



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

BME GÉPÉSZMÉRNÖKI KAR

BME VILLAMOSMÉRNÖKI KAR

Automatizálási és Alkalmazott

Informatikai Tanszék

1117 Budapest, Magyar tudósok krt. 2.

Q. épület, I. emelet

Hallgató neve: Szőke Kálmán Benjamin

Neptun kód: SLZ0UE

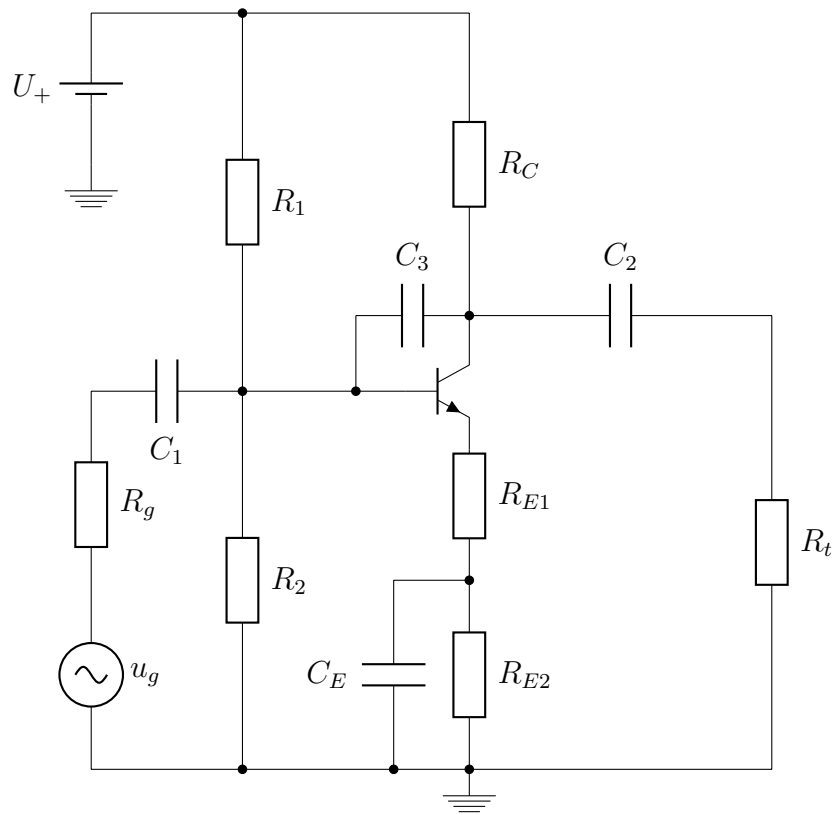
Dátum: 2014. május 4.

Analóg elektronika - BMEVIAUA009

Házi feladat

Erősítő tervezés, áramkör szimuláció

A feladat adatai



$$U_+ = 12V$$

$$R_E = R_{E1} + R_{E2} = 0,68k\Omega$$

$$R_1 = 15k\Omega$$

$$R_2 = 8,2k\Omega$$

$$B = 120$$

$$Au = u_{ki}/u_g = -20$$

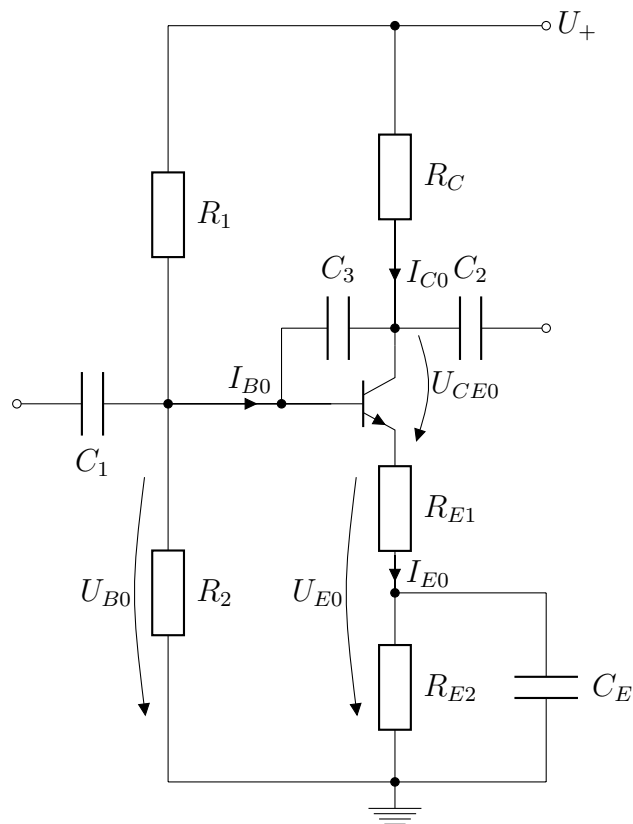
$$f_f = 50kHz$$

$$U_{BE0} = 0,75V, U_T = 26mV, C_1 = C_2 = 10\mu F, C_E = 100\mu F, R_t = 10k\Omega, R_g = 100\Omega$$

Munkapontszámítás

1. Határozza meg az ábrán látható közös emitteres erősítő kapcsolás munkaponti adatait (I_{B0} , I_{C0} , I_{E0} , U_{E0} , U_{B0})! A munkapont számításnál hanyagolja el az I_{CB0}

szivárgási áram hatását!



$$U_{B0} = U_+ \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12 \cdot \frac{8,2}{23,2} = 4,2414 \text{ V}$$

$$U_{E0} = U_{B0} - U_{BE0} = 12 \cdot \frac{8,2}{23,2} - 0,75 = 3,4914 \text{ V}$$

$$I_{E0} = \frac{U_{E0}}{R_{E1} + R_{E2}} = \frac{3,4914}{0,68} = 5,1344 \text{ mA}$$

$$I_{C0} = B I_{B0}$$

$$I_{E0} = I_{C0} + I_{B0} = B I_{B0} + I_{B0} = (B + 1) I_{B0}$$

$$I_{B0} = \frac{I_{E0}}{(B + 1)} = 42,433 \mu\text{A}$$

$$I_{C0} = B I_{B0} = 5,0919 \text{ mA}$$

2. Számítsa ki az RC kollektor ellenállás értékét az $U_{CE0} = (U_+ - U_{E0})/2$ előírás szerint, majd kerekítse a legközelebbi szabványos értékre! Az E24-es szabványos értéksor:
 $\{10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91\} \cdot 10^n$.

$$U_{CE0} = \frac{(U_+ - U_{E0})}{2} = 4,2543 \text{ V}$$

$$R_C = \frac{(U_+ - U_{CE0} - U_{E0})}{I_{C0}} = 835,4975 \Omega = (83,55 \cdot 10) \Omega$$

E24-es szabványos R_C :

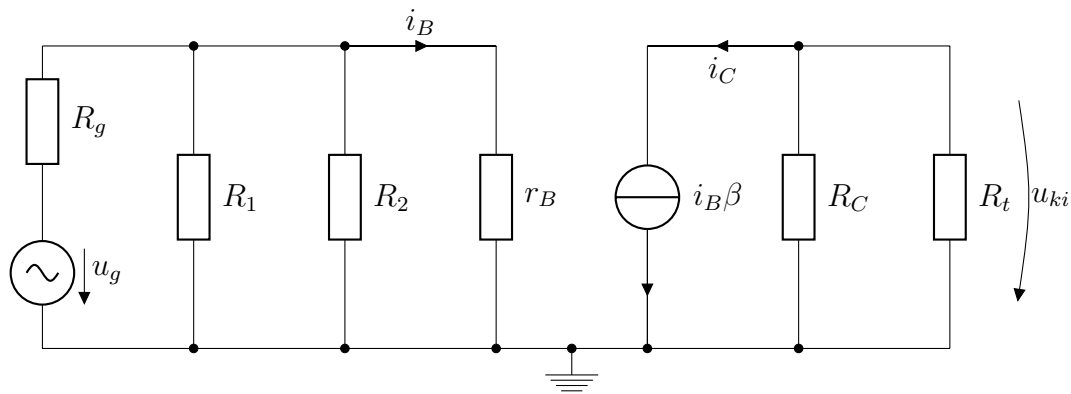
$$R_C = (82 \cdot 10) \Omega = 820 \Omega$$

3. Korrigálja U_{CE0} értékét, a módosított R_C értékhez!

$$U_{CE0} = U_+ - I_{C0}R_C - U_{E0} = 12 - 5,0919 \cdot 10^{-3} \cdot 820 - 3,4914 = 4,3332 \text{ V}$$

Kisjelű paraméterek számítása

1. Számítsa ki a sávközépi frekvencián a feszültségerősítés maximális értékét (visszacsatolás nélküli eset: $R_{E1} = 0, R_{E2} = R_E$)! Ezen a frekvencián a C_1 és C_2 csatoló kondenzátort, valamint a C_E emitter kondenzátort tekintse rövidzárnak a C_3 kondenzátort pedig szakadásnak! A feszültségerősítést a teljes átviteli láncra értse, az u_g generátor feszültségtől az u_{ki} kimeneti feszültségig, terhelt állapotra.



$$r_B = (\beta + 1) r_E = (\beta + 1) \frac{U_T}{I_{C0}}$$

$$i_B r_B = u_g \frac{R_1 \times R_2 \times r_B}{R_g + (R_1 \times R_2 \times r_B)}$$

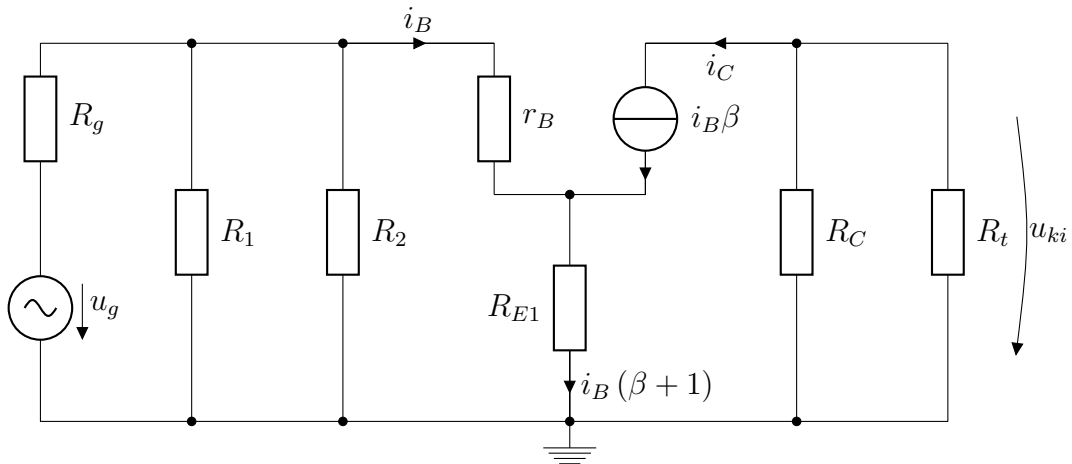
$$u_g = i_B r_B \frac{R_g + (R_1 \times R_2 \times r_B)}{R_1 \times R_2 \times r_B}$$

$$u_{ki} = -i_B \beta (R_C \times R_t)$$

$$Au_{max} = \frac{u_{ki}}{u_g} = -\frac{i_B \beta (R_C \times R_t)}{i_B r_B} \cdot \frac{R_1 \times R_2 \times r_B}{R_g + (R_1 \times R_2 \times r_B)}$$

$$Au_{max} = -\frac{\beta}{(\beta + 1)} \cdot \frac{I_{C0}}{U_T} \cdot \frac{(R_C \times R_t) (R_1 \times R_2 \times r_B)}{R_g + (R_1 \times R_2 \times r_B)} = -124,6658$$

2. Válassza meg R_{E1} és R_{E2} értékét ($R_E = R_{E1} + R_{E2}$) úgy, hogy a soros áramviszacsatolás hatására a feszültségerősítés a teljes átviteli láncre nézve a megadott értékűre csökkenjen ($Au = -20$)! Ha a megadott erősítés nem valósítható meg, válasszon egy olyan erősítés értéket, amire az erősítőt be lehet állítani.



$$i_B r_B + i_B (\beta + 1) R_{E1} = i_B [r_B + (\beta + 1) R_{E1}] = u_g \frac{[R_1 \times R_2 \times (r_B + R_{E1})]}{R_g + [R_1 \times R_2 \times (r_B + R_{E1})]}$$

$$u_g = i_B [(\beta + 1) r_E + (\beta + 1) R_{E1}] \frac{R_g + [R_1 \times R_2 \times (r_B + R_{E1})]}{[R_1 \times R_2 \times (r_B + R_{E1})]}$$

$$u_{ki} = -i_B \beta (R_C \times R_t)$$

$$Au = -\frac{\beta}{(\beta + 1)} \frac{(R_C \times R_t)}{(r_E + R_{E1})} \cdot \frac{[R_1 \times R_2 \times (r_B + R_{E1})]}{R_g + [R_1 \times R_2 \times (r_B + R_{E1})]}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{(\beta + 1)}; \quad A = R_C \times R_t; \quad B = R_1 \times R_2; \quad r_E = \frac{U_T}{I_{C0}}$$

$$Au = -\alpha \frac{A}{(r_E + R_{E1})} \cdot \frac{B(r_B + R_{E1})}{R_g(B + r_B + R_{E1}) + B(r_B + R_{E1})}$$

R_{E1} -re átrendezett másodfokú egyenlet:

$$a_2 R_{E1}^2 + a_1 R_{E1} + a_0 = 0$$

$$\begin{aligned} a_0 &= (AuR_g r_E B + AuR_g r_E r_B + AuBr_E r_B + \alpha AB r_B) \\ a_1 &= (AuR_g r_E + AuBr_E + AuR_g B + AuR_g r_B + AuBr_B + \alpha AB) \\ a_2 &= (AuR_g + AuB) \end{aligned}$$

$$R_{E1} = 31,6448 \Omega$$

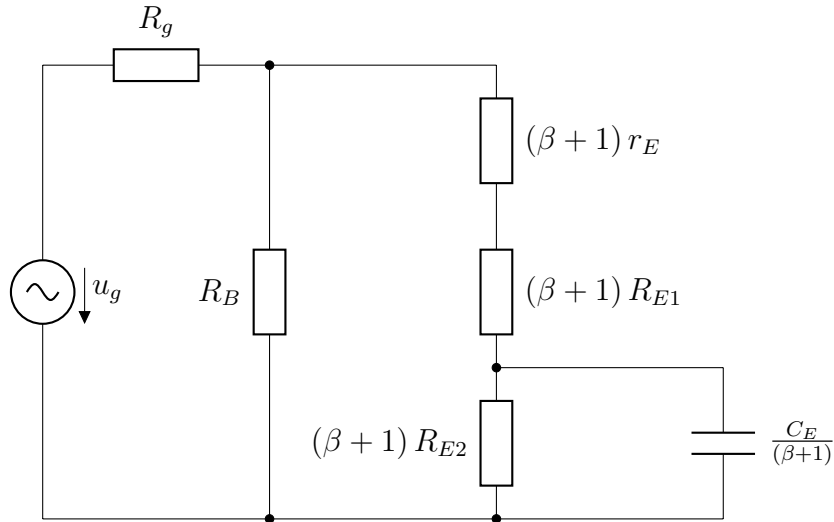
$$R_{E2} = 648,3552 \Omega$$

3. Határozza meg az erősítő be- és kimeneti ellenállásait a visszacsatolt esetre!

$$R_{be} = [R_1 \times R_2 \times (r_B + (\beta + 1) R_{E1})] = 2,4184 k\Omega$$

$$R_{ki} = R_C = 820 \Omega$$

4. Határozza meg az erősítő alsó határfrekvenciáját!



$$R_B = R_1 \times R_2; \quad R'_{be} = (\beta + 1)(r_E + R_{E1}); \quad R'_g = R_g \times R_B; \quad r_E = \frac{U_T}{I_{C0}}$$

C_E felől R_e eredő ellenállás:

$$R_e = (R'_g + R'_{be}) \times (\beta + 1) R_{E2}$$

$$T_E = R_e \frac{C_E}{(\beta + 1)} = \frac{(R'_g + R'_{be}) (\beta + 1) R_{E2}}{(R'_g + R'_{be}) + (\beta + 1) R_{E2}} \cdot \frac{C_E}{(\beta + 1)}$$

$$T_E = \left(\frac{R'_g + R'_{be}}{(\beta + 1)} \times R_{E2} \right) C_E = \left[R_{E2} \times \left(r_E + R_{E1} + \frac{R'_g}{(\beta + 1)} \right) \right] C_E$$

$$T_E = \left[R_{E2} \times \left(r_E + R_{E1} + \frac{R_g \times R_1 \times R_2}{(\beta + 1)} \right) \right] C_E$$

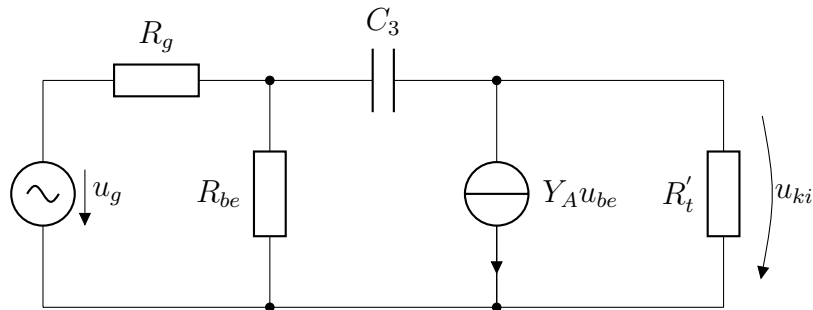
Csatolókondenzátorok időállandója:

$$T_1 = (R_g + R_{be}) C_1$$

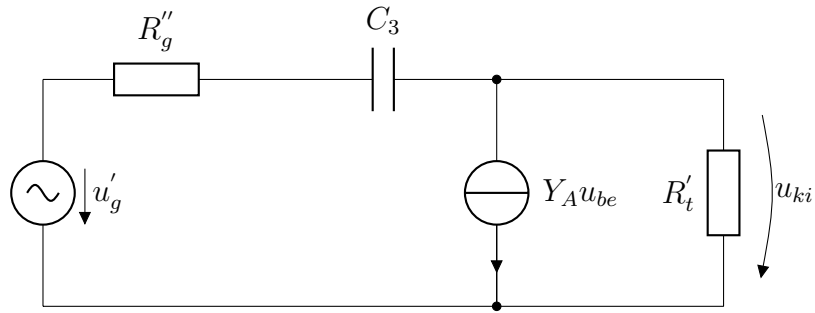
$$T_2 = (R_t + R_{ki}) C_2$$

$$f_a = \frac{1}{2\pi \cdot \min(T_1, T_2, T_E)} = 44,826 \text{ Hz}$$

5. Válassza meg a C_3 kondenzátor értékét, hogy a felső határfrekvencia a megadott legyen ($f_f = 50 \text{ kHz}$)!



$$Y_A = \frac{\alpha}{r_E + R_{E1}}; \quad R_{be} = R_B \times [(\beta + 1)(r_E + R_{E1})]; \quad R'_t = R_C \times R_t; \quad R_B = R_1 \times R_2$$



$$R''_g = R_g \times R_t; \quad u'_g = u_g \frac{R_{be}}{R_{be} + R_g}$$

$$T'_1 = R'_t C_3 + R''_g C_3 (1 + Y_A R'_t) = C_3 \left[R'_t + R''_g \left(1 + \frac{\alpha}{r_E + R_{E1}} R'_t \right) \right]$$

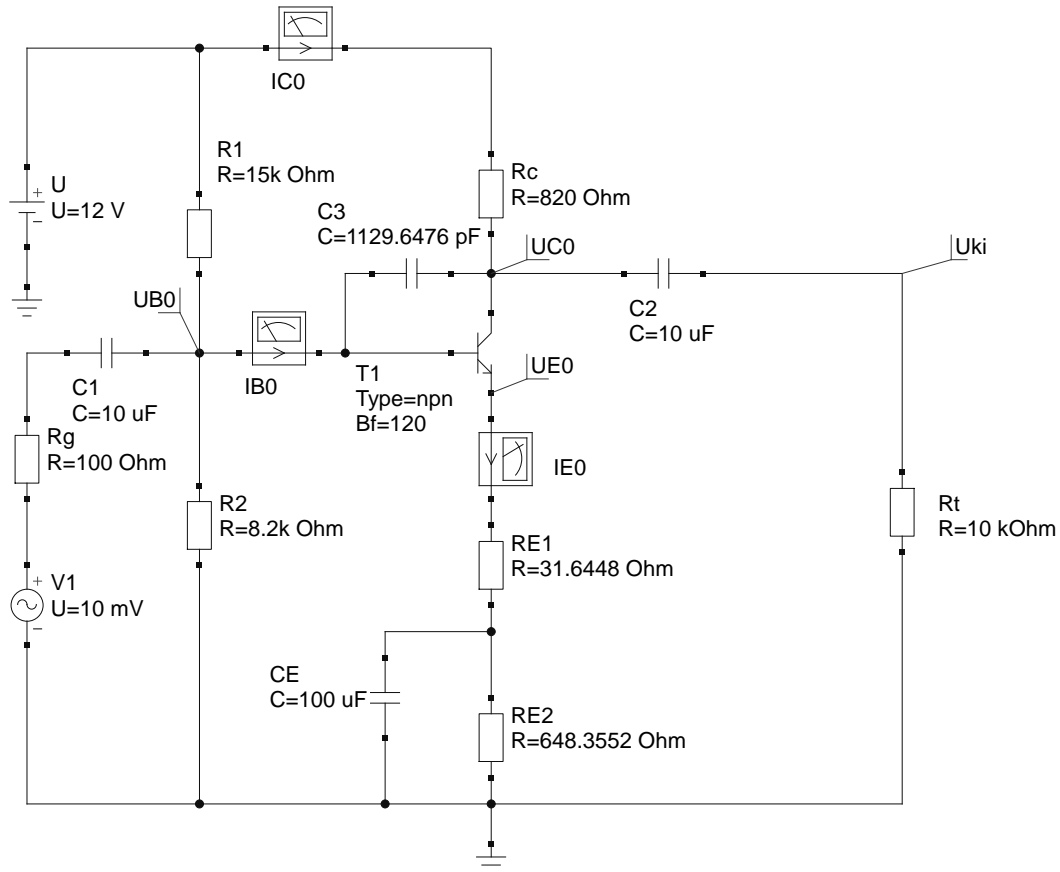
$$f_f = \frac{1}{2\pi T'_1}$$

$$C_3 = \frac{1}{2\pi f_f \left[R'_t + R''_g \left(1 + \frac{\alpha}{r_E + R_{E1}} R'_t \right) \right]} = 1129,6476 \text{ pF}$$

Áramkör szimuláció

Az áramkör szimulációhoz építse fel az erősítő kapcsolást a QUCS áramkör szimulációs programmal. Használja az általános npn bipoláris tranzisztor modellt. Az áramerősítési tényezőt állítsa a megadott értékre. A DC, AC és tranziens szimulációkat, valamint az eredményeket bemutató diagramokat lehetőség szerint egyetlen fájlban készítse el.

1. Ellenőrizze a munkaponti számításait DC szimuláció segítségével!

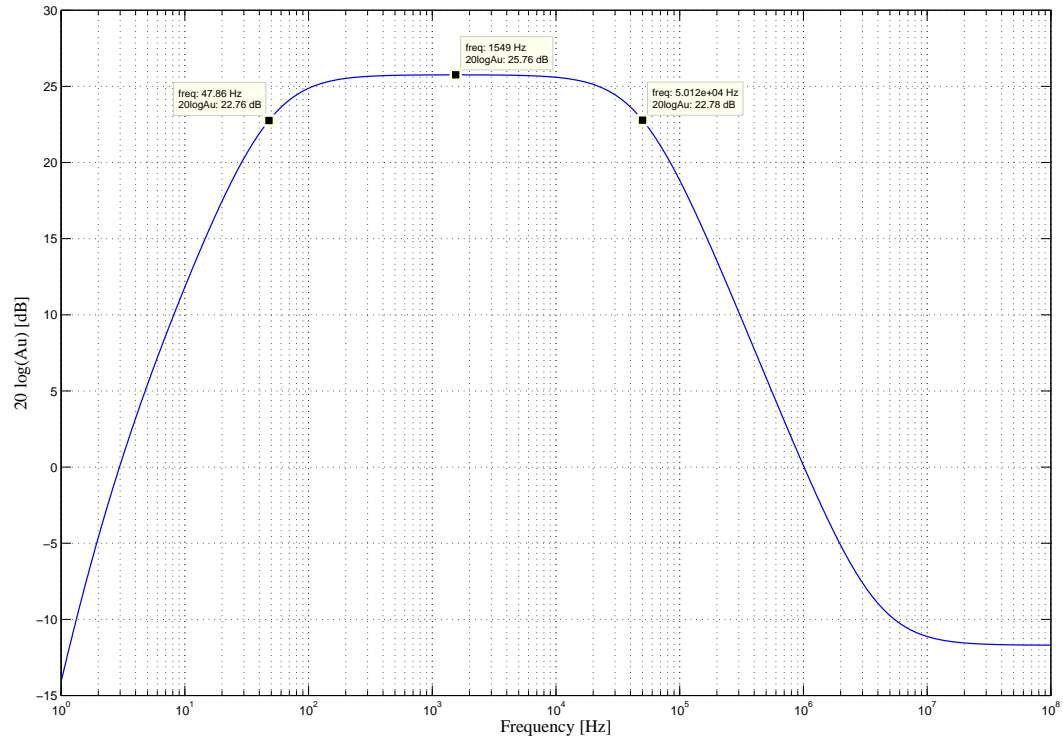


1. ábra. Áramkör szimuláció

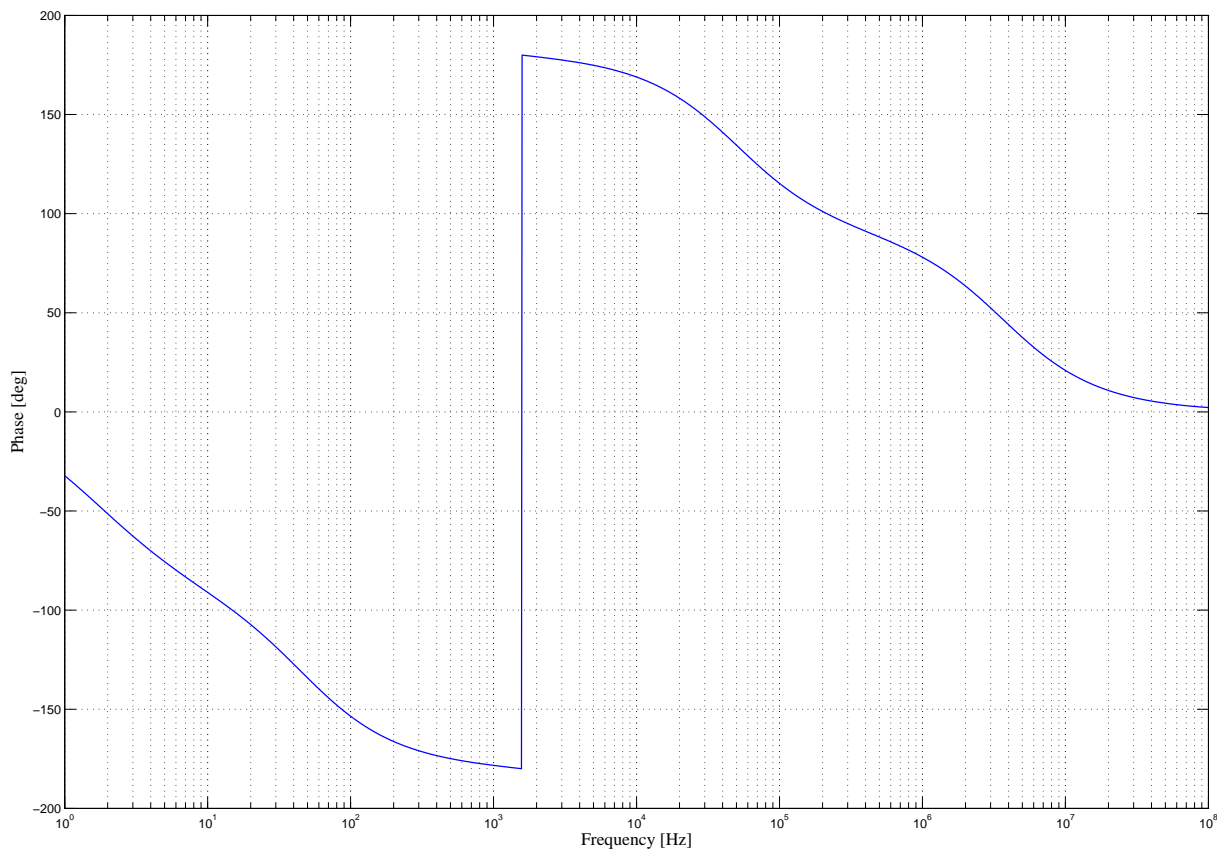
I_{B0}	I_{C0}	I_{E0}	U_{E0}	U_{B0}	U_{CE0}
39,1 μA	4,7 mA	4,74 mA	3,22 V	4,03 V	4,93 V

1. táblázat. DC szimuláció munkapont számításai

2. A szinuszos generátor feszültségét 10 mV amplitúdójú feszültségre állítsa! AC szimuláció segítségével rajzoltassa fel a Bode amplitúdó- és fázisdiagramokat! Olvassa le a sávközépi erősítést, az alsó és felső határfrekvenciákat, és számítsa ki a sávközépi frekvenciát! Hasonlítsa össze a számított értékekkel!

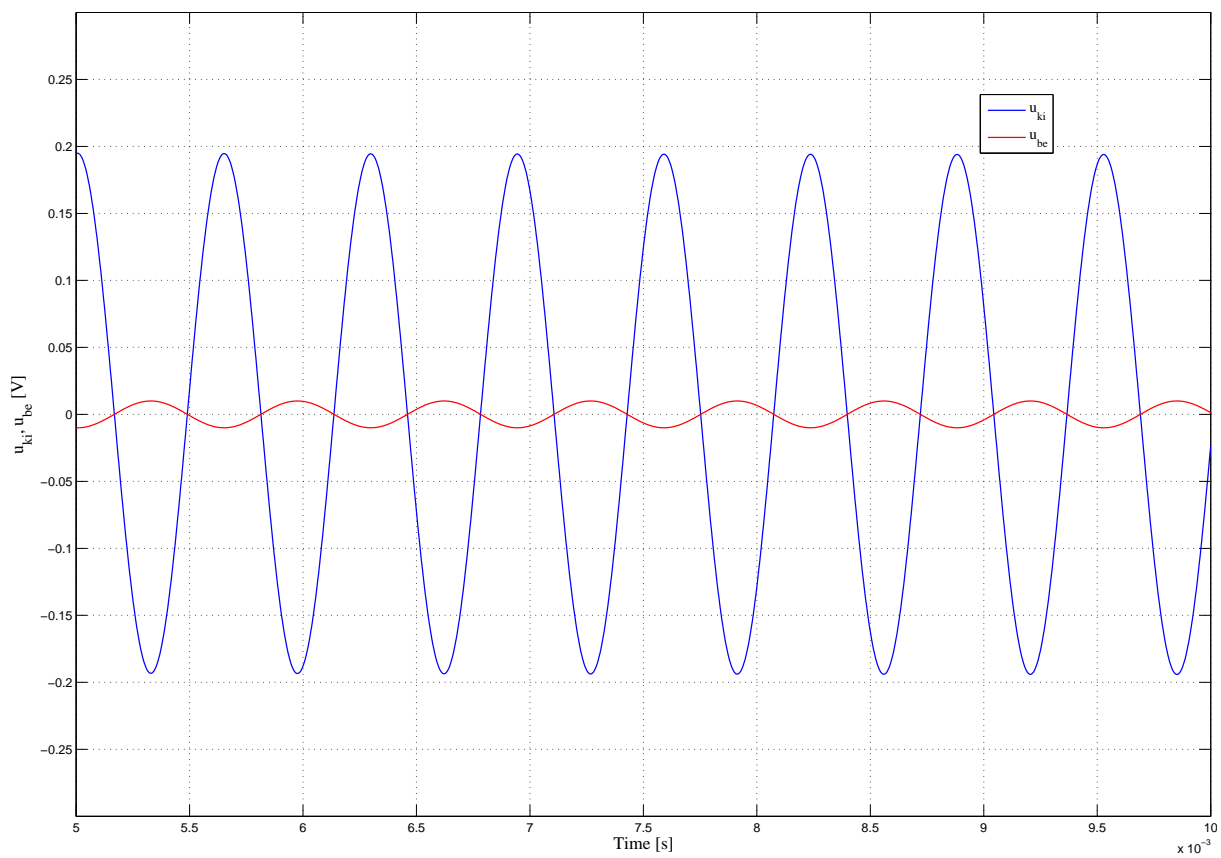


2. ábra. Bode amplitúdódiagram



3. ábra. Fázisdiagram

3. Állítsa a bemeneti jelgenerátor frekvenciáját a sávközépi frekvenciára! Futtasson tranziens szimulációt, és ellenőrizze az üzemszerű működést!



4. ábra. Tranziens szimuláció