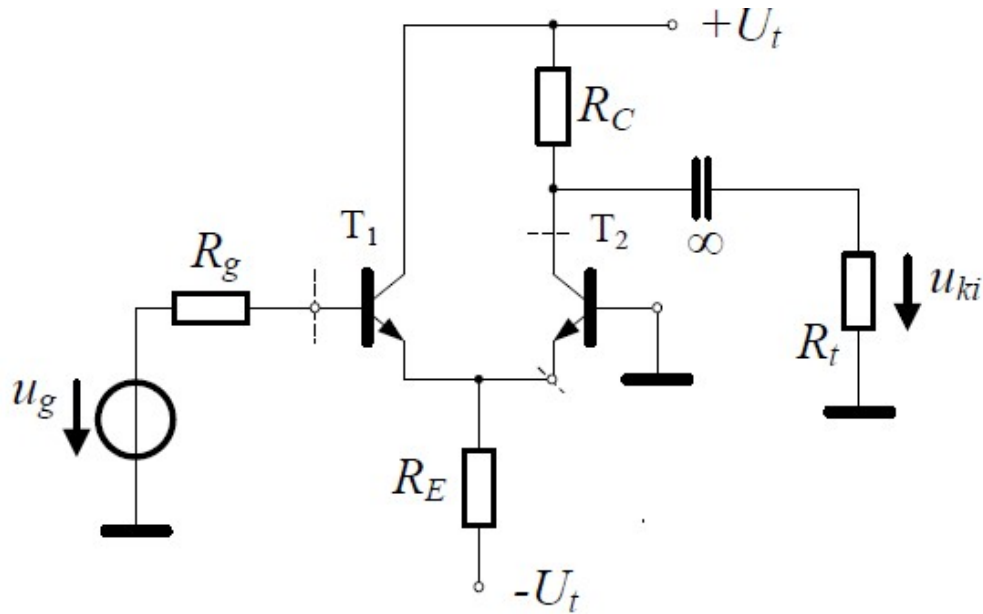


Egy speciális kétfokozatú erősítő: **FC-FB**



Kisjelű analízis:

$$R_{be} = (1 + \beta)(r_{d1} + r_{d2} \times R_E) \cong (1 + \beta)(r_{d1} + r_{d2})$$

$$\frac{u_{ki}}{u_g} = \frac{R_{be}}{R_g + R_{be}} \frac{r_{d2} \times R_E}{r_{d1} + r_{d2} \times R_E} \left(\alpha_2 \frac{R_C}{r_{d2}} \right)$$

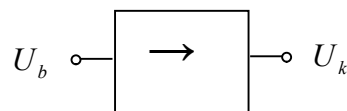
Előnyei:

- nagy feszültség erősítés
- nem kell hidegítő kondenzátor
- egyenáramú erősítő !

Jön: differenciál erősítő

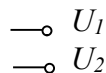
Aszimmetrikus, és szimmetrikus jelvezetés és erősítők

- Aszimmetrikus jel, aszimmetrikus erősítő
 - egy bemenet, egy kimenet, egy erősítés



$$U_k = A U_b$$

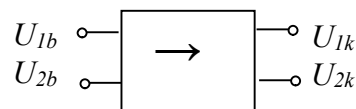
- Szimmetrikus jel: két jelvezetés
 - differenciális komponens
 - közösmódusú komponens



$$U_K = (U_1 + U_2) / 2 \quad U_1 = U_K + U_D / 2$$

$$U_D = U_1 - U_2 \quad U_2 = U_K - U_D / 2$$

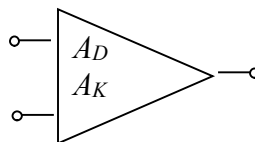
- Szimmetrikus erősítő
 - szimmetrikus bemenet
 - szimmetrikus kimenet
 - négy erősítés érték



$$U_{k1} = A_{11}U_{b1} + A_{12}U_{b2} \quad U_{kD} = A_{DD}U_{bD} + A_{DK}U_{bK}$$

$$U_{k2} = A_{21}U_{b1} + A_{22}U_{b2} \quad U_{kK} = A_{KD}U_{bD} + A_{KK}U_{bK}$$

- Szimmetrikus bemenetű, aszimmetrikus kimenetű erősítő
 - differenciális erősítés
 - közösmódusú erősítés
 - közösmódusú elnyomás



$$U_k = A_1 U_{b1} + A_2 U_{b2} \quad U_k = A_D U_{bD} + A_K U_{bK}$$

$$KME = \left| \frac{A_D}{A_K} \right|$$

Differenciál erősítő

bemenet: u_1, u_2

differenciális: $u_D = u_1 - u_2$

közös módusú: $u_K = (u_1 + u_2)/2$

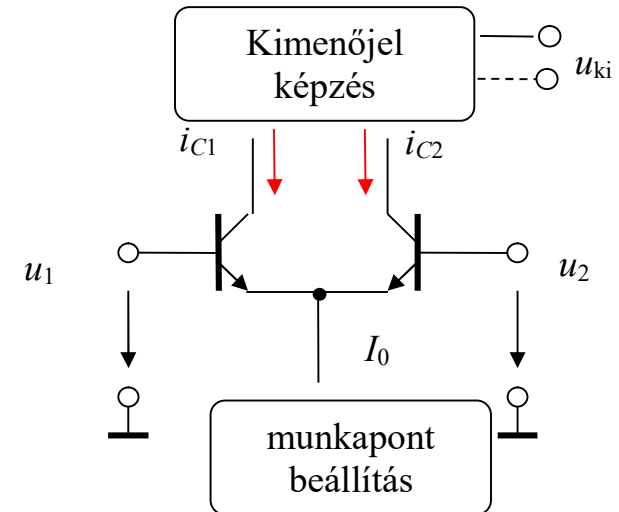
válasz: i_{c1}, i_{c2}

differenciális vezérlés: $u_{be} = u_D, u_K = 0$

$u_1 = u_{be}/2 \quad u_2 = -u_{be}/2$

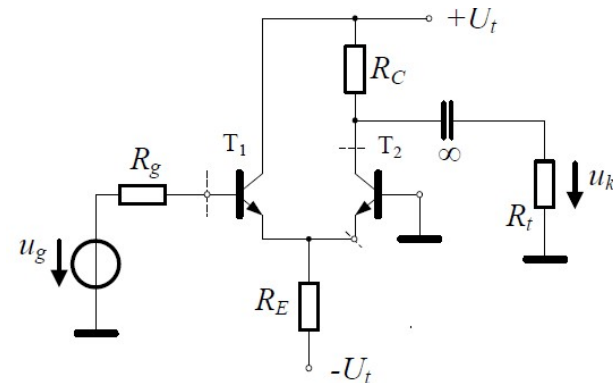
közös módusú vezérlés: $u_{be} = u_K, u_D = 0$

$u_1 = u_2 = u_{be}$



Differenciál erősítő speciális esetére példa:

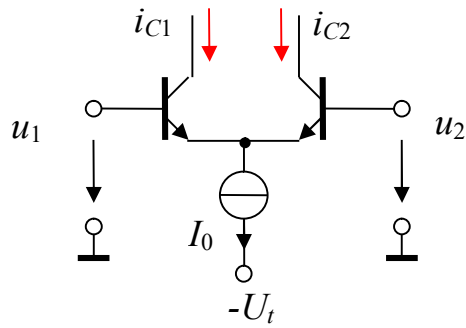
- FC-FB erősítő
- asszimmetrikus bemenet
 - $u_1 = u_g \quad u_2 = 0$



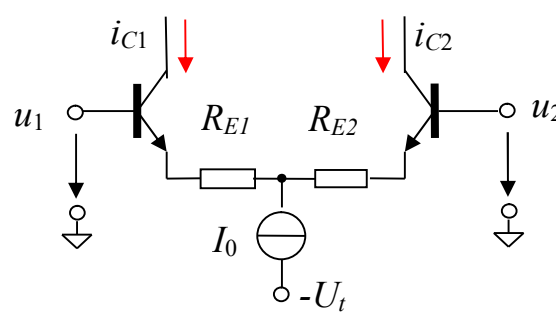
Differenciál erősítő változatok

Emitterköri változatok:

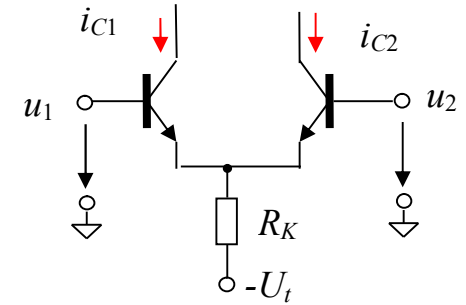
alapeset



degenerált eset

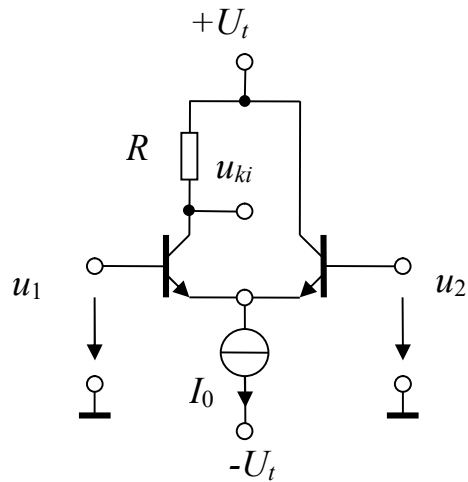


véges ellenállású áramgenerátor

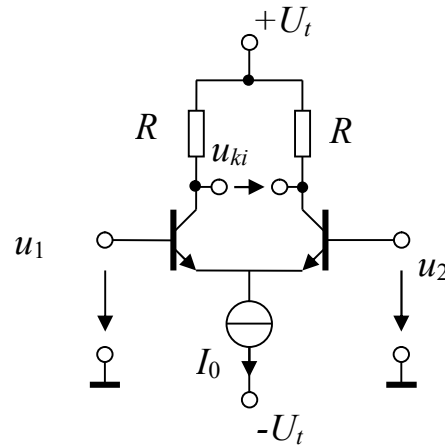


Kollektorköri változatok:

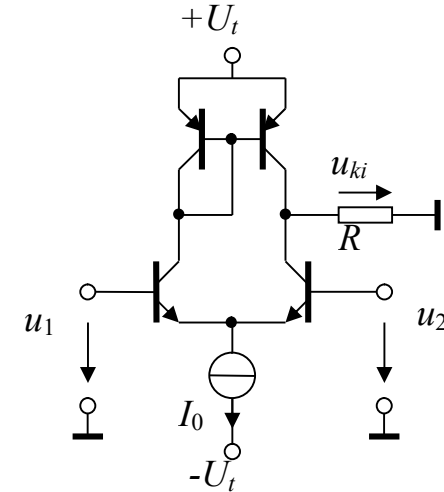
Aszimmetrikus kimenet



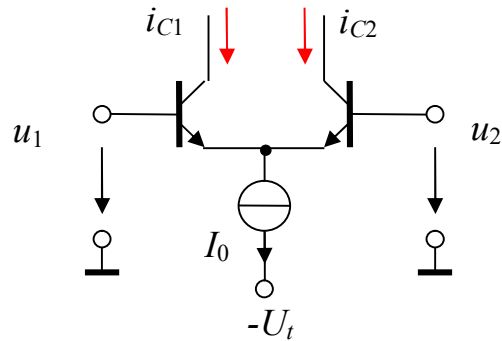
szimmetrikus kimenetek



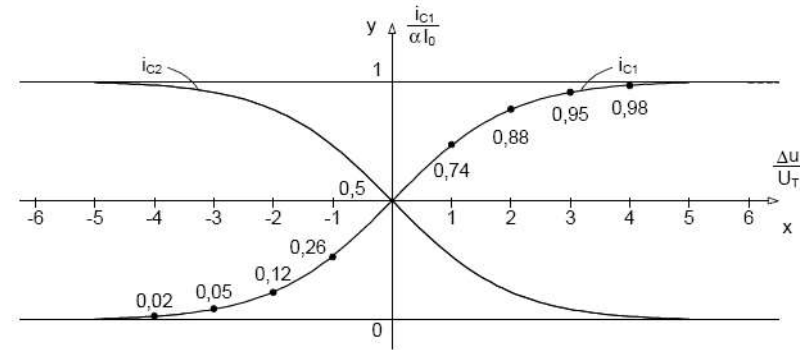
áramkülönbség képzés



Differenciál erősítő, nagyjelű analízis



bemenet: u_1, u_2
kimenet: i_{c1}, i_{c2}



$$i_E = I_{S0} \left[\exp\left(\frac{u_{BE}}{U_T}\right) - 1 \right] \approx I_{S0} \exp\left(\frac{u_{BE}}{U_T}\right)$$

$$i_{E1} + i_{E2} = I_0$$

$$i_{E1} = I_0 \frac{1}{1 + \frac{i_{E2}}{i_{E1}}} = I_0 \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{u_1 - u_2}{U_T}\right)} = \frac{I_0}{2} \left[1 + \tanh\left(-\frac{\Delta u}{2U_T}\right) \right]$$

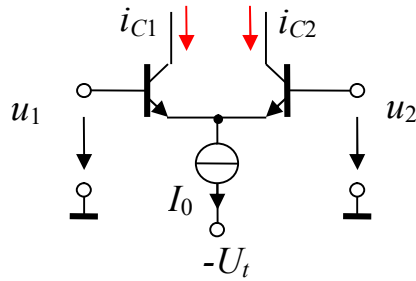
$$\frac{1}{1 + \exp(-x)} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{1 - \exp(-x)}{1 + \exp(-x)} \right] = \frac{1}{2} \left[1 + \tanh\left(-\frac{x}{2}\right) \right]$$

$$i_{E1} - i_{E2} = I_0 \tanh\left(\frac{\Delta u}{2U_T}\right)$$

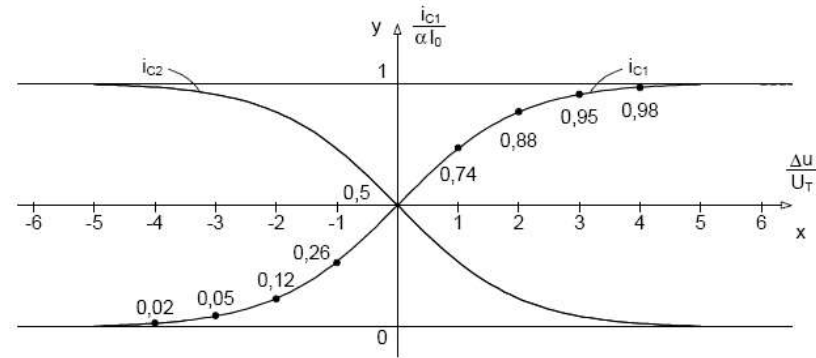
nagyjelű karakterisztika: $I_c(\Delta U_{be})$

- telítéses,
- vezérelt erősítő, szorzó áramkör

Differenciál erősítő meredeksége

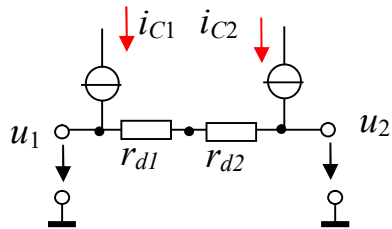


$$i_{E1} = I_0 \frac{1}{1 + \exp\left(-\frac{\Delta u}{U_T}\right)} = \frac{I_0}{2} \left[1 + \tanh\left(\frac{\Delta u}{2U_T}\right) \right]$$



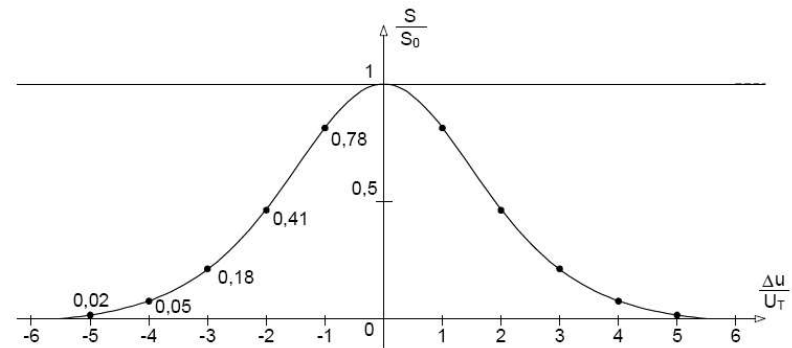
Diff. erősítő meredeksége:

$$S = \frac{di_{c1}}{d\Delta u} = \alpha \frac{I_0}{U_T} \frac{\exp\left(-\frac{\Delta u}{U_T}\right)}{\left(1 + \exp\left(-\frac{\Delta u}{U_T}\right)\right)^2} = -\frac{di_{c2}}{d\Delta u}$$

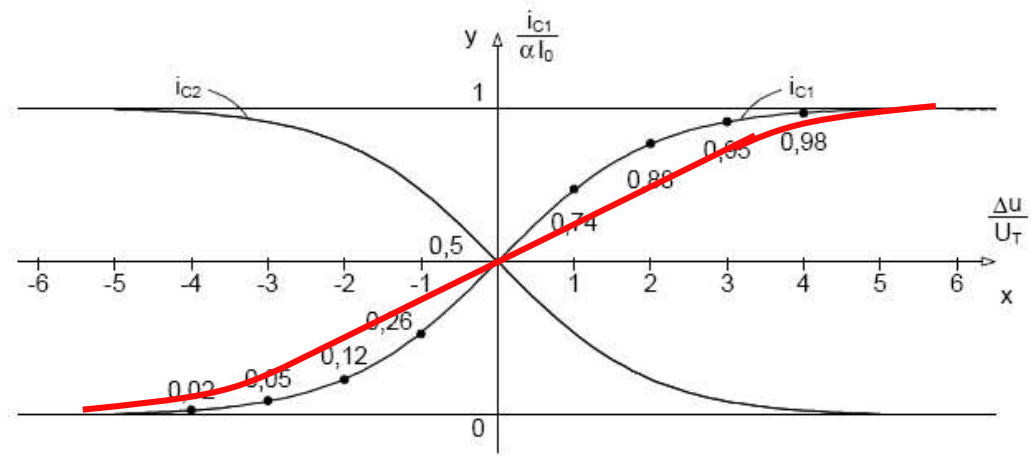
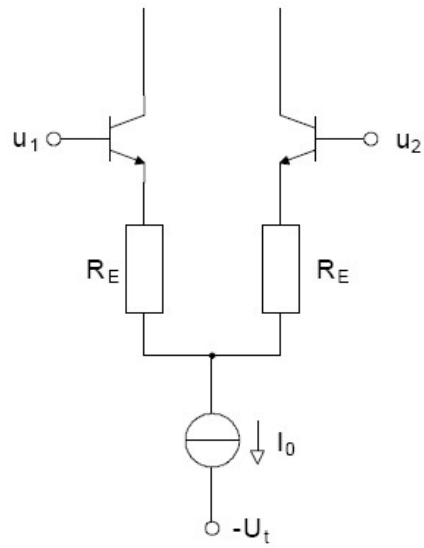


$$= \alpha \frac{1}{r_{d1} + r_{d2}}$$

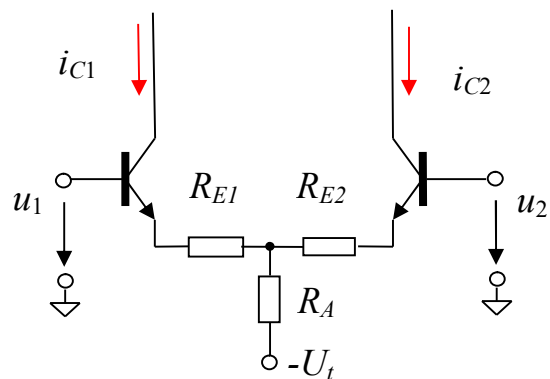
$$S_0 = S \Big|_{\Delta u=0} = \alpha \frac{I_0}{4U_T} = \alpha \frac{1}{2r_d}$$



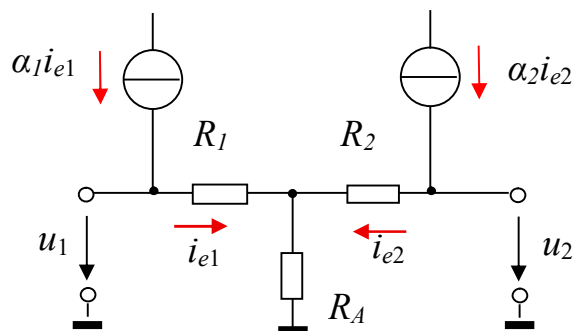
Degenerált eset:



Differenciál erősítő, kisjelű analízis



Lineáris helyettesítő kép:



$$R_1 = r_{d1} + R_{E1}$$

$$R_2 = r_{d2} + R_{E2}$$

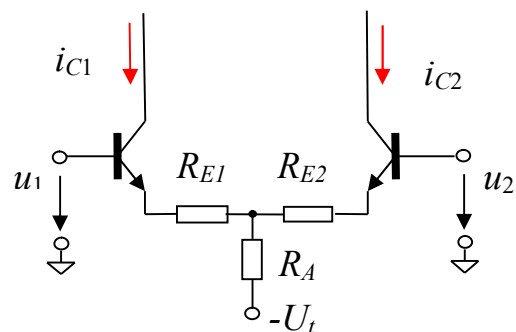
$$i_{e1}(R_A + R_1) + i_{e2}R_A = u_1$$

$$i_{e1}R_A + i_{e2}(R_A + R_2) = u_2$$

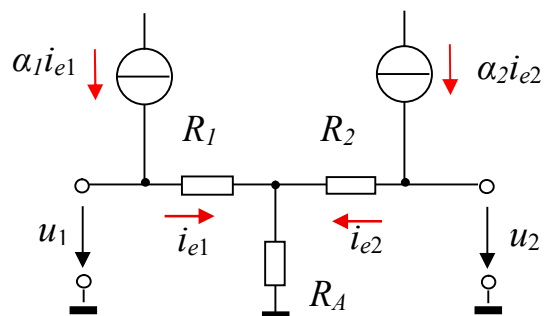
$$i_{e1} = \frac{(R_A + R_2)u_1 - R_A u_2}{(R_A + R_1)(R_A + R_2) - R_A^2}$$

$$i_{e2} = \frac{-R_A u_1 + (R_A + R_1)u_2}{(R_A + R_1)(R_A + R_2) - R_A^2}$$

$$N = (R_A + R_1)(R_A + R_2) - R_A^2$$



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



$$N = (R_A + R_1)(R_A + R_2) - R_A^2$$

$$i_{c1} = \alpha \frac{(R_A + R_2)u_1 - R_A u_2}{N}$$

$$i_{c2} = \alpha \frac{(R_A - R_1)u_2 - R_A u_1}{N}$$

Aszimmetrikus kimeneti áramok bemeneti feszültség érzékenységei:

$$S_{11} = \frac{i_{c1}}{u_1} \Big|_{u_2=0} = \alpha \frac{R_A + R_2}{N} \quad S_{21} = \frac{i_{c2}}{u_1} \Big|_{u_2=0} = -\alpha \frac{R_A}{N}$$

$$S_{12} = \frac{i_{c1}}{u_2} \Big|_{u_1=0} = -\alpha \frac{R_A}{N} \quad S_{22} = \frac{i_{c2}}{u_2} \Big|_{u_1=0} = \alpha \frac{R_A + R_1}{N}$$

Aszimmetrikus kimeneti áramok differenciális és közösmódusú feszültség érzékenységei:

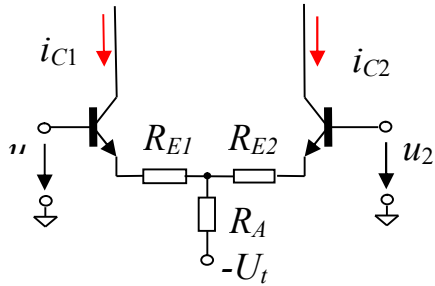
$$S_{1D} = \frac{i_{c1}}{u_D} \Big|_{u_K=0} = \alpha \frac{R_A + \frac{R_2}{2}}{N} \quad S_{2D} = \frac{i_{c2}}{u_D} \Big|_{u_K=0} = -\alpha \frac{R_A + \frac{R_1}{2}}{N}$$

$$S_{1K} = \frac{i_{c1}}{u_K} \Big|_{u_D=0} = \alpha \frac{R_2}{N} \quad S_{2K} = \frac{i_{c2}}{u_K} \Big|_{u_D=0} = \alpha \frac{R_1}{N}$$

Differenciális kimeneti áramok differenciális és közösmódusú feszültség érzékenységei:

$$S_D = \frac{i_{c1} - i_{c2}}{u_D} \Big|_{u_K=0} = \alpha \frac{2R_A + \frac{R_1 + R_2}{2}}{N}$$

$$S_K = \frac{i_{c1} - i_{c2}}{u_K} \Big|_{u_D=0} = \alpha \frac{R_2 - R_1}{N}$$

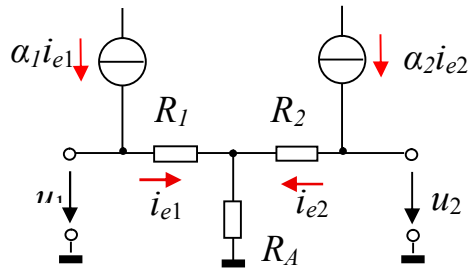


$$S_{1D} = \alpha \frac{R_A + \frac{R_2}{2}}{N} \quad S_{1K} = \alpha \frac{R_2}{N}$$

$$S_D = \alpha \frac{2R_A + \frac{R_1 + R_2}{2}}{N} \quad S_K = \alpha \frac{R_2 - R_1}{N}$$

Közös módusú elnyomási tényező:

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



- aszimmetrikus kimenet esetén:

$$KME_{a1} = \left| \frac{S_{1D}}{S_{1K}} \right| = \frac{1}{2} + \frac{R_A}{R_2}$$

- szimmetrikus kimenet esetén:

$$KME_{sz} = \left| \frac{S_D}{S_K} \right| = \left| \frac{2R_A + \frac{R_1 - R_2}{2}}{R_2 - R_1} \right|$$

Differenciális erősítő

Differenciál erősítő:

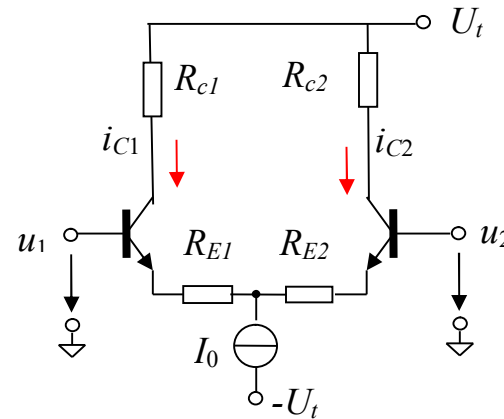
- **differenciális** bemenetű
 - nagy differenciális erősítés,
 - kis közös módusú erősítés
- kisjelű működés: **lineáris**
 - nulla bemenet → nulla kimenet
- **egyenáramú** erősítő

Ideális differenciál erősítő:

- szimmetrikus
 - $T1=T2$, (paraméterek, hőmérséklet)
 - $R_{E1} = R_{E2}$, $R_{C1} = R_{C2}$
 -

Valós differenciál erősítő:

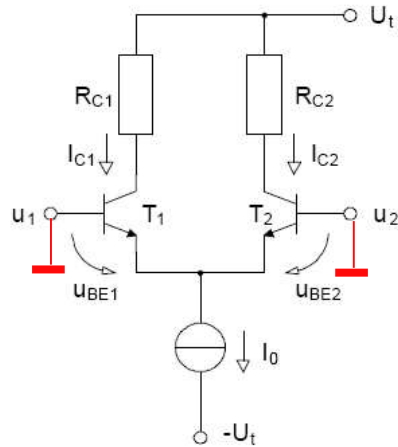
- szimmetria hibák → kisjelű működés: nem lineáris
 - nulla bemenet → nem nulla kimenet
- bemeneti offset feszültség



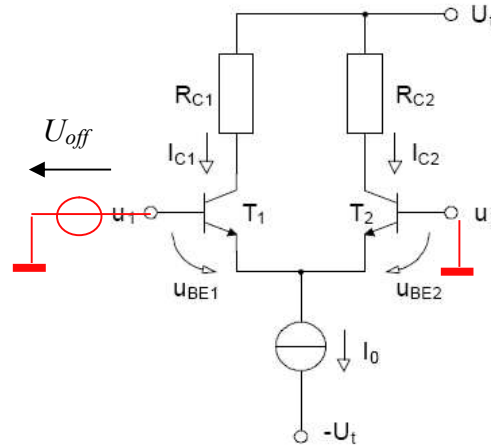
Bemeneti offset feszültség és driftje

Definíció:

- U_{off} az a bemeneti differenciális egyenfeszültség, melynél az aszimmetria hatása a kimeneten kompenzálódik, az áramkör „kiegyenlített”, azaz
 - vagy a két kimeneti kollektor-áram azonos
 - vagy a kimeneti differenciális feszültség nulla



„Offsetes”, kiegyenlítetlen: $I_{C1} \neq I_{C2}$



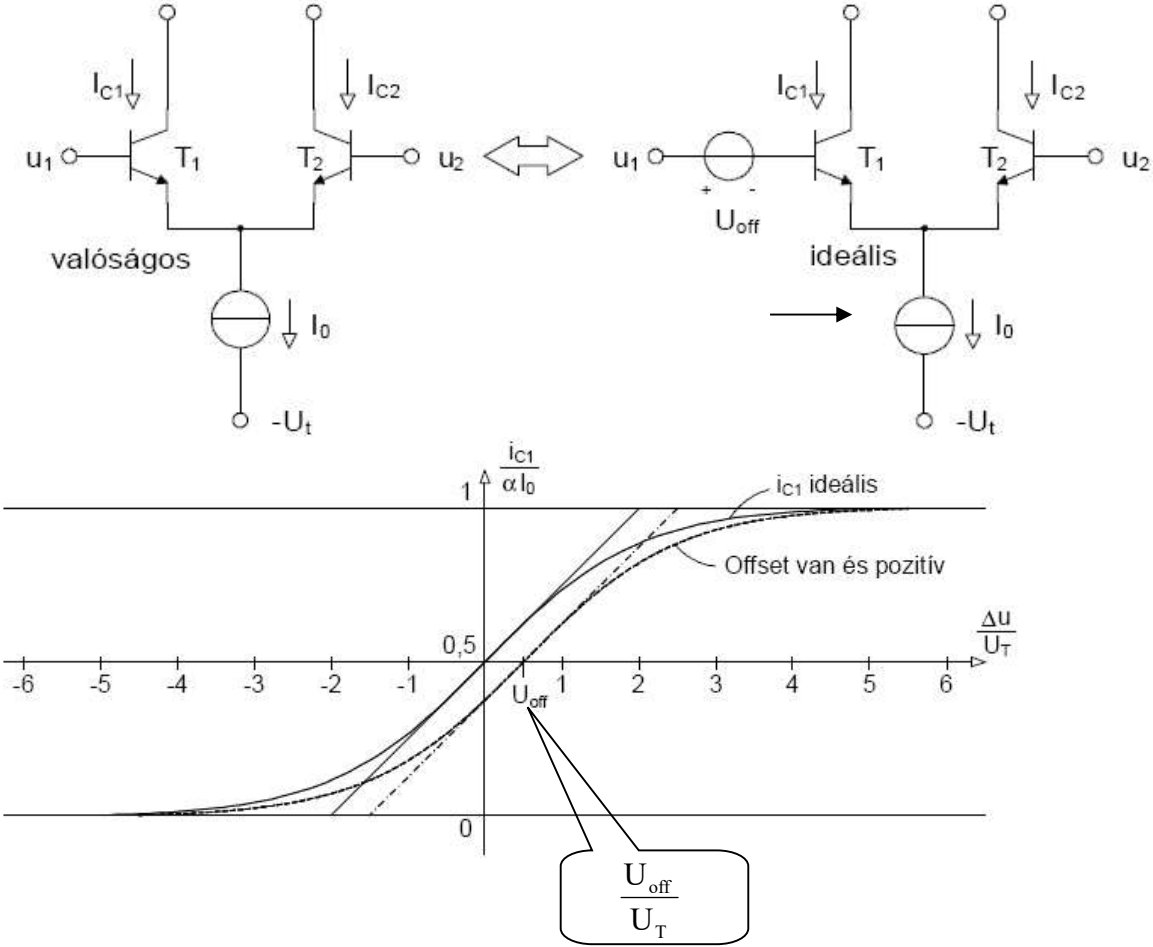
Kiegyenlített: $I_{C1} = I_{C2}$

$$U_{off} = U_1 - U_2 \Big|_{i_{c1} = i_{c2}}$$

- Drift: az offset feszültség hőmérséklet szerinti deriváltja

A valóságos differenciálerősítő modellezése

A bemeneti offset modellbeli értelmezése:



Bemeneti offset feszültség

Bemeneti offset értelmezhető:

- a T1, T2 tranzisztorpárra
- a differenciálerősítő fokozatra
- többfokozatú erősítőre

