

Presentace semestrální práce z X31EOS

Zadání č.5 - Kombinovaný
zesilovací stupeň SC-SB

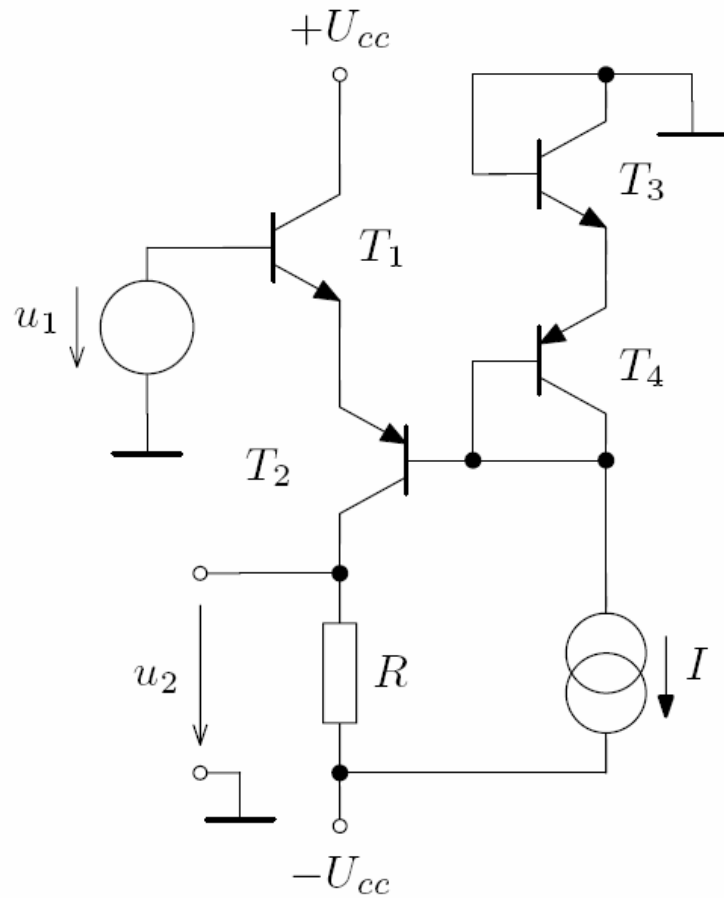
Zpracoval Tomáš Hejda

26. dubna 2007

Zadání

- Zapojení zesilovače je uvedeno na obrázku 5. Navrhněte vhodnou velikost odporu R . Stejnoseměrný proudový zesilovací činitel obou tranzistorů uvažujte $B_F = h_{21E} = 200$. Vypočítejte hodnoty přenosu napětí, vstupního a výstupního odporu zesilovače pro malé změny obvodových veličin ve středním kmitočtovém pásmu.
- Vypočítané hodnoty ověřte analýzou zapojení v programu *WinSpice*. Model tranzistoru volte podle typu BC549B, resp. BC559B, přičemž parametr B_F změňte na hodnotu 200. Počítačovou analýzou dále zjistěte horní mezní kmitočet celého zapojení i každého stupně zvlášť. Obdržené výsledky komentujte.
- Změnou hodnot I , R , případně U_{cc} se pokuste zvýšit horní mezní kmitočet zapojení při shodných modelech tranzistorů. Výsledky práce doložte analýzou v programu *WinSpice*.

Zadání



$$U_{cc} = 10 \text{ V}$$

$$I = 2 \text{ mA}$$

$$B_F = \beta = 200$$

$$U_A \rightarrow \infty$$

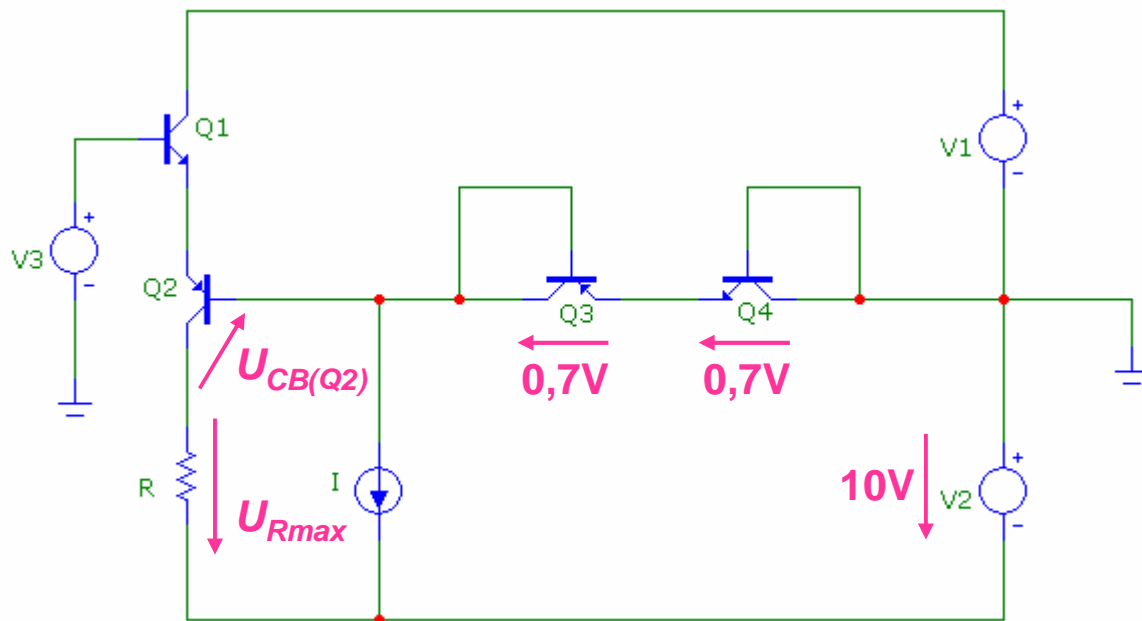
Obrázek 5: Kombinovaný zesilovací stupeň SC-SB.

Princip funkce

- Tranzistory Q3 a Q4 v diodovém zapojení a zdroj proudu I stabilizují pracovní bod tranzistoru:
 - Proudový zdroj $I = 2\text{mA}$ dodává tranzistorům v diodovém zapojení Q3 a Q4 stále stejný proud přibližně rovný 2mA (bázové proudy lze zanedbat). Tento proud určuje kolektorový proud, který je také přibližně rovný 2mA . Proto kolektorový proud nezávisí na B_F tranzistorů. Při změně B_F se nepřímo úměrně změní bázový proud.
 - Tranzistory Q3 a Q4 v diodovém zapojení a zdroj proudu I teplotně stabilizují pracovní bod tranzistoru.
- Odpor R je třeba volit tak, aby se na přechodu BC PNP tranzistoru Q2 neobjevilo kladné napětí, které by způsobilo přechod Q2 do režimu saturace, což by vedlo ke zvýšení bázového proudu a k poklesu zesílení.
- Obvod zesiluje napětí a neinvertuje ho:
 - Výstupní odpor Q1 je přibližně rovný vstupnímu odporu Q2. Vstupní napětí se rozdělí mezi tyto dva odpory a přenos napětí tranzistoru Q1 je tedy 0,5.
 - Zvýšení napětí na vstupu způsobí zvýšení $u_{BE(Q2)}$, což vede ke zvýšení proudu i_E a i_C . Tím dojde k vzrůstu napětí na zatěžovacím odporu R , což má za následek vzrůst výstupního napětí.

Návrh hodnoty odporu R

- Určení maximálního napětí na odporu R



tranzistor Q1 – SC

tranzistor Q2 – SB

Podmínka:

$U_{CB(Q2)} < 0V$, aby se Q2 nedostal do saturace.

$$10V = U_{Rmax} - U_{CB(Q2)} + 0,7V + 0,7V$$

$$U_{CB(Q2)} = 0V$$

$$U_{Rmax} = 8,6V$$

Návrh hodnoty odporu R

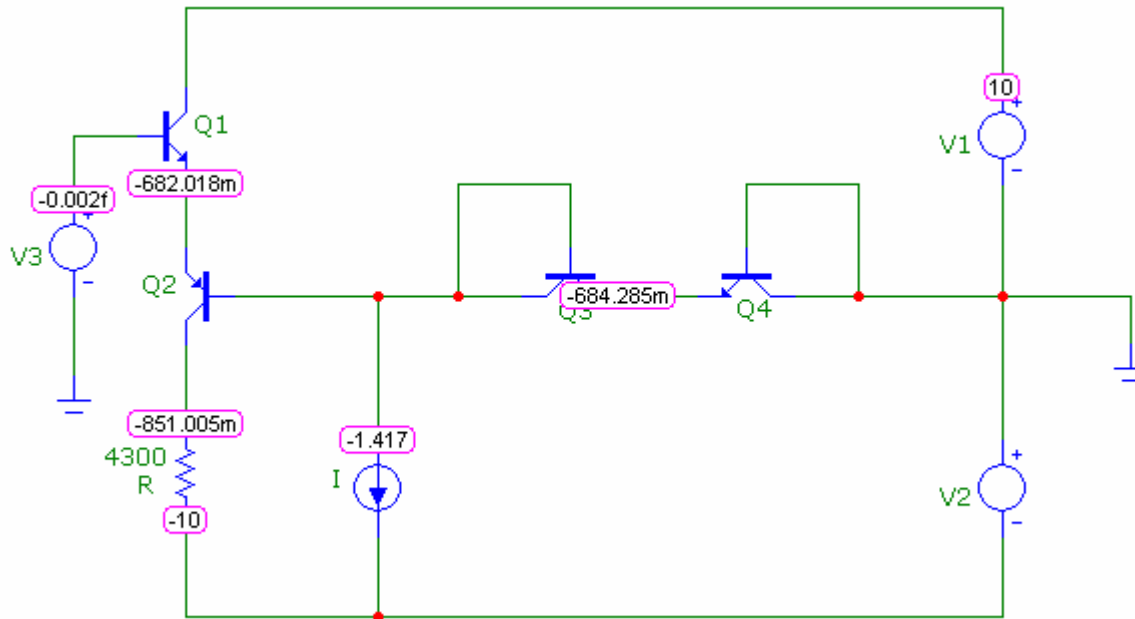
- Určení maximální hodnoty odporu R

$$R_{max} = \frac{U_{Rmax}}{I_c} = \frac{8,6}{2 \cdot 10^{-3}} \Omega = 4300 \Omega$$

Odpor volíme na hodnotu $R = 3300 \Omega$.

Ověření výpočtů simulací v Micro-cap

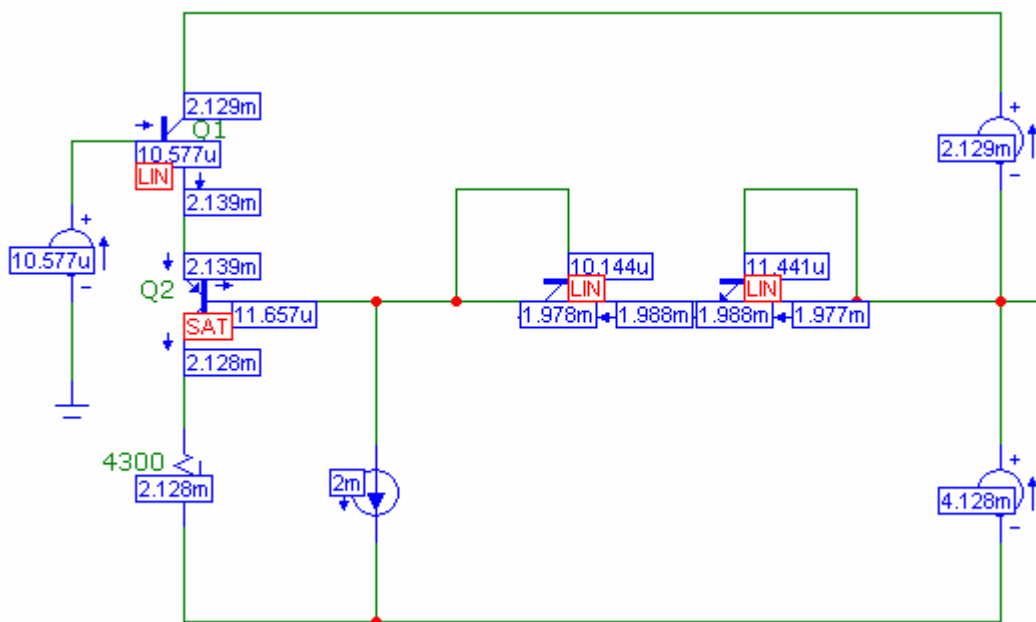
- Ověření napětí při $R = 4300\Omega$



$$U_{Rmax} = -0,871\text{V} + 10\text{V} = 9,129\text{V}$$

Ověření výpočtů simulací v Micro-cap

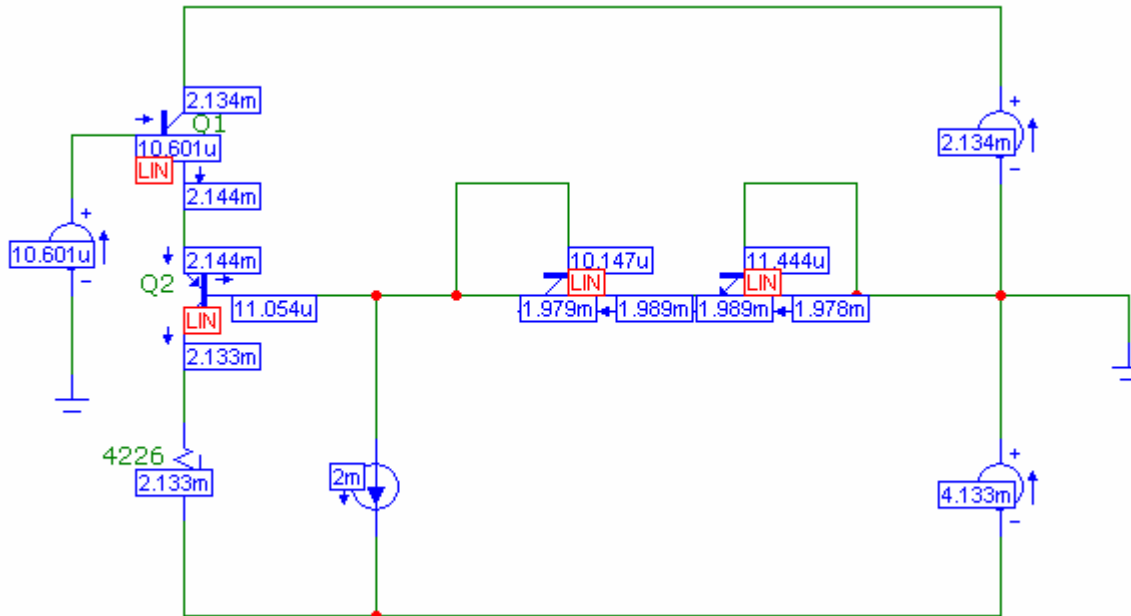
- Ověření proudu a režimu tranzistorů při $R_{max} = 4300\Omega$



Tranzistor Q2 pracuje v režimu saturace, proto maximální hodnota odporu R , při kterém Q2 pracuje ještě v lineárním režimu, bude menší, konkrétně $R_{max} = 4226\Omega$ (viz další strana).

Ověření výpočtů simulací v Micro-cap

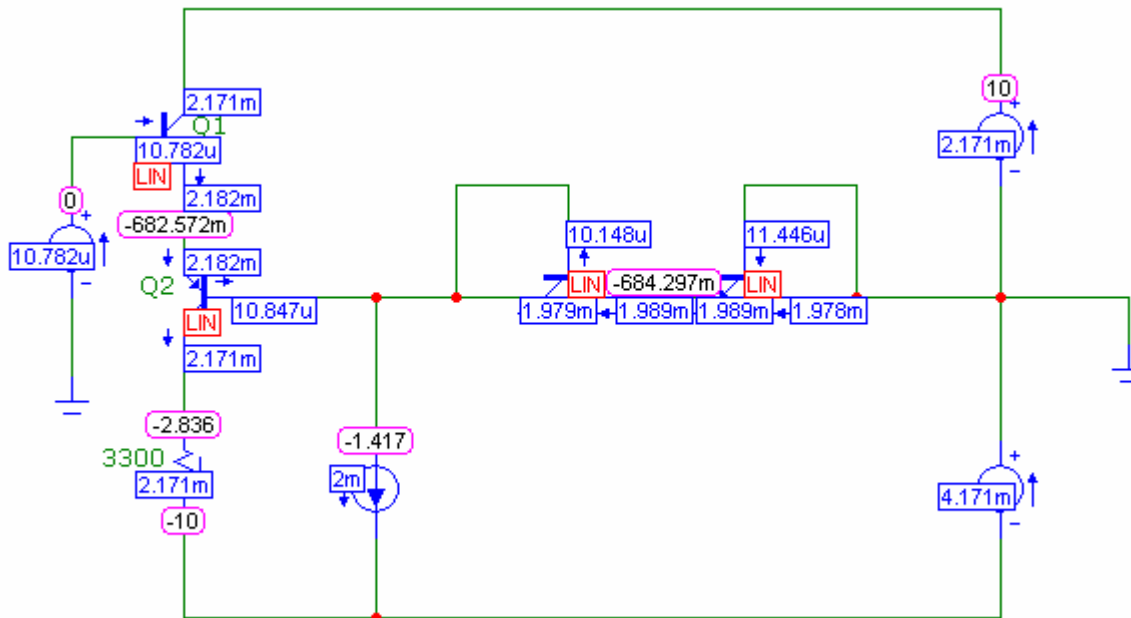
- Ověření R_{max}



Tranzistor Q2 pracuje v normálním aktivním režimu ještě při $R_{max} = 4226\Omega$.

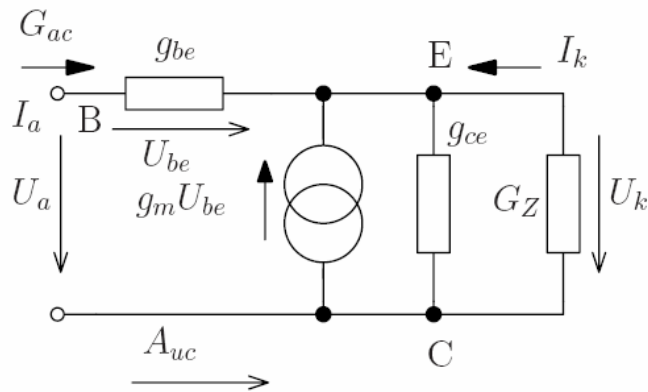
Ověření výpočtů simulací v Micro-cap

- Napětí, proud a režim tranzistorů při zvoleném $R = 3300\Omega$

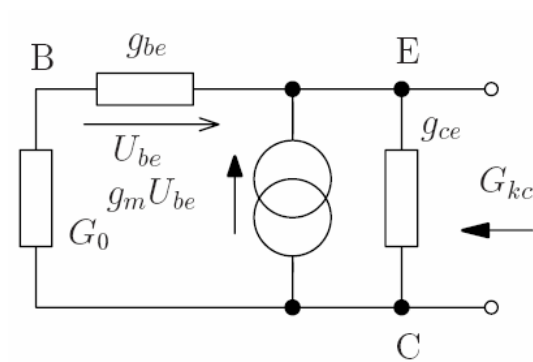


Výpočet přenosu napětí

- Výpočet A_{uC}



lineární odporový model SC pro určení vstupní vodivosti a přenosu napětí



lineární odporový model SC pro určení výstupní vodivosti

Výpočet přenosu napětí

- Výpočet A_{uC}

Na základě nerovností

$$g_m \gg g_{be} \gg g_{ce} \gg g_{cb}$$

Lze psát vztah pro A_{uC} :

$$A_{uC} \approx \frac{g_m}{g_m + G_{z(Q1)}}$$

$$G_{z(Q1)} = G_{aB} \approx \frac{g_m G_{z(Q2)}}{g_{ce} + G_{z(Q2)}}$$

$$G_{z(Q2)} = \frac{1}{R} = \frac{1}{3300} \text{ S}$$

$$g_{ce} = \frac{I_{CP}}{V_A} = \frac{2,171 \cdot 10^{-3}}{51,26} \text{ S} = 4,2353 \cdot 10^{-5} \text{ S}$$

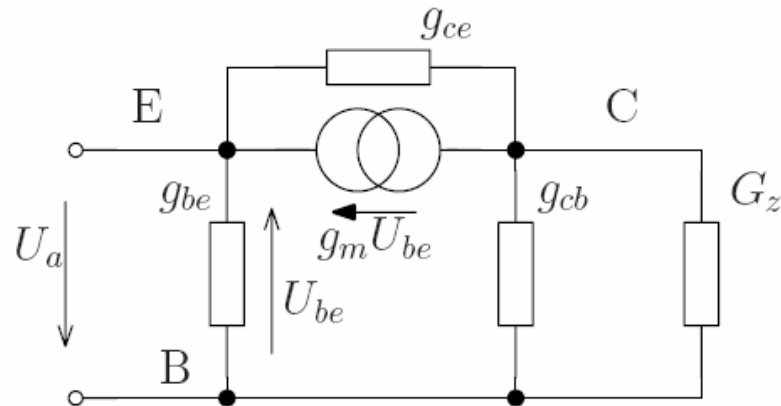
(Earlyho napětí BC559B je $V_A = 51,26\text{V}$.)

$$G_{aB} \approx \frac{0,08684 \cdot \frac{1}{3300}}{4,2353 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{3300}} \text{ S} = 0,07619 \text{ S}$$

$$A_{uC} \approx \frac{0,08684}{0,08684 + 0,07619} = 0,53$$

Výpočet přenosu napětí

- Výpočet A_{uB}



lineární odporový model SB pro určení vstupní vodivosti a přenosu napětí (model pro určení výstupní vodivosti se dostane obdobně jako v případě SC)

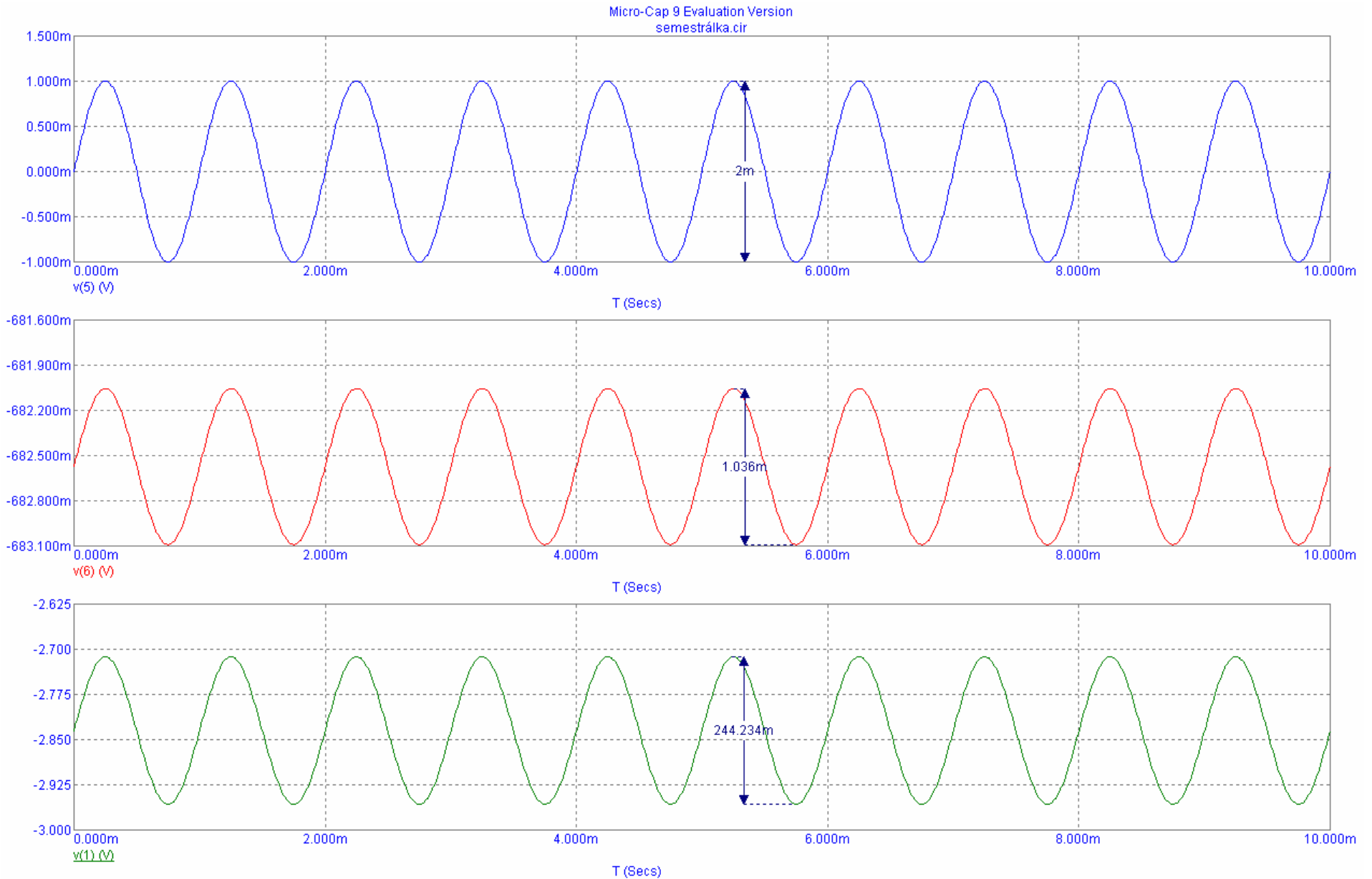
$$A_{uB} \approx \frac{g_m}{g_{ce} + G_z} = \frac{0,08684}{4,2353 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{3300}} = 251,43$$

Výpočet přenosu napětí

- Výsledný přenos napětí

$$A_u = A_{uC} A_{uB} = 0,53 \cdot 251,43 = 133,26$$

Ověření výpočtů simulací v Micro-cap



Ověření výpočtů simulací v Micro-cap

- Přenos napětí

$$A_u = \frac{244,234}{2} = 122,117$$

Výpočet vstupního odporu

$$R_{in} = R_{ac} = \frac{1}{g_{be}} + \beta R_z = \frac{\beta}{g_m} + \beta R_{aB} = \frac{200}{0,08684} + 200 \cdot \frac{1}{0,07619} \Omega = 4928\Omega$$

Výpočet výstupního odporu

$$G_{kB} = \frac{g_{ce}(G_0 + g_{be}) + g_{cb}(G_0 + g_m + g_{be} + g_{ce})}{G_0 + g_m + g_{be} + g_{ce}} \approx \frac{g_{ce}(G_0 + g_{be}) + g_{cb}(G_0 + g_m)}{G_0 + g_m}$$

Pokud je zesilovač buzen zdrojem blízcím se zdroji proudu ($G_0 \ll g_m$) nebo zdrojem blízcím se zdroji napětí ($G_0 \rightarrow g_m$), lze vztah zjednodušit:

$$G_{kB} \approx \frac{(G_0 + g_{be})g_{ce}}{g_m} \rightarrow \frac{g_{ce}}{\beta} \quad \text{pro } G_0 \ll g_m,$$

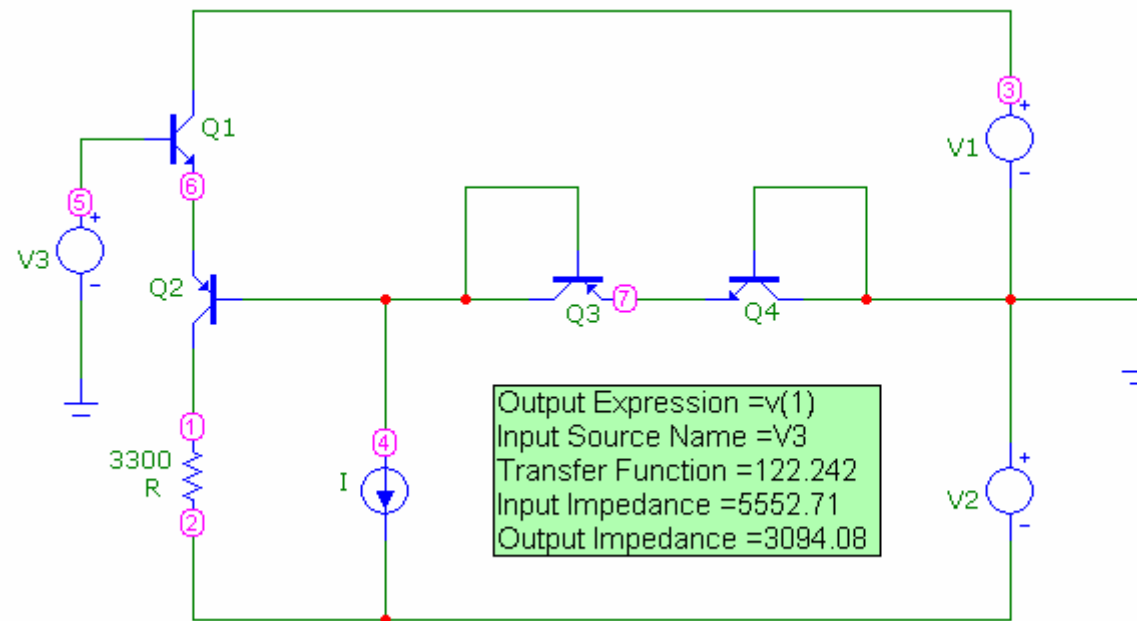
$$G_{kB} \rightarrow g_{ce} \quad \text{pro } G_0 \rightarrow g_m.$$

V našem případě se $G_0 = G_{kC} \approx g_m = 0,08684\text{S}$.

$$G_{kB} \approx g_{ce} = 4,2353 \cdot 10^{-5} \text{S} \quad R_{out} = R_{kB} \parallel R = \frac{23611 \cdot 3300}{23611 + 3300} \Omega = 2895\Omega$$

Ověření výpočtů simulací v Micro-cap

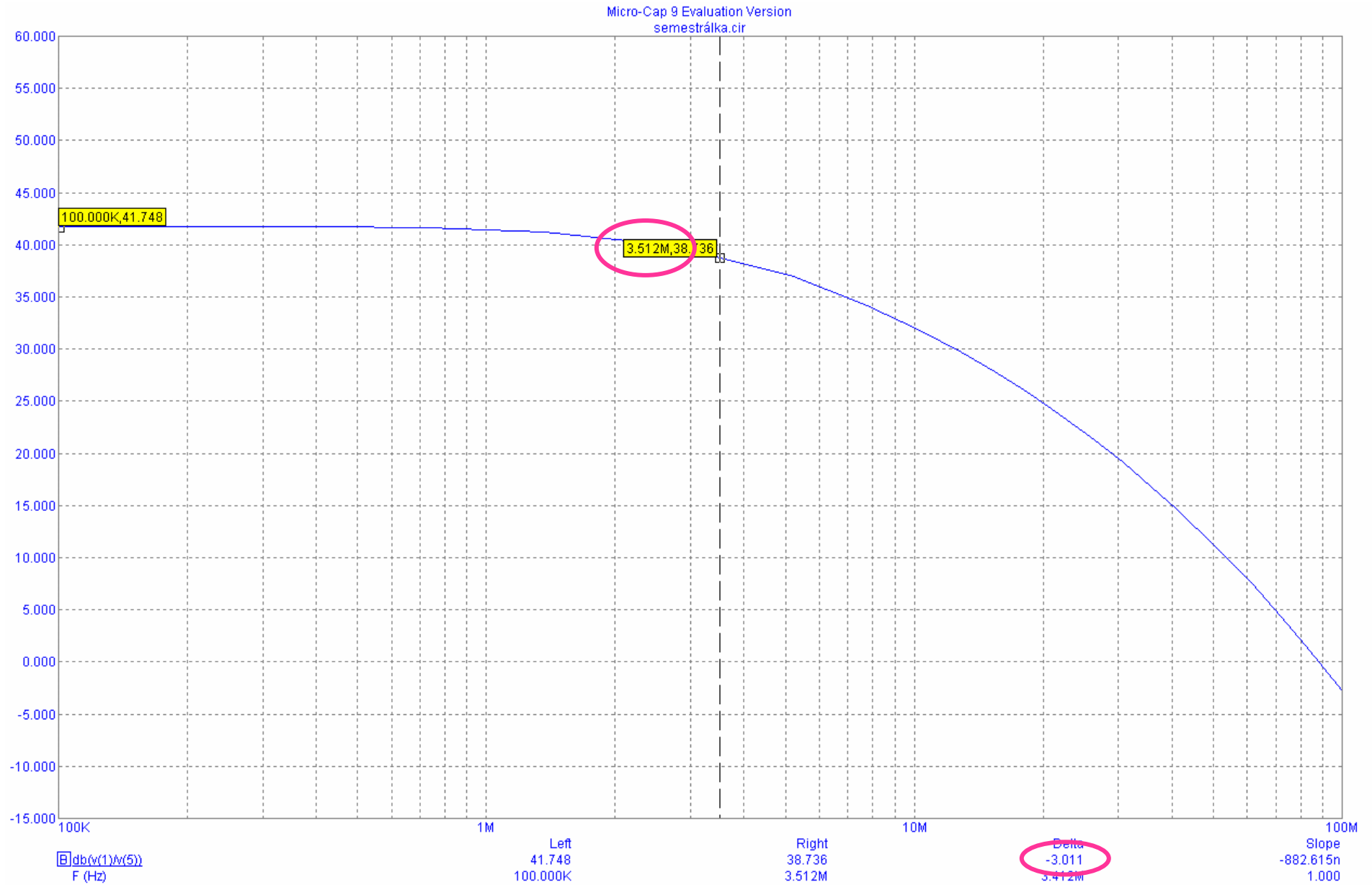
- Ověření A_u , R_{in} a R_{out}



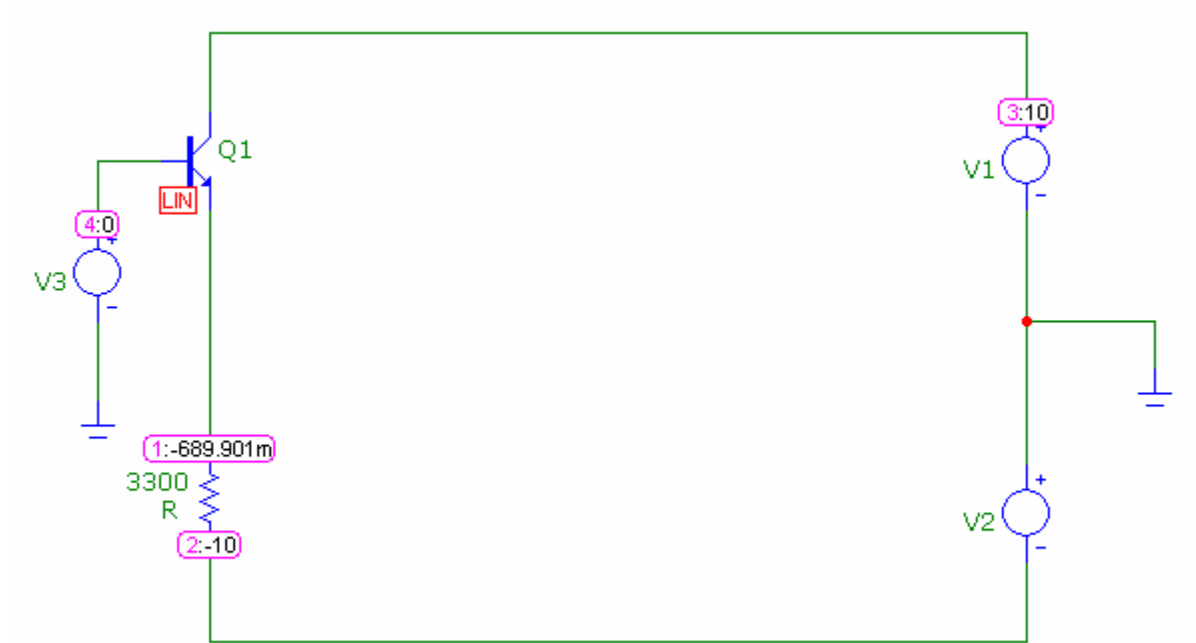
Určení horních mezních kmitočtů

Horní mezní kmitočet je definován poklesem přenosu napětí o 3dB.

Horní mezní kmitočet celého zapojení

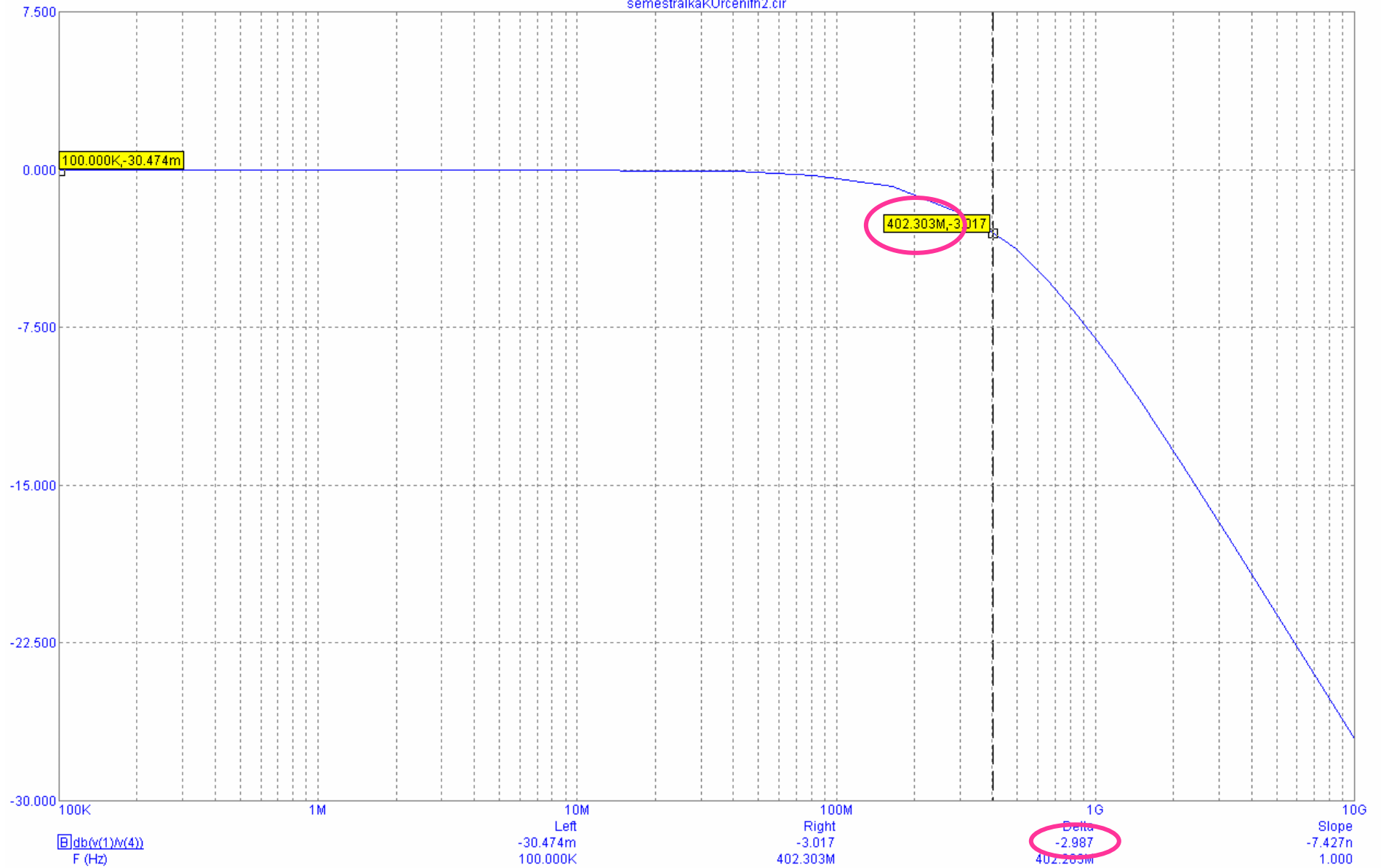


Horní mezní kmitočet SC

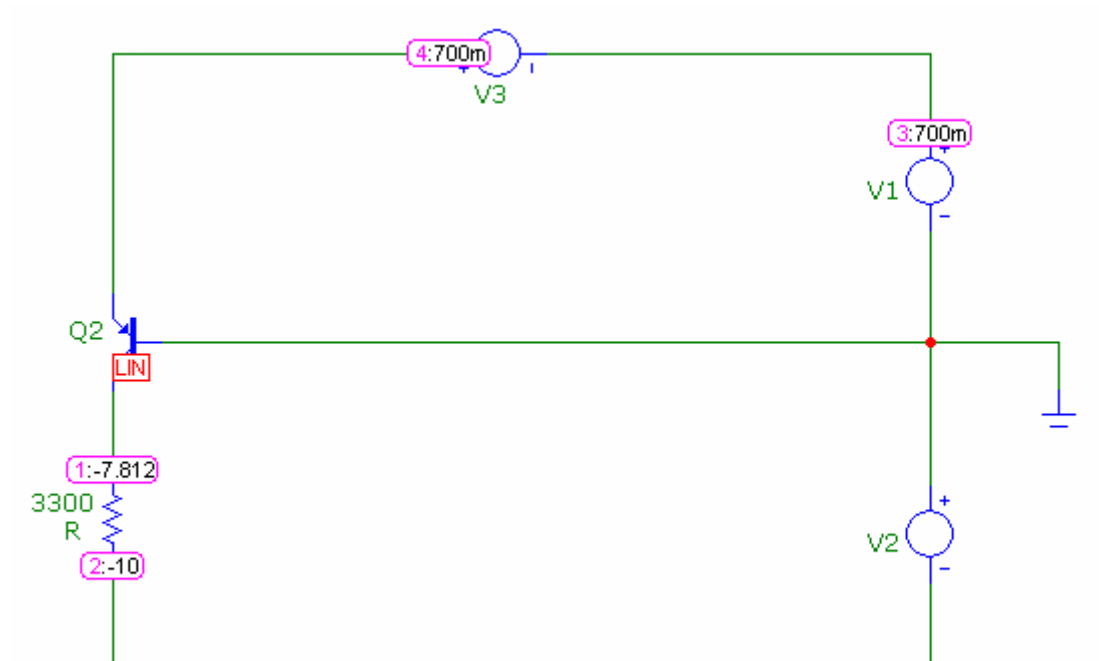


Horní mezní kmitočet SC

Micro-Cap 9 Evaluation Version
semestrálkaUrčenířh2.cir

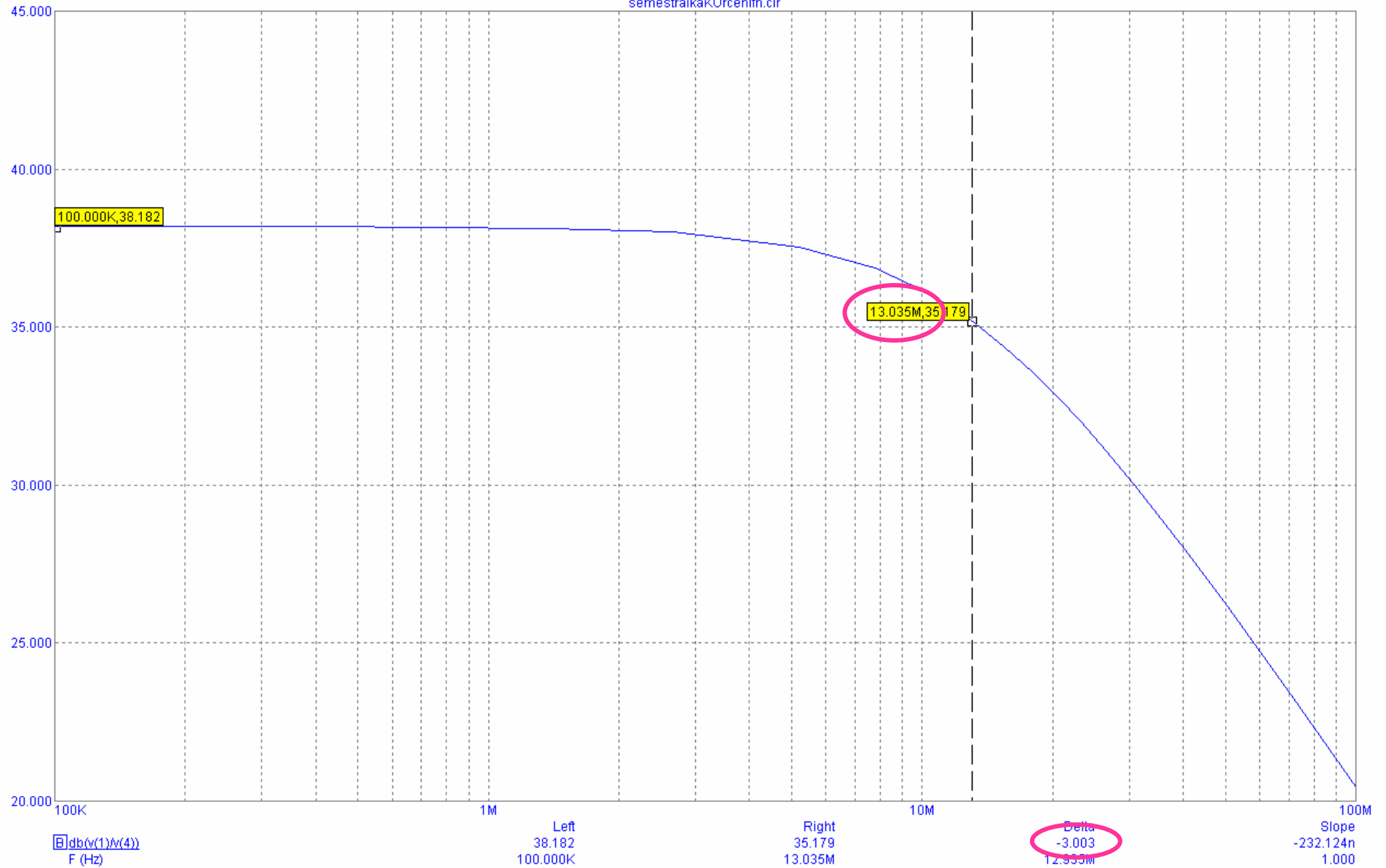


Horní mezní kmitočet SB



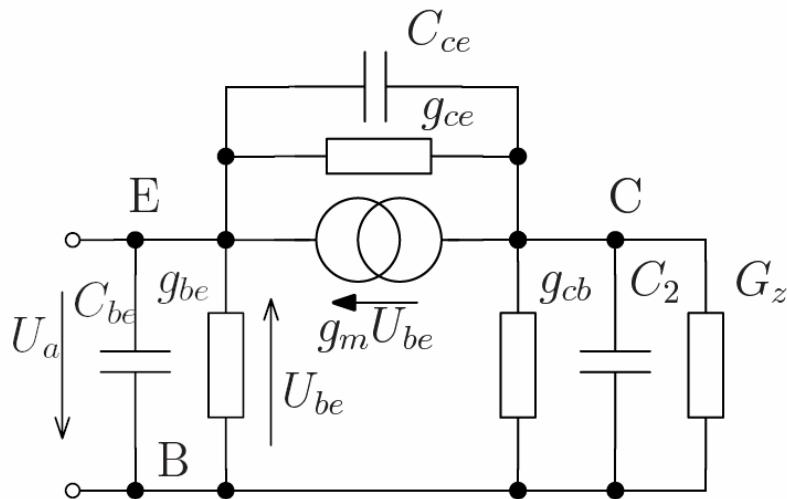
Horní mezní kmitočet SB

Micro-Cap 9 Evaluation Version
semestrálkaKUrčeníř.cir



Zvýšení horního mezního kmitočtu

$$A_{uB}(p) \approx \frac{g_m + pC_{ce}}{g_{ce} + G_z + p(C_{ce} + C_2)} = \frac{C_{ce} \left(p + \frac{g_m}{C_{ce}} \right)}{(C_{ce} + C_2) \left(p + \frac{g_{ce} + G_z}{C_{ce} + C_2} \right)} = \frac{g_m}{g_{ce} + G_z} \frac{1 + \frac{p}{\frac{g_m}{C_{ce}}}}{1 + \frac{p}{\frac{g_{ce} + G_z}{C_{ce} + C_2}}}$$



$$\hat{A}_{uB}(j\omega) \approx \frac{g_m}{g_{ce} + G_z} \frac{1 + \frac{j\omega}{\frac{g_m}{C_{ce}}}}{1 + \frac{j\omega}{\frac{g_{ce} + G_z}{C_{ce} + C_2}}}$$

Zvýšení horního mezního kmitočtu

$$A_{uB}(\omega) \approx \frac{g_m}{g_{ce} + G_z} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\frac{g_m}{C_{ce}}} \right)^2} \cdot \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\frac{g_{ce} + G_z}{C_{ce} + C_2}} \right)^2} \right)^{-1}$$

$$A_{uBdB}(\omega) \approx 20 \log \frac{g_m}{g_{ce} + G_z} + 20 \log \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\frac{g_m}{C_{ce}}} \right)^2} - 20 \log \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\frac{g_{ce} + G_z}{C_{ce} + C_2}} \right)^2} \right)$$

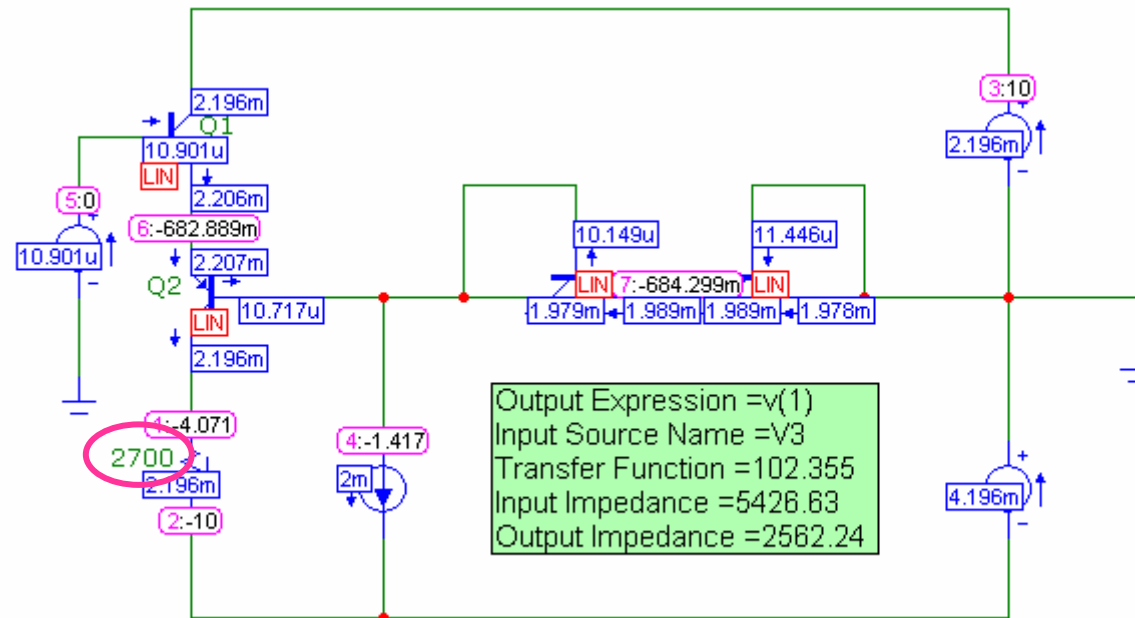
Zvýšení horního mezního kmitočtu

$$\omega_M = \frac{g_{ce} + G_z}{C_{ce} + C_2}$$

Zvýšení horního mezního kmitočtu tedy dosáhneme:

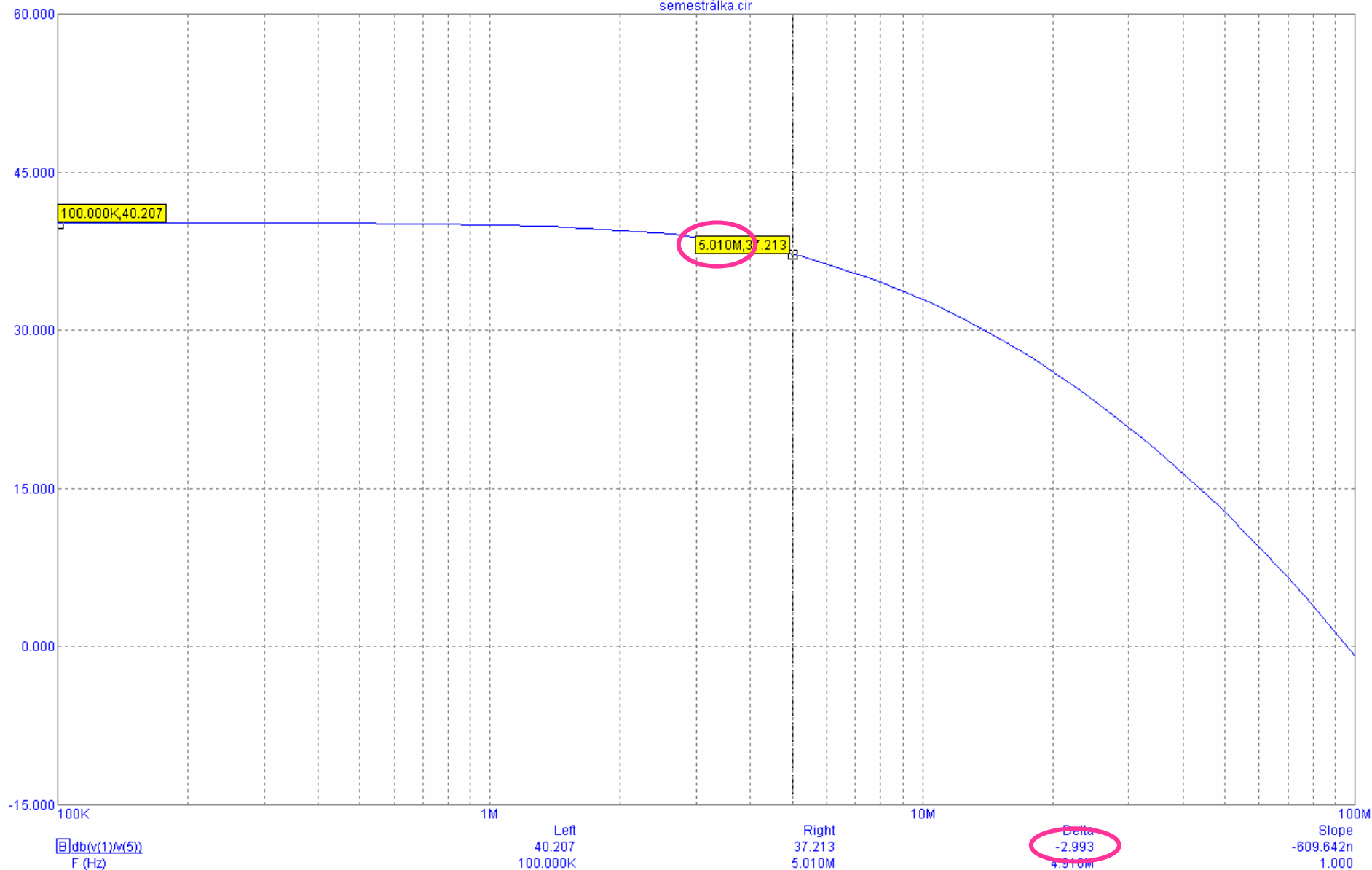
- 1) snížením hodnoty odporu R ,
- 2) snížením proudu I – dojde ke snížení bázových proudů a tudíž i kolektorového proudu, což vede ke zvýšení závěrného napětí $U_{CB(Q2)}$, tím se rozšíří OPN a v důsledku toho klesne bariérová kapacita. Výsledkem je zvýšení horního mezního kmitočtu.
- 3) Zvýšením napájecího napětí – dojde ke zvýšení závěrného napětí $U_{CB(Q2)}$, dále viz bod 2).

Zvýšení horního mezního kmitočtu změnou odporu R

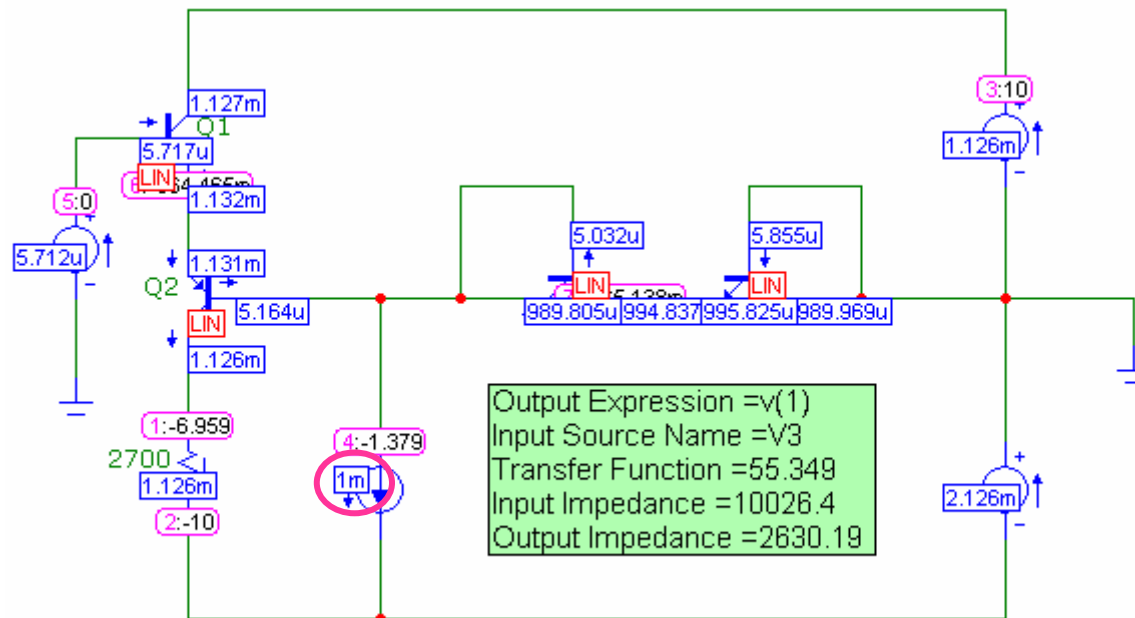


Zvýšení horního mezního kmitočtu změnou odporu R

Micro-Cap 9 Evaluation Version
semestrálka.cir

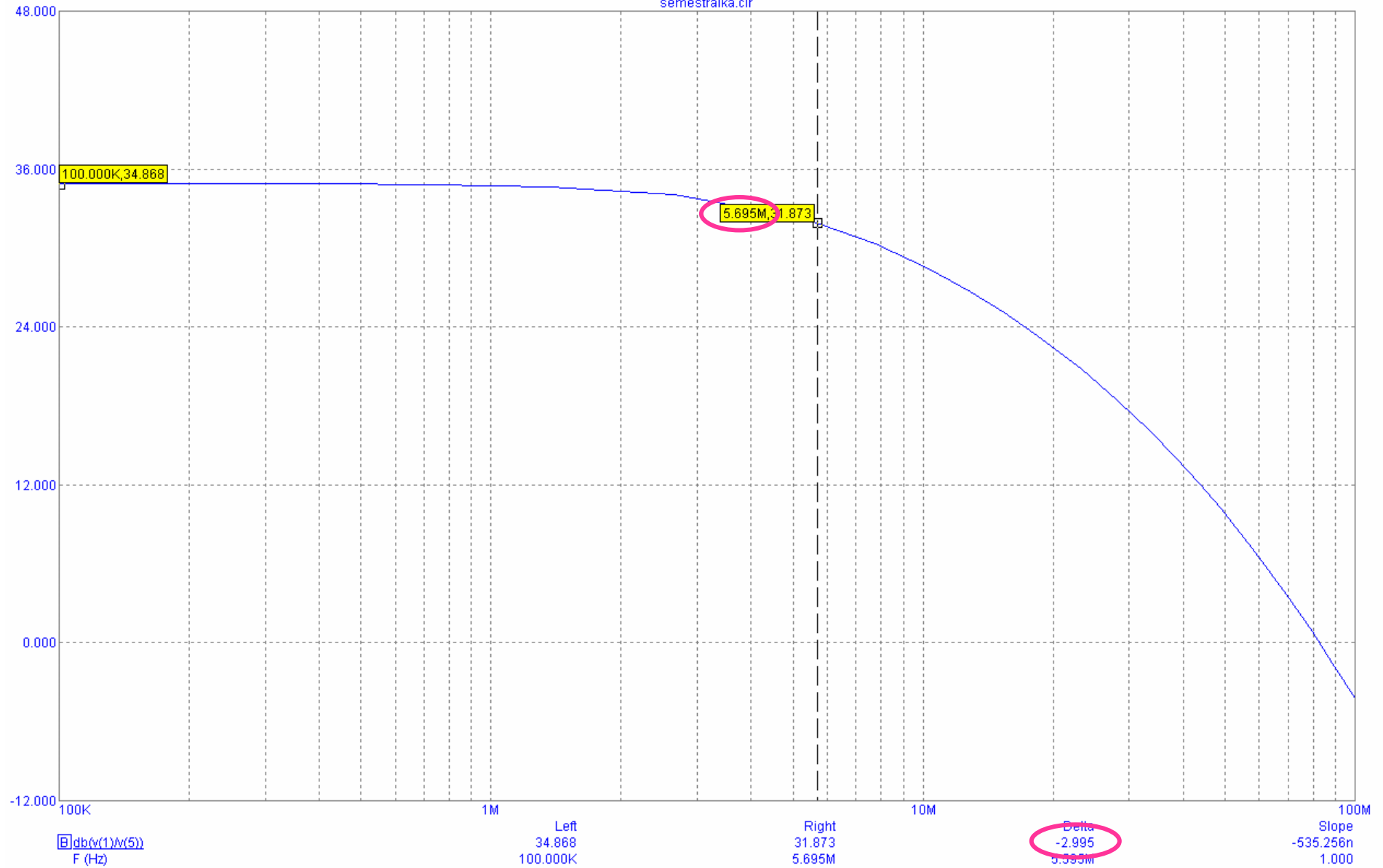


Zvýšení horního mezního kmitočtu změnou proudu I

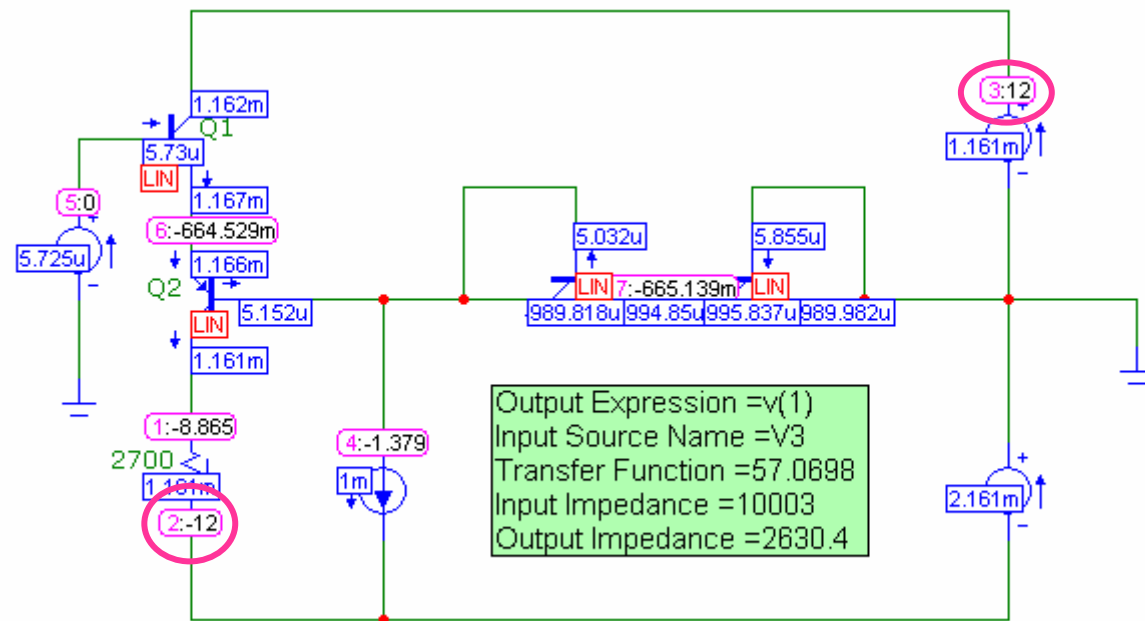


Zvýšení horního mezního kmitočtu změnou proudu I

Micro-Cap 9 Evaluation Version
semestrálka.cir

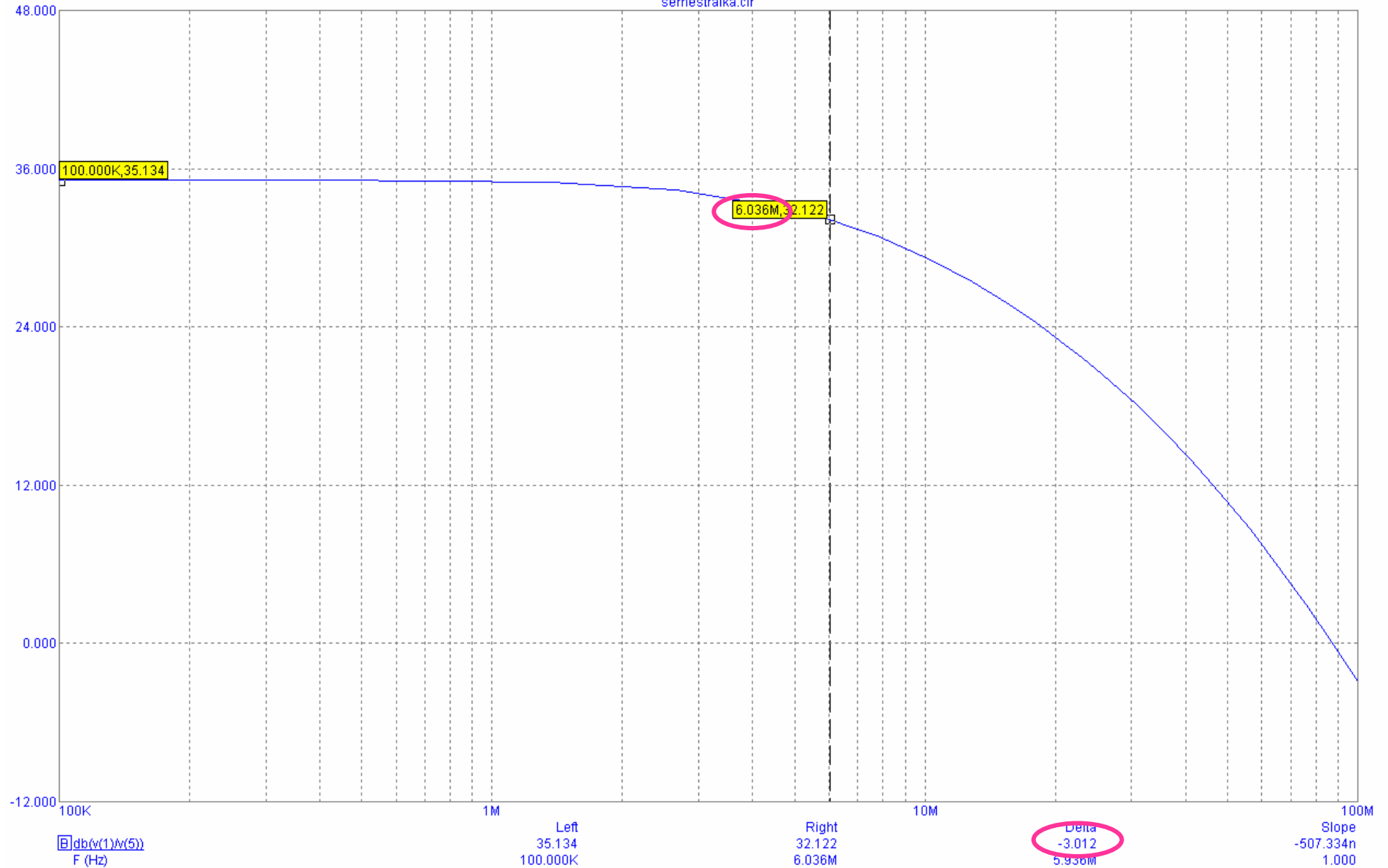


Zvýšení horního mezního kmitočtu změnou napájecího napětí



Zvýšení horního mezního kmitočtu změnou napájecího napětí

Micro-Cap 9 Evaluation Version
semestrálka.cir



Konec

Použitá literatura

- Neumann, Uhlíř: Elektronické obvody a funkční bloky 1
- Vobecký, Záhlava: Elektronika – součástky a obvody, principy a příklady