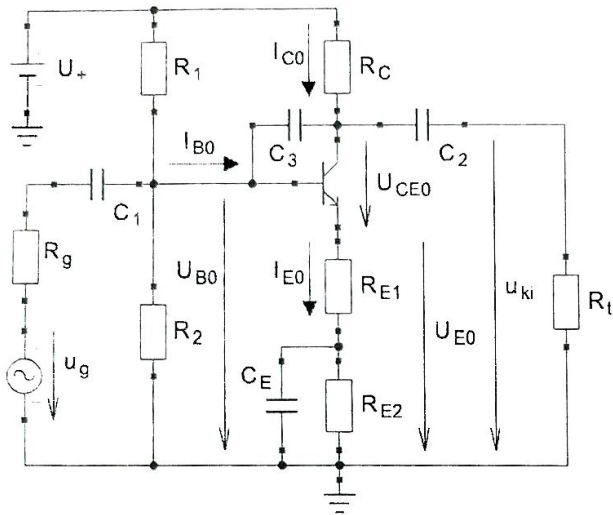


HÁZI FELADAT

Erősítő tervezés, áramkör szimuláció

Név: Tár Dániel



A feladat adatai:

$U_+ = 15 \text{ V}$
 $R_E = R_{E1} + R_{E2} = 1,5 \text{ k}\Omega$
 $R_1 = 30 \text{ k}\Omega$
 $R_2 = 15 \text{ k}\Omega$
 $B = 100$
 $A_u = u_{ki}/u_g = -50$
 $f_f = 100 \text{ kHz}$

$U_{BE0} = 0.75 \text{ V}, U_T = 26 \text{ mV},$
 $C_1 = C_2 = 10 \mu\text{F}, C_E = 100 \mu\text{F},$
 $R_t = 10 \text{ k}\Omega, R_g = 100 \Omega$

EREDMÉNYEK

Munkaponti adatok (számított):

$I_{B0} = 26,316 \mu\text{A}$
 $I_{C0} = 2,6316 \text{ mA}$
 $I_{E0} = 2,6579 \text{ mA}$
 $U_{E0} = 3,9868 \text{ V}$
 $U_{B0} = 4,7368 \text{ V}$
 $U_{CE0} = 5,75 \text{ V}$
 $R_C = 2 \text{ k}\Omega$

Munkaponti adatok (szimuláció):

$I_{B0} = 26 \mu\text{A}$
 $I_{C0} = 2,6 \text{ mA}$
 $I_{E0} = 2,63 \text{ mA}$
 $U_{E0} = 3,94 \text{ V}$
 $U_{B0} = 4,74 \text{ V}$
 $U_{CE0} = 5,85 \text{ V}$

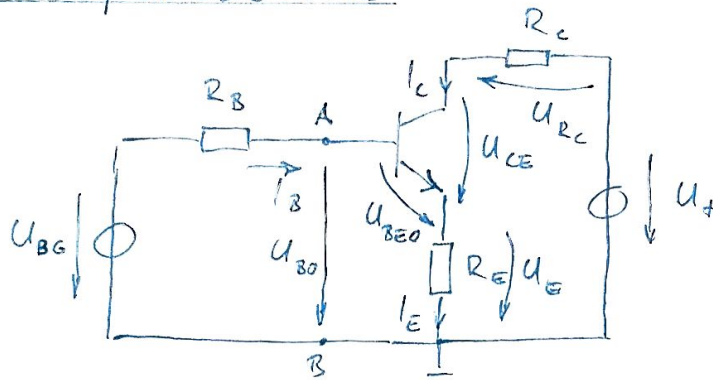
Kisjelű adatok (számított):

$A_{u\text{max}} = -151,808$
 $R_{E1} = 21,914 \Omega$
 $R_{E2} = 1478,086 \Omega$
 $R_{be} = 2,425 \text{ k}\Omega$
 $R_{ki} = 2 \text{ k}\Omega$
 $f_a = 49,783 \text{ Hz}$
 $C_3 = 235,342 \text{ pF}$

Kisjelű adatok (szimuláció):

$A_u = 33,9[\text{dB}] = 49,545$
 $f_a = 54,7 \text{ Hz}$
 $f_f = 99,3 \text{ kHz}$
 $f_k = 2,330 \text{ kHz}$

1, Munkapontszámítás



Thevenin módszer alkalmazása az AB pontokra, U_{B0} és R_B kiszámítása.

1.1,

$$U_{BG} = U_+ \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 5[V] \quad R_B = R_1 \parallel R_2 = 10[k\Omega]$$

$$U_{BG} = R_B \cdot I_B + U_{BE0} + R_E \cdot (B+1) I_B$$

$$I_B = \frac{U_{BG} - U_{BE}}{R_B + (B+1) R_E} = \underline{\underline{26,316 [\mu A]}} = \underline{\underline{I_{B0}}}$$

$$\underline{\underline{U_{B0}}} = U_{BG} - R_B \cdot I_B = \underline{\underline{4,7368[V]}}$$

$$I_C = B \cdot I_B = \underline{\underline{2,6316 [mA]}} = \underline{\underline{I_{C0}}}$$

$$I_E = I_B + I_C = \underline{\underline{2,6579 [mA]}} = \underline{\underline{I_{E0}}}$$

$$U_E = I_E \cdot R_E = \underline{\underline{3,9868 [V]}} = \underline{\underline{U_{E0}}}$$

1.2,

$$U_{CE0} = \frac{U_+ - U_{E0}}{2} = \underline{\underline{5,507 [V]}}$$

$$R_C = \frac{U_+ - U_{CE0} - U_{E0}}{I_{C0}} = \underline{\underline{2092,5 [\Omega]}}$$

E24 - szabványssorból való érték választás:

$$\underline{\underline{R_C := 2[k\Omega]}}$$

1.3,

U_{CE0} - korrigálása

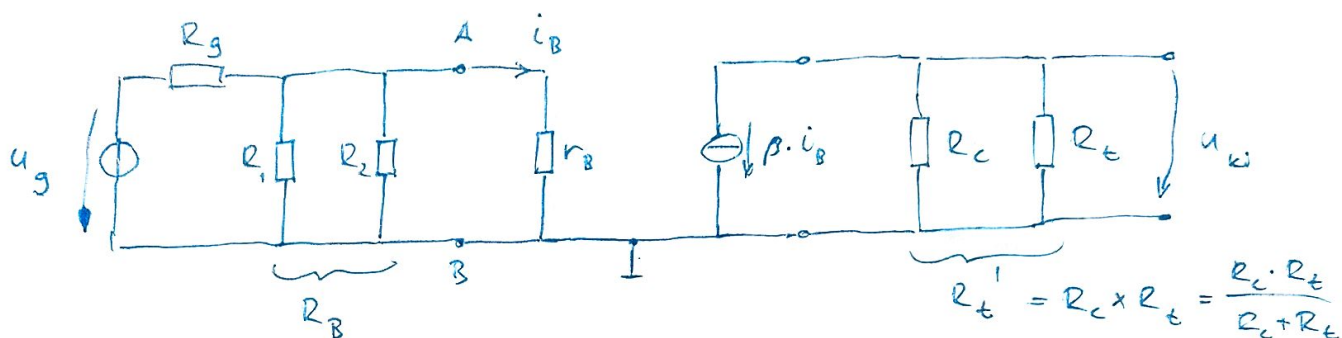
$$\underline{\underline{U_{CE0}}} = U_+ - I_{C0} \cdot R_C - U_{E0} = \underline{\underline{5,75 [V]}}$$

2) Kisjelű paraméterek számítása

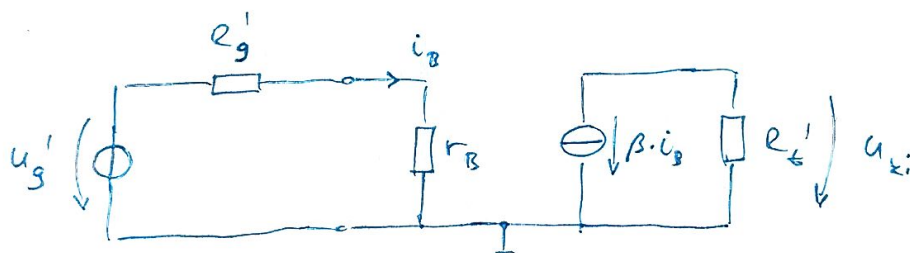
Tar Dániel
GUTOY7

2.1) Kisjelű esetén minket a változások érdekelnek és DC +ápfeszültség ezért $0[V]$ -nak tekinthető, ezzel olyan, mintha a földre lenne kötve.

A feladatleírásban lévő információk és a fentiekben leírtak alapján, π -modellt alkalmazva, a következőképpen fog kinézni a kapcsolásunk:



Thévenin-módszert alkalmazva az A, B pontok közé:



$$u_g' = u_g \cdot \frac{R_B}{R_g + R_B} \rightarrow u_g = \frac{u_g' \cdot (R_g + R_B)}{R_B}$$

$$R_g' = R_g \times R_B = \frac{R_g \cdot R_B}{R_g + R_B}$$

$$u_k = -\beta \cdot i_B \cdot R_t'$$

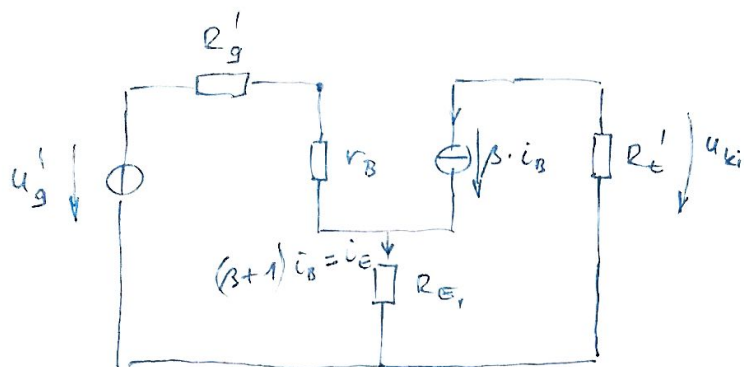
$$u_g' = i_B \cdot (R_g' + r_B) \rightarrow i_B = \frac{u_g'}{R_g' + r_B} \left. \vphantom{\frac{u_g'}{R_g' + r_B}} \right\} u_k = -\beta \cdot \frac{u_g' \cdot R_t'}{R_g' + r_B}$$

$$\underline{A_{u_{max}}} = \frac{u_k}{u_g} = -\frac{\beta \cdot R_t'}{r_B + R_g'} \cdot \frac{R_B}{R_g + R_B} = -151,808 [-]$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta \approx B \\ r_B = \frac{u_r}{I_B} = 998 [\Omega] \end{array} \right\}$$

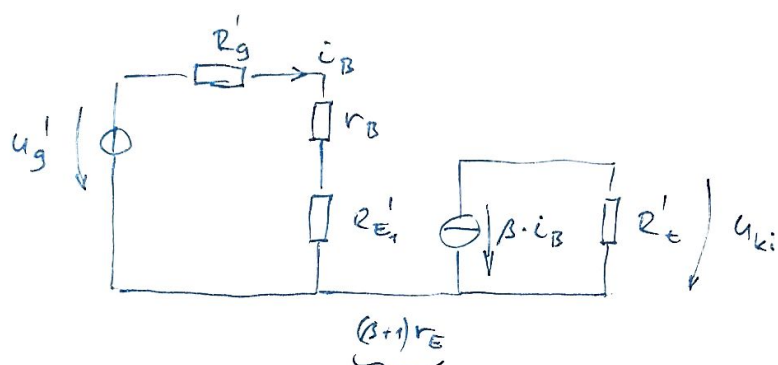
2.2 Soros áramviszacsatolás

A modellünk az előzőekhez képest így alakul:



Az emitteroldali ellenállást átszámolva a bázis ágára:

$$R_{E1}' = (\beta + 1) R_{E1}$$



$$r_B' = r_B + \underbrace{R_{E1}'}_{(\beta+1)r_E} = r_B + (\beta+1) R_{E1} = (\beta+1)(R_{E1} + r_E)$$

Az előző oldalon használt formula, még mindig igaz, csak r_B helyére r_B' -t kell helyettesíteni.

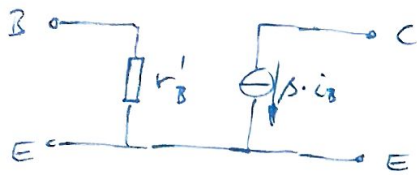
Ebből az R_{E1} -t kifejezve adódik:

$$\underline{R_{E1}} = \frac{1}{\beta+1} \left(\frac{\beta \cdot R_t'}{|A_u|} \cdot \frac{R_B}{R_g + R_B} - R_g' - r_B \right) = \underline{21,914 [\Omega]}$$

$$\underline{R_{E2}} = R_E - R_{E1} = \underline{1478,086 [\Omega]}$$

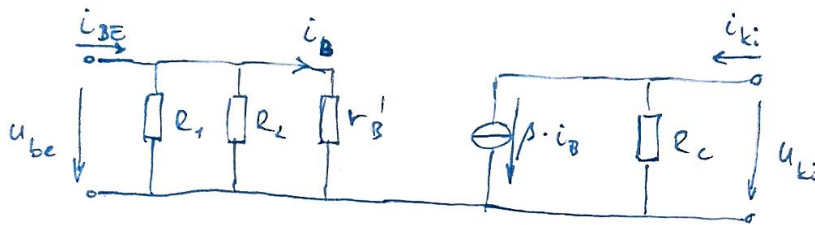
2.3 Bemeneti és kimeneti ellenállás számítása

Az eddig kiszámoltak alapján a tranzistorunk π -modellje:



A konstans tápfeszültség kisjele változás szempontjából rövidzárnak tekinthető \Rightarrow a tápfeszültség pont a testponttal összeköthető.

Ezzel ismerve a kapcsolás 4-pólus modellje:

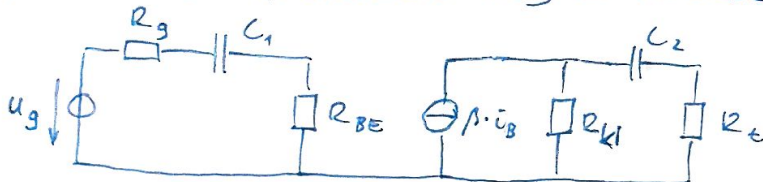


$$\underline{R_{BE}} = \frac{u_{BE}}{i_{BE}} = R_1 \times R_2 \times r'_B = 2425 [\Omega] = \underline{2,425 [k\Omega]}$$

$$r'_B = r_B + (\beta + 1) R_{E1} = 3201,32 [\Omega]$$

$$\underline{R_{ki}} = -\frac{u_{ki}}{i_{ki}} = R_C = \underline{2 [k\Omega]}$$

2.4 Alsó határfrekvencia meghatározása



$$\tau_1 = (R_g + R_{BE}) \cdot C_1 = 0,025 [s]$$

$$\tau_2 = (R_{ki} + R_t) \cdot C_2 = 0,12 [s]$$

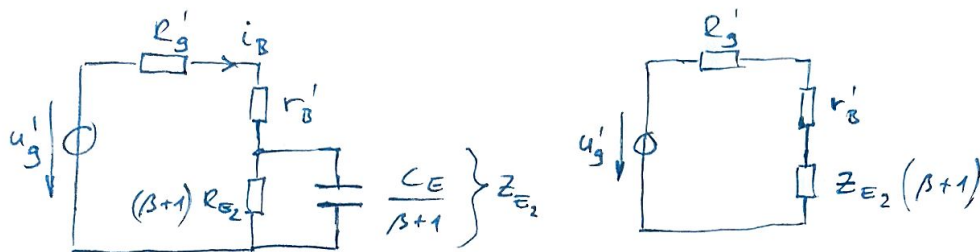
$$f_1 = \frac{1}{2\pi\tau_1} = 6,303 [Hz]$$

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\tau_2} = 1,326 [Hz]$$

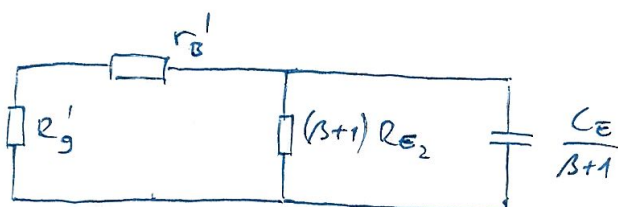
2.4 Alsó határfrekvencia

Tár Dániel
GUTÓY7

C_E hatása (a bázis oldalra átszámolva az R_{E2} , C_E -t):



$$\left. \begin{array}{c} R_{E2} \\ \parallel \\ C_E \end{array} \right\} Z_{E2} = \frac{R_{E2} \cdot \frac{1}{s C_E}}{R_{E2} + \frac{1}{s C_E}} \rightarrow Z_{E2}(\beta+1) = \frac{R_{E2}(\beta+1)}{1 + R_{E2}(\beta+1) \frac{s C_E}{\beta+1}}$$



$$\tau_3 = \left[(R_g' + r_b') \times (\beta+1) R_{E2} \right] \cdot \frac{C_E}{\beta+1} = 0,0032 [s]$$

$$f_3 = \frac{1}{2\pi\tau_3} = 49,783 [Hz]$$

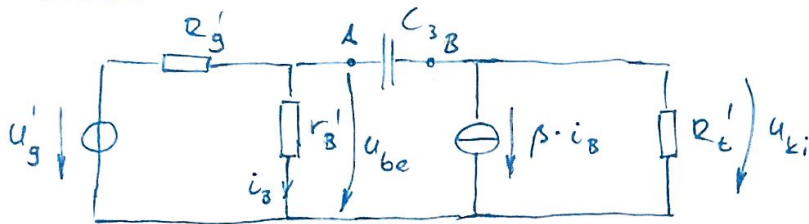
$$\underline{f_2} = \max(f_1, f_2, f_3) = \underline{\underline{49,783 [Hz]}}$$

Az erősítőnk akkor működik jól, ha a kondenzátorok nem szorolnak, azaz nem szabad telítődniük. A legkisebb időállandójú kondenzátor telítődik a leggyorsabban, tehát a legnagyobb frekvenciájú kondenzátorunk fogja meghatározni az alsó határfrekvenciát.

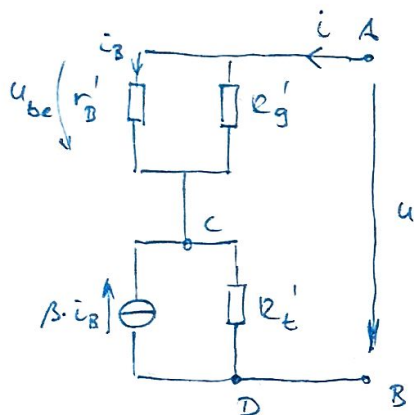
2.5 C_3 kondenzátor meghatározása

Tár Dániel
GUTYF

A rendszerünket kiegészítjük a C_3 kondenzátorral, a többi kondenzátorra viszont rövidzárként tekinthetünk ezen a frekvencián:



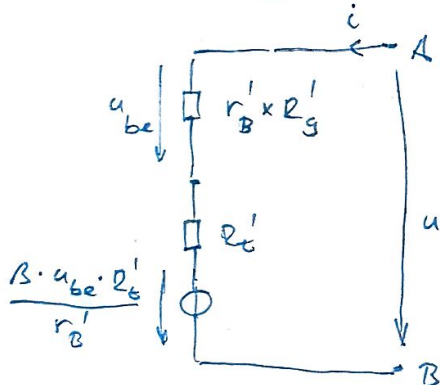
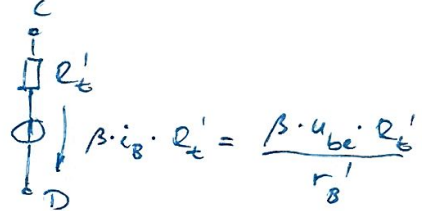
A és B pont közé szeretnénk meghatározni az eredő ellenállást ($U_g := 0V$)



$$R_e = \frac{u}{i} = ?$$

$$u_{be} = i_3 \cdot r_B'$$

C, D "Norton" modellből "Thevenin" modellt csinálunk:



$$u_{be} = (r_B' \times R_g') \cdot i$$

$$u = (r_B' \times R_g') \cdot i + R_t' \cdot i + \frac{\beta \cdot R_t'}{r_B'} \cdot (r_B' \times R_g') \cdot i$$

$$\Downarrow$$

$$R = \left(1 + \frac{\beta \cdot R_t'}{r_B'}\right) \cdot (r_B' \times R_g') + R_t' = 6762,706 [\Omega]$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_f &= R \cdot C_3 \\ f_f &= \frac{1}{2\pi \cdot \tau_f} \end{aligned} \right\}$$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi \cdot f_f \cdot R} = \underline{\underline{235,342 [\mu F]}}$$

$f_f = 100 [kHz]$

3) Áramköri szimuláció

Tar Dániel
GUTÓYF

3.1

az eredményeimet ellenőriztem, és jóval kisebb eltérést mutatnak 10%-nál ✓

3.2

leolvasott értékek: (3[dB]-es csökkenésnél)

$$\underline{f_a} = \underline{54,7} [\text{Hz}] \quad \checkmark$$

$$\underline{f_f} = \underline{99,3} [\text{kHz}] \quad \checkmark$$

$$\underline{f_z} = \sqrt{f_a \cdot f_f} = \underline{2,330} [\text{kHz}]$$

3.3

a tranzien szimulációból szépen látszik, hogy -50 -es az erősítése a kapcsolásnak

~o~