

 **Технически университет – София**

**Факултет по електронна техника и технологии**

 **Катедра „Електронна техника“**

**Презентация № 3**

## **Едностъпални транзисторни усилватели**

**дисциплина „Аналогова схемотехника“ – ВЕ30**  
**ОКС „Бакалавър“ от Учебен план за студентите на специалност**  
**Електроника, Професионално направление**  
**5.2. Електротехника, електроника и автоматика**



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

# Съдържание

1. Пълна еквивалентна схема по променлив ток на стъпала ОЕ и ОС
2. П-образни еквивалентни схеми на транзисторите. Теорема на Милер
  - 2.1. П-образни еквивалентни схеми на транзисторите
  - 2.2. Теорема на Милер
  - 2.3. Обобщена еквивалентна схема при средни честоти
  - 2.4. Анализ при средни честоти. Определяне на основните динамични параметри
    - 2.4.1. Стъпала с ОЕ и ОС
    - 2.4.2. Стъпала с ОК и ОД
    - 2.4.3. Схема с високо входно съпротивление и голяма температурна стабилност
    - 2.4.4. Стъпала с ОБ и ОГ
  - 2.5. Едностъпални усилватели с ОЕ и с ОС с ООВ по ток
3. Извод
4. Литература



Европейски съюз

**ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042**

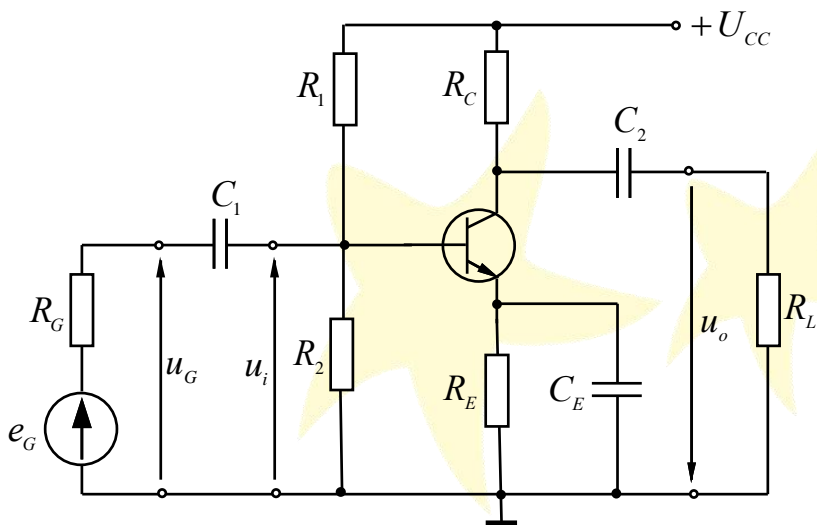
**„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”**

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!**

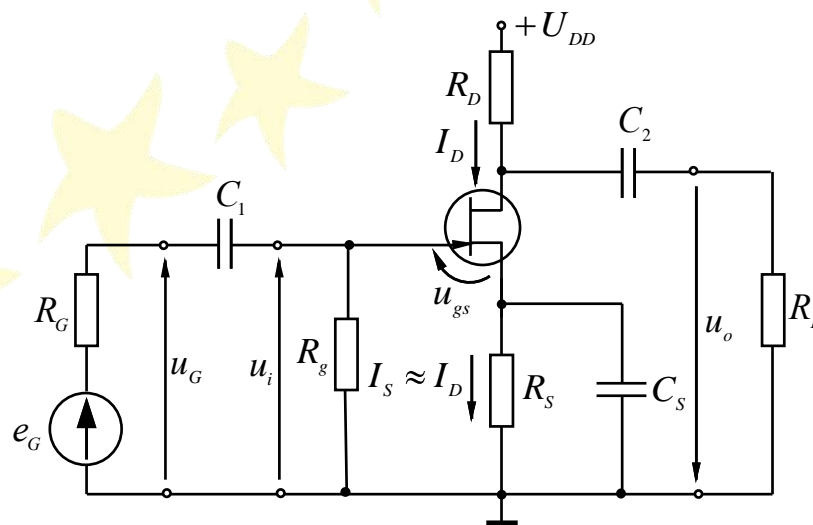


# 1 Пълна еквивалентна схема по променлив ток на стъпала ОЕ и ОС

Принципните схеми на стъпала ОЕ и ОС са дадени на фиг. 3.1а и 3.1б. По-подробна информация относно изграждащите схемата компоненти може да намерите в Модул 2 „Постоянно токово захранване на усилвателни стъпала”. **Пълната еквивалентна схема по променлив ток се получава, като към еквивалентните схеми на транзисторите се прибавят външните пасивни елементи.**



Фиг. 3.1а. Схема с общ емитер (ОЕ)



Фиг. 3.1б. Схема с общ сорс (ОС)



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

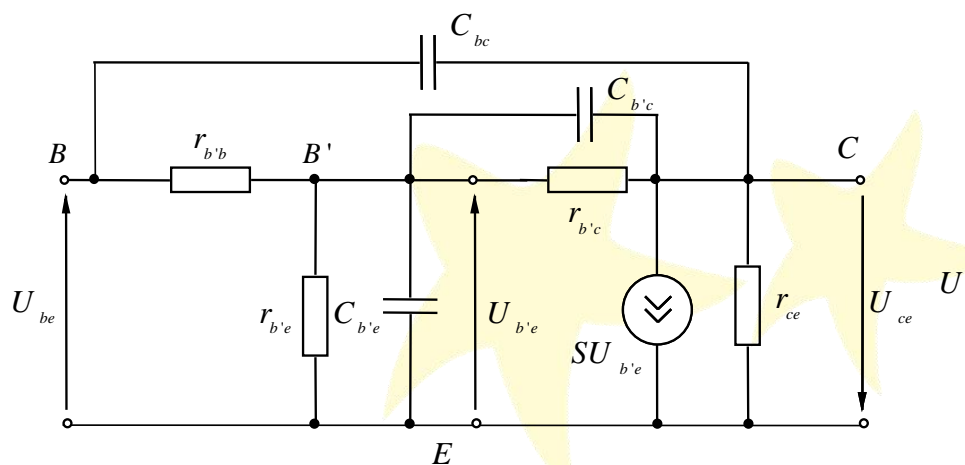
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



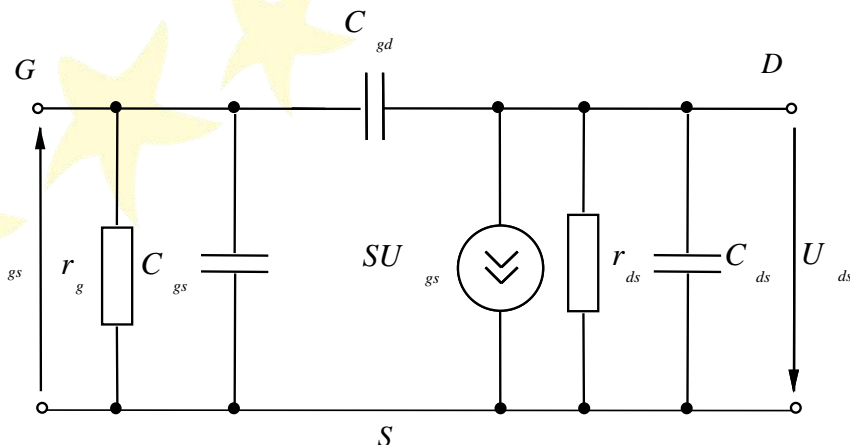
## 2 П-образни еквивалентни схеми на транзисторите. Теорема на Милер

### 2.1 П-образни еквивалентни схеми на транзисторите

П-образните еквивалентни схеми (модели) най-пълно отразяват физическите свойства на транзисторите и са най-удобни за използване. За БТ това е еквивалентната схема на Джиаколето, показана на фиг. 3.2а. П-образната еквивалентна схема на ПТ е показана на фиг. 3.2б.



Фиг. 3.2а. П-образна еквивалентна схема за БТ



Фиг. 3.2б. П-образна еквивалентна схема за ПТ



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!*



За модела на БТ (схема на Джиаколето) от фиг. 3.2а можем да запомним:

- $r_{b'b}$  е обемното съпротивление на базата (около  $50\Omega$ );
- $r_{b'e}$  и  $r_{b'c}$  са диференциалните съпротивления на емитерния и колекторния преход. Тъй като  $r_{b'c}$  е много голямо (над няколко  $M\Omega$ ), в опростените еквивалентни схеми то се пренебрегва;
- $C_{b'e}$  и  $C_{b'c}$  са капацитетите на двата прехода (съответно десетки pF за  $C_{b'e}$  и няколко pF за  $C_{b'c}$ );
- Зависимият източник на ток  $g_m U_{b'e}$  се управлява от  $U_{b'e}$ , но с известно приближение може да се приеме, че  $g_m U_{b'e} \approx g_m U_{be}$ . Освен това се приема, че вътрешната стръмност на транзистора  $g_m \approx S$ ;
- Изходното съпротивление  $r_{ce} = 1/y_{22} \approx 1/h_{22}$ .
- Междueleктродният капацитет  $C_{bc}$  е много малък ( $C_{bc} < 1pF$ ). Той обикновено се прибавя към капацитета  $C_{b'c}$ ;



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!*



За модела на ПТ (т.нар.П-образната еквивалентна схема), от фиг. 3.2б можем да запомним:

- $r_g$  е входното съпротивление ;
- $r_{ds}$  е изходното съпротивление (десетки  $k\Omega$ );
- $C_{gs}$ ,  $C_{gd}$  и  $C_{ds}$  са междуелектродните капацитети.  $C_{gs}$  и  $C_{gd}$  са от порядъка на няколко до 10-20pF, а  $C_{ds}$  е части от pF. Последният може да се пренебрегне;
- и тук вътрешната стръмност  $g_m$  в зависимия генератор може да се приеме, че е  $g_m \approx S$ .



Европейски съюз

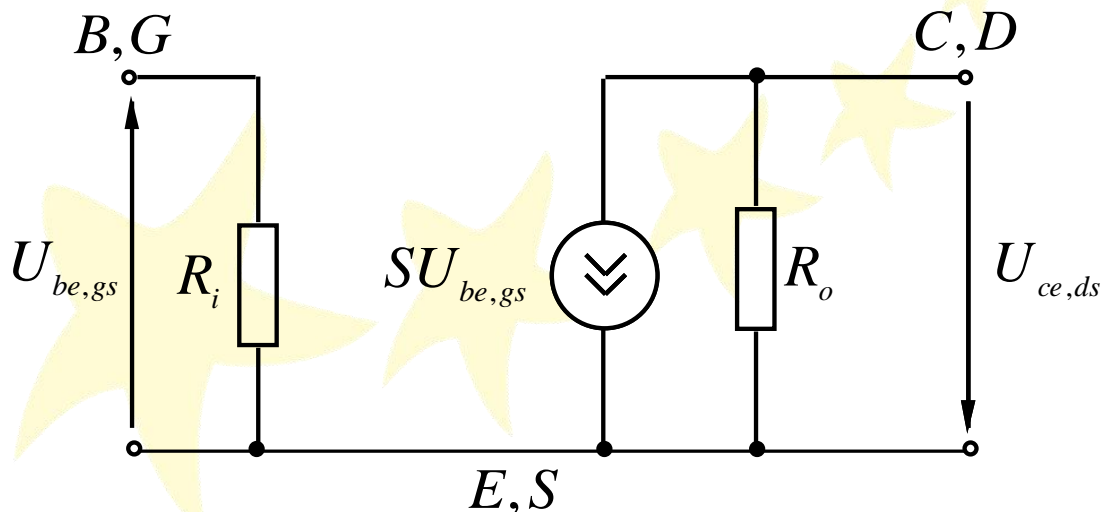
**ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042**

**„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!**



Еквивалентните схеми на БТ и ПТ от фиг. 3.2а и 3.2б са относително сложни. За щастие за ниски и средни честоти кондензаторите имат достатъчно висок импеданс (реактивно съпротивление) и могат да се пренебрегнат. Тогава можем да достигнем до еквивалентната схема показана на фиг. 3.3.



**Фиг. 3.3.** Еквивалентни схеми за БТ и ПТ за ниски и средни 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!*



За еквивалентната схема на БТ и ПТ за ниски и средни честоти от фиг. 3.3 може да запомним:

За БТ е валидно:

- входното съпротивление на схемата е:  $R_i = h_{11} = r_{b'b} + r_{b'e} \approx r_{be}$ ;
- изходното съпротивление е:  $R_o = r_{ce} = 1/y_{22} \approx 1/h_{22}$ ;
- стръмността  $S = h_{21}/h_{11}$  зависи правопрпорционално от колекторния ток ( $S \approx I_C / \varphi_T$ , а топлинният потенциал  $\varphi_T = kT/q \approx 26mV$  при температура  $T = 300^\circ K$  или  $27^\circ C$ ), като  $h_{21} = \beta$ .

За ПТ е валидно:

- за ПТ входното съпротивление е  $R_i = r_g$ ;
- за ПТ изходното съпротивление е  $R_o = r_{ds}$ .

И за двата типа транзистори входната и изходната вериги са разделени.



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!*

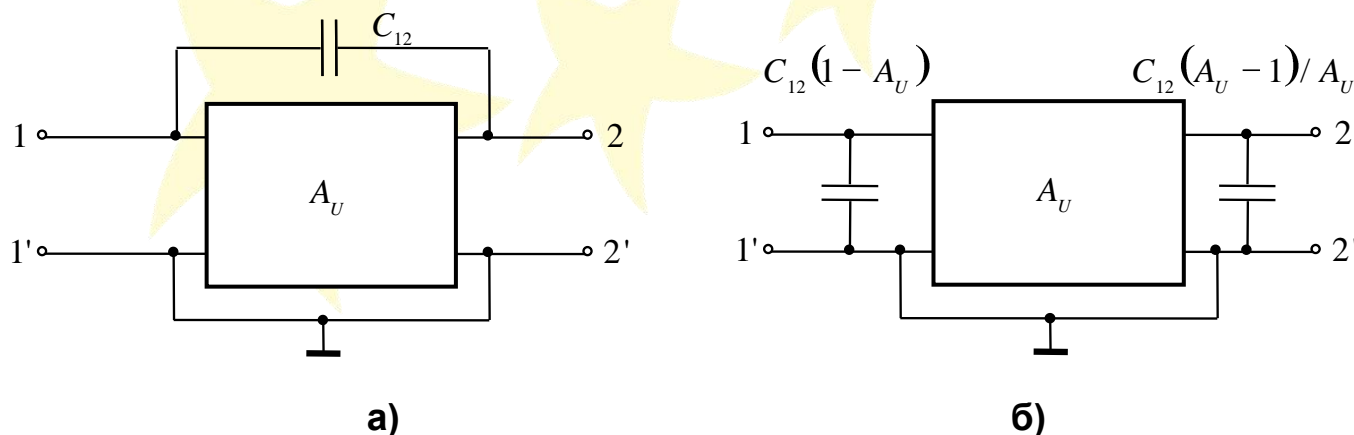




## 2.2 Теорема на Милер

Теоремата на Милер би могла да бъде изключително полезна при анализа на електронни схеми! Тя се отнася до четириполюсник, при който едната от входните клеми 1' и една от изходните клеми 2' са свързани помежду си, а между другите две (1 и 2) е включено комплексно съпротивление (кондензатор или бобина). В частния случай от фиг. 3.4а това е капацитетът  $C_{12}$ .

Теоремата на Милер позволява този четириполюсник да бъде представен с еквивалентен четириполюсник (фиг. 3.4б), при който липсва връзката между 1 и 2 (капацитетът  $C_{12}$ ). За сметка на това на входа и на изхода се появяват два допълнителни капацитета  $C_{\partial i} = C_{12} (1 - A_U)$  и  $C_{\partial o} = C_{12} (A_U - 1) / A_U$ .



Фиг. 3.4. Еквивалентни схеми на усилвател, илюстриращи теоремата на Милер



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!*



Нека приложим *теоремата на Милер* за еквивалентните схеми на БТ и ПТ от фиг. 3.2а и фиг. 3.2б.

Използвайки теоремата можем да премахнем връзката между вход ( $V$  или  $G$ ) и изход ( $C$  или  $D$ ), която при високи честоти се осъществява от капацитета  $C_{b'c}$  ( $C_{gd}$ ).

За целта е необходимо да използваме, че при **инвертиращ усилвател (схема с ОЕ и схема с ОС)**  $|A_U| \gg 1$ . Освен това, като се отчете, че  $C_{12} = C_{b'c}$  (схема с ОЕ) и  $C_{12} = C_{gd}$  (схема с ОС), за  $C_{\hat{c}i}$  и  $C_{\hat{c}o}$  получаваме:

– за БТ:

$$(3.1) \quad C_{\hat{c}i} = C_{b'c} \left( 1 + |A_U| \right),$$

$$(3.2) \quad C_{\hat{c}o} \approx C_{b'c}.$$

– за ПТ:

$$(3.3) \quad C_{\hat{c}i} = C_{gd} \left( 1 + |A_U| \right),$$

$$(3.4) \quad C_{\hat{c}o} \approx C_{gd}.$$



Европейски съюз

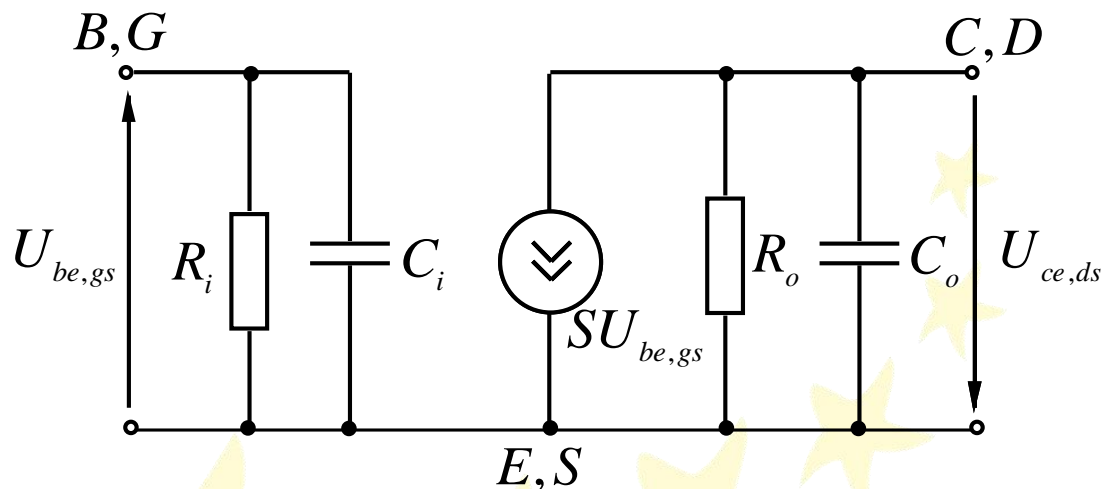
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

*„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!*



Използвайки теоремата еквивалентните схеми на БТ и ПТ ще добият вида показан на фиг. 3.5.



**Фиг. 3.5.** Еквивалентни схеми за БТ и ПТ за високи честоти

Като се използват изразите (3.1), (3.2), (3.3) и (3.4), за входният капацитет  $C_i$  и изходният капацитет  $C_o$  съответно се получават

– за БТ:

$$(3.5) \quad C_i = C_{b'e} + C_{b'c} \left( 1 + |A_U| \right),$$

$$(3.6) \quad C_o = C_{b'c}.$$

– за ПТ:

$$(3.7) \quad C_i = C_{gs} + C_{gd} \left( 1 + |A_U| \right),$$

$$(3.8) \quad C_o = C_{gd} + C_{ds} \approx C_{gd}.$$



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

При неинвертиращ усилвател с  $A_U \gg 1$  (схема ОБ и ОГ)  $C_{12} = C_{ce}$  (ОБ) и  $C_{12} = C_{gs}$  (ОГ).

Тогава

- за БТ:

$$(3.9) \quad C_{\partial i} = C_{ce} \left( -A_U \right)$$

$$(3.10) \quad C_{\partial o} = C_{ce}$$

- за ПТ:

$$(3.11) \quad C_{\partial i} = C_{ds} \left( -A_U \right)$$

$$(3.12) \quad C_{\partial o} = C_{ds}$$

Входният и изходният капацитет се получават, като към (3.9), (3.11) съответно (3.10), (3.12) се прибавят капацитетите  $C_{b'e}$  ( $C_{gs}$ ) и  $C_{b'c}$  ( $C_{gd}$ ). Тогава:

- за БТ:

$$(3.13) \quad C_i = C_{b'e} + C_{ce} \left( -A_U \right) \approx C_{b'e} - C_{ce} A_U,$$

$$(3.14) \quad C_o = C_{b'c} + C_{ce} \approx C_{b'c},$$

- за ПТ:

$$(3.15) \quad C_i = C_{gs} + C_{ds} \left( -A_U \right) \approx C_{gs} - C_{ds} A_U,$$

$$(3.16) \quad C_o = C_{gd} + C_{ds} \approx C_{gd}.$$

Тъй като  $C_{ce}$  е много малък междуелектроден капацитет, а  $C_{gd}$  е части от рФ, те могат да се пренебрегнат в изразите за  $C_o$ . Независимо от тяхната малка стойност те влияят на  $C_i$  и в зависимост от  $A_U$   $C_i$  може да бъде 0, положителен или отрицателен (индуктивност).



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!*



При **неинвертиращ усилвател** с коефициент на усилване по напрежение  $A_U \approx 1$  (схема с общ колектор ОК и с общ дрейн ОД)  $C_{12} = C_{b'e}$ , а входните и изходните капацитети са съответно:

– за ОК:

$$(3.17) \quad C_i = C_{b'c} + C_{b'e} (1 - A_U),$$

$$(3.18) \quad C_o = C_{ce} + C_{b'e} (A_U - 1) A_U,$$

– за ОД:

$$(3.19) \quad C_i = C_{gd} + C_{gs} (1 - A_U),$$

$$(3.20) \quad C_o = C_{ds} + C_{gs} (A_U - 1) A_U.$$

Изходният капацитет може да бъде 0, положителен или отрицателен (индуктивност). Най-често се приема, че е нула, ако  $A_U \approx 1$ .

Ако към еквивалентните схеми на фиг. 3.5 се прибавят външните пасивни елементи, могат да се получат *пълните еквивалентни схеми* на всички стъпала с БТ и ПТ.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

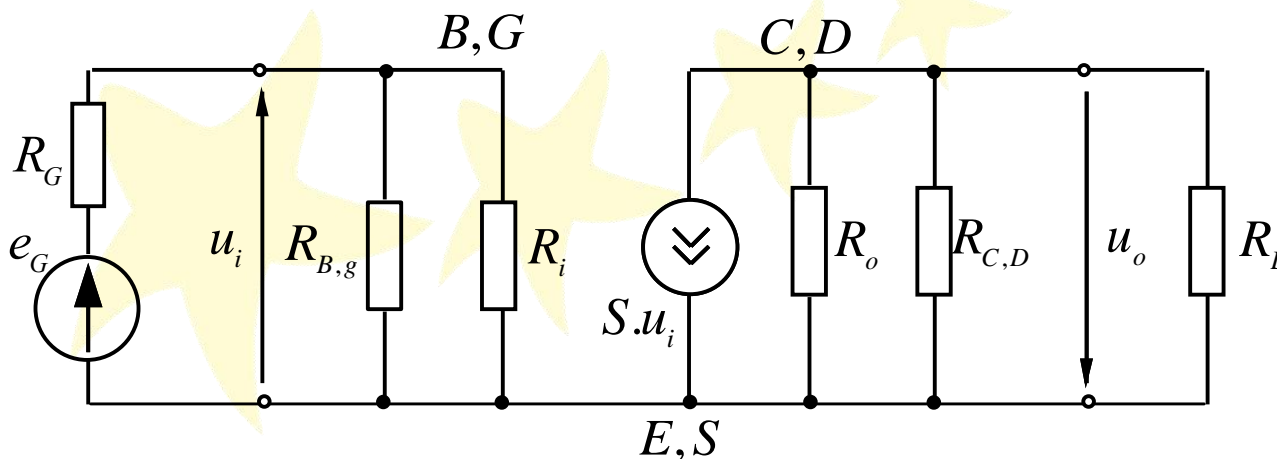
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”*

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!*



## 2.3 Обобщена еквивалентна схема при средни честоти

Еквивалентната схема за средни честоти се получава от пълната еквивалентна схема. За средни честоти и кондензаторите  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_{E,S}$ , които са с достатъчно голям капацитет, имат много малко съпротивление. Ето защо може да се приеме, че точките  $In$  и  $B (G)$ ;  $C (D)$  и  $Out, E (S)$  и общият проводник са екипотенциални. Капацитетите  $C_i$ ,  $C_o$  и  $C_L$  са с малка стойност (десетки и стотици pF) и тяхното съпротивление е много голямо. Затова те също не участват в еквивалентната схема. Обобщената еквивалентна схема за стъпало с ОЕ и с ОС е показана на фиг. 3.6. От нея могат да се получат параметрите на стъпалата.



**Фиг. 3.6.** Обобщена еквивалентна схема на ОЕ и ОС за средни 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!*



Европейски социален фонд

## 2.4 Анализ при средни честоти. Определяне на основните динамични параметри

### 2.4.1 Стъпала с ОЕ и ОС

От еквивалентната схема на фиг. 3.6 се получават параметрите на стъпалата.

1. Коефициент на усилване по напрежение

$$(3.21) \quad A_U = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{SR'_L u_i}{u_i} = -SR'_L, \text{ където } R'_L = R_o \parallel R_{C,D} \parallel R_L.$$

2. Входно съпротивление

$$(3.22) \quad R_{iA} = R_i \parallel R_{B,g}.$$

3. Изходно съпротивление

$$(3.23) \quad R_{oA} = R_o \parallel R_{C,D} \approx R_{C,D}.$$

4. Входният и изходният капацитет са съответно

$$(3.24) \quad C_{iA} = C_i + C_M \text{ и}$$

$$(3.25) \quad C_{oA} = C_o + C_M,$$

където  $C_i$  и  $C_o$  се определят с изразите (2.14), (2.15), (2.16) и (2.17), а  $C_M$  е монтажният капацитет ( $5-15 \text{ pF}$ ).

Коефициентът на усилване зависи правопрпорционално от стръмността и от еквивалентния товар. Входното съпротивление при стъпало с ОС ( $R_{iA} = R_g \parallel r_g$ ) е много голямо, а това на стъпало с ОЕ се определя от  $h_{11}$   $R_{iA} = R_B \parallel h_{11} \approx h_{11}$  и е от порядъка на няколко  $k\Omega$  до няколко десетки  $k\Omega$  в зависимост от режимния ток. Двете стъпала са равностойни по отношение на изходното съпротивление, входния и изходния капацитет.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

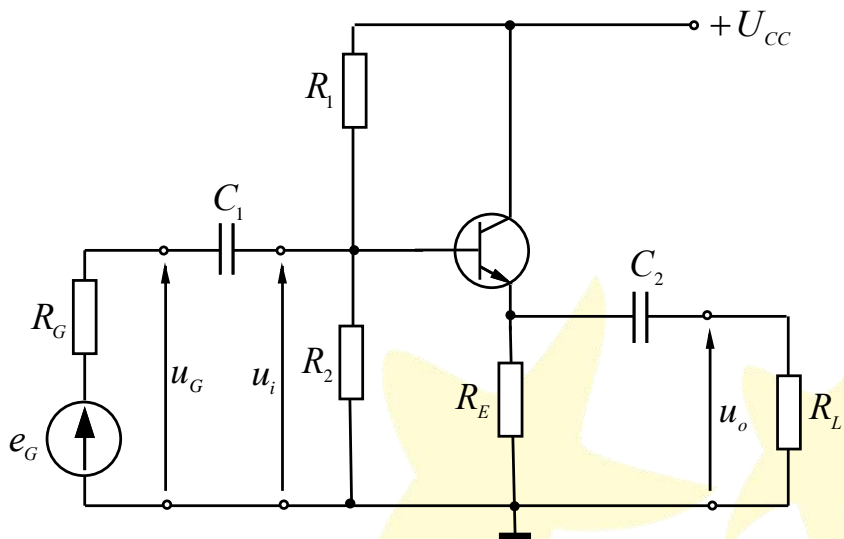
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
*Инвестира във вашето бъдеще!*



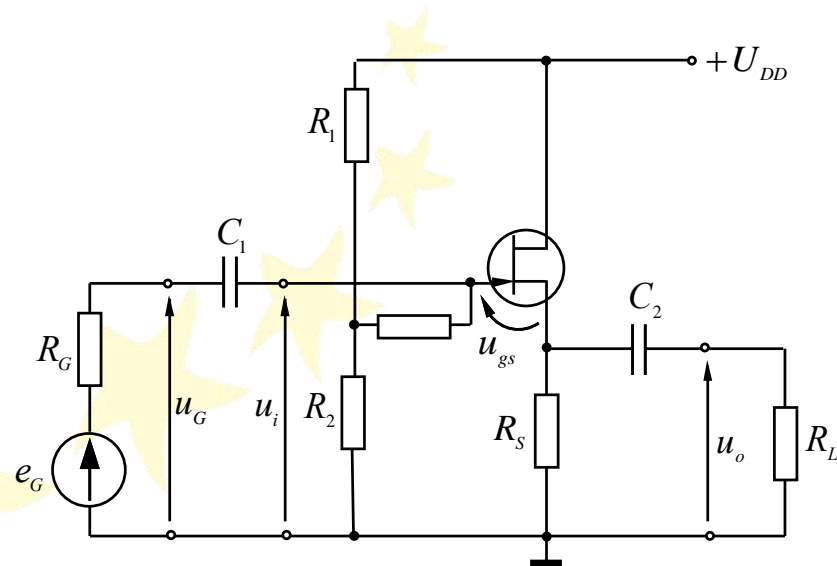
Европейски социален фонд

## 2.4.2 Стъпала с ОК и ОД

Принципните схеми а ОК и ОД са дадени на фиг. 3.7.



Фиг. 3.7а. Схема с общ колектор (ОК)



Фиг. 3.7б. Схема с общ дрейн (ОД)

Стъпалата с ОК и с ОД могат да се разглеждат съответно като стъпала с ОЕ и с ОС, обхванати от 100% последователна ООВ по напрежение. Затова те се характеризират с голямо входно и много малко изходно съпротивление и коефициент на усилване по напрежение много близък до 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!*





Основни параметри на схеми ОК и ОД:

1. Коефициент на усилване

$$(3.26) \quad A_U = \frac{A_{UOE,OC}}{1 + A_{UOE,OC}} = \frac{SR'_L}{1 + SR'_L}, \text{ където } R'_L = R_{E,S} \parallel R_o \parallel R_L.$$

2. Входното съпротивление

$R_{iA} = R_i F$ . Съответно

– за ОК

$$(3.27) \quad R_{iA} = h_{i1} (1 + SR'_L) \approx h_{i1} + h_{i1} SR'_L$$

– за ОД

$$(3.28) \quad R_{iA} = r_g (1 + SR'_L)$$

Ако се вземе под внимание външно включеното съпротивление във веригата за постояннотоково захранване, за входното съпротивление се получава

$$R'_{iA} = R_{iA} \parallel R_{B,g}, \text{ където } R_B = R_1 \parallel R_2.$$

3. Изходно съпротивление

Тъй като стъпалото е обхванато от 100% последователна ООВ по напрежение, изходното съпротивление е много малко.

$$(3.29) \quad R_{oA} = \frac{1}{S} \parallel R_{E,S}.$$



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!**



#### 4. Входен и изходен капацитет

Това са изрази (3.17), (3.19) и (3.18), (3.20).

Сравнението между параметрите на стъпалата показва, че:

- коефициентът на усилване по напрежение на ОК е по-близък до единица, защото стръмността  $S$  на БТ е по-голяма от тази на ПТ;
- входното съпротивление на ОД е много по-голямо от това на ОК, защото  $r_g$  (над  $10^{12} \Omega$ ) и  $R_g$  (над  $1M\Omega$ ) са много големи;
- изходното съпротивление на ОК е по-малко поради по-голямата стойност на  $S$ .

Входните капацитети на двете стъпала са от един и същ порядък, а изходният капацитет  $C_{oA} \approx 0$ .

Тези стъпала се използват като входни, изходни и съгласуващи в многостъпалните усилватели и аналоговите интегрални схеми.



Европейски съюз

**ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042**

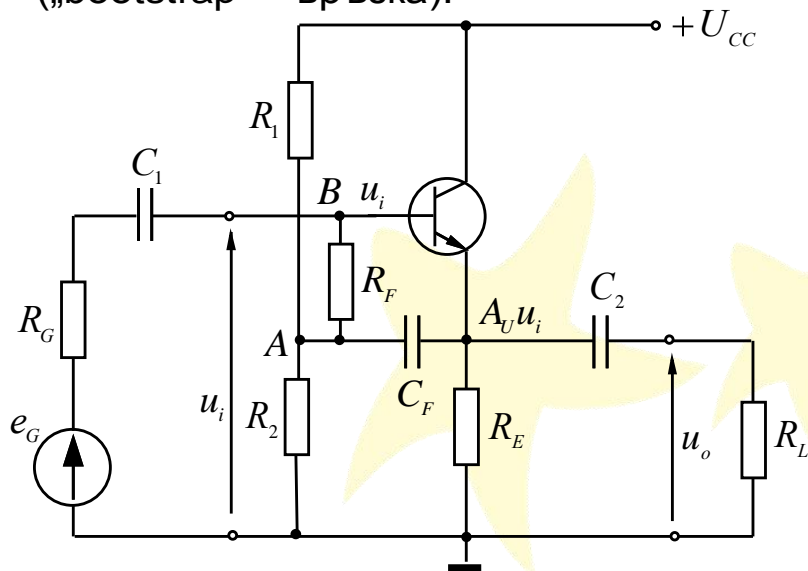
**„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”**

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!**



### 2.4.3 Схема с високо входно съпротивление и голяма температурна стабилност

На фиг. 3.8 е показана схема на ОК с boot-strap връзка. Компонентите  $C_F - R_F$  осъществяват по променлив ток положителна паралелна обратна връзка по напрежение („bootstrap” – връзка).



Фиг. 3.8. Схема ОК с „bootstrap” – връзка

Boot-strap връзката позволява прилагането на нискоомен делител  $R_1 - R_2$ , което подобрява стабилността на схемата, като същевременно се запазва високо входното съпротивление.

„Boot-strap” – връзката може да се приложи и към стъпало с ОС. Този подход се използва в т. нар. каскодни усилватели (вж. модул 7), драйверните стъпала на мощните усилватели и в други случаи, когато по постоянен ток се изисква малко съпротивление, а по променлив ток – голямо.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

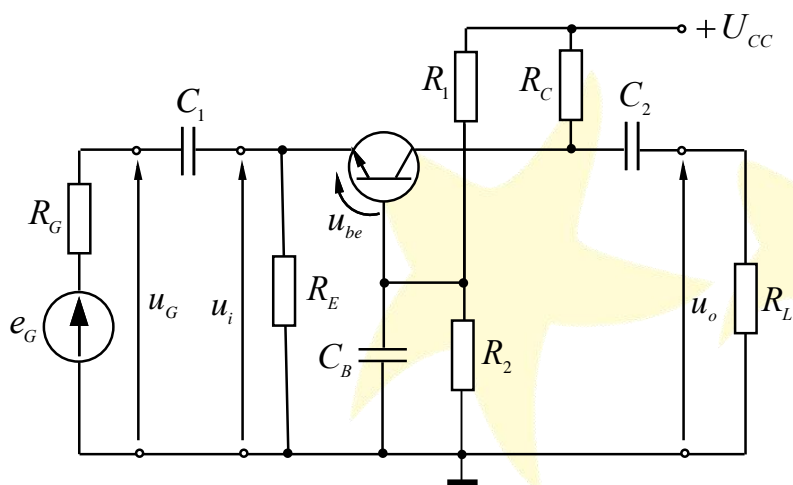
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!*

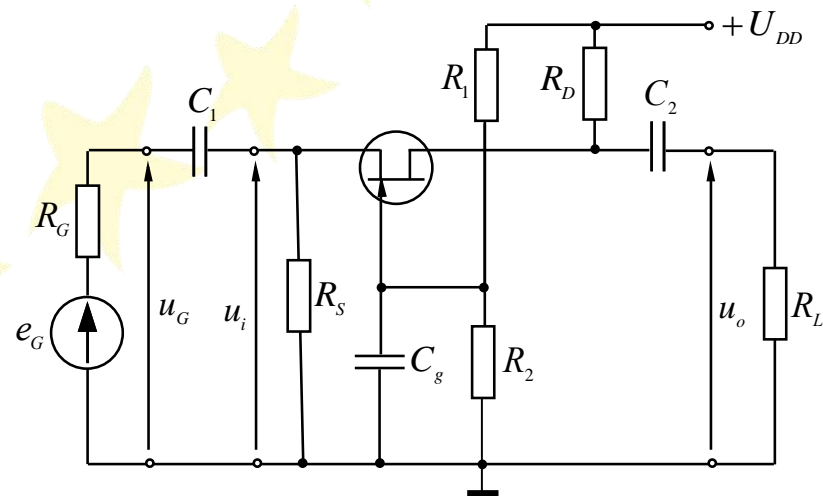


## 2.4.4 Стъпала с ОБ и ОГ

Принципните им схеми са дадени на фиг.3.9а и фиг. 3.9б. Тези схеми могат да се разгледат като стъпало с ОЕ (ОС), обхванато от 100% паралелна ООВ по ток. Ето защо те не усилват по ток ( $A_i < 1$ ), входното им съпротивление е много малко, а изходното – голямо. Тези схеми не инвертират входния сигнал, но усилват по напрежение, както съответните стъпала ОЕ (ОС).



Фиг. 3.9а. Схема с обща база (ОБ)



Фиг. 3.9б. Схема с общ гейт (ОГ)



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

Основните параметри на схеми ОБ и ОГ:

1. Коефициент на усилване по напрежение :  $A_U = SR'_L$ ;

2. Входното съпротивление на схема ОБ, при условие че  $R_E$  е много по-голямо от  $1/S$ , е

$$(3.30) \quad R_{iA} = \frac{u_i}{i_i} = \frac{u_{be}}{i_e} = \frac{h_{11}i_b}{(+h_{21}i_b)} \approx \frac{1}{S}.$$

Като се отчете влиянието на  $R_E$ ,

$$(3.31) \quad R'_{iA} = \frac{1}{S} \parallel R_E.$$

Същият израз важи и за стъпалото с ОГ. Вижда се, че входното съпротивление е малко. При стръмност  $S = 40mA/V$ , която се получава при  $I_C = 1mA$ ,  $R_{iA} \approx 25\Omega$ . По-голямо е входното съпротивление на стъпалото с ОГ, защото стръмността  $S$  на ПТ е по-малка.

3. Изходното съпротивление на стъпало с ОБ (ОГ) :

$$(3.32) \quad R_{oA} = R_{C,D} \parallel \left[ R_o \left( + SR_{E,S} \right) \right] \approx R_{C,D},$$

ако  $R_{C,D} \ll R_o \left( + SR_{E,S} \right)$ .



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

Входният капацитет на стъпало ОБ (ОГ) е много малък и на практика се определя от монтажния капацитет. Изходният капацитет е съответно  $C_{oA} \approx C_{b'c}$  и  $C_{oA} \approx C_{gd}$ . Поради малкото им входно съпротивление стъпала с ОБ и с ОГ рядко се използват самостоятелно. В комбинации с други стъпала (например с ОЕ или с ОК) те изграждат каскодните усилватели.

Стъпалата с ОБ и с ОГ най-често се използват като динамични товари, тъй като имат голямо изходно съпротивление.



Европейски съюз

**ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042**

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

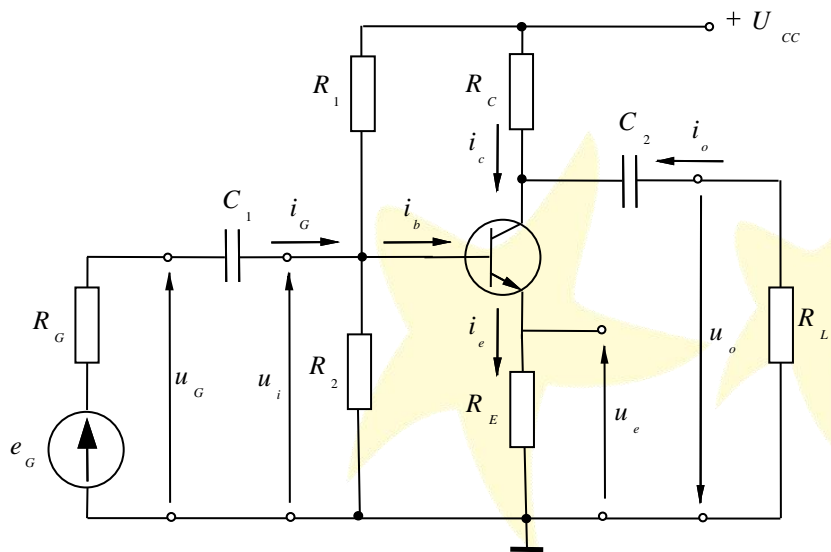
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на  
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,  
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз  
***Инвестира във вашето бъдеще!***



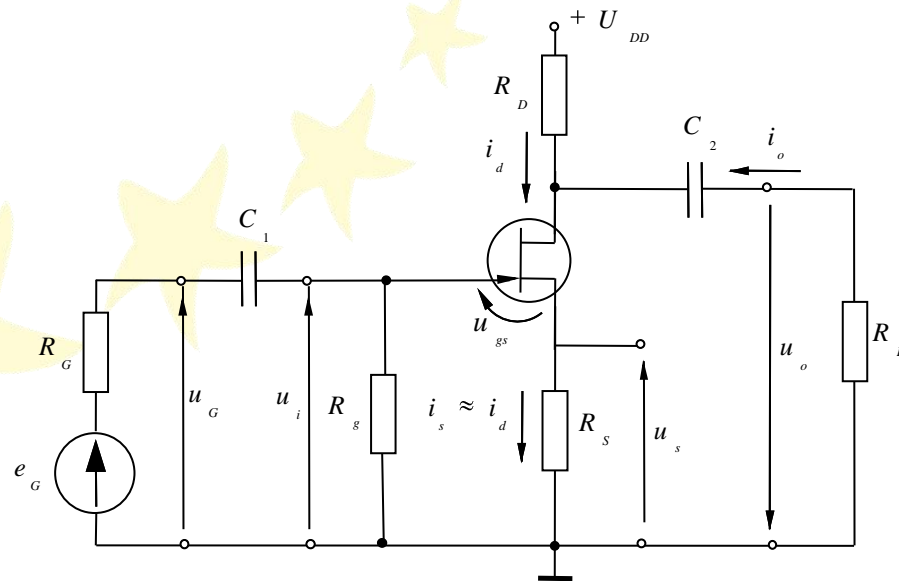
Европейски социален фонд

## 2.5 Едностъпални усилватели с ОЕ и с ОС с ООВ по ток

Ако се премахнат кондензаторите  $C_{E,S}$  в стъпала с ОЕ и с ОС на фиг. 3.1а и фиг. 3.2а, чрез съпротивления  $R_E$  и  $R_S$  се въвеждат и ООВ по променлив ток. Тези схеми са показани на фиг. 3.10а и фиг. 3.10б.



Фиг. 3.10а. Схема ОЕ с ООВ по ток



Фиг. 3.10б. Схема ОС с ООВ по 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

При средни честоти  $C_1$  и  $C_2$  са късо съединение за променливотоковата съставка. За схемата може да се изведе:

1. Коефициентът на усилване по напрежение  $A_U$  е

$$(3.33) \quad A_{UF} = -\frac{R'_L}{R_{E,S}} \approx -\frac{R_{C,D}}{R_{E,S}}, \text{ ако } R_{C,D} \text{ е най-малкото от трите паралелно свързани съпротивления в еквивалентния товар } R'_L.$$

2. Входно съпротивление  $R_{iAF}$  :

$$(3.34) \quad R_{iA} = FR_i = R_i \llcorner + SR_{E,S} \lrcorner,$$

където  $R_i = h_{11}$  (за ОЕ) и  $R_i = r_g$  (за ОС).

Ако се вземе под внимание входният делител, от (2.44) се получава

$$(3.35) \quad R'_{iA} = R_{iA} \parallel R_{B,g}.$$

3. Изходното съпротивление се увеличава с дълбочината на обратната връзка и съгласно израза за последователна ООВ по ток, даден в таблица 1.1 (т. 1.4), е

$$(3.36) \quad R_{oF} = R_o \llcorner + SR_{E,S} \lrcorner,$$

където  $R_o = 1/h_{22}$  (ОЕ) и  $R_o = r_{ds}$  (ОС).

Изходното съпротивление за стъпалата с отчитане на  $R_{C,D}$  е

$$(3.37) \quad R_{oA} = R_{oF} \parallel R_{C,D} \approx R_{C,D}, \text{ т.е. е същото както при стъпалата без ООВ.}$$

**Тази ООВ намалява  $A_U$  и увеличава  $R_{iA}$  с дълбочината на ОВ  $F$ , а изходното съпротивление не 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!**





**Основна:**

1. Пандиев, И., Л. Донеvsка, Д. Стаменов. Аналогова схемотехника – I, глава 5, стр. 129-131,. София, Издателство на ТУ-София, 2008.
2. Вълков, Ст. Аналогова електроника, глава 5, стр. 282-313, София, Техника, 2002.

**Допълнителна:**

1. Tietze, V., Ch. Schenk. Electronic circuits. 2nd Edition, chapter 5, pp. 544–568, New York. Springer-Verlag, 2008.

**Интернет адреси:**

1. Официален сайт на дисциплината аналогова схемотехника – [http://fett.tu-sofia.bg/analog\\_circuits/](http://fett.tu-sofia.bg/analog_circuits/)



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!*

