

 **Технически университет – София**

Факултет по електронна техника и технологии

 **Катедра „Електронна техника”**

Презентация № 2

**Постояннотоково захранване на усилвателни
стъпала.**

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

- Работна точка. Динамични характеристики. Режими на работа
- Температурна нестабилност на работната точка
- Схеми за постояннотоково захранване
 - Схема с последователна ООВ по напрежение
 - Схема с ООВ по напрежение
- Схеми за температурна стабилизация с пасивни термочувствителни елементи
- Схеми за стабилизация на работната точка на стъпала с ПТ
- Задаващи източници на ток. Токови огледала. Генератори на опорно напрежение.
- Литература



Европейски съюз

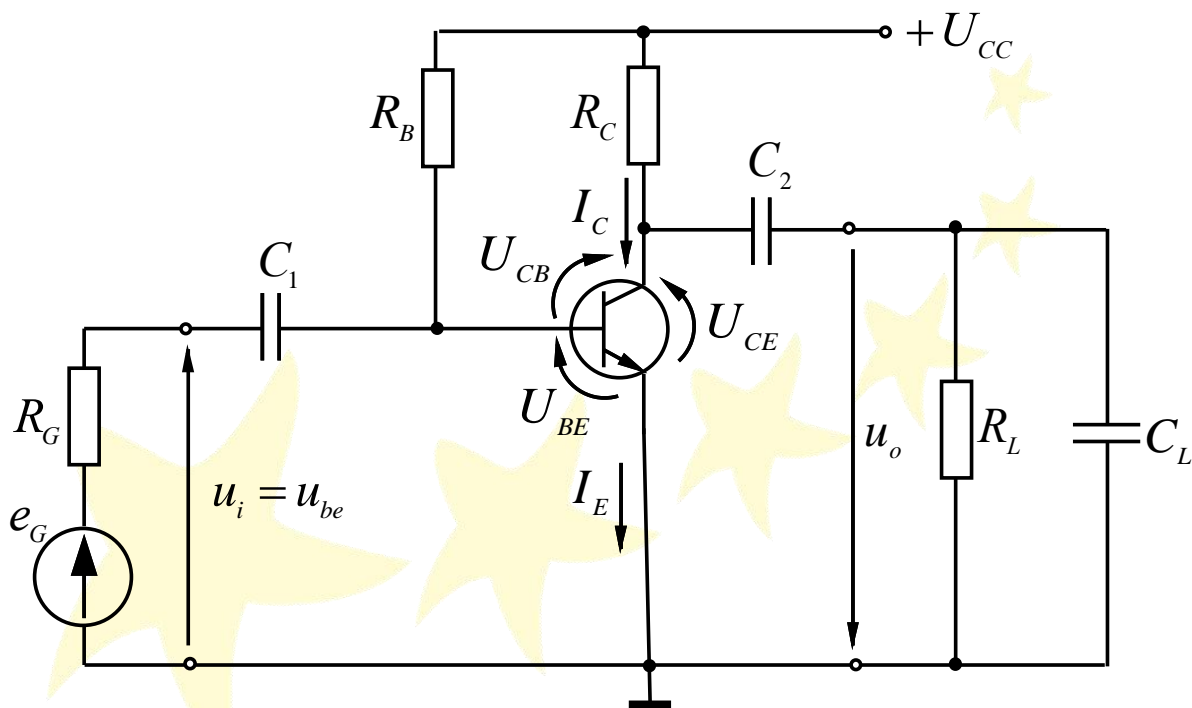
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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 Работа точка. Динамични характеристики. Режими на работа



Фиг. 1. Схема с общ емитер (ОЕ) с най-малко елементи за осигуряване на постоянно токово захранване



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

1.1 Какво е работна точка на транзистор

При включване на захранващото напрежение U_{CC} и при липса на входен сигнал u_i транзисторът се установява в активен режим и през него протича колекторен ток $I_C \approx I_E$, където $I_C \approx I_B \cdot h_{21}$. Също така между електродите се установяват напрежения U_{BE} , U_{CE} и U_{CB} .

Дефиниция 1: Съвкупността от токовете и напреженията, които се установяват върху транзистора при включване на захранващо напрежение се нарича *работната точка (постояннотоков режим, режим на покой, начален режим)* на транзистора. Тя зависи от съпротивленията R_B и R_C и захранващото напрежение U_{CC} .



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

1.2 Динамична характеристика по постоянен ток

Ако приложим втория закон на Кирхоф за изходния ($U_{CC} - U_{R_C} - U_{CE}$ - маса) и входния контур ($U_{CC} - U_{BE} - U_{R_B}$ - маса) ще получим:

- за изходния контур: $U_{CC} = U_{CE} + R_C I_C$ или

$$(2.1) \quad I_C = \frac{U_{CC}}{R_C} - \frac{U_{CE}}{R_C}$$

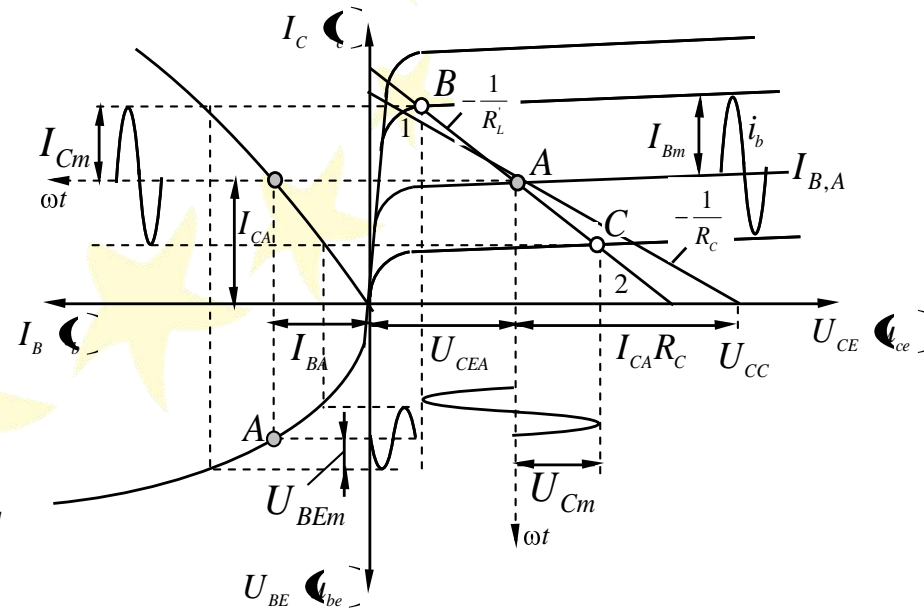
- за входния контур: $U_{CC} = U_{BE} + R_B I_B$ или

$$(2.2) \quad I_B = \frac{U_{CC}}{R_B} - \frac{U_{BE}}{R_B} \approx \frac{U_{CC}}{R_B},$$

тъй като $U_{BE} \ll U_{CC}$ ($U_{BE} \approx 0,6 \div 0,7V$).

Дефиниция 2: Уравнение (2.1) представлява динамичната характеристика $I_C \text{ } U_{CE}$ по постоянен ток (товарна права по постоянен ток), графично изобразена на фиг. 2.

При зададени U_{CC} , R_C и R_B това е ординатата I_{CA} на пресечната точка А на товарната права със статичната характеристика за ток $I_B = I_{BA}$, който се определя от уравнение (2.2).



Фиг. 2. Изходни статични характеристики и товарна права по постоянен и 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

1.3 Коефициент на усилване по напрежение на стъпало ОЕ

При подаване на променливотоков сигнал от източника на сигнал товарното съпротивление по променлив ток ще бъде $R'_L \approx R_C \parallel R_L$ (приема се, че по променлив ток захранващият източник има потенциал нула).

Нека сигналът e_G да е синусоидално напрежение. Тогава $u_i = u_{be} = U_{bm} \sin \omega t$. При това положение в транзистора ще протекат токове $i_b = I_{bm} \sin \omega t$ и $i_c = h_{21} i_b = I_{cm} \sin \omega t$. Токът i_c създава върху R'_L пад, така че $u_{R'_L} = i_c R'_L = h_{21} i_b R'_L$. Следователно изходното напрежение $u_{R'_L}$ е по-голямо от входното. **Коефициентът на усилване е**

$$(2.3) \quad A_U = -\frac{u_{R'_L}}{u_i} = -\frac{i_b h_{21} R'_L}{i_b h_{11}} = -SR'_L,$$

където $S = h_{21} / h_{11}$ е **стръмността** 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

1.3 Коефициент на усилване на стъпало ОЕ

До тук за стъпало ОЕ можем да запомним:

1. Коефициентът на усилване по напрежение на стъпало ОЕ е по-голям от единица (често пъти много по-голям). Т.е. ОЕ усилва по-напрежение!
2. От фиг. 2 може да се забележи, че изходното напрежение е в противофаза (инвертирано) на входното.
3. Също така от фиг. 2 се вижда, че променливотоковите съставки на токовете и напреженията се наслагват върху постояннотоковите. Например моментната стойност на пълното изходно напрежение е $u_{CE} = U_{CEA} - U_{cm} \sin \omega t$. Това правило е по принцип валидно за всички електрически вериги.



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!

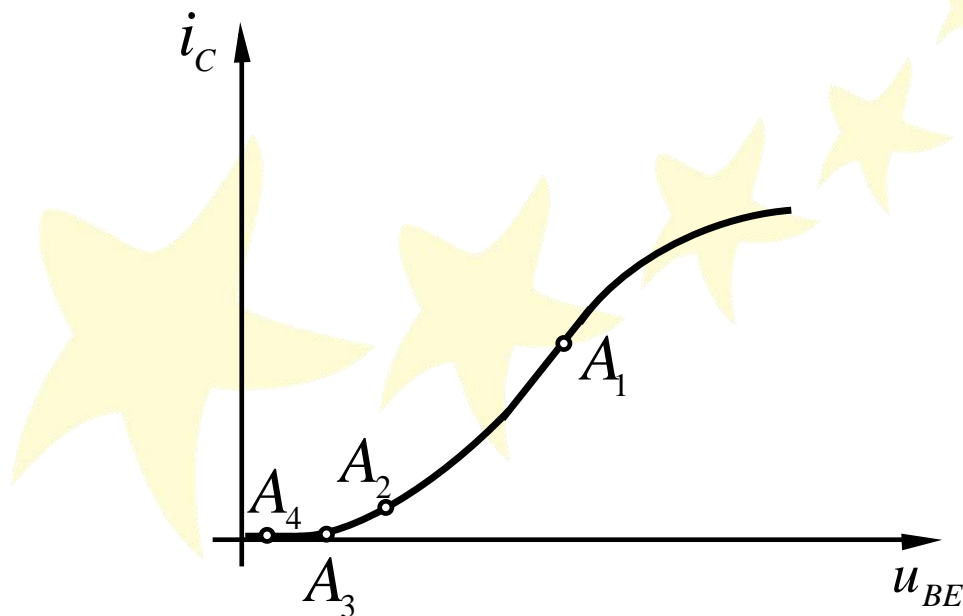


Европейски социален фонд

1.4 Прходната динамична характеристика на транзистор

Прходната динамична характеристика на транзистор е дадена на фиг. 3. Тя изразява как зависи изходната величина на транзистора – колекторният ток i_C , от входната – напрежението

u_{BE} .



Фиг. 3. Прходна характеристика на 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!



1.5 Режими на работа на транзисторно стъпало

В зависимост от избора на местоположението на работната точка А по проходната характеристика на транзистора са възможни следните режими на работа:

– клас А. Работната точка A_1 е избрана в средата на линейния участък $U_{CE} \approx 1/2 U_{CC}$. Транзисторът е отпушен през време на целия период на входното напрежение. Въвежда се понятието *ъгъл на токова отсечка* (*токов ъгъл*) θ като половината от времето в ъглови градуси, през което тече ток в транзистора. Следователно при клас А $\theta = 2\pi/2 = \pi$.

– клас В. Работната точка е A_3 . Ток тече само през единия от полупериодите на входното напрежение $\theta = 90^\circ$;

– клас АВ. Работната точка е A_2 $90^\circ < \theta < 180^\circ$;

– клас С. Работната точка е A_4 $\theta < 90^\circ$;

Режимите В, АВ и С са икономични, защото постояннотоковата съставка на I_C е малка, но транзисторът усилва сигнала с големи нелинейни изкривявания. Тези режими се използват в двутактните изходни стъпала на ОУ и усилвателите на мощност.



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!

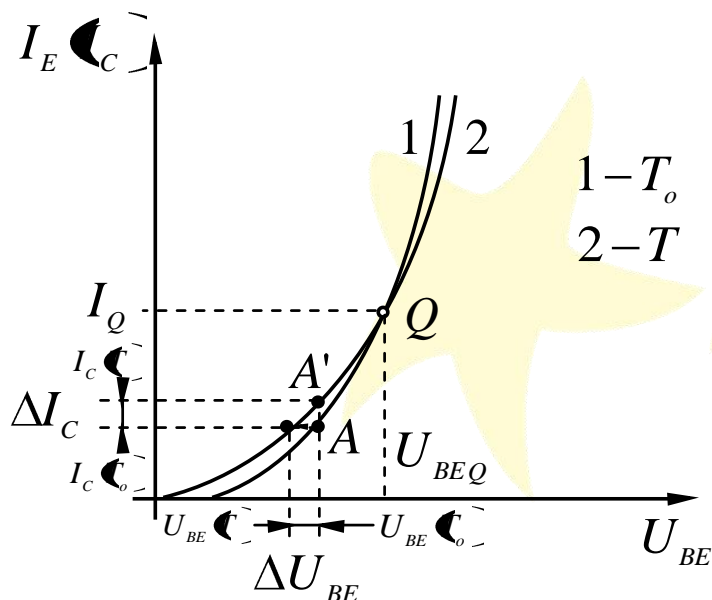


Европейски социален фонд

2

Температурна нестабилност на работната точка

Под влияние на температурата, пулсациите на захранващото напрежение, толерансите в параметрите на активните и пасивни елементи и други дестабилизиращи фактори работната точка на транзисторното стъпало се измества. Най-силно влияние върху работната точка има температурната нестабилност.



На фиг. 14 е показана проходната характеристика $I_C \text{ vs } U_{BE}$. При стайна температура T_0 това е крива 1, а при температура $T > T_0$ – крива 2. Тези две характеристики се пресичат в точката Q (термостабилна точка).

В този режим при изменение на температурата колекторния ток не се променя.

Фиг. 4. Входни характеристики на 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!



Температурна нестабилност на работната точка

За $I_c < I_o$ температурният коефициент на изменение на колекторния ток $\alpha_{I_c} = \frac{\Delta I_c}{\Delta T} = \frac{I_c \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) - I_c \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_o} \right)}{T - T_o}$ е положителен, а за $I_c > I_o$ – отрицателен. От фиг. 2.5а се вижда, че колекторният ток I_c в работната точка А може да остане постоянен при изменение на температурата от T_o на T , ако се осигури намаляване на U_{BE} с ΔU_{BE} .

Доказва се, че необходимото изменение ΔU_{BE} при изменение на температурата с ΔT е линейно:

$$(2.4) \quad \Delta U_{BE} = \varepsilon \Delta T,$$

където $\varepsilon = \Delta U_{BE} / \Delta T = -2,8 \div 2,8 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

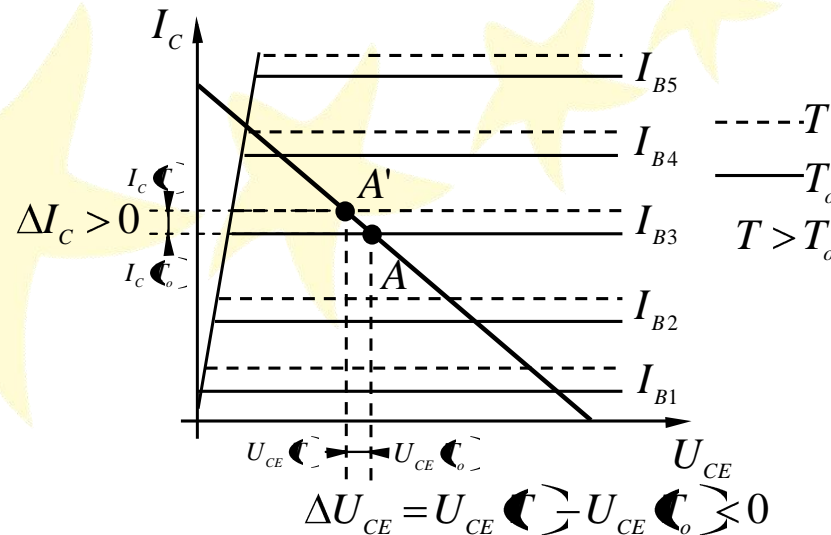
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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

На фиг. 2.5б в семейството изходни характеристики е показано общото изменение ΔI на колекторния ток вследствие изместването на работната точка под влияние на I_{ES} , h_{21E} и U_{BE} . Вижда се, че изместването на работната точка е свързано и с изменение на напрежението $\Delta U_{CE} = U_{CE}(T) - U_{CE}(T_o) < 0$.



Фиг. 5. Изходни характеристики на биполярен транзистор



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

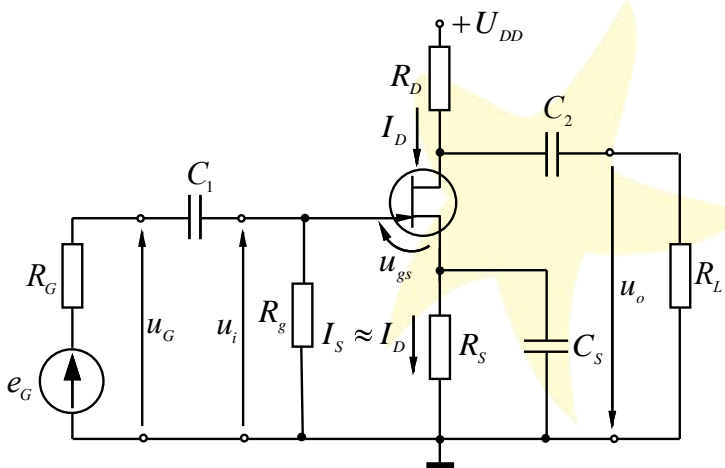
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



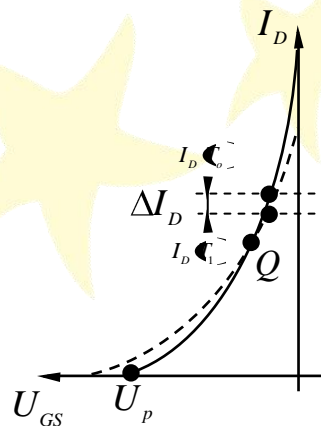
Европейски социален фонд

2.1 Температурна нестабилност на работната точка при ПТ

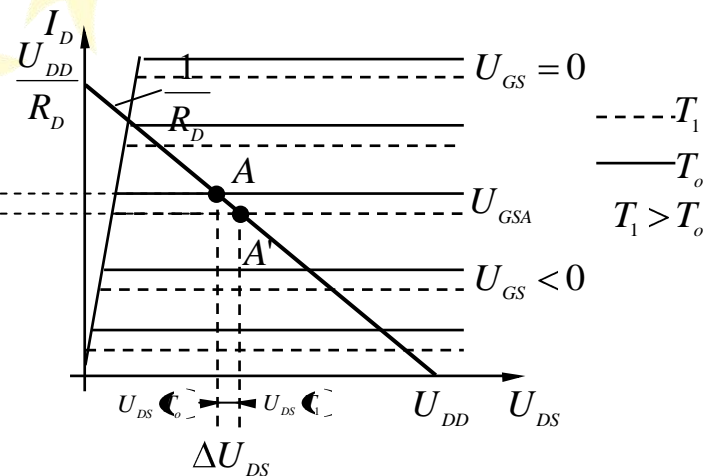
По аналогичен начин може да се разгледа нестабилността на работната точка при ПТ. Като базова се използва схемата за постоянноотокково захранване на ПТ с PN преход от фиг. 6. Изходните характеристики (б) и проходната характеристика (а) при две температури са показани на фиг. 7.



Фиг. 6. Схема с общ сорс (ОС)



Фиг. 7а. Проходни характеристики на ПТ



Фиг. 7б. Изходни характеристики на 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!



Европейски социален фонд

Проходните характеристики за двете температури T_0 и T_1 също се пресичат в точката Q (термостабилна точка). И тук за $I_D < I_Q$ температурният коефициент на дрейновия ток е положителен, а за $I_D > I_Q$ – отрицателен. Постояннотоков режим в термостабилната точка и под нея практически не се използва. Това са много малки токове (няколко десетки μA). За тях стръмността на ПТ е малка и усилването също е малко. Използват се режими при токове $I_D > I_Q$, т.е. температурният коефициент на дрейновия ток на стъпало с ПТ е отрицателен.



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

2.2 Схеми за постояннотоково захранване

Схемата за захранване на БТ от фиг. 1 не може да осигури противодействие на температурните изменения на колекторния ток (необходимото за целта напрежение) и затова рядко се използва. За да се осигури стабилност на работната точка, се прилагат три метода: ООВ по постоянен ток, термостабилизация с пасивни термочувствителни елементи и термостатиране на транзистора или цялата схема.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

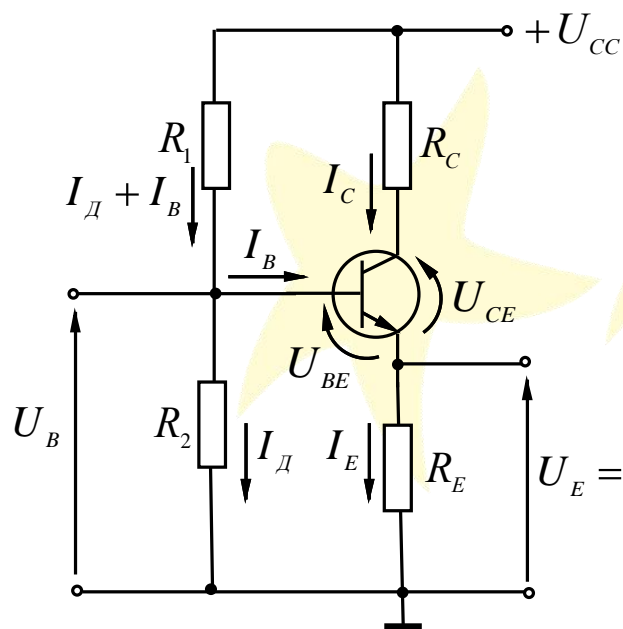
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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!



2.2.1 Схема с последователна ООВ по напрежение

Това е най-разпространената схема за захранване на БТ (фиг. 8). Емитерният ток $I_E \approx I_C$ създава върху R_E пад $U_E = U_\beta = I_C R_E$, който представлява сигнал на ОВ. Ако токът I_D през делителя $R_1 - R_2$ е достатъчно по-голям от I_B , например $I_D = \left(\frac{1}{50} \right) I_B$, то напрежението U_B практически не се променя с температурата.



Управляващото напрежение U_{BE} е

$$(2.5) \quad U_{BE} = U_B - U_E = U_B - I_C R_E.$$

Следователно ООВ е последователна по ток. Ако температурата се увеличи, то ще се увеличи I_C , което ще доведе до увеличаване на U_E . От (2.5) се вижда, че U_{BE} ще се намали с ΔU_{BE} , което води и до намаляване на I_C ($I_C \approx S U_{BE}$).

Фиг. 8. Схема с 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

2.2.1 Схема с последователна ООВ по напрежение

Резисторът R_E определя дълбочината на ОВ. Следователно това съпротивление трябва да се избира по-голямо, например

$$R_E > \frac{2\Delta U_{BE}}{\Delta I_C} = \frac{2|\varepsilon|\Delta T}{\Delta I_C}.$$

Въвежда се *коэффициент на температурна нестабилност на схемата*

$$(2.6) \quad S_H \approx 1 + \frac{R_B}{R_E}, \text{ където } R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_1 \parallel R_2.$$

Препоръчителните стойности на S_H са $2 \div 10$.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

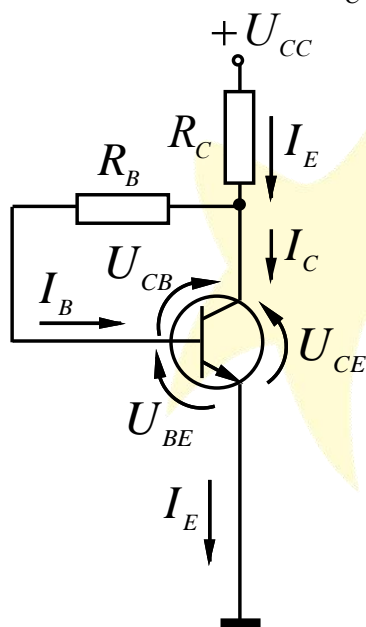
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

2.2.2 Схема с ООВ по напрежение

При тази схема (фиг. 2.8) сигналът на ОВ е ток $I_{\beta} = I_B$, който е пропорционален на изходното напрежение U_{CE} . При повишаване на температурата токът I_C расте, а U_{CE} намалява (вж. фиг. 2.4б), което води до намаляване на тока $I_{\beta} = I_B = \frac{U_{CE} - U_{BE}}{R_B} \approx U_{CE} / R_B$ и съответно намаляване на тока $I_C = h_{21E} I_B$.



Коефициентът на температурна нестабилност на колекторния ток е $S_H = 1 + R_C / R_B$, тъй като през колекторното съпротивление R_C освен токът I_C протича и токът I_B , т.е. токът I_E .

Предимството на схемата с последователна ООВ по ток пред тази с паралелна ООВ по напрежение е по-добрата температурна стабилизация, но втората е реализирана с по-малко схемни елементи.

В някои случаи се получава и комбинирана ООВ по ток и по напрежение. Тя се получава от тази на фиг. 2.8, ако в емитера се постави емитерно съпротивление.

Фиг. 9. Схема с паралелна 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!



Чрез включване на подходящи термочувствителни елементи във веригите за постоянноково захранване на БТ се осъществява допълнително изменение на колекторния ток от температурата, така че да се противодейства (компенсира) първоначалното му изменение от температурата. По принцип всеки един от резисторите R_1 , R_2 и R_E в схемата на фиг. 2.7 може да бъде термочувствителен елемент. Анализът показва, че за целта R_1 и R_E трябва да бъдат с положителен температурен коефициент (жични съпротивления, позистори, ценови диоди с напрежение на стабилизация под 5V и др.), а R_2 с отрицателен (термистори, диоди, транзистори в диодно включване и др.).



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

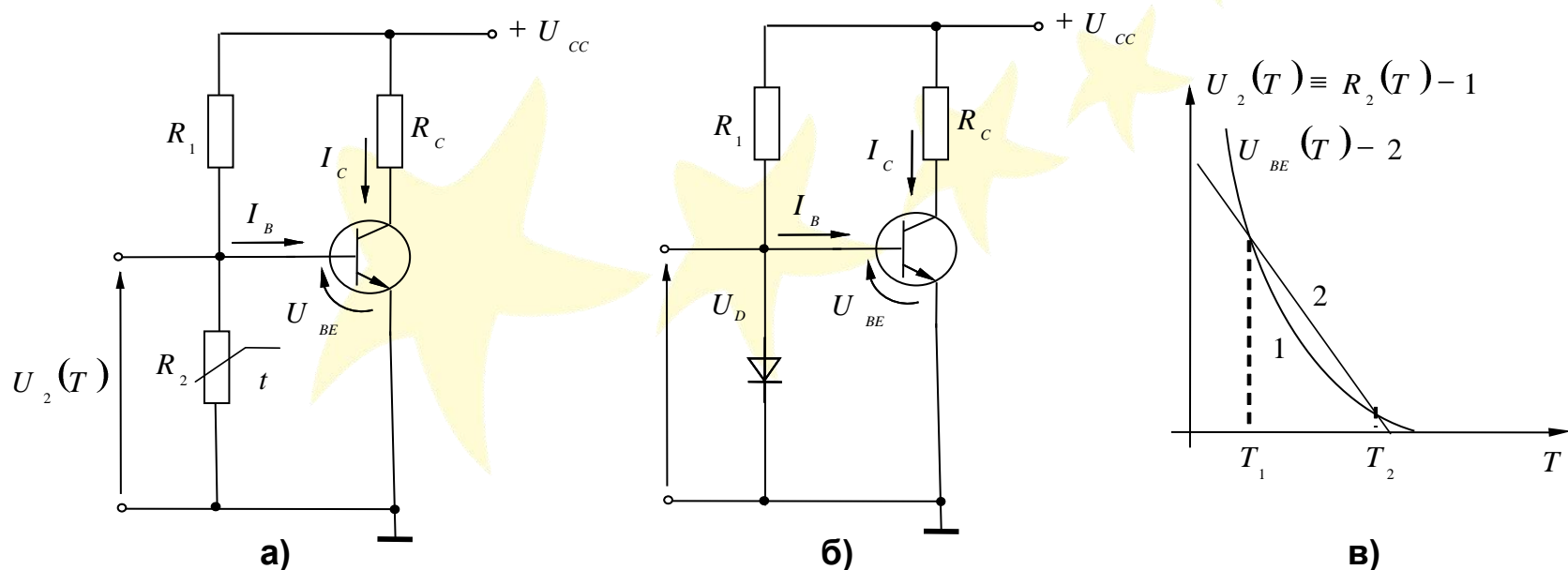
*„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”*

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

На фиг. 10а е показана схема с термистор, а на фиг. 10б с диод. Термисторът е с отрицателен температурен коефициент. При увеличаване на температурата R_2 намалява (фиг. 10а), а оттам и напрежението U_{BE} , което се определя от U_{BE} . Следователно необходимото намаление на U_{BE} се осигурява чрез подбор на термистор с подходяща температурна характеристика.



Фиг. 10. Схеми за температурна стабилизация с пасивни термочувствителни 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

Тъй като зависимостта $R_2 \left(\frac{1}{T} \right)$ е нелинейна (фиг. 10 в), а необходимото изменение на U_{BE} трябва да намалява линейно при нарастване на T , то пълна компенсация е възможна само за температурите T_1 и T_2 . Характеристиката $R_2 \left(\frac{1}{T} \right)$ може да се линеаризира чрез комбинация от последователно и паралелно свързани на термистори съпротивления.

Схемата с диод (фиг. 10 б) може да осигури пълна компенсация, защото необходимото изменение на U_{BE} и напрежението върху диода U_D , което задава напрежението U_{BE} , зависят линейно с температурата с еднакъв температурен коефициент. Обикновено се използва транзистор в диодно включване, който е с еднакви параметри с основния транзистор. Тази схема се използва за захранване на ИС, а също в мощните двутактни стъпала.



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

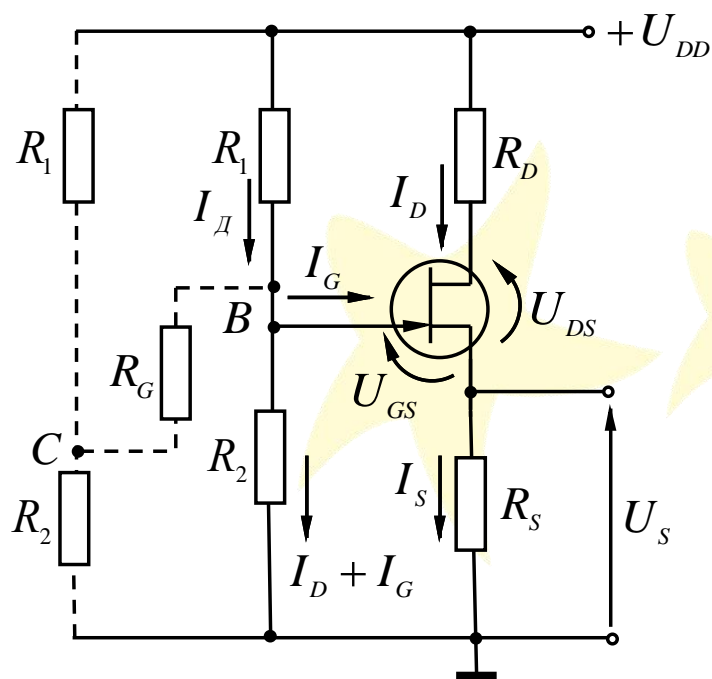
„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

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 Схеми за стабилизация на работната точка на стъпала с ПТ

Базова схема за постояннотоково захранване на ПТ с PN преход е показана на фиг. 11, която е аналогична на схемата БТ от фиг. 8. Тя може да се използва и при MOS транзистори с вграден и индуциран канал. Преднапрежението U_{GS} , при условие че токът на гейта $I_G \ll I_D$, е



$$(2.7) \quad U_{GSA} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{DD} - R_S I_D.$$

Схемата не може да работи без резистор R_S , тъй като положителното преднапрежение ще отпусни PN прехода на транзистора. Освен това това той е необходим (както и R_E), за да създаде ООВ по ток и да стабилизира работната точка.

По променлив ток делителят $R_1 - R_2$ се явява свързан към входа на ПТ и определя входното му съпротивление. Затова той трябва да бъде достатъчно високоомен.

Фиг. 11. Схема за захранване на 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!



Европейски социален фонд

2.4 Задаващи източници на стабилен ток

Всички променливотокови параметри в ИС зависят от режимните токове през транзисторите. Обикновено ИС се проектират да работят в широк обхват от захранващи напрежения (с цел универсалност). Освен това параметрите на интегралните елементи имат сравнително големи производствени толеранси. Поради това съществува опасност променливотоковите параметри на различните екземпляри от даден тип ИС рязко да се различават помежду си. За да се намали тази опасност, е необходимо токовете в отделните клонове на схемата да бъдат стабилни, което означава, че те трябва да бъдат независими или слабо зависими от вариациите на захранващите напрежения, от толерансите на интегралните елементи и от температурата. За постигането на тази стабилност в интегралните схеми се вгражда *задаващ източник на ток*.



Европейски съюз

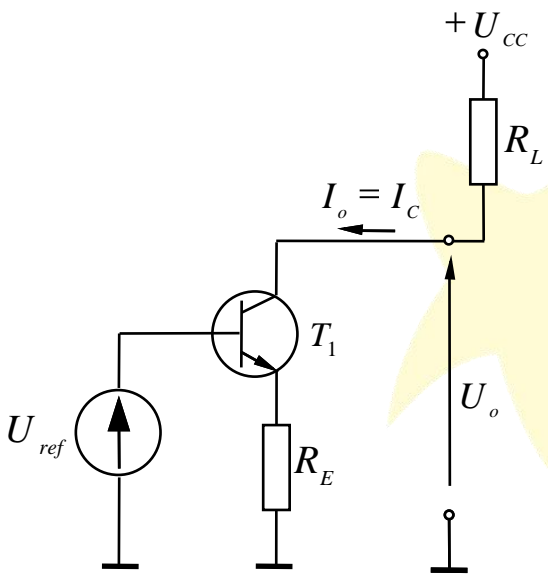
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



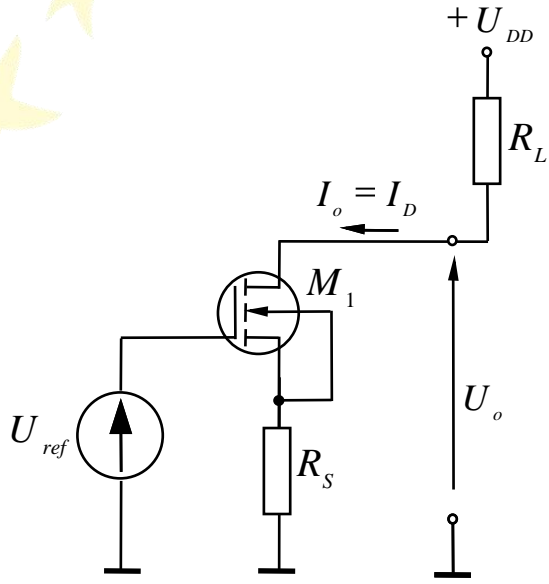
На фиг. 12а и фиг. 12б са дадени две основни схеми на задаващи източници на ток (current sources/sinks), реализирани респективно с биполярен NPN и NMOS транзистор. В схемите изходният ток I_o се взема от колектора (дрейна) на транзисторите, като протича от захранващото напрежение $+U_{CC}$ ($+U_{DD}$) към товара със съпротивление R_L . За да бъде обаче токът I_o стабилен, той трябва да се задава с помощта на стабилен източник на напрежение U_{ref} .



Ако се пренебрегне базовият ток на транзистора в схемата от фиг. 3.1а, за тока I_o се получава

$$(3.1) I_o = \frac{U_{ref} - U_{BE}}{R_E} \approx \frac{U_{ref} - 0,6V}{R_E}$$

При условие, че се избере $U_{ref} \gg U_{BE}$, за изходния ток се намира $I_o = U_{ref} / R_E$.



Фиг. 12а. Генератор на ток с биполярен транзистор

Фиг. 12б. Генератор на ток с NMOS 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

2.4.1 Токови огледала

Токовите огледала (current mirrors) са зависими (управляеми) източници на ток, чиито изходен ток е пропорционален на тока, генериран от задаващ източник на стабилен ток. Казано по друг начин, токът в изхода на едно токово огледало е “огледално изображение” на тока на задаващия източник на ток с точност до мащабен коефициент.

При реализацията на токовите огледала се прилага един от основните принципи на интегралната схемотехника, т.е. използва се силната корелация между параметрите на интегралните елементи.



Европейски съюз

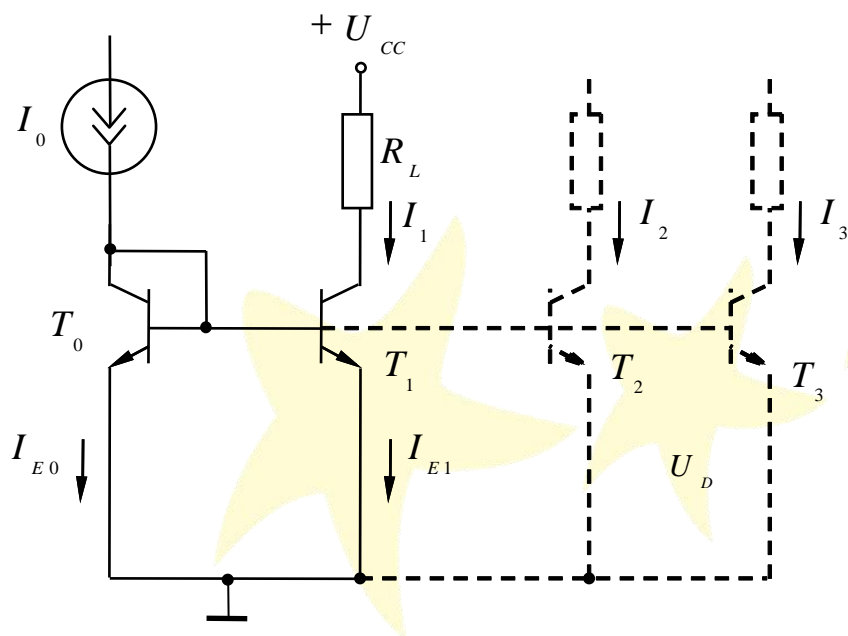
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!



На фиг. 13а и фиг.13б са показани схеми на *токови огледала* с биполярни и NMOS транзистори. Токът I_0 е големината на тока на задаващия генератор, а I_1 е токът в изхода на токовото огледало.



Фиг. 13а. Токово огледало с биполярни транзистори

I_1 е токът в изхода на токовото огледало от фиг. 13а за него може да се докаже:

$$(2.8) \quad I_1 = I_0 \frac{S_1}{S_0}.$$

Следователно токът I_1 е *огледално изображение* на тока I_0 с точност, определена от отношението

$$S_1 / S_0.$$

Отклоненията на коефициентът на пропорционалност S_1 / S_0 може (в рамките от 1% до 3%) поради силната корелация между параметрите на интегралните транзистори.



Европейски съюз

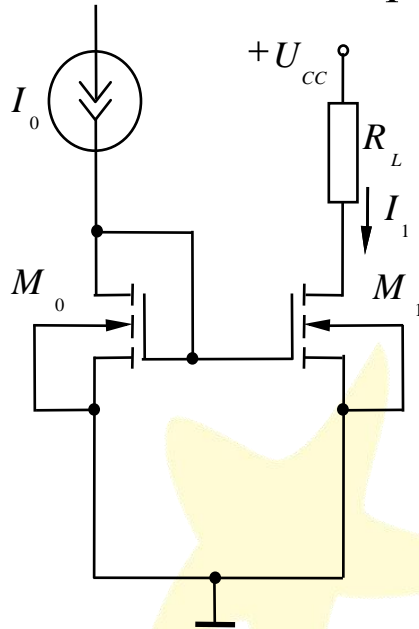
ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„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!

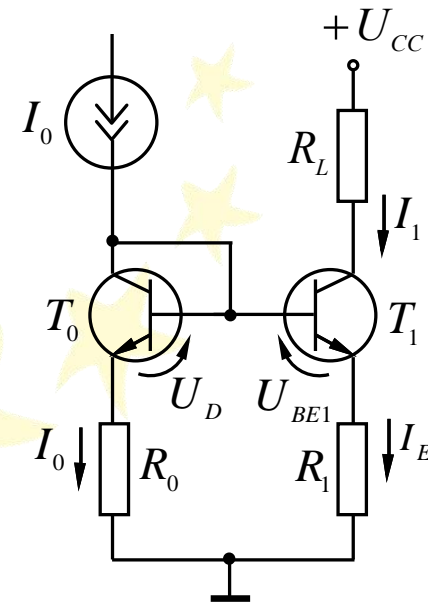


На фиг. 13б и фиг.13в са показани схеми на *токови огледала* с NMOS транзистори и с допълнителен резистор.



Фиг. 13б. Токово огледало с NMOS транзистори. Тук за изходния ток може да се запише:

$$(2.9) \quad \frac{I_1}{I_0} = \frac{W_1/L_1}{W_0/L_0}.$$



Фиг. 13в. Токово огледало с допълнителен резистор. Тук изх. ток зависи от отношение на резистори

$$(2.10) \quad I_1 \approx \frac{R_0}{R_1} I_0$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

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

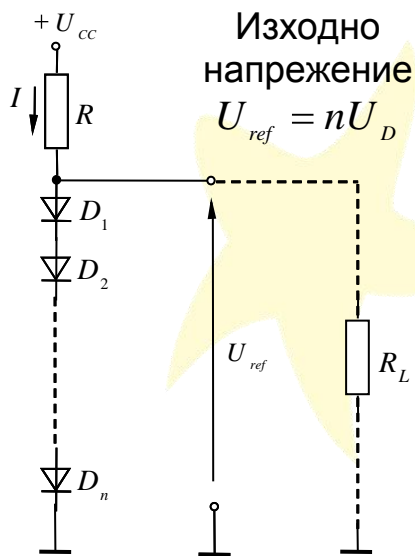
Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз
Инвестира във вашето бъдеще!



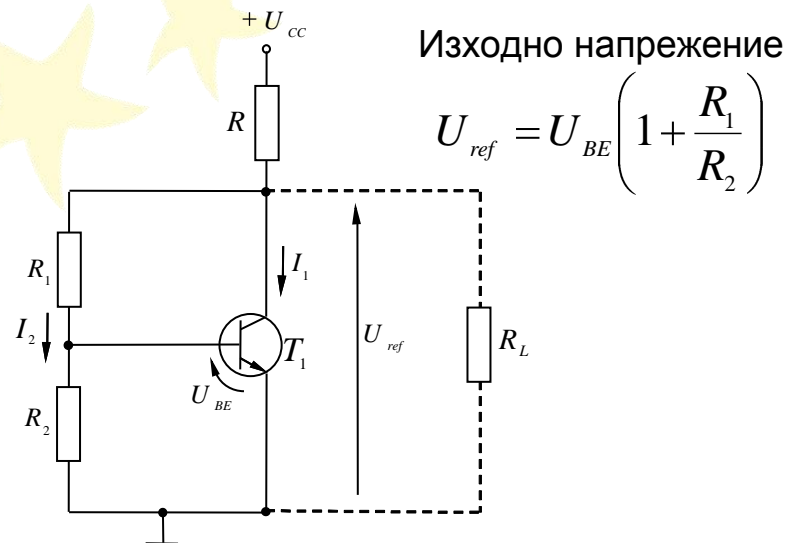
Европейски социален фонд

2.5 Генератори на опорно напрежение

Генераторите на опорно напрежение (voltage references) в интегралните схеми трябва да осигуряват стабилни напрежения в най-важните възли на схемата. Изходното им напрежение U_{ref} трябва слабо да зависи от дестабилизиращите фактори – вариации на захранващите напрежения, толерансите на интегралните елементи и температурата. На фиг. 14а и фиг. 14б са дадени две схеми на генератори на напрежение.



Фиг. 14а. Генератор на напрежение с диоди



Фиг. 14б. Генератор на напрежение с 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

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

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