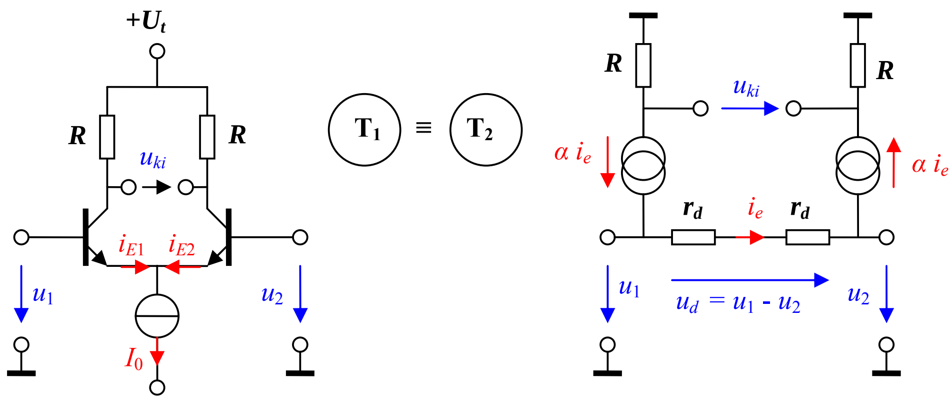
1.) Feladat Ismertesse a differenciálerősítő jellemzőit!
(**a.)** kapcsolási rajz, **b.)** a kisjelű differenciál módusú erősítés értéke, **c.)** az U_{off} fogalma, **d.)** a nagyjelű transzfer karakterisztika $i_{c1} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{\Delta u})$)

Megoldás:

a.)



b.)

$$A_D = \left.\frac{u_{ki}}{u_d}\right|_{u_K=0} = \frac{-2\alpha R i_e}{2 r_d i_e} = -\alpha \frac{R}{r_d}$$

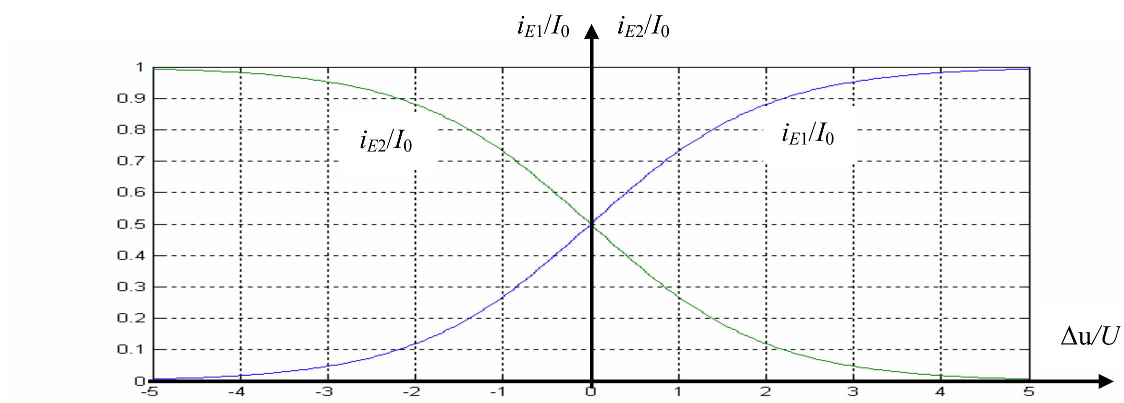
c.) Az U_{off} az a feszültség, amit a valóságos differenciálerősítő bemenetei közé kapcsolva a kimenő feszültség értékét zérussá teszi. (Aszimmetrikus kimenet esetén U_{off} a két tranzisztor kollektor áramát tegye egyenlővé !)

d.) $i_{E1} + i_{E2} = I_0 \quad i_{E1} = I_{S0}\left(\exp\left(\frac{u_{BE1}}{U_T}\right) - 1\right) \cong I_{S0}\exp\left(\frac{u_{BE1}}{U_T}\right) \quad i_{E2}. \cong I_{S0}\exp\left(\frac{u_{BE2}}{U_T}\right)$

$$1 + \frac{i_{E2}}{i_{E1}} = 1 + \exp\left(-\frac{u_{BE1} - u_{BE2}}{U_T}\right) = \frac{I_0}{i_{E1}}$$

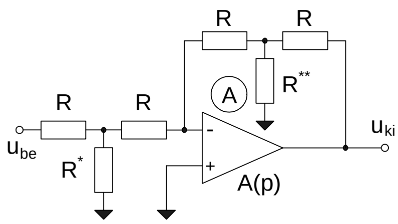
$$i_{E1}(\Delta u) = I_0 \frac{1}{1 + \exp(-\Delta u / U_T)} \qquad i_{E2}(\Delta u) = I_0 \frac{1}{1 + \exp(\Delta u / U_T)}$$

Ahol: $\Delta u = u_{BE1} - u_{BE2} = u_1 - u_2$ $\quad U_T$: a termikus potenciál = 26 mV (20 C°-on)



2.) Példa

Határozza meg az alábbi kapcsolás paramétereit!



a.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $R^* = R^{**} \to \infty$, A ideális,

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $R^* = R$, $R^{**} \to \infty$, A ideális,

c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $R^* \to \infty$, $R^{**} = R$, A ideális,

d.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$, $\zeta = ?$, $R^* \to \infty$, $R^{**} = R$, $A(s) = \frac{A_0}{(1+s/\omega_1)(1+s/\omega_2)}$, A_0=3,5·10^5, $\omega_1 = 10$ rad/s, $\omega_2 = 10^6$ rad/s

Megoldás:

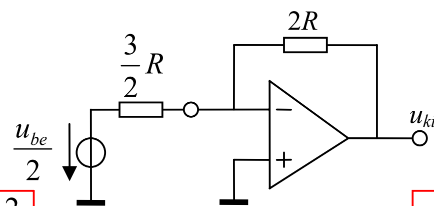
a.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $R^* = R^{**} \to \infty$, A ideális

$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{2R}{2R} = -1}$$

5p

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $R^* = R$, $R^{**} \to \infty$, A ideális

A bemeneti T-tagra *Thevenin* helyettesítő képet rajzolva a kapcsolás:



$$\frac{u_{ki}}{u_{be}/2} = -\frac{2R}{\frac{3}{2}R} = -\frac{4}{3}$$

Amiből:

$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{2}{3}}$$

5p

c.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, $R^* \to \infty$, $R^{**} = R$, A ideális

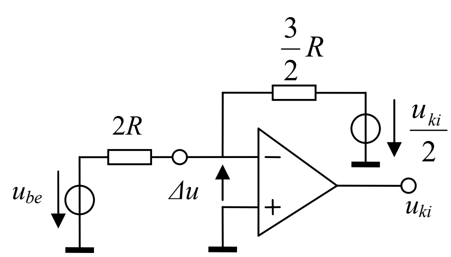
A kimeneti T-tagra a *Thevenin* helyettesítő képet alkalmazva (lásd az alsó ábrát, $\Delta u = 0$), a közös áram:

$$i = \frac{u_{be}}{2R} = -\frac{0.5u_{ki}}{1.5R} \qquad \text{amiből:} \qquad \boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{3}{2}}$$

5p

d.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$, $\zeta = ?$, $R^* \to \infty$, $R^{**} = R$, $\qquad A(s) = \frac{A_0}{(1+s/\omega_1)(1+s/\omega_2)}$

$$\Delta u = -\left[u_{be}\frac{1.5R}{2R+1.5R} + \frac{u_{ki}}{2}\frac{2R}{2R+1.5R}\right] = -\left[u_{be}\frac{3}{7} + u_{ki}\frac{2}{7}\right]$$



És $\qquad u_{ki} = A(s)\Delta u$

Ezekből:

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = -\frac{\frac{3}{7}A(s)}{1+\frac{2}{7}A(s)} = -\frac{3}{2}\frac{\frac{2}{7}A(s)}{1+\frac{2}{7}A(s)} =$$

$$= A_{id}\frac{\beta A(s)}{1+\beta A(s)} = A_{id}\frac{\beta A_0}{(1+s/\omega_1)(1+s/\omega_2)+\beta A_0}$$

Ahol: $\boxed{A_{id} = -\frac{3}{2} \text{ és } \beta = \frac{2}{7}}$

Bode-alakra hozva, a végső alak:

$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = A_{id}\frac{\beta A_0}{1+\beta A_0}\frac{1}{1+2\zeta\, s/\omega_p + (s/\omega_p)^2}}$$

5p

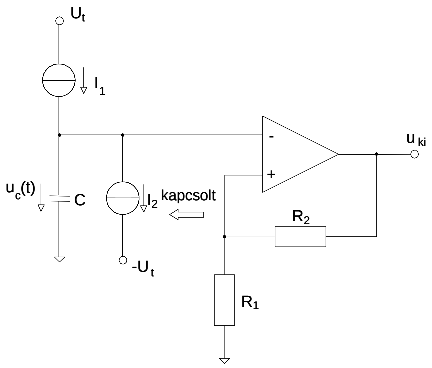
Az együtthatók összehasonlításából:

$$\omega_p^2 = (1+\beta A_0)\omega_1\omega_2 \qquad\qquad \omega_2 >> \omega_1$$

És

$$\boxed{\zeta = \frac{1}{2}\frac{\sqrt{\frac{\omega_2}{\omega_1}}+\sqrt{\frac{\omega_1}{\omega_2}}}{\sqrt{1+\beta A_0}} \cong \frac{1}{2}\frac{\sqrt{\frac{\omega_2}{\omega_1}}}{\sqrt{1+\beta A_0}} \cong \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\omega_2}{\omega_1\beta A_0}} = 0.5\sqrt{\frac{10^6}{10*\frac{2}{7}*3.5*10^5}} = 0.5}$$

3.) **Példa** **Határozza meg az alábbi komparátoros áramkör paramétereit!**



$R_1 = R_2$, $U_{kiM} = -U_{kim} = 10$ V, C=100 nF

I_2 bekapcsol, ha $U_{ki} = U_{kim}$
I_2 kikapcsol, ha $U_{ki} = U_{kiM}$

a.) Milyen áramkör látható az ábrán?
b.) $U_c(t) = ?$, I_1=1 mA, I_2=2 mA,
c.) $U_c(t) = ?$, I_1=1 mA, I_2=4 mA,
d.) T periódusidő=?, I_1=1 mA, I_2=2 mA,

Megoldás:
a.) Milyen áramkör látható az ábrán? **Astabil multivibrátor** 5p

b.) $U_c(t) = ?$, I_1=1 mA, I_2=2 mA

A C kapacitás U_c feszültségének megváltozása Δt idő alatt: $\Delta U_C = \dfrac{\Delta Q}{C} = \dfrac{(I_1 - I_2)\Delta t}{C}$

A feszültségváltozás meredeksége:

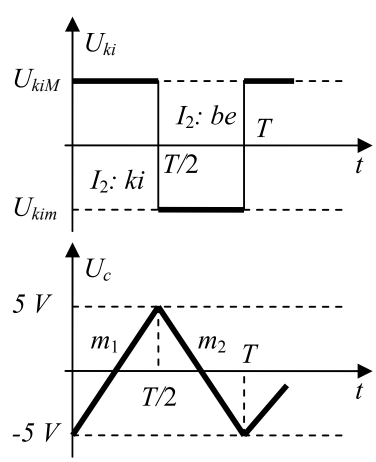
$$m = \frac{\Delta U_C}{\Delta t} = \frac{1}{C}(I_1 - I_2) = \begin{cases} m_1 = \dfrac{I_1}{C} & ha \quad U_{ki} = U_{kiM} \\ m2 = \dfrac{I_1 - I_2}{C} & ha \quad U_{ki} = U_{kim} \end{cases}$$

$m_1 = \dfrac{I_1}{C} = \dfrac{10^{-3}}{100 * 10^{-9}} = 10\dfrac{V}{m\sec}$ pozitív $\qquad m_2 = \dfrac{I_1 - I_2}{C} = \dfrac{-10^{-3}}{100 * 10^{-9}} = -10\dfrac{V}{m\sec}$
negatív

A komparátor billenési szintjei: $U_C(I_2 : bekap) = U_{kiM}\dfrac{R_1}{R_1 + R_2} = 10\dfrac{1}{2} = +5\ V$

$$U_C(I_2 : kikap) = U_{kim}\frac{R_1}{R_1 + R_2} = -10\frac{1}{2} = -5\ V$$

Ha U_C eléri ezeket a feszültség szinteket, a komparátor átvált.

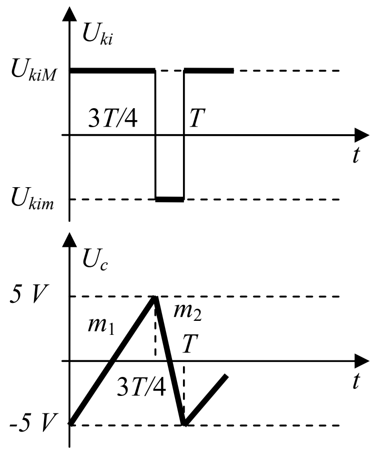


5p

c.) $U_c(t)=?$, I_1=1 mA, I_2=4 mA,

$$m_1=\frac{I_1}{C}=\frac{10^{-3}}{100*10^{-9}}=10\frac{V}{m\sec} \qquad m_2=\frac{I_1-I_2}{C}=\frac{-3*10^{-3}}{100*10^{-9}}=-30\frac{V}{m\sec}$$

Mivel m_2 háromszor olyan meredek mint m_1, ezért a hozzá rendelt idó harmad akkora mint az m_1-hez rendelt időtartam.



5p

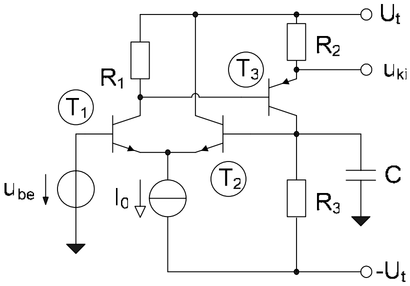
d.) T periódusidő=? (A b.) esethez tartözó idő)

Az m_1 meredekségű szakaszt használva:

$$m_1=\frac{\Delta u}{\Delta t}=\frac{5-(-5)}{T/2}=\frac{2*10V}{T}=10\frac{V}{m\sec} \quad \rightarrow \quad \boxed{T=\frac{20\ V}{10\ V/m\sec}=2\ \ m\sec}$$

5p

4.) Példa



Számítsa ki az alábbi kapcsolás munkapontját és kisjelű paramétereit!

T_1, T_2: n-p-n tranzisztorok,
$\beta_1 = B_1 = \beta_2 = B_2 = 99, U_{BE0} = 0{,}6$ V
T_3: p-n-p tranzisztor, $\beta_3 = B_3 = \to \infty$, $U_{EB0} = 0{,}6$ V,
$U_t = 12$ V, $I_0 = 2$ mA,
$R_1 = 6{,}6/0{,}99$ kΩ, $R_2 = 3$ kΩ, $R_3 = 6$ kΩ,
a.) $I_{E01} = ?$,
b.) $I_{E03} = ?$,
c.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ C \to \infty$,
d.) A visszacsatolás típusa, ha $C = 0$.

Megoldás:

a.) $I_{E01} = ?$

A visszacsatolás miatt T_3 munkapontja befolyásolja T_1-T_2 munkapontját. Vezérlés nélkül T_1 bázisa föld potenciálon van. Helyes beállítást feltételezve, a T_2 bázisának (T_3 kollektorának) is föld potenciálon kell lennie. Induljunk ki a helyes beállítás feltételezéséből és ellenőrizzük, hogy nem jutunk ellentmondásra!

Szimmetrikus beállításnál: $$\boxed{I_{E01} = I_{E02} = \frac{I_0}{2} = 1\ mA}$$ 5p

b.) $I_{E03} = ?$

A T_3 emitter-bázis körére felírható hurok egyenlet:

$$I_{C1} R_1 = I_{E03} R_2 + U_{EB0} \qquad \text{Ahol: } I_{C01} = A_1 I_{E01} = \frac{B_1}{1+B_1} I_{E01} = 0.99\ mA$$

Innen: $$\boxed{I_{E03} = I_{C03} = \frac{I_{C01} R_1 - U_{EB0}}{R_2} = \frac{6.6 - 0.6}{3} = 2\ \ mA}$$ 5p

Így T_3 kollektorán: $U_{C03} = -U_t + I_{C03} R_3 = -12 + 2 * 6 = 0\ V$

Ez volt eredeti feltételezésünk, tehát az a.) és b.) válaszok helyesek.

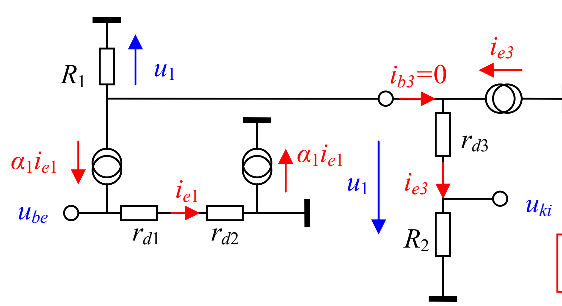
c.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ C \to \infty,$

A $C \to \infty$ feltétel a váltóáramú visszacsatolást megszünteti, mivel *váltóáramúlag* földeli a visszacsatolási pontot.

$$\frac{u_1}{u_{be}} = \frac{-\alpha_1 R_1 i_{e1}}{(r_{d1} + r_{d2}) i_{e1}} = -\frac{\alpha_1 R_1}{2 r_{d1}} = -\frac{6.6}{0.052} = -126.9$$

$$\frac{u_{ki}}{u_1} = \frac{R_2}{R_2 + r_{d3}} = \frac{3000}{3013} = 0.9957 \cong 1$$

$$\boxed{\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_1}{u_{be}} \frac{u_{ki}}{u_1} \cong -126.9}$$

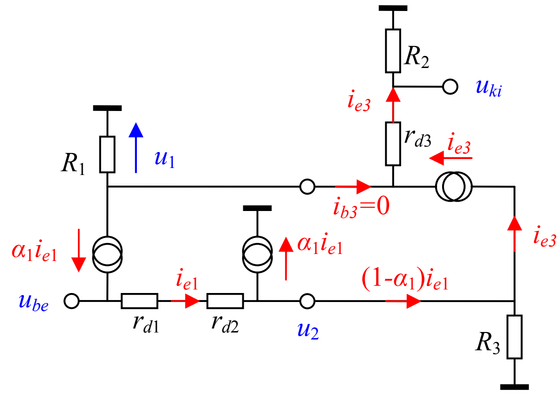


5p

d.) A visszacsatolás típusa, ha $C = 0$ **Soros, negatív, áram-visszacsatolás.** 5p

e.) MÁR NEM A VIZSGA ANYAGA (csak a példa kedvéért)

$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ha $C = 0$



A felírható egyenletek:

1.) $\quad i_{e3} = \frac{u_{ki}}{R_2}$

2.) $\quad u_1 = -\alpha_1 R_1 i_{e1} = (r_{d3} + R_2) i_{e3}$

Ebből: 2*.) $\quad i_{e1} = -\frac{r_{d3} + R_2}{\alpha_1 R_1} i_{d3} = -\frac{r_{d3} + R_2}{\alpha_1 R_1} \frac{u_{ki}}{R_2}$

3.) $\quad u_{be} = [2r_{d1} + (1-\alpha_1)R_3] i_{e1} - R_3 i_{d3}$

A 3.)-ba behelyettesítve 1.)-et és 2*.)-t

$$u_{be} = -u_{ki}\left[\frac{2r_{d1} + (1-\alpha_1)R_3}{\alpha_1 R_1} \frac{R_2 + r_{d3}}{R_2} + \frac{R_3}{R_2}\right] = -u_{ki} \frac{[2r_{d1} + (1-\alpha_1)R_3](R_2 + r_{d3}) + \alpha_1 R_1 R_3}{\alpha_1 R_1 R_2}$$

Ebből:
$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{\frac{\alpha_1 R_1}{2r_{d1} + (1-\alpha_1)R_3} \frac{R_2}{R_2 + r_{d3}}}{1 + \frac{R_3}{R_2} \frac{\alpha_1 R_1}{2r_{d1} + (1-\alpha_1)R_3} \frac{R_2}{R_2 + r_{d3}}} = -\frac{A}{1 + \beta A}$$

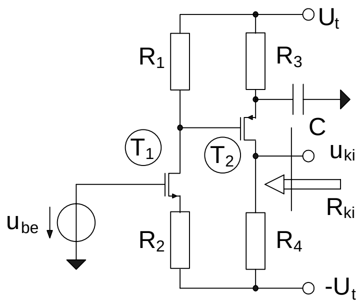
Ahol:
$$A = \frac{\alpha_1 R_1}{2r_{d1} + (1-\alpha_1)R_3} \frac{R_2}{R_2 + r_{d3}} = \frac{6.6}{0.052 + 0.06} \frac{3}{3.013} = 58.7$$

$$\beta = \frac{R_3}{R_2} = \frac{6}{3} = 2$$

Ezzel:
$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{A}{1 + \beta A} = -\frac{58.7}{1 + 2 * 58.7} = -0.496$$

5.) Példa

Határozza meg az alábbi kapcsolás frekvenciafüggő paramétereit!



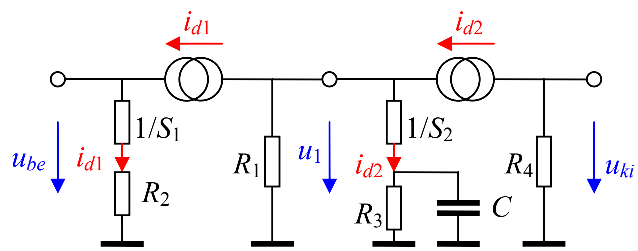
T_1: n-csatornás MOS FET, $S_1 = 1\text{mS}$,
T_2: p-csatornás MOS FET, $S_2 = 1\text{mS}$,
$U_t = 10$ V, $R_1 = 10$ kΩ, $R_2 = 4$ kΩ,
$R_3 = 4$ kΩ, $R_4 = 10$ kΩ,

a.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ C \to \infty,$ **b.)** $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?,$ ha

$C = 10\ \mu\text{F}$, a pólus és a zérus értéke,
c.) Az átviteli függvény Bode-diagramja?
d.) $R_{ki} = ?$

Megoldás:

A kisjelű helyettesítő kép:



a.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?,\ C \to \infty,$

Az első fokozat erősítése:

$$A_{10} = \frac{u_1}{u_{be}} = \frac{-R_1 i_{d1}}{(1/S_1 + R_2) i_{d1}} = -\frac{S_1 R_1}{1 + S_1 R_2} = -\frac{1*10}{1+1*4} = -\frac{10}{5} = -2 \qquad \to \quad 6\ \text{dB}$$

A második fokozat erősítése ha C→∞ :

$$A_{2\infty} = \frac{u_{ki}}{u_1} = \frac{-R_4 i_{d2}}{(1/S_2) i_{d2}} = -S_2 R_4 = -1*10 = -10 \qquad \to \quad 20\ \text{dB}$$

Ezzel:

$$\boxed{A_\infty = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_{10} A_{2\infty} = 20} \qquad \to \quad 26\ \text{dB} \qquad \boxed{5\text{p}}$$

b.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?,$ ha $C = 10\ \mu\text{F}$ (a pólus és a zérus értéke?)

A második fokozat erősítése ha C→ 0 :

$$A_{20} = \frac{u_{ki}}{u_1} = \frac{-R_4 i_{d2}}{(1/S_2 + R_3) i_{d2}} = -\frac{S_2 R_4}{1 + S_2 R_3} = -\frac{1*10}{1+1*4} = -\frac{10}{5} = -2 \qquad \to \quad 6\ \text{dB}$$

Ennek alapján ($Z_3 \to R_3$):

$$A_2(s) = \frac{u_{ki}}{u_1}(s) = -\frac{S_2 R_4}{1 + S_2 Z_3}$$

Ahol:

$$Z_3 = R_3 \times \frac{1}{sC} = \frac{R_3}{1 + sCR_3} = \frac{R_3}{1 + s/\omega_z}$$

és

$$\boxed{\omega_z = \frac{1}{CR_3} = \frac{1}{10^{-5} * 4 * 10^3} = 25\ rad/\sec}$$

Ezzel:

$$A_2(s) = -\frac{S_2R_4}{1+S_2\dfrac{R_3}{1+s/\omega_z}} = -\frac{S_2R_4(1+s/\omega_z)}{1+s/\omega_z+S_2R_3} = -\frac{S_2R_4}{1+S_2R_3}\frac{1+\dfrac{s}{\omega_z}}{1+\dfrac{s}{(1+S_2R_3)\omega_z}} = A_{20}\frac{1+s/\omega_z}{1+s/\omega_p}$$

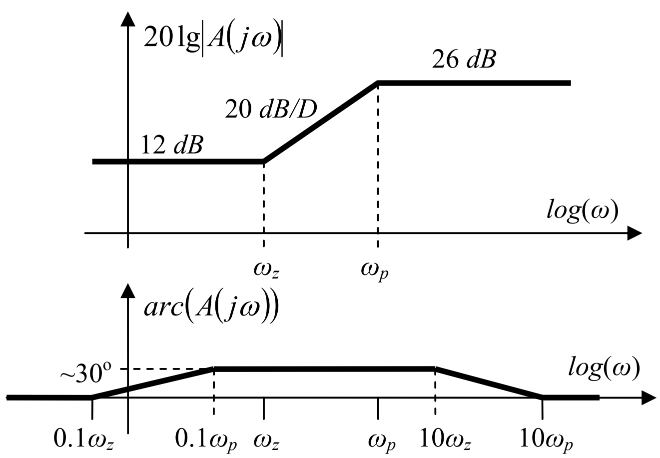
Ahol: $\boxed{\omega_p = (1+S_2R_3)\omega_z = (1+1*4)\omega_z = 5\omega_z = 125 \ \ rad/\sec}$

Ezzel: $\boxed{A(s) = \frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = A_{10}A_{20}\frac{1+s/\omega_z}{1+s/\omega_p} = A_0\frac{1+s/\omega_z}{1+s/\omega_p}}$ 5p

Ahol $A_0 = A_{10}A_{20} = 4 \qquad \rightarrow \ 6 \ \text{dB}$

c.) Az átviteli függvény Bode-diagramja

$$A_\infty = \lim_{\omega\to\infty}|A(j\omega)| = A_0\frac{\omega_p}{\omega_z} = 5A_0 = 20 \qquad \rightarrow \ 26 \ \text{dB}$$



5p

d.) R_{ki} = ?

A helyettesítő kép alapján: $\boxed{R_{ki} = R_4 = 10 \ k\Omega}$ 5p