1.) Feladat Ismertesse az egyszerűsített Bode-diagramos stabilitásvizsgálati eljárást (általános Bode-kritérium, Bode-kritérium minimálfázisú hálózatok esetén, a fázistartalék és az amplitúdótartalék fogalma és Bode-diagramos illusztrációja)!

Megoldás:

Visszacsatolt rendszerek kimenet/bemenet típusú átviteli függvénye:

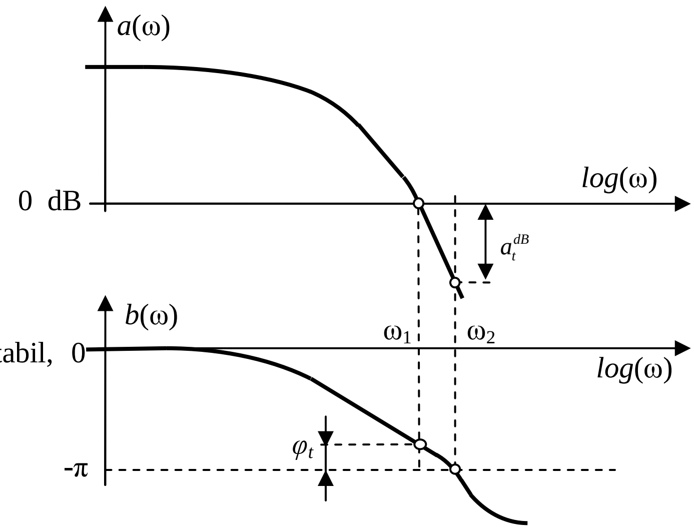
$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = A_{id}\frac{(\beta A)(s)}{1+(\beta A)(s)} \qquad \text{Ahol } (\beta A)(s) \text{ a hurokerősítés}$$

A rendszer a stabilitás határhelyzetében van, ha: $(\beta A)(j\omega) = -1 = 1 * e^{-j\pi}$

Bode-diagram: $a(\omega) = 20\lg|\beta A(j\omega)|$ amplitúdó karakterisztika

$b(\omega) = Arc\{\beta A(j\omega)\}$ fázis karakterisztika

A hurokerősítés Bode-diagramja alapján eldönthető a stabilitás:



1. A rendszer $\varphi_t > 0$ fázistartalékkal stabil, ha:

$$a(\omega_1) = 0\ dB \quad \text{és}$$
$$b(\omega_1) = -\pi + \varphi_t$$

1. A rendszer $a_t^{dB} < 0$ amplitúdó tartalékkal stabil, ha:

$$b(\omega_2) = -\pi \quad \text{és}$$
$$a(\omega_2) = a_t^{dB} < 0\ dB$$

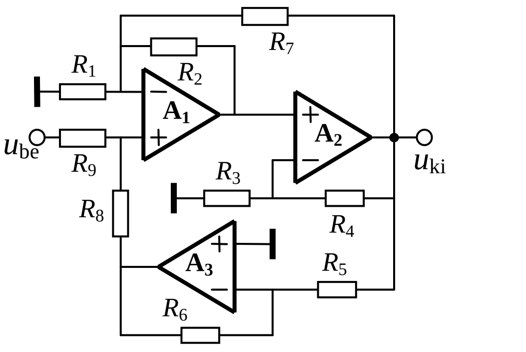
Minimálfázisú rendszerekben (nincs zérus a jobb félsíkon) elég az amplitúdó karakterisztika ismerete, ugyanis Bode-tétele szerint:

$$b(\omega_1) \cong \frac{\pi}{2}\frac{d\{\lg|\beta A(j\omega)|\}}{d\{\lg(\omega/\omega_1)\}}\Bigg|_{\omega=\omega_1} = \frac{\pi}{2}\frac{1}{20}\frac{d\{a(\omega)\}}{d\{\lg(\omega/\omega_1)\}}_{\omega=\omega_1} = \frac{\pi}{2}\frac{M(\omega_1)}{20}$$

Ahol $M(\omega)$ az amplitúdó karakterisztika meredeksége $dB/Dekád$-ban

Pld: ha $M(\omega_1) =$ -30 dB/D $\rightarrow$ $b_1(\omega_1) = -\frac{3\pi}{4} > -\pi$

2.) Példa Számítsa ki az alábbi műveleti erősítős kapcsolás paramétereit!



$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_7 = R_8 = R_9 = R$

a.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $R_7 \to \infty$, $R_5 \to \infty$, A_1, A_2, A_3 ideális,

b.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $R_7 = R$, $R_5 \to \infty$, A_1, A_2, A_3 ideális,

c.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $R_7 = R$, $R_5 = R$, A_1, A_2, A_3 ideális,

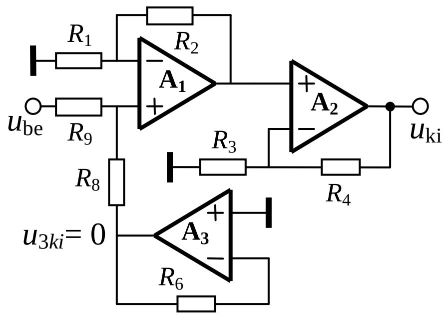
d.) $U_{kiH} = ?$, ha $R_7 \to \infty$, $R_5 \to \infty$, A_1, A_2 ideális

$U_{off3} = 1\,mV$

Megoldás:

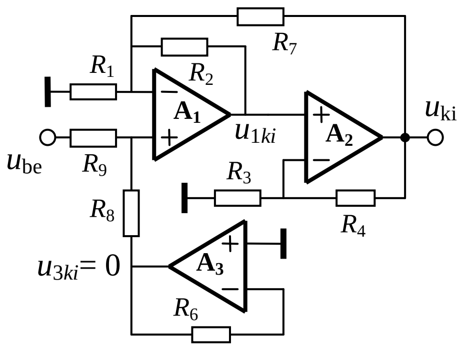
$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_6 = R_8 = R_9 = R$

a.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $R_7 \to \infty$, $R_5 \to \infty$, A_1, A_2, A_3 ideális



$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_8}{R_8 + R_9}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)\left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) = 2$$

b.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $R_7 = R$, $R_5 \to \infty$, A_1, A_2, A_3 ideális,



$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_6 = R_7 = R_8 = R_9 = R$

$$u_{ki} = \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right)u_{1ki} = 2u_{1ki} \quad \to \quad u_{1ki} = \frac{u_{ki}}{2}$$

Az A_1 pozitív (és negatív) bemenetének potenciálja:

$$u_{1pn} = u_{be}\frac{R_8}{R_8 + R_9} = \frac{u_{be}}{2}$$

Az A_1 negatív bemenetére felírható csomóponti egyenlet: $i_1 = i_2 + i_7$

A csomóponti potenciálok módszerével:

$$\frac{u_{be}/2}{R_1} = \frac{u_{1ki} - u_{be}/2}{R_2} + \frac{u_{ki} - u_{be}/2}{R_7}$$

$$\frac{u_{be}}{2} = \frac{u_{ki}}{2} - \frac{u_{be}}{2} + u_{ki} - \frac{u_{be}}{2} \qquad \to \qquad \frac{u_{ki}}{u_{be}} = 1$$

c.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha $R_7 = R,\ R_5 = R$, A$_1$, A$_2$, A$_3$ ideális,

Most is: $\quad u_{1ki} = \dfrac{u_{ki}}{2}$

Az A$_1$ pozitív (és negatív) bemenetének potenciálja szuperpozícióval számolva:

$$u_{1pn} = u_{be}\frac{R_8}{R_8+R_9} + \frac{R_9}{R_8+R_9}\left(-\frac{R_6}{R_5}\right)u_{ki} = \frac{u_{be}}{2} - \frac{u_{ki}}{2}$$

Az A$_1$ negatív bemenetére felírható csomóponti egyenlet: $i_1 = i_2 + i_7$

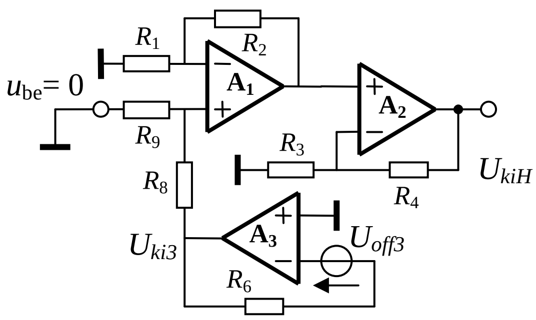
$$\frac{u_{be}/2 - u_{ki}/2}{R_1} = \frac{u_{1ki} - (u_{be}/2 - u_{ki}/2)}{R_2} + \frac{u_{ki} - (u_{be}/2 - u_{ki}/2)}{R_7}$$

$$\frac{u_{be}}{2} - \frac{u_{ki}}{2} = \frac{u_{ki}}{2} - \frac{u_{be}}{2} + \frac{u_{ki}}{2} + u_{ki} - \frac{u_{be}}{2} + \frac{u_{ki}}{2} \qquad \rightarrow \qquad \frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{1}{2}$$

d.) $U_{kiH} = ?$, ha $R_7 \to \infty,\ R_5 \to \infty$, A$_1$, A$_2$ ideális $\quad U_{off3} = 1\,mV$

Mivel R_6-on nem folyik áram:

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_6 = R_8 = R_9 = R$

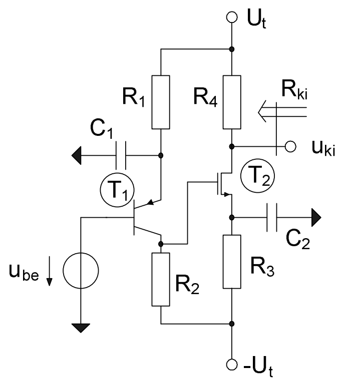


$$U_{ki3} = U_{off3}$$

$$U_{kiH} = U_{ki3}\frac{R_9}{R_8+R_9}\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)\left(1+\frac{R_4}{R_3}\right)$$

$$U_{kiH} = \frac{1}{2}2*2\,U_{off3} = 2\ mV$$

3.) Példa Számítsa ki az alábbi kapcsolás munkaponti adatait és kisjelű paramétereit!



$U_t = 15\,\text{V}$, T$_1$: p-n-p tranzisztor, $\beta = B \to \infty$, U_{EB0}=0,6 V,

T$_2$: n csatornás kiürítéses MOS FET,

$R_1 = 7{,}2\,\text{k}\Omega,\quad R_2 = 6\,\text{k}\Omega,\quad R_3 = 14\,\text{k}\Omega,\ \text{R}_4 = 10\,\text{k}\Omega$

$i_D = I_{DSS}\left(\dfrac{u_{SG} - U_P}{U_P}\right)^2,\quad U_P = -4\,\text{V},\quad I_{DSS} = 4\,\text{mA},$

a.) I_{E0}=?, **b.)** I_{D0} =?, **c.)** $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha r_d=13 Ω,

$S = 1\,\text{mS},\ C_1 \to \infty, C_2 \to \infty$

d.) R_{ki} = ? , ha r_d=13 Ω, S=1 mS, $C_1 \to \infty, C_2 \to \infty$

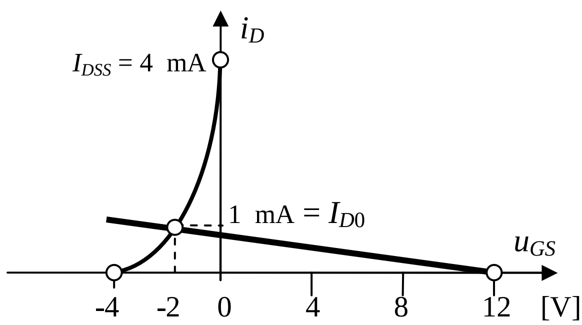
Megoldás:

a.) I_{E0}=?, $U_t = I_{E0}R_1 + U_{EB0}$ $\qquad I_{E0} = \dfrac{U_t - U_{EB0}}{R_1} = \dfrac{15 - 0.6}{7.2} = 2\ mA$

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

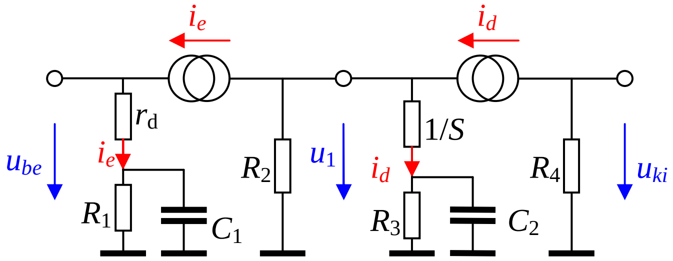
b.) I_{D0} =?, $I_{E0}R_2 = u_{GS} + i_D R_3 \;\Rightarrow\; 12 = u_{GS} + 14 i_D$ és $i_D = 4\dfrac{(u_{GS}+4)^2}{(-4)^2}$

$$(16 - 14 i_D)^2 = 4 i_D$$
$$196 i_D^2 - 452 i_D + 256 = 0$$
$$49 i_D^2 - 113 i_D + 64 = 0$$
$$i_D = I_{D0} = \frac{113 - \sqrt{12769 - 12544}}{98} = 1\ mA$$
$$u_{GS} = U_{GS0} = 12 - 14 I_{D0} = -2\ V$$
$$S = 2\frac{I_{D0}}{U_{GS0} - U_P} = \frac{2}{4-2} = 1\ mS$$



c.) $\dfrac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$, ha r_d=13 Ω $\qquad S = 1\,\text{mS},\ C_1 \to \infty, C_2 \to \infty$

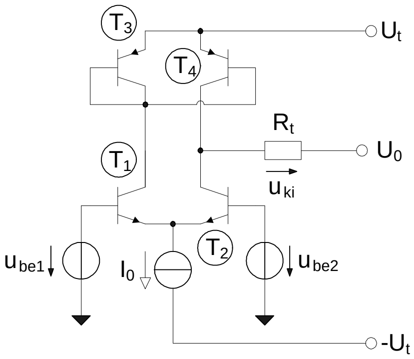
$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_1}{u_{be}}\frac{u_{ki}}{u_1} = \left(\frac{-i_e R_2}{i_e r_d}\right)\left(\frac{-i_d R_4}{i_d\, 1/S}\right) = \left(-\frac{R_2}{r_d}\right)(-SR_4) = \frac{6000}{13}10 * 1 = 4615$$



d.) R_{ki} = ? , ha r_d=13 Ω, S=1 mS, $C_1 \to \infty, C_2 \to \infty$

$$R_{ki} = R_4 = 10\ k\Omega$$

4.) Példa Határozza meg a következő kapcsolás kisjelű paramétereit!



$I_0 = 2\ mA, U_t = 12\ V, R_t = 10\ k\Omega$, $T_1 \equiv T_2$

T_1, T_2 n-p-n tranzisztorok, $\beta_1 = B_1 = \beta_2 = B_2 = 99$, $U_{BE0} = 0{,}6$ V,

T_3, T_4 p-n-p tranzisztorok, $\beta_3 = B_3 = \beta_4 = B_4 = 99$, $U_{EB0} = 0{,}6$ V,

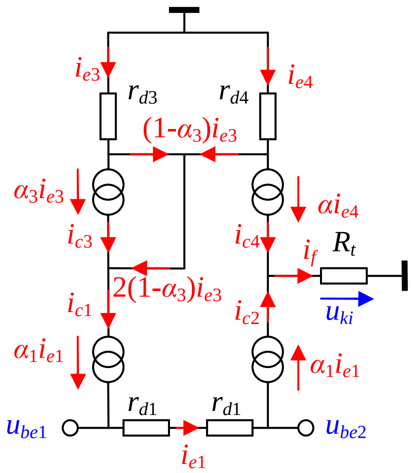
a.) $A_D = ?$, ha $T_1 \equiv T_2$, $T_3 \equiv T_4$, **b.)** $A_K = ?$, ha $T_1 \equiv T_2$, $T_3 \equiv T_4$,

c.) $U_{off} = ?$, ha a T_1 és T_2 tranzisztor felületeinek aránya: $F_2 = 1{,}1 \cdot F_1$, $T_3 \equiv T_4$,

d.) $U_{off} = ?$, ha a T_3 és T_4 tranzisztor felületeinek aránya: $F_3 = 1{,}1 \cdot F_4$, $T_1 \equiv T_2$,

Megoldás:

a.) $A_D = ?$, ha $T_1 \equiv T_2$ és $T_3 \equiv T_4$ $\quad \rightarrow r_{d2} = r_{d1}$ és $r_{d4} = r_{d3}$



$$i_{e1} = i_{e2} = \frac{u_{be1} - u_{be2}}{2r_{d1}} = \frac{u_d}{2r_{d1}}$$

$$i_{c1} = i_{c2} = \alpha_1 i_{e1}$$

$$i_{c1} = i_{c3} + 2(1-\alpha_3)i_{e3} = \alpha_3 i_{e3} + 2(1-\alpha_3)i_{e3} = i_{e3}(2-\alpha_3)$$

$$i_{c3} = i_{c4} = \alpha_3 i_{e3} = \frac{\alpha_3}{2-\alpha_3}\alpha_1 i_{e1}$$

$$u_{ki} = i_f R_t = (i_{c2} + i_{c4})R_t = \alpha_1\left(1 + \frac{\alpha_3}{2-\alpha_3}\right)R_t i_{e1}$$

$$A_D = \frac{u_{ki}}{u_d} = \frac{\alpha_1 R_t}{2r_{d1}}\left(1 + \frac{\alpha_3}{2-\alpha_3}\right) = \frac{0.99 * 10^4}{2 * 26}\left(1 + \frac{0.99}{1.01}\right) = 377.0$$

Mivel: $\quad I_{E01} = I_{E02} = \frac{I_0}{2} = 1\ mA \quad$ és $\quad r_{d1} = \frac{U_T}{I_{E01}} = \frac{26mV}{1mA} = 26\ \Omega$

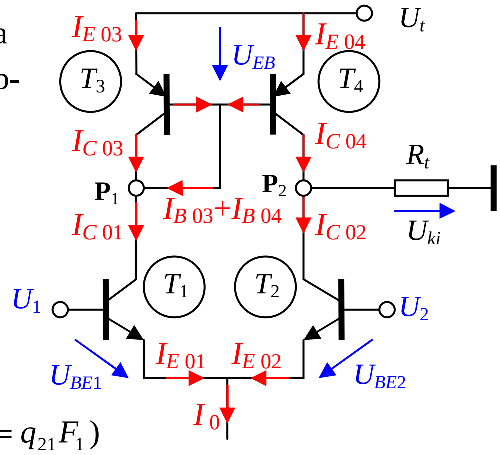
b.) $A_K = ?$, ha $T_1 \equiv T_2$, $T_3 \equiv T_4$

Közös módusban: $\quad u_{1be} = u_{2be} = u_K \quad$ és ezért $i = 0$ és így $u_{ki} = 0$

Tehát: $\quad A_K = \frac{u_{ki}}{u_K} = 0$

c.) $U_{off} = ?$ ha a T$_1$ és T$_2$ tranzisztor felületeinek aránya: $F_2 = 1{,}1 \cdot F_1$ és T$_3$≡T$_4$,

d.) $U_{off} = ?$ ha a T$_3$ és T$_4$ tranzisztor felületeinek aránya: $F_3 = 1{,}1 \cdot F_4$ és T$_1$≡T$_2$,



A bemenetekre kapcsolt $U_1 = U_2 = 0$ feszültség hatására az $U_{ki} \neq 0$, mivel a **P$_2$** csomópontbéli $I_{C04} - I_{C02}$ különbségi áram nem lesz zérus. (*Offset*-es)

Ennek három oka lehet az adott feladatban:

1.) A T_3 és a T_4 tranzisztorok véges β-ja miatt az áramtükör nem tökéletes. $I_{C04} \neq I_{C01}$ ($B_3 = B_4 = B_{34} = 99$).

2.) Ha a T_1 és T_2 tranzisztorok nem egyformák: $(F_2 = q_{21} F_1)$

$$I_{C01} = I_{S0} \exp(U_{BE1}/U_T) \qquad I_{C02} = \frac{F_2}{F_1} I_{S0} \exp(U_{BE2}/U_T) = q_{21} I_{S0} \exp(U_{BE2}/U_T)$$

$$\frac{I_{C02}}{I_{C01}} = q_{21} \exp\left(\frac{U_{BE2} - U_{BE1}}{U_T}\right) = q_{21} \exp\left(\frac{U_2 - U_1}{U_T}\right) \qquad \text{Mivel: } U_2 - U_1 = U_{BE2} - U_{BE1}$$

3.) Ha a T_3 és T_4 tranzisztorok nem egyformák: $(F_3 = q_{34} F_4)$

$$I_{C04} = I_{S0} \exp(U_{EB}/U_T) \qquad I_{C03} = q_{34} I_{S0} \exp(U_{EB}/U_T) = q_{34} I_{C04}$$

A **P$_1$** csomóponti egyenlet:

$$I_{C01} = I_{C03} + I_{B03} + I_{B04} = I_{C03} + \frac{I_{C03}}{B_3} + \frac{I_{C04}}{B_4} = I_{C03}\left(1 + \frac{1}{B_{34}} + \frac{1}{q_{34} B_{34}}\right) = I_{C03} \frac{1 + q_{34} + q_{34} B_{34}}{q_{34} B_{34}}$$

Ezzel:
$$I_{C04} = \frac{I_{C03}}{q_{34}} = I_{C01} \frac{B_{34}}{1 + q_{34}(1 + B_{34})}$$

A kimeneti feszültség zérus, ha $I_{C02} = I_{C04}$

$$\frac{I_{C04}}{I_{C02}} = 1 = \frac{I_{C01} B_{34}}{1 + q_{34}(1 + B_{34})} \frac{1}{I_{C01} q_{21} \exp((U_2 - U_1)/U_T)} = \frac{B_{34}}{q_{21}[1 + q_{34}(1 + B_{34})]} \exp\left(\frac{U_1 - U_2}{U_T}\right)$$

Ebből:
$$U_{off} = U_1 - U_2 = U_T \ln \frac{q_{21}(1 + q_{34}(1 + B_{34}))}{B_{34}}$$

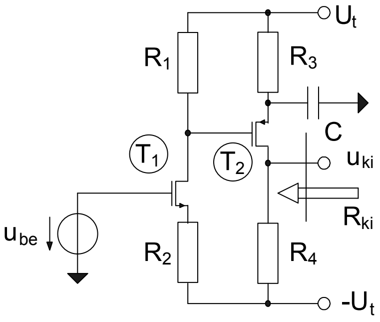
c.) $U_{off} = ?$ $q_{21} = 1.1$, $q_{34} = 1.0$, $B_{34} = 99$, $U_T = 26$ mV

$$U_{off} = U_T \ln \frac{q_{21}(1 + q_{34}(1 + B_{34}))}{B_{34}} = 26 \ln \frac{1.1 * 101}{99} = 2.998 \quad mV$$

d.) $U_{off} = ?$ $q_{21} = 1.0$, $q_{34} = 1.1$, $B_{34} = 99$, $U_T = 26$ mV

$$U_{off} = U_T \ln \frac{q_{21}(1 + q_{34}(1 + B_{34}))}{B_{34}} = 26 \ln \frac{111}{99} = 2.975 \quad mV$$

5.) Példa Határozza meg az alábbi kapcsolás frekvenciafüggő paramétereit!



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

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

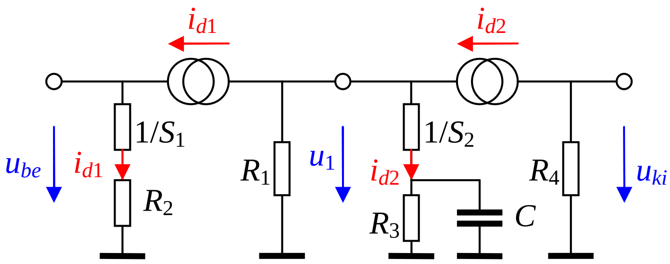
C = 10 μF, a pólus és a zérus értéke,

c.) Az átviteli függvény Bode-diagramja?

d.) R_{ki} = ?

Megoldás:

A kisjelű helyettesítő kép:



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

Az első fokozat erősítése:

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

A második fokozat erősítése ha C→∞ :

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

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

b.) $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?,$ ha C = 10 μF (a pólus és a zérus értéke?)

A második fokozat erősítése ha C→ 0 :

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

Ennek alapján (Z_3→ 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:

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

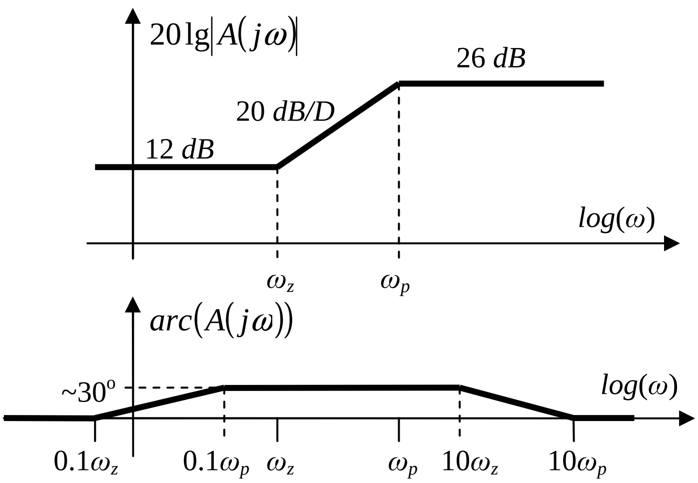
Ahol: $$\boxed{\omega_p = (1+S_2R_3)\omega_z = (1+1*4)\omega_z = 5\omega_z = 125\ \ rad/\sec}$$

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

c.) Az átviteli függvény Bode-diagramja

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



5p

d.) R_{ki} = ?

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