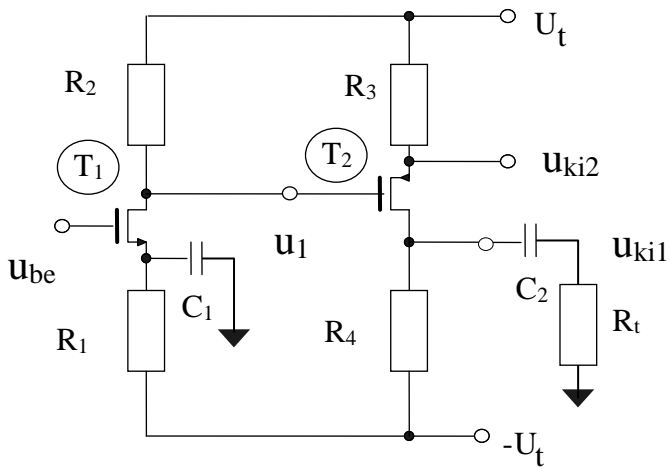


Erősítők frekvenciafüggő viselkedése

1.) Példa



T_1 n csatornás MOSFET,

$$I_{D01} = 1 \text{ mA}, S_1 = 1 \text{ mS}$$

T_2 p csatornás MOSFET,

$$I_{D02} = 1 \text{ mA}, S_2 = 1 \text{ mS}$$

$$U_t = 12 \text{ V}, \quad R_1 = R_3 = 6 \text{ k}\Omega,$$

$$R_2 = R_4 = R_t = 12 \text{ k}\Omega,$$

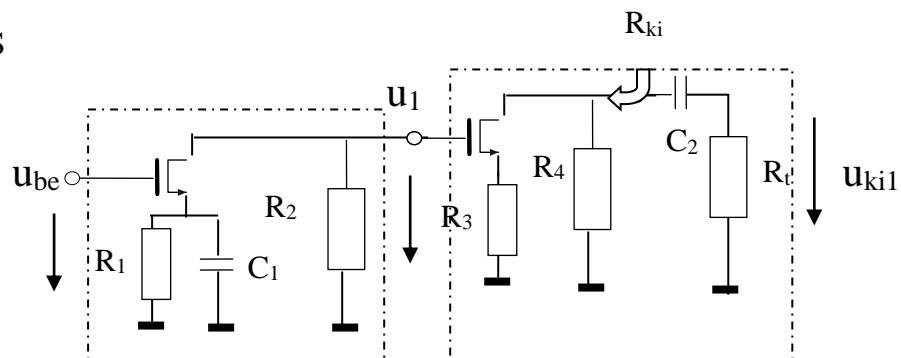
$$C_1 = C_2 = 10 \mu\text{F}$$

Kérdések:

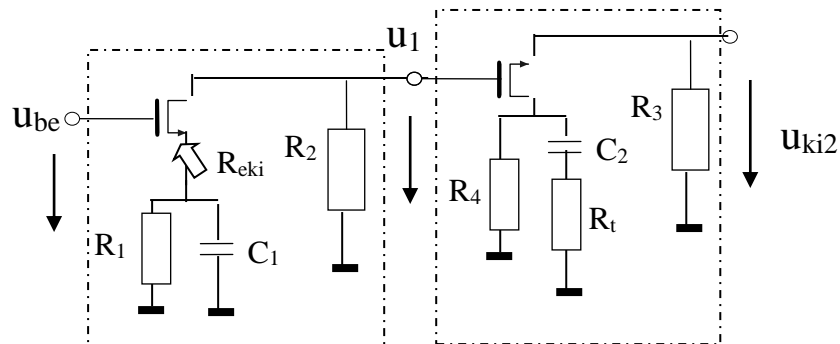
- frekvencia független kisjelű jellemzők: $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = ?$ $\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = ?$ $R_{ki1} = ?$ $R_{ki2} = ?$
- frekvencia függő kisjelű jellemzők: $\frac{u_{ki1}}{u_{be}}(s) = ?$ $\frac{u_{ki2}}{u_{be}}(s) = ?$ $R_{ki1}(s) = ?$ $R_{ki2}(s) = ?$ Bode diagram?

Megoldás:

$$\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = \frac{u_1}{u_{be}} \frac{u_{ki1}}{u_1} \quad \text{FS} + \text{FS}$$



$$\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = \frac{u_1}{u_{be}} \frac{u_{ki2}}{u_1} \quad \text{FS} + \text{FD}$$



Frekvencia független analízis:

- szándékolt kapacitások (csatoló C_2 , hidegítő C_1) már rövidzáruk
- parazita kapacitások még szakadások

$$1. \text{ fokozat (FS): } \frac{u_1}{u_{be}} = -\frac{R_2}{1/S_1} = -S_1 R_2 = -12$$

$$2. \text{ fokozat (FS) } \frac{u_{ki1}}{u_1} = A_{21} = -\frac{R_4 \times R_t}{1/S_2 + R_3} = -\frac{S_2 (R_4 \times R_t)}{1 + S_2 R_3} = -\frac{6}{7} \quad R_{ki1} = R_4 = 12k\Omega$$

$$(FD) \quad \frac{u_{ki2}}{u_1} = A_{22} = \frac{R_3}{1/S_2 + R_3} = \frac{S_2 R_3}{1 + S_2 R_3} = +\frac{6}{7} \quad R_{ki2} = R_3 \times \frac{1}{S_2} = \frac{6}{7}k\Omega$$

$$\text{Eredő: } \frac{u_{ki1}}{u_{be}} = A_1 A_{21} = (-12) \left(-\frac{6}{7} \right) = 10,29$$

$$\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = A_1 A_{22} = (-12) \left(\frac{6}{7} \right) = -10,29 \quad (\text{a két kimenettel egy fázis hasító erősítő})$$

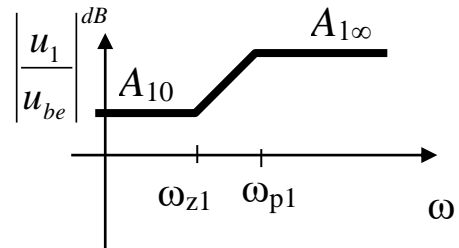
Frekvencia függő analízis: C értékű kondenzátor impedanciája: $\frac{1}{sC}$

1. fokozat: **hidegítő kondenzátor hatása**, C_1 miatt $u_{be}(s)$ feszültség gerjesztésre frekvencia függő $i_1(s)$ tranzisztor-áram:

$$i_1(s) = \frac{u_{be}(s)}{\frac{1}{S_1} + R_1 \times \frac{1}{sC_1}} = \frac{u_{be}(s)}{\frac{1}{S_1} + \frac{R_1}{1 + sC_1 R_1}} = \frac{S_1 (1 + sC_1 R_1)}{1 + sC_1 R_1 + S_1 R_1} u_{be}(s) = \frac{S_1}{1 + S_1 R_1} \frac{(1 + sC_1 R_1)}{1 + \frac{sC_1 R_1}{1 + S_1 R_1}} u_{be}(s)$$

$$\frac{i_1(s)}{u_{be}(s)} = \frac{S_1}{1 + S_1 R_1} \frac{(1 + sC_1 R_1)}{1 + \frac{sC_1 R_1}{1 + S_1 R_1}} \quad u_1(s) = -R_2 i_1(s)$$

$$\frac{u_1(s)}{u_{be}(s)} = -\frac{R_2 S_1}{1 + S_1 R_1} \frac{(1 + sC_1 R_1)}{1 + \frac{sC_1 R_1}{1 + S_1 R_1}} = A_{10} \frac{1 + \frac{s}{\omega_{z1}}}{1 + \frac{s}{\omega_{p1}}}$$



$$A_{10} = -\frac{R_2 S_1}{1 + S_1 R_1} = -\frac{12}{7}, \quad \omega_{z1} = \frac{1}{R_1 C_1}, \quad \omega_{p1} = \frac{1}{\left(R_1 \times \frac{1}{S} \right) C_1} = \frac{1}{(R_1 \times R_{ki}) C_1},$$

$$A_{1\infty} = A_{10} \frac{\omega_{p1}}{\omega_{z1}} = A_1 = -R_2 S_1 = -12$$

$$\omega_{z1} = \frac{1}{C_1 R_1} = \frac{1}{10 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^3} = \frac{1000}{60} = 16.63 \frac{rad}{sec}$$

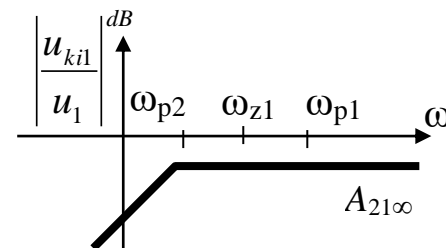
$$\omega_{p1} = \frac{1 + S_1 R_1}{C_1 R_1} = \frac{1 + 1 \times 6}{10 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^3} = \frac{7000}{60} = 116.7 \frac{rad}{sec}$$

2. fokozat u_{ki1} kimenetre:

C_2 csatoló kondenzátor hatása: $u_1(s)$ feszültség gerjesztésre frekvencia függő $u_{ki1}(s)$ kimeneti feszültség a kollektor körü frekvenciafüggő impedancia miatt

$$\frac{u_{ki1}(s)}{u_1} = - \frac{R_4 \times \left(\frac{1}{sC_2} + R_t \right)}{\frac{1}{S_2} + R_3} \cdot \frac{R_t}{\frac{1}{sC_2} + R_t} = - \frac{\frac{R_4 R_t}{sC_2}}{\frac{1 + S_2 R_3}{S_2}} = - \frac{S_2 (R_4 \times R_t)}{1 + S_2 R_3} \cdot \frac{sC_2 (R_t + R_4)}{1 + sC_2 (R_t + R_4)}$$

$$\frac{u_{ki1}(s)}{u_1} = A_{21\infty} \frac{\frac{s}{\omega_{p2}}}{1 + \frac{s}{\omega_{p2}}}, \quad A_{21\infty} = - \frac{S_2 (R_4 \times R_t)}{1 + S_2 R_3} = - \frac{6}{7}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_2 (R_t + R_4)} = \frac{1}{C_2 (R_t + R_{ki1})} = \frac{1}{10 \cdot 10^{-6} 24 \cdot 10^3} = \frac{1000}{240} = 4,17 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$


Eredő feszültség átvitel:

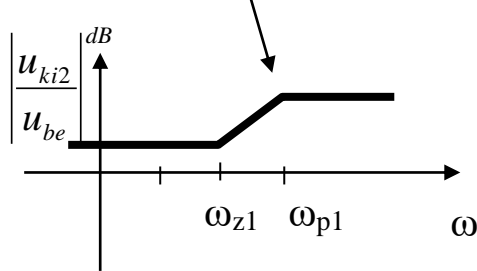
$$\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = A_{10} A_{210} \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_{z1}} \right) \left(\frac{s}{\omega_{p2}} \right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{p1}} \right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{p2}} \right)}$$


Alsó határfrekvencia: $\omega_{p1} = 116,7 \text{ rad/s} = 18,58 \text{ Hz}$

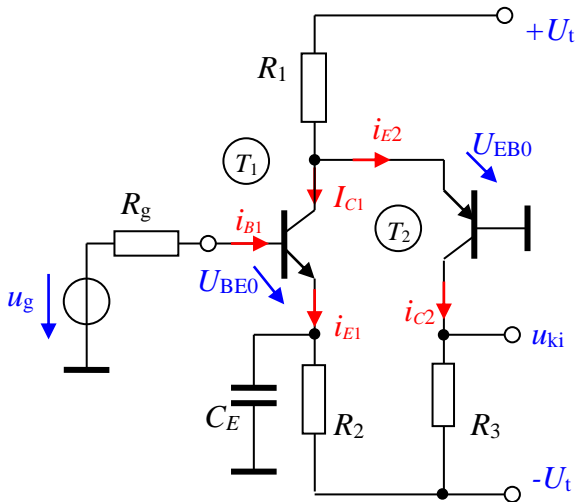
2. fokozat u_{ki2} kimenetre:

A C_2 csatoló kondenzátornak nincs hatása az $u_{ki2}(s)$ kimeneti feszültségre, így az frekvencia független.

$$\frac{u_{ki2}(s)}{u_1} = A_{22} = \frac{R_3}{1/S_2 + R_3} = - \frac{S_1 R_3}{1 + S_2 R_3} = + \frac{6}{7}$$

$$\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = A_{10} A_{22} \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_{z1}} \right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{p1}} \right)}$$


2.) Példa (KASZKÓD KAPCSOLÁS)



T_1 : n-p-n, T_2 : p-n-p $\beta_1 = \beta_2 = \beta_1 = \beta_2 = 99$,

$U_{BE0} = U_{EB0} = 0.6 \text{ V}$

$U_t = 12 \text{ V}$,

$R_1 = 5.73 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 11.3 \text{ k}\Omega$,

$R_3 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_g = 10 \text{ k}\Omega$

$I_{E01} = 1 \text{ mA}$, $I_{E02} = 1 \text{ mA}$

$r_{d1} = r_{d2} = 26 \Omega$, $C_E \rightarrow \infty$

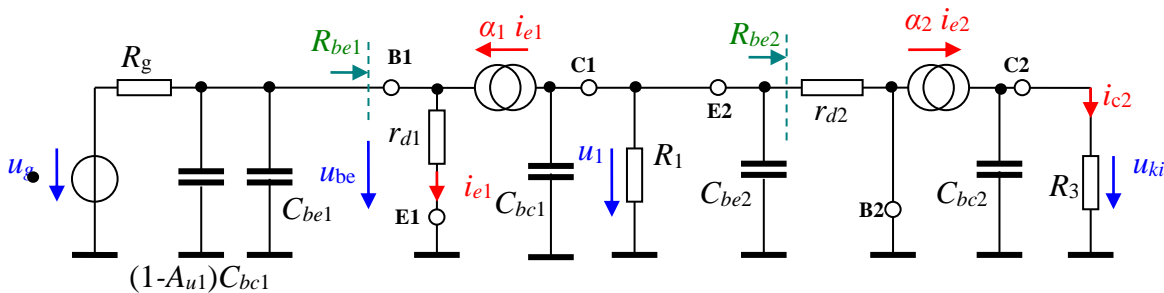
Határozzuk meg az $\frac{u_{ki}}{u_g}(s) = ?$ transzfer függvényt,

ha mindkét tranzisztorra:

$C_{bc} = 2 \text{ pF}$, $C_{be} = 20 \text{ pF}$

Megoldás:

A kapcsolás kisjelű helyettesítő képe:



Először írjuk fel az egyes fokozatok frekvencia független erősítéseit

$$L_0 = \frac{u_{be}}{u_g} = \frac{R_{be1}}{R_g + R_{be1}} = \frac{2.6}{10 + 2.6} = 0.206$$

ahol: $R_{be1} = (1 + \beta_1)r_{d1} = 2.6 \text{ k}\Omega$

$$A_{u1} = \frac{u_1}{u_{be}} = -\frac{\alpha_1(R_1 \times R_{be2})}{r_{d1}} \cong -\frac{\alpha_1 r_{d2}}{r_{d1}} = -\alpha_1 = -0.99$$

ahol: $R_{be2} = r_{d2}$ és $R_1 \times r_{d2} = 5730 \times 26 \cong 26 \Omega$

$$A_{u2} = \frac{u_{ki}}{u_1} = \frac{\alpha_2 R_3}{r_{d2}} = \frac{0.99 \times 10000}{26} = 380.8$$

$$A_u = \frac{u_{ki}}{u_g} = L_0 A_{u1} A_{u2} = -77.65$$

Ha figyelembe akarjuk venni a frekvencia függést, akkor érdemes észrevennünk hogy, ugyan az a szituáció fordul elő mindhárom párhuzamos kondenzátoros esetben:



A leegyszerűsített esetre a frekvencia függés:

$$\frac{u_y}{u_x}(s) = \frac{R_{be} \times (1/sC)}{R_{ki} + R_{be} \times (1/sC)} = \frac{R_{be}}{R_{ki} + R_{be}} \frac{1}{1 + s/\omega_p}$$

Ahol: $\frac{R_{be}}{R_{ki} + R_{be}}$ a kapacitás nélküli (frekvencia független) átvitel

$$\omega_p = \frac{1}{C(R_{ki} \times R_{be})} \text{ a nagyfrekvenciás pólus frekvencia.}$$

Ezt a felismerést alkalmazva:

$$L(s) = \frac{u_{be}}{u_g} = L_0 \frac{1}{1 + s/\omega_{p1}}$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{[(1 - A_{u1})C_{bc1} + C_{be}](R_g \times R_{be1})} = \frac{1}{(1.99 * 2 + 20)10^{-12}(10 \times 2.6)10^3} = \frac{10^9}{23.98 * 2.06} = 2.02 * 10^7 \text{ rad/sec} \rightarrow 3.22 \text{ MHz}$$

$$A_{u1}(s) = \frac{u_1}{u_{be}} = -\alpha_1 \frac{1}{1 + s/\omega_{p2}}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{[C_{be2} + C_{bc1}](R_1 \times R_{be2})} = \frac{1}{22 * 10^{-12} 26} = \frac{10^{12}}{572} = 1.75 * 10^9 \text{ rad/sec} \rightarrow 278 \text{ MHz}$$

$$A_{u2}(s) = \frac{u_{ki}}{u_1} = A_{u2} \frac{1}{1 + s/\omega_{p3}}$$

$$\omega_{p3} = \frac{1}{C_{bc2} R_3} = \frac{1}{2 * 10^{-12} 10^4} = \frac{10^8}{2} = 5 * 10^7 \text{ rad/sec} \rightarrow 7.96 \text{ MHz}$$

A -3dB-es felső határfrekvencia a legkisebb pólus frekvencia a 3.22MHz.

Egyetlen földelt emitteres fokozattal is el tudtunk volna érni ekkora erősítést, de a pólus frekvencia sokkal kisebbre adódott volna.

Mekkora ez a kisebb pólus frekvencia, vagyis felső határfrekvencia?

$$A = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{\alpha_1 R_3}{r_{d1}} \cong -0.99 \frac{10000}{26} = -380.8$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{[(1 - A)C_{bc1} + C_{be}](R_g \times R_{be})} = \frac{1}{(381.8 * 2 + 20)10^{-12}(2063)} = 618.6 \text{ krad/sec} \rightarrow 98.5 \text{ kHz}$$