

## **Téma 5. : Bipolárny tranzistor (L, R)**

### **Zadanie:**

1. Oboznámte sa s katalógovými údajmi a parametrami bipolárneho tranzistora KF 506 (včítane h-parametrov).
2. Overte funkčnosť meraného tranzistora.
3. Na charakterografe HAMEG HM 8042 odsimulujte V-A charakteristiky bipolárneho tranzistora a odčítajte veľkosti zosilnenia a h-parametrov pre pracovné body  
**P1:**  $I_{C1}=1\text{mA}$ ,  $U_{CE1}=5\text{V}$  a **P2:**  $I_{C2}$ ,  $U_{CE2}=5\text{V}$ .
4. Navrhňte a zapojte obvod vhodný na meranie jednosmerných V-A charakteristík tranzistora v zapojení so spoločným emitorom.
5. Zmerajte a graficky znázornite
  - a) prevodovú prúdovú charakteristiku  $I_B = f(I_C)$  pri  $U_{CE} = \text{konštanta}$  (5V)
  - b) dve vstupné V-A charakteristiky  $I_B = f(U_{BE})$  pri  $U_{CE} = \text{konštanta}$  (0V, 5V)
  - c) tri výstupné V-A charakteristiky  $I_C = f(U_{CE})$  pri  $I_B = \text{konštanta}$  ( $0\mu\text{A}$ ,  $I_{BP1}$ ,  $I_{BP2}$ ) tranzistora v zapojení so spoločným emitorom.
6. V pracovných bodoch v aktívnej oblasti výstupných V-A charakteristík **P1**  $I_{CP1}=1\text{mA}$ ,  $U_{CEP1}=5\text{V}$  a **P2**  $I_{CP2}$ ,  $U_{CEP2}=5\text{V}$  (mali by ležať na nameraných výstupných charakteristikách) graficky určite veľkosť h-parametrov hybridného modelu tranzistora pre nf signály s malou amplitúdou (zapojenie SE), podľa rovníc

$$\begin{cases} u_{eb} = h_{11e}i_b + h_{12e}u_{ce} \\ i_{ce} = h_{21e}i_b + h_{22e}u_{ce} \end{cases}$$

a nakreslite zodpovedajúci náhradný obvod tranzistora využívajúci h parametre v pracovnom bode **P2**.

7. Z nameraných charakteristík vypočítajte:
  - a) jednosmerný a dynamický vstupný odpor  $R_{j\text{smvstup}}$ ,  $r_{\text{strvstup}}$ ,
  - b) prúdový jednosmerný zosilňovací činiteľ  $\beta$  ( $h_{21E}$ ).
8. Naznačte na výstupných charakteristikách tranzistora hranicu medzi saturačným a aktívnym režimom. Aký je rozdiel medzi aktívnym a saturačným režimom tranzistora?

**Bipolárne tranzistory:** odporučená literatúra: prednášky, ELEKTRONICKÉ PRVKY, (1999, M. Žiška, E. Stuchlíková) str. 131– 160.

## Podklady k realizácii úloh zadania

### K bodu 1:

- Bipolárny tranzistor pri svojej činnosti využíva nosiče náboja obidvoch polarít
- môže byť typu *npn* alebo *pnp*
- Obsahuje dva *pn* priechody a tri vrstvy v jednom základnom polovodičovom materiáli
- Podľa typu zapojenia poskytuje napäťové, prúdové, resp. výkonové zosilnenie.

NPN – bipolárny tranzistor KF 506 pre všeobecné použitie (katalóg str.197)

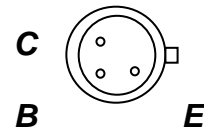
*h*- parametre pre pracovný bod **P1**  $I_{C1} = 1\text{mA}$   $U_{CE1} = 5\text{V}$

$$h_{11e} = 2.2\text{k}\Omega$$

$$h_{12e} = 3.6\text{E}+4$$

$$h_{21e} = 30-100$$

$$h_{22e} = 12.5\mu\text{S}$$



$U_{CBmax}$	5V	$-I_{Emax}$	500mA	$I_B$ ( $U_{CB}=10\text{V}$ , $-I_E=10\text{mA}$ )	80-290 $\mu\text{A}$
$U_{CEmax}$	50V	$I_{Bmax}$	50mA	$I_B$ ( $U_{CB}=10\text{V}$ , $-I_E=5\mu\text{A}$ )	<1 $\mu\text{A}$
$U_{EBmax}$	7V	$I_{CBO}$ ( $U_{CB}=60\text{V}$ )	...10nA	$U_{BES}$ ( $I_C=150\text{mA}$ , $I_B=15\text{mA}$ )	<1,3V
$I_{Cmax}$	500mA	$I_{CBO}$ ( $U_{CE}=30\text{V}$ )	...1 $\mu\text{A}$	$U_{CES}$ ( $I_C=150\text{mA}$ , $I_B=15\text{mA}$ )	<1,5V
$P_{tot}$	0.8W	$I_{EBO}$ ( $U_{EB}=5\text{V}$ )	...10 $\mu\text{A}$	$r_{bb}$ ( $U_{CB}=10\text{V}$ , $-I_E=10\text{mA}$ )	35 $\Omega$

### K bodu 2:

- Funkčnosť priechodov meraného tranzistora možno overiť napr.:
- premeraním usmerňovacích vlastností priechodov diód emitor-báza a báza-kolektor ohmetrom (mení sa veľkosť odporu v priepustnom a v závernom smere)
- prehľadovým premeraním jednosmernej I-U charakteristiky (kontrola charakteru priebehu I-U charakteristiky) priechodov kolektor-báza a emitor-báza v priepustnom a závernom smere.
- Na charakterografe HAMEG HM 8042 (Starostlivo si naštudujte návod **HM 8042** (kap.3. 3)).

### K bodu 3:

Pripojte tranzistor na na charakterograf HAMEG HM 8042 a odčítajte požadované hodnoty v pracovných bodoch P1 a P2.

Pracovný bod <b>P1</b>	$I_{C1} = 1.0\text{ mA}$	$U_{CE1} = 5\text{V}$	všetky pracoviská
Pracovný bod <b>P2</b>	$I_{C2} = 4.0\text{ mA}$	$U_{CE2} = 5\text{V}$	pracovisko č. 1
	$I_{C2} = 5.0\text{ mA}$	$U_{CE2} = 5\text{V}$	pracovisko č. 2
	$I_{C2} = 6.0\text{ mA}$	$U_{CE2} = 5\text{V}$	pracovisko č. 3
	$I_{C2} = 7.0\text{ mA}$	$U_{CE2} = 5\text{V}$	pracovisko č. 4
	$I_{C2} = 8.0\text{ mA}$	$U_{CE2} = 5\text{V}$	pracovisko č. 5

Odporučená tabuľka nameraných hodnôt

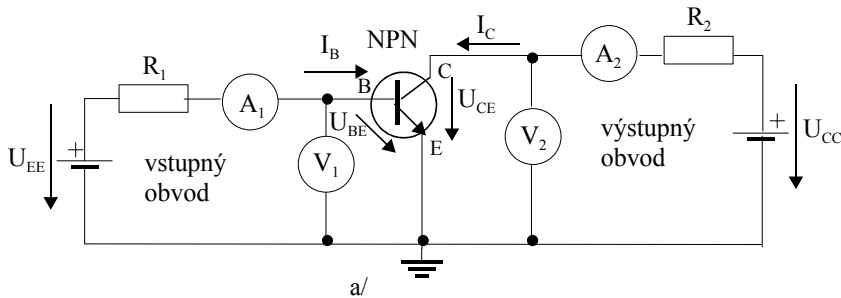
	$U_{BE}$ (V)	$I_B$ ( $\mu\text{A}$ )	$U_C$ (V)	$I_C$ (mA)	$\beta$	$h_{11}$ ( $\Omega$ )	$h_{21}$	$h_{22}$ (mS)
<b>P1</b>								
<b>P2</b>								

**! Nastavenie meracích rozsahov**

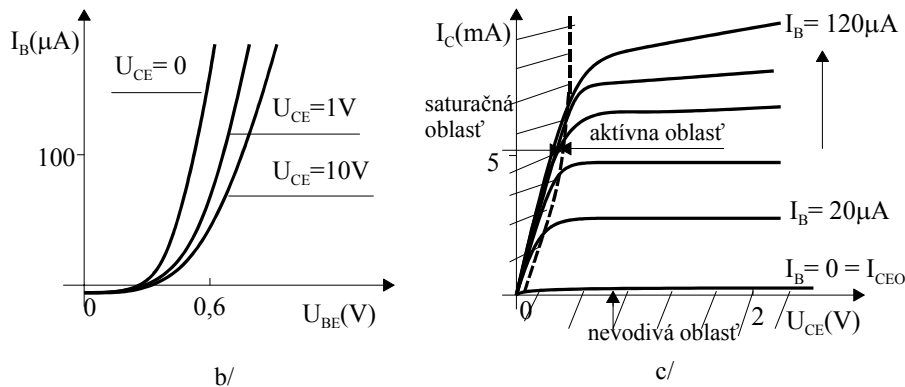
Pre pracovný bod **P1**     $I = 2 \text{ mA}$      $U = 10 \text{ V}$      $P = 0.4 \text{ W}$   
 Pre pracovný bod **P2**     $I = 20 \text{ mA}$      $U = 10 \text{ V}$      $P = 0.4 \text{ W}$

**K bodu 4:**

Zapojte obvod na meranie jednosmernej V-A charakteristiky tranzistora v zapojení so spoločným emitorom podľa schémy na obr. 6.1. Ochranný odpor  $R_2$  v kolektorovom obvode sa volí podľa typu tranzistora, aby vyhovoval pracovnej oblasti, v ktorej budete merať  $R_2 = (U_2 - U_{CE})/I_C$ . Odpor  $R_1$  zaradíme do obvodu pre citlivejšiu reguláciu prúdu  $I_B, I_E$ .



**Obr. 6.1** Vstupné a výstupné V-A charakteristiky BT zapojenie so spoločným emitorom



**K bodu 5:**

Poznámky k meraniu VACH

**!Upozornenie – dodržte pri meraní odporučené maximálne hodnoty prúdov a napätí**

**!Upozornenie – pri každom meraní skontrolujte a v prípade potreby dostavte parameter, ktorý má byť konštantný na požadovanú hodnotu**

**Dodržiavajte maximálne dovolené hodnoty prúdov a napätí.**

**Prevodová prúdová charakteristika**  $I_B = f(I_C) / U_{CE} = const$     Zvoľte  $U_{CE} = 5 \text{ V}$   
 Odporučené hodnoty  $I_B \approx 0, 0.01, 0.1, 0.5, 1, 2 \text{ mA}$

**! Upozornenie – pri každom meraní skontrolujte a v prípade potreby dostavte  $U_{CE}$**

Odporučené tabuľky nameraných hodnôt

P. č.	$U_{CE}$ [V]	$I_B$ [μA]	$U_{BE}$ [V]	$I_C$ [mA]	$U_{CE}$	$I_B$	$U_{BE}$	$I_C$
1.-8.	0				5 V			

### Vstupné charakteristiky

$I_B = f(U_{BE}) / U_{CE} = \text{const}$  Zvoľte  $U_{CE} = 0V, 5V$   
Odporučené hodnoty  $I_B \approx 0.1, 1, 10, 20, 50, 100, 150, 200\mu A$

### Výstupné charakteristiky

$I_C = f(U_{CE}) / I_B = \text{const}$  Zvoľte  $I_B = 0\mu A, I_{B1}, I_{B2}$   
Odporučené hodnoty  $U_{CE} \approx 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10V$

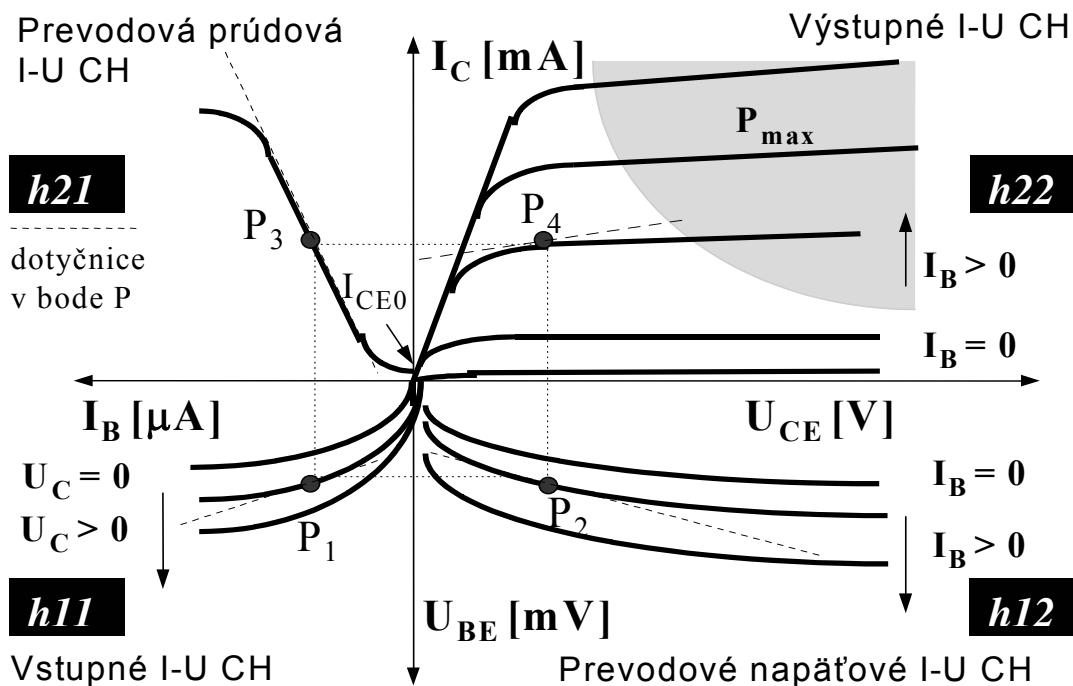
- **Určenie  $I_{B1}, I_{B2}$  meraním:** Nastavte zadaný pracovný bod, odčítajte hodnotu prúdu  $I_{BP1}$  ( $I_{BP2}$ ) a zmerajte príslušnú výstupnú charakteristiku.

**! Upozornenie – pri každom meraní skontrolujte a v prípade potreby dostavte  $I_B$**

Odporučené tabuľky nameraných hodnôt

P. č.	$I_B$ [ $\mu A$ ]	$U_{CE}$ [V]	$I_C$ [mA]	$U_{BE}$ [V]	$I_B$ [ $\mu A$ ]	$U_{CE}$ [V]	$I_C$ [mA]	$U_{BE}$ [V]	$I_B$ [ $\mu A$ ]	$U_{CE}$ [V]	$I_C$ [mA]	$U_{BE}$ [V]
1.-8.	0				$I_{BP1}$				$I_{BP2}$			

**!!!! Namerané charakteristiky vynesť do grafu podľa obr. 6.2**



**Obr. 6.2.** Určovanie parametrov hybridného modelu ( $h$ ) vo zvolenom pracovnom bode tranzistora grafickým spôsobom. VACH tranzistora npn pri nf v zapojení SE. Pracovný bod je na VACH vyznačený písmenom P (s indexami 1 až 4). Viacero podrobností uvádzajú skriptá na str.156, kapitola 7.1.12.2

#### **K bodu 6:**

V pracovných bodoch  $P1$  ( $P2$ ) graficky určte  $h$ -parametre pracovných bodov. Jednotlivé  $h$ -parametre zodpovedajú smerniciam dotyčníc v pracovných bodoch podľa obr. 6.2.

$$h_{11} = \left. \frac{\Delta u_{BE}}{\Delta i_B} \right|_{u_{CE} = \text{const}}$$

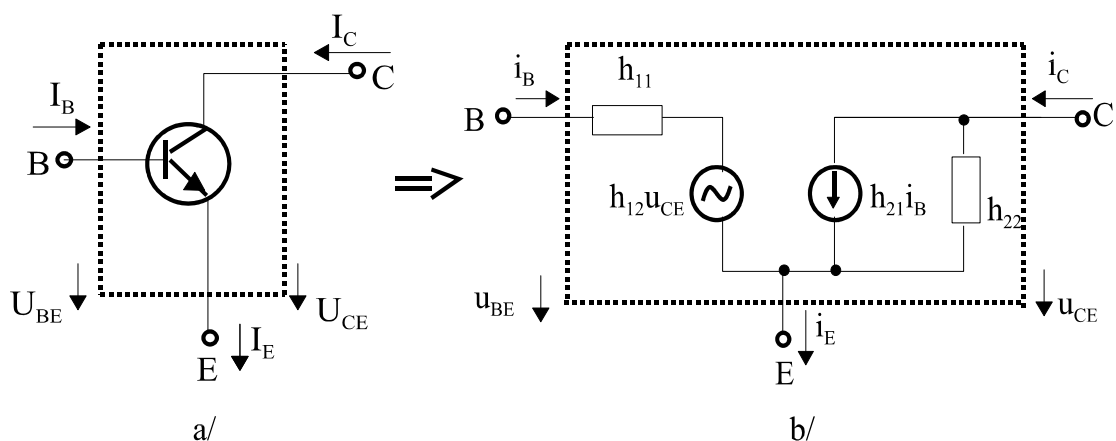
$$h_{21} = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} \right|_{u_{CE} = \text{const}}$$

$$h_{22} = \left. \frac{\Delta i_C}{\Delta u_{CE}} \right|_{i_B = \text{const}}$$

- Medzi jednosmernými a striedavými  $h$ -parametrami je rozdiel, hoci ich definičné rovnice sú formálne rovnaké! Zjednodušene povedané, ako rozdiel medzi statickým a dynamickým odporom. Striedavé  $h$ -parametre určujú vzájomné závislosti obvodových veličín tranzistora pri malých zmenách signálu. Ich určenie spočíva v linearizácii charakteristík v malom okolí pracovného bodu. Pri určovaní daného  $h$ -parametra treba podmienky merania nastaviť tak, aby príspevky od iných  $h$ -parametrov boli nulové. Pri konverzii rovníc s  $h$ -parametrami na obvodový model využite základné zákony pre riešenie elektrických obvodov.

$h_{11} = \frac{u_i}{i_i}   u_o = 0$	vstupný odpor pri výstupe nakrátko
$h_{12} = \frac{u_i}{u_o}   i_i = 0$	spätnoväzobný prenos napät'ový pri vstupe naprázdno
$h_{21} = \frac{i_o}{i_i}   u_o = 0$	prúdový zosilňovací činiteľ pri výstupe nakrátko
$h_{22} = \frac{i_o}{u_o}   i_i = 0$	výstupná vodivosť pri vstupe naprázdno

- Grafické určovanie  $h$ -parametrov je ilustrované v kap. 7. 13. Hybridný model bipolárneho tranzistora  $npn$  v zapojení so spoločným emitorom je znázornený na obr. 6. 3.



Obr. 6.3. Hybridný model bipolárneho tranzistora

**K bodu 7:**

$$R_{vst} = \frac{U_{BE}}{I_B}, \text{ vstupný jednosmerný odpor}$$

$$r_{vst} = \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta I_B}, \text{ vstupný dynamický odpor}$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}, \text{ prúdový jednosmerný zosilňovací činiteľ } \beta \text{ (} h_{21E} \text{)}.$$

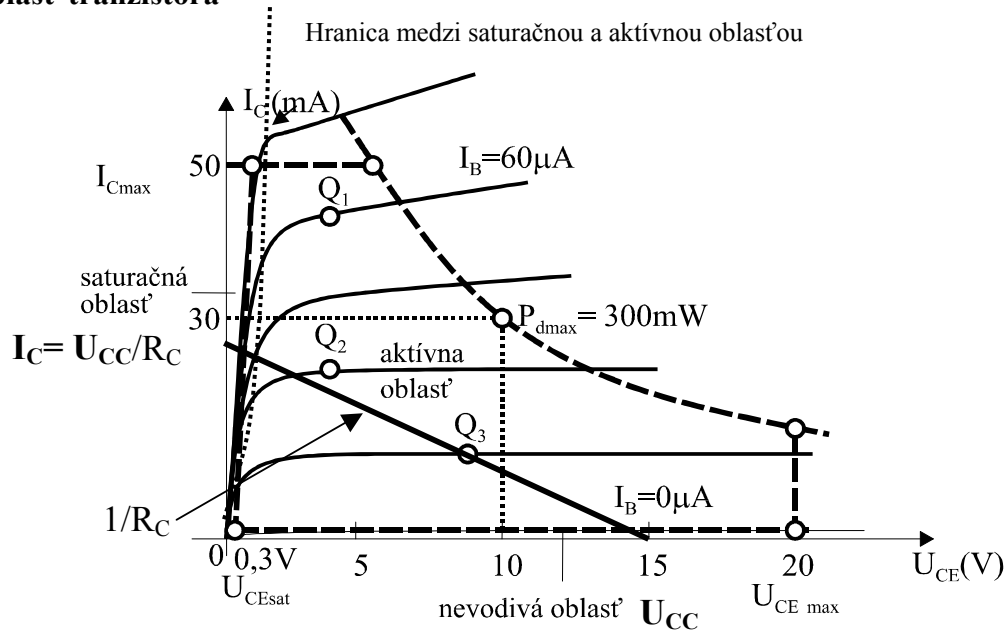
**K bodu 8**

Informácie nájdete v kap. 7. 1. 10. Oblasť režimu saturácie (obidva priechody  $pn$  sú polarizované priepustne) je ohraničená maximálnym prúdom kolektora, maximálnym výkonom a krivkou pre ktorú platí  $U_{CB} = 0$  (obr. 7. 7c).

### Oblasti tranzistora :

- Aktívna oblasť – tu sú vzťahy medzi prúdom a napätím lineárne
- Saturačná oblasť – hranicou medzi ňou a aktívnou oblasťou je krivka  $U_{CB}=0$

### Pracovná oblasť tranzistora



**Obr. 6.3** Ohraničenie bezpečnej pracovnej oblasti tranzistora ( $I_{Cmax}=50 \text{ mA}$ ,  $U_{CEmax}=20 \text{ V}$ ,  $P_{Dmax}=U_{CE} \cdot I_C=300 \text{ mW}$ ) a zaťažovacia priamka.

Základné rovnice pre ľubovoľné zapojenie tranzistora

$$\begin{cases} U_{CE} = U_{CB} + U_{BE} \\ I_E + I_B + I_C = 0 \end{cases}$$

Pre zapojenie so spoločným emitorom po úpravách platí:

$$I_C = \beta I_B + I_{CE0}, \text{ kde } \beta_{jst} = \frac{I_C}{I_B}, U_{CE} = \text{konšt.}$$

$\beta_{stried} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}, U_{CE} = \text{konšt.}$  sú jednosmerný a striedavý prúdový zosilňovací činiteľ (SE).