

**ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА**  
**ФАКУЛТЕТ ПО ИЗЧИСЛИТЕЛНА ТЕХНИКА И АВТОМАТИЗАЦИЯ**  
**КАТЕДРА „ЕЛЕКТРОННА ТЕХНИКА И МИКРОЕЛЕКТРОНИКА“**  
**ДИСЦИПЛИНА „ЕЛЕКТРОНИКА“**

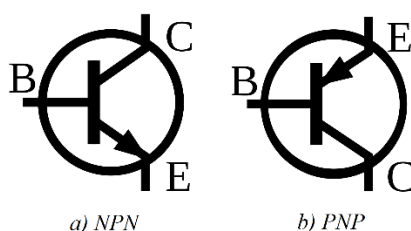
**МЕТОДИЧЕСКИ УКАЗАНИЯ ЗА САМОСТОЯТЕЛНО ОНЛАЙН**  
**РАЗРАБОТВАНЕ НА ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ №6**  
**„ИЗСЛЕДВАНЕ НА БИПОЛРНИ ТРАНЗИСТОРИ. УСИЛВАТЕЛЕН РЕЖИМ –**  
**СХЕМА С ОБЩ ЕМИТЕР.“**

**I. Кратки теоретични сведения.**

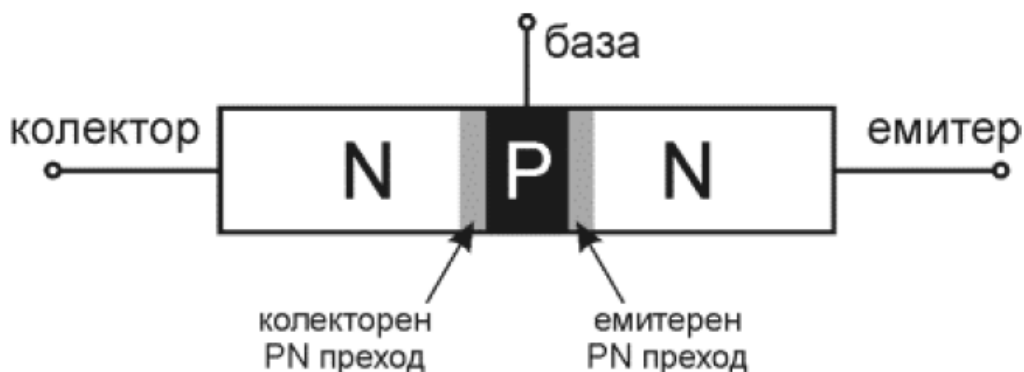
Биполярният транзистор представлява полупроводников прибор с два PN прехода. Наименованието "биполярен" произлиза от факта, че проводимостта се обуславя от два типа токоносители –електрони и дупки– за разлика от униполярните транзистори, при които проводимостта се формира само от единия тип токоносители. Важна особеност на биполярният транзистор е че той се управлява с ток!

Транзисторите се изграждат като трислойна полупроводникова структура от редуващи се слоеве полупроводникови материали с различен тип проводимост: P и N. В зависимост от реда на изграждане на слоевете се различават два основни вида биполярни транзистори: PNP и NPN. Средният слой, общ за двата PN прехода се нарича база (B). Неговата проводимост е противоположна на проводимостите на другите два слоя, които се наричат емитер (E) и колектор (C). Характерна особеност на всички биполярни транзистори е, че концентрацията на примесите в базата, определящи нейната основна проводимост, е много по-ниска от концентрацията на примесите в другите две области.

В електрическите схеми транзисторите се отбелязват посредством означенията, представени на Фигура 6.1. На Фигура 6.2 е представена схематично структурата на биполярен транзистор.



Фигура 6.1: Електрически символ за биполярен а) NPN и б) PNP транзистор



Фигура 6.2: Схематично представяне на структурата на NPN транзистор.

Вида на транзистора може да се определи посредством посоката на стрелката на емитера (E). Тя обозначава посоката на движение на токоносителите – от P към N.

Всеки един от двата PN прехода (колекторен и емитерен, Фиг. 6.2) може да бъде включен в права и обратна посока. Този факт дефинира 4 възможни режима на работа на биполярния транзистор.

1. Емитерният преход е включен в права посока, а колекторният в обратна транзистора работи в **нормален активен режим**.
2. Когато емитерният преход е включен в обратна посока, а колекторния в права, транзисторът работи в **инверсен активен режим**.
3. Когато и двата прехода са включени в права посока транзисторът работи в **режим на насищане** (също се казва, че транзистора е наситен).
4. Когато и двата прехода са включени в обратна посока транзисторът работи в **режим на отсечка** (също се казва, че транзистора е запушен).

В **активен режим** транзистора се използва най-често като **усилвател на мощността на сигнала**. Инверсния активен режим има предимства само в някои специални случаи и се използва рядко. Последните два режима (на насищане и отсечка) се използват когато транзистора се използва като **електронен ключ**. Тези два режима на работа най-често обединяват под едно наименование – **ключов режим**. Запушеният транзистор практически прекъсва електрическата верига и съответства на отворен механичен ключ. В режим на насищане транзистора провежда ток почти като късо и съответства на затворен механичен ключ.

Друг критерий по който могат да се дефинират различните режими на работа на транзистора е дали напреженията с които работи са постоянни или не.

1. В случаите при които напреженията и токовете подадени към електродите на транзистора са **постоянни** транзистора е в **статичен режим на работа**.
2. В случаите при които в изходната верига на транзистора е включено товарно съпротивление, а към входната се подава сигнал, който се усилва, транзистора функционира в **динамичен режим на работа**.

В теорията транзистора се разглежда като четрилиполюсник, имащ „вход“ и „изход“ с обща маса (Фиг. 6.3).



Фигура 6.3: Еквивалентна блокова схема на транзистора

При това представяне, в зависимост от начина на свързване на транзистора, и от това кой е общият електрод, се разглеждат три основни схеми:

1. Общ емитер – най-добри усилвателни свойства
2. Обща база – най-добри високочестотни свойства
3. Общ колектор – най-добри съгласувачи свойства

Всяка от трите схеми на свързване има предимства и недостатъци, които определят сферата ѝ на приложение. Въпреки това, най-широка употреба в електрониката намира схема общ емитер, тъй като тя усилва по ток и по напрежение и има най-добро усилване по мощност.

*В настоящото упражнение се разглеждат свойствата и характеристиките на транзистор свързан в схема ОЕ (общ емитер). За тази схема входни параметри са  $I_B$  (Ток на базата) и  $U_{BE}$  (напрежение между електродите база и емитер), а изходни са  $I_C$  (Колекторен ток) и  $U_{CE}$  (напрежение между електродите колектор и емитер).*

Коефициента на усилване на един транзистор се определя по следната формула (1), посредством съотношението на изменението на колекторния  $I_C$  ток спрямо изменението на базовия ток  $I_B$ . Коефициента на усилване  $\beta$  е безразмерна величина.

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} \quad (1)$$

Максимално допустимите параметри на транзистора определят областта на безотказна работа, в която проектните характеристики са гарантирани. Превишаването им може да доведе до неправилна работа на транзистора или неговото повреждане. По-важните максимални параметри са:

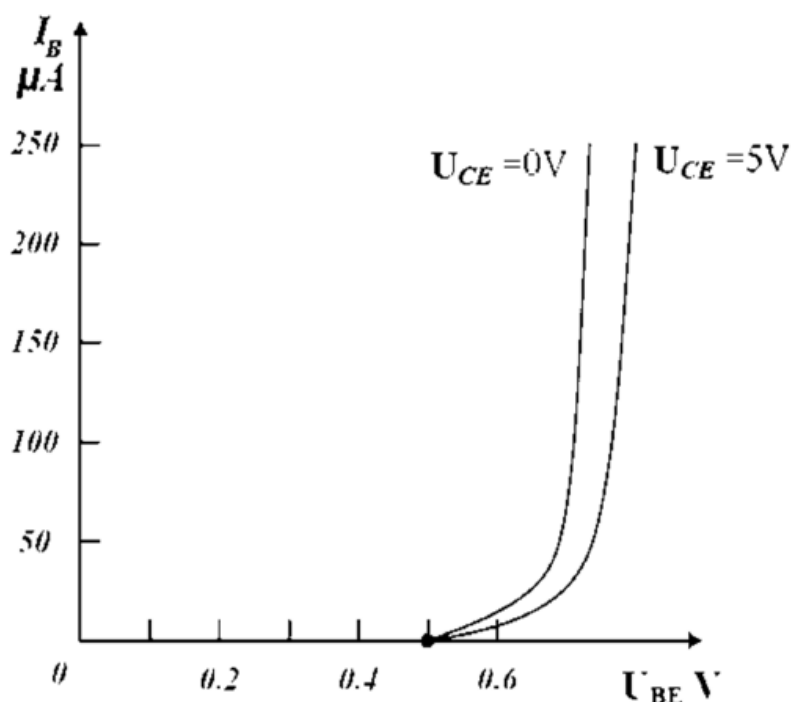
- $U_{BEmax}$ : Максимално допустимо напрежение между емитера и базата;
- $U_{BCmax}$ : Максимално допустимо напрежение между колектора и базата;
- $U_{CEmax}$ : Максимално допустимо напрежение между колектора и емитера;
- $I_{Cmax}$ : Максимално допустим колекторен ток;
- $P_{Cmax}$ : Максимално допустима разсейвана мощност в колектора;
- $f_t, f_\beta$ : Гранична (транзитна) честота на транзистора в схема ОЕ при която  $h_{21}=\beta=1$ .

Тези параметри са посочени в справочниците и каталозите на фирмите производители на полупроводникови елементи, защото това са основните критерии за избор на определен модел транзистор, за нуждите на конкретното приложение.

Статичните характеристики на транзистора демонстрират неговото поведение при константни работни параметри. Съвкупността от всички характеристики с които може да се опише дадено явление или зависимост в транзистора се наричат семейство от характеристики. Четирите основни семейства статични характеристики за транзистора свързан в схема ОЕ са: а) предавателни характеристики (характеристики на прякото предаване), б) входна характеристика, в) изходна характеристика и г) характеристика на обратното предаване. В настоящото лабораторно упражнение се разглеждат единствено входната и изходна статична характеристика на транзистор в схема ОЕ.

Входната статична характеристика (Фиг. 6.4) се дефинира като зависимостта на базовия ток ( $I_B$ ) от напрежението база-емитер ( $U_{BE}$ ), за постоянна стойност на напрежението емитер-колектор ( $U_{CE}=\text{const}$ ).

$$I_B=f(U_{BE}), \text{ при } U_{CE}=\text{const}$$

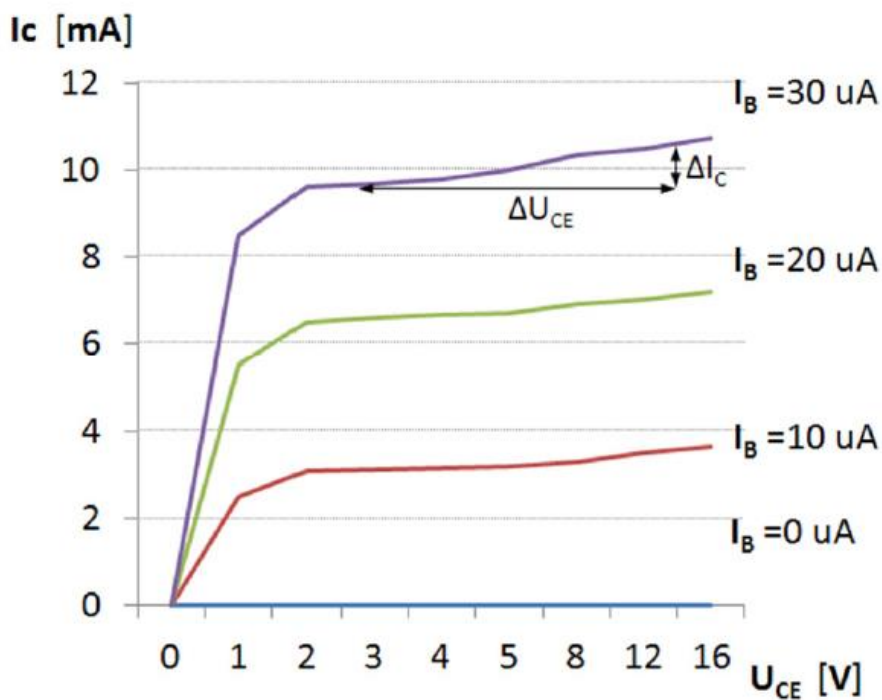


Фигура 6.4: Входна статична характеристика на NPN транзистор

Както се вижда от фигурата, входната статична характеристика на транзистора много напомня I-ви квадрант от волт-амперната характеристика на полупроводников изправителен диод. Това е така, защото прехода база-емитер е PN преход свързан в права посока, т.е. също както и диода в лабораторно упражнение №4.

Изходните статични характеристики на транзистора изразяват графично зависимостта между изменението на колекторния ток ( $I_C$ ) и напрежението колектор-емитер ( $U_{CE}$ ), при зададен константен базов ток  $I_B$  (Фигура 6.5).

$$I_C = f(U_{CE}), \text{ при } I_B = \text{const}$$



Фигура 6.4: Изходна статична характеристика на NPN транзистор

Изходното съпротивление на транзистора ( $R_{out,OE}$ ) в схема общ емитер се изчислява като отношение на изменението на напрежението  $U_{CE}$  и изменението на колекторният ток  $I_C$  (Формула 2).

$$R_{out,oe} = \frac{\Delta U_{ce}}{\Delta I_c}$$

## II. Построяване на виртуалната опитна установка.

Опитната постановка, използвана за изследване на биполярен транзистор е представена на фигурата:



**Таблица 2.** Измерване на колекторния ток  $I_K$  при  $\beta = 200$ .

$U_{KE(3)}, [V]$	0.2	0.4	0.6	0.8	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_K, [mA]$ ( $I_B=10\mu A$ )	1,84	1,99	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$I_K, [mA]$ ( $I_B=20\mu A$ )	3,67	3,99	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
$I_K, [mA]$ ( $I_B=30\mu A$ )	5,51	5,99	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6

2. Постройте изходна характеристика на транзистора

### III. Източници и допълнителни материали

Източници:

[1] Т. Ганчев, В. Вълчев, А. Маринов, Н. Николов, Материали и компоненти в електрониката – ръководство за лабораторни упражнения, *Издателство на ТУ-Варна*, Варна, 2013

[2] С. Вълков, И. Ямаков, Р. Дойчинова, М. Христов, Т. Василева, Електронни и полупроводникови елементи и интегрални схеми, Техника

Допълнителни материали:

<http://fourier.eng.hmc.edu/e84/lectures/ch4/node3.html>

<https://www.youtube.com/watch?v=KynKHr2cXgk>

<https://www.electronicshub.org/npn-transistor/>

Разработил: гл. ас. д-р инж. Фирган Ферадов