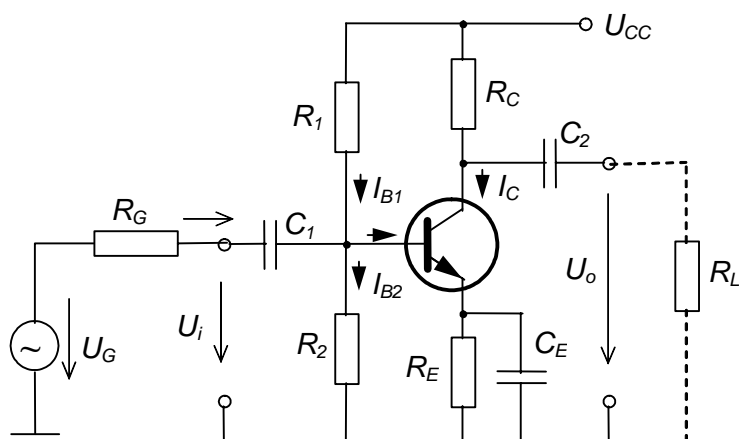


## Téma 6. : Analýza jednoduchého obvodu s tranzistorom (S, R)

### Zadanie:

Navrhnete (analyzujete) jednoduchý nf striedavý zosilňovač triedy A s *npn* bipolárnym tranzistorom, ak je dané napájacie napätie  $U_{CC}=15V$ , výstupný odpor generátora  $R_G=50\Omega$ , odpor záťaže maximálne  $20\text{ k}\Omega$ , rozkmit výstupného napät'ového signálu  $\Delta U_{CE}$  minimálne  $4\text{ V}$ . Schéma zapojenia je na obr. 7.1.

- (Uvažujte napr. pracovný bod P2 tranzistora KF506 z predchádzajúceho cvičenia Bipolárne tranzistory)



Obr. 7.1. Zapojenie jednoduchého zosilňovača s tranzistorom SE s odporovým deličom v báze.

**Upozornenie: priniesť si so sebou kalkulačky a návody na pasívne prvky (budete potrebovať hodnoty odporov vyrábaných vo zvolenej rade E12 alebo E24)**

**Striedavý zosilňovač** sa od jednosmerného odlišuje tým, že zosilňuje striedavý, harmonický signál s určitou frekvenciou alebo intervalom frekvencií. Jednosmerná zložka sa neprenáša.

Oddelenie jednosmernej zložky, zabezpečujú kapacitné väzby. Zdroj signálu je oddelený od zosilňovača kondenzátorom  $C_1$  a záťaž kondenzátorom  $C_2$ . Zapojenie jednoduchého zosilňovača s tranzistorom SE s odporovým deličom v báze je najčastejšie používané zapojenie s dobrými vlastnosťami a stabilitou. Na stabilizáciu pracovného bodu slúžia  $R_E$ ,  $R_1$  a  $R_2$ . Aby sme prenášali celú periódu, t.j. kladnú aj zápornú polvlnu (zosilňovač triedy A), musíme nastaviť **pracovný bod** tranzistora približne do stredu zaťažovacej krivky.

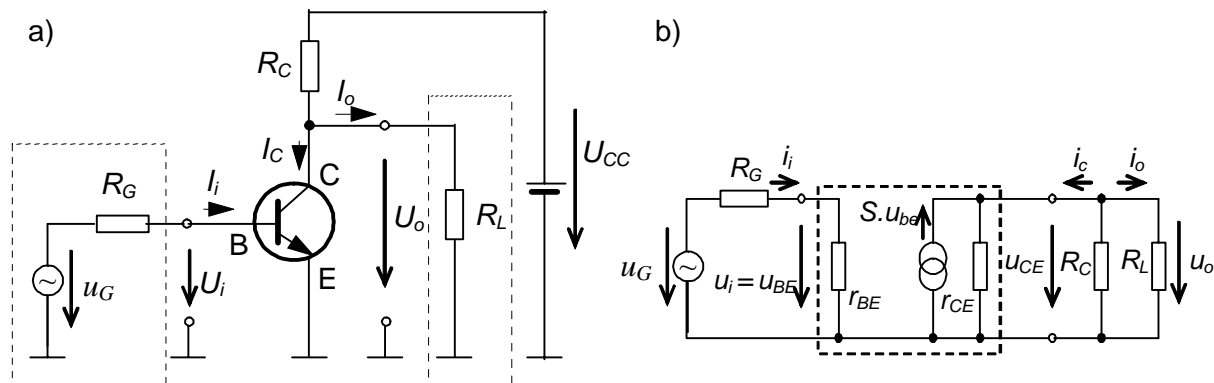
## Podklady k realizácii úlohy zadania

### Definície a pojmy:

**Pracovná oblasť tranzistora** je vymedzená oblasť v grafe výstupných charakteristík tranzistora v ktorej sa môže nachádzať pracovný bod tranzistora (obr. 6.3). Je vymedzená piatimi krivkami:

1. zvyškový prúd  $I_{CEO}$
2. saturačné napätie  $U_{CES}$
3. medzná hodnota prúdu  $I_{Cmax}$
4. medzná hodnota napätia  $U_{CEmax}$  (prakticky záverné napätie na priechode CB)
5. medzná hodnota stratového výkonu  $P_{max}$

**Zaťažovacia priamka** je voltampérová charakteristika kolektorového odporu  $R_C$  v sérii so zdrojom napájacieho napätia  $U_{CC}$ . Prienik zaťažovacej priamky a krivky výstupnej *VACH* dáva pracovný bod (grafické riešenie).



Obr. Error! No text of specified style in document..2 a) Zapojenie tranzistorového zosilňovača so spoločným emitorom, b) náhradná schéma uvedeného zapojenia pre malé zmeny budiaceho napätia (pre malé signály)

## Postup pri návrhu nf zosilňovača s tranzistorom v zapojení SE

### 1. Voľba napájacieho napätia $U_{CC}$ :

Napájacie napätie musí spĺňať podmienku  $U_{CC} \geq \Delta U_{CE} + U_{CES} + R_C I_{CEO}$

kde  $\Delta U_{CE}$  je rozkmit napätia na výstupe.

$U_{CES}$  saturačné napätie je zbytkové napätie na otvorenom tranzistore. Zvyčajne je menšie ako 1V, typicky 0,25-0,5 V.

$R_C I_{CEO}$  úbytok napätia na odpore  $R_C$  (rádovo 1 k $\Omega$ ) pri zbytkovom prúde (kolektor - emitor pri odpojenej báze)  $I_{CEO} = 10 \mu A$  (kremíkové tranzistory) je rádovo mV.

### 2. Nastaviť pracovný bod $\rightarrow I_C U_{CE}$

#### 2.1 Overenie veľkosti zvoleného kolektorového prúdu $I_C$

- Prúd  $I_C$  musí byť menší ako medzná hodnota  $I_{Cmax}$ .
- Prúd  $I_C$  musí byť oveľa väčší ako zbytkový prúd  $I_{CEO}$ .
- Pre stratový výkon platí  $U_{CE} I_C \approx P_C < P_{dovol}$
- Overenie predpokladu pre veľkosť vstupného odporu  $r_i$

$r_i > \text{minim } 2R_G$ , pričom súčasne platí

$r_i = (R_1 \parallel R_2 \parallel r_{BE})$  dpor  $R_E$  sa pre striedavý signál neprejaví - skratuje ho  $C_E$

$$r_{BE} = \frac{\beta U_T}{I_C}$$

$R_1, R_2 \gg r_{BE} > r_i > \text{minim } 2R_G$

#### 2.2 Voľba napätia $U_{CE}$

Aby sme dosiahli dobrú stabilitu musíme splniť podmienky

- $U_{CPB} > U_{CES} \approx 0.3V \Rightarrow U_{CPBmin} \geq 1V$  (minimalizácia skreslenia)
- $\uparrow U_{RC} \Rightarrow \uparrow A \Rightarrow U_{CPBmax}$
- $U_{CPB} > U_{RE} + U_{CPmin} + |\Delta U_{CE}|$  (výstupný rozkmit signálu  $\Delta U_{CE}$ )
- $U_{CPB} \sim \frac{U_{CC}}{2}$  (tepelná stabilita)
- $U_{CPB} = U_{CC} - 0.5(U_{CC} - \Delta U_{CE} - U_{CES})$  (uváženie stred rozkmitu signálu)

### 2.3 Určenie odporu $R_C$

Kolektorový odpor určuje sklon zaťažovacej priamky a tým aj maximálnu hodnotu hodnotu kolektorového prúdu  $I_{Cmax}$

$$I_{Cmax} = \frac{U_{CC} - U_{CES}}{R_C} \approx \frac{U_{CC}}{R_C}$$

Potom  $R_C = (U_{CC} - U_{CPB}) / I_{CPB}$ . Zvolíme najbližšiu hodnotu odporu  $R_C$  z rady E24.

Overíme zmenu hodnoty prúdu  $I_C$ , vypočítame novú hodnotu.

## 3. Potreba teplotnej stabilizácie $\rightarrow I_C, I_B, U_{CE}$

### 3.1 Zavedenie prúdovej spätnej väzby - Voľba napätia $U_{RE}$ a určenie odporu $R_E$

Pre dobrú stabilizáciu PB (ak  $\uparrow U_{RE} \Rightarrow \downarrow \frac{\Delta U_{BE}}{\Delta U}$ ) volíme  $U_{RE}$  v zapojení SE

obyčajne  $U_{RE} \approx (0.1 \div 0.2)U_{CC}$

Platí:  $I_C \approx I_E$ , potom  $R_E = \frac{U_{RE}}{I_E} \approx \frac{U_{RE}}{I_C}$ . Zvolíme najbližšiu hodnotu  $R_E$  z rady E24.

#### 3.1.1 Overenie vplyvu teploty na stabilitu PB pre zvolené $U_{RE}$

$$\frac{\delta I_C / \delta T}{I_C} \approx \frac{\delta U_{RE} / \delta T}{U_{RE}} = \frac{2mV / K}{U_{RE}} \text{ tento podiel pri dobrej stabilite je } \sim 0.1\% / K.$$

#### 3.1.2 Overenie teplotného driftu $U_{CE}$ v PB

$$\frac{\delta U_{CPB}}{\delta T} = -2 \frac{mV}{K} \frac{R_C}{R_E}$$

### 3.2 Stabilizácia $I_B$ pomocou odporového deliča

#### 3.2.1 Voľba prúdov cez delič $I_{del}$

musí platiť aspoň  $I_{del} \sim 10I_B = I_2$ , pričom  $I_B \approx I_C / \beta$  a  $I_1 = I_2 + I_B$

#### 3.2.2 Určenie odporu $R_2$

$R_2 = (U_{RE} + U_{BE}) / I_2$  platí  $U_{BE} \sim 0.6 \div 0.7V$  (napätie na dióde v priep. smere)

$U_{RE} + U_{BE} = U_B = U_{R2}$  (nastavenie bázeového potenciálu). Určíme najbližšiu hodnotu z radu E24.

#### 3.2.3 Úprava veľkosti prúdu $I_2$

$$I_2 = (U_{RE} + U_{BE}) / R_2$$

#### 3.2.4 Určenie veľkosti prúdu $I_1$

$$I_1 = I_2 + I_B$$

#### 3.2.5 Určenie odporu $R_1$

$R_1 = [U_{CC} - (U_{RE} + U_{BE})] / I_1$ . Určíme najbližšiu hodnotu z radu E24.

#### 3.2.6 Úprava veľkosti prúdu $I_1$

$$I_1 = [U_{CC} - (U_{RE} + U_{BE})] / R_1$$

Overíme rozdiel prúdov  $I_1 - I_2$ . Ak by nebol v tolerancii cca 20 %, výpočet odporového deliča treba korigovať inou voľbou hodnôt odporov z rady a znovu prepočítať.

#### 4. Výpočet ďalších parametrov

##### 4.1 Vstupný odpor $r_i$

$$r_i = \frac{u_i}{i_i} = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{BE}$$

overíme platnosť podmienky uvedenej v bode 2.1d.:  $R_1, R_2 \gg r_{BE} > r_i > \min 2R_g$

##### 4.2 Výstupný odpor $r_o$

$$r_o = \left. \frac{u_o}{i_g} \right|_{U_g=0} = R_C \parallel r_{CE}$$

$$r_{CE} = \frac{1}{h_{22e}} \text{ (výstupná admitancia nakrátko, } h_{22e} \text{ - z meraní, alebo katal.)}$$

##### 4.3 Napät'ové zosilnenie stupňa naprázdno

$$A_U = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{I_C}{U_T} (R_C \parallel r_{CE}), \text{ čo zodpovedá hodnote v dB } A_U [dB] = 20 \log |A_U|$$

##### 4.4 Celkové napät'ové zosilnenie stupňa naprázdno do záťaže $R_L$

$$\left. \frac{u_o}{u_g} \right|_{R_L} = \frac{r_i}{R_g + r_i} A_U \frac{R_L}{R_L + r_o} \text{ pre všetky frekvencie nad } f_{min}$$

$$\text{čo zodpovedá hodnote v dB } 20 \log \left( \left. \frac{u_o}{u_g} \right|_{R_L} \right) = \dots \text{ dB}$$

##### 4.5 Hodnoty kondenzátorov $C_1, C_2, C_E$

sa určujú na základe hraničnej frekvencie  $f_c$   $f_c \leq f_{min}$

Pre všetky RC filtre platí ak  $f_c = f_{min}$  (v prípade, že počet RC filtrov je  $n$ , tak  $f_c \leq f_{min} / \sqrt{n}$ )

##### 4.5.1 Kondenzátor $C_E$

$$C_E = \frac{S}{2\pi f_c} = \frac{I_C}{2\pi f_c U_T}, \text{ potom } C_E \text{ tvorí skrat pre signál s frekvenciou vyššou ako}$$

je  $f_c = 1 / 2\pi R_E C_E$  a vyraduje spätnoväzbový odpor  $R_E$ . Volíme rádovo  $\mu\text{F}$ , aby bol možný maximálny rozkmit zosilneného signálu.

##### 4.5.2 Kondenzátor $C_1$

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_c (R_G + r_i)} \text{ Kondenzátor } C_1 \text{ - oddeľuje jednosmernú zložku napätia na}$$

báze tranzistora od vstupného zdroja.

##### 4.5.3 Kondenzátor $C_2$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_c (r_o + R_L)} \text{ Kondenzátor } C_2 \text{ - oddeľuje jednosmernú zložku výstupného}$$

napätia tranzistora od záťaže.

Po výpočte  $C_1, C_2, C_E$  zvolíme najbližšie hodnoty kapacít z radu E6.