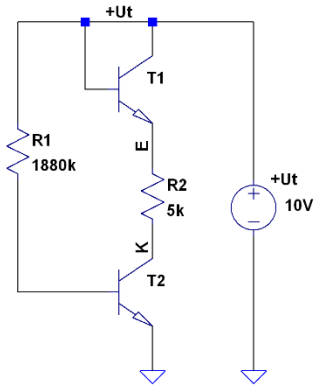
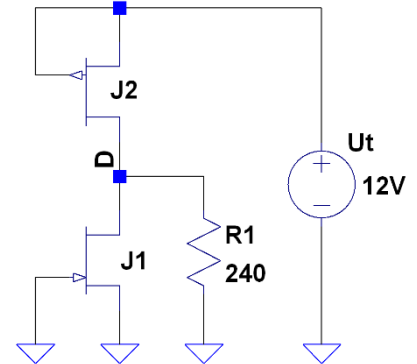


1.) *Feladat.* A bal oldali ábrán lévő kapcsolásban $T_1 = T_2$, npn tranzisztorok, $B = \beta = 200$, $U_{BE0} = 0,6V$, $U_t = 10V$, $R_1 = 1880k\Omega$, $R_2 = 5k\Omega$.

A jobb oldali ábrán lévő kapcsolásban J_1 , n csatornás JFET $I_{DSS1} = 12mA$, J_2 p csatornás JFET $I_{DSS2} = 37mA$, a drain elektródájukkal kötöttük őket össze (D pont). $U_t = 12V$, $R_1 = 240\Omega$.



- T_1 emitter potenciálja, $U_E = ?$ 5p
- T_2 kollektor potenciálja, $U_K = ?$ 5p
- A közös drain pont potenciálja $U_D = ?$ 5p
- A jobboldali kapcsolás telepének árama $I_{U_t} = ?$, 5p



Megoldás

a.) A T_2 tranzisztorra: $I_{B02} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_1}$, $I_{C02} = I_{E01} = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_1} B = \frac{10 - 0,6}{1880} 200 = 1mA$

$$U_E = U_t - U_{BE0} = 10 - 0,6 = 9,4V \quad \mathbf{5p}$$

b.) $U_C = U_E - I_{E01} R_2 = 9,4 - 1 \cdot 5 = 4,4V \quad \mathbf{5p}$

c.) Mivel mindkét tranzisztorra: $U_{GS1} = U_{GS2} = 0$, $I_{D1} = I_{DSS1}$ és $I_{D2} = I_{DSS2}$, tehát:

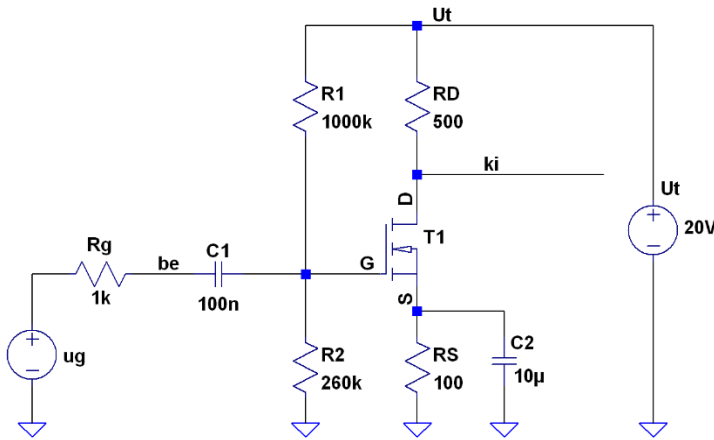
$$I_{R1} = I_{D2} - I_{D1} = I_{DSS2} - I_{DSS1} = 37 - 12 = 25mA$$

$$U_D = I_{R1} R_1 = 25 \cdot 0,24 = 6V \quad \mathbf{5p}$$

d.) $I_{U_t} = I_{D2} = 37mA \quad \mathbf{5p}$

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

Adatok: T_1 : n csatornás növekményes MOSFET, $I_{D00} = 182\text{mA}$, $U_p = 1,6\text{V}$, u_g kis amplitúdójú váltakozó feszültség generátor. A rajz szerint megépített erősítő bemérésekor kivezérlés nélkül az S ponton $U_{S0} = 2\text{V}$ -ot mérünk.



$$R_g = 1\text{k}\Omega, R_S = 100\Omega, R_D = 500\Omega, R_1 = 1\text{M}\Omega, \\ R_2 = 260\text{k}\Omega, C_1 = 100\text{nF}, C_2 = 10\mu\text{F}, U_i = 20\text{V}, \\ C_{gs} = 50\text{pF}, C_{gd} = 10\text{pF}.$$

a.) *Sávközépi* kijelű lineáris helyettesítőkép 5p

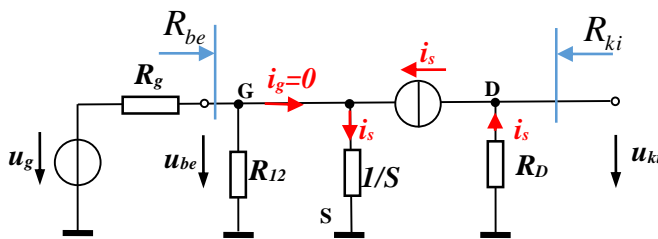
b.) $\frac{u_{ki}}{u_g} = ?$ *sávközépi* erősítés dB-ben 5p

c.) $\frac{u_{ki}}{u_g}(s)$ -3dB-es *alsó* határfrekvenciája Hz-ben 5p

d.) $\frac{u_{ki}}{u_g}(s)$ -3dB-es *felső* határfrekvenciája Hz-ben 5p

Megoldás: $I_{S0} = I_{D0} = \frac{U_{S0}}{R_S} = \frac{2}{0,1} = 20\text{mA}, \quad S = \frac{2}{|U_p|} \sqrt{I_{D0} I_{D00}} = \frac{2}{1,6} \sqrt{20 \cdot 182} = 75,4\text{mS}, \quad \frac{1}{S} = 13,3\Omega$

a.) A lineáris kijelű helyettesítőkép sávközépre (kapacitások extrém impedanciák: C_1, C_2 váltóáramú rövidzár, a parazita kapacitások szakadások):



5p

b.) $R_{be} = R_1 \times R_2 = 1\text{M}\Omega \times 260\text{k}\Omega = 206,3\text{k}\Omega$. Mivel $R_{be} \gg R_g$, ezért a bemeneten a leosztás

elhanyagolható: $\frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{R_D}{\frac{1}{S}} = -\frac{500}{13,3} = -37,6, \quad \frac{u_{ki}}{u_g} \Big|_{dB} = 20\lg \left| \frac{u_{ki}}{u_g} \right| = 31,5\text{dB}$ 5p

c.) Alsó határfrekvenciát a C_1 csatoló kondenzátor, illetve a C_2 Source kondenzátor hoz létre. A nagyobbik lesz az eredő alsó határfrekvencia.

$$\omega_{a1} = \frac{1}{(R_g + R_{be})C_1} = \frac{1}{(1 + 206,3) \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 48,2\text{rad/s} \quad f_{a1} = \frac{\omega_{a1}}{2\pi} = \frac{48,2\text{rad/s}}{2\pi} = 7,7\text{Hz},$$

$$\omega_{a2} = \frac{1}{\left(\frac{1}{S} \times R_S\right)C_2} = \frac{1}{(13,3 \times 100) \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 8,52\text{krad/s}, \quad f_a = f_{a2} = \frac{8,52\text{krad/s}}{2\pi} = 1356\text{Hz} \quad 5\text{p}$$

d.) A felső határfrekvenciákat a parazita kapacitások hozzák létre, ezek közül a kisebb lesz a felső

határfrekvencia: $\omega_{p1} = \frac{1}{(R_g \times R_{be})C_{p1}}, \quad \omega_{p2} = \frac{1}{R_{ki}C_{p2}}, \quad C_{p1} = C_{gs} + (1-A)C_{gd} = 50 + (1+37,6)10 = 436\text{pF},$

$$C_{p2} = C_{gd} = 10\text{pF}, \quad \omega_{p1} = \frac{1}{(R_g \times R_{be})C_{p1}} \approx \frac{1}{R_g C_{p1}} = \frac{1}{10^3 \cdot 436 \cdot 10^{-12}} = 2,29\text{Mrad/s},$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{R_{ki}C_{p2}} = \frac{1}{R_D C_{p2}} = \frac{1}{500 \cdot 10 \cdot 10^{-12}} = 200\text{Mrad/s}, \quad f_f = \frac{\omega_{p1}}{2\pi} = \frac{2,29\text{Mrad/s}}{2\pi} = 365\text{kHz} \quad 5\text{p}$$

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

Adatok: T_1 : $n-p-n$ tranzisztor, $B = \beta = 99$, $U_{BE0} = 0,6V$, T_2 : $p-n-p$ tranzisztor, $B = \beta = 99$, $U_{EB0} = 0,6V$,

$U_t = 25V$, $R_1 = 2380k\Omega$, $R_{C1} = 10k\Omega$, $R_{C2} = 10k\Omega$, $C_1 = \infty$, u_g kis amplitúdójú váltó feszültség generátor.

a.) Kijelű lineáris sávközépi helyettesítőkép 5p

b.) Mekkora a sávközépi erősítés $\frac{u_{ki2}}{u_g} = ?$, $\frac{u_{ki1}}{u_g} = ?$

5p

c.) $R_{be} = ?$, $R_{ki1} = ?$, $R_{ki2} = ?$

5p

d.) $\frac{u_{ki1}}{u_g}(s) = ?$, $\frac{u_{ki2}}{u_g}(s) = ?$ átviteli függvények -3dB-

es felső határfrekvenciái Hz-ben, ha mindkét

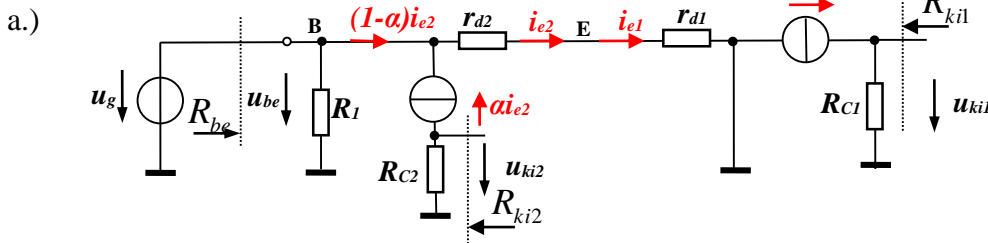
tranzisztorra: $C_{be} = 20pF$, $C_{bc} = 2pF$ 5p

Megoldás:

$$A = \frac{B}{1+B} = \frac{99}{100} = 0,99, \alpha = 0,99$$

$$I_{B20} = \frac{U_t - U_{EB0} - U_{BE0}}{R_1}, I_{E20} = I_{B20}(1+B) = \frac{U_t - U_{EB0} - U_{BE0}}{R_1}(1+B) = \frac{25 - 0,6 - 0,6}{2380}100 = 1mA,$$

$$I_{E10} = I_{E20} = 1mA, r_{d1} = r_{d2} = r_d = \frac{U_T}{I_{E0}} = \frac{26}{1} = 26\Omega,$$



b.) $\frac{u_{ki2}}{u_g} = -\alpha \frac{R_{C2}}{2r_d} = -0,99 \frac{10000}{52} = -190,4$

$$\frac{u_{ki1}}{u_g} = \frac{u_E}{u_g} \frac{u_{ki1}}{u_E} = \frac{r_{d1}}{r_{d1} + r_{d2}} \left(\alpha \frac{R_{C1}}{r_{d1}} \right) = \alpha \frac{R_{C1}}{r_{d1} + r_{d2}} = \alpha \frac{R_{C1}}{2r_d} = 0,99 \frac{10000}{52} = 190,4$$

c.) $R_{be} = R_1 \times (1 + \beta)(r_{d1} + r_{d2}) \approx (1 + \beta)2r_d = 100 \cdot 2 \cdot 26 = 5,2k\Omega$, $R_{ki1} = R_{C1} = 10k\Omega$, $R_{ki2} = R_{C2} = 10k\Omega$

d.) Bemeneti pólus nincs, a zérus generátor ellenállás miatt. Az E pont feszültsége frekvenciafüggetlen a kompenzált feszültségosztó miatt, amit az r_{d2} , C_{eb2} párhuzamos kapcsolása, és a sorba kapcsolódó r_{d1} , C_{eb1} párhuzamos kapcsolása hoz létre.

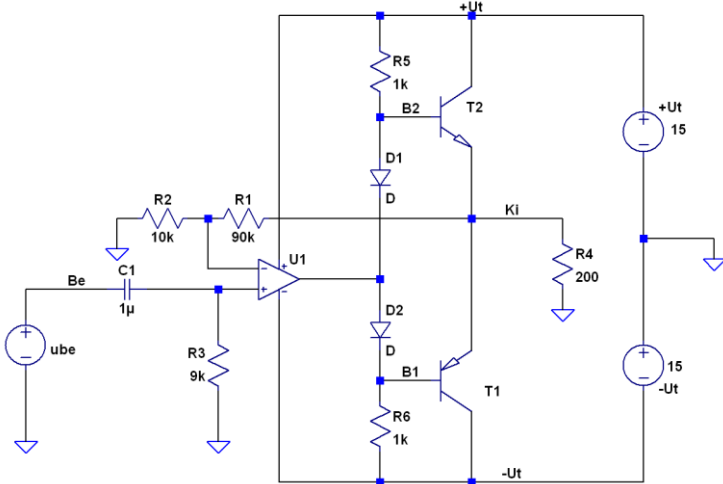
Pólust mindkét kimenet esetében csak a kimeneten egyszeresen megjelenő $C_{bc} = 2pF$ kapacitás hoz létre a kimeneti ellenállással:

$$\omega_p = \frac{1}{R_{ki}C_{bc}} = \frac{1}{10000 \cdot 2 \cdot 10^{-12}} = 50Mrad/s, \quad f_{-3dB} = f_p = \frac{\omega_p}{2\pi} = \frac{50Mr/s}{2\pi} = 7,96MHz \quad 5p$$

A T_2 , azaz u_{ki2} esetében egy igen nagy frekvencián megjelenik egy zérus, de ez nem szól bele a felső

$$\text{határfrekvenciába: } \omega_z = \frac{-A}{R_{ki}C} = 190,4 \cdot 50 = 9,5Grad/s, \quad f_z = \frac{\omega_z}{2\pi} = 1,5GHz$$

- 4.) *Feladat.* Az ábra szerinti B osztályú, T_1, T_2 ellenütemű végfokozattal növeltük meg a műveleti erősítő kimeneti áramát, hogy egy 200 Ohmos fejhallgatót legyünk képesek táplálni. Az áramkör ezzel a megoldással úgy viselkedik, mintha a K_i pont lenne a műveleti erősítő kimenete.
- T_1 : $n-p-n$, T_2 : $p-n-p$, T_1, T_2 komplementer tranzisztor pár, $U_m = 0,5V$, a nyitott PN átmenet feszültsége mind a diódáknál, mind a tranzisztoroknál $0,6V$, $U_t = 15V$, $I_{BIAS} = 10pA$, $U_{offset} = 5mV$, $R_1 = 90k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 9k\Omega$, $R_4 = 200\Omega$ a fejhallgató impedanciája, a műveleti erősítő maximális kimenő feszültsége $\pm 13V$, Slew Rate-je $SR = 20V / \mu s$.



- Mekkora a kivezérés nélküli kimenőfeszültség $U_{ki0} = ?$ 5p
- Szinuszos kimenőjel esetén mekkora a maximális kimenő teljesítmény? $P_{kiMax} = ?$ 5p
- Tranzisztor határadatok $I_{EMax} = ?$, $U_{CEMax} = ?$, $U_{ECMax} = ?$ 5p
- Korlátozza-e a maximális kimenő feszültséget a műveleti erősítő Slew Rate paramétere a legnagyobb üzemi frekvencián, 20kHz-en? $U_{kiMax}(20kHz) = ?$ 5p

Megoldás:

- a.) $R_1 \times R_2 = 10 \times 90 = 9k\Omega = R_3$, tehát a BIAS áram hibafeszültséget nem hoz létre. (Ha nem így volna, akkor is igen kicsi hibafeszültséget hozna létre az igen kicsi BIAS áram.)

$$U_{ki0} = U_{offset} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) = 5 \left(1 + \frac{90}{10} \right) = 50mV, \text{ a kimeneti hibafeszültség a } +50mV\text{-os tartományon van. } \mathbf{5p}$$

- b.) A kimenő feszültséget a műveleti erősítő kimenő feszültsége korlátozza. A T_2 bázisa $0,6V$ -al van a műveleti erősítő kimeneténél nagyobb feszültségen, a kimeneti emitter pont ugyanennyivel kisebb feszültségen. (Hasonlóan T_1 esetén)

$$U_{kiMax} = U_{MEkiMax} + U_{D0} - U_{BE0} = 13V, P_{kiMax} = \frac{1}{2} \frac{U_{kiMax}^2}{R_4} = \frac{1}{2} \frac{13^2}{200} = 422mW \quad \mathbf{5p}$$

$$c.) I_{EMax} = \frac{U_{kiMax}}{R_4} = \frac{13}{200} = 65mA \quad U_{CEMax} = U_{ECMax} = U_t + U_{kiMax} = 15 + 13 = 28V \quad \mathbf{5p}$$

$$d.) \hat{U}_{Max} = \frac{SR}{\omega_0} = \frac{20 \cdot 10^6 \frac{V}{s}}{2\pi \cdot 20 \cdot 10^3 \frac{1}{s}} = 159V, \text{ tehát a Slew Rate nem korlátozza } 20 \text{ kHz-en a maximális kimenő}$$

feszültséget. $\mathbf{5p}$

5.) Feladat. Az alábbi kapcsolás az R_t ellenállással modellezett fogyasztó által egy akkumulátorból felvett áramot méri. Erre a célra az $R_1 = 1m\Omega$ -os ellenállást használjuk, amin eső feszültség arányos az átfolyó

árammal. A kapcsolás bemenő áramjai (R_2, R_4 ellenállásokon folyó áramok) elhanyagolhatóan kicsik, nem befolyásolják az U_a, U_t feszültségeket. Az R_t terhelő ellenállás úgy változik, hogy a rajta átfolyó áram az 1.. 30A tartományba esik. A műveleti erősítő ideális.

$R_2 = 1k\Omega, R_3 = 100k\Omega, R_4 = 1k\Omega, R_5 = 100k\Omega$.

a.) Hogyan függ az U_{ki} feszültség az U_a, U_t feszültségektől, illetve a terhelő ellenálláson folyó áramtól $\frac{U_{ki}}{I_t} = ?$ 5p

b.) Mekkora a minimális 1A-hez, illetve a maximális 30A-hez tartozó kimeneti feszültség $U_{ki}(1A) = ?, U_{ki}(30A) = ?$ 5p

c.) Az áramkört olyan műveleti erősítővel akarjuk megépíteni, amelynek nyílthurkú erősítése:

$$A = A_0 \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_1}} \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_2}} \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_3}}, \text{ ahol } A_0 = 10^6, \omega_1 = 10 \frac{\text{rad}}{\text{s}}, \omega_2 = 100 \frac{\text{krad}}{\text{s}}, \omega_3 = 1 \frac{\text{Mrad}}{\text{s}}.$$

Ábrázolja ezt az erősítést töréspontos közelítésű Bode diagramban

5p

d.) Végezzen Bode stabilitás vizsgálatot az előző nyílt hurkú erősítésű műveleti erősítővel megépített áramkörtön. Ha a visszacsatolt áramkör stabil, mekkora a fázistartalék?

5p

Megoldás:

$$a.) U_{ki} = U_a \frac{R_5}{R_4 + R_5} \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) - U_t \frac{R_3}{R_2} = U_a \frac{100}{1+100} \left(1 + \frac{100}{1}\right) - U_t \frac{100}{1} = (U_a - U_t) \cdot 100$$

$$U_{ki} = (U_a - U_t) \cdot 100 = I_t R_1 \cdot 100, \text{ A transzfer impedancia: } \frac{U_{ki}}{I_t} = 100 R_1 = 100 \cdot 10^{-3} = 0,1 \frac{\text{V}}{\text{A}} \quad \mathbf{5p}$$

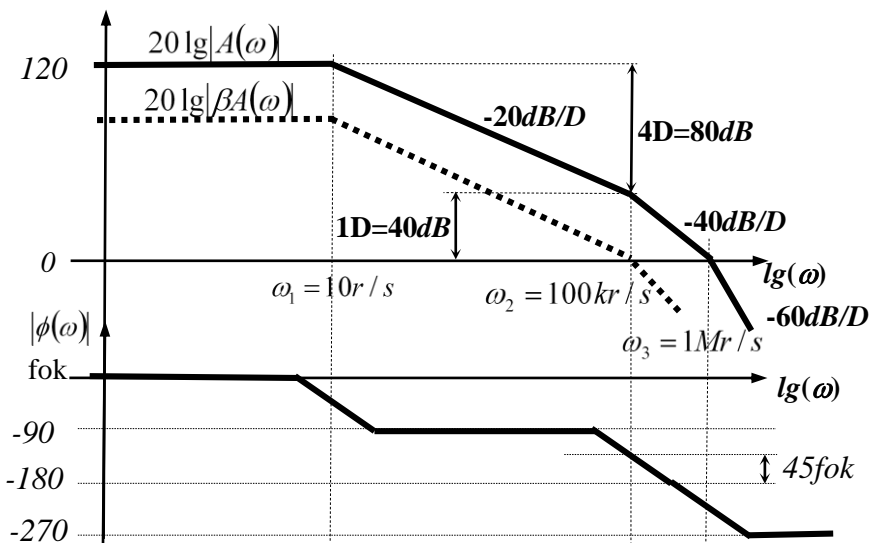
$$b.) U_{ki}(1A) = 0,1 \cdot 1 = 0,1V \quad U_{ki}(30A) = 0,1 \cdot 30 = 3V \quad \mathbf{5p}$$

c.) d.) A folytonos vonal a nyílt hurkú erősítés (5p), a szaggatott vonal a hurokerősítés abszolútérték menete a

frekvencia függvényében, mert

$$\beta = \frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{1}{1+100} = \frac{1}{101} \rightarrow \approx -40dB$$

A visszacsatolt erősítő stabil, ez a hurokerősítés hozzávetőlegesen 45 fokos fázistartalékot jelent. 5p



Képletgyűjtemény

$$i_E = I_{S0} \left(e^{\frac{u_{BE}}{U_T}} - 1 \right)$$

$$r_d = \frac{U_T}{I_{E0}}$$

$$A = \frac{B}{1+B}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$$

$$B = \frac{A}{1-A}$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$$

$$S = \frac{2}{|U_p|} \sqrt{I_{D0} I_{D00}}$$

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

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

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{R_2}{R_1},$$

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

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

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

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

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