

Műveleti erősítők I.

0. Bevezetés - a műveleti erősítők működése

A következő mérésben az univerzális analóg erősítőelem, az un. "műveleti erősítő" működésének alapvető ismereteit sajátíthatjuk el. A nyílthurkú erősítővel (komparátor), a pozitív és negatív visszacsatolások hatásával, (a Schmitt triggerrel és az invertáló ill. nem invertáló erősítőkapcsolásokkal, összeadó áramkörrel) ismerkedünk meg. Az elméleti alapokat az [Elektronika](#) c. egyetemi jegyzet 37-47. oldalain találtukból frissíthetjük fel, illetve innen ([itl7-es link](#))

A műveleti erősítő egy nagy erősítésű **differenciál-erősítő**: ennek megfelelően két bemenete és egy kimenete van. A kimenet feszültsége ideális esetben csak a bemenetekre jutó feszültségek különbségétől függ, ez utóbbi különbséget egy nagyon nagy faktorial (10⁶ nagyságrendben) erősíti, a bemenetek együttes, azonos értékkel való változásakor a kimenet nem változik.

A műveleti erősítő nagyon nagy erősítése miatt könnyen begerjedhet: a kimenet az alkatrészek hozzávezetéseinek szórt kapacitásai miatt mint egy "rádióantenna" visszacsatolhatja a jelet a bemenetre, ami nem kívánt oszcillációt okozhat. Ennek elkerülésére a differenciális erősítést nagy frekvencián egy belső áramköri elemmel lerontják. A levágás módja és értéke típusfüggő, a 741-es integrált változatnál egyetlen kondenzátorral oldják ezt meg, ami miatt a kisfrekvencián ... értéket elérő erősítés ... frekvencia környékén egységnyire csökken.

A műveleti erősítőt a fentiek alapján a következő paraméterekkel jellemezzük:

-- a differenciális erősítés értékét **nyílthurkú erősítésnek** nevezzük. Az elnevezés oka, hogy általában műveleti erősítőt valamilyen visszacsatolással használunk, a visszacsatolás nélküli – nyílthurkú – erősítés a gyakorlatban csak speciális esetekben jelenik meg.

-- a valóságos differenciálerősítő **bemeneti ellenállása** véges, nagy érték, ellentétben az ideális végtelen nagy bemenő ellenállással. Hasonlóan a kimenő ellenállás is véges, kis érték az ideális zérus helyett.

A műveleti erősítőkkel felépített kapcsolások megértésében segíthet néhány "ökörszabály", ami következik az imént megismert tulajdonságokból:

-- ha a nem-invertáló bemenet (**rajzjelen + jellel jelölve**) kicsit is pozitívabb az invertáló bemenetnél (**rajzjelen - jellel jelölve**), a kimenet a pozitív tápfeszültség értékét veszi fel. Fordított esetben, ha a nem-invertáló bemenet negatívabb az invertáló bemenetnél, a kimenet a negatív tápfeszültség értékéig billen. Ennek oka, hogy a nyílthurkú erősítés értéke olyan nagy, hogy technikailag nem fordul elő a kimenetet véges értéken tartó, eléggé kicsi (néhány mikrovolt) feszültségkülönbség a bemenetek között.

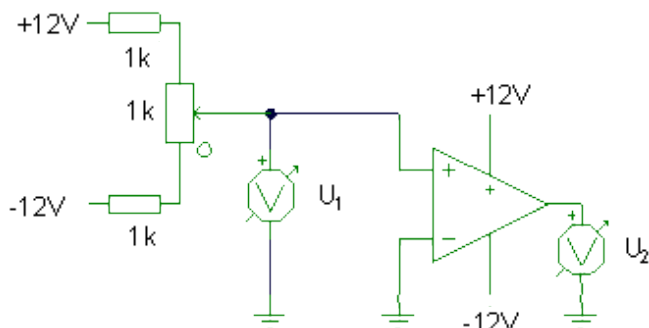
-- negatív visszacsatolásnál a kimenetet úgy "igyekszik" vezérelni az áramkör, hogy a bemeneteket egyforma feszültségűre hozza. Például ha az egyik bemenetet földpotenciálra kötjük, a másik bemenet is földpotenciálra lesz normál működés esetén (azaz mikor a kimenet nem éri el a tápfeszültségek egyikének értékét, lásd előző pont).

-- pozitív visszacsatolás esetén a kimenet pozitív érték felé mozdulása növeli a bemenetek különbségét, ami tovább hajtja a kimenetet a pozitív irányba - ennek eredménye hogy a kimenet valamelyik tápfeszültség értékéig billen, és az áramkör (esetleg időlegesen) ennél az értéknél stabilizálódik.

-- a bemeneti ellenállás nagyon nagy, azaz a bemenetek felé nem folyik áram. Ez leegyszerűsíti bizonyos áramköri kapcsolások számolását.

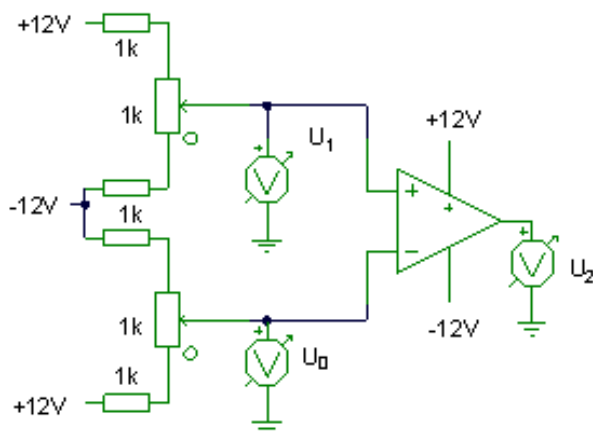
1. Nyílthurkú erősítő - komparátor mérése:

A visszacsatolás nélküli műveleti erősítőt – igen nagy feszültségerősítése miatt - két feszültség összehasonlítására használhatjuk. Ha a nem invertáló bemenetet U_0 potenciálra kötjük, és az invertáló bemenetre feszültséget adunk, az erősítő kimenetén $+U_T$ ill. $-U_T$ közeli feszültséget kapunk, attól függően, hogy a bemenőfeszültség kisebb, vagy nagyobb-e U_0 -nál.



1.1. Kösse az erősítő invertáló bemenetét a tápfeszültség 0 potenciálú kimenetére! Ezt nevezzük földnek. A nem invertáló bemenetre kösse egy potenciométer középső kivezetését, míg a potenciométer két végét egy-egy ellenálláson keresztül a +12 V és a -12 V-os tápfeszültségre. Így a potenciométerrel egy +/- néhány voltos feszültségtartományban szabályozhatja a nem invertáló bemenet feszültségét. Mérje az erősítő be és kimenőfeszültségét digitális voltmérővel. Különböző bemenőfeszültségekhez mekkora

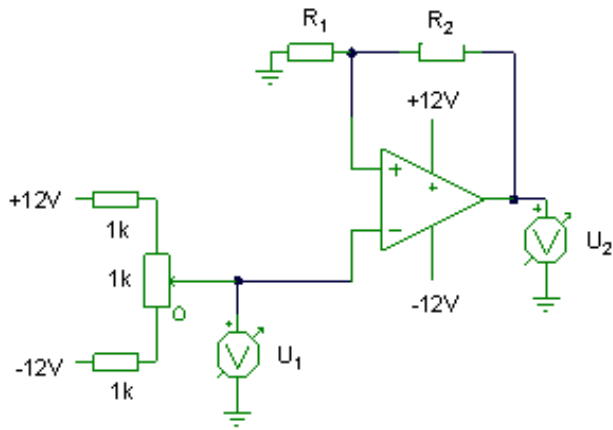
kimenőfeszültség tartozik? Milyen bemenőfeszültségnél "komparál" a műveleti erősítő?



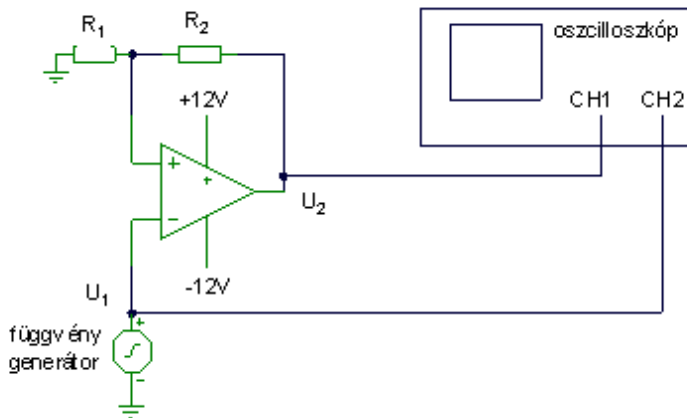
1.2. Ismétlje meg a mérést úgy, hogy az invertáló bemenetet a föld helyett egy másik potenciométerre köti, amelynek segítségével állítson be $U_0 = 2V$ -ot az invertáló bemeneten, és újra végezze el a mérést az előbbi módon! Hol komparál most az erősítő?

2. Pozitív visszacsatolás vizsgálata:

A Schmitt trigger olyan összetett áramköri elem, ami analóg bemenettel és digitális (csak két megadott szintű) kimenettel rendelkezik. A kimenet billenése akkor következik be, ha a bemenet elér egy bizonyos értéket. A komparátortól eltérően a növekvő bemenőjelhez tartozó billenési szint magasabb, mint a csökkenő bemenőjelhez tartozó. A jelenséget hiszterézisnek nevezzük.



2.1. Készítsen Schmitt trigger a gyakorlatvezető által megadott ellenállásokkal! (pl. 1,2k - 5,6k ; 2,2k - 10k ; 3,3k - 10k ; 1,5k - 10k) A jegyzet bevezetőjében említett ökörszabályok segítségével könnyen megérthető az áramkör működése: a pozitív visszacsatolás miatt a kimenet körülbelül csak a maximális, $+U_T$ vagy $-U_T$ (tápfeszültség) értéket veszi fel. Ennek, a feszültségosztási szabály miatt, a $R_1(R_2+R_1)$ része jut a nem-invertáló bemenetre. Amíg az invertáló bemenet ezt el nem éri, addig a kimenet ezen a maximális értéken is marad - így alakul ki tehát a billenési szint.



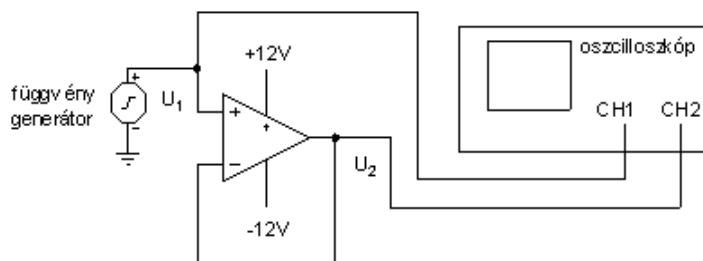
Vegye fel a bemenőfeszültség - kimenőfeszültség függvényt növekvő és csökkenő bemenőfeszültség esetén! Határozza meg a histerézis értékét!

2.2. Adjon a Schmitt trigger bemenetére függvénygenerátorról néhány száz Hz-es háromszögjelet, és növelje az amplitúdót, míg az erősítő kimenetén meg nem jelenik a négyszög alakú kimenőjel! Hasonlítsa össze a be és a kimenőjelet kétsugaras oszcilloszkóp segítségével! Rajzolja le a jeleket! Hol billen át a Schmitt trigger? Vesse össze az előző egyenfeszültségű karakterisztika billenési

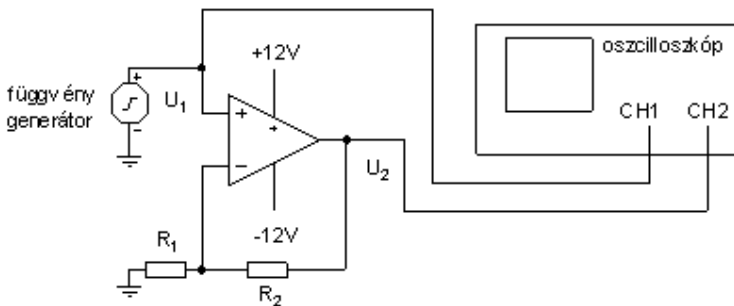
szintjeivel!

3. Nem invertáló erősítőkapcsolások:

Itt az a jellemző, hogy a nem invertáló bemenetre adunk jelet, így azzal azonos fázisú lesz a kimenőjel. Minden áramkör működése a fenti ökörszabályok alapján megérthető: a műveleti erősítő úgy "igyekszik" vezérelni a kimenetet, hogy a bemenetek egyforma feszültségűek legyenek.



3.1. Vezesse vissza a teljes kimenőjelet ellenkező fázisban a bemenetre (azaz az invertáló bemenetre)! Tehát kösse össze az erősítő kimenetét az invertáló bemenettel és adjon a nem invertáló bemenetre függvénygenerátorról néhány voltos 1kHz-es szinuszos feszültséget! Oszcilloszkóppal mérje a be és kimenőfeszültséget! Határozza meg a feszültség erősítés értékét!

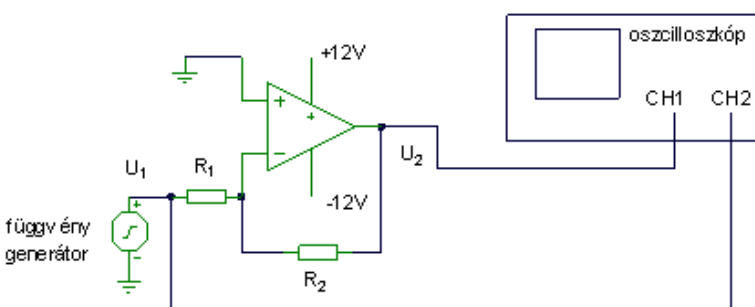


3.2. Készítsen a gyakorlatvezető által megadott erősítésű áramkört, (pl. 8-szorost) és mérje meg az előzőekhez hasonló módon az erősítést!

Az áramkör erősítését ismét a feszültségosztás szabálya szerint határozhatjuk meg, hiszen a kimenőfeszültség (U_2) az R_1 és R_2 ellenállásokon keresztül jut az invertáló bemenetre.

A bemenőfeszültséget úgy válassza meg, hogy az erősítő ne vezérlődjön túl! (Ez onnan látszik, hogy a kimenet ugyanúgy szinuszos, mint a bemenőjel, azaz nem látszik a szinuszjel csúcsának levágása)

4. Invertáló erősítők vizsgálata:



Ha az erősítő nem invertáló bemenetét földpotenciálra kötjük, és az R_1 ellenálláson keresztül adjuk a jelet az invertáló bemenetre, a kimenőjel ellenkező fázisban lesz a bemenettel. Ennek oka, hogy (ld. ökörszabály) úgy igyekszik az eszköz vezérelni a kimenetet, hogy az invertáló bemenet 0 potenciálon maradjon, azaz, hogy az R_1 és R_2 ellenállásokon megjelenő

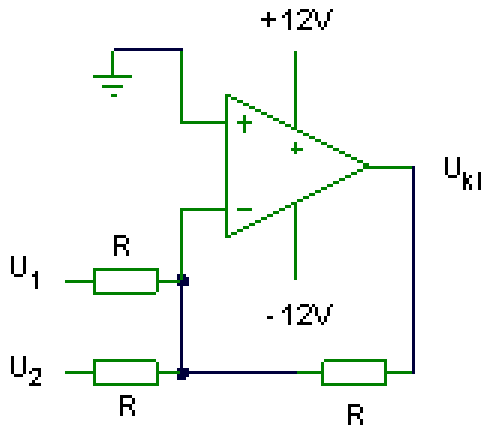
feszültségek aránya R_1/R_2 legyen.

Az invertáló erősítő bemenetére ismét adjon 1 kHz-es szinuszos váltófeszültséget függvénygenerátorról!

4.1. Készítsen a gyakorlatvezető által megadott erősítésű (pl. nyolcszoros, háromszoros, stb.) invertáló erősítőt a műveleti erősítő visszacsatolásával! Mérje meg az erősítést a 3.2. pontban leírtakhoz hasonlóan! Hasonlítsa össze a be- és kimenőjelek fázisait!

4.2. Mérje meg oszcilloszkóppal az **invertáló bemeneten** lévő jel nagyságát különböző nagyságú (túlvezérlést nem okozó) bemenőjel esetén! (Ennek, az ökörszabályok alapján, 0-nak kellene lennie ideális esetben). Mennyire “ideális” tehát a műveleti erősítő, mennyire tér el az invertáló bemenet feszültsége a 0-tól?

5. Összeadó áramkör vizsgálata:



Kösse 0-ra a nem invertáló bemenetet! Ekkor a közel 0 potenciálú invertáló bemeneten visszahatásmentesen összegződhetnek a bemenőáramok több bemenet esetén, és a kimeneten a bemenőfeszültségek súlyozott összegét kapjuk.

5.1. Készítsen azonos súlyozású összeadó áramkört, a visszacsatoló ellenállást is válassza R értékűre! A komparátornál használt potenciométeres feszültségosztóval adjon a két bemenetre különböző értékű (pozitív és negatív előjelű) legfeljebb néhány voltos feszültséget (kéziműszerrel mérje) és mérje meg a kimenőfeszültség értékét!

Keresse meg, hogy a két bemenőfeszültségnek milyen függvénye adja a kimenet értékét! Összead-e az áramkör?