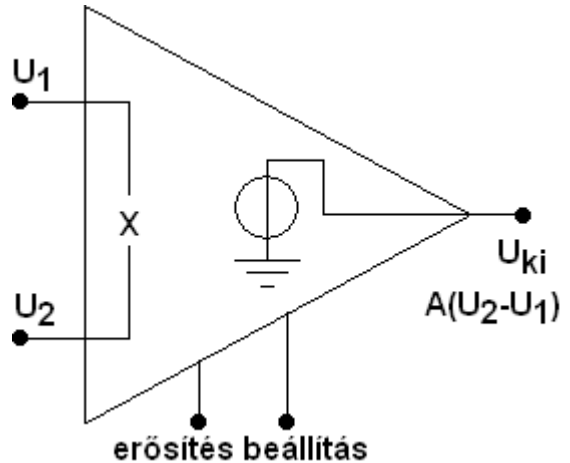


MÉRŐERŐSÍTŐK EREDŐ FESZÜLTÉSÉGERŐSÍTÉSE

A mérőerősítők nagy bemeneti impedanciájú, szimmetrikus bemenetű, változtatható erősítésű egységek, melyek szimmetrikus, kisértékű (általában egyen-) feszültségek erősítésére alkalmasak úgy, hogy a szimmetrikus jelet erősítve, a közös módusú jelet nagy mértékben elnyomják. Fő alkalmazási területük a különbségi feszültségmérés pl. érzékelőkben, híderősítőkben, mikrofonerősítőkben, mindezt alacsony ofszet, alacsony ofszetdrift, valamint kis zaj mellett.

Az ideális mérőerősítő főbb tulajdonságai:

Bemeneti ellenállás: $R_{bes} = \infty$
 Közös módusú elnyomási tényező: $E_k = \infty$
 Kimeneti ellenállás: $R_{ki} = 0$

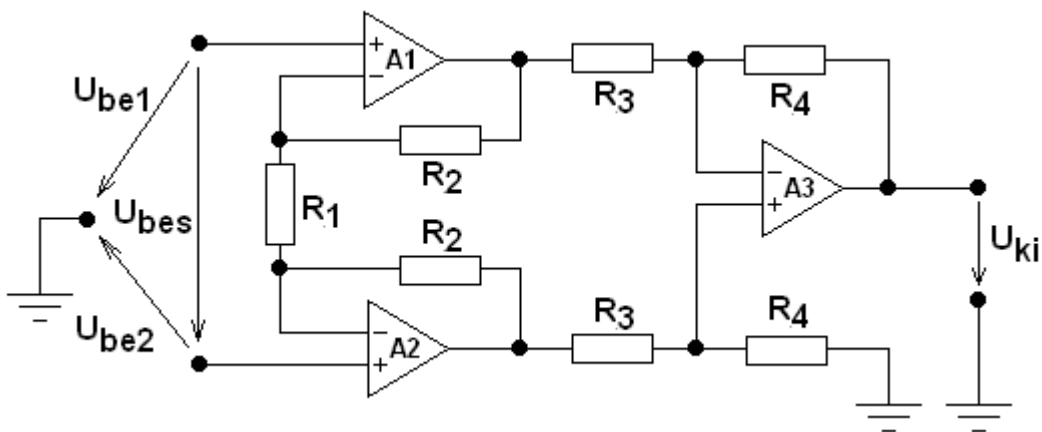


1. ábra

A valóságos mérőerősítő

A bemeneti ellenállás (a bemeneti félvezetőktől függő) nagy értéket képvisel. A valóságos mérőerősítő kapcsolási rajzából látható, hogy két láncba kapcsolt fokozatból áll, melyek a következők:

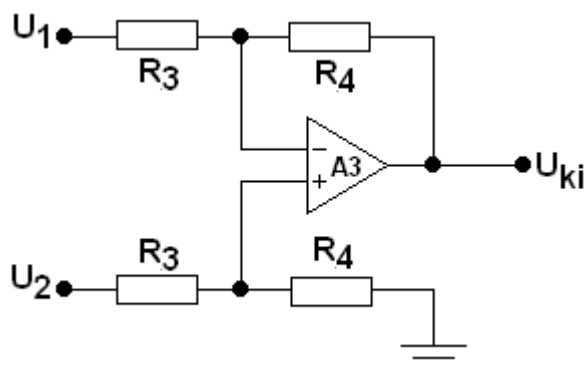
- Szimmetrikus, nagy bemeneti ellenállású, szimmetrikus kimenetű erősítőfokozat;
- Különbségképző fokozat (differenciaerősítő).



2. ábra A mérőerősítő kapcsolási rajza

A különbségképző fokozat (differenciaerősítő)

A teljes áramkör szimmetrikus jelre vonatkoztatott erősítésének megértéséhez először vegyük szemügyre a különbségképzőt.



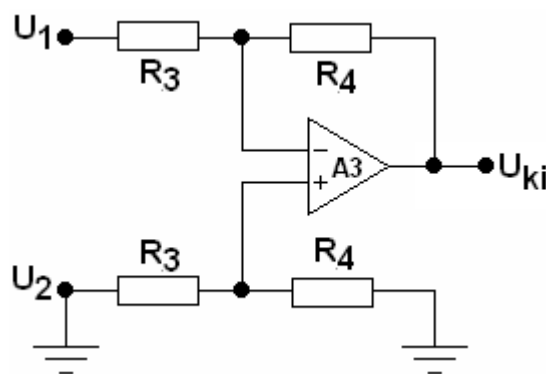
3. ábra A különbségképző (differenciaerősítő) kapcsolási rajza

Végezzük el az erősítés számítását a két bemenet külön-külön vezérlése esetén!

- a) Erősítés és a kimeneti feszültség az invertáló bemenetre (U_1) adott jel esetén, miközben a neminvertáló bemeneti jel nulla ($U_2 = 0$)

$$A_{U1} = -\frac{R_4}{R_3} \quad \left| \begin{array}{l} \\ \text{ha } U_2=0 \end{array} \right.$$

$$U_{ki1} = -U_1 \cdot \frac{R_4}{R_3} \quad \left| \begin{array}{l} \\ \text{ha } U_2=0 \end{array} \right.$$



4. ábra

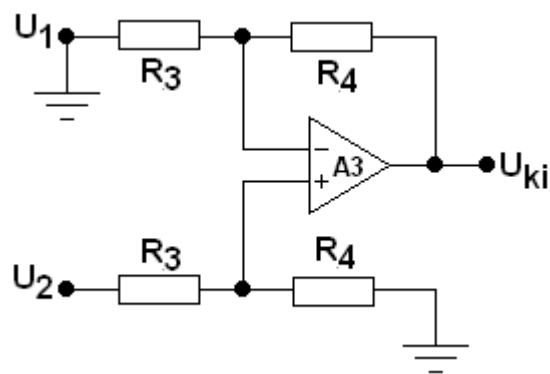
- b) Erősítés és a kimeneti feszültség a neminvertáló bemenet (U_2) adott jel esetén, miközben a neminvertáló bemeneti jel nulla ($U_1 = 0$)

$$A_{U2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \left(\frac{R_4}{R_3} + 1 \right) =$$

$$= \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \left(\frac{R_4 + R_3}{R_3} \right) = \quad \left| \begin{array}{l} \\ \text{ha } U_1=0 \end{array} \right.$$

$$= \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \left(\frac{R_4 + R_4}{R_3} \right) = \frac{R_4}{R_3}$$

$$U_{ki2} = U_2 \cdot \frac{R_4}{R_3} \quad \left| \begin{array}{l} \\ \text{ha } U_1=0 \end{array} \right.$$



5. ábra

A fokozat eredő kimeneti feszültsége (U_1 és U_2 ismeretében) az a) és b) pontban mért kimeneti feszültségek szuperpozíciójából adódik:

$$U_{ki1} = U_{ki1} + U_{ki2} = -U_1 \cdot \frac{R_4}{R_3} + -U_2 \cdot \frac{R_4}{R_3} = (U_2 - U_1) \cdot \frac{R_4}{R_3}$$

Eme eredményből látszik, hogy a differenciaerősítő:

- csak a szimmetrikus bemeneti jel ($U_2 - U_1$) különbségét erősíti;
- bemeneti különbségi jel erősítésének mértékét R_3 és R_4 ellenállások határozzák meg:

$$\left(\frac{R_4}{R_3} \right);$$

- a közös módusú jelet elnyomja (nem erősíti): ($U_2 = U_1$) esetén:

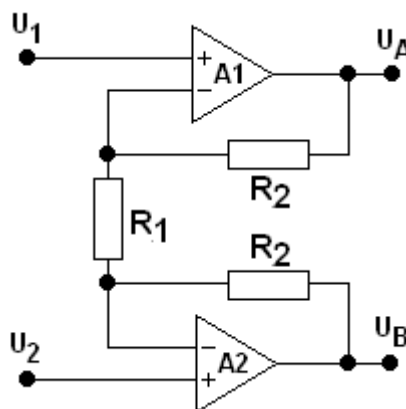
$$U_{ki} = (U_2 - U_1) \cdot \frac{R_4}{R_3} = 0V \cdot \frac{R_4}{R_3} = 0V;$$

- $R_3 = R_4$ esetén a kimeneti feszültség pontosan a szimmetrikus bemenetre kapcsolt jel

$$\text{különbsége: } U_{ki} = (U_2 - U_1) \cdot \frac{R_4}{R_3} = (U_2 - U_1) \cdot \frac{R}{R} = (U_2 - U_1).$$

Fontos megjegyezni, hogy ezek az eredmények ideális differenciaerősítő esetén érvényesek. A valóságos erősítőparamétereket az ofszetfeszültség, az ofszet driftje és a zajok, valamint az R_3 és R_4 ellenállások pontossága határozzák meg.

A szimmetrikus bemenetű, szimmetrikus kimenetű erősítőfokozat



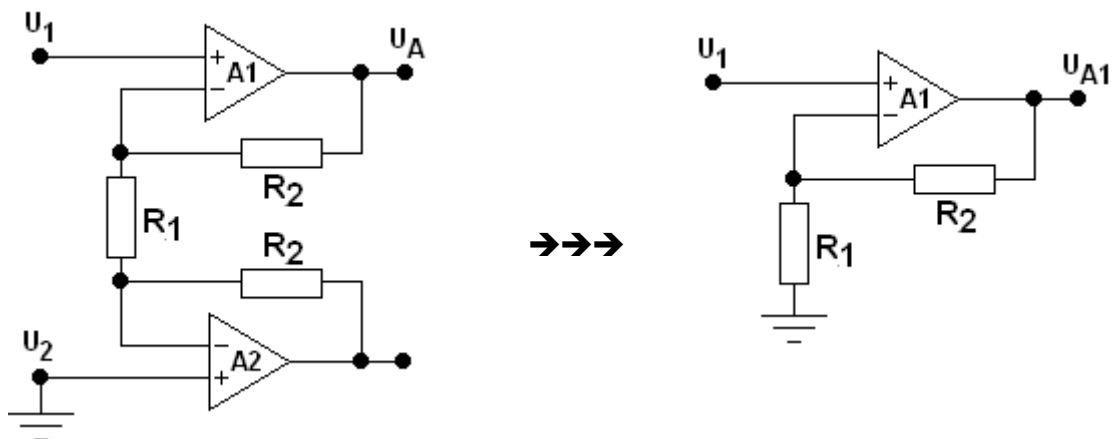
6. ábra A szimmetrikus erősítő kapcsolási rajza

Végezzük el az erősítésvizsgálatot!

1) Az U_A kimenet vizsgálata

$$a) \quad U_{A1} = U_1 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) = U_1 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_1}{R_1} \right) = U_1 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad \left| \begin{array}{l} \\ ha U_2 = 0 \end{array} \right.$$

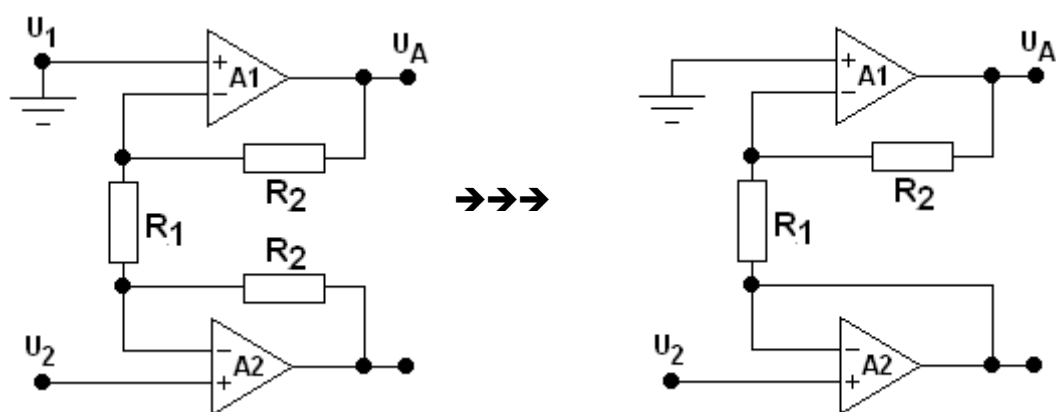
$U_2 = 0V$ esetén az A_2 műveleti erősítő invertáló bemenete $0V$ feszültségű, ezért ekkor az A_1 egy neminvertáló erősítő.



7. ábra

$$b) \quad U_{A2} = -U_2 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad \left| \begin{array}{l} \\ ha U_1 = 0 \end{array} \right.$$

$U_1 = 0V$ esetén az A_2 műveleti erősítő egy követő erősítőként funkcionál, ezért ekkor az A_1 egy invertáló erősítőként üzemel.



8. ábra

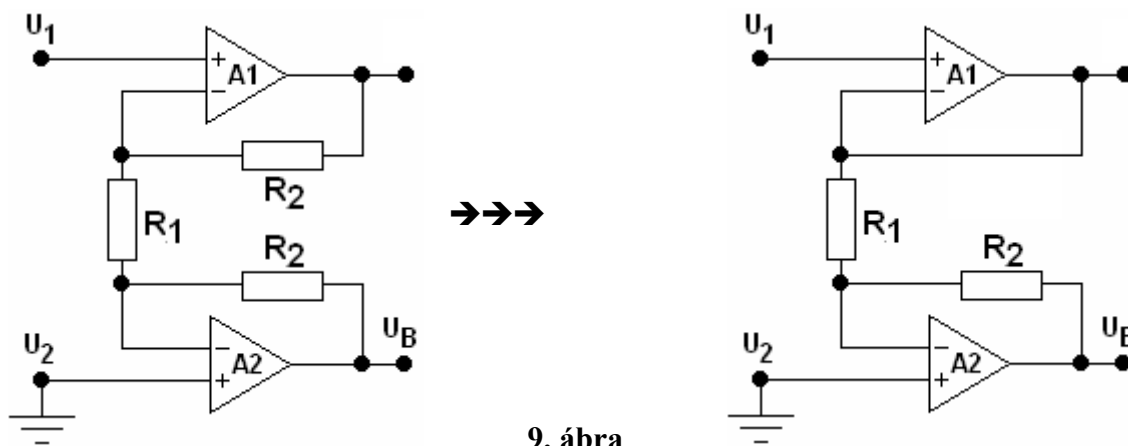
U_A értéke a két esetben adódott kimeneti feszültségek szuperpozíciójából adódik:

$$U_A = U_{A1} + U_{A2} = U_1 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_2 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

2) Az U_B kimenet vizsgálata

$$a) U_{B1} = -U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad \left| \begin{array}{l} \\ ha U_2 = 0 \end{array} \right.$$

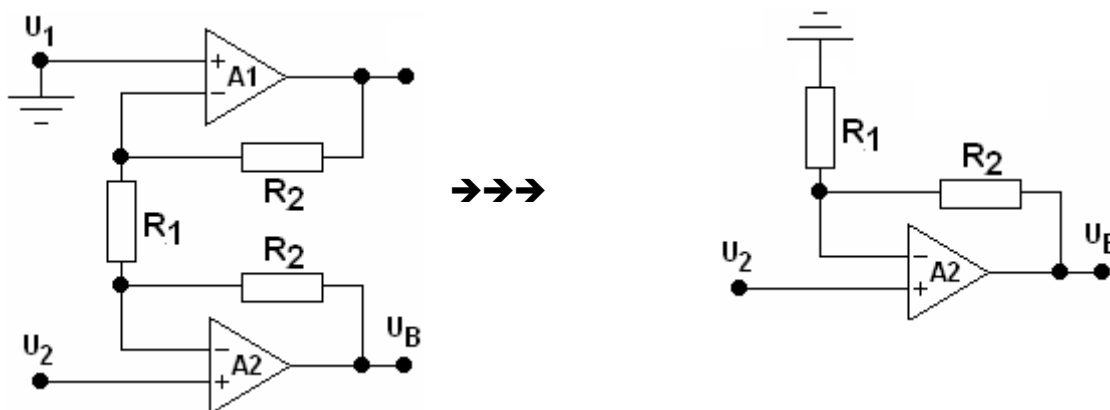
$U_2 = 0V$ esetén az A_1 műveleti erősítő egy követő erősítőként funkcionál, ezért ekkor az A_2 egy invertáló erősítőként üzemel.



9. ábra

$$b) U_{B2} = U_2 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) = U_2 \cdot \left(\frac{R_2}{R_1} + \frac{R_1}{R_1} \right) = U_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad \left| \begin{array}{l} \\ ha U_1 = 0 \end{array} \right.$$

$U_1 = 0V$ esetén az A_1 műveleti erősítő invertáló bemenete $0V$ feszültségű, ezért ekkor az A_2 egy neminvertáló erősítő.



10. ábra

U_B értéke a két esetben adódott kimeneti feszültségek szuperpozíciójából adódik:

$$U_B = U_{B1} + U_{B2} = -U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} + U_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} = U_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

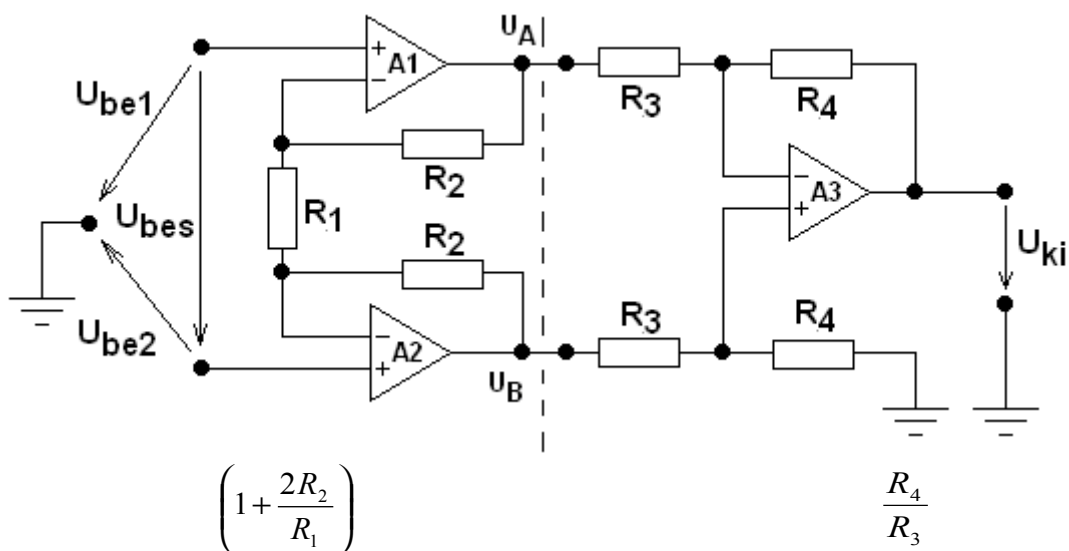
A kimeneti szimmetrikus feszültség a két feszültség különbsége:

$$\begin{aligned}
 U_{ki} &= U_B - U_A = \left(U_2 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} \right) - \left(U_1 \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_2 \cdot \frac{R_2}{R_1} \right) = \\
 &= (U_2 - U_1) \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} + (U_2 - U_1) \cdot \frac{R_2}{R_1} = (U_2 - U_1) \cdot \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_1} \right) = \\
 &= (U_2 - U_1) \cdot \left(\frac{R_1 + 2R_2}{R_1} \right) = (U_2 - U_1) \cdot \left(\frac{R_1}{R_1} + \frac{2R_2}{R_1} \right) = (U_2 - U_1) \cdot \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right)
 \end{aligned}$$

Belátható, hogy a szimmetrikus erősítő (ideális esetben):

- a különbségi jelet erősíti;
- az erősítés mértéke a szimmetrikus jelre vonatkoztatva: $1 + \frac{2R_2}{R_1}$;
- a közös módusú jelre vonatkoztatott feszültségáttetele mindig 1.

Kapcsoljuk a szimmetrikus erősítőfokozatot kimenetéhez a differenciaerősítőt, majd írjuk a kapcsolási rajzba az erősítésértékeket! Határozzuk meg a teljes mérőerősítő erősítését!



11. ábra

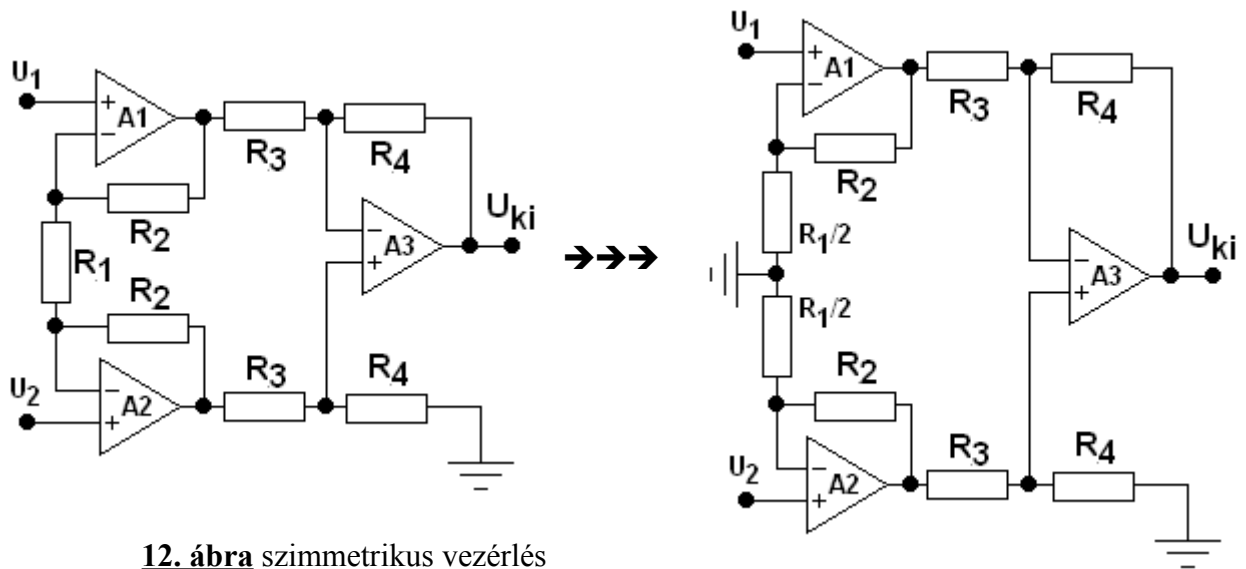
A láncba kapcsolt fokozatok erősítése (a különbségi jelre vonatkoztatva):

$$A_{usN} = \sum A_U = (A_{szimm.er.} \cdot A_{diff.er.}) = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1} \right) \cdot \frac{R_4}{R_3}$$

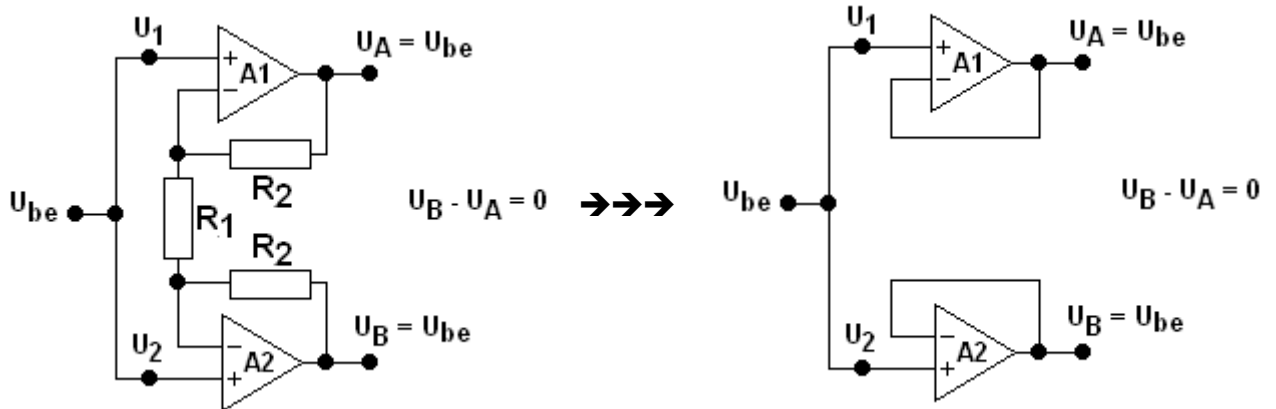
Ebből következik, hogy a kimeneti feszültség:
$$U_{ki} = (U_2 - U_1) \cdot \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_4}{R_3}$$

A mérőerősítő működésbeli előnye abból fakad, hogy különválasztott a szimmetrikus feszültségerősítés és a különbségképzés funkciója. Látható az is, hogy az első fokozat közös módusú feszültségátvétele mindig 1-szeres, miközben a szimmetrikus feszültség erősítése rendkívül nagyra is beállítható.

$$A_{usN} = \left(\frac{R_2}{R_2/2} + 1\right) \cdot \frac{R_4}{R_3} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_4}{R_3}$$



12. ábra szimmetrikus vezérlés

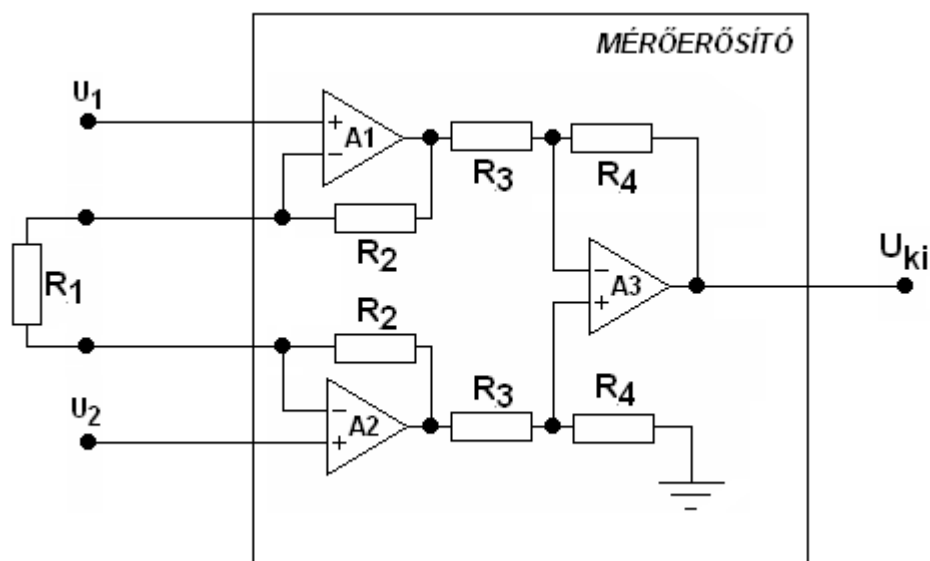


13. ábra közös módusú vezérlés

Mindezek tükrében látható, hogy a mérőerősítő:

- a bemeneti szimmetrikus feszültséget erősíti;
- a közös módusú jelet elnyomja;
- az eredő szimmetrikus feszültségerősítés egyetlen elem (R_1) változtatásával kézben tartható, hogy az R_1 értéke és az erősítés értéke között nem lineáris a kapcsolat, hanem hiperbolikus.

Példa: legyen $R_2 = 10k\Omega$, $R_3 = 10k\Omega$ és $R_4 = 10k\Omega$.



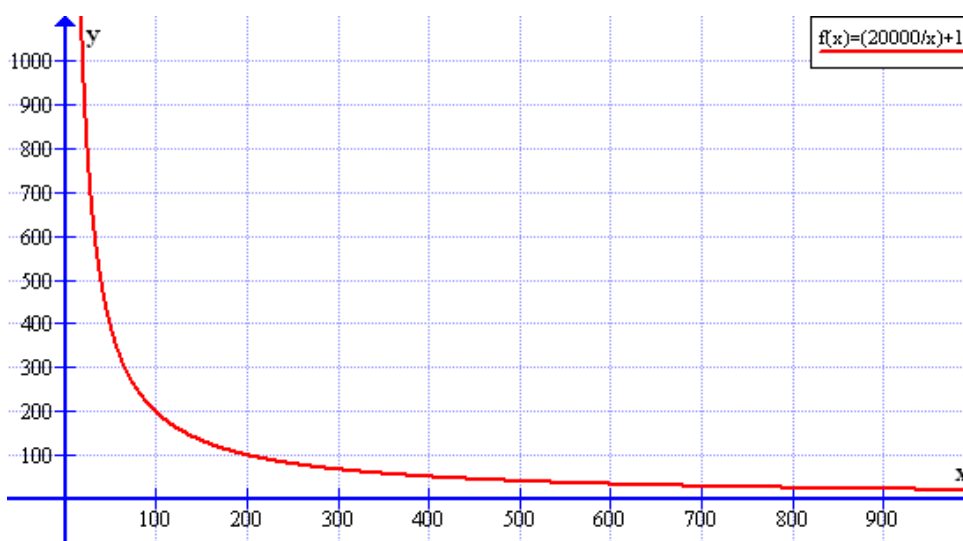
14. ábra

A mérőerősítő erősítése egyetlen elem értékének parabolikus függvénye, vagyis az erősítést R_1 változtatásával tarthatjuk kézben. Számítsuk ki szimmetrikus feszültségerősítést!

$$A_{usN} = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \cdot \frac{R_4}{R_3} = \left(1 + \frac{2 \cdot 10k\Omega}{R_1}\right) \cdot \frac{10k\Omega}{10k\Omega} = \frac{20000\Omega}{R_1} + 1 = \frac{20000\Omega}{R_1} + \frac{R_1}{R_1} = \frac{R_1 + 20000\Omega}{R_1}$$

Vegyük fel a feszültségerősítés - R_1 karakterisztikát, vagyis vizsgáljuk meg a feszültségerősítést R_1 függvényében!

$$A_{usN} = \frac{20000\Omega}{R_1} + 1 \quad \Rightarrow \Rightarrow \quad y = \frac{20000}{x} + 1$$



15. ábra

Ajánlott irodalom: [INA217 mikrofonerősítő](#); [Getting the most out of your IA design](#)