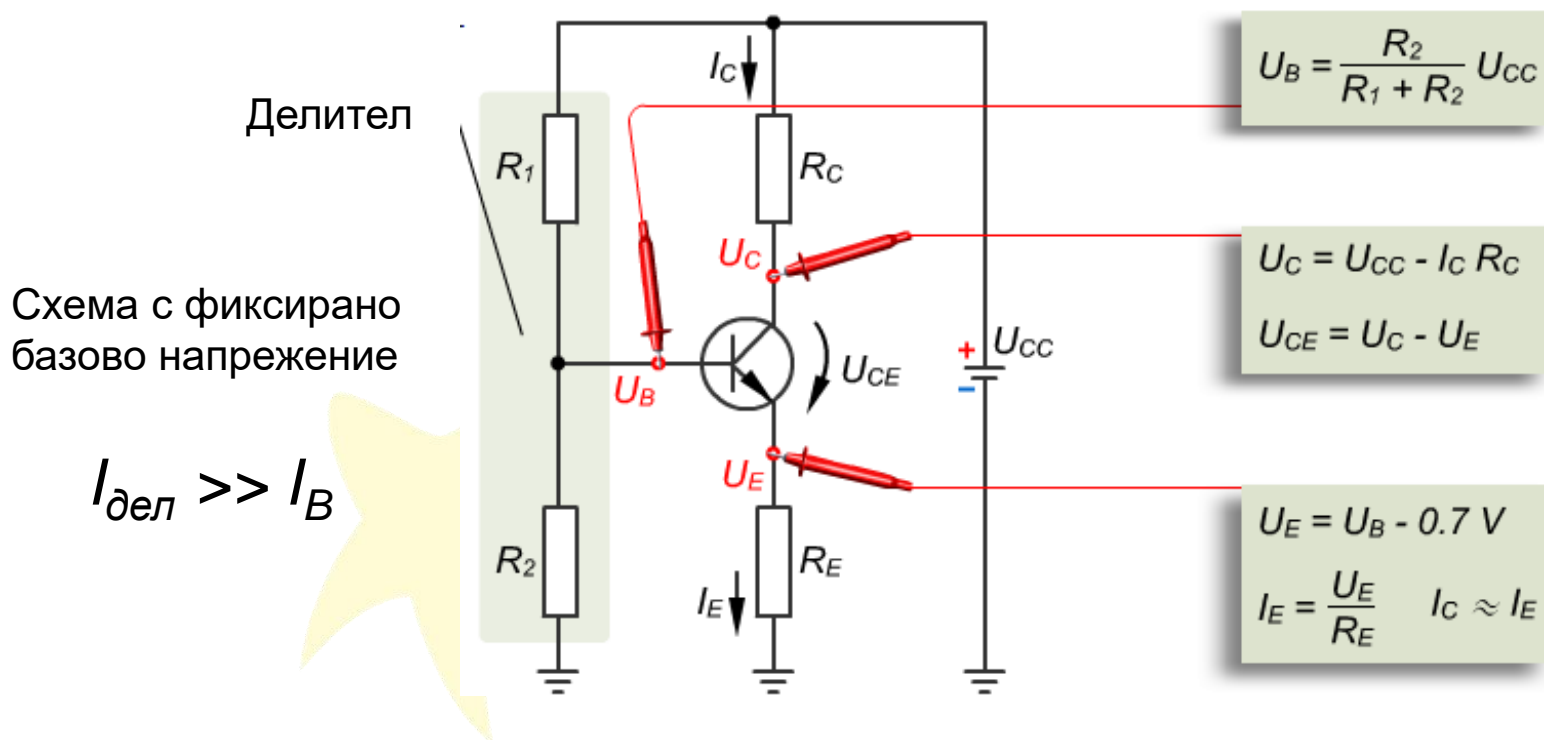
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Установяване на работна точка



Стойността на I_C в работната точка не зависи от параметъра β , което гарантира повишена стабилност.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

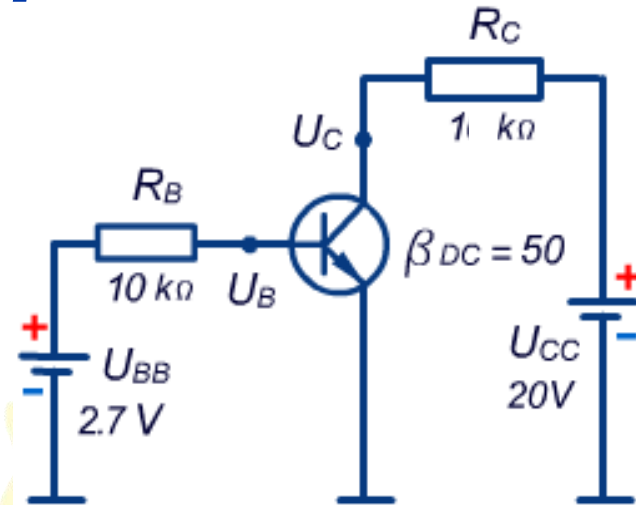
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Примери

$$I_B, I_C, U_{CE} = ?$$



$$U_{BB} = I_B \cdot R_B + U_{BE}$$

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B} = \frac{2.7 - 0.7}{10 \cdot 10^3} = 0.2 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 0.2 \text{ mA}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 50 \cdot 0.2 \cdot 10^{-3} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 10 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 20 - 10 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^3 = 10 \text{ V}$$



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

Примери

$$I_C, U_{CE} = ?$$

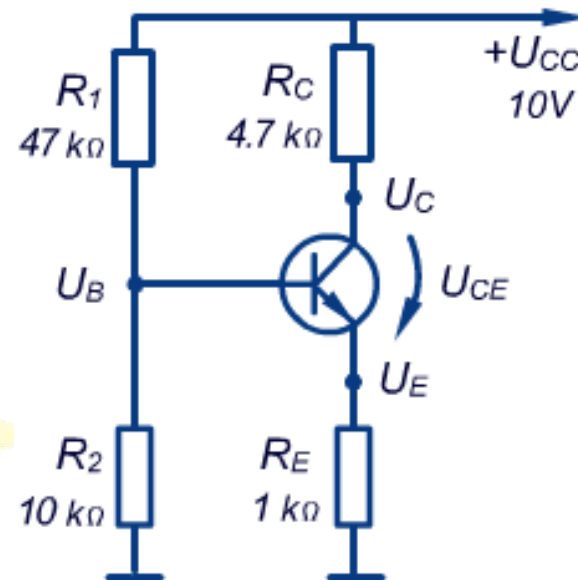
$$U_B = \frac{U_{CC} \cdot R_2}{(R_1 + R_2)} = \frac{10 \cdot 10 \cdot 10^3}{(47 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3)} = 1.75 \text{ V}$$

$$U_E = U_B - 0.7 = 1.75 - 0.7 = 1.05 \text{ V}$$

$$U_E = I_E \cdot R_E \quad I_E = \frac{1.05}{1 \cdot 10^3} = 1.05 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 1.05 \text{ mA}$$

$$I_E \approx I_C = 1.05 \text{ mA}$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 10 - 1.05 \cdot 10^{-3} \cdot 4.7 \cdot 10^3 = 10 - 4.94 = 5.06 \text{ V}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

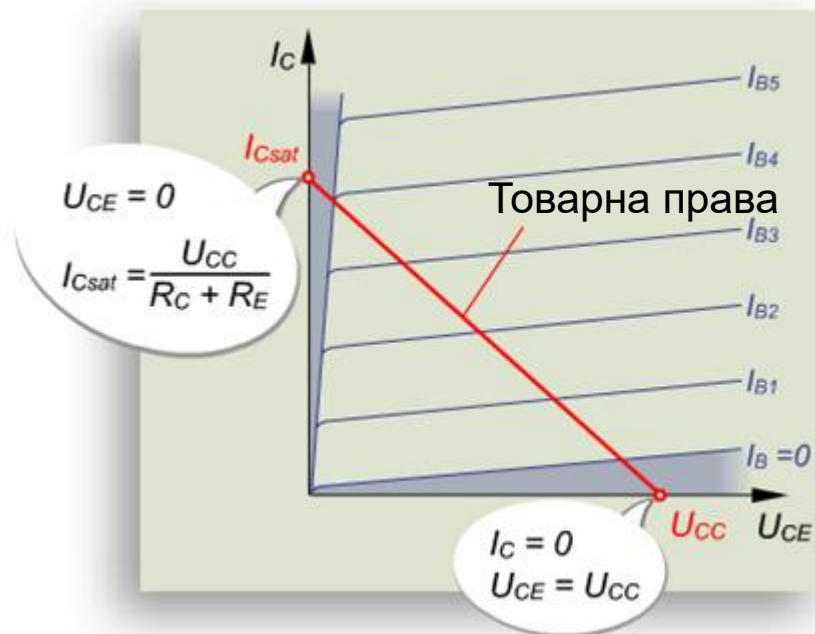
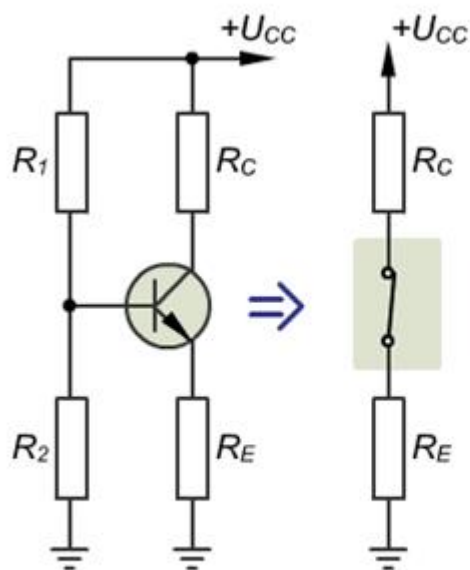
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”*

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

Товарна права по постоянен ток



$$E_C = I_C (R_C + R_E) + U_{CE}$$

Уравнение на товарната права

Товарната права по постоянен ток може да се построи с отрезите си от осите.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

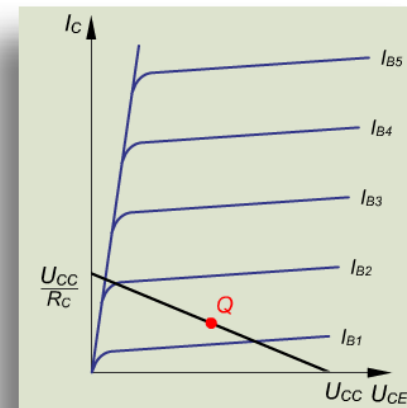
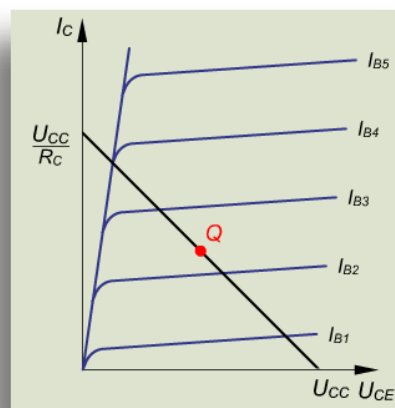
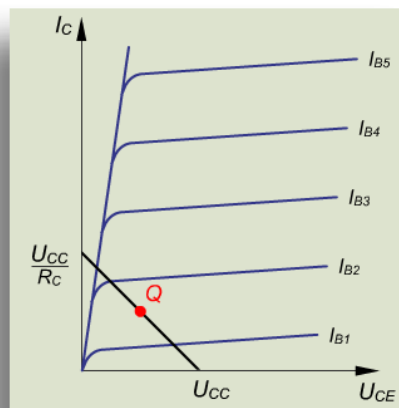
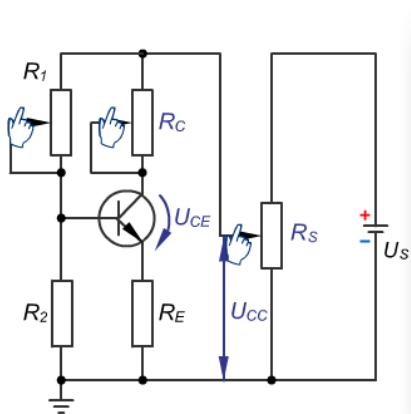
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Положение на товарната права



Положението на товарната права и нейният наклон **не зависят** от типа на транзистора, а само от захранващото напрежение и стойността на товарното съпротивление.

За определени захранващо напрежение и товарно съпротивление, товарната права е **еднозначно определена** в полето на характеристиките.



Европейски съюз

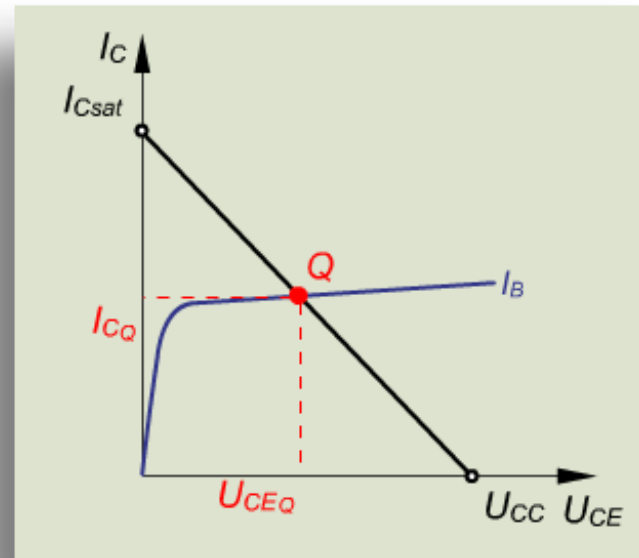
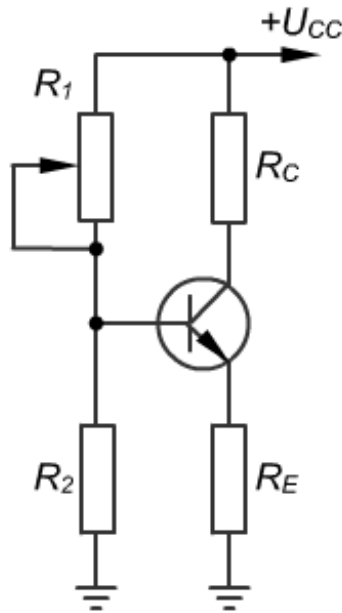
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



Работна точка



Пресечната точка на товарната права с характеристика на транзистора определя постояннотоковата **работна точка** със стойности I_{BQ} , I_{CQ} , U_{CEQ} .

При промяна на постояннотоковия режим (нови стойности на I_B , I_C , U_{CE}) работната точка се движи **само по товарната права**.



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!



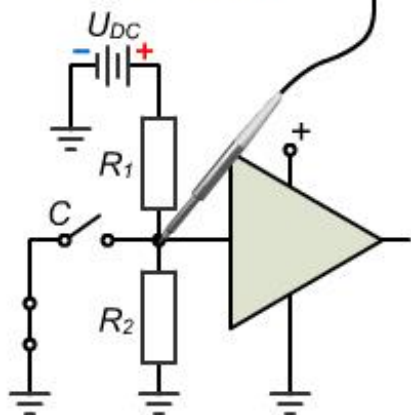
Европейски социален фонд

Съставки на базовото напрежение

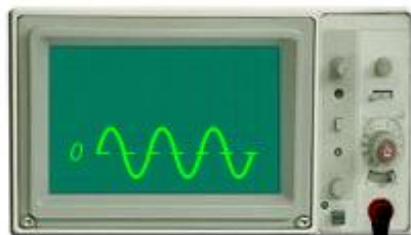
Постоянна съставка
 $U_B = \text{const}$



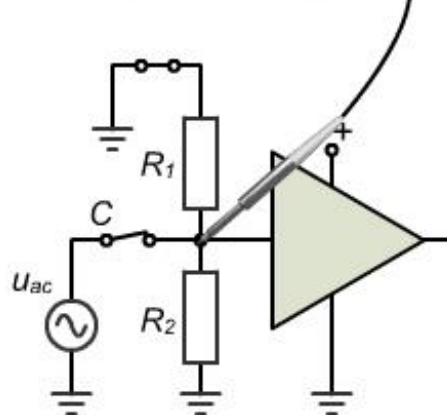
dc equivalent



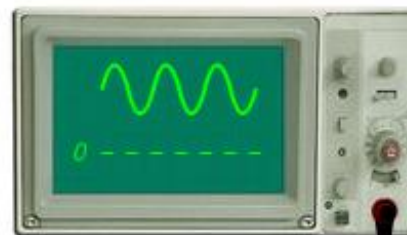
Променлива
съставка u_b



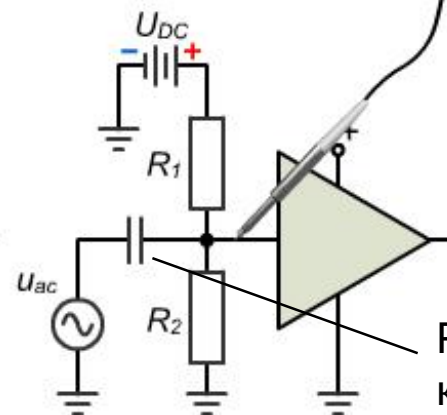
ac equivalent



Моментна стойност
 $u_B = U_B + u_b$



dc + ac



Разделителен
кондензатор



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

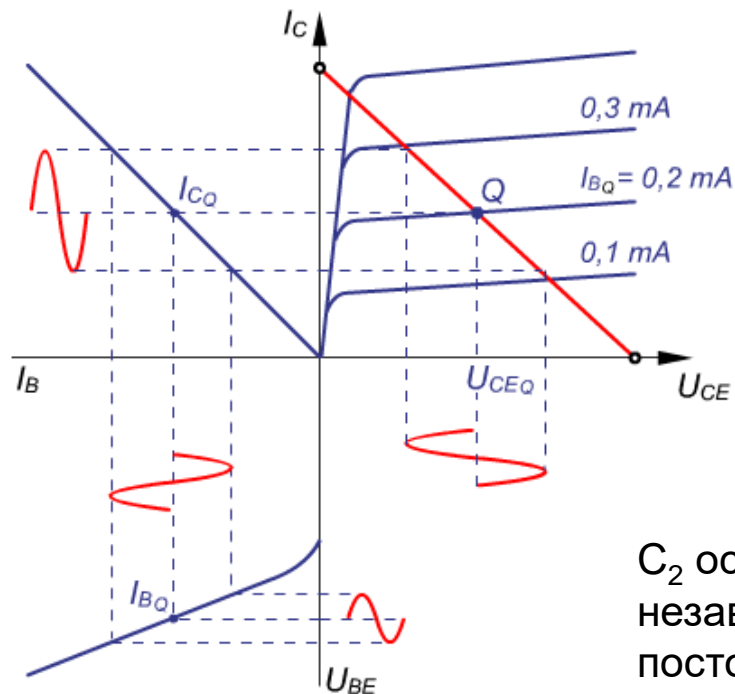
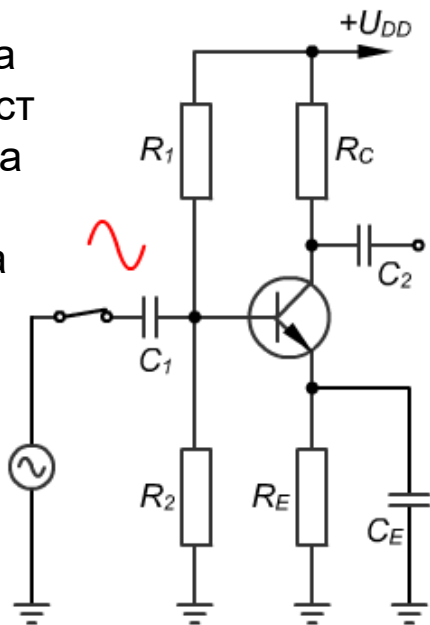
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Графичен анализ

C_1 осигурява независимост на работната точка от постоянната съставка на източника



C_2 осигурява независимост от постояннотоковото ниво в товара

Променливото входно напрежение предизвиква появата на променлив ток в базата, което довежда до промяна в колекторния ток и съответно до промяна в изходното напрежение.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

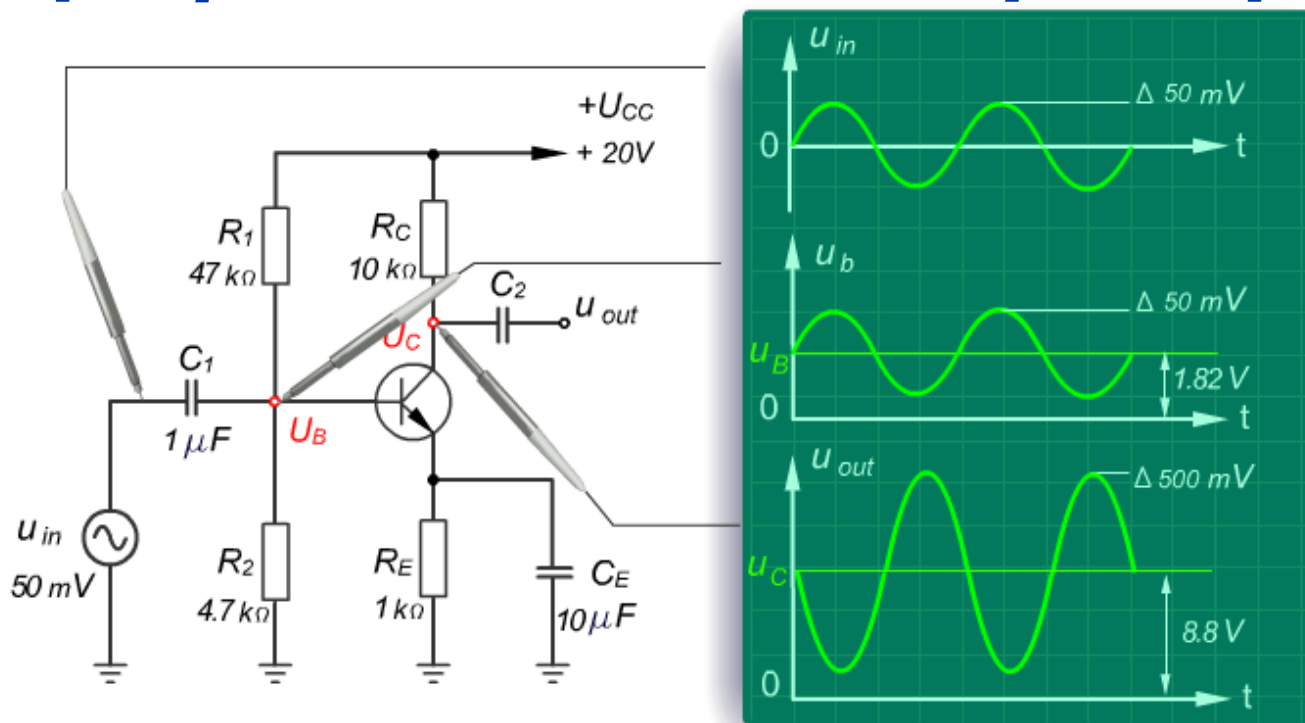
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Графичен анализ – пример



Графика на входния и изходния променливи сигнали

Сравнението на амплитудите на променливите съставки на входния и изходен сигнал показва, че изходният сигнал е усилен 10 пъти.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

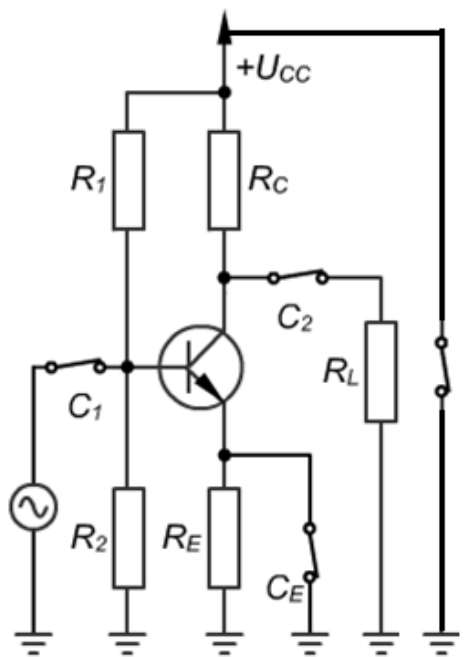
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!

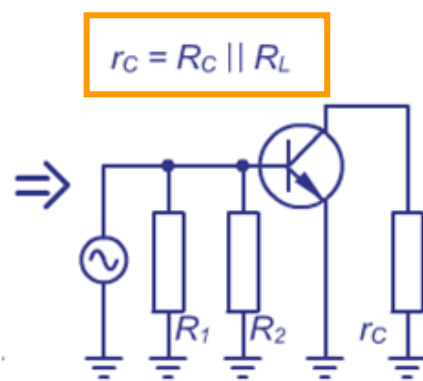


Европейски социален фонд

Товарна права по променлив ток



Еквивалентна схема
по променлив ток



Разделителните кондензатори представляват **отворена верига** по отношение на постоянния сигнал и **късо съединение** по отношение на променливата съставка. Постояннотоковият източник е **късо съединение** за променливата съставка.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

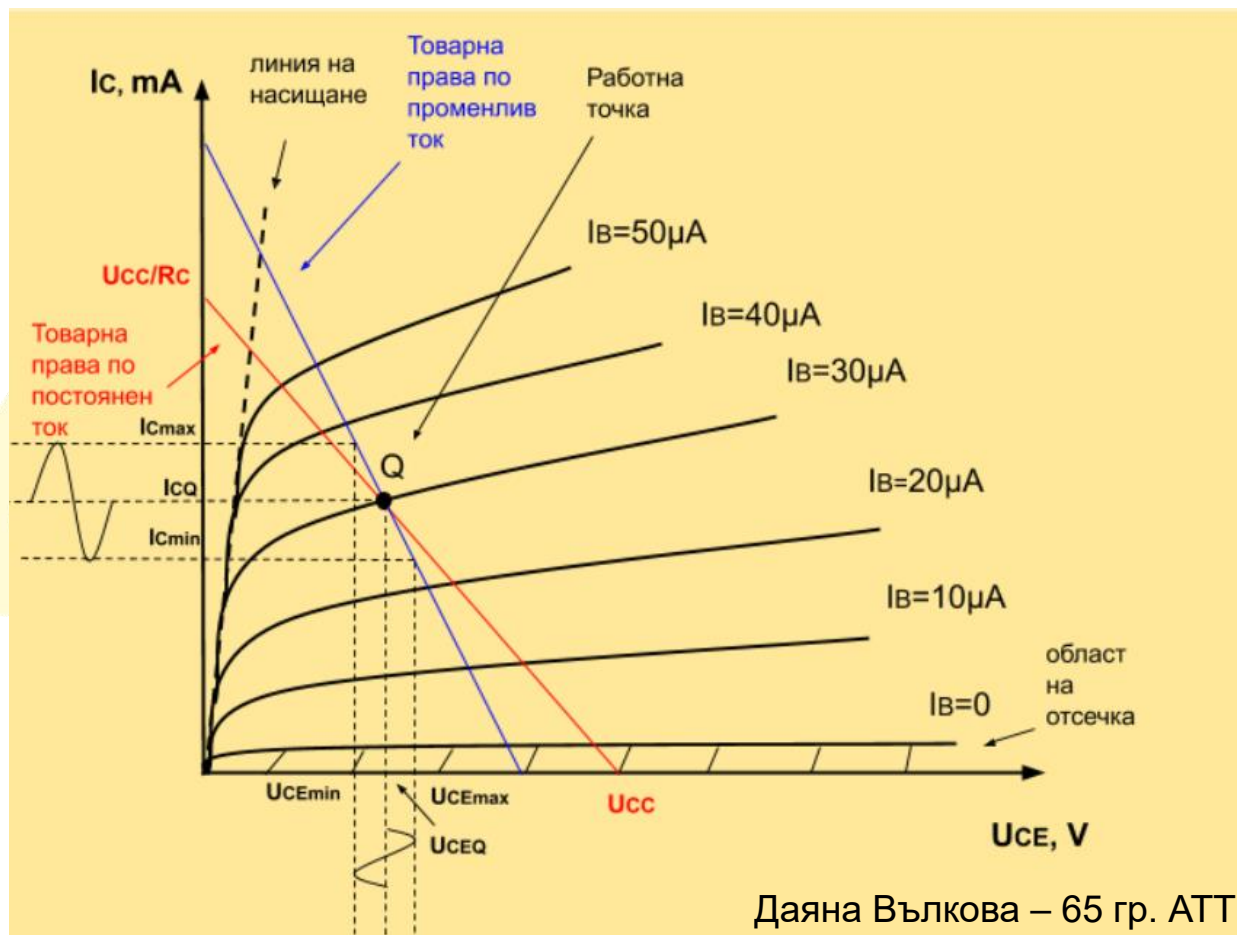
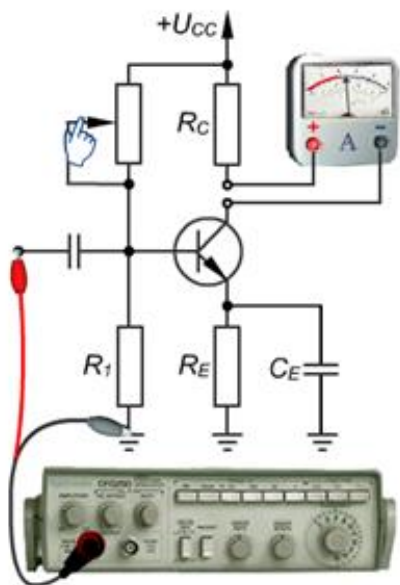
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”

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

Товарна права по променлив ток



Даяна Вълкова – 65 гр. АТТ



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

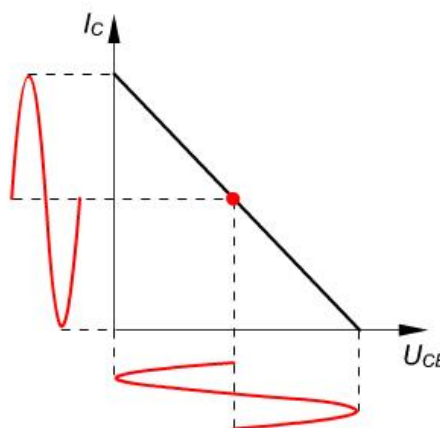
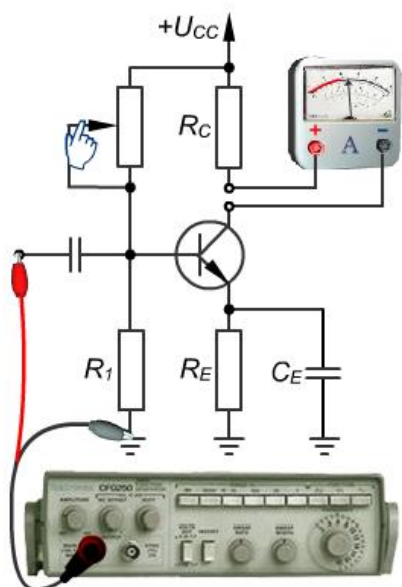
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!

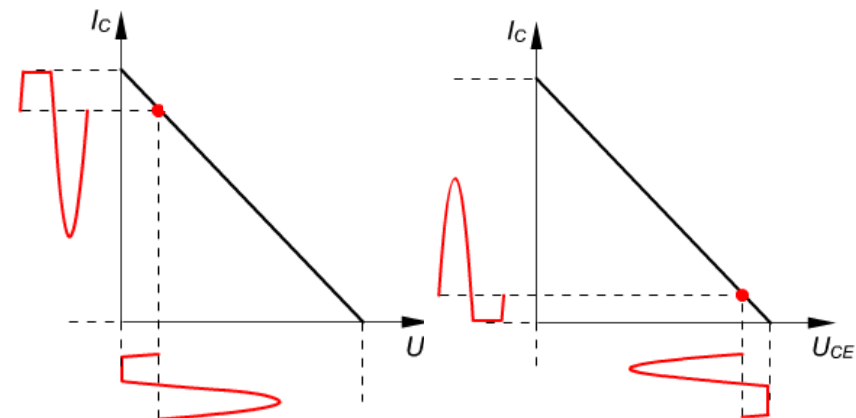


Европейски социален фонд

Влияние на работната точка



Отрязване поради насищане



Отрязване поради запушване

Основно изискване на усилвателите е да осигуряват линейност на усилването, т.е. да не променят формата на сигнала, а само амплитудата му. Нежелателни изкривявания се получават, когато работната точка се избере в близост до областта на насищане или на отсечка.

За **максимално неизкривена амплитуда** на сигнала работната точка се избира **в средата на товарната права** по постоянен ток между насищане и запушване.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

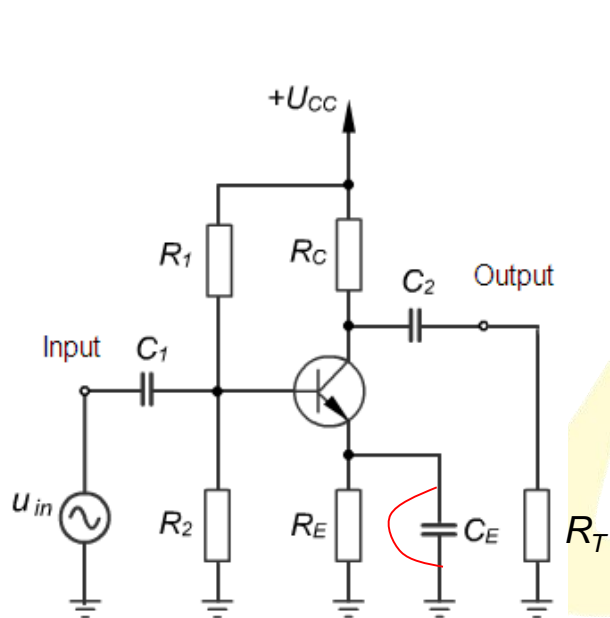
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

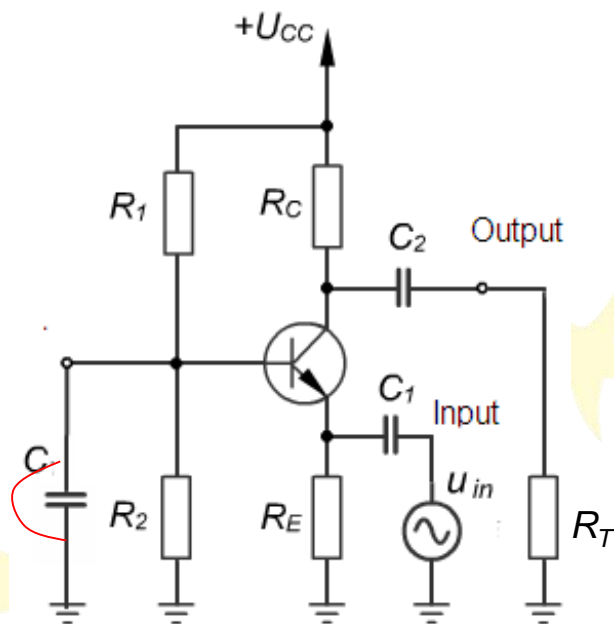
Примерни схеми на усилватели



Усилвател ОЕ

A_I – ВИСОК

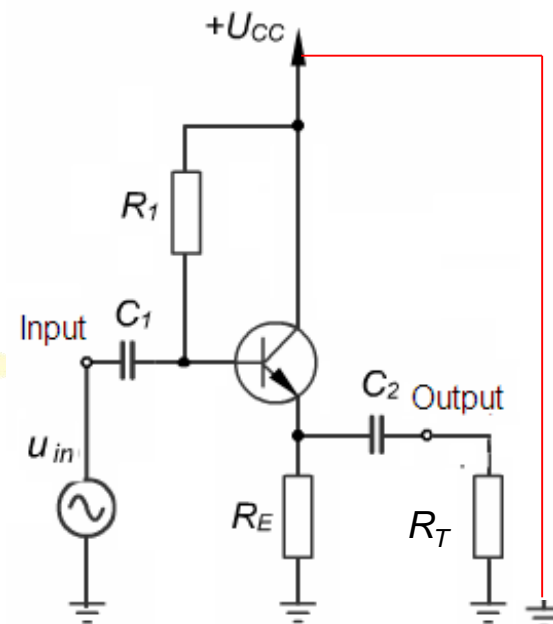
A_U - ВИСОК



Усилвател ОБ

$A_I < 1$

A_U - ВИСОК



Усилвател ОК

A_I - ВИСОК

$A_U < 1$



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

Динамични параметри



Динамичните параметри характеризират поведението на транзисторните усилватели по променлив ток. Дефинират се:

$$A_U = \frac{u_{out}}{u_{in}}$$

$$A_I = \frac{i_{out}}{i_{in}}$$

$$A_P = A_U A_I$$

$$r_{in} = \frac{u_{in}}{i_{in}}$$

$$r_{out} = \frac{u_{out}}{i_{out}}$$

За изчислението им се използват еквивалентни схеми на транзисторите по променлив ток.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

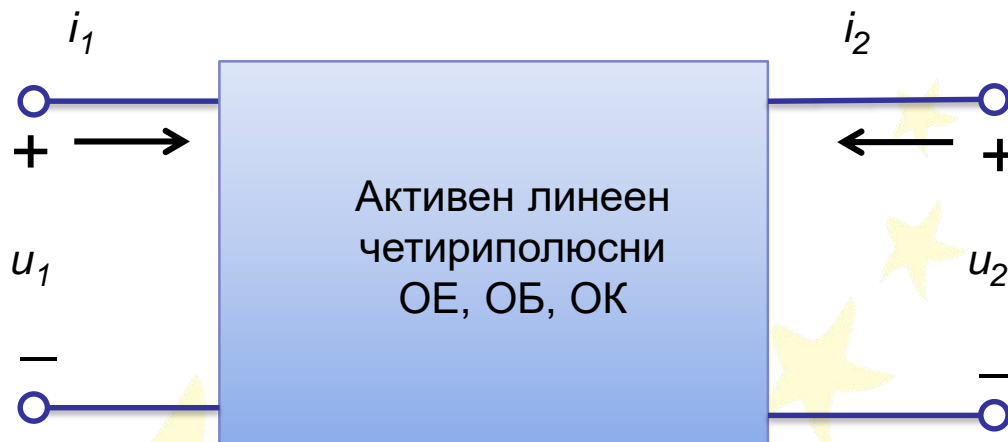
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Система h -параметри



За анализ на усилвателни стъпала при **ниски честоти и малки променливи сигнали** се използват четириполюсни h -параметри.

$$u_1 = h_{11}i_1 + h_{12}u_2$$

$$i_2 = h_{21}i_1 + h_{22}u_2$$

Система с h -параметри – хибридна (смесена) система

h – параметрите имат **различни стойности** за различни схеми на свързване на транзистора.



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

h-параметри – дефиниции

h – параметрите са реални числа, които стойности могат лесно да се измерят

$$h_{11} = \frac{u_1}{i_1} \Big|_{u_2=0}$$

Входно съпротивление при късо съединение в изхода по променлив ток

$$h_{12} = \frac{u_1}{u_2} \Big|_{i_1=0}$$

Коефициент на обратна връзка по напрежение при отворена входна верига по променлив ток

$$h_{21} = \frac{i_2}{i_1} \Big|_{u_2=0}$$

Коефициент на предаване (усилване) по ток при късо съединение в изхода по променлив ток

$$h_{22} = \frac{i_2}{u_2} \Big|_{i_1=0}$$

Изходна проводимост при отворена входна верига по променлив ток



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

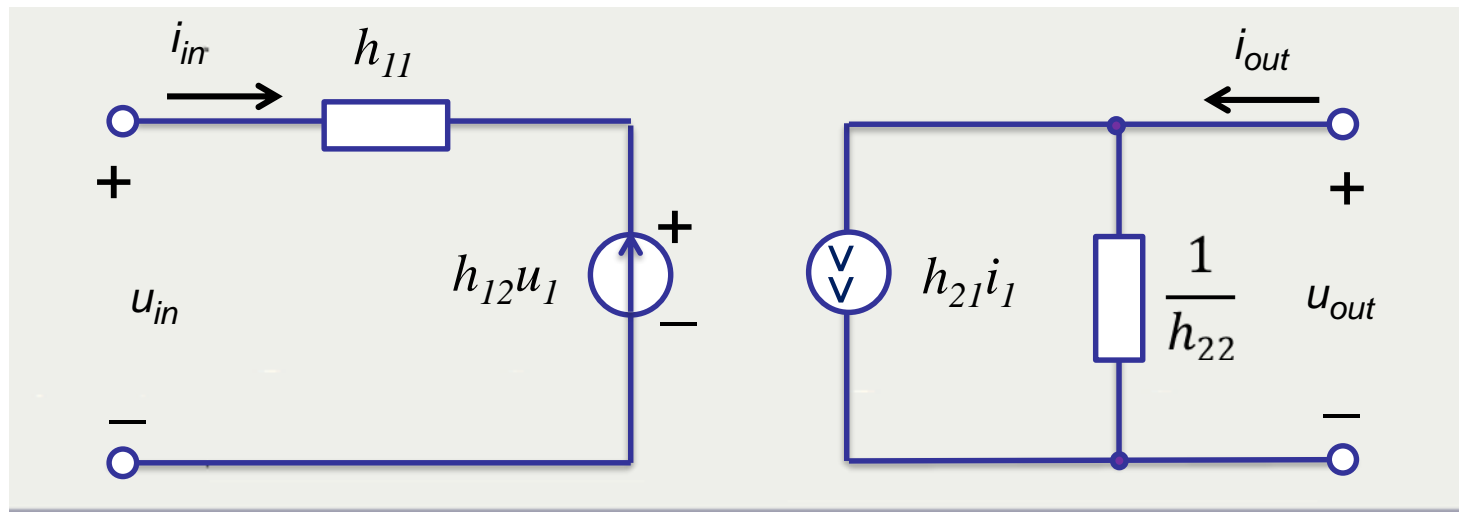
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Еквивалентна схема с h -параметри



Обикновено в каталозите се дават h -параметрите за схема ОЕ, за конкретни стойности на постоянните напрежения и токове (т.е за фиксирана работна точка), при определена температура. За други случаи в каталозите се дават нормирани криви на относителните h -параметри при различни токове, напрежения и температури.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

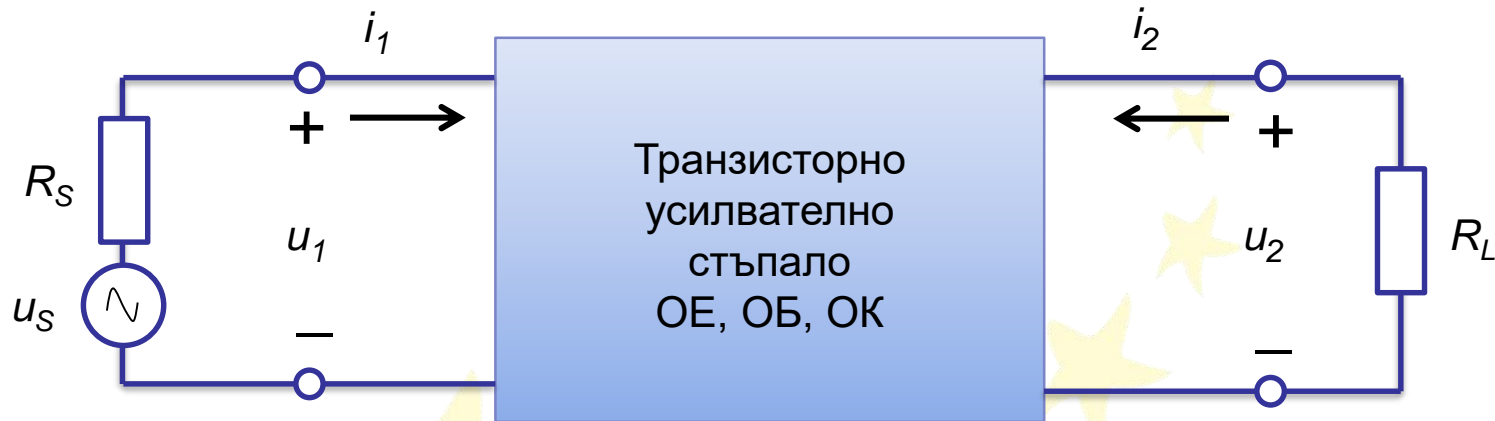
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Изчисление на динамични параметри



h -система параметри

$$u_1 = u_s - i_1 R_s$$

$$u_2 = -i_2 R_L$$

$$i_2 = h_{21} i_1 + h_{22} u_2$$

$$u_2 = -i_2 R_L$$

$$i_2 = h_{21} i_1 - h_{22} i_2 R_L$$

$$i_2 (1 + h_{22} R_L) = h_{21} i_1 \quad \Rightarrow$$

$$A_I = \frac{i_2}{i_1} = \frac{h_{21}}{1 + R_L h_{22}}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

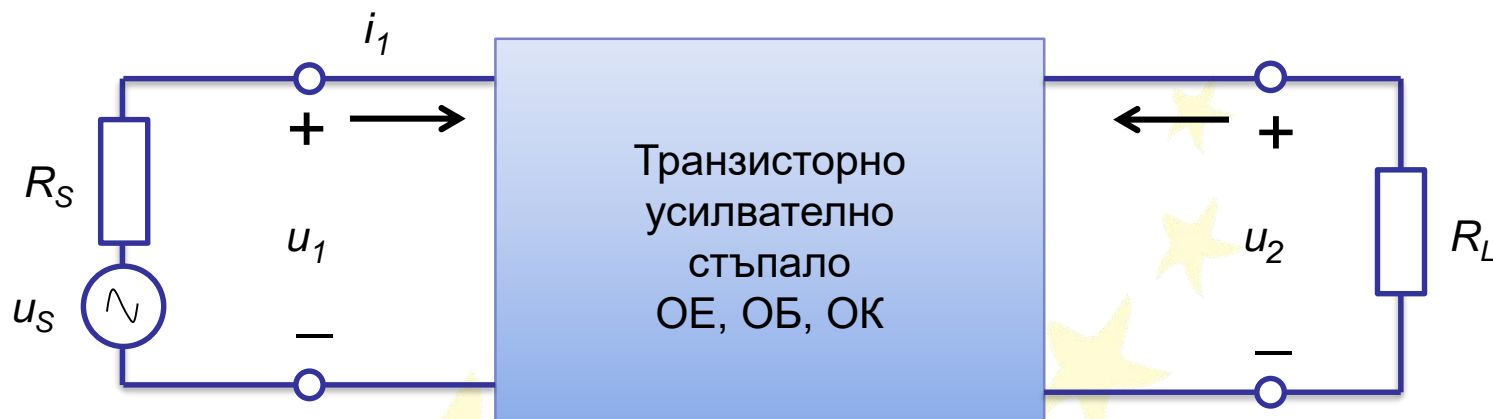
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Сравнение на динамични параметри



$$A_{I_{OK}} > A_{I_{OE}} \gg A_{I_{OB}}$$

$$A_{U_{OB}} > A_{U_{OE}} \gg A_{U_{OK}}$$

$$A_{I_{OB}} < 1$$

$$A_{U_{OK}} < 1$$

$$r_{in_{OK}} > r_{in_{OE}} > r_{in_{OB}}$$

$$r_{out_{OB}} > r_{out_{OE}} > r_{out_{OK}}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

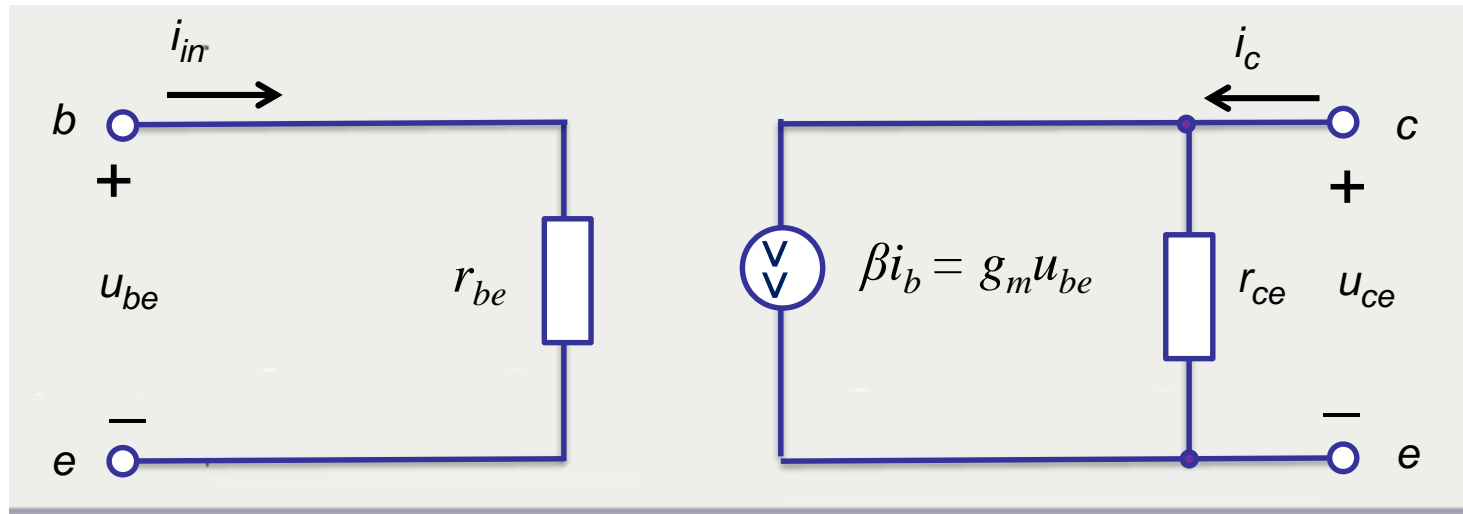
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Физични параметри – екв. схема



Най-често се използва малосигналната нискочестотна еквивалентна схема на транзистора в схема ОЕ с физични параметри.

Физичните параметри са свързани с принципа на действие на транзистора. Съществува връзка между физичните и h -параметри.



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

Физични параметри – дефиниции

$$\beta = \frac{i_c}{i_b}$$

$$u_{ce} = 0$$

Диференциален коефициент на усилване по ток при късо съединение в изхода по променлив ток

$$g_m = \frac{i_c}{u_{be}}$$

$$u_{ce} = 0$$

Стръмност на транзистора при късо съединение в изхода по променлив ток

$$r_{be} = \frac{u_{be}}{i_b}$$

$$u_{ce} = 0$$

Диференциално входно съпротивление при късо съединение в изхода по променлив ток

$$r_{ce} = \frac{u_{ce}}{i_c}$$

$$i_b = 0$$

Изходно съпротивление при отворена входна верига по променлив ток



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

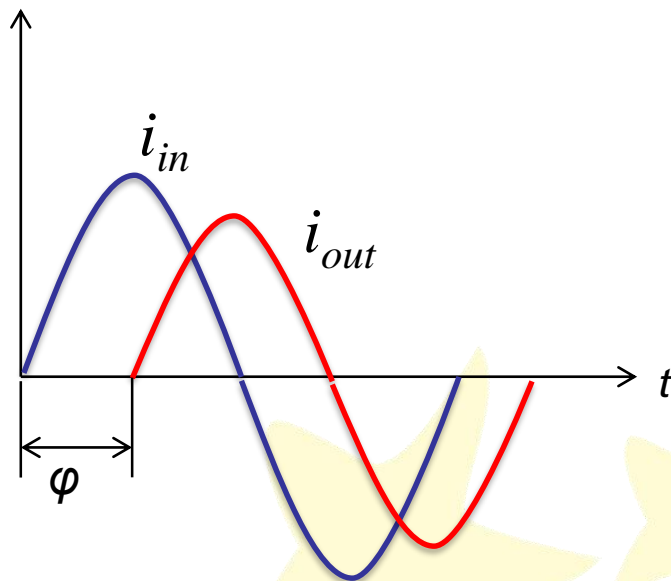
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Работа при високи честоти



При високи честоти върху поведението на транзистора започват да оказват влияние:

- ✚ инерционността на процесите на пренасяне на токоносителите от емитерния до колекторния преход
- ✚ капацитетите на преходите
- ✚ паразитните капацитети на корпуса и индуктивности на изводите

В резултат се наблюдава намаляване на амплитудата на изходния сигнал и изоставането му по фаза (закъсняване) спрямо входния.

За оценка на усилвателните свойства на транзистора при високи честоти се използват **граничните честоти**.



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!

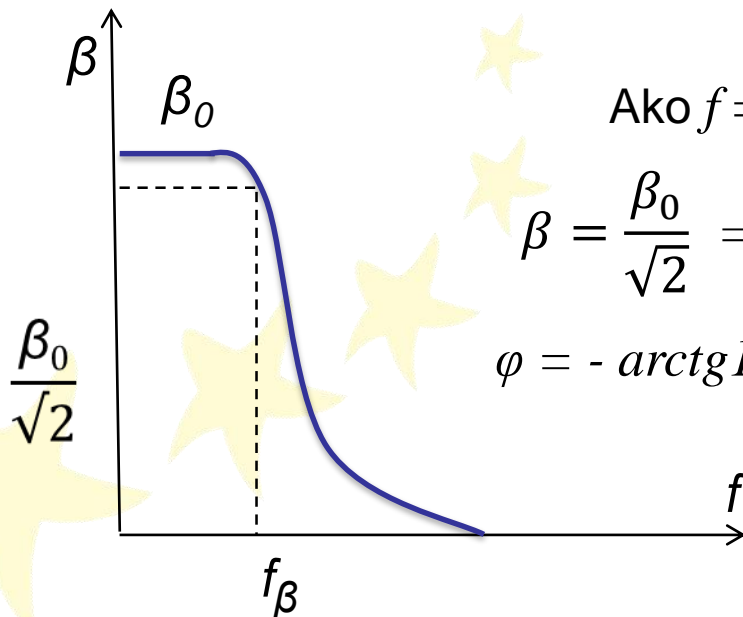


Гранична честота f_β

f_β — гранична честота на коефициента на усилване по ток в схема ОЕ

$$\dot{\beta} = \frac{\beta_0}{1 + j \frac{f}{f_\beta}}$$

$$\beta = \frac{\beta_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\beta}\right)^2}}$$



Ако $f = f_\beta$

$$\beta = \frac{\beta_0}{\sqrt{2}} = 0,707\beta_0$$

$$\varphi = -\arctg 1 = -45^\circ$$

$$\varphi = -\arctg \frac{f}{f_\beta}$$

Граничната честота f_β е честотата, при която модулът на диференциалния коефициент на усилване по ток в схема ОЕ β намалява $\sqrt{2}$ пъти спрямо стойността си при ниски честоти β_0 .



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

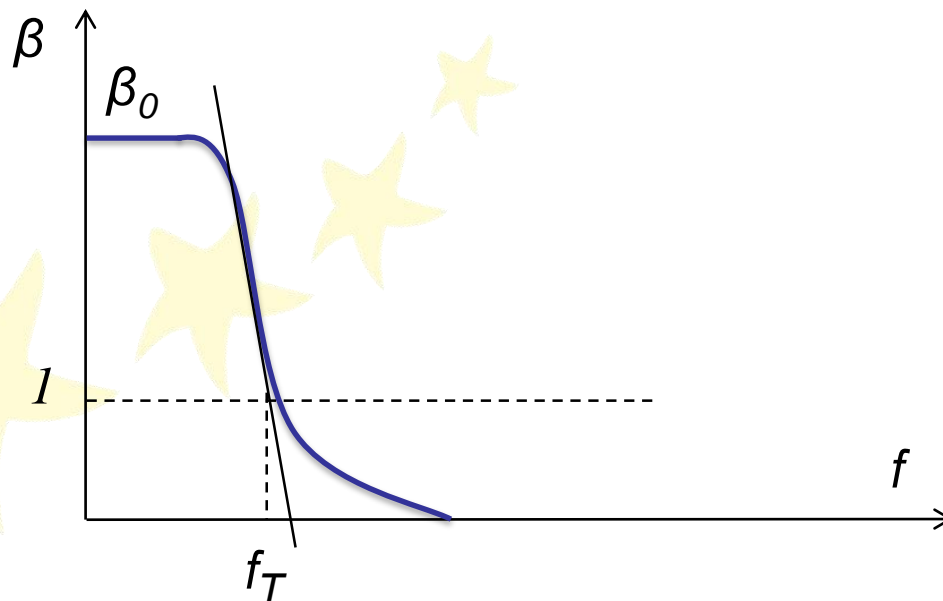
Транзитна честота f_T

f_T — транзитна честота. Тя се измерва лесно при честота $f \gg f_\beta$.

При честота $f > (2 - 5) f_\beta$ произведението на модула на диференциалния коефициент на усилване β и текущата честота е константа и се нарича транзитна честота f_T .

$$\beta \cdot f = \text{const} = f_T$$

Ако $f = f_T$, $\beta \approx 1$



Транзитната честота f_T може да се дефинира и като честотата, при която модулет на коефициента β става приблизително единица.



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!



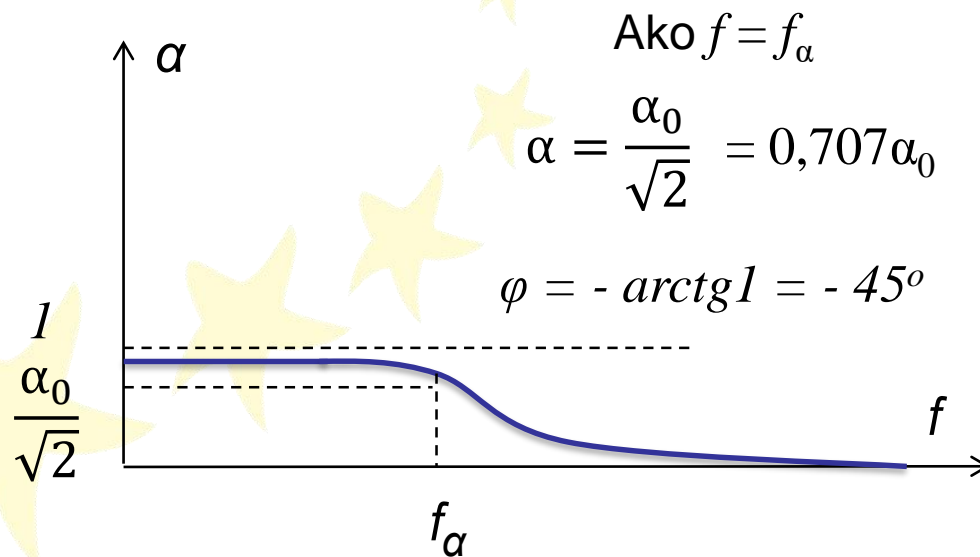
Гранична честота f_α

f_α — гранична честота на коефициента на усилване по ток в схема ОБ

$$\dot{\alpha} = \frac{\alpha_0}{1 + j \frac{f}{f_\alpha}}$$

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_\alpha}\right)^2}}$$

$$\varphi = -\arctg \frac{f}{f_\alpha}$$



Граничната честота f_α е честотата, при която модулът на диференциалния коефициент на предаване по ток в схема ОБ α намалява $\sqrt{2}$ пъти спрямо стойността си при ниски честоти α_0 .



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

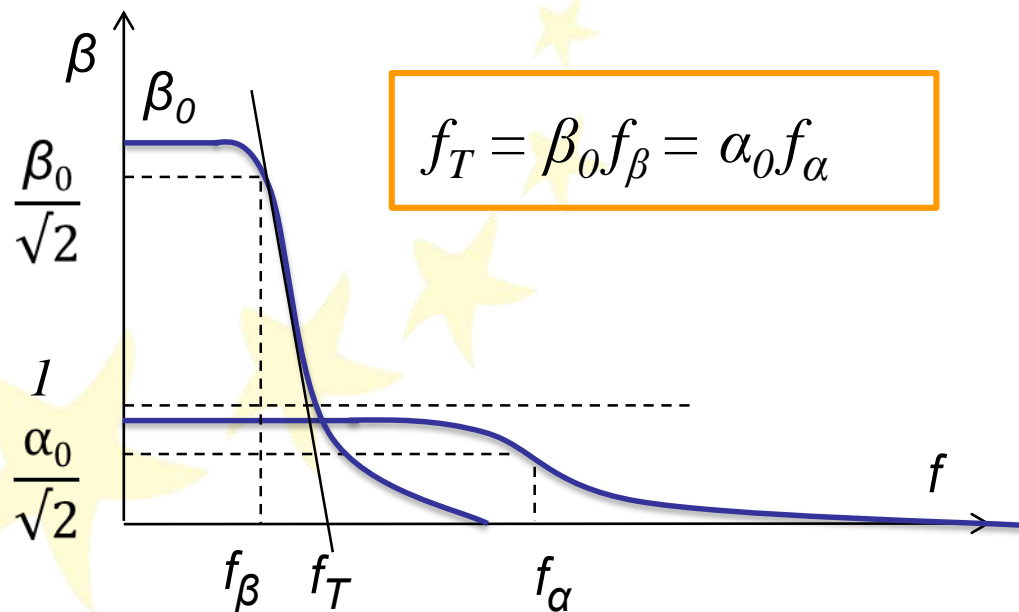
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Връзка между граничните честоти

$$f_{\alpha} = (1,2 - 2) \cdot f_T$$

$$f_T = \beta_0 \cdot f_{\beta}$$



Граничната честота f_T се измерва лесно и от нея се определят останалите честоти.



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!



Други гранични честоти

Други характерни честоти за транзистора са:

- ✦ **Гранична честота на стръмността** f_{gm} – честотата, при която модулът на стръмността g_m спада $\sqrt{2}$ пъти спрямо стойността си при ниски честоти.
- ✦ **Макимална честота при генериране** f_{max} – честотата, при която коефициентът на усилване по мощност за схема ОЕ става единица – $k_p = 1$. Над тази честота транзисторът преставя да бъде активен елемент.
- ✦ **Гранична честота на шума** f_N – честотата, при която собствените шумове на транзистора намаляват 2 пъти.

Граничните честоти се подреждат по големина, както следва:

$$f_{\beta} < f_{gm} < f_N < f_T < f_{\alpha} < f_{max}$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

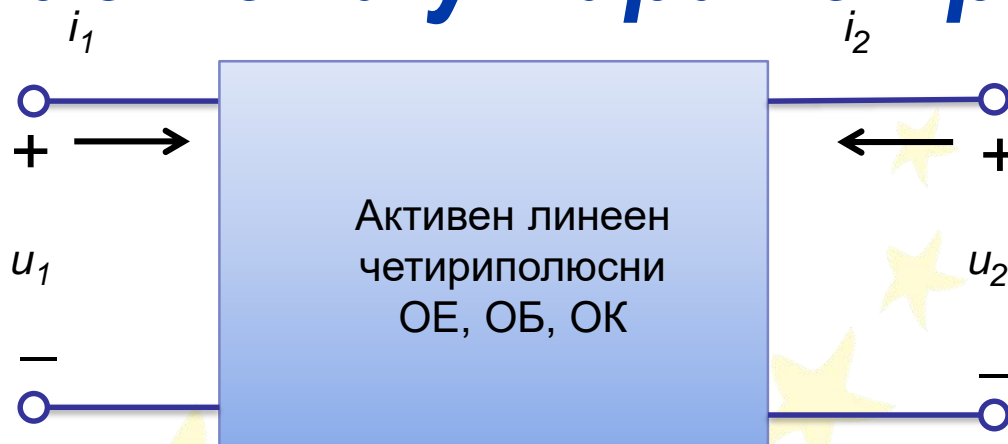
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Система у-параметри



За анализ на усилвателни стъпала при **високи честоти** и **малки променливи сигнали** се използват четириполъсни у-параметри.

$$i_1 = y_{11}u_1 + y_{12}u_2$$

$$i_2 = y_{21}u_1 + y_{22}u_2$$

Система с у-параметри

у – параметрите имат **различни стойности** за различни схеми на свързване на транзистора. Използват се за анализ на схеми при честоти до 300 MHz.



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

у-параметри – дефиниции

$$y_{11} = \frac{i_1}{u_1}$$

$$u_2 = 0$$

Входна проводимост при късо съединение в изхода по променлив ток

$$y_{12} = \frac{i_1}{u_2}$$

$$u_1 = 0$$

Обратна проходна проводимост при късо съединение на входа по променлив ток

$$y_{21} = \frac{i_2}{u_1}$$

$$u_2 = 0$$

Права проходна проводимост (стръмност) при късо съединение в изхода по променлив ток

$$y_{22} = \frac{i_2}{u_2}$$

$$u_1 = 0$$

Изходна проводимост при късо съединение на входа по променлив ток

Съществува връзка между y - и h -параметри.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

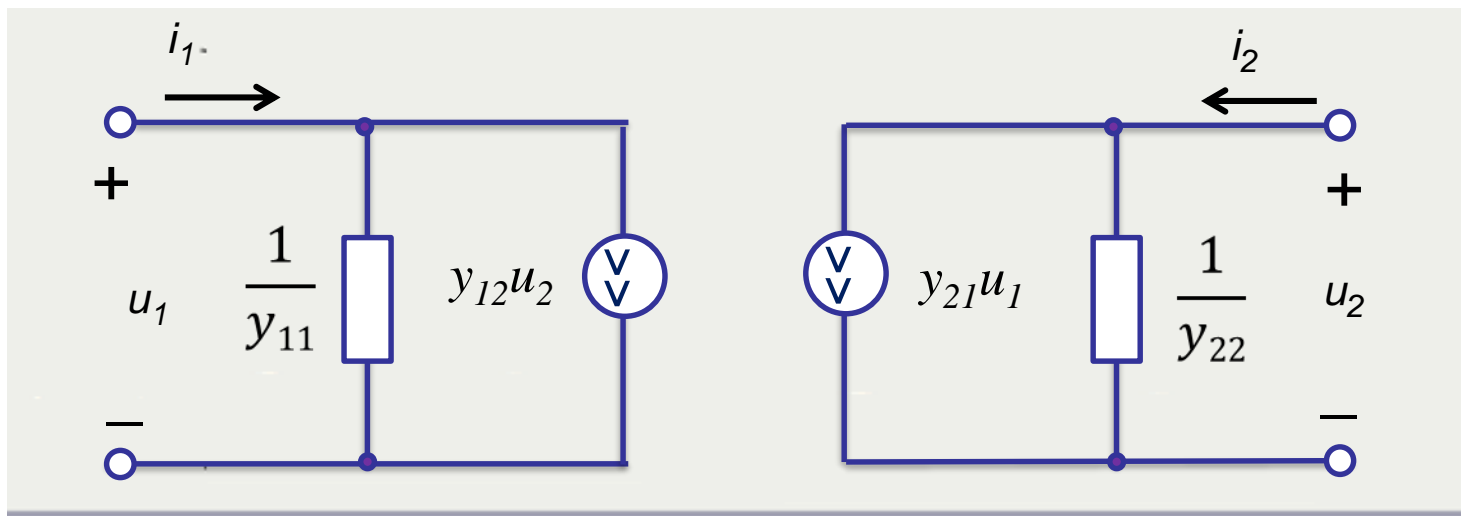
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

Еквивалентна схема с у-параметри



Еквивалентна схема на транзистора с у - параметри при **ВИСОКИ ЧЕСТОТИ** и **МАЛЪК ПРОМЕНЛИВ** входен сигнал

Недостатък – у- параметрите зависят от честотата.



Европейски съюз

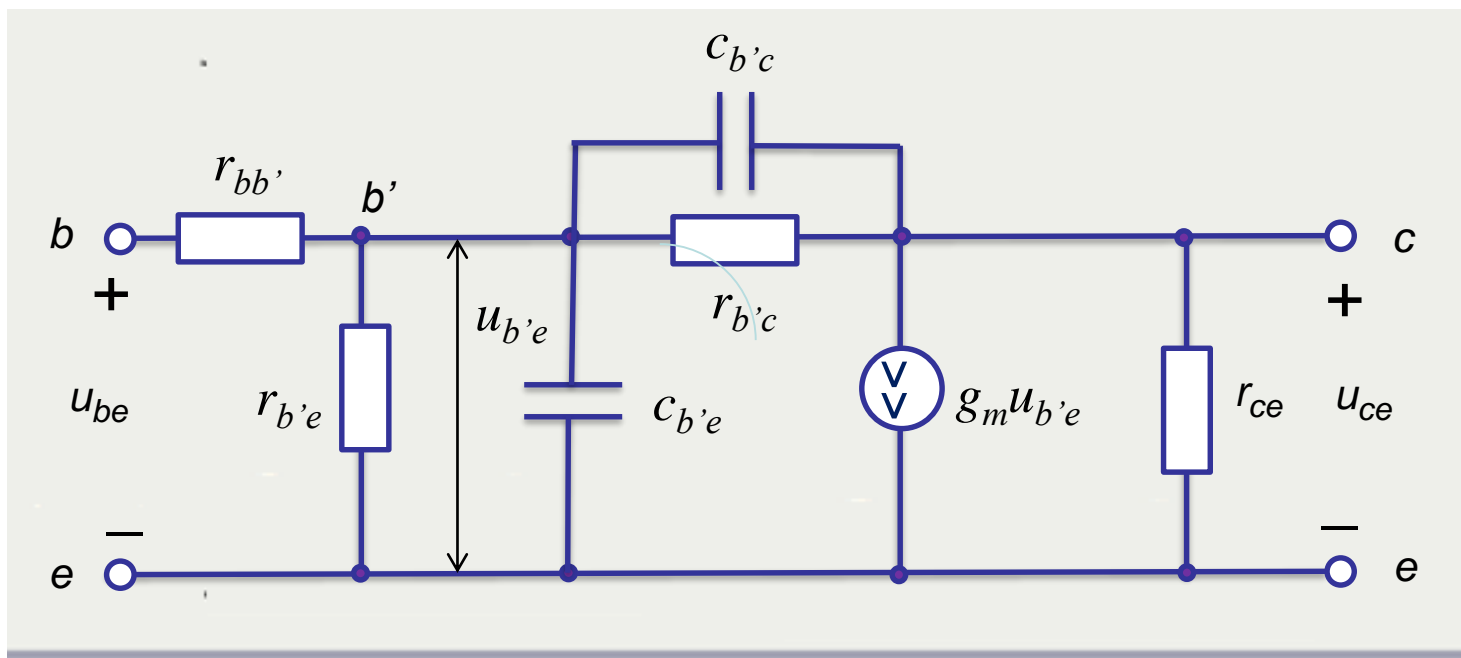
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



Еквивалентна схема на Джиаколето



$r_{b'b}$ – обемно съпротивление на базата

$C_{b'e}$ – дифузен капацитет на емитерния преход

$C_{b'c}$ – бариерен капацитет на колекторния преход

$r_{b'c}$ – отчита ефента на Ърли

r_{ce} – изходно съпротивление

g_m – стръмност на транзистора



Европейски съюз

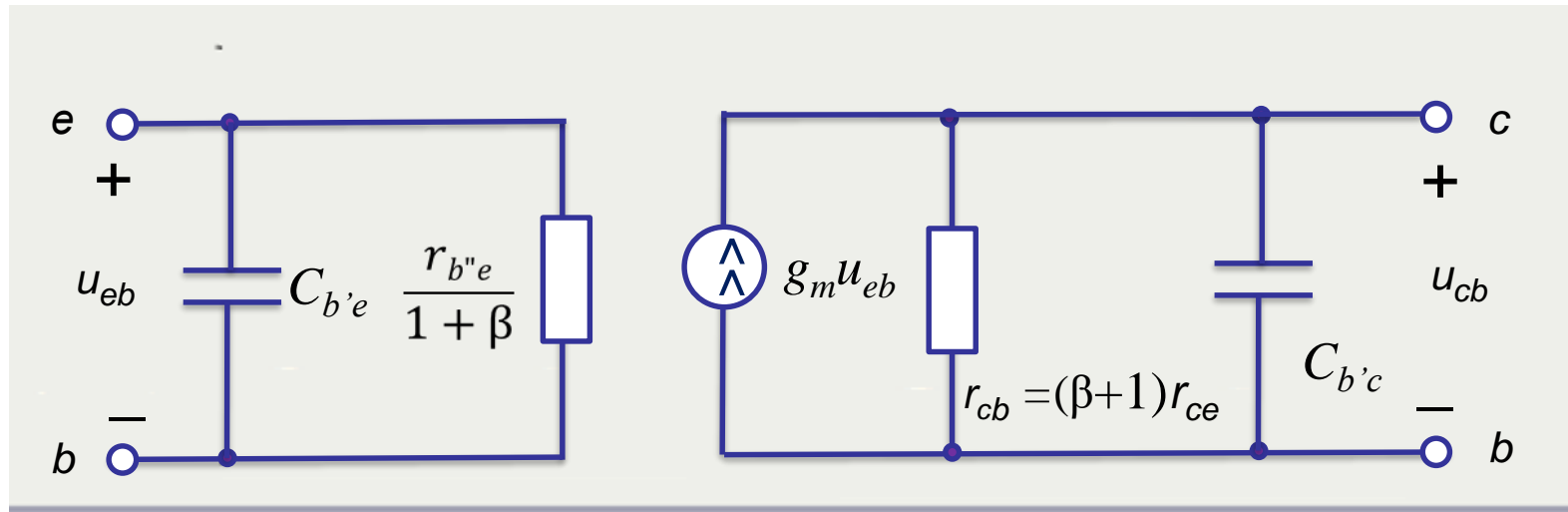
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



В.ч. еквивалентна схема за ОБ



Еквивалентна схема на транзистора в схема ОБ с физични параметри при **високи честоти** и **малък променлив** входен сигнал

Тези еквивалентни схеми се използват за анализ на усилвателни стъпала при честоти не превишаващи половината от транзитната честота на използвания 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