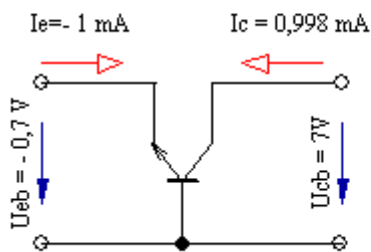


Řešené zadání kontrolní práce č. 2 ELK 2. ročník kap. základy zesilovačů

1. Základní zapojení tranzistorových zesilovačů SE, SB, SC. Nakreslete schéma zapojení definujte základní parametry- A_u , A_i , A_p , R_{vst} , $R_{výst}$, fázový posuv φ . Vypočítejte proudové zesílení h_{21} je-li dáno: $I_b = 500\mu A$, $I_c = 30\text{ mA}$

SB



$$A_i = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_e} = 0,998 \approx 1$$

$$A_u = \frac{U_{cb}}{U_{eb}} = 10$$

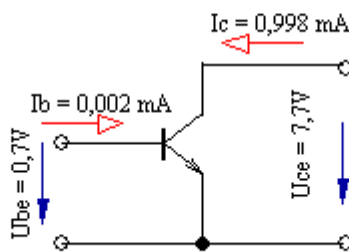
$$A_p = A_u \cdot A_i = 9,98$$

$$\varphi = 0^\circ$$

$R_{vst} = \text{cca } 50 \Omega$
 $R_{výst} = \text{cca } 500 \text{ k}\Omega$

vf. zesilovače nad 30 MHz

SE



$$A_i = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = 499$$

$$A_u = \frac{\Delta U_{ce}}{\Delta U_{be}} = 11$$

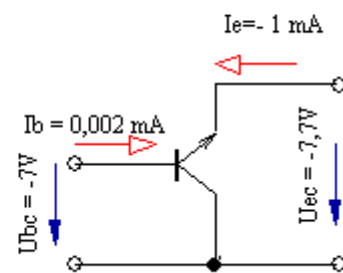
$$A_p = A_u \cdot A_i = 5,49 \cdot 10^3$$

$$\varphi = 180^\circ = \pi$$

$R_{vst} = \text{cca } 100 \Omega$
 $R_{výst} = \text{cca } 200 \text{ k}\Omega$

nf. napět'ové zesilovače
vf.zesilovače do 30 MHz

SC



$$A_i = \frac{\Delta I_e}{\Delta I_b} = 500$$

$$A_u = \frac{\Delta U_{ec}}{\Delta U_{bc}} \leq 1$$

$$A_p = A_u \cdot A_i = 500$$

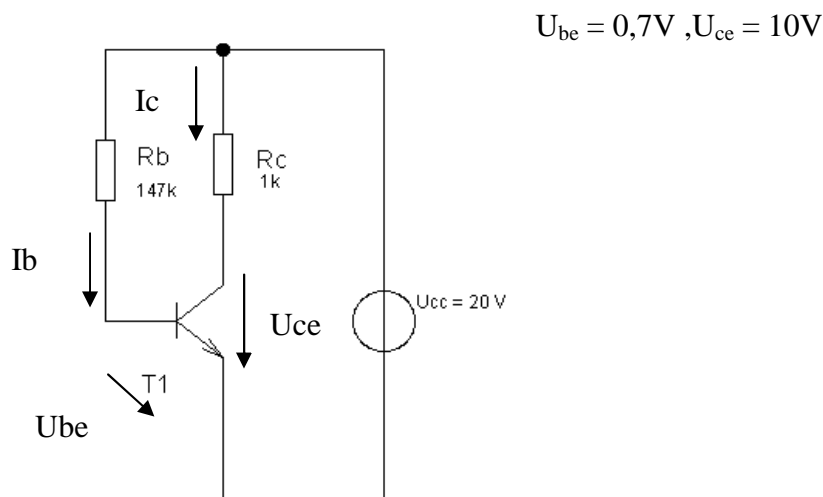
$$\varphi = 0^\circ$$

$R_{vst} = \text{cca } 500 \text{ k}\Omega$
 $R_{výst} = \text{cca } 50 \Omega$

emitorový sledovač
transformace impedance

$$h_{21} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{30 \text{ mA}}{0,5 \text{ mA}} = 60$$

2. Na základě parametrů uvedeného zesilovače sestavte: obvodové rovnice podle II. Kirchhoffova zákon pro obvod báze a kolektoru, vypočítejte hodnoty proudu báze v pracovním bodě I_b , proudu kolektoru v pracovním bodě I_c a vypočítejte proudový zesilovací činitel h_{21} .



V uvedeném schématu doplňte označení proudů a napětí I_B, U_{BE}, I_C, U_{CE}

Obvodová rovnice pro obvod báze: podle II Kirchhoffova zákona platí

$$U_{cc} - I_b \cdot R_b - U_{be} = 0 \text{ potom}$$

$$I_b = \frac{U_{cc} - U_{be}}{R_b} = \frac{20V - 0,7V}{147k\Omega} = 131,3\mu A$$

Obvodová rovnice pro obvod kolektoru: podle II. Kirchhoffova zákona platí

$$U_{cc} - I_c \cdot R_c - U_{ce} = 0 \text{ potom}$$

$$I_c = \frac{U_{cc} - U_{ce}}{R_c} = \frac{20V - 10V}{1k\Omega} = 10mA$$

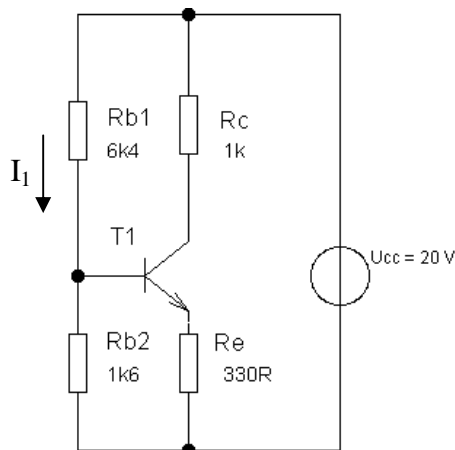
Proudový zesilovací činitel h_{21}

$$h_{21} = \frac{I_c}{I_b} = \frac{10mA}{131,3\mu A} = \frac{10mA}{0,1313mA} = 76,1$$

Pracovní bod P_0 je definován hodnotami

$$[U_{be} = 0,7V; I_b = 131,3\mu A ; U_{ce} = 10V ; I_c = 10 mA]$$

3. V uvedeném schématu jednoho stupně zesilovače v zapojení SE s můstkovou stabilizací pracovního bod označte všechna napětí a proudy, napište rovnice podle Kirchhoffových zákonů pro proudy tranzistoru a napětí v jednotlivých obvodech a vypočítejte parametry pracovního bodu



je dáno: $U_{BE} = 0,7V$; $h_{21} = 100$

Řešení: vypočítáme proud děličem I_1
$$I_1 = \frac{U_{cc}}{R_1 + R_2} = \frac{20}{6,4 + 1,6} mA = 2,5mA$$

následně vypočítáme úbytek napětí na rezistoru R_2

$$U_{R_2} = I_1 \cdot R_2 = 2,5mA \cdot 1,6k\Omega = 4V$$

úbytek napětí na rezistoru R_2 je rozložen na napětí U_{BE} a U_{RE} , potom

$$U_{RE} = U_{R_2} - U_{BE} = 4V - 0,7V = 3,3V$$

ze známé hodnoty emitorového rezistoru a úbytku napětí na tomto rezistoru vypočítáme emitorový proud I_E

$$I_E = \frac{U_{RE}}{R_E} = \frac{3,3V}{330\Omega} = 10mA \text{ při zanedbání proudu báze je možné definovat proud}$$

kolektoru $I_C = I_E = 10mA$ potom proud báze určíme pomocí zadané hodnoty h_{21}

$$I_B = \frac{I_C}{h_{21}} = \frac{10mA}{100} = 100\mu A \text{ tato hodnota splňuje podmínku } I_1 \text{ musí být } 5 \cdot I_B$$

můžeme tedy pokračovat ve výpočtu, dělič v obvodu báze je dostatečně tvrdý.

Pro určení parametrů pracovního bodu musíme ještě vypočítat napětí U_{CE} .

Toto napětí určíme podle II. Kirchhoffova zákona

$$U_{CE} = U_{cc} - I_C \cdot R_C - U_{RE} = 20V - 10mA \cdot 1k\Omega - 3,3V = 6,7V$$

Pracovní bod P_0 je definován

$$P_0 [U_{BE} = 0,7V; I_B = 100 \mu A; U_{CE} = 6,7V; I_C = 10 mA]$$

4. Pro transistor KF 508 s hybridními diferenciálními parametry v klidovém pracovním bodě $U_{ce} = 5V$, $I_c = 1 mA$

$$h_{11} = 2,4 k\Omega; h_{12} = 7,3 \cdot 10^{-4}; h_{21} = 150; h_{22} = 2,4 \cdot 10^{-5} S$$

určete pro $R_g = 10k\Omega$ a $R_z = 10 k\Omega$ hodnoty A_i , A_u , A_p , R_{vst} , a $R_{výst}$. v zapojení SE

Z těchto parametrů vypočítáme determinant matice h:

$$\begin{array}{cc} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{array}$$

$$\Delta h = h_{11} h_{22} - h_{12} h_{21}$$

$$\Delta h_e = 2,4 \cdot 10^3 \cdot 2,4 \cdot 10^{-5} - 150 \cdot 7,3 \cdot 10^{-4} = -0,0519$$

4.1 Vstupní odpor zesilovače

Pro vyjádření vstupního odporu zesilovače, musíme nejdříve určit *vstupní odpor zesilovací součástky* r_1 .

Tranzistor se na svých vstupních svorkách b – e jeví jako nelineární rezistor, jehož velikost v daném pracovním bodě můžeme vyjádřit poměrem odpovídajících vstupních veličin u_{be} a i_b . Vyjádříme tak vstupní odpor součástky z linearizovaných rovnic dle vztahu

$$r_1 = \frac{h_{11e} + \Delta h_e \cdot R_z}{1 + h_{22e} \cdot R_z} = \frac{2,4 \cdot 10^3 + (-0,0519) \cdot 10 \cdot 10^3}{1 + 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot 10 \cdot 10^3} = 1,516 \cdot 10^3 \Omega \quad r_1 = 1,516 k\Omega$$

Z výpočtu je vidět, že tento odpor se řádově příliš neliší od hodnoty parametru h_{11e} . V běžných výpočtech budeme moci obvykle nahradit r_1 parametrem h_{11e} .

Vzhledem k tomu, že v zadání nejsou specifikovány parametry obvodu tranzistoru, budeme vypočítanou hodnotu považovat za vstupní odpor R_{vst} .

4.2 Výstupní odpor zesilovače

Tranzistor se na svých výstupních svorkách c-e chová jako zdroj s vnitřním odporem r_2 , který nazýváme *výstupní odpor zesilovací součástky-tranzistoru*. Jeho velikost závisí na vlastnostech tranzistoru i na rezistoru, který je připojen mezi vstupní svorky tranzistoru b-e, tj. na vnitřním odporu zdroje signálu pro bázi tranzistoru R_g . Z linearizovaných rovnic vyplývá

$$r_2 = \frac{h_{11e} + R_g}{\Delta h_e + h_{22e} \cdot R_g} = \frac{2,4 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^4}{-0,0519 + 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot 10^4} = 65,9 \cdot 10^3 \Omega \quad r_2 = 66 k\Omega$$

4.3 Proudový přenos A_i , proudový zisk A_i (dB)

Jak vyplývá z rozboru funkce tranzistorového zesilovače, zesiluje tranzistor složku i_b vstupního proudu na hodnotu i_c . Tato funkce je vyjádřena z linearizovaných rovnic:

$$\frac{i_c}{i_b} = \frac{h_{21e}}{1 + h_{22e} \cdot R_z}$$

$$A_i' = \frac{i_c}{i_b} = \frac{150}{1 + 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot 1 \cdot 10^4} = 120,96 \quad A_i = 121$$

$$A_i'(dB) = 20 \log A_i' = 20 \log 121 = 41,65 \text{ dB}$$

4.4 Napěťový přenos A_u , napěťový zisk A_u (dB)

Napěťový přenos je dán podle obecné definice napěťového zesílení poměrem výstupního napětí ke vstupnímu u_2/u_1 . Budeme-li předpokládat, že reaktance blokovacího kondenzátoru v emitoru je v dynamickém režimu zanedbatelná ($X_{CE} = 0$), můžeme svorku emitoru považovat za totožnou se společným vodičem zesilovače a nemusíme tak rozlišovat mezi vstupním napětím zesilovače a vstupním napětím aktivního prvku-tranzistoru. Potom mezi výstupním napětím zesilovače a výstupním napětím aktivního prvku-tranzistoru, platí $u_{be} = u_1$ a $u_{ce} = u_2$. Vztah pro napěťový přenos-zesílení, odvozený z linearizovaných rovnic

$$A_u = \frac{u_2}{u_1} = \frac{-h_{21e} \cdot R_z}{h_{11e} + \Delta h e \cdot R_z} = \frac{-150 \cdot 1 \cdot 10^4}{2,4 \cdot 10^3 + (-0,0519 \cdot 1 \cdot 10^4)} = -797,4$$

$$A_u = -797$$

Napěťový zisk zesilovače určíme ze vztahu

$$A_u (dB) = 20 \log A_u = 20 \log 797 = 58 \text{ dB}$$

Záporné znaménko definuje **fázový posuv** mezi vstupním a výstupním napětím, výstupní napětí v zesilovači v zapojení SE má obrácenou okamžitou polaritu proti napětí vstupnímu.

4.5 Výkonový přenos A_p , výkonový zisk A_p (dB)

Výkonový přenos je definován poměrem výstupního výkonu ke vstupnímu výkonu

$$A_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{u_2 \cdot i_2}{u_1 \cdot i_1} = A_u \cdot A_i$$

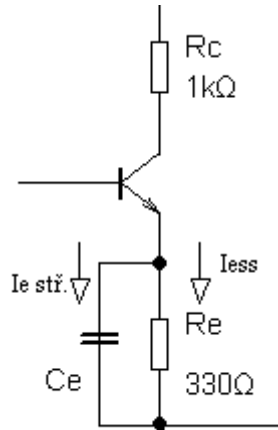
Číselné řešení příkladu

$$A_p = 96437$$

$$A_p = A_i \cdot A_u = |121 \cdot (-797)| = 96437$$
$$A_p (dB) = 10 \log 96437 = 49,84 \text{ dB}$$

$$A_p(dB) = 50 \text{ dB}$$

5. Tranzistorový zesilovač v zapojení SE má v obvodu emitoru stabilizační rezistor s hodnotou $R_e = 330\Omega$. Navrhněte hodnotu emitorového kondenzátoru C_e tak, aby na $f_d = 30\text{ Hz}$ došlo k maximálnímu poklesu přenosové charakteristiky o -3dB .



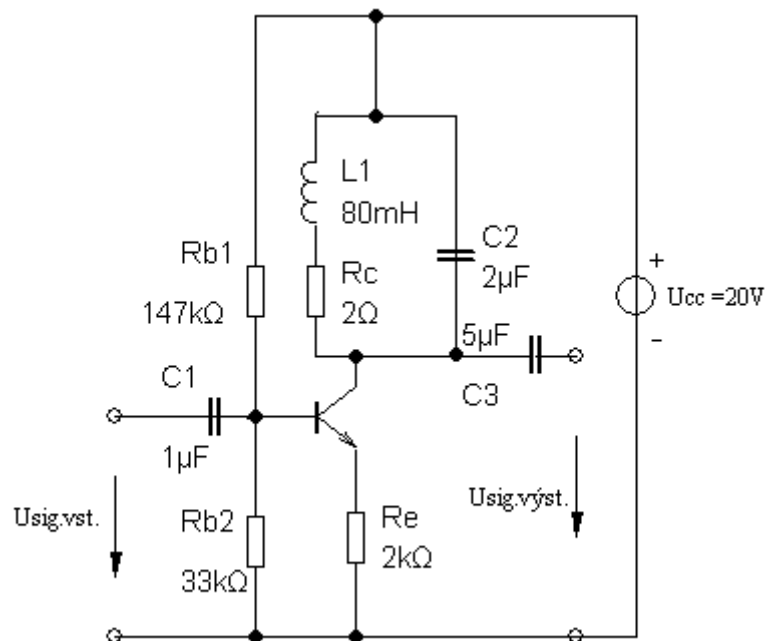
Neblokovaným emitorovým odporem prochází v dynamickém režimu obě složky emitorového proudu. Při průchodu střídavé složky I_e stř. vzniká v závislosti na změnách vstupního signálu změna emitorového proudu, která svými účinky působí proti vstupnímu signálu. Vzniká tak záporná zpětná vazba proudová sériová, která ovlivňuje zesílení hlavně v oblasti dolních kmitočtů přenášeného pásma. Zařadíme-li paralelně k emitorovému odporu kondenzátor, pak střídavá složka proudu prochází kondenzátorem stejnosměrná složka emitorovým odporem. Pro pokles přenosu na f_d o -3 dB platí podmínka přenosu děličem $X_C = R_e$. Z této podmínky vycházíme při výpočtu. Ve skutečném obvodu, ale musíme respektovat i další kapacity v obvodu.

Z podmínky $X_C = R_e$ vypočítáme $X_{CE} = \frac{1}{j\omega C_E} = R_e$ potom

$$C_e = \frac{1}{\omega R_e} = \frac{1}{2\pi f_d \cdot 330} = 16\mu F$$

6. Jednostupňový selektivní zesilovač v zapojení SE, se vstupním signálovým napětím $U_{sig.vst.} = 40 \text{ mV}$, má v obvodu kolektoru zařazen selektivní rezonanční obvod se zadanými parametry. Na základě těchto parametrů určete:

- kmitočet f_0 při kterém bude zesílení maximální
- zesílení zesilovače A_u
- výstupní signálové napětí $U_{sig.výst.}$
- fázový posuv



a) výpočet kmitočtu

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} = \frac{1}{6,28 \cdot \sqrt{8 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}} = 398 \text{ Hz}$$

b) pro výpočet zesílení zesilovače je nutné vypočítat impedanci zátěže tvořené paralelním rezonančním obvodem Z_o

$$Z_o = \frac{L}{R.C} = \frac{8 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 20 \text{ k}\Omega$$

pro stanovení napěťového zesílení můžeme použít vztah

$$A_u = \frac{R_c}{R_e} = \frac{Z_o}{R_e} = \frac{20 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega} = 10$$

c) výstupní signálové napětí $U_{sig.výst.} = A_u \cdot U_{sig.vst.} = 10 \cdot 40 \text{ mV} = 400 \text{ mV}$

d) vzhledem k zapojení zesilovač SE je fázový posuv $\varphi = \pi = 180^\circ$