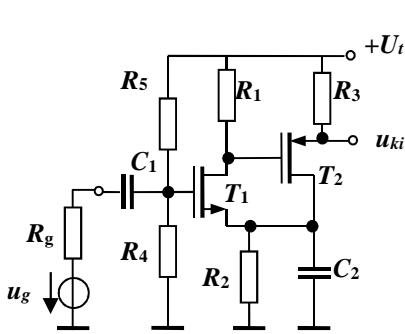


1. Példa



T₁: n-csatornás növekményes MOS FET, $I_{D00} = 4 \text{ mA}$, $U_p = 4 \text{ V}$
 T₂: p-csatornás növekményes MOS FET, $I_{D00} = 4 \text{ mA}$, $U_p = 4 \text{ V}$
 a tranzisztorok munkaponti áramai: $I_{D01} = 1 \text{ mA}$, $I_{D02} = 1 \text{ mA}$
 $C_{GS1} = C_{GS2} = 4 \text{ pF}$, $C_{GD1} = C_{GD2} = 4 \text{ pF}$

$U_t = 24 \text{ V}$, $R_1 = 7 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_4 = R_5 = 100 \text{ k}\Omega$
 $R_g = 10 \text{ k}\Omega$, $C_1 = \infty$ és $C_2 = \infty$

Mekkora az erősítő felső határfrekvenciája?

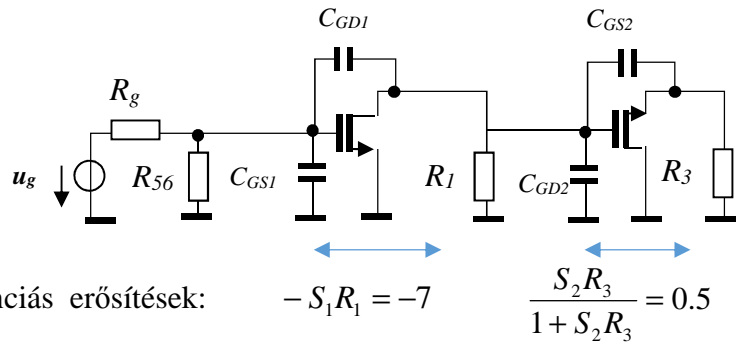
Megoldás:

A tranzisztorok gate-source feszültségei:

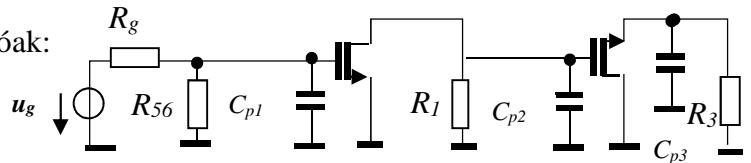
$$I_{D0} = I_{D00} \left(\frac{U_{Gs0} - U_p}{U_p} \right)^2 \rightarrow 1 = 4 \left(\frac{U_{Gs0} - 4}{4} \right)^2 \rightarrow U_{Gs0} = U_{Gs1} = U_{Gs2} = 6 \text{ V}$$

A tranzisztorok munkaponti meredekségei: $S_1 = 2 \frac{I_{D01}}{U_{GS01} - U_p} = 1 \text{ mS} = S_2$

A nagyfrekvenciás helyettesítő kép:



áthidaló kapacitások Miller transzformálандóak:



Az eredő párhuzamos terhelő kapacitások: $C_{p1} = C_{GS1} + (1 + S_1 R_1) C_{GD1} = 36 \text{ pF}$,

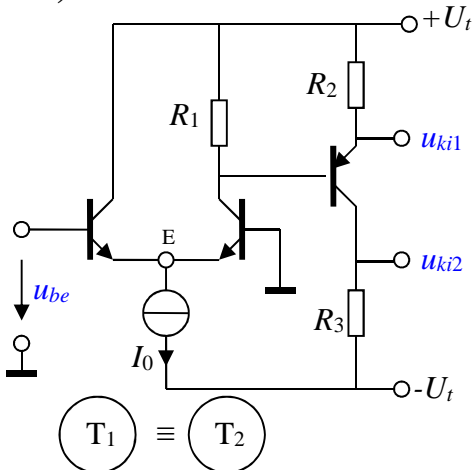
$$C_{p2} = C_{GD1} + C_{GD2} + \left(1 - \frac{S_2 R_3}{1 + S_2 R_3} \right) C_{GS2} = 10 \text{ pF}, \quad C_{p3} = C_{GS2} = 2 \text{ pF}$$

A pólus frekvenciák: $\omega_{p1} = \frac{1}{C_{p1} (R_g \times R_5 \times R_6)} = 3,33 \text{ Mrad / s}$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_{p2} R_1} = 14,29 \text{ Mrad / s}, \quad \omega_{p3} = \frac{1}{C_{p3} \left(R_3 \times \frac{1}{S_2} \right)} = 500 \text{ Mrad / s}$$

A felső határfrekvencia: $\omega_{fels\acute{o}} = \min \{ \omega_{p1}, \omega_{p2}, \omega_{p3} \} = 3,33 \text{ Mrad / s}$

2.) Példa



$T_1 \equiv T_2$: n-p-n tranzisztorok, $\beta_1=B_1 = \beta_2=B_2 = 99$,
 $U_{BE0} = 0,6 \text{ V}$
 T_3 : p-n-p tranzisztor, $\beta_3=B_3 = \rightarrow \infty$, $U_{EB0} = 0,6 \text{ V}$,

Szórt kapacitások:

T_1, T_2, T_3 : $C_{be}=20\text{pF}$, $C_{cb}=2\text{pF}$

Kimeneteken $C_t = 5\text{pF}$ terhelő kapacitás

$U_t = 12 \text{ V}$, $I_0 = 2 \text{ mA}$, $R_1 = 6,6/0,99 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 3 \text{ k}\Omega$,
 $R_3 = 6 \text{ k}\Omega$,

- a.) $I_{E01} = ?$, $I_{E03} = ?$, $U_{ki01}=?$, $U_{ki02}=?$
- b.) $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = ?$, $\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = ?$, .(középfrekvencián)
- c.) $\frac{u_{ki1}}{u_{be}}(s) = ?$, pólus frekvenciák? határfrekvencia?
- d.) $\frac{u_{ki2}}{u_{be}}(s) = ?$, . pólus frekvenciák? határfrekvencia?

Megoldások:

a.) Egyenáramú analízis: $I_{E01} = I_{E02} = I_0/2 = 1 \text{ mA}$, $r_{d1} = r_{d2} = 26\text{ohm}$

$$I_{E03} = \frac{I_{C01}R_1 - U_{EB0}}{R_2} = \frac{A_1 I_{E01}R_1 - U_{EB0}}{R_2} = \frac{0,99 \cdot 1 \cdot 6,6/0,99 - 0,6}{3} = 2 \text{ mA}, \quad r_{d3} = 13\text{ohm}$$

$$U_{ki01} = U_t - I_{E03}R_2 = 12 - 6 = 6 \text{ V}$$

$$U_{ki02} = -U_t + I_{E03}R_3 = -12 + 12 = 0 \text{ V}$$

b.) Kiszjelű, lineáris analízis, paraméterek:

Három fokozatú erősítő modell:

1.:FC 2.:FB 3.: FC

$$\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = \left(\frac{r_{d2}}{r_{d1} + r_{d2}} \right) \left(\alpha_2 \frac{R_1}{r_{d2}} \right) \left(\frac{R_2}{r_{d3} + R_2} \right) = \frac{1}{2} \left(0,99 \frac{6600/0,99}{26} \right) \frac{3000}{3013} = 126,37$$

1.:FC 2.:FB 3.: FE

$$\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = \left(\frac{r_{d2}}{r_{d1} + r_{d2}} \right) \left(\alpha_2 \frac{R_1}{r_{d2}} \right) \left(-\frac{R_3}{r_{d3} + R_2} \right) = \frac{1}{2} \left(0,99 \frac{6600/0,99}{26} \right) \left(-\frac{6000}{3013} \right) = -252,75$$

c.) $\frac{u_{ki1}}{u_{be}}(s)$: Pólus frekvenciák: bemeneten, fokozatok közt, kimeneten: $\omega_{pi} = \frac{1}{C_{pi}R_{pi}}$ $i = 1,2,3,4$

Az áthidaló C kapacitásokat a Miller transzformációval (1-K)C bemeneti és C kimeneti párhuzamos terhelő kapacitás komponensekkel vesszük figyelembe.

Bemeneten: A feszültség generátoros meghajtás miatt nincs pólus, ha lenne R_g véges, nem nulla generátor ellenállás, akkor

$$C_{p1} = [C_{cb1} + C_{be1}(1 - A_1)] \quad A_1 = \frac{r_{d2}}{r_{d1} + r_{d2}}$$

$$R_{p1} = R_g \times R_{be1} = R_g \times (1 + \beta_1)(r_{d1} + r_{d2})$$

$$\omega_{p1} = \frac{1}{C_{p1}R_{p1}}$$

T1 és T2 közt: $C_{p2} = [C_{be1} + C_{be2}] \quad C_{p2} = 40 pF$

$$R_{p2} = R_{ki1} \times R_{be2} = r_{d1} \times r_{d2} = 13 \Omega$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_{p2}R_{p2}} = \frac{1}{40 \cdot 10^{-12} \cdot 13} = \frac{1000}{520} Gr/s = 1.923 Grad/s$$

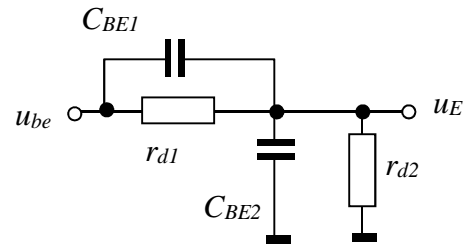
Vigyázat!!! Az első tranzisztor mint FC fokozat üresjárású erősítése $A_{ü}=1$ (az $A_1 = +1/2$ nem üresjárású, hanem az r_{d2} -vel lezárt FC fokozat erősítése), tehát nem nagy negatív érték,

amikor is az erősítőt áthidaló kapacitás hatásának analízisének kapott $\omega_{z1} = A_{ü} \frac{1}{C_{BE1}r_{d1}}$ zérust

elhanyagolhatnánk, hanem egynél kisebb pozitív érték, így az $\omega_{z1} = A_{ü} \frac{1}{C_{BE1}r_{d1}} = \omega_{p2}$ zérus

nem hanyagolható el, sőt, éppen kompenzálja az előbb kiszámított ω_{p2} pólust. Tehát a feszültségátvitel a bemenettől a második tranzisztor bázisáig frekvencia függetlenül állandó.

Ugyanezt az eredményt kapjuk, ha nem az FC fokozatot áthidaló C_{BE1} kapacitás Miller transzformációjával számolunk, hanem észrevesszük, hogy a bemenetről (FB) T2 emitterére az átvitelt a lineáris helyettesítőképek alapján, egy kompenzált osztó ($r_{d1}C_{BE1} = r_{d2}C_{BE2}$) adja.



T2 és T3 közt: $C_{p3} = \left[C_{cb2} + C_{be3} \left(1 - \frac{R_2}{R_2 + r_{d3}} \right) + C_{cb3} \left(1 - \left(-\alpha_3 \frac{R_3}{R_2 + r_{d3}} \right) \right) \right] \quad C_{p3} = 8,14 pF$

$$R_{p3} = R_{ki2} \times R_{be3} = R_1 \times (1 + \beta_3)(r_{d3} + R_2) = R_1.$$

$$\omega_{p3} = \frac{1}{C_{p3}R_{p3}} = 18,43 Mrad/s$$

A kimeneten:

a Miller transzformációból adódó eredő párhuzamos kapacitás:

$$C_{p4} = [C_{be3} + C_t] \quad C_{p4} = 25 pF$$

eredő párhuzamos ellenállás:

$$R_{p4} = R_{ki3} \times R_{terhelés} = R_2 \times \left(r_{d3} + \frac{R_1}{(1 + \beta_3)} \right) \times R_{terhelés} = r_{d3} = 13 ohm.$$

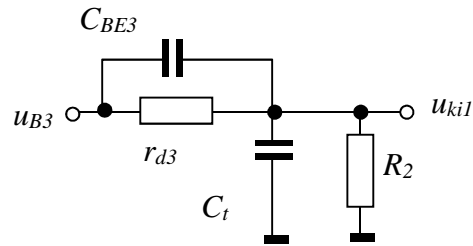
és így a pólus:

$$\omega_{p4} = \frac{1}{C_{p4} R_{p4}} = 3,083 Grad / s$$

De, vigyázat! Itt is a kis pozitív erősítésű FC fokozatról van szó, tehát figyelembe kell venni az

$$\omega_{z2} = A_u \frac{1}{C_{BE3} r_{d3}} = 3,85 Grad / s$$

A Miller transzformáció helyett a kisjelű lineáris helyettesítő kép alapján:

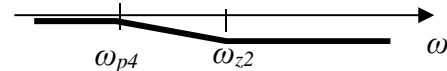


Kis frekvencián (ohmos osztás):

$$\frac{u_{ki1}}{u_{B3}} = \frac{R_2}{r_{d3} + R_2} \cong 1 \rightarrow 0dB$$

Nagy frekvencián (kapacitív osztás):

$$\frac{u_{ki1}}{u_{B3}} = \frac{C_{BE3}}{C_t + C_{BE3}} = \frac{20}{25} = 0.8 \rightarrow -1,94dB$$



Általában:
$$\frac{u_{ki1}}{u_{B3}}(s) = \frac{R_2}{r_{d3} + R_2} \frac{1 + sC_{BE3}r_{d3}}{1 + s(C_{BE3} + C_t)(r_{d3} \times R_2)} = A_3 \frac{1 + \frac{s}{\omega_{z2}}}{1 + \frac{s}{\omega_{p3}}}$$

$$\frac{u_{ki1}}{u_{be}}(s) = \frac{u_{ki1}}{u_{be}}(0) \frac{\left(1 + \frac{s}{\omega_{z1}}\right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{z2}}\right)}{\left(1 + \frac{s}{\omega_{p1}}\right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{p2}}\right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{p3}}\right) \left(1 + \frac{s}{\omega_{p4}}\right)}$$

Határ frekvencia: $\omega_h = \min\{\omega_{p1}, \omega_{p3}, \omega_{p4}\} = 18,43 Mrad / s$

d.) $\frac{u_{ki2}}{u_{be}}(s)$ pólusai $\frac{u_{ki1}}{u_{be}}(s)$ pólusaitól csak a kimeneti pólusban különböznek:

$$C_{p4} = [C_{bc3} + C_t] \quad C_{p4} = 7 pF$$

$$R_{p4} = R_{ki3} \times R_{terhelés} = R_3 \times R_{terhelés} = R_3 = 6 kohm.$$

$$\omega_{p4} = \frac{1}{C_{p4} R_{p4}} = 23,81 Mrad / s$$