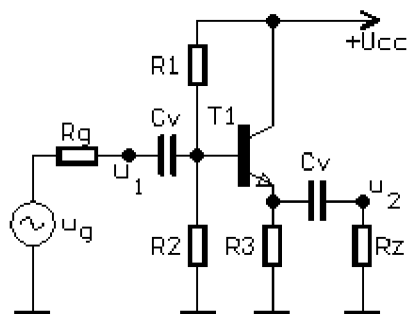


Příklady výpočtů tranzistorových zesilovačů

Příklad č.1

Vypočítejte Z_{in} , Z_{out} , u_2 a A_u



Hodnoty součástek:

$h_{11e} = 2500\Omega$	$h_{12e} = 0$	$h_{21e} = 299$	$h_{22e} = 250\mu S$
$R_1 = 68k$	$R_2 = 27k$	$R_3 = 1k$	$R_z = 220\Omega$
$C_v = 10\mu F$	$R_g = 10k$	$u_G = 5V$	

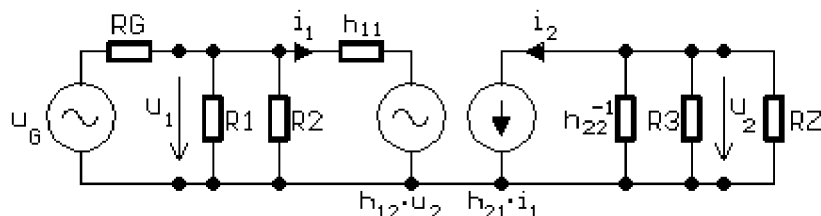
Řešení:

Ze schématu je zřejmé, že se jedná o tranzistor v zapojení se společným kolektorem, je tedy potřeba nejprve provést přepočítání zadaných h-parametrů z SE na SK:

$$h_{11k} = h_{11e} = 2500\Omega \qquad h_{12k} = 1 - h_{12e} = 1$$

$$h_{21k} = -(1 + h_{21e}) = -300 \qquad h_{22k} = h_{22e} = 250\mu S$$

Dalším krokem je nakreslení schéma s náhradním linearizovaným modelem tranzistoru:



Následuje výpočet požadovaných parametrů:

Výpočet Z_{in} :

Nejprve provedeme výpočet vstupní impedance vlastního tranzistoru:

$$Z_{mT} = h_{11k} - \frac{h_{12k}h_{21k}}{h_{22k} + Y_L}$$

Y_L je zatěžovací admittance, tj. v tomto případě součet admittance odporu R_3 a admittance zátěže:

$$Y_L = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_z} = \frac{1}{1000} + \frac{1}{220} = 5,545 \cdot 10^{-3}$$

$$Y_L = 5,545 \cdot 10^{-3} S$$

Nyní již můžeme Z_{inT} vypočítat:

$$Z_{inT} = 2500 - \frac{1 \cdot (-300)}{250 \cdot 10^{-6} + 5,545 \cdot 10^{-3}} = 2500 + \frac{300}{5,795 \cdot 10^{-3}} = 54269$$

$$Z_{inT} = 54269 \Omega$$

Celková vstupní impedance zesilovače je dána paralelní kombinací Z_{inT} , R_1 a R_2 :

$$Z_{in} = \left(\frac{1}{Z_{inT}} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{54269} + \frac{1}{68000} + \frac{1}{27000} \right)^{-1} = 14251$$

$$\underline{\underline{Z_{in} = 14251 \Omega}}$$

Výpočet Z_{out} :

Nejprve provedeme výpočet výstupní impedance vlastního tranzistoru:

$$Z_{outT} = \left(h_{22k} - \frac{h_{12k} h_{21k}}{h_{11k} + Z_G} \right)^{-1}$$

Z_G je impedance zdroje signálu na vstupu tranzistoru, tj. v tomto případě paralelní kombinace odporu generátoru R_G a odporů R_1 a R_2 :

$$Z_G = \left(\frac{1}{R_G} + \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{10000} + \frac{1}{68000} + \frac{1}{27000} \right)^{-1} = 6590$$

$$Z_G = 6590 \Omega$$

Nyní již můžeme Z_{outT} vypočítat:

$$Z_{outT} = \left(250 \cdot 10^{-6} - \frac{1 \cdot (-300)}{2500 + 6590} \right)^{-1} = \left(250 \cdot 10^{-6} + \frac{300}{9090} \right)^{-1} = 30,1$$

$$Z_{outT} = 30,1 \Omega$$

Celková výstupní impedance zesilovače je dána paralelní kombinací Z_{outT} a R_3 :

$$Z_{out} = \left(\frac{1}{Z_{outT}} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{30,1} + \frac{1}{1000} \right)^{-1} = 29,2$$

$$\underline{\underline{Z_{out} = 29,2 \Omega}}$$

Výpočet u_2 :

Nejprve je potřeba vypočítat proud i_1 do báze tranzistoru. K tomu potřebujeme znát napětí na bázi tranzistoru, v tomto případě je rovno vstupnímu napětí u_1 zesilovače:

$$u_1 = u_G \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_G} = 5 \cdot \frac{14251}{14251 + 10000} = 2,938$$

$$u_1 = 2,938V$$

Z něj je možno vypočítat hledaný proud do báze:

$$i_1 = \frac{u_1}{Z_{inT}} = \frac{2,938}{54269} = 54 \cdot 10^{-6}$$

$$i_1 = 54 \mu A$$

Následně můžeme vypočítat proud i_2 :

$$i_2 = h_{21k} i_1 = -300 \cdot 54 \cdot 10^{-6} = -16,2 \cdot 10^{-3}$$

$$i_2 = -16,2 mA$$

Proud i_2 vyvolává na paralelní kombinaci h_{22k}^{-1} , R_3 a R_Z úbytek napětí, který je roven hledanému napětí u_2 :

$$u_2 = -i_2 \left(h_{22k} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_Z} \right)^{-1} = 16,2 \cdot 10^{-3} \left(250 \cdot 10^{-6} + \frac{1}{1000} + \frac{1}{220} \right)^{-1} =$$

$$= 2,796$$

$$\underline{\underline{u_2 = 2,796V}}$$

Výpočet A_u :

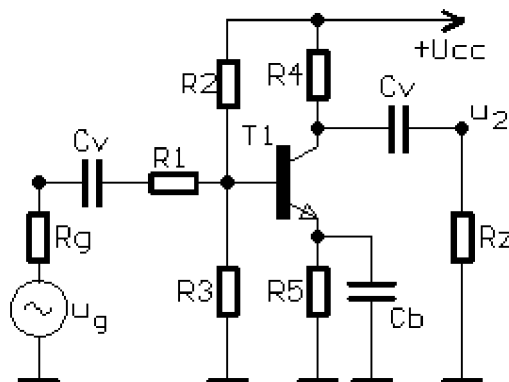
Napěťové zesílení vypočteme jako poměr napětí na výstupu zesilovače ku napětí na jeho vstupu:

$$A_u = \frac{u_2}{u_1} = \frac{2,796}{2,938} = 0,952$$

$$\underline{\underline{A_u = 0,952}}$$

Příklad č.2

Vypočítejte Z_{in} , Z_{out} , u_2 a A_u



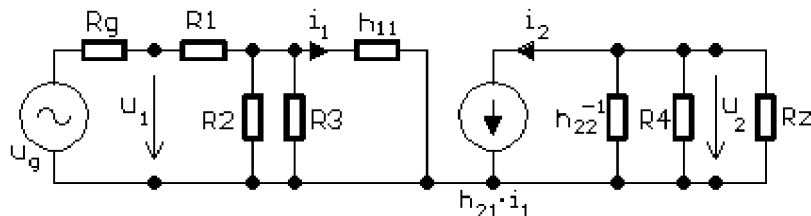
Hodnoty součástek:

$h_{11e} = 3000\Omega$	$h_{12e} = 0$	$h_{21e} = 250$	$h_{22e} = 250\mu S$
$R_1 = 1k$	$R_2 = M22$	$R_3 = 68k$	$R_4 = 2k7$
$R_5 = 820\Omega$	$R_Z = 4k7$	$C_V = 10\mu F$	$C_b = 10\mu F$
$R_G = 600\Omega$	$u_G = 300mV$		

Řešení:

Ze schématu je zřejmé, že se jedná o tranzistor v zapojení se společným emitorem. Zadány jsou h-parametry pro společný emitor a tudíž je není potřeba přepočítávat.

Prvním krokem je tedy nakreslení schéma s náhradním linearizovaným modelem tranzistoru:



Následuje výpočet požadovaných parametrů:

Výpočet Z_{in} :

Nejprve provedeme výpočet vstupní impedance vlastního tranzistoru:

$$Z_{inT} = h_{11e} - \frac{h_{12e} h_{21e}}{h_{22e} + Y_L}$$

Vzhledem k nulové hodnotě prvku h_{12e} je výpočet triviální:

$$Z_{inT} = 3000 - 0 = 3000$$

$$Z_{inT} = 3000\Omega$$

Celková vstupní impedance zesilovače je dána odporem R_1 sériově spojeným s paralelní kombinací Z_{inT} , R_2 a R_3 :

$$Z_{in} = R_1 + \left(\frac{1}{Z_{inT}} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} = 1000 + \left(\frac{1}{3000} + \frac{1}{220000} + \frac{1}{68000} \right)^{-1} =$$

$$= 1000 + 2836 = 3836$$

$$\underline{\underline{Z_{in} = 3836\Omega}}$$

Výpočet Z_{out} :

Nejprve provedeme výpočet výstupní impedance vlastního tranzistoru:

$$Z_{outT} = \left(h_{22e} - \frac{h_{12e}h_{21e}}{h_{11e} + Z_G} \right)^{-1}$$

Stejně jako u vstupní impedance tranzistoru je tento výpočet triviální:

$$Z_{outT} = (250 \cdot 10^{-6} - 0)^{-1} = 4000$$

$$Z_{outT} = 4000\Omega$$

Celková výstupní impedance zesilovače je dána paralelní kombinací Z_{outT} a R_4 :

$$Z_{out} = \left(\frac{1}{Z_{outT}} + \frac{1}{R_4} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{4000} + \frac{1}{2700} \right)^{-1} = 1612$$

$$\underline{\underline{Z_{out} = 1612\Omega}}$$

Výpočet u_2 :

Nejprve vypočteme vstupní napětí u_1 zesilovače:

$$u_1 = u_G \frac{Z_{in}}{Z_{in} + R_G} = 300 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{3836}{3836 + 600} = 259,4 \cdot 10^{-3}$$

$$u_1 = 259,4mV$$

Z něj lze vypočítat proud i_1 do báze tranzistoru (svorka označuje část odpovídající napětí u_B na bázi tranzistoru):

$$i_1 = \frac{u_1}{Z_{in}} \cdot \underbrace{\left(\frac{1}{Z_{inT}} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1}}_{u_B} \cdot \frac{1}{Z_{inT}} = \frac{259,4 \cdot 10^{-3}}{3836} \cdot 2836 \cdot \frac{1}{3000} =$$

$$= 63,93 \cdot 10^{-6}$$

$$i_1 = 63,93\mu A$$

Následně můžeme vypočítat proud i_2 :

$$i_2 = h_{21e} i_1 = 250 \cdot 63,93 \cdot 10^{-6} = 15,98 \cdot 10^{-3}$$

$$i_2 = 15,98mA$$

Proud i_2 vyvolává na paralelní kombinaci h_{22e}^{-1} , R_3 a R_Z úbytek napětí, který je roven hledanému napětí u_2 :

$$u_2 = -i_2 \left(h_{22e}^{-1} + \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_Z} \right)^{-1} = -15,98 \cdot 10^{-3} \left(250 \cdot 10^{-6} + \frac{1}{2700} + \frac{1}{4700} \right)^{-1}$$

$$= -15,98 \cdot 10^{-3} \cdot 1200,5 = -19,184$$

$$\underline{\underline{u_2 = -19,184V}}$$

Výpočet A_u :

Napěťové zesílení vypočteme jako poměr napětí na výstupu zesilovače ku napětí na jeho vstupu:

$$A_u = \frac{u_2}{u_1} = \frac{-19,184}{0,2594} = -73,95$$

$$\underline{\underline{A_u = -73,95}}$$