

“Аналогова схемотехника” – част I

Лекция № 3.1

**Токови огледала. Задаващи източници на ток.
Генератори на опорно напрежение**

Доц. дтн инж. Ивайло М. Пандиев
Катедра "Електронна техника", ФЕТТ

Съдържание

- Същност и видове интегрални схеми
- Задаващи източници на ток и токови огледала – дефиниция и предназначение
- Основни схеми на задаващи източници на ток
- Токови огледала
 - *Схема с два транзистора;*
 - *Схема с два резистора;*
 - *Схема с три транзистора и един резистор.*
- Генератори на опорно напрежение
 - *Генератор на напрежение с диоди*
 - *Генератор на напрежение с транзистор, обхванат от ООВ.*

Основни градивни стъпала в аналоговите интегрални схеми

Същност и видове интегрални схеми

Интегралната схема (ИС) е микроелектронно изделие с определена функция на преобразуване, обработка и съхранение на информация, чиито елементи са свързани помежду си така, че от гледна точка на производство, контрол, плагмент и приложение тя да се разглежда като единно цяло.

Всички елементи и междуелементни връзки в полупроводниковите (монолитни) ИС се изготвят едновременно, чрез единен технологичен процес, в обема на полупроводников материал (силиций, галиев арсенид и др.)

Видове интегрални схеми

- Според предназначението:

- **аналогови** – за преобразуване и обработка на сигнали, изменящи се като непрекъснати функции на времето;
- **цифрови** - за преобразуване и обработка на сигнали, изменящи се като дискретни функции на времето;
- **смесени** – аналогово-цифрови и цифрово-аналогови ИС.

- Според степента на интеграция, характеризираща броя елементи, влизащи в състава на ИС:

- **с малка степен на интеграция – до 100 елемента;**
- **със средна степен на интеграция – до 1000 елемента;**
- **с голяма и свръхголяма степен на интеграция – над 10000 елемента.**

- Според типа на основните активни елементи:

- **биполярни (*Bipolar Junction Transistor - BJT*) ИС;**
- ***JFET (Junction Field-Effect Transistor)* или (*Metal Oxide Semiconductor FET*) *MOSFET* ИС;**
- **смесени (комбинирани) ИС – *BiFET* и *BiMOS*.**

Токови огледала. Задаващи източници на ток. Генератори на опорно напрежение

Задаващи източници на ток и токови огледала

Всички променливотокови параметри в съвременните интегрални схеми (ИС) зависят от токовете през транзисторите. Обикновено обаче ИС се проектират да работят в широк обхват от захранващи напрежения (с цел универсалност), а параметрите на интегралните елементи имат сравнително големи толеранси. Поради това съществува опасност параметрите на различните екземпляри от дадена 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.

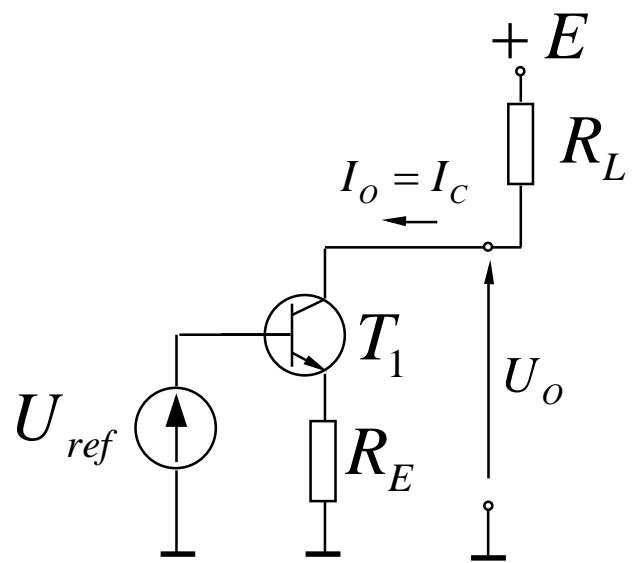
Токовите огледала са зависими източници на ток, т.е. генератори на ток, чиято големина е пропорционална на тока, генериран от източника на стабилен ток. Казано по друг начин, токът в изхода на едно токово огледало е "огледално изображение" на тока на задаващия източник на ток с точност до мащабен коефициент.

Използването на токови огледала води до опростяване на ИС, защото се избягва употребата на специален източник на стабилен ток във всеки клон на веригата, а това не винаги е възможно. Освен това с тяхна помощ лесно се осъществява равенство или кратност на токовете в различни клонове на веригата, което често е необходимо.

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

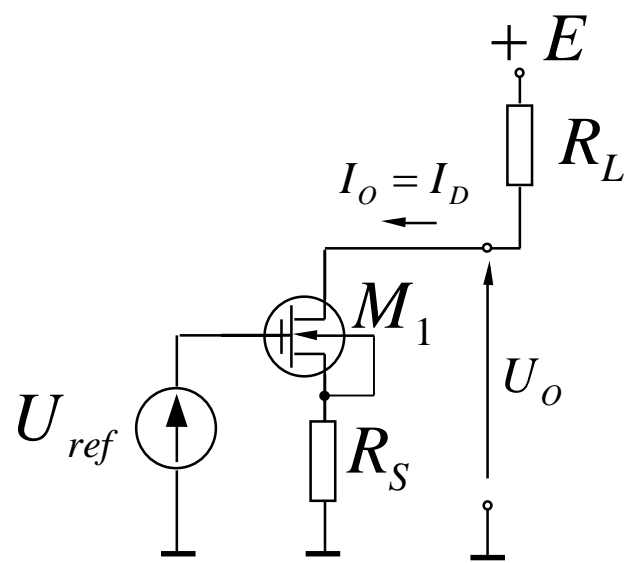
Токови огледала. Задаващи източници на ток. Генератори на опорно напрежение

Задаващи източници на ток



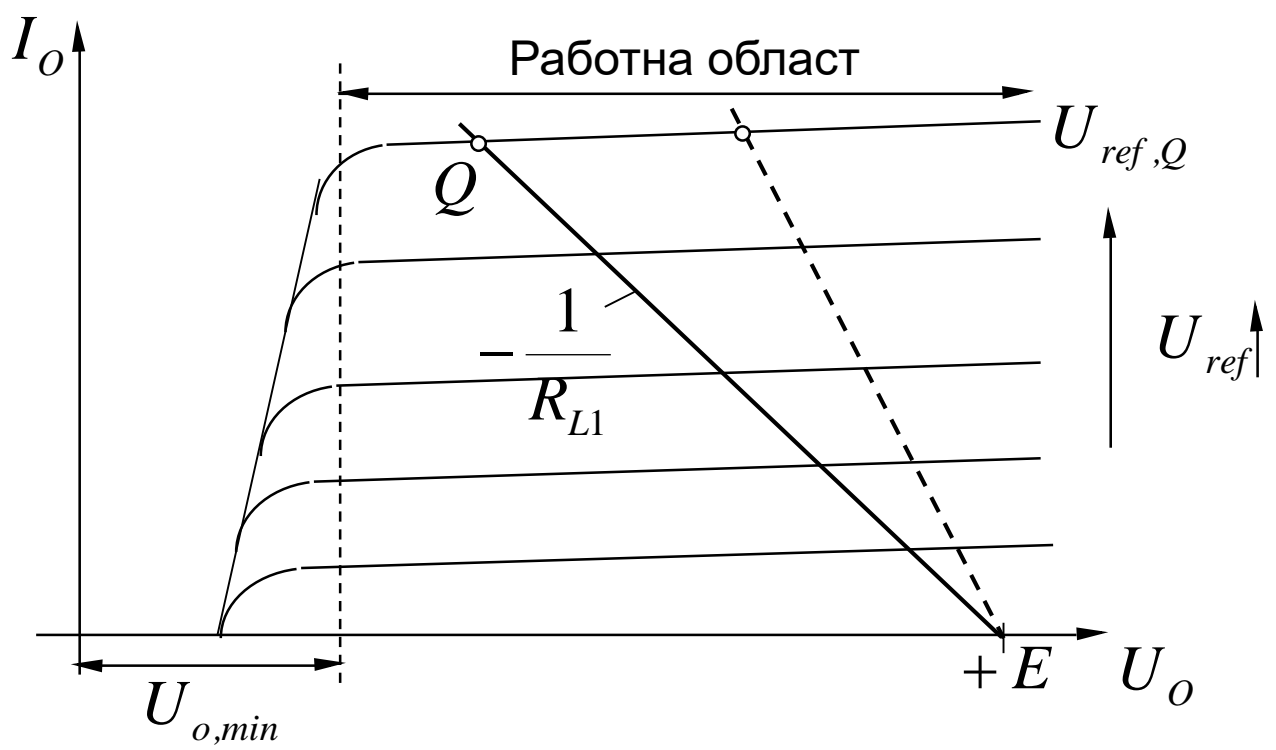
$$I_o = \frac{U_{ref} - U_{BE}}{R_E}$$

$$R_o = r_{CE} (1 + SR_E)$$



$$I_o = \frac{U_{ref} - U_{GS}}{R_S}$$

$$R_o = r_{DS} (1 + SR_S)$$

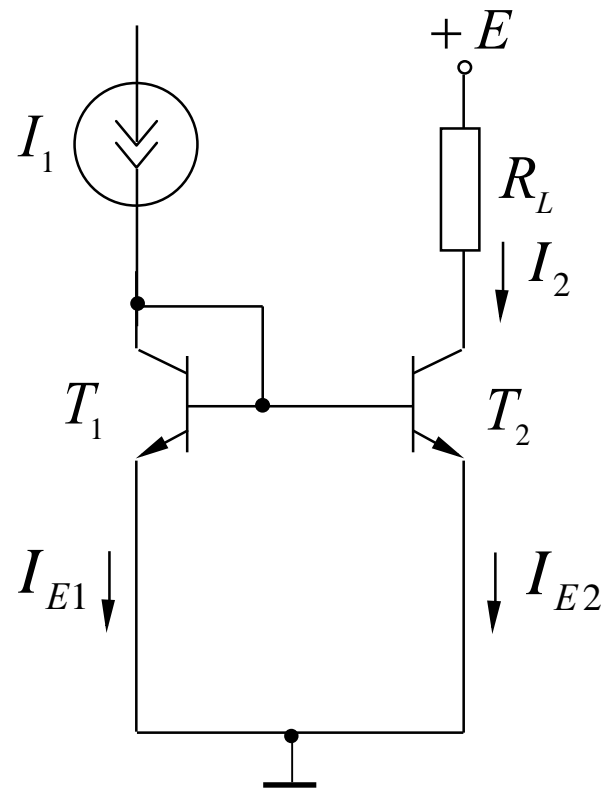


$$U_o = U_E + U_{CE} > U_E + U_{CE,sat} = U_{ref} - U_{BE} + U_{CE,sat} \quad 4$$

$$U_{o,min} = U_E + U_{CE,sat} = U_{ref} - U_{BE} + U_{CE,sat}$$

Токови огледала

Схема с два транзистора



$$U_{BE1} = U_{BE2} = U_{BE}$$

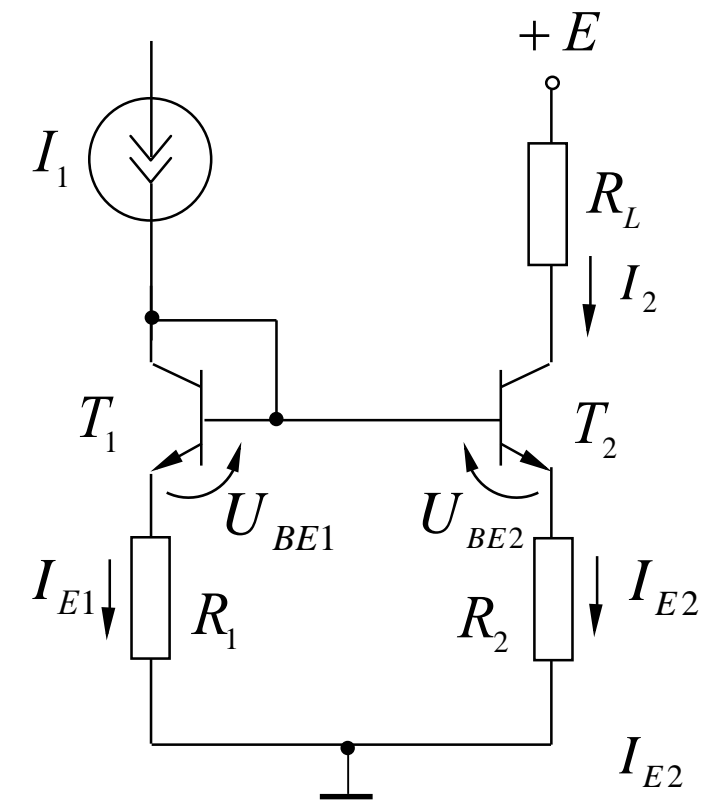
$$I_{E1} \approx I_{ES1} e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$$

$$I_{E2} \approx I_{ES2} e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$$

$$\frac{I_{ES2}}{I_{ES1}} \approx \frac{S_2}{S_1} = \frac{I_{E2}}{I_{E1}} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

$$I_2 = I_1 \frac{S_2}{S_1} \quad \left(\frac{S_2}{S_1} = 1; > 1; < 1 \right)$$

Схема с два резистора



$$I_{E2} R_2 = I_{E1} R_1 + U_{BE1} - U_{BE2}$$

$$U_{BE1} - U_{BE2} = U_T \ln \frac{I_{E1} S_2}{I_{E2} S_1}$$

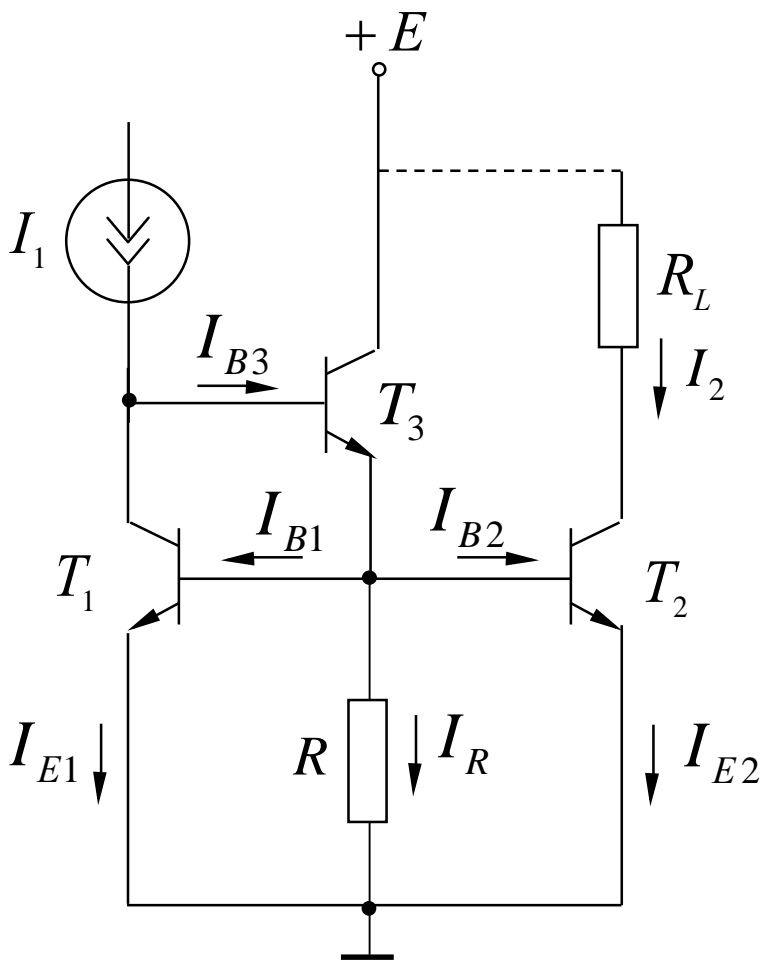
$$I_{E2} = I_{E1} \frac{R_1}{R_2} + \frac{U_T}{R_2} \ln \frac{I_{E1} S_2}{I_{E2} S_1}$$

$$I_{E1} \frac{R_1}{R_2} \gg \frac{U_T}{R_2} \ln \frac{I_{E1} S_2}{I_{E2} S_1}$$

$$I_{E2} \approx I_{E1} \frac{R_1}{R_2} \quad \text{или} \quad I_2 \approx I_1 \frac{R_1}{R_2} \quad 5$$

Токови огледала

Схема с три транзистора и един резистор



Ролята на транзистора T_3 е да намали разликата между токовете I_1 и I_2 , като пропуска базовите токове на транзисторите T_1 и T_2 .

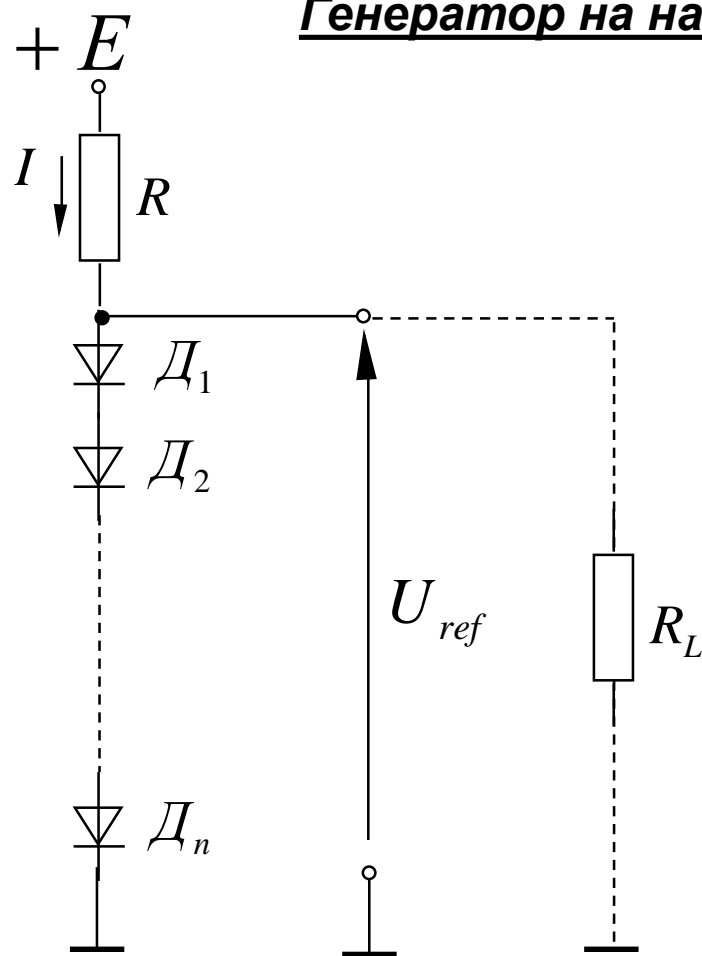
Ролята на резистора R е да увеличи емитерния ток на T_3 , за да намали влиянието на неговия обратен колекторен ток.

Ако трите транзистора са идентични, можем да запишем:

$$I_{E2} = I_{E1}$$

Генератори на опорно напрежение

Генератор на напрежение с диоди



$$U_{ref} = nU_{BE}$$

$$R_{oA} = nr_e \parallel R \approx nr_e,$$

където $r_e = \frac{U_T}{I}$

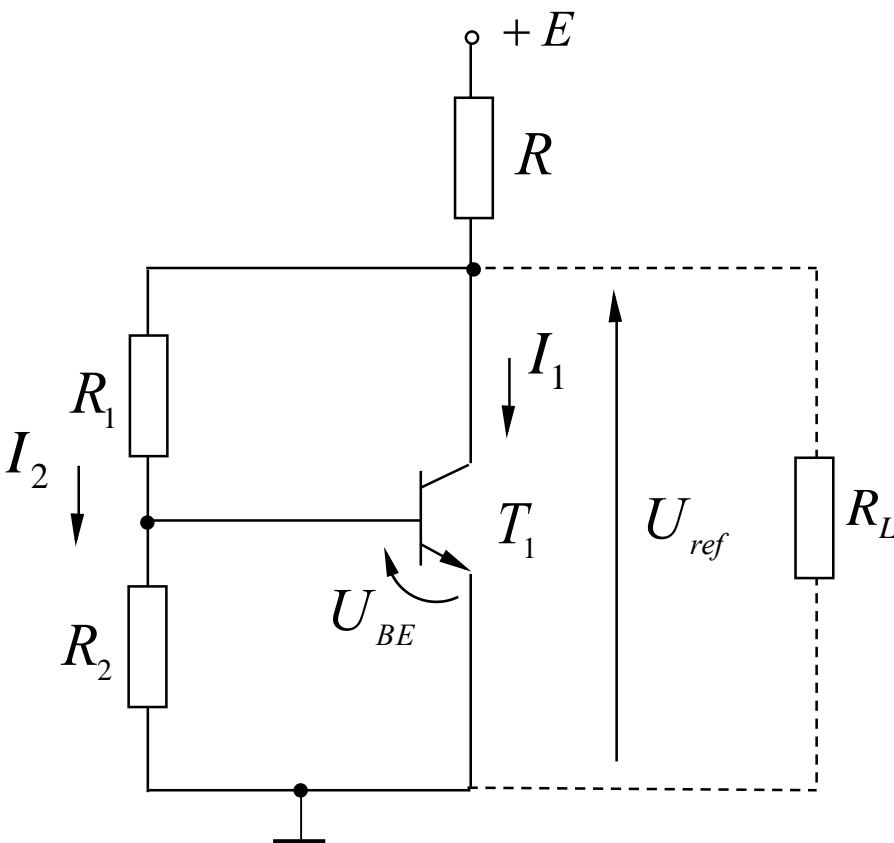
$$TKU_{ref} = \frac{dU_{ref}}{U_{ref}dT} =$$

$$= TKU_{BE} \% / ^\circ C \text{ (ppm}/^\circ C)$$

(ppm – part per million)

$$(1 \text{ ppm} = 1 \cdot 10^{-6})$$

Генератор на напрежение с транзистор, обхванат от ООБ



$$I_2 = \frac{U_{BE}}{R_2}$$

$$U_{ref} = I_2(R_1 + R_2)$$

$$U_{ref} = U_{BE} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

$$R_{oA} \approx \frac{R_1}{\beta}$$

Литература

1. *Вълков, Ст.* Аналогова електроника. С., Техника, 2002 г.
2. *Tietze, U., Ch. Schenk.* Halbleiter-Schaltungstechnik. 11.1 Auflage. Springer-Verlag, New York, 2000.
3. *Манолов, Е.,* Аналогови интегрални схеми: схемотехника и проектиране, С., Издателство на ТУ-София, 2002.
4. *Пандиев, И., Ст. Табаков.* Електронни устройства. С., Издателство на ТУ-София, 2004.
5. *Вълков, Ст.* Микроелектронна схемотехника. С., Техника, 1987 г.