

Differenciál erősítők

Az alapkapcsolásoktól a differenciál erősítőig

Specifikáció: $R_{be} : \approx k\Omega$, $\frac{u_{ki}}{u_g} \approx 100$, $f_{alsó} = 0 \text{ Hz}$

Áramköri megoldás: (FC+FB) Differenciál erősítő: $T_1=T_2$ (integrált á.k.)

M.P.: $u_{be}=0$

$$I_0 = \frac{U_t - U_{BE0}}{R_A} \quad I_{E01} = I_{E02} \quad \text{mert: } u_{BE1} = u_{BE2}$$

$$r_{d1} = r_{d2} = r_d, \quad \beta_1 = \beta_2 = \beta, \quad R_A \gg r_d$$

1.) kimenet: FE (CE)

$$\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = \frac{-\alpha R_{C1}}{r_{d1} + R_A \times r_{d2}} \cong -\frac{\alpha R_{C1}}{2r_d} \quad R_{be} = (1 + \beta)(r_{d1} + r_{d2})$$

2.) kimenet: FC+FB (CC+CB) $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$

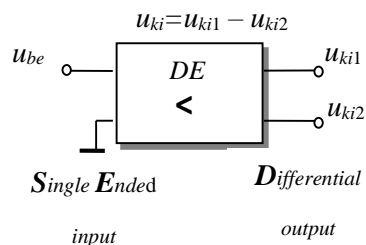
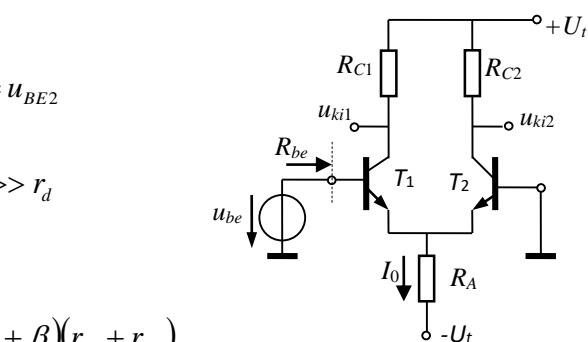
$$\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = \left(\frac{u^*}{u_{be}} \right) \left(\frac{u_{ki2}}{u^*} \right) = \left(\frac{R_A \times r_{d2}}{R_A \times r_{d2} + r_{d1}} \right) \left(\alpha \frac{R_{C2}}{r_{d2}} \right) \cong \frac{r_{d2}}{r_{d2} + r_{d1}} \alpha \frac{R_{C2}}{r_{d2}} = \frac{\alpha R_{C2}}{2r_d}$$

Ha: $R_{C1} = R_{C2} = R_C$: $\frac{u_{ki1}}{u_{be}} = -\frac{\alpha R_C}{2r_d}$

$$\frac{u_{ki2}}{u_{be}} = \frac{\alpha R_C}{2r_d}$$

Differenciális kimenet etén:

$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = \frac{u_{ki1} - u_{ki2}}{u_{be}} = -\alpha \frac{R_C}{r_d}$$



Legyen most a második bemenet is gerjesztve, a kimenő jeleink legyenek a kollektor áramok

$$T_1 = T_2, \quad R_{E1} = R_{E2} = R_E$$

$$r_{d1} + R_{E1} = R_1, \quad r_{d2} + R_{E2} = R_2 \quad R_1 = R_2 = R$$

Bontsuk fel a bemenő jeleket:

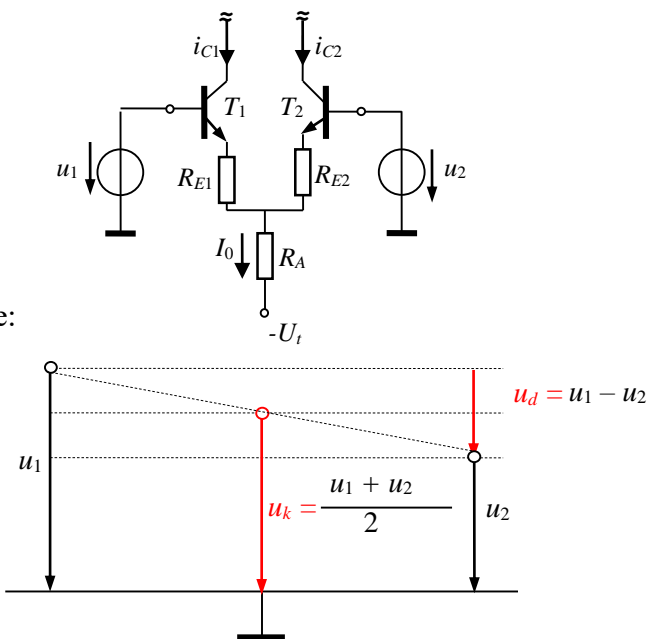
-közös módusú: (u_k) és

-differenciális módusú (u_d) összetevőkre:

$$u_k = \frac{u_1 + u_2}{2} \quad u_d = u_1 - u_2$$

Megfordítva:

$$u_1 = u_k + \frac{u_d}{2} \quad u_2 = u_k - \frac{u_d}{2}$$

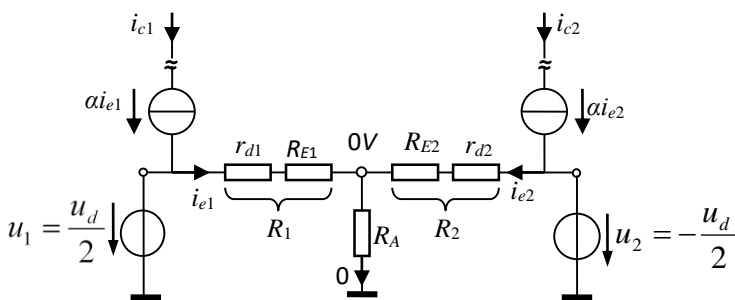


1.) Tisztán differenciális módusú gerjesztés: $u_k = 0$

$$u_1 = +\frac{u_d}{2} \quad u_2 = -\frac{u_d}{2}$$

$$i_{e1} = \frac{u_d}{2R} \quad i_{e2} = -\frac{u_d}{2R}$$

$$S_{d1} = \frac{i_{c1}}{u_d} = \frac{\alpha}{2R} \quad S_{d2} = \frac{i_{c2}}{u_d} = -\frac{\alpha}{2R}$$

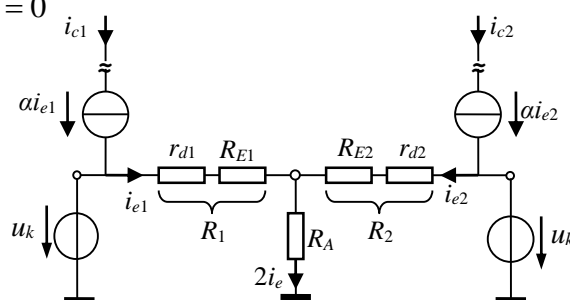


2.) Tisztán közös módusú gerjesztés: $u_d = 0$

$$u_1 = u_k \quad u_2 = u_k$$

$$i_{e1} = i_{e2} = i_e = \frac{u_k}{R + 2R_A}$$

$$S_{k1} = \frac{i_{c1}}{u_k} = \frac{\alpha}{R + 2R_A} \quad S_{k2} = \frac{i_{c2}}{u_k} = \frac{\alpha}{R + 2R_A}$$



Közös módusú elnyomás (KME): (Common Mode Rejection Ratio, CMRR)

$$KME_1 = \left| \frac{S_{d1}}{S_{k1}} \right| = \frac{\frac{\alpha}{2R}}{\frac{\alpha}{R + 2R_A}} = \frac{2R_A + R}{2R} = \frac{R_A}{R} + \frac{1}{2} = \frac{R_A}{r_d + R_E} + \frac{1}{2}$$

Ha a kimeneti jelünk nem a kollektor áramok, hanem a kollektor áramok különbsége: $i_{c1} - i_{c2}$:

1.) differenciális vezérléskor:

$$i_{kid} = i_{c1} - i_{c2} = \alpha \frac{u_d}{2R} - \left(-\alpha \frac{u_d}{2R} \right) = \alpha \frac{u_d}{R} = \frac{\alpha}{r_d + R_E} u_d$$

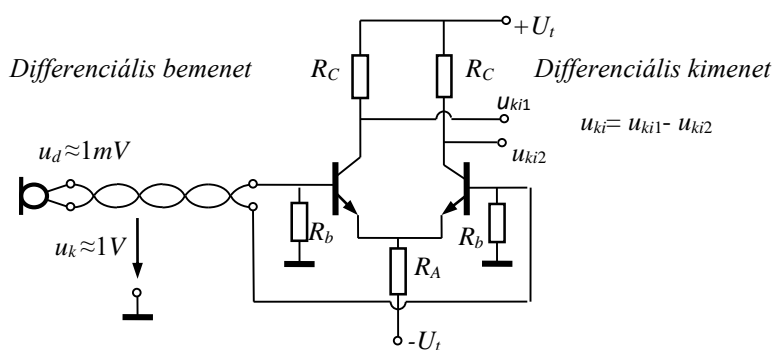
2.) Közös modulusú vezérléskor:

$$i_{c1} = i_{c2} \rightarrow i_{kik} = 0 \quad KME_{i1-i2} = \frac{i_{kid}}{i_{kik}} \rightarrow \infty$$

Miért kell a nagy KME ?

Pld: mikrofon

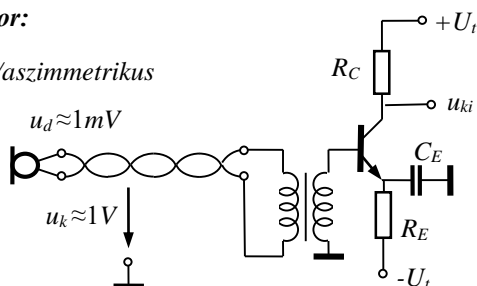
Nagy zavaró (zaj) jel u_k :



Transzformátorral is megoldható:

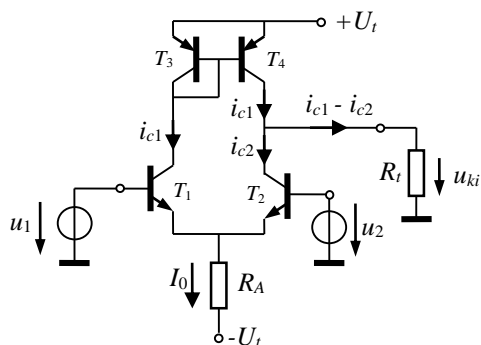
Transzformátor:

Szimmetrikus/aszimmetrikus

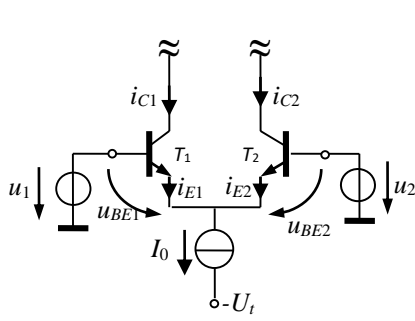


Áramtükrös kimenet: $u_{ki} = (i_{c1} - i_{c2})R_t$, nagy közös modulusú elnyomás.

Szimmetrikus bemenet, Aszimmetrikus kimenet DIFF > SE



Differenciál erősítő nagyjelű vizsgálata: $T_1=T_2$



$$i_{E1} = I_{S01} e^{\frac{u_{BE1}}{U_T}} \quad i_{E2} = I_{S02} e^{\frac{u_{BE2}}{U_T}}$$

$$I_{S01} = I_{S02} = I_{S0}$$

$$u_1 = u_{BE1} - u_{BE2} + u_2$$

$$\Delta u = u_1 - u_2 = u_{BE1} - u_{BE2}$$

$$i_{C2} = \frac{\alpha I_0}{1 + e^{\frac{\Delta u}{U_T}}} \quad i_{E1} + i_{E2} = I_0 \rightarrow 1 + \frac{i_{E2}}{i_{E1}} = \frac{I_0}{i_{E1}}$$

$$\frac{i_{E1}}{I_0} = \frac{1}{1 + \frac{i_{E2}}{i_{E1}}} = \frac{1}{1 + e^{\frac{u_{BE2} - u_{BE1}}{U_T}}} = \frac{1}{1 + e^{\frac{\Delta u}{U_T}}}$$

$$\frac{i_{E2}}{I_0} = \frac{1}{1 + e^{\frac{\Delta u}{U_T}}}$$

$$i_{C1} = \frac{\alpha I_0}{1 + e^{\frac{\Delta u}{U_T}}}$$

$$i_{C2} = \frac{\alpha I_0}{1 + e^{\frac{\Delta u}{U_T}}} \quad I_{E01} = I_{E02} = \frac{I_0}{2}$$

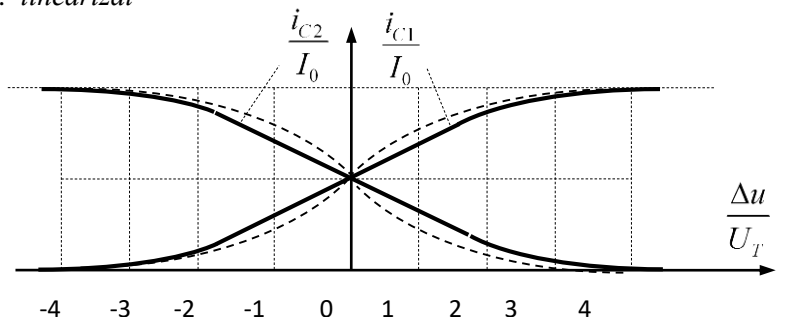
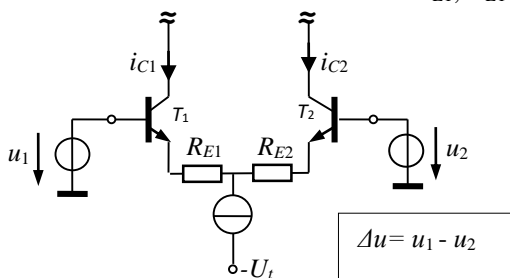
$$S(\Delta u) = \frac{\partial i_{C1}}{\partial \Delta u} = \frac{\alpha I_0}{U_T} \frac{e^{\frac{\Delta u}{U_T}}}{\left(1 + e^{\frac{\Delta u}{U_T}}\right)^2}$$

$$S_{\max} = S(0) = \frac{\alpha I_0}{U_T} \frac{1}{(1+1)^2} = \alpha \frac{I_{E01}}{U_T} \frac{1}{2} = \frac{\alpha}{2r_d}$$

Megjegyz.: $\frac{1}{1 + e^{-2x}} = 1 - \frac{e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{1}{2} + \frac{e^x - e^{-x}}{2(e^x + e^{-x})} = \frac{1}{2}(1 + th(x))$

Az emitterben elhelyezett ellenállások szélesebb bemeneti tartományt tesznek közel lineárisá.

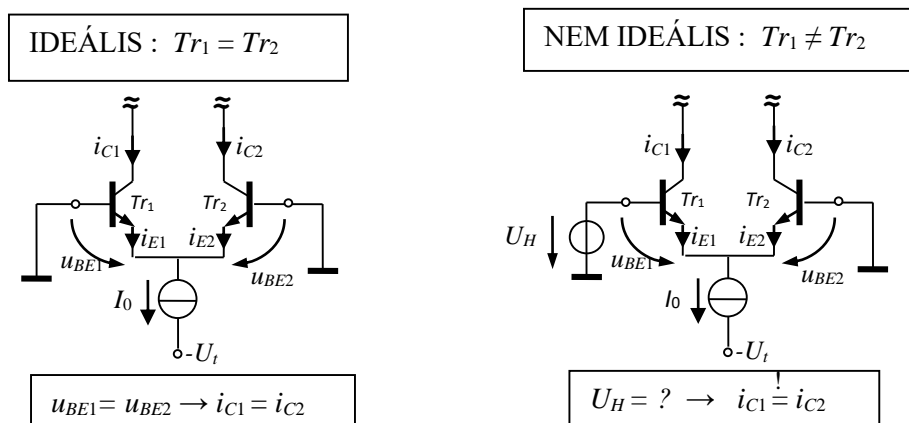
R_{E1}, R_{E2} : linearizál



Aszimmetria kiegyenlítése U_H hiba kiegyenlítő feszültséggel

Vizsgáljuk meg, ha:

- 1.) $A_1 \neq A_2$ (a nagyjelű alfa különböző)
- 2.) $T_{r1} \neq T_{r2}$ (a hőmérséklet különböző)
- 3.) $I_{s01} \neq I_{s02}$ (a tranzisztorok visszáramai különbözőek)



Mekkora U_H feszültséget kell alkalmazni, hogy $i_{C1} = i_{C2} = i_C$ ($U_{ki0} = 0$) legyen?

$$i_{E1} + i_{E2} = I_0 \rightarrow \frac{i_{C1}}{A_1} + \frac{i_{C2}}{A_2} = \frac{i_C}{A_1} + \frac{i_C}{A_2} = i_C \frac{A_2 + A_1}{A_1 A_2} = I_0 \quad i_C = \frac{A_1 A_2}{A_2 + A_1} I_0$$

$$i_{E1} = \frac{i_C}{A_1} = I_0 \frac{A_2}{A_1 + A_2} \quad i_{E2} = \frac{i_C}{A_2} = I_0 \frac{A_1}{A_1 + A_2}$$

$$i_{E1} = I_{s01} e^{\frac{u_{BE1}}{U_T}} \quad i_{E2} = I_{s02} e^{\frac{u_{BE2}}{U_T}}$$

$$U_H = u_{BE1} - u_{BE2} = U_T \ln \left(I_0 \frac{A_2}{A_1 + A_2} \frac{1}{I_{s01}} \right) - U_T \ln \left(I_0 \frac{A_1}{A_1 + A_2} \frac{1}{I_{s02}} \right)$$

Vizsgáljunk két egyszerű esetet:

$$1.) I_{s01} \neq I_{s02}, \quad A_1 = A_2 = A, \quad T_{r1} = T_{r2} = T$$

Mekkora U_H feszültséget kell alkalmazni, hogy $i_{C1} = i_{C2} = i_C$ ($U_{ki0} = 0$) legyen?

$$U_H = u_{BE1} - u_{BE2} = U_T \ln \left(I_0 \frac{1}{2} \frac{1}{I_{s01}} \right) - U_T \ln \left(I_0 \frac{1}{2} \frac{1}{I_{s02}} \right) = U_T \ln \left(\frac{I_{s02}}{I_{s01}} \right)$$

$$\frac{I_{s01}}{I_{s02}} = \frac{F_1}{F_2} \quad \text{a tranzisztorok felületeinek aránya}$$

$$U_H = u_{BE1} - u_{BE2} = U_T \ln \frac{F_2}{F_1} = U_T \ln \frac{F_1 + \Delta F}{F_1} \approx U_T \frac{\Delta F}{F_1}$$

mert: $\ln(1+x) \approx x$ ha $x \ll 1$

például 5% felületi eltérés gyártási gyártási szórásból adódóan:

$$U_H = u_{BE1} - u_{BE2} = U_T \frac{\Delta F}{F_1} = 26mV * 0.05 = 1.3mV$$

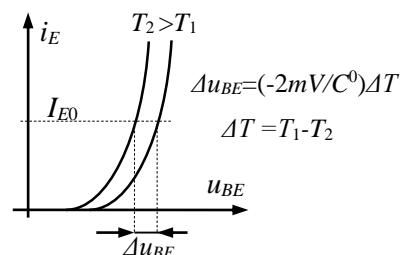
2.) Ha a tranzisztorok hőmérséklete nem egyforma, de más tekintetben egyformák:

$$T_{tr1} \neq T_{tr2} \quad I_{S01} = I_{S02} = I_{S0} \quad A_1 = A_2 = A$$

Mekkora U_H feszültséget kell alkalmazni, hogy $i_{C1}=i_{C2}=i_C$ ($U_{ki0}=0$) legyen?

$$U_H = u_{BE1} - u_{BE2} = \Delta u_{BE} = (-2mV/C^0)\Delta T$$

Például: T_2 hőmérséklete legyen $30C$ T_1 hőmérséklete pedig $20C$. Mekkora U_H ?



$$U_H = u_{BE1} - u_{BE2} = (-2mV/C^0)\Delta T = (-2mV/C^0)(T_1 - T_2) = (-2mV/C^0)(20C^0 - 30C^0) = 20mV$$

lítés elromlik.)