

 **Технически университет – София**

Факултет по електронна техника и технологии

 **Катедра „Електронна техника”**

Презентация № 7

Стъпала с динамичен товар. Каскодни усилватели и повторители

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. Въведение
2. Общ емитер с динамичен товар
3. Стъпало с динамичен товар реализирано с MOS транзистори
4. Стъпало с динамичен товар реализирано по CMOS технология
5. Каскодни усилватели
6. Заключение
7. 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 Въведение

За да се повиши коефициентът на усилване на еднотранзисторно стъпало с биполярен или MOS транзистор е необходимо повишаването на еквивалентното съпротивление (товара) в колектора или дрейна на транзистора. За съжаление директното повишаване на това съпротивление до необходимата стойност може да не е възможно. Причината за това е, че с повишаването на съпротивлението се намалява и колекторният ток, което води до намаляване на стръмността на транзистора. В тази връзка може да се използва т. нар. динамичен товар. В същност динамичният товар също е еднотранзисторна схема, която има много високо съпротивление за променливотокови сигнали, и много ниско съпротивление за постоянно токовете. По този начин режимът на транзистора по постоянен ток и коефициентът на усилване на стъпалото могат да бъдат оптимални.

Каскодите обикновено са двустъпални схеми, при които двете стъпала са свързани паралелно по постоянен ток и последователно по променлив. По такъв начин е възможно постигането на схеми с големи коефициенти на усилване и ниски входни паразитни капацитети, което довежда до по-широка честотна лента.



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 Общ емитер с динамичен товар

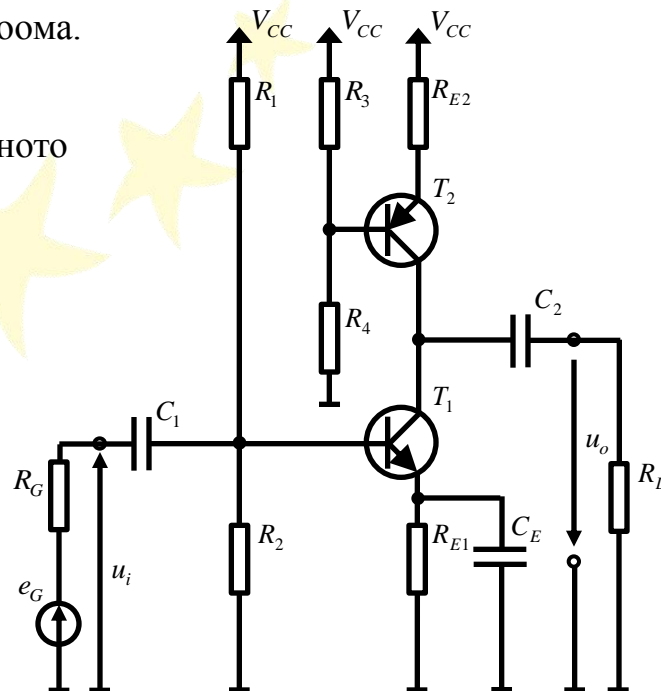
На фиг. 1 е показана електронна схема на стъпало с динамичен товар. При нея транзисторът T1 е свързан в схема ОЕ, а T2 изпълнява функциите на динамичен товар. По постоянен ток съпротивлението на T1 е малко и се определя от израза

$$(1) \quad R_{o,DC} = \frac{U_{CE2}}{I_{C2}} + R_{E2}, \quad \text{което е от порядъка на няколко килоома.}$$

Тъй като R_{E2} създава последователна ООВ по ток, еквивалентното товарно съпротивление на T1 е.

$$(2) \quad R_{o,AC} = \frac{1}{S_2} + S_2 R_{E2} \approx \frac{1}{h_{22}}, \quad \text{където } S_2 \text{ е стръмността}$$

на транзистора T2.



Фиг. 1. Усилвателно стъпало с динамичен товар



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

За коефициента на усилване по напрежение на схемата от фиг. 1 се получава.

$$(3) A_{U,ДГ} = -S_1 R'_L = -S_1 \left\{ \left(\frac{1}{h_{22e}} \right) \parallel \left[\left(\frac{1}{h_{22e}} \right) \left(+ S_2 R_{E2} \right) \right] \parallel R_L \right\}, \text{ където}$$

$$(4) R'_L = \left(\frac{1}{h_{22e}} \right) \parallel \left[\left(\frac{1}{h_{22e}} \right) \left(+ S_2 R_{E2} \right) \right] \parallel R_L \text{ е еквивалентното товарно съпротивление.}$$

Тъй като R_L е голямо коефициентът на усилване $A_{U,ДГ}$ може да се получи много по-голям от коефициента на усилване на едотранзисторната схема без динамичен товар $A_{U,OE}$.

Типични стойности за коефициента на усилване са $A_{U,ДГ} = -1000 \div -6000$.

Входното съпротивление и капацитет на схемата, както и изходното съпротивление се дават с изразите:

$$(5) R_{iA} = R_1 \parallel R_2 \parallel h_{11e} \approx h_{11e} \quad \text{и} \quad (6) C_{iA} = C_{b'e} + C_{b'c} \left(+ |A_{U,ДГ}| \right)$$

$$(7) R_{oA} \approx \frac{1}{h_{22e}} \parallel \left(\frac{1}{h_{22e}} \right) \left(+ S_2 R_{E2} \right)$$



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!



Както се вижда от формулите по-горе входното съпротивление на стъпалото с динамичен товар се определя от трназистора $T1$ и е съизмеримо с това на схема ОЕ без динамичен товар. В същото време, обаче, входният капацитет на схемата с динамичен товар е по-голям от този на едотрназисторната схема ОЕ, тъй като $A_{U,ДГ} \gg A_{U,ОЕ}$. В резултат на това високата гранична честота на усилвателя с динамичен товар е по-ниска от тази на обикновената схема ОЕ.



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

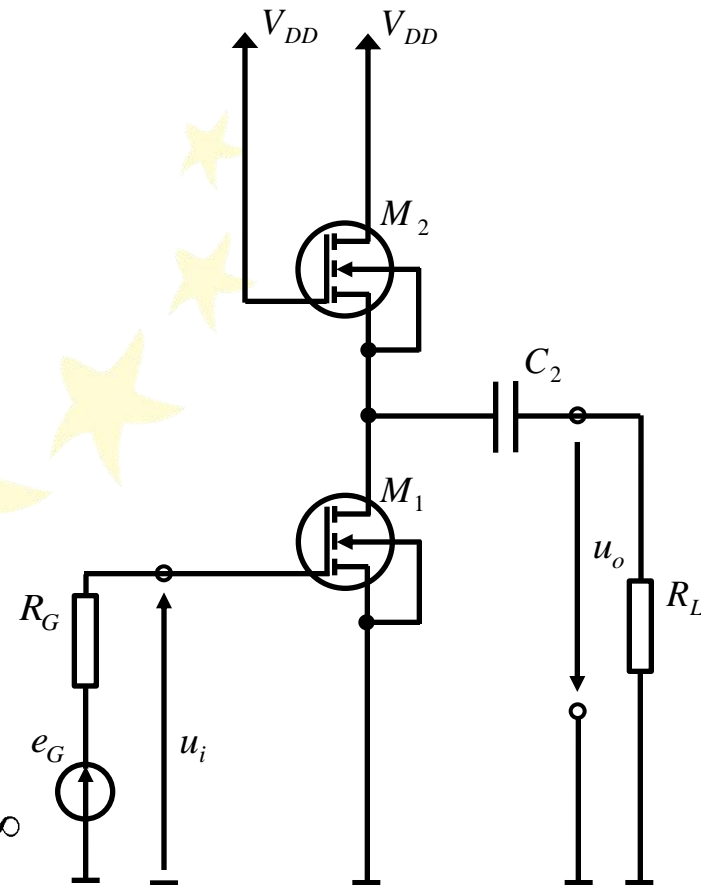
3 Стъпало с динамичен товар реализирано с MOS транзистори

Стъпалата с динамичен товар се използват в MOS и BiMOS интегралните схеми за повишаване коефициента на усилване. На фиг. 2 транзисторът M1 е свързан по схема ОС, а M2 изпълнява ролята на динамичен товар. В същност гейтът и дрейнът на M2 са свързани на късо (т.нар. диодно свързване), което осигурява работата на транзистора в пентоден режим. В този случай за изходното съпротивление на M2 имаме:

$$(8) \quad r_{o2} = \frac{dU_{DS}}{dI_D} = \frac{dU_{GS}}{dI_D} = \frac{1}{S_2}.$$

Коефициентът на усилване по напрежение при $R_L \rightarrow \infty$

$$(9) \quad A_{U,DT} = \frac{u_o}{u_i} = -S_1 \left(r_{o1} \parallel r_{o2} \right) \approx -\frac{S_1}{S_2},$$



Фиг. 2. Усилвателно стъпало с динамичен товар с MOS 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

Където S_1 и S_2 са стръмностите на двата транзистора и $r_{02} \approx r_{DS1}$.

Понеже M_1 също работи в пентоден режим, за токовете и стръмностите на M_1 и M_2 са валидни следните формули:

$$(10) \quad I_{D1} = k_1 (U_{GS1} - U_{p1})^2,$$

$$(11) \quad I_{D2} = k_2 (U_{GS2} - U_{p2})^2,$$

$$(12) \quad S_1 = 2k_1 (U_{GS1} - U_{p1})^2 = 2\sqrt{k_1 I_{D1}} \quad \text{и}$$

$$(13) \quad S_2 = 2k_2 (U_{GS2} - U_{p2})^2 = 2\sqrt{k_2 I_{D2}}, \quad \text{където} \quad k_1 = \frac{\mu_1 C_{ox} W_1}{2L_1} \quad \text{и} \quad k_2 = \frac{\mu_2 C_{ox} W_2}{2L_2} \quad \text{са}$$

специфичните стръмности на двата MOS транзистора, $W_1(W_2)$ – ширината на каналите, $L_1(L_2)$ – дължина на каналите, $\mu_1(\mu_2)$ – специфична подвижност на токоносителите и C_{ox} специфичен (за единица площ) капацитет на гейта, който е еднакъв за двата 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

Тъй като $I_{D1} = I_{D2}$ (изходните вериги на двата транзистора са свързани последователно по постоянен ток) и $\mu_1 = \mu_2$, след заместване за коефициента на усилване на получава

$$(14) \quad A_{U, ДТ} = \frac{u_o}{u_i} \approx -\frac{S_1}{S_2} \approx -\sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \approx -\sqrt{\frac{W_1 L_2}{W_2 L_1}}.$$

Следователно коефициентът на усилване по напрежение зависи приблизително само от геометричните размери на MOS транзисторите. Например, ако за стъпало с MOS транзистори $W_1/L_1 = 20$ и $W_2/L_2 = 20$, то за коефициентът на усилване се получава

$$A_{U, ДТ} \approx -\sqrt{W_1 L_2 / W_2 L_1} = -\sqrt{20 \cdot 20} = 20.$$



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!

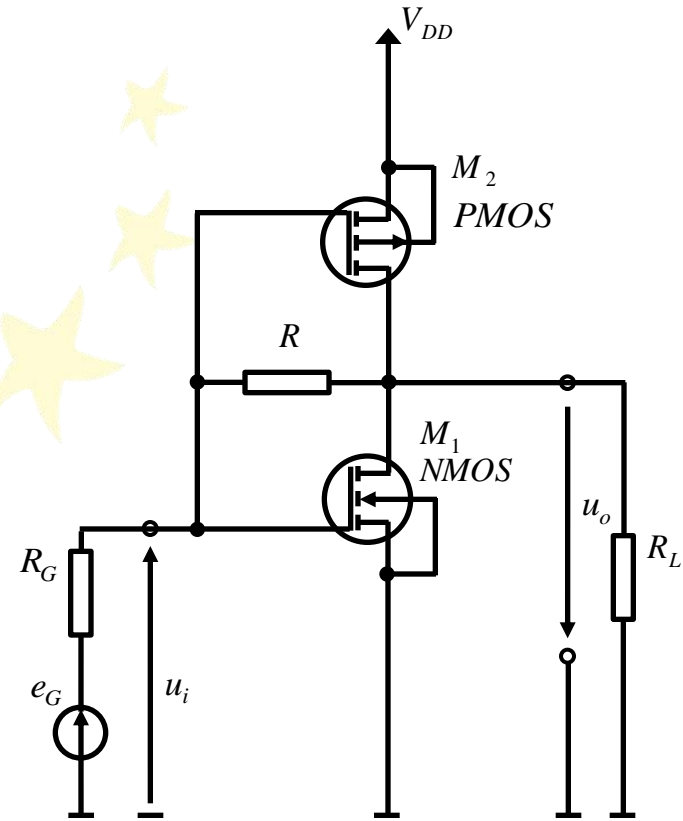


Европейски социален фонд

4 Стъпало с динамичен товар реализирано по CMOS технология

Стъпала с динамичен товар е възможно да се реализират и с помощта на CMOS технология. CMOS технологията получи огромно приложение поради използването ѝ при изграждането на микропроцесорни ИС. На фиг. 4 е дадена схема на CMOS усилвателно стъпало с динамичен товар. При нея M_1 е MOS транзистор с индуциран N канал, а M_2 е с индуциран P канал. Резисторът R осигурява еднакъв потенциал на двата гейта на транзисторите, т.е. $U_{G1(2)} = U_{D1(2)}$. Основно предимство на схемата, е че работната точка на схемата е в средата на линейната характеристика на транзисторите $U_{G1(2)} = U_{D1(2)} = U_{DD}/2$. По такъв начин се получава максимален размах на изходното напрежение. За коефициента на усиление при $R_L \rightarrow \infty$ имаме

$$(15) \quad A_{U, ДТ} = \frac{u_0}{u_i} = - \left(g_{m1} + g_{m2} \left(R_{DS1} \parallel r_{DS2} \right) \right)$$



Фиг. 4. CMOS усилвателно стъпало с динамичен товар.



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

5 Каскодни усилватели

Каскодните усилватели (cascode amplifiers) са многотранзисторни електронни схеми, в които активните елементи – биполярни или полеви транзистори, са свързани последователно или паралелно по постоянен ток и каскодно (верижно) по променлив ток. Това означава, че за двутранзисторен каскод изходното напрежение на първия транзистор е входно за втория. В сравнение с еднотранзисторните схеми някои от каскодните усилватели осигуряват по-високо входно съпротивление, по-нисък входен капацитет или по-малко изходно съпротивление. Най-често използвани каскодни усилватели в аналоговите ИС са двутранзисторни, в които съществува проста връзка между двете стъпала, без допълнителна обратна връзка.



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!



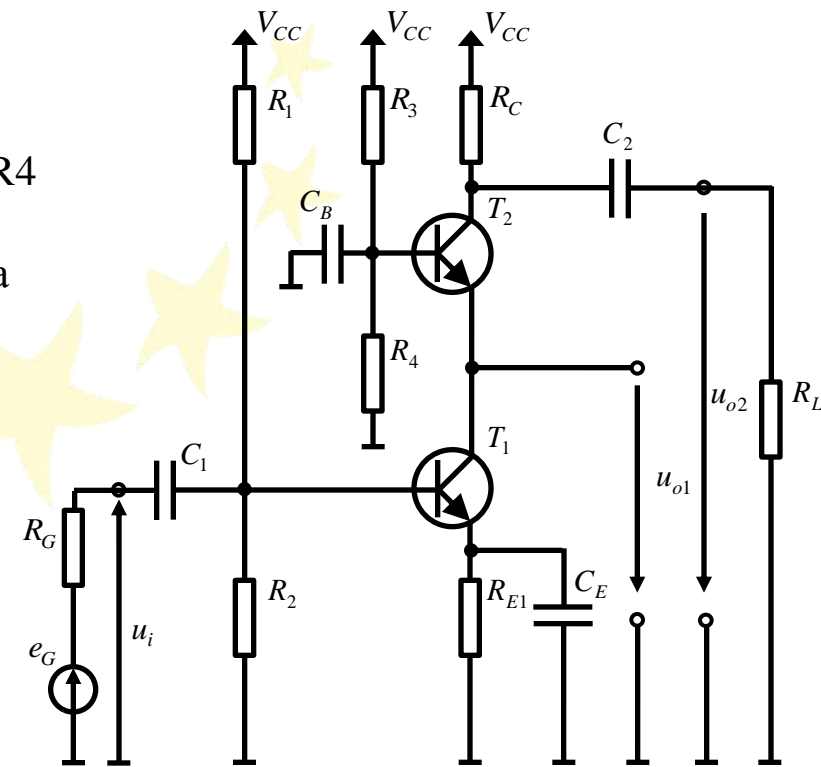
5.1 Каскоден усилвател ОЕ-ОБ

Транзисторите T1 и T2 от схемата на фиг. 5 са свързани последователно по постоянен ток и колекторните токове течащи през тях са равни. Транзисторът T1 е свързан по схема ОЕ, а T2 в ОБ. Резисторните делители R1-R2 и R3-R4 Осигуряват базовите токове на транзисторите а резистора RE1 създава ООВ по постоянен ток и стабилизира режима на работа на T1. Коефициентът на усилване на първото стъпало е

$$(16) \quad A_{U1} = \frac{u_{o1}}{u_i} \approx -S_1 R'_L \approx -S_1 \frac{1}{S_2} \approx -1.$$

Второто стъпало реализирано от транзистора T2 по ОБ им коефициент на усилване:

$$(17) \quad A_{U2} = \frac{u_{o2}}{u_{o1}} \approx -S_2 (R_C \parallel R_L)$$



Фиг. 5. Схема на каскоден усилвател ОЕ-ОБ



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

Коефициентът на усилване на цялата схема е равен на произведението от коефициентите на усилване на двете стъпала

$$(18) \quad A_U = \frac{u_{o2}}{u_i} \approx \frac{u_{o1}}{u_i} \frac{u_{o2}}{u_{o1}} = A_{U1} A_{U2} \approx -S_1 \left(R_C \parallel R_L \right)$$

Входното, изходното съпротивление на схемата, както и входният капацитет съгласно теоремата на Милер са дадени по-долу.

$$(19) \quad R_{iA} = h_{11} \parallel R_1 \parallel R_2 \stackrel{\substack{h_{11e} \ll R_1 \\ h_{11e} \ll R_2}}{\approx} h_{11e},$$

$$(21) \quad C_{iA} = C_{b'e} + \left(+ |A_{U1}| \right) C_{b'c} \approx C_{b'e} + 2C_{b'c}.$$

$$(20) \quad R_{oA} = R_c \parallel \frac{1}{h_{22e}} \stackrel{1/ h_{22e} \gg R_c}{\approx} R_c,$$



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!



Европейски социален фонд

От уравнение (22) се вижда, че входният капацитет на каскода ОЕ-ОБ е по-малък от този на едностранното стъпало ОЕ, както и от ОЕ с динамичен товар. Малкият входен капацитет на тази схема определя по-високата ѝ работна честота. Ето защо ОЕ-ОБ често се използва за реализация на широколентови и импулсни усилватели.



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!



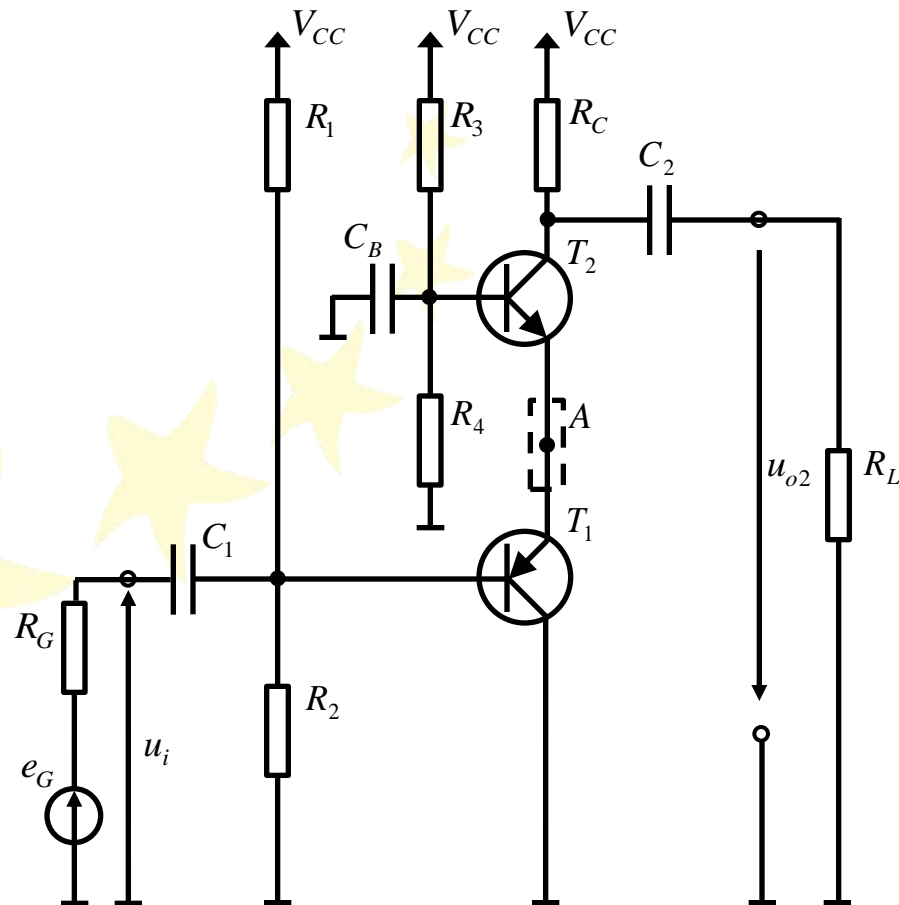
5.2 Каскоден усилвател ОК-ОБ

На фиг. 6 е дадена схема на каскоден усилвател ОК-ОБ с последователно захранване по постоянен ток, а на фиг. 7 с паралелно. Поради това, че емитерите на двата транзистора са свързани в точка А, тези схеми се наричат още *усилватели с емитерна връзка*. И в двете схеми е реализиране ООВ по ток реализирана с резистора R_e , която стабилизира работата на транзисторите. И за двете схеми T_1 е свързан по схема ОК, а T_2 по ОБ.

Коефициентът на усилване на първото стъпало, реализирано с T_1 , е

$$(22) A_{U1} = \frac{u_A}{u_i} \approx \frac{S_1 R_{iA2}}{1 + S_1 R_{iA2}} \approx \frac{S_1 / S_2}{1 + S_1 / S_2} \approx \frac{1}{2},$$

ако приемем, че $S_1 \approx S_2$.



Фиг. 6. Схема на каскоден усилвател ОК-ОБ



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 коефициента на усилване на второто стъпало свързано по схема ОБ имаме:

$$(23) \quad A_{U1} = \frac{u_o}{u_A} \approx S_2 \left(R_C \parallel R_L \right)$$

Тъй като двете стъпала са свързани последователно по променлив ток то за коефициента на усилване на цялата схема получаваме

$$(24) \quad A_U = A_{U1} A_{U2} \approx \frac{1}{2} S_2 \left(R_C \parallel R_L \right)$$

Следователно каскодът ОК-ОБ има два пъти по-малко съпротивление от стъпало ОБ. Входното съпротивление и входният капацитет на каскода ОК-ОБ се определя от първото им стъпало, в което Т1 е по схема ОК:

$$(25) \quad R_{iA} = R_1 \parallel R_2 \parallel \left[h_{11e} + \left(+ h_{21e} \frac{1}{S_2} \right) \right] \approx r_{BE1} + \left(+ h_{21e} \frac{1}{S_2} \right) \approx 2h_{11e}$$

Изходното съпротивление на този каскод се определя от транзистора Т2 свързан в ОБ.

$$(26) \quad R_{oA} \approx R_C \parallel h_{22e} \stackrel{R_C \ll 1/h_{22e}}{\approx} R_C.$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

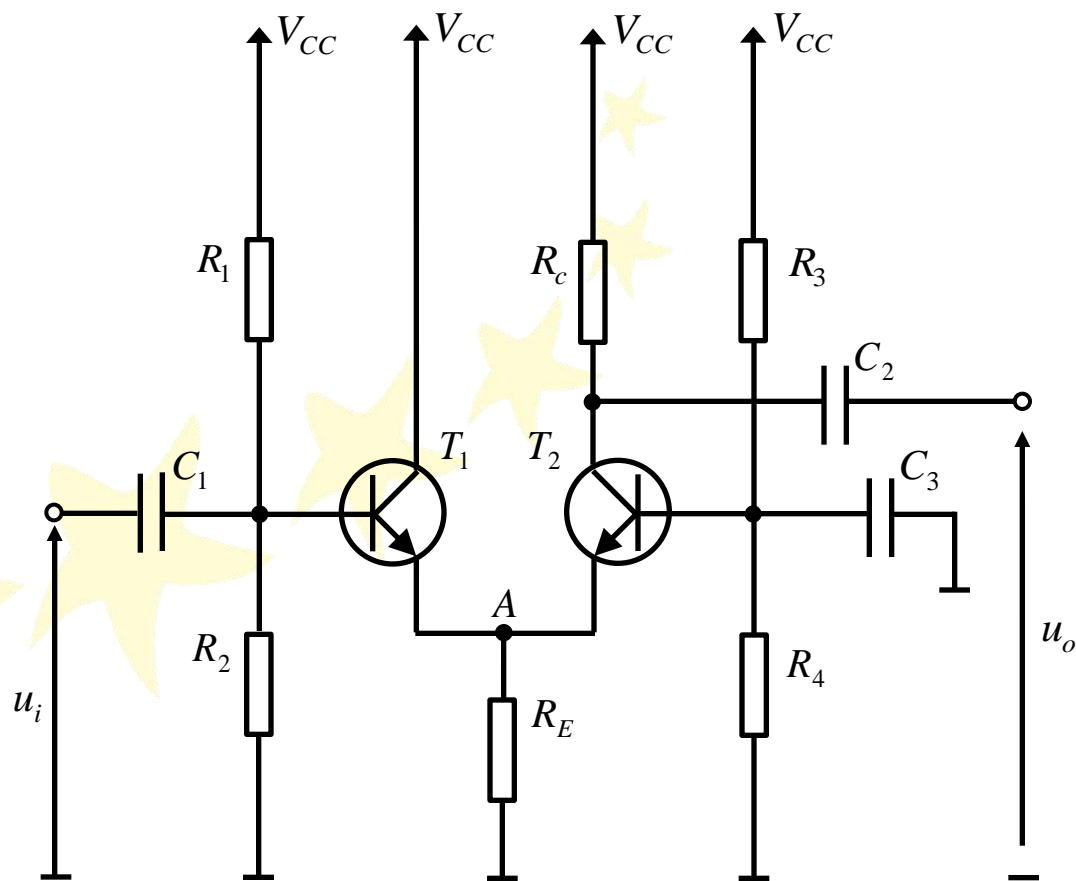
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!



Европейски социален фонд

Основните предимства на каскода ОК-ОБ пред ОЕ-ОБ е възможността да се постигне по-високо входно съпротивлени, и по-нисък входен капацитет. Коефициентът на усилване на ОК-ОБ е два пъти по-малък. На фиг. 7 е дадена електрическата схема на каскод ОК-ОБ с последователно захранване по постоянен ток.



Фиг. 7. Каскоден усилвател ОК-ОБ с последователно захранване по постоянен 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!



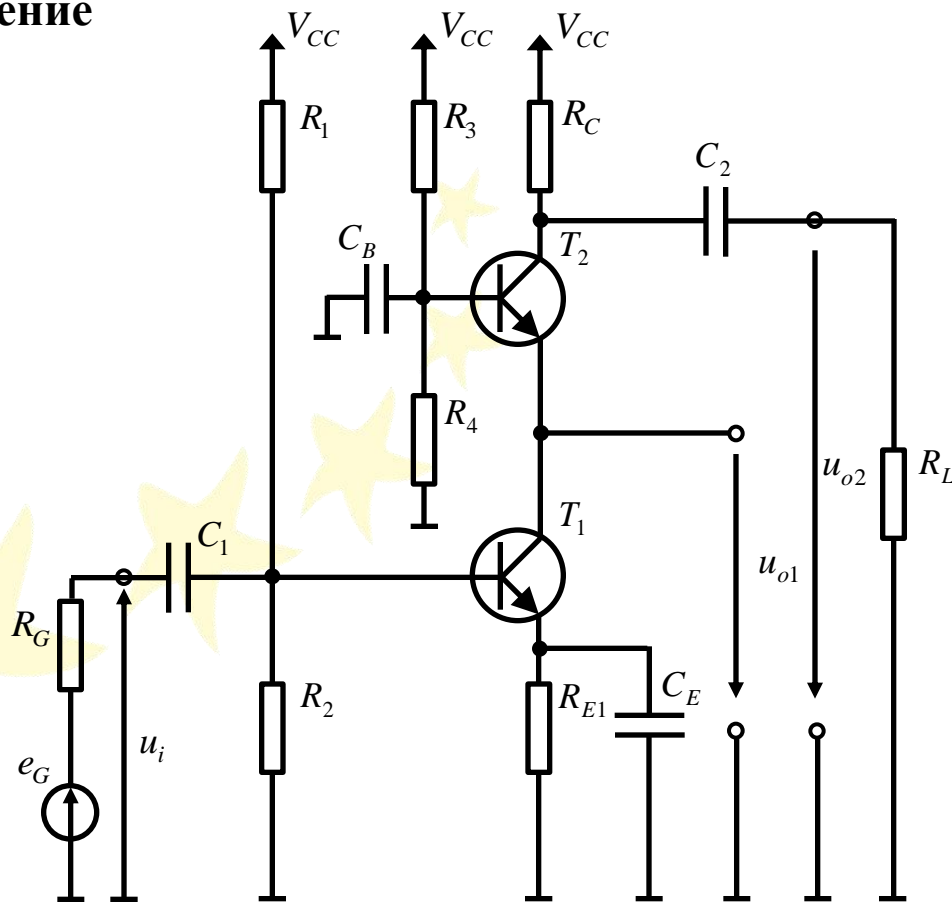
Европейски социален фонд

6 Каскодни повторители на напрежение

Каскодните повторители на напрежение се получават като вместо емитерния резистор от схемата на ОК се свърже динамичен товар. На фиг. 8 е дадена схема на каскоден повторител, като динамичният товар е реализиран чрез транзисторът T2. По постоянен ток съпротивлението в емитера на T1 свързан по ОЕ е няколко килоома и се определя с формула (1). Съпротивлението на динамичния товар по променлив ток се определя от формула (2).

Тъй като T1 е свързан по схема ОК коефициентът на усилване без отчитане на товара е:

$$(27) \quad A_U = \frac{u_o}{u_i} \approx \frac{S_1 R_d}{1 + S_1 R_d} \approx 1.$$



Фиг. 8. Каскоден повторител с динамичен товар



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

където $R_{\partial} = \left(+ S_2 R_E \right) \parallel h_{22}$ е еквивалентното товарно съпротивление по променлив ток на транзистора Т1 от страната на емитера. Както се вижда коефициента на усилване на каскода е много близко до единица тъй като еквивалентното товарно съпротивление е много голямо.

Входното и изходното съпротивление на каскода са съответно

$$(28) R_{iA} = R_3 \parallel R_{\partial} \approx R_3 \parallel \left(+ S_2 R_E \right) \parallel h_{22e} \quad \text{и}$$

$$(29) R_{oA} = R_{\partial} \parallel \frac{1}{S_2} \approx \frac{1}{S_1} \quad \text{където } R_{\partial} \gg \frac{1}{S_1}$$

С цел да се понижи изходното съпротивление на схемата е създаден т. нар. каскод на Уайт, показан на фиг. 9. Динамичният товар се оправлява, като променливотоковият сигнал от колектора на Т1 през кондензатора С3 се подава на базата на Т2. Всъщност схемата може да се разглежда като двустъпален усилвател ОЕ-ОЕ обхванат от 100% последователна ООВ по 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!



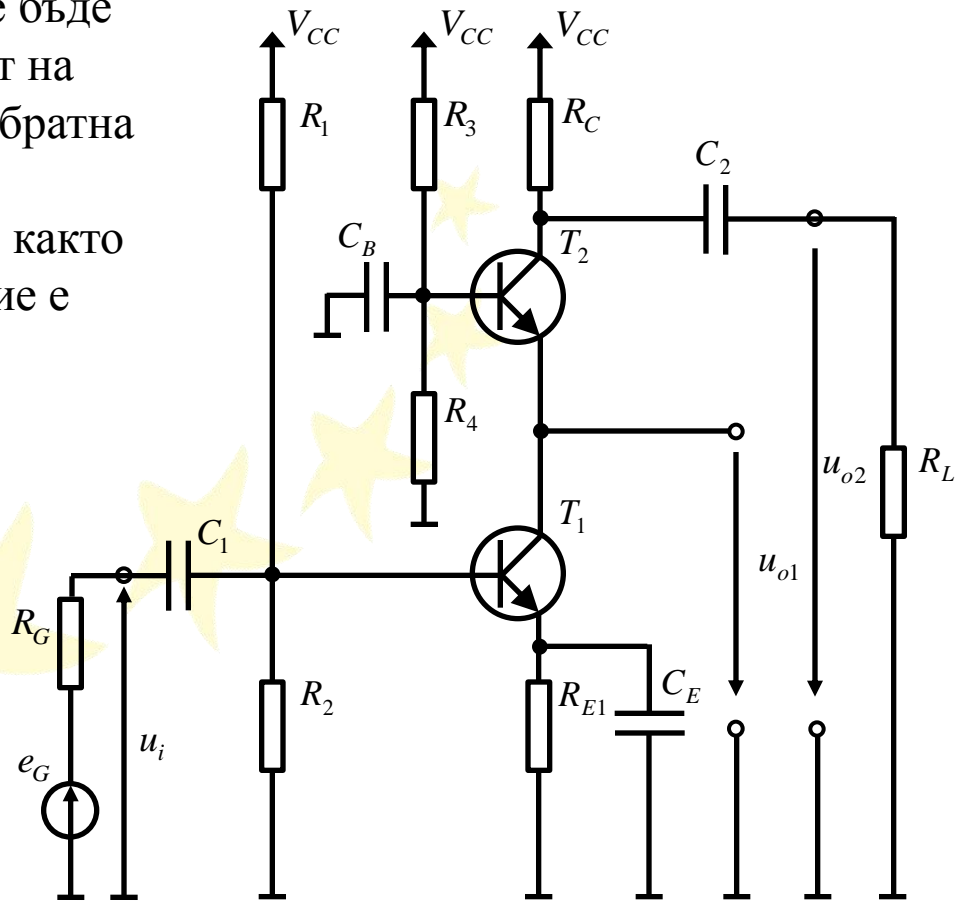
Европейски социален фонд

Коефициентът на усилване на каскода ще бъде много близък до единица ако коефициентът на усилване на двете стъпала от схемата без обратна връзка е достатъчно голям.

Входното съпротивление на тази схема, е както при предишната, а изходното съпротивление е много малко

$$(30) \quad R_{oA} = \frac{1}{S_1 S_2 R_C}$$

От формула (30) може да се заключи, че изходното съпротивление на каскода на Уайт е по-ниско от това на каскодния повторител с динамичен товар.



Фиг. 9. Каскоден повторител с управляем динамичен товарен (каскод на Уайт)



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

Например, ако двата каскода са реализирани с еднакви транзистори и работят при еднакъв постоянен ток режим $I_{C1} = I_{C2} = 200\mu A$, $S_1 \approx S_2 = I_{C1} / U_T \approx 7,96mS$ и $R_C = 1k\Omega$, то за изходните им съпротивления се получава

$$R_{oA(\text{каск. с дин. товар})} \approx \frac{1}{S_1} \approx 130\Omega, \text{ а за каскода на Уайт имаме}$$

$$R_{oA(\text{каск. на Уайт})} \approx \frac{1}{S_1 S_2 R_C} \approx 17\Omega.$$



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

5 Заключение

Стъпалата с динамичен товар и каскодните усилватели са обикновено двутранзисторни схеми с подобрени параметри в сравнение с евивалентните еднотранзисторни стъпала. При схемите с динамичен товар в изходната верига на усилващия транзистор се свързва допълнително транзисторно стъпало, което има високо съпротивление за променливотоковия сигнал и ниско съпротивление за постояннотоковото хранящо напрежение. По този начин се постига оптимален режим (работна точка) на усилвателното стъпало чрез подходящ колекторен ток и същевременно висок коефициент на усилване поради високото товарно съпротивление на стъпалото.

Каскодите са двустапални схеми, чийто стъпала могат да са паралелно или последователно свързани по постоянен ток и верижно свързани по променлив. Каскодите могат да имат много висок коефициент на усилване и нисък входен капацитет, което допринася за тяхното използване в широколентови усилвателни 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!



6 Литература

Основна:

1. *Пандиев, И., Л. Донеvsка, Д. Стаменов. Аналогова схемотехника – I, глава 3, стр. 73-82,. София, Издателство на ТУ-София, 2008.*

Допълнителна:

1. *Tietze, V., Ch. Schenk. Electronic circuits. 2nd Edition, chapter 5,*

Интернет адреси:

1. *Официален сайт на дисциплината аналогова схемотехника – 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!



Европейски социален фонд