

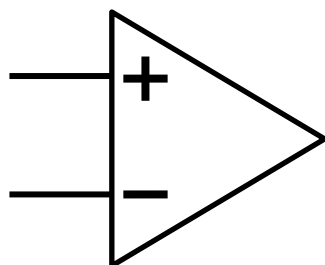


Elektronika alapjai

7. Gyakorlat – Műveleti erősítő

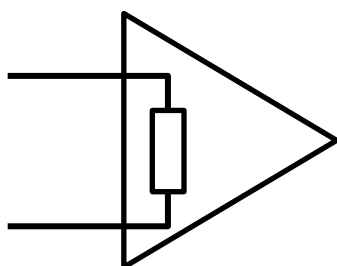
Összeállította:

Ress Sándor, Jani Lázár, Krammer Olivér, Straubinger Dániel



Ideális műveleti erősítő tulajdonságai

- Nyílt hurok erősítés végtelen
- Bemenő ellenállás végtelen



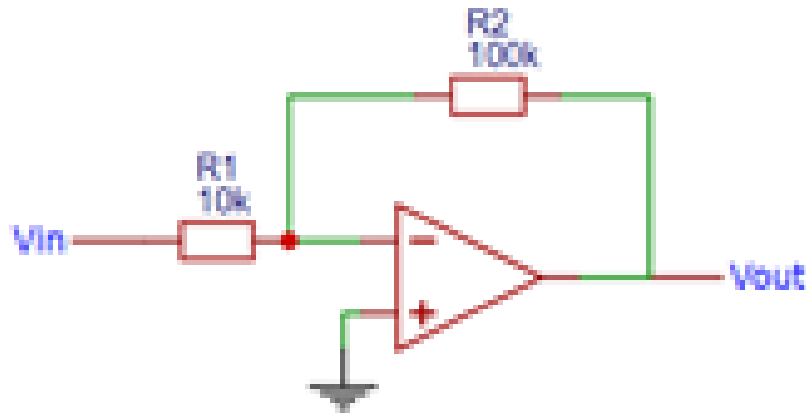
Valós műveleti erősítő tulajdonságai

- Erősítés 10^5 - 10^6
- Bemenő ellenállás $\sim 2\text{M}\Omega$

Ideális műveleti erősítőt feltételezve:

- a hálózat lineáris,
- szuperpozíció tétele használható.

1. Feladat - Határozza meg az ábrán látható invertáló alapkapcsolás feszültségerősítését!



Feltételezhetjük, hogy a műveleti erősítő **ideális**:

- Nyílt hurok erősítés végtelen
- Bemenő ellenállás végtelen

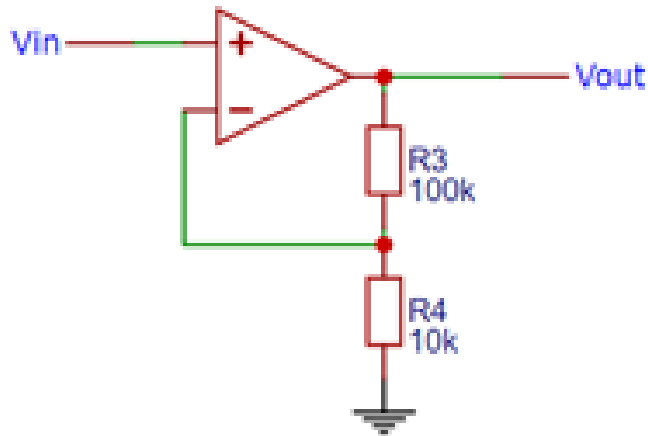
A kapcsolási rajz tanulmányozása alapján az alábbi következtetésekre juthatunk:

- A műveleti erősítő nem invertáló bemenete 0V-on (föld potenciálon) van.
- Mivel a műveleti erősítő ideális, ezért a két bemenet ugyanazon a potenciálon van (virtuális föld)

Kirchoff törvény írható fel az invertáló bemenetre:

$$0 = \frac{V_{OUT}}{R_2} + \frac{V_{IN}}{R_1} \rightarrow A = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

2. Feladat - Határozza meg az ábrán látható neminvertáló alapkapcsolás feszültségerősítését!



Feltételezhetjük, hogy a műveleti erősítő **ideális**:

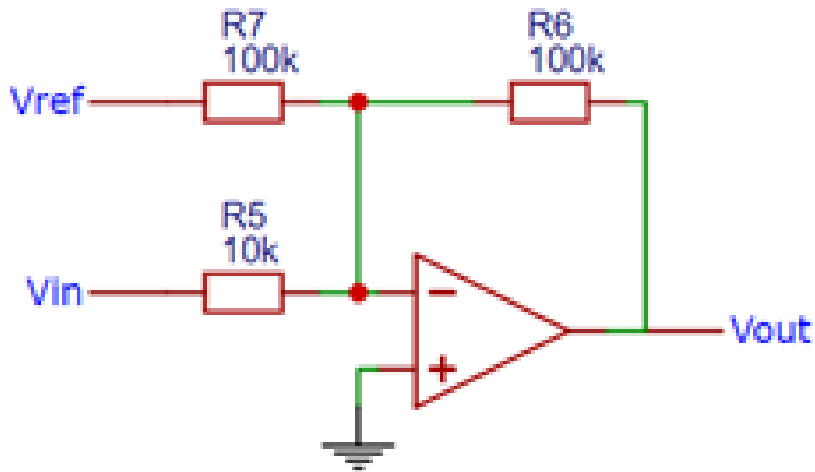
- Nyílt hurok erősítés végtelen
- Bemenő ellenállás végtelen

Az invertáló bemenet potenciálja megegyezik a neminvertálóéval:

- V_{IN} feszültség meghatározható a kimeneten lévő feszültségosztóval

$$\frac{V_{IN}}{R_4} = \frac{V_{OUT}}{R_3 + R_4} \rightarrow A = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_3 + R_4}{R_4} = 1 + \frac{R_3}{R_4}$$

3. Feladat - Határozza meg az alábbi összegző invertáló kapcsolásban a kimenet feszültségét!



Feltételezhetjük, hogy a műveleti erősítő **ideális**:

- Nyílt hurok erősítés végtelen
- Bemenő ellenállás végtelen

A **hálózat lineáris**, így alkalmazható a szuperpozíció tétele.

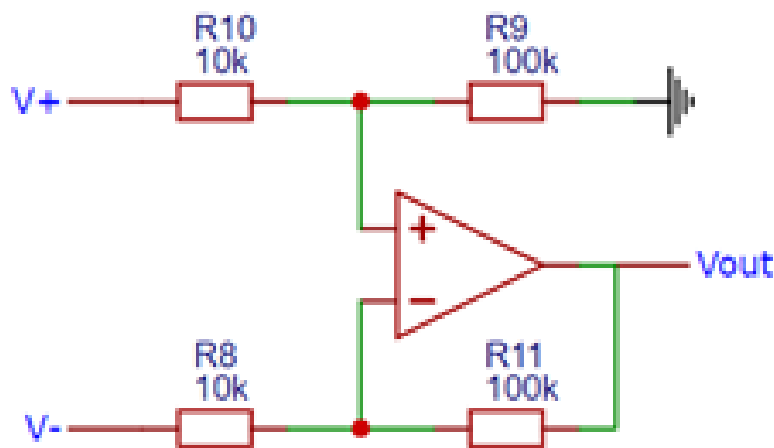
A két bemenet egy-egy invertáló kapcsolást valósít meg:

$$V'_{OUT} = -\frac{R_6}{R_7} V_{REF}$$

$$V''_{OUT} = -\frac{R_6}{R_5} V_{IN}$$

$$V_{OUT} = V'_{OUT} + V''_{OUT} = -\frac{R_6}{R_7} V_{REF} - \frac{R_6}{R_5} V_{IN} = -(10V_{IN} + V_{REF})$$

4. Feladat - Határozza meg az alábbi különbségképző kapcsolásban a kimenet feszültségét!



Feltételezhetjük, hogy a műveleti erősítő **ideális**:

- Nyílt hurok erősítés végtelen
- Bemenő ellenállás végtelen

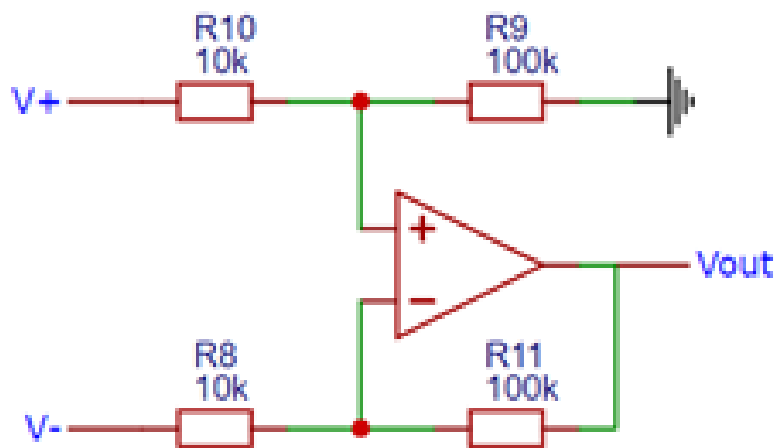
A **hálózat lineáris**, így alkalmazható a szuperpozíció tétele.

Alkalmazzuk a szuperpozíció tételét:

- A V+ bemenetre nézve a kapcsolás egy neminvertáló alapkapsolás.
 - V- ilyenkor 0V, R8 ellenállás a földre kapcsolódik.
 - A neminvertáló bemeneten V+ bemenet leosztott értéke lesz.

$$V'_{OUT} = \left(1 + \frac{R_{11}}{R_8} \right) \frac{R_9}{R_9 + R_{10}} V_+$$

4. Feladat - Határozza meg az alábbi különbségképző kapcsolásban a kimenet feszültségét!



Feltételezhetjük, hogy a műveleti erősítő **ideális**:

- Nyílt hurok erősítés végtelen
- Bemenő ellenállás végtelen

A **hálózat lineáris**, így alkalmazható a szuperpozíció tétele.

Alkalmazzuk a szuperpozíció tételét:

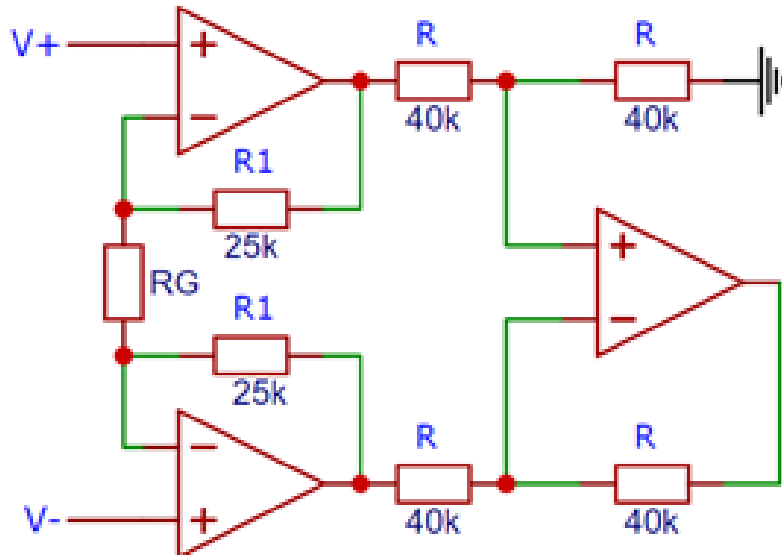
- A V- bemenetre nézve a kapcsolás egy invertáló alkapcsolás.
 - V+ ilyenkor 0V, azaz a neminvertáló bemenet is a földre kerül.

$$V_{OUT}'' = -\frac{R_{11}}{R_8} V_-$$

Összegezve:

$$V_{OUT} = V_{OUT}' + V_{OUT}'' = \left(1 + \frac{R_{11}}{R_8}\right) \frac{R_9}{R_9 + R_{10}} V_+ - \frac{R_{11}}{R_8} V_- = 10(V_+ - V_-)$$

5. Feladat - Hogyan függ az ábrán látható mérőerősítő erősítése a kívülről csatlakoztatott R_G ellenállástól?



Feltételezhetjük, hogy a műveleti erősítő **ideális**:

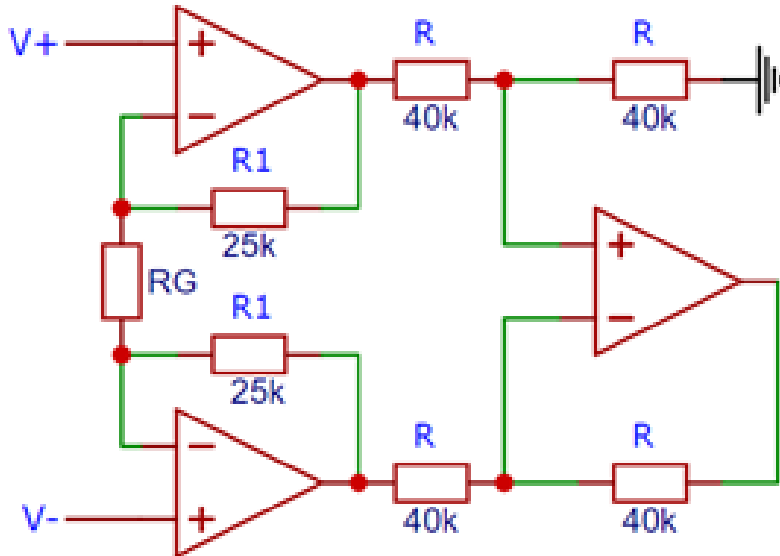
- Nyílt hurok erősítés végtelen
- Bemenő ellenállás végtelen

A **hálózat lineáris**, így alkalmazható a szuperpozíció tétele.

Vizsgáljuk meg a kapcsolást!

- A 3. műveleti erősítőt körülvevő ellenállások mind $40k$ értékűek, így ez egy egyszeres erősítésű különbségképző kapcsolás.
- A feladat megoldásához az 1. és a 2. műveleti erősítő **kimeneti feszültségének különbségét** kell meghatározni.

5. Feladat - Hogyan függ az ábrán látható mérőerősítő erősítése a kívülről csatlakoztatott R_G ellenállástól?



Feltételezhetjük, hogy a műveleti erősítő **ideális**:

- Nyílt hurok erősítés végtelen
- Bemenő ellenállás végtelen

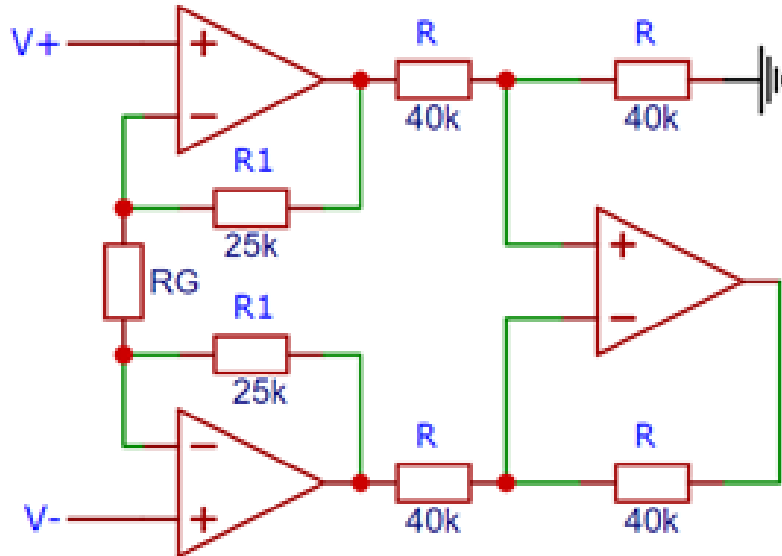
A **hálózat lineáris**, így alkalmazható a szuperpozíció tétele.

Vizsgáljuk meg a kapcsolást!

- Az 1. műveleti erősítő invertáló bemenetén V_+ jelenik meg
- A 2. műveleti erősítő invertáló bemenetén V_- jelenik meg
- Az R_G ellenállás árama ebből számítható:

$$I = \frac{V_+ - V_-}{R_G}$$

5. Feladat - Hogyan függ az ábrán látható mérőerősítő erősítése a kívülről csatlakoztatott R_G ellenállástól?



Feltételezhetjük, hogy a műveleti erősítő **ideális**:

- Nyílt hurok erősítés végtelen
- Bemenő ellenállás végtelen

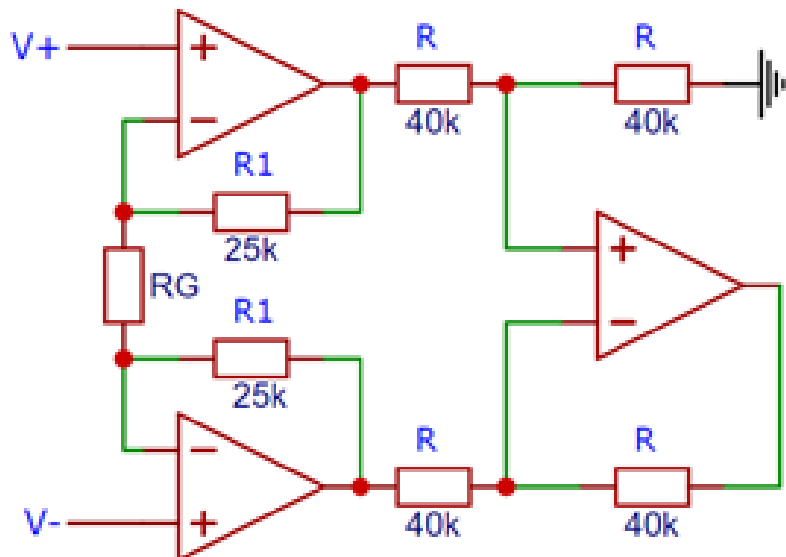
A **hálózat lineáris**, így alkalmazható a szuperpozíció tétele.

Vizsgáljuk meg a kapcsolást!

- A műveleti erősítők ideálisak, a bemenetükön nem folyik áram
- Az R_G ellenállás árama az R_1 -el jelölt ellenállásokon folyik keresztül
- Az 1. és a 2. műveleti erősítő kimenetének különbsége:

$$V_{OUT1} - V_{OUT2} = I(R_G + 2R_1)$$

5. Feladat - Hogyan függ az ábrán látható mérőerősítő erősítése a kívülről csatlakoztatott R_G ellenállástól?



Feltételezhetjük, hogy a műveleti erősítő **ideális**:

- Nyílt hurok erősítés végtelen
- Bemenő ellenállás végtelen

A **hálózat lineáris**, így alkalmazható a szuperpozíció tétele.

Az eredményeket összegezve:

$$V_{OUT} = \frac{V_+ - V_-}{R_G} (R_G + 2R_1) = \left(1 + \frac{2R_1}{R_G}\right) (V_+ - V_-)$$

A differenciális erősítés:

$$A_D = 1 + \frac{50k\Omega}{R_G}$$

6. Feladat - Egy 20ppm pontosságú, 32,768kHz frekvenciájú kristályon alapuló valószerű órát (RTC) tartalmazó rendszer esetén milyen gyakran kell időt szinkronizálni, ha azt szeretnénk, hogy az eltérés 1 másodpercnél kisebb legyen?

Ha egy f_0 frekvenciájú kristály p pontosságú, akkor a frekvenciája:

$$f_0(1 - p) \leq f \leq f_0(1 + p)$$

Határozzuk meg a maximális késést:

$$\Delta T = \frac{1}{f_0(1 - p)} - \frac{1}{f_0} = \frac{p}{f_0(1 - p)}$$

Az időmérés alapja egy számláló, amivel a beérkező impulzusokat számolja. Egy másodperchez ideális esetben pontosan $f_0 \cdot 1s$ darab periódust kell megszámolni. A valóságban a pontatlan frekvencia miatt egy másodpercnél több idő telik el:

$$\Delta t_{1s} = \frac{p}{f_0(1 - p)} f_0 \cdot 1s \approx p \cdot 1s$$

A fenti képletben az egy periódus alatti késést szoroztuk meg a periódusok számával. A közelítő számítás igaz, ha $p \ll 1$.

6. Feladat - Egy 20ppm pontosságú, 32,768kHz frekvenciájú kristályon alapuló valósídejű órát (RTC) tartalmazó rendszer esetén milyen gyakran kell időt szinkronizálni, ha azt szeretnénk, hogy az eltérés 1 másodpercnél kisebb legyen?

A korábbi számítások alapján a 20ppm pontosságú RTC egy másodperc alatt kb. 20 μ s-ot siet vagy késik. Már csak azt kell meghatározni, hogy mennyi idő alatt lesz a 20 μ s-ból 1s:

$$\frac{1s}{20\mu s} = 50000$$

Tehát legrosszabb esetben 50000 másodperc alatt fog az RTC 1 másodpercet késni vagy sietni, azaz $50000/3600=13,9$ óránként, kb. naponta kétszer érdemes szinkronizálni az órát.