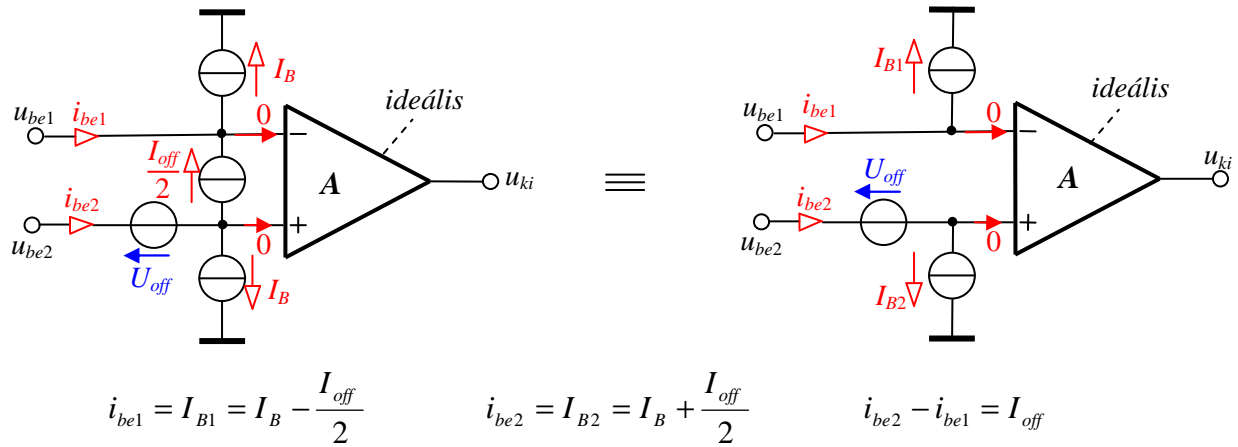


**1. 1.) Feladat** Ismertesse a műveleti erősítők munkapont beállításával kapcsolatos alapfogalmakat ( $U_{off}$ ,  $I_{off}$  ( $I_{B1}$ ,  $I_{B2}$ ), az egyenáramú modell, az eredő  $U_{kiH}$  kimeneti hibafeszültség a fázisfordító alapkapcsolásban)!

**Megoldás:** A valóságos műveleti erősítő ( $M.E.$ ) modellezése ideális  $M.E.$ -vel



A fázisfordító kapcsolásban az  $u_{be} = 0$  feltétel mellett a kimeneti hibafeszültséget szuperpozícióval számolva írhatjuk:

1.  $I_{B1} = I_{B2} = 0, U_{off} \neq 0$

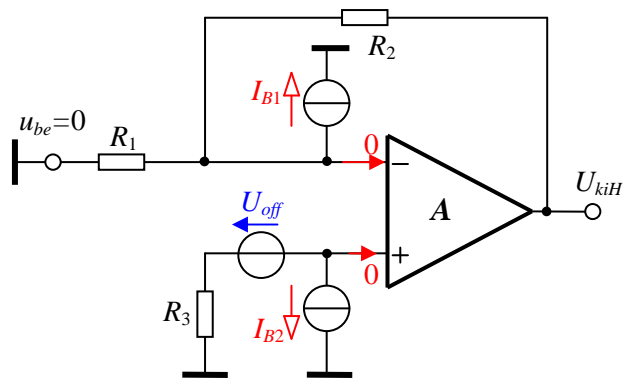
$$U_{kiH1} = U_{off} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

2.  $I_{B1} = 0, U_{off} = 0, I_{B2} \neq 0$

$$U_{kiH2} = -I_{B2} R_3 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

3.  $I_{B2} = 0, U_{off} = 0, I_{B1} \neq 0$

$$U_{kiH3} = I_{B1} R_2$$



Az eredő:

$$U_{kiH} = U_{kiH1} + U_{kiH2} + U_{kiH3} = U_{off} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_B \left[ R_2 - R_3 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right] - \frac{I_{off}}{2} \left[ R_2 + R_3 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right]$$

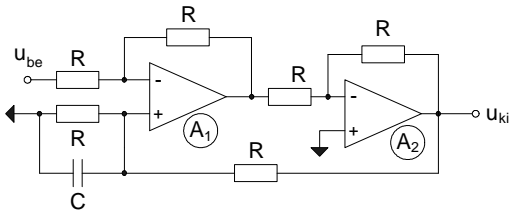
Ha  $R_3 = R_1 \times R_2$  akkor:  $\left[ R_2 - R_3 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right] = 0$  és  $\left[ R_2 + R_3 \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right] = 2R_2$

Ezzel: 
$$U_{kiH} = U_{off} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - I_{off} R_2$$

2.) Feladat

Határozza meg az alábbi kapcsolás paramétereit!

$(R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R)$



a.)  $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ,  $C=0$  (nincs C),  $A_1$  és  $A_2$  ideális,

b.)  $U_{kiH}$ ,  $A_1$  ideális,  $U_{off2}=1$  mV,

c.)  $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$ ,  $A_1$  és  $A_2$  ideális,

d.) A c.) átvitel Bode-diagramja,  $R=20$  k $\Omega$ ,  $C=2$  nF

Megoldás:

a.)  $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?$ ,  $C=0$  (nincs C),  $A_1$  és  $A_2$  ideális

A második fokozat erősítése:  $-\frac{R_6}{R_3} = -1$

$u_{p1} = u_{ki} \frac{R_4}{R_4 + R_5} = \frac{u_{ki}}{2}$  Szuperpozícióval:  $u_{n1} = u_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} - u_{ki} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{u_{be}}{2} - \frac{u_{ki}}{2}$

és  $u_{p1} = u_{n1}$   $\frac{u_{ki}}{2} = \frac{u_{be}}{2} - \frac{u_{ki}}{2}$

b.)  $U_{kiH}$ ,  $A_1$  ideális,  $U_{off2}=1$  mV,

$U_{ki1} = U_{kiH} \frac{R_4}{R_4 + R_5} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = U_{kiH}$

$u_{n2} = U_{ki1} \frac{R_6}{R_3 + R_6} + U_{off2} \frac{R_3}{R_3 + R_6} = U_{kiH}$

$u_{p2} = U_{off} = u_{n2} = U_{kiH}$

c.)  $\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = ?$ ,  $A_1$  és  $A_2$  ideális,

$u_{n1} = u_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} - u_{ki} \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{u_{be}}{2} - \frac{u_{ki}}{2}$

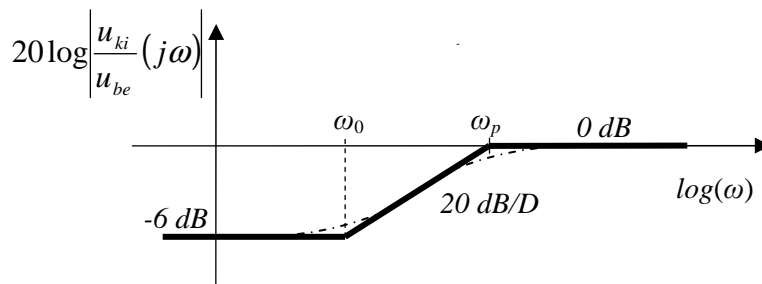
$u_{p1} = u_{ki} \frac{Z_4}{Z_4 + R_5} = u_{n1} = \frac{u_{be}}{2} - \frac{u_{ki}}{2}$   $Z_4 = R \times \frac{1}{sC} = \frac{R}{1 + sRC}$

$u_{ki} \left(1 + \frac{2Z_4}{Z_4 + R_5}\right) = u_{be}$   $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_5 + Z_4}{R_5 + 3Z_4} = \frac{R(1 + sRC) + R}{R(1 + sRC) + 3R} = \frac{1 + s/\omega_0}{2 + s/\omega_p}$

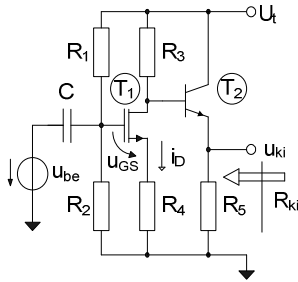
$\omega_0 = \frac{2}{RC} = \frac{2}{2 \cdot 10^{-9} \cdot 20 \cdot 10^3} = \frac{10^5}{2} = 50$  krad/sec

$\omega_p = \frac{4}{RC} = 100$  krad/sec

d.) A Bode-diagram:



**3.) Feladat** Határozza meg az alábbi kapcsolás munkapontját és kiszélő paramétereit!



**T<sub>1</sub>**: n-csatornás növekményes MOS FET,  $i_D = I_{D00} \left( \frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2$

$U_P = 4 \text{ V}; I_{D00} = 4 \text{ mA};$

**T<sub>2</sub>**: n-p-n tranzisztor,  $U_{BE0} = 0,6 \text{ V}, B_2 = \beta_2 = 99$

$U_t = 15 \text{ V}; R_1 = 100 \text{ k}\Omega; R_2 = 100 \text{ k}\Omega; R_3 = 7,5 \text{ k}\Omega; R_4 = 1,5 \text{ k}\Omega;$   
 $R_5 = 6,825 \text{ k}\Omega$

a) A  $T_1$  és  $T_2$  tranzisztor alapkapcsolásának típusa?

b)  $I_{D0} = ?$ ; c)  $I_{E0} = ?$ ; d)  $A_u = ?$  ha  $S = 1 \text{ mS}$

**Megoldás:**

a) A  $T_1$  : Közös (földelt) source-u,  $T_2$  : Közös (földelt) kollektor-os kapcsolás FS, FC

b)  $I_{D0} = ?$ ;

$$U_{G0} = u_{GS} + i_s R_4 = U_t \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad i_s = \begin{cases} I_{D00} \left( \frac{u_{GS} - U_P}{U_P} \right)^2 & \text{ha } u_{GS} > U_P \\ 0 & \text{ha } u_{GS} \leq U_P \end{cases}$$

$$u_{GS} + i_s \cdot 1,5 = 7,5 \quad \rightarrow \quad i_s = \frac{4}{16} (u_{GS} - 4)^2 = \frac{1}{4} (7,5 - 1,5i_s - 4)^2$$

$$2,25i_s^2 - 14,5i_s + 12,25 = 0 \quad i_s = I_{S0} = I_{D0} = \frac{14,5 - \sqrt{210,25 - 110,25}}{4,5} = 1 \text{ mA}$$

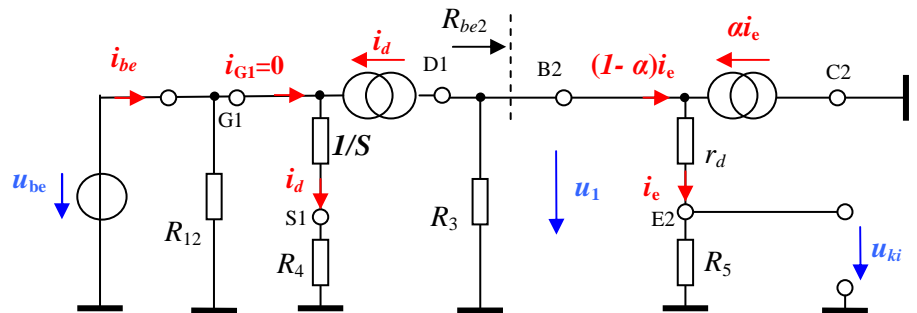
$$U_{GS0} = 7,5 - 1 \cdot 1,5 = 6 \text{ V}$$

c)  $I_{E0} = ?$   $[I_{D0} + (1 - A)I_{E0}]R_3 + U_{BE0} + I_{E0}R_5 = U_t$   $A = \frac{B}{1 + B} = 0,99$

$$I_{E0} = \frac{U_t - U_{BE0} - I_{D0}R_3}{R_5 + (1 - A)R_3} = \frac{15 - 0,6 - 7,5}{6,825 + 0,075} = 1 \text{ mA}$$

$$r_d = \frac{26 \text{ mV}}{1 \text{ mA}} = 26 \Omega$$

d)  $A_u = ?$  ha  $S = 1 \text{ mS}$



$$A_{u1} = \frac{u_1}{u_{be}} = -\frac{R_3}{1/S + R_4} = -\frac{SR_3}{1 + SR_4} = -\frac{7,5}{1 + 1,5} = -3$$

$$R_{be2} = (1 + \beta)(r_d + R_5) = 100 * (6,825 + 0,026) = 685,1 \text{ k}\Omega \quad R_{ki1} = R_3 = 7,5 \text{ k}\Omega$$

$$A_{u2} = \frac{u_{ki}}{u_1} = \frac{R_5}{r_d + R_5} = \frac{6,825}{6,851} = 0,996 \cong 1$$

$$A_{ii} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = A_{u1} \frac{R_{be2}}{R_{ki1} + R_{be2}} A_{u2} = -3 \frac{685,1}{7,5 + 685,1} 0,996 = -2,956 \cong -3$$

4.) Feladat

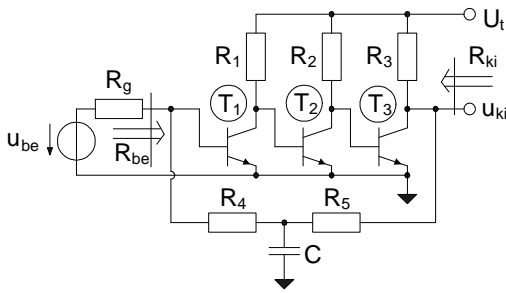
Határozza meg az alábbi kapcsolás paramétereit!

$U_i = 5\text{ V}, R_1 = R_2 = 4,4\text{ k}\Omega, R_3 = 3\text{ k}\Omega, R_4 = 6\text{ k}\Omega$

$R_5 = 5\text{ k}\Omega, R_g = 6\text{ k}\Omega,$

$T_1, T_2, T_3$ : n-p-n tranzisztorok,

$\beta_1=B_1=\beta_2=B_2=\beta_3=B_3 \rightarrow \infty, I_{E01}=I_{E02}=I_{E03}=1\text{ mA},$



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

b.)  $R_{be}=? , C \rightarrow \infty, \text{ c.) } R_{ki}=? , C=0$  (C nincs a kapcsolásban),

d.) A visszacsatolás típusa? ( $C=0$ )

Megoldás:

a.)  $\frac{u_{ki}}{u_{be}} = ?, C \rightarrow \infty$  : **Nincs visszacsatolás**

$r_{d1} = r_{d2} = r_{d3} = \frac{26\text{ mV}}{1\text{ mA}} = 26\Omega$

$A_{ii} = \left(-\frac{R_1}{r_{d1}}\right) \left(-\frac{R_2}{r_{d2}}\right) \left(-\frac{R_3}{r_{d3}}\right) = -\left(\frac{4400}{26}\right)^2 \left(\frac{3000}{26}\right) = -3.3 * 10^6 \quad R_{ki} = R_3 = 3\text{ k}\Omega$

$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{R_4}{R_g + R_4} A_{ii} \frac{R_5}{R_3 + R_5} = \frac{6}{12} (-3.3 * 10^6) \frac{5}{3+5} = -1.032 * 10^6$

b.)  $R_{be}=? , C \rightarrow \infty$  : **Nincs visszacsatolás**

$R_{be} = R_4 = 6\text{ k}\Omega$

c.)  $R_{ki}=? , C=0$  (C nincs a kapcsolásban), **Van visszacsatolás**

$u_{be} = 0 \quad R_v = R_4 + R_5 = 6 + 5 = 11\text{ k}\Omega$

Definíció-szerűen:  $\frac{1}{R_{ki}} = \frac{i_x}{u_x} = \frac{i_v + i_3}{u_x}$

$\frac{u_x}{i_v} = R_v + R_g = 17\text{ k}\Omega$

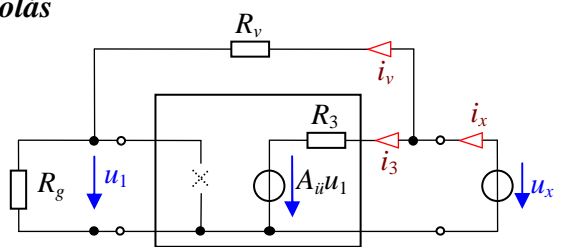
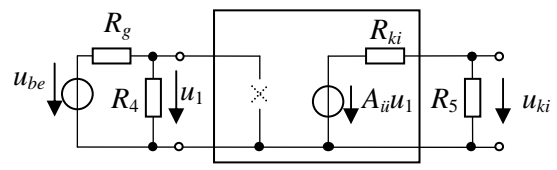
$u_1 = u_x \frac{R_g}{R_g + R_v} = \beta u_x \quad \beta = \frac{R_g}{R_g + R_v} = \frac{6}{6+11} = \frac{6}{17} = 0.353$

$i_3 = \frac{u_x - A_{ii} \beta u_x}{R_3} \quad \frac{u_x}{i_3} = \frac{R_3}{1 - A_{ii} \beta} = \frac{3000}{1 + 3.3 * 10^6 * 0.353} = 2.57\text{ m}\Omega$  (Miller hatás)

$R_{ki} = \left(\frac{u_x}{i_v}\right) \times \left(\frac{u_x}{i_3}\right) = (17\text{ k}\Omega) \times (2.57\text{ m}\Omega) \cong 2.57\text{ m}\Omega$

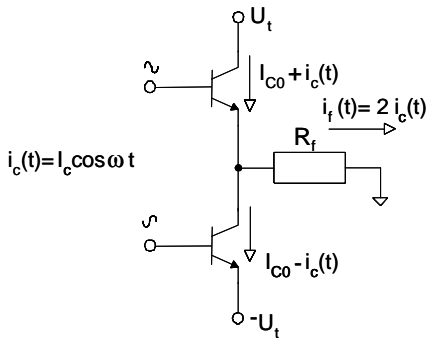
d.) A visszacsatolás típusa? ( $C=0$ )

Párhuzamos, negatív, feszültség-visszacsatolás



**5.) Feladat**

Számítsa ki az alábbi „A” osztályú teljesítményfokozat paramétereit!



$U_t = 15 \text{ V}, R_f = 14 \Omega, U_m = 1 \text{ V}, A = 1$

- a.)  $P_{f \max} = ?, I_{C0} = 0,4 \text{ A}$
- b.)  $P_{f \max} = ?, I_{C0}$  optimális
- c.)  $P_{t \max} = ?, I_{C0}$  optimális
- d.)  $P_{d \max} = ?, I_{C0}$  optimális (egy tranzisztorra)

**Megoldás:**

a.)  $P_{f \max} = ?, I_{C0} = 0,4 \text{ A}$

A munkapont koordinátái:

$u_{CE} = U_t = 15 \text{ V}$

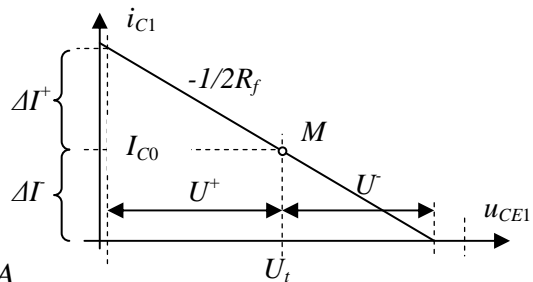
$i_c = I_{C0} = 0,4 \text{ A}$

$U^+ = U_t - U_m = 14 \text{ V}$

$U^- = I_{C0} * 2R_f = 0,4 * 28 = 11,2 \text{ V}$

$\Delta I^+ = \frac{U^+}{2R_f} = \frac{14}{28} = 0,5 \text{ A} \quad \Delta I^- = I_{C0} = 0,4 \text{ A}$

$I_{c \max} = \min\{I^+, I^-\} = 0,4 \text{ A} \quad P_{f \max} = \frac{1}{2} (2I_{c \max})^2 R_f = 0,5 * (0,8)^2 * 14 = 4,48 \text{ W}$



**Az optimális munkaponti áram:**  $U_{CE1}^+ = U_{CE1}^- \rightarrow U_t - U_m = I_{C0} 2R_f$

Ebből az optimális áram:

$I_{C0} = \frac{U_t - U_m}{2R_f} = \frac{14}{28} = 0,5 \text{ A} \quad I_{c \max} = I_{C0}$

b.) A fogyasztón a teljesítmény:  $P_{f \max} = \frac{1}{2} (2I_{c \max})^2 R_f = \frac{1}{2} (2I_{C0})^2 R_f = 7 \text{ W}$

c.) A telepből kivett teljesítmény nem függ a kivezéréstől:  $P_{t \max} = 2U_t I_{C0} = 15 \text{ W}$

d.) Ha nincs vezérlés:  $P_{d \max} = \frac{P_T}{2} = 7,5 \text{ W} \quad (1 \text{ tranzisztorra})$