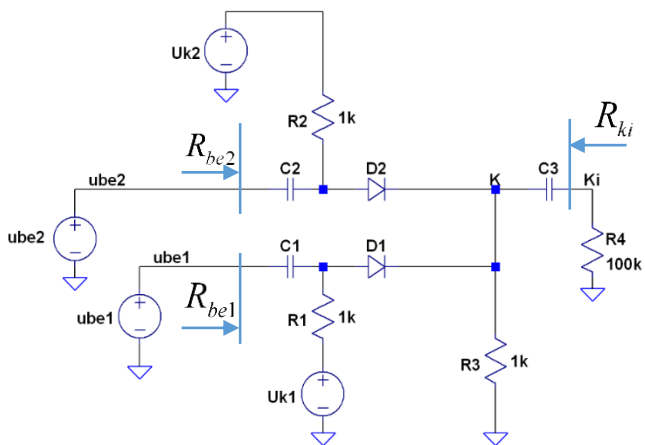


I.) Feladat. Számítsa ki az ábrán látható szilíciumdiódás jelútkapcsoló kisjelű paramétereit.

Adatok: A diódák nyitófeszültsége $U_{D0} = 0,6V$, záró irányú kapacitásuk elhanyagolható. A csatoló kondenzátorok végtelenek, $C_1 = C_2 = C_3 = \infty$. U_{k1} , U_{k2} egyenfeszültség generátorok, u_{be1} , u_{be2} kicsi amplitúdójú váltakozó feszültség generátorok.



- $U_{k1} = -5V$, $U_{k2} = 5V$, $\frac{u_{Ki}}{u_{be1}} = ?$, $\frac{u_{Ki}}{u_{be2}} = ?$ dB-ben 5p
- $U_{k1} = 5V$, $U_{k2} = -5V$, $\frac{u_{Ki}}{u_{be1}} = ?$, $\frac{u_{Ki}}{u_{be2}} = ?$ dB-ben 5p
- $U_{k1} = -5V$, $U_{k2} = 5V$, $R_{be1} = ?$, $R_{be2} = ?$ 5p
- $U_{k1} = 5V$, $U_{k2} = -5V$, $R_{ki} = ?$ 5p

Megoldás

a.) Az $U_{k1} = -5V$, $U_{k2} = 5V$ feltételek azt jelentik, hogy a D1 dióda záró irányban, míg a D2 dióda nyitó irányban van előfeszítve. A záró irányú dióda szakadást, a nyitó irányú dióda r_d ellenállást valósít meg.

Tehát $\frac{u_{Ki}}{u_{be1}} = 0$, $\left| \frac{u_{Ki}}{u_{be1}} \right|_{dB} = -\infty dB$ **2p**

$$I_{D02} = \frac{U_{k2} - U_{D0}}{R_2 + R_3} = \frac{5 - 0,6}{1 + 1} = 2,2mA$$

$$r_{d2} = \frac{U_T}{I_{D02}} = \frac{26}{2,2} = 11,8\Omega \quad \frac{u_{Ki}}{u_{be2}} = \frac{R_4 \times R_3}{R_4 \times R_3 + r_d} \approx \frac{R_3}{R_3 + r_d} = \frac{1000}{1000 + 11,8} = 0,988$$

$$\left| \frac{u_{Ki}}{u_{be2}} \right|_{dB} = 20 \log 0,988 = -0,1dB$$
 3p

b.) Az $U_{k1} = 5V$, $U_{k2} = -5V$ feltételek azt jelentik, hogy a D2 dióda záró irányban, míg a D1 dióda nyitó irányban van előfeszítve. A záró irányú dióda szakadást, a nyitó irányú dióda r_d ellenállást valósít meg.

Tehát $\frac{u_{Ki}}{u_{be2}} = 0$, **2p**

A szimmetrikus felépítés miatt: $\frac{u_{Ki}}{u_{be1}} \approx \frac{R_3}{R_3 + r_d} = \frac{1000}{1000 + 11,8} = 0,988, -0,1dB$ **3p**

c.) Az $U_{k1} = -5V$, $U_{k2} = 5V$ feltételek azt jelentik, hogy a D1 dióda záró irányban, míg a D2 dióda nyitó irányban van előfeszítve. A záró irányú dióda szakadást, a nyitó irányú dióda r_d ellenállást valósít meg.

$$R_{be1} = 1k\Omega, R_{be2} = R_2 \times (r_d + R_3 \times R_4) \approx R_2 \times R_3 = 500\Omega$$
 5p

d.) Az $U_{k1} = 5V$, $U_{k2} = -5V$ feltételek azt jelentik, hogy a D2 dióda záró irányban, míg a D1 dióda nyitó irányban van előfeszítve. A záró irányú dióda szakadást, a nyitó irányú dióda r_d ellenállást valósít meg.

$$R_{ki} = R_3 \times r_d \approx r_d = 11,8\Omega$$
 5p

2.) *Feladat.* Határozzuk meg az alábbi erősítőfokozat paramétereit.

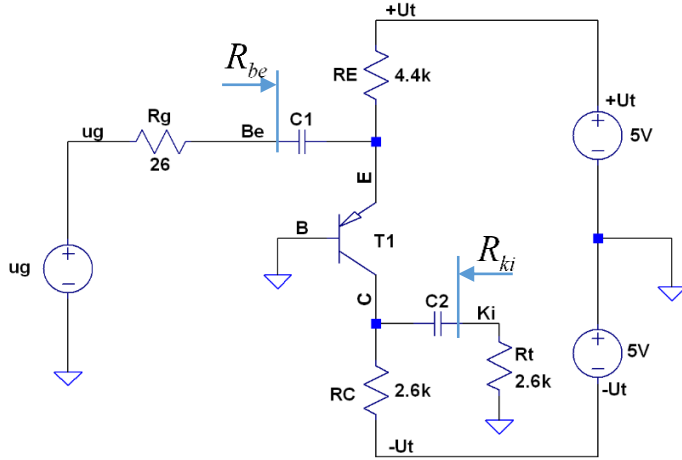
Adatok: T_1 : pnp tranzisztor, $B = \beta = 99$,

$U_{EB0} = 0,6V$, u_g kis amplitúdójú váltakozó

feszültség generátor

$R_g = 26\Omega$, $R_E = 4,4k\Omega$, $R_C = 2,6k\Omega$, $R_t = 2,6k\Omega$

$C_1 = \infty$, $C_2 = \infty$, $U_t = 5V$.



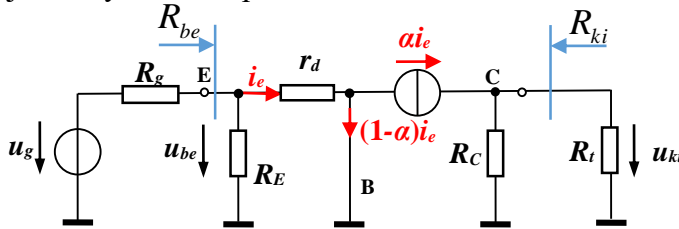
- T_1 munkaponti árama 5p
- Kisjelű lineáris helyettesítőkép 5p
- $R_{be} = ?$, $R_{ki} = ?$ 5p
- $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?$ sávközépi erősítés dB-ben 5p

Megoldás:

DC analízis:

$$a.) I_{E0} = \frac{U_t - U_{EB0}}{R_E} = \frac{5 - 0,6}{4,4} = 1mA, r_d = \frac{U_T}{I_{E0}} = \frac{26mV}{1mA} = 26\Omega, \alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} = \frac{99}{99 + 1} = 0,99 \quad 5p$$

A lineáris kisjelű helyettesítőkép:



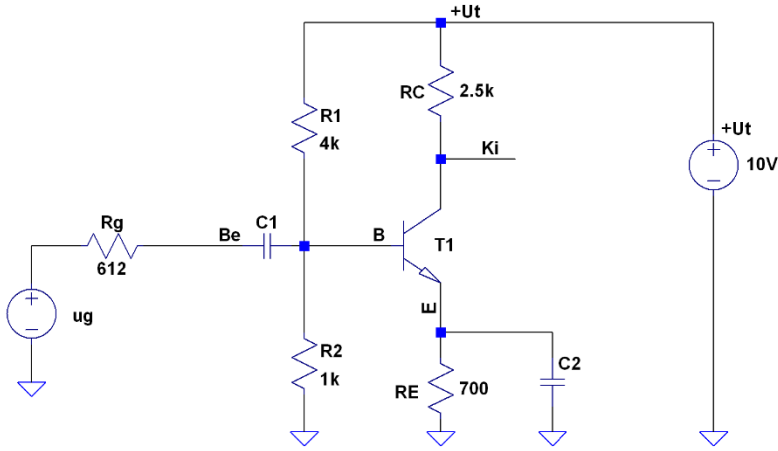
b.) 5p

$$c.) R_{be} = r_d \times R_E \approx r_d = 26\Omega \quad 3p, \quad R_{ki} = R_C = 2,6k\Omega \quad 2p$$

$$d.) \frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{u_{be}}{u_g} \frac{u_{kiü}}{u_{be}} \frac{u_{ki}}{u_{kiü}} = \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} \left(\alpha \frac{R_C}{r_d} \right) \frac{R_t}{R_{ki} + R_t} = \frac{r_d}{R_g + r_d} \left(\alpha \frac{R_C}{r_d} \right) \frac{R_t}{R_C + R_t} = \frac{26}{26 + 26} \left(0,99 \frac{2600}{26} \right) \frac{2,6}{2,6 + 2,6} = 24,75$$

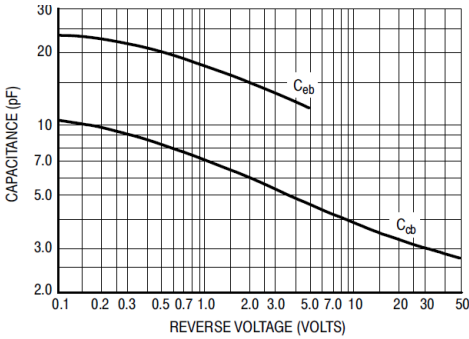
$$a_{dB} = 20 \lg \left| \frac{u_{ki}}{u_g} \right| = 20 \lg 24,75 = 27,9dB \quad 5p$$

3.) Feladat. Határozzuk meg az alábbi erősítőfokozat paramétereit.



Adatok: T_1 : npn tranzisztor, $U_{BE0} = 0,6V$,
 $U_m = 0,5V$, $U_t = 10V$, $R_g = 612\Omega$, $R_1 = 4k\Omega$,
 $R_2 = 1k\Omega$, $R_C = 2,5k\Omega$, $R_E = 700\Omega$, $C_1 = \infty$,
 $C_2 = \infty$, u_g kis amplitúdójú váltó feszültség generátor.

a.) $U_{Ki}^+ = ?$, $U_{Ki}^- = ?$, ha $B = \beta = \infty$ 5p
 b.) Rajzolja fel - szinuszos kimeneti feszültséget és 10kHz-es frekvenciát feltételezve - a maximális kimenőjelhez tartozó kimeneti feszültség időfüggvényét egyenfeszültség helyesen, ha $B = \beta = \infty$ 5p

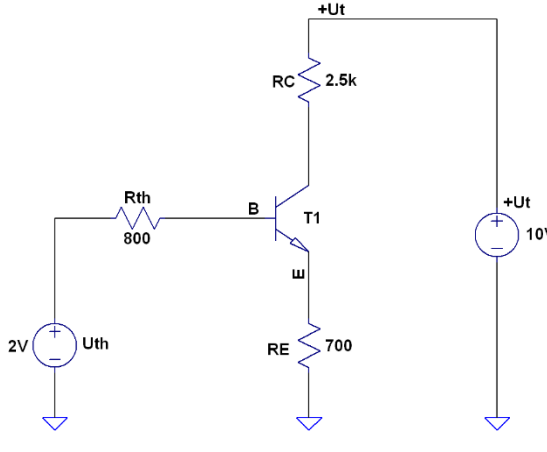
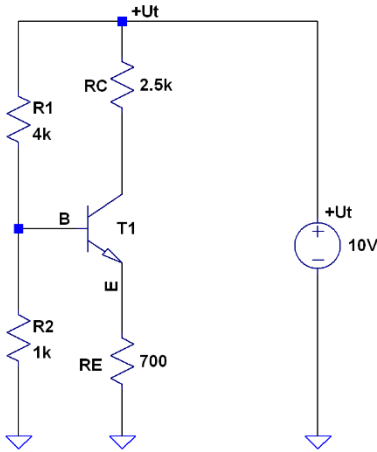


c.) Mekkora a sávközépi erősítés $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?$, ha $B = \beta = 200$ 5p

d.) $\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = ?$ átviteli függvény -3dB-es felső határfrekvenciája Hz-ben, ha $B = \beta = 200$, $f_T = 160MHz$, a tranzisztor kollektor bázis kapacitása a mellékelt $C_{cb}(U_{CB0})$ diagramról olvasható le 5p

Megoldás:

DC analízis, helyettesítőképek:



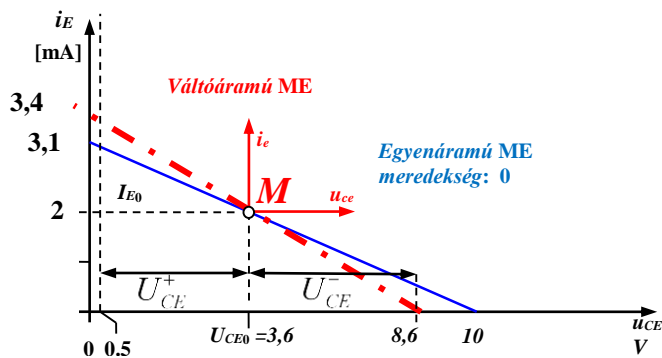
$$A = \frac{B}{1+B} = \frac{200}{201} = 0,995, \quad \alpha = \frac{\beta}{1+\beta} = \frac{200}{201} = 0,995$$

$$U_{th} = U_t \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \frac{1}{1+4} = 2V, \quad R_{th} = R_1 \times R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{1 \cdot 4}{1+4} = 800\Omega$$

$$U_{th} = (1-A)I_{E0}R_{th} + U_{BE0} + I_{E0}R_E, \quad I_{E0} = \frac{U_{th} - U_{BE0}}{(1-A)R_{th} + R_E} = \frac{2 - 0,6}{(1-0,995)800 + 700} = 1,99mA \approx 2mA$$

$$r_d = \frac{U_T}{I_{E0}} = \frac{26}{2} = 13\Omega,$$

a.) $I_{E0} = 2\text{mA}$, $R_e = R_C + R_E = 2500 + 700 = 3,2\text{k}\Omega$ $R_v = R_C = 2,5\text{k}\Omega$



$$U_{CE0} = U_t - R_e I_{E0} = 10 - 3,2 \cdot 2 = 3,6\text{V}$$

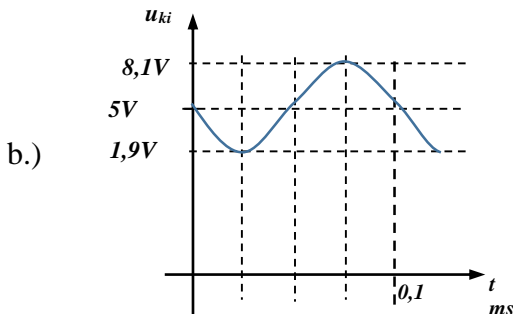
$$U_{CE}^+ = U_{CE0} - U_m = 3,6 - 0,5 = 3,1\text{V}$$

$$U_{CE}^- = I_{E0} R_v = 2 \cdot 2,5 = 5\text{V}$$

$$U_{ki}^- = U_{CE}^- = 5\text{V} \quad \mathbf{2,5p}$$

$$U_{ki}^+ = U_{CE}^+ = 3,1\text{V} \quad \mathbf{2,5p}$$

$$U_{C0} = U_t - R_C I_{E0} = 10 - 2,5 \cdot 2 = 5\text{V}$$



5p

c.) $R_{be} = R_1 \times R_2 \times (1 + \beta) r_d = 800 \times 201 \cdot 13 = 800 \times 2623 = 612\Omega$

$$\frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{u_{be}}{u_g} \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} \left(-\alpha \frac{R_C}{r_d} \right) = \frac{1}{2} \left(-0,995 \frac{2500}{13} \right) = -91,3 \quad \mathbf{5p}$$

d.) A frekvenciafüggés számításához meg kell határozni a parazita kapacitásokat. A kollektor-bázis kapacitást a megadott diagramból lehet leolvasni. A kollektor bázis dióda záró irányú feszültsége közelítőleg (elhanyagolva az igen kicsi bázisáramot): $U_{CB0} = U_{C0} - U_{B0} = 5 - 3 = 3\text{V}$. A megadott grafikon alsó görbéjéről leolvashatjuk a kollektor bázis dióda záró irányú kapacitását:

$$C_{cb} \approx 5,2\text{pF}. \text{ A tranzit frekvencia meg van adva: } f_T = 160\text{MHz}.$$

$$C_{be} + C_{bc} = \alpha_0 \frac{1}{r_d \omega_T} = \alpha_0 \frac{1}{r_d 2\pi f_T} = 0,995 \frac{1}{13 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 160 \cdot 10^6} = 76\text{pF}$$

$$C_{be} = (C_{be} + C_{bc}) - C_{bc} = 76 - 5,2 = 70,8\text{pF}$$

Az erősítő fokozat erősítése a kimenet és a bemenet között:

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = A = -\alpha \frac{R_C}{r_d} = -0,995 \frac{2500}{13} = -191$$

Az előzőek alapján: $R_{be} = 612\Omega$

A bemeneti pólus frekvencia a Miller hatás miatt:

$$\omega_{p1} = \frac{1}{(R_g \times R_{be})((1-A)C_{bc} + C_{be})} = \frac{1}{306 \cdot (192 \cdot 5,2 + 70,8) \cdot 10^{-12}} = 3,1\text{Mrad/s}$$

$$f_{p1} = f_{felső} = \frac{\omega_{p1}}{2\pi} = \frac{3,1\text{Mrad/s}}{6,28} = 487\text{kHz} \quad \mathbf{5p}$$

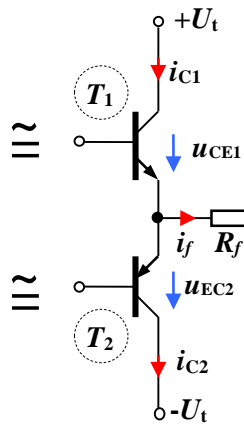
A kimeneti pólus frekvencia sokkal nagyobb, a felső határfrekvenciába nem szól bele jelentősen:

$$\omega_{p2} = \frac{1}{(R_{ki} \times R_i) C_{bc}} = \frac{1}{2500 \cdot 5,2 \cdot 10^{-12}} = 77\text{Mrad/s}$$

A zérus frekvencia igen nagy frekvenciára esik, ez sem szól bele a felső határfrekvenciába:

$$\omega_z = \frac{-A}{R_{ki} C} = \frac{191}{2500 \cdot 5,2 \cdot 10^{-12}} = 14,7\text{Grad/s}$$

4.) Feladat. Az ábra szerinti „A” osztályú, ellenütemű végfokozat egy **egyenfeszültségű** erősítő kimeneti fokozata.



$T_1 : n-p-n$, $T_2 : p-n-p$, T_1, T_2 komplementer pár,

$U_t = 12 \text{ V}$, $U_m = 1 \text{ V}$, $A = 1$, $R_f = 4 \Omega$, $R_{thJC} = 2^\circ\text{C/W}$, $T_A = 85^\circ\text{C}$, $T_{JMax} = 150^\circ\text{C}$

a.) $I_{C0opt} = ?$ (optimális kollektor áram?) 5p

b.) $P_{fmax} = ?$ (maximális kimeneti teljesítmény esetén?) 5p

c.) $I_{telepMax} = ?$ (a telepekből felvett maximális áram?) 5p

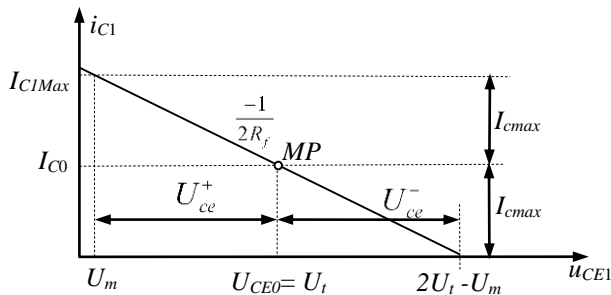
d.) $R_{thCAMax} = ?$ (hűtőborda maximális hőellenállása?) 5p

Megoldás: „A” osztály:

$$i_{C1}(t) = I_{C0} + i_c(t) \quad i_{C2}(t) = I_{C0} - i_c(t) \quad i_f(t) = i_{C1}(t) - i_{C2}(t) = 2i_c(t)$$

$$U_t = u_{CE1} + i_f R_f = u_{CE1} + 2i_c(t) R_f = u_{CE1} + 2[i_{C1}(t) - I_{C0}] R_f, \text{ mivel } U_t = u_{CE0}$$

$$\text{a munkaegyenes: } U_{CE0} = u_{CE1} + 2R_f(i_{C1} - I_{C0}) = u_{CE1} + 2R_f i_{C1} - 2R_f I_{C0}$$



$$i_{C1} = \frac{U_{CE0} - u_{CE1} + 2R_f I_{C0}}{2R_f} = -\frac{1}{2R_f} u_{CE1} + I_{C0} + \frac{U_{CE0}}{2R_f}$$

a.) $I_{C0opt} = ? \quad U_{CE0} = U_t, U_{kiMax} = U_t - U_m, U_{kiMax} = I_{kiMax} R_f, I_{kiMax} = 2I_{C0opt},$

$$U_{kiMax} = 2I_{C0opt} R_f, 2I_{C0opt} R_f = U_t - U_m,$$

$$I_{C0} = I_{C0opt} = \frac{U_t - U_m}{2R_f} = \frac{12 - 1}{2 \cdot 4} = 1,375 \text{ A} \quad \mathbf{5p}$$

$$I_{C1Max} = \frac{2U_t - 2U_m}{2R_f} = \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{12 - 1}{4} = 2,75 \text{ A}$$

b.) $P_{fmax} = ? \quad P_{fmax} = I_{fmax}^2 R_f \quad I_{fmax} = 2I_{C0opt} = 2,75 \text{ A}$

$$\text{vagy: } I_{fmax} = \frac{U_t - U_m}{R_f} = \frac{12 - 1}{4} = 2,75 \text{ A}$$

$$P_{fmax} = I_{fmax}^2 R_f = 2,75^2 \cdot 4 = 30,25 \text{ W} \quad \mathbf{5p}$$

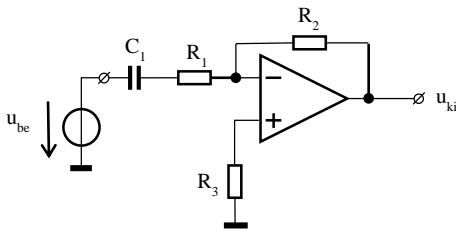
$$\text{vagy: } P_{fmax} = \frac{U_{fmax}^2}{R_f} = \frac{(U_t - U_m)^2}{R_f} = \frac{(12 - 1)^2}{4} = 30,25 \text{ W}$$

c.) $I_{telepMax} = ? \quad I_{telepMax} = 2I_{C0opt} = 2 \cdot 1,375 = 2,75 \text{ A} \quad \mathbf{5p}$

d.) Ahogy ezt a B osztály levezetésénél láttuk, a tranzisztorok disszipációja $U_{CE0} = U_t$ -nél, a MP-ban a legnagyobb: $P_{Dmax1tr} = U_t \cdot I_{C0} = 12 \cdot 1,375 = 16,5 \text{ W}$

$$T_J = T_A + P_D R_{thCA} + P_D R_{thJC}, \quad R_{thCAMax} = \frac{T_{JMax} - T_{AMax} - P_D R_{thJC}}{P_D} = \frac{150 - 85 - 16,5 \cdot 2}{16,5} = 1,94 \frac{\text{C}}{\text{W}} \quad \mathbf{5p}$$

5.) Feladat. Az ábrán látható műveleti erősítő nyílthurkú erősítése jól közelíthető az egypólusú erősítés modellel, erősítés-sávszélesség szorzata (GBW) 6MHz, BIAS árama 1uA, offset feszültsége 1mV, egyéb paraméterei ideálisak.



$$R_1 = 1k\Omega, R_2 = 5k\Omega, R_3 = 5k\Omega, C_1 = 100nF.$$

- Mekkora a kimeneti hibafeszültség? 5p
- Mekkora az $\left| \frac{u_{ki}(f)}{u_{be}} \right|$ -3 dB-es alsó határfrekvenciája Hz-ben? 5p
- Mekkora az $\left| \frac{u_{ki}(f)}{u_{be}} \right|$ -3 dB-es felső határfrekvenciája Hz-ben? 5p
- Rajzolja fel az $\left| \frac{u_{ki}(f)}{u_{be}} \right|$ Bode diagramját töréspontos közelítéssel.

Jelölje be az alsó és felső határfrekvenciákat és a sávközépi erősítést. 5p

Megoldás:

a.) A BIAS áramok hatása eliminálható, ha a két bemenetet lezáró egyenáramú eredő ellenállások megegyeznek. $R_3 = R_1 \times R_2 = R_2 = 5k\Omega$, mert a kondenzátoron, és így az R_1 ellenálláson nem tud egyenáram folyni.

$$U_{kiH} = U_{off} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 1 \left(1 + \frac{5}{1} \right) = 6mV \quad \mathbf{5p}$$

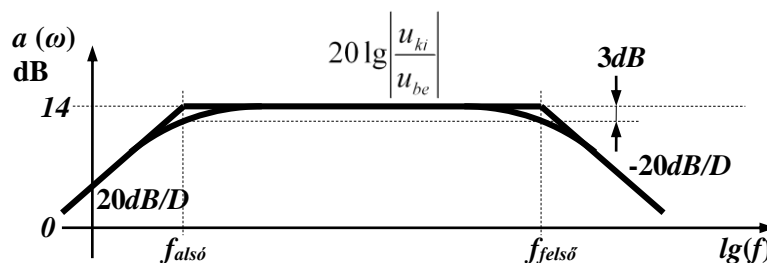
b.) $R_{be} = R_1$, tehát a $\omega_a = \frac{1}{R_1 C_1} = \frac{1}{1 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 10krad/s$ amiből $f_a = \frac{\omega_a}{2\pi} = \frac{10}{6,28} = 1,59kHz$. 5p

c.) A C_1 kondenzátor a felső határfrekvencia közelében rövidzárnak tekinthető tehát

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{1}{1 + 5} = \frac{1}{6} \quad \text{vagyis} \quad \omega_p = \beta A_0 \omega_0 = \beta GBW$$

$$f_p = f_f = \beta A_0 f_0 = \beta GBW = \frac{1}{6} 6MHz = 1MHz \quad \mathbf{5p}$$

d.) A sávközépi erősítés $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{R_2}{R_1} = -5$, dB-ben: $a_{közepesdB} = 20 \lg|-5| = 14dB$, 1,59kHz-nél az alsó, 1MHz-nél a felső törésponti frekvencia:



5p

Képletgyűjtemény

$$i_E = I_{S0} \left(e^{\frac{u_{BE}}{U_T}} - 1 \right) \quad r_d = \frac{U_T}{I_{E0}} \quad A = \frac{B}{1+B} \quad \alpha = \frac{\beta}{1+\beta} \quad B = \frac{A}{1-A} \quad \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

$$T_J = T_A + P_D R_{thCA} + P_D R_{thJC}$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\alpha \frac{R_C}{r_d}, \quad \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \alpha \frac{R_C}{r_d}$$

$$R_{be} = \frac{u_{be}}{i_{be}}, \quad R_{be} = (1+\beta)r_d, \quad R_{ki} = \frac{u_{ki}}{i_{ki}}, \quad u_{be} = 0$$

$$C_{be} + C_{bc} = \alpha_0 \frac{1}{r_d \omega_T}$$

$$\omega_z = \frac{-A}{R_2 C} = \frac{-A_u L_{ki}}{R_2 C}$$

$$\omega_p = \frac{1}{[(1-A)R_1 + R_2]C} = \frac{1}{[(R_g \times R_{be})(1-A) + (R_{ki} \times R_t)]C}$$

$$\omega_p = \beta A_0 \omega_0,$$