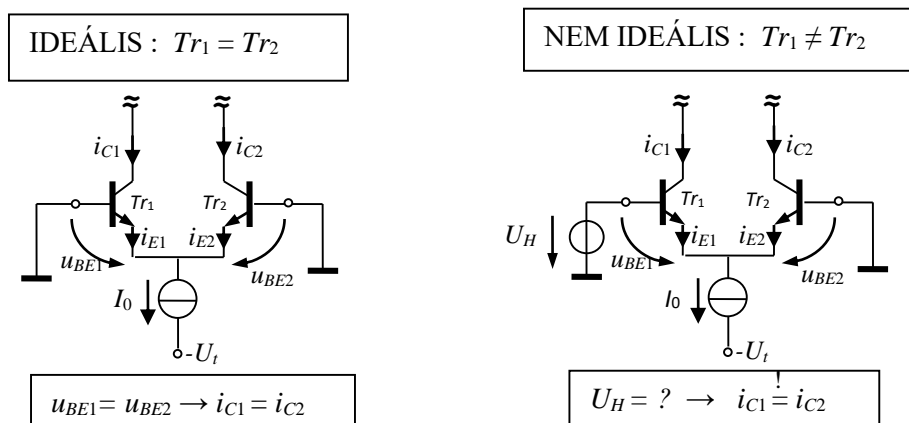


Differenciál erősítőtől a műveleti erősítőig

Aszimmetria kiegyenlítése U_H hiba kiegyenlítő feszültséggel

Vizsgáljuk meg, ha a két tranzisztor nem egyforma:

- 1.) $A_1 \neq A_2$ (a nagyjelű alfa különböző)
- 2.) $T_{tr1} \neq T_{tr2}$ (a hőmérséklet különböző)
- 3.) $I_{S01} \neq I_{S02}$ (a visszáram különböző)



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

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

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

$$i_{E1} = I_{S0} e^{\frac{u_{BE1}}{U_T}} \quad i_{E2} = I_{S0} e^{\frac{u_{BE2}}{U_T}}$$

$$\frac{i_{E1}}{i_{E2}} = e^{\frac{u_{BE1} - u_{BE2}}{U_T}} = \frac{A_2}{A_1} \quad u_{BE1} - u_{BE2} = U_T \ln \frac{A_2}{A_1}$$

$$U_H = u_{BE1} - u_{BE2} = U_T \ln \frac{A_2}{A_1}$$

$$2.) \quad I_{S01} \neq I_{S02} \quad A_1 = A_2 = A \quad T_{tr1} = T_{tr2} = T$$

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

$$i_{E1} = \frac{i_C}{A} = \frac{I_0}{2} \quad i_{E2} = \frac{i_C}{A} = \frac{I_0}{2}$$

10. előadás

$$i_{E1} = I_{S01} e^{\frac{u_{BE1}}{U_T}}$$

$$i_{E2} = I_{S02} e^{\frac{u_{BE2}}{U_T}}$$

$$\frac{i_{E1}}{i_{E2}} = \frac{I_{S01}}{I_{S02}} e^{\frac{u_{BE1} - u_{BE2}}{U_T}} = 1$$

$$\frac{I_{S01}}{I_{S02}} = \frac{F_1}{F_2} \quad \text{a tr.-ok felületeinek aránya}$$

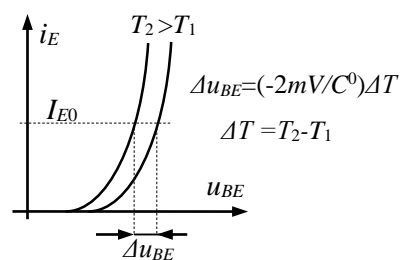
$$U_H = u_{BE1} - u_{BE2} = U_T \ln \frac{F_2}{F_1} = U_T \ln \frac{F_1 + \Delta F}{F_1} \approx U_T \frac{\Delta F}{F_1}$$

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

$$3.) \quad T_{tr1} \neq T_{tr2} \quad I_{S01} = I_{S02} = I_{S0} \quad A_1 = A_2 = A$$

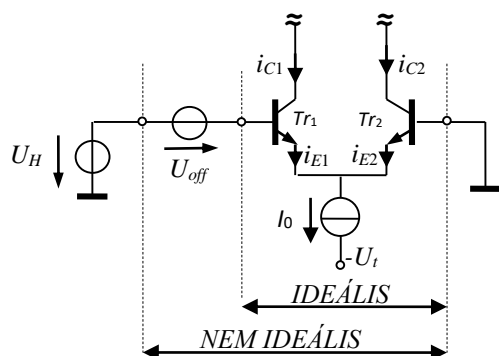
Mekkora U_H feszültséget kell alkalmazni, hogy $i_{C1} = i_{C2} = i_C$ ($U_{ki0} = 0$) legyen?

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



A NEM IDEÁLIS (valóságos) diff. erősítő = U_{off} + IDEÁLIS diff. erősítő:

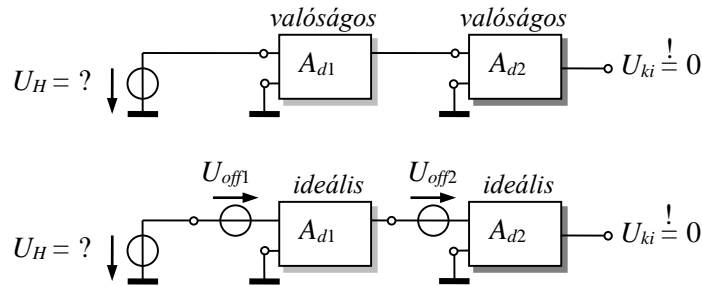
$$\text{ha : } U_{off} = U_H$$



Ekkor: $u_1 = u_2 = 0$

és ekkor $i_{C1} = i_{C2}$

az IDEÁLIS diff.er.-ben

Erősítőlánc ofset feszültsége:

$$U_{ki0} = A_{d1}A_{d2}U_H - A_{d1}A_{d2}U_{off1} - A_{d2}U_{off2} = 0$$

$$U_H = U_{off2} = U_{off1} + \frac{1}{A_{d1}}U_{off2}$$

Lándba kapcsolt erősítők offset feszültségét az első erősítő offset-e határozza meg elsősorban.

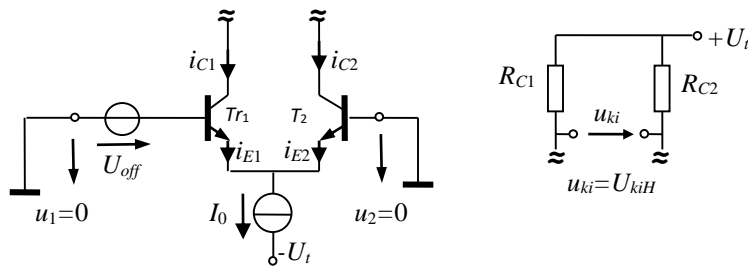
Az offset feszültség hőmérséklet függése (drift):

PLd.: $U_{off} = U_H = U_T \ln\left(1 + \frac{\Delta F}{F}\right)$ ahol: $U_T = \frac{kT}{q}$

$$D = \frac{\partial U_{off}}{\partial T} = \frac{k}{q} \ln\left(1 + \frac{\Delta F}{F}\right) = \frac{1}{T} \frac{kT}{q} \ln\left(1 + \frac{\Delta F}{F}\right) = \frac{U_{off}}{T}$$

Pld.: $D = \frac{1.3mV}{300K^0} = 4.3 \frac{\mu V}{K^0}$

(Az ofset feszültséget áramköri megoldással ki lehet egyenlíteni, de a hőmérséklet változás hatására a drift miatt ez a kiegyenlítés nem maradhat meg.)

A bemenetre redukált offset feszültség mérése

Leföldeljük a bemenetet, mérjük a nem ideális erősítő kimenetén létrejövő hibafeszültséget. Ezt elosztva a differenciális erősítéssel kapjuk a bemenetre redukált offset feszültséget.

Paraméterek:

Differenciális módusú erősítés: A_d

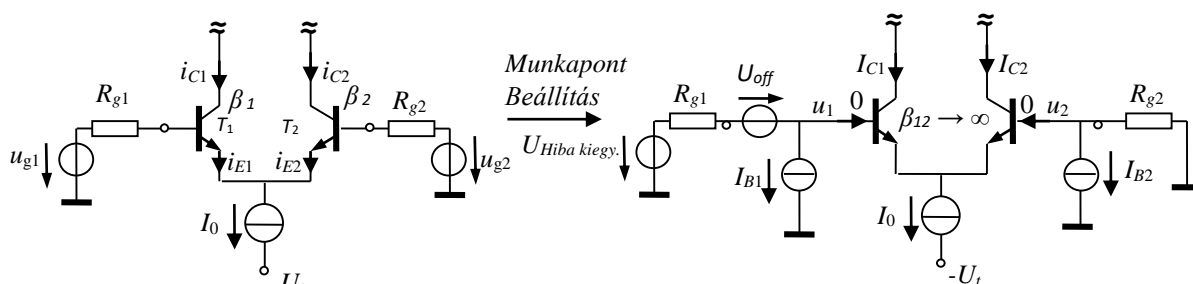
Közös módusú erősítés: A_k

Közös módusú elnyomás: KME CMRR

A bemenetre redukált offset fesz. mérése: $u_2 = u_1 = 0$. Mérjük: $u_{ki} = U_{kiH} - t \rightarrow$

$$U_{off} = \frac{U_{kiH}}{A_d}$$

Differenciál erősítő véges generátor ellenállásokkal



- A bázis áramok kiemelve az I_{B1} , I_{B2} áramgenerátorokkal, (β_1 , β_2 különböző)
- A bemeneti váltó feszültségek (u_{g1} , u_{g2}) nullák,
- Az U_{off} a tranzisztorok különböző $i_E(u_{BE})$ függvénye miatt van jelen
- Az U_{Hiba} kiegy. generátor hozza létre az egyforma I_{C1} , I_{C2} áramokat.

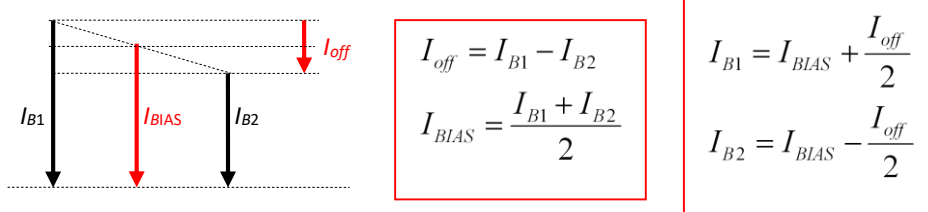
$$u_1 = U_H - U_{off} - R_{g1} I_{B1} \quad u_2 = -R_{g2} I_{B2} \quad u_1 - u_2 = 0 \quad (\text{ez már ideális})$$

Ezekből:

$$U_H - U_{off} - R_{g1} I_{B1} + R_{g2} I_{B2} = 0$$

$$U_H = U_{off} + R_{g1} I_{B1} - R_{g2} I_{B2}$$

Vezessük be az offset és a BIAS áramok fogalmát:



$$U_H = U_{off} + R_{g1} \left(I_{BIAS} + \frac{I_{off}}{2} \right) - R_{g2} \left(I_{BIAS} - \frac{I_{off}}{2} \right)$$

$$U_H = U_{off} + I_{BIAS} (R_{g1} - R_{g2}) + \frac{I_{off}}{2} (R_{g1} + R_{g2})$$

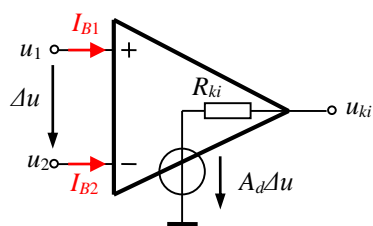
$$U_H = U_{off} + I_{BIAS} \Delta R_g + I_{off} R_g \quad \Delta R_g = R_{g1} - R_{g2}, \quad R_g = \frac{R_{g1} + R_{g2}}{2}$$

$$\text{Ha } R_{g1} = R_{g2} = R_g, \text{ akkor: } U_H = U_{off} + I_{off} R_g$$

Tipikus értékek:

Drift: $25\ C^0 \rightarrow 125\ C^0$

Ideális műveleti erősítő:

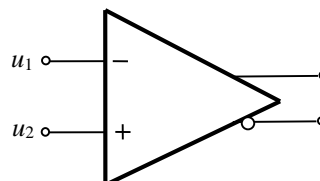


- $I_{B1} = I_{B2} = 0$ $R_{be} = \infty$
- $\Delta u = 0$ ha u_{ki} véges
- $A_d = \infty$
- $A_k = 0$
- $R_{ki} = 0$

Differenciális bemenetű, aszimmetrikus kimenetű

Differenciális bemenetű, ÉS differenciális kimenetű is létezik:

Fully differential amplifier



Hogyan lehet ezeket a paramétereket megközelíteni valódi kapcsolással?

Egy egyszerű műveleti erősítő belső felépítése

A műveleti erősítők integrált áramkörök formájában érhetők el. Ezek belső felépítése az alábbi egyszerű erősítőhöz hasonló.

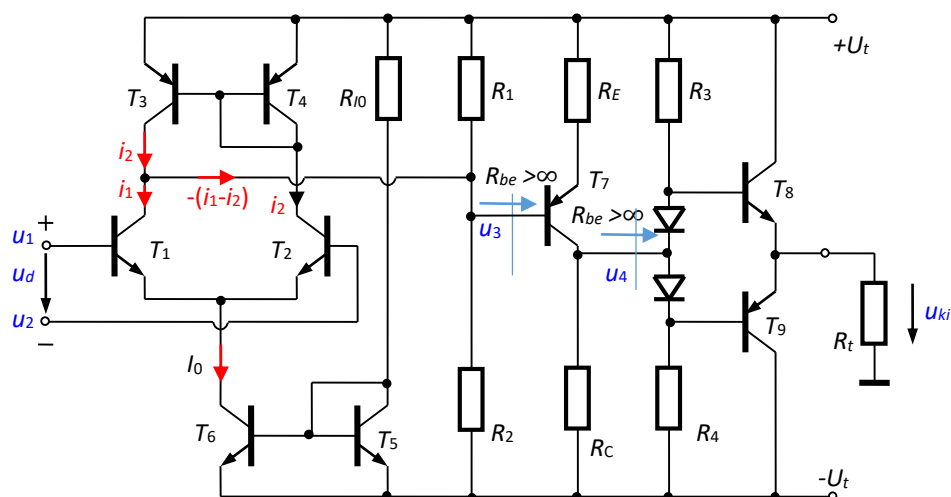
Bemeneti fokozat: diff. erősítő, középső: szintáttevő (FE, az u_4 értéke kivezérlés nélkül 0 – R_C -n a tápfeszültség fele esik), végfok: komplementer, ellenütemű

$$i_1 = \alpha \frac{u_D}{r_{dT1}}; i_2 = \alpha \frac{u_D}{r_{dT2}}; r_{d1} = r_{d2} = r_{dT_{12}}; i_1 - i_2 = \frac{u_D}{r_{dT_{12}}}$$

$$u_3 = -(i_1 - i_2)R_1 \times R_2 = -\alpha \frac{u_D}{r_{dT_{12}}} R_1 \times R_2$$

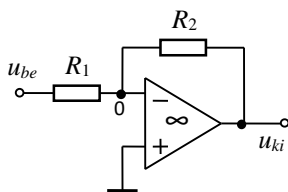
$$u_{ki} = u_4 = u_3 \left(-\alpha \frac{R_C}{R_E + r_d} \right) = -\alpha \frac{u_D}{r_{dT_{12}}} R_1 \times R_2 \left(-\alpha \frac{R_C}{R_E + r_{dT_7}} \right)$$

$$\frac{u_{ki}}{u_D} = \alpha \frac{R_1 \times R_2}{r_{dT_{12}}} \alpha \frac{R_C}{R_E + r_{dT_7}}$$



ME alapkapsolások ideális műveleti erősítővel:

1.) Invertáló

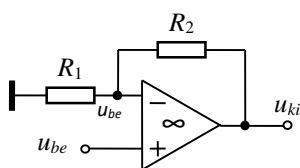


$$A_{id} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

$$i = \frac{u_{be} - 0}{R_1} = \frac{0 - u_{ki}}{R_2}$$

0: virtuális föld

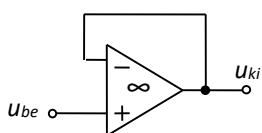
2.) Nem invertáló



$$A_{id} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$i = \frac{u_{be} - 0}{R_1} = \frac{u_{ki} - u_{bei}}{R_2}$$

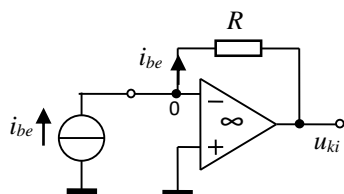
3.) Nem invertáló speciális esete: követő



$$A_{id} = \frac{u_{ki}}{u_{be}} = 1$$

$$R_1 = \infty \quad R_2 = 0$$

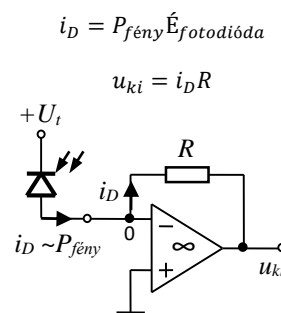
4.) Áram-fesz. konverter



$$u_{ki} = -R i_{be}$$

Alkalmazás: optikai kommunikációs vevő fotodiódával

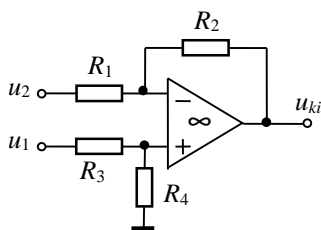
Az üveg fényvezető kábelben érkező fény teljesítményével arányos záró irányú áramot (A/W a dióda érzékenysége) alakítja feszültséggé



$$i_D = P_{\text{fény}} \dot{E}_{\text{fotodióda}}$$

$$u_{ki} = i_D R$$

5.) Kivonó

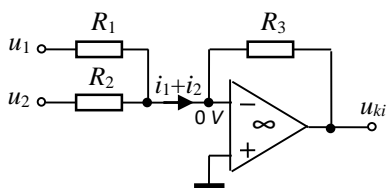


$$u_{ki} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3 + R_4} u_1 - \frac{R_2}{R_1} u_2$$

$$R_1 = R_2 \quad R_3 = R_4$$

$$u_{ki} = u_1 - u_2$$

6.) Összeadó



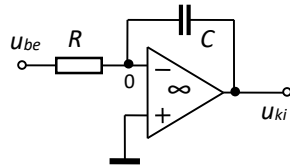
$$u_{ki} = -\left(\frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2}\right) R_3$$

$$R_1 = R_2 = R_3$$

$$u_{ki} = -(u_1 + u_2)$$

7.) Integráló

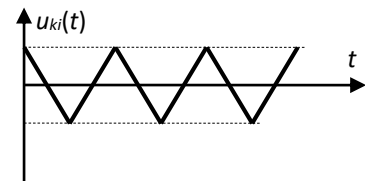
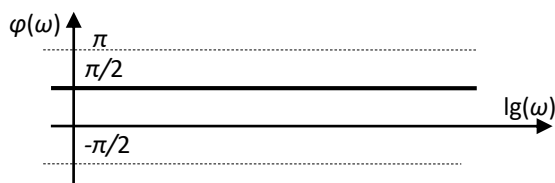
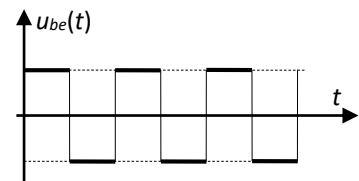
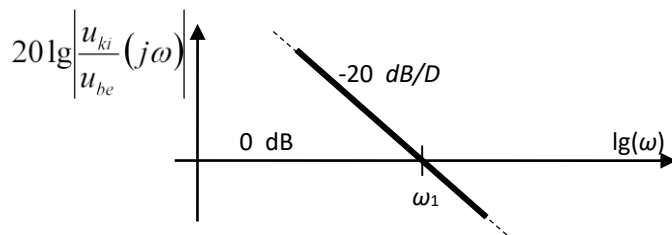
$$u_{ki} = -\frac{u_{be}}{R} \frac{1}{sC} = -\frac{1}{sRC} u_{be}$$



$$\frac{u_{ki}}{u_{be}} = -\frac{1}{sRC} = -\frac{1}{s/\omega_1} \quad \omega_1 = \frac{1}{RC}$$

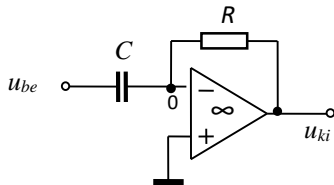
$$u_{ki}(t) = -u_C = -\frac{Q(t)}{C} = -\frac{1}{C} \int_0^t i_{be}(\tau) d\tau + u_{ki}(0)$$

$$u_{ki}(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_{be}(\tau) d\tau + u_{ki}(0)$$



8.) Differenciáló

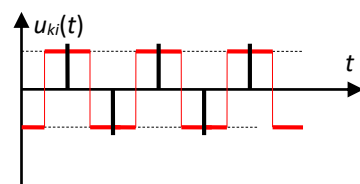
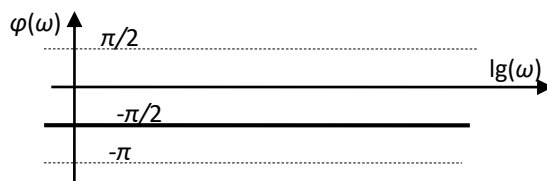
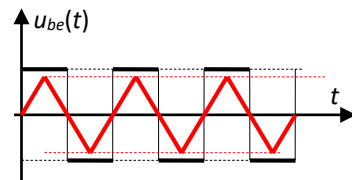
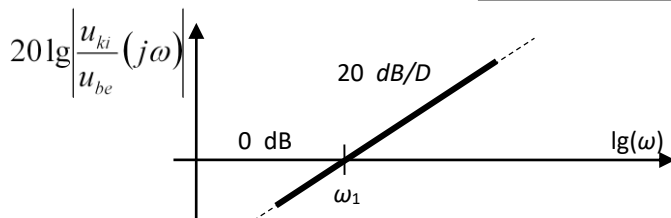
$$u_{ki} = -Ri = -R \frac{u_{be}}{1/sC} = -sRC u_{be}$$

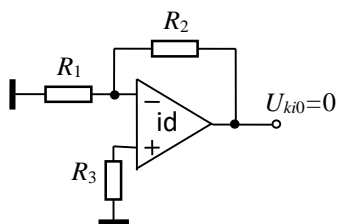
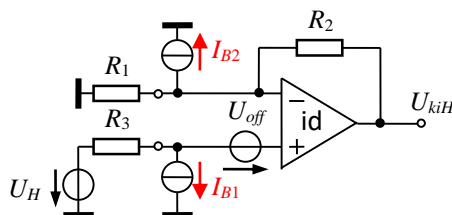


$$\frac{u_{ki}}{u_{be}}(s) = -sRC = -s/\omega_1 \quad \omega_1 = \frac{1}{RC}$$

$$Q = Cu_{be}$$

$$u_{ki}(t) = -iR = -R \frac{dQ}{dt} = -RC \frac{du_{be}}{dt}$$



ME munkapont beállítása:*Ideális ME**Valóságos ME*

$$U_{kiH} = U_H \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - U_{off} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - I_{B1} R_3 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{B2} R_2$$

$$U_{kiH} = U_H \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - U_{off} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - \left(I_{BIAS} + \frac{I_{off}}{2} \right) R_3 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + \left(I_{BIAS} - \frac{I_{off}}{2} \right) R_2$$

$$U_{kiH} = U_H \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) - U_{off} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + I_{BIAS} \left[R_2 - R_3 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right] - \frac{I_{off}}{2} \left[R_2 + R_3 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \right]$$

$$\text{Ha: } R_2 = R_3 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \rightarrow R_2 = R_3 \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right) \rightarrow R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_1 \times R_2$$

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

A maradék U_{kiH} is megszüntethető U_H „hangolásával”, pl. egy invertáló erősítőben:

