

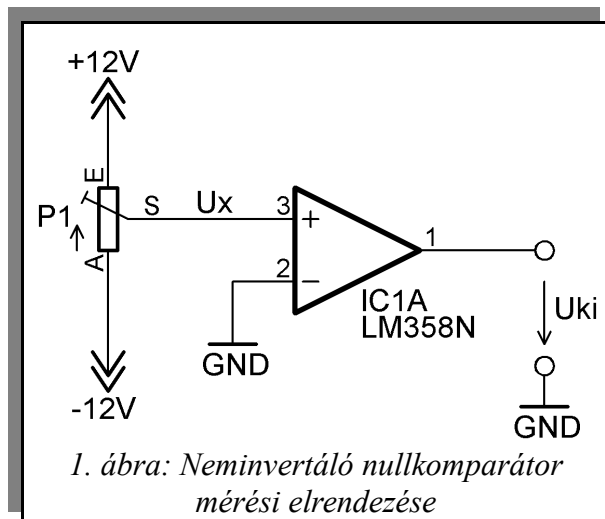
Komparátorok

Bevezetés

A komparátor egy összehasonlító áramkör (compare – összehasonlítás). Ez a funkció lehetőséget ad arra az elektronikában, hogy megtudjuk, állapítani két értékről, hogy matematikailag melyik a nagyobb, kisebb, vagy esetleg a két érték egyenlő-e egymással¹. Az áramköröket széles körben alkalmazzák az iparban, amennyiben egy esemény bekövetkeztét szeretnénk jelezni, vagyis egy aritmetikai értékhez egy logikai értéket (igen, nem) kívánunk társítani (túlléptünk egy hőmérsékletértéket, csökken a fényerő {alkonykapcsoló}, nullátmenetet érzékelő, AD átalakító).

Egyszerűbb komparátor kapcsolások

Az 1. ábrán láthatjuk a legegyszerűbb felépítésű komparátor mérési rajzát. Egy műveleti erősítőt alkalmazunk visszacsatolás nélkül.² Amennyiben a bemeneten érkező U_x feszültség nagyobb mint 0, akkor a kimeneten pozitív tápot, ha kisebb mint nulla, akkor negatív tápot mérünk.

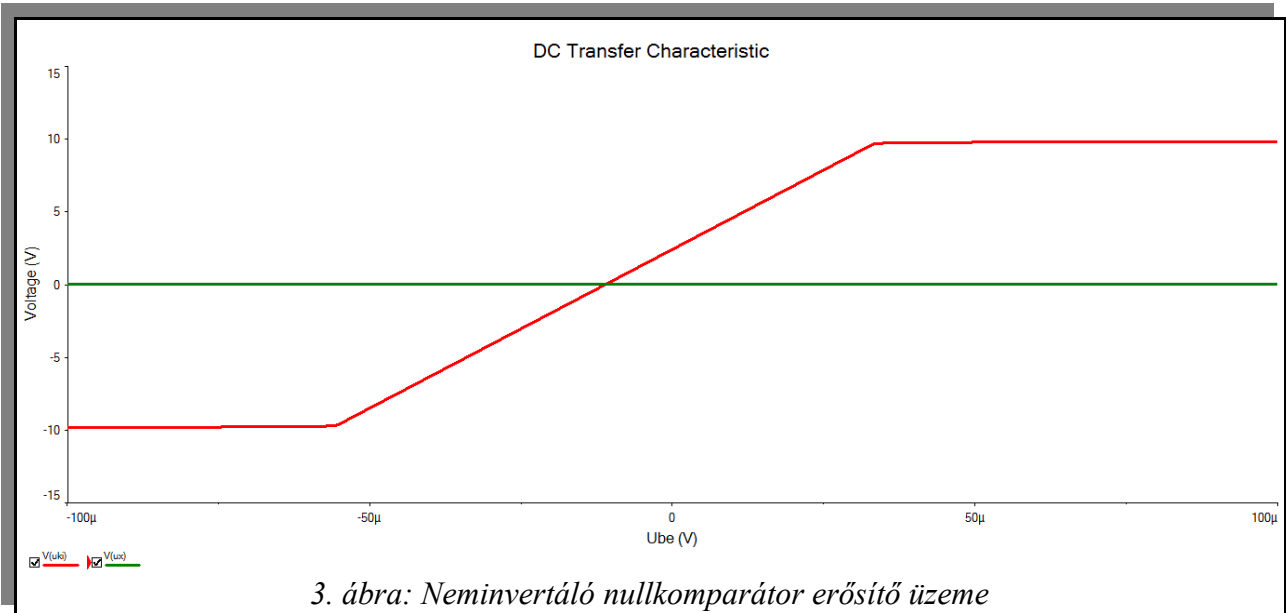
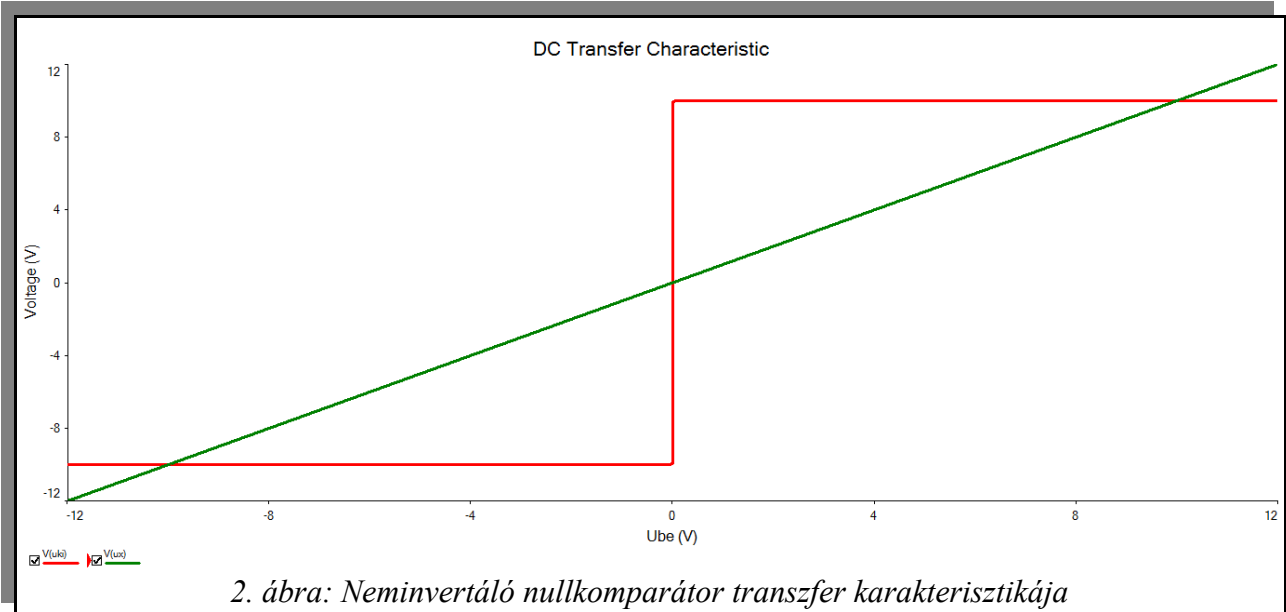


Az U_x feszültséget a gyakorlatban a felhasználói oldal felől kapjuk. Miután erre az esetek többségében nincs ráhatásunk, ezért ezt a bemenetet a túlfeszültség ellen védeni kell (a művelet erősítő az adatlapja szerint csak 32 V-ot képes elviselni a bemenetén, ennél nagyobb potenciál az áramkör tönkremeneteléhez vezetne). Amennyiben nagyon pontos billenésre van szükségünk, akkor az ofszetfeszültséget ki kell kompenzálnunk, vagy belsőleg kompenzált műveleti erősítőre van szükségünk. Ez az esetek többségében a költségek növelésével jár. Az áramkör működése a következő. A potenciométer egyik végállásában az U_x

feszültség negatív táp. Ekkor a kimenet elvi értéke $U_{ki} = A_0 \cdot (U_x - U_{INV}) = 10^5 \cdot (-12 \text{ V})$. A gyakorlatban ez negatív táp (pl. -12 V). A potenciométert állítva az U_x feszültség egyre inkább közeledik a nullához. Amint eléri a $\frac{-U_{ki\max}}{A_0} = \frac{-12 \text{ V}}{10^5} = -120 \mu\text{V}$ értéket a műveleti erősítő már nem lesz túlvezérelve és elkezdi növekedni a kimeneten a feszültség egészen az $\frac{U_{ki\max}}{A_0} = \frac{12 \text{ V}}{10^5} = 120 \mu\text{V}$ értékig.³ A gyakorlatban ezek az értékek olyan kicsik a teljes működési tartományhoz képest, hogy az esetek többségében elhanyagoljuk.

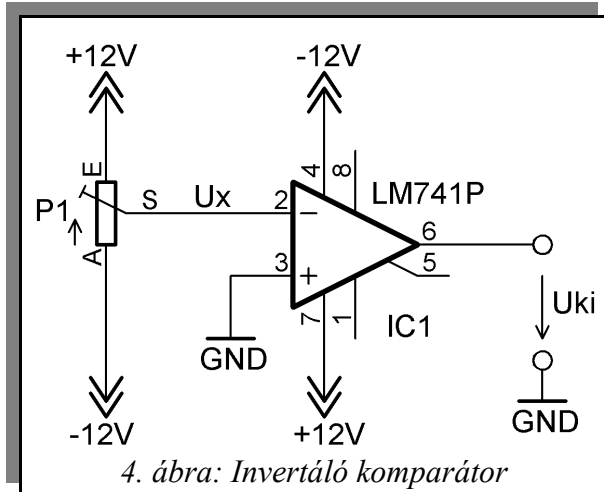
- 1 Az analóg technikában az, hogy egyenlő két érték csak egy előre megadott bizonytalanság mellett jelenthető ki. Gondoljunk arra, hogy mondjuk két különböző helyen mért feszültség értéke 1 V, azonban ha erre pontosabb eredményt adunk, előbb-utóbb valamelyik tizedesjegy eltér a másiktól (ennek fizikai okai vannak). Ebből az következik, hogy analóg esetben igazából egy tartományt tudunk megadni, melyen belül az egyenlőséget elfogadjuk – ehhez több komparátor megfelelő összekötésére van szükségünk. A digitális technikában ilyen gondunk nincsen, hiszen ott diszkrét elemekkel dolgozunk és az egyenlőség fizikailag is biztosítható.
- 2 A műveleti erősítő a bemenetei közötti feszültséget erősíti fel A_0 -as szorzótényezővel (az erősítő nyílt hurokban dolgozik). Miután ez az érték – az A_0 nagysága miatt – még minimális különbség esetén is elérné a tápfeszültséget, ezért kijelenthető, hogy az áramkör kimenete a bemeneteire kapcsolt feszültségek függvényében vagy pozitív, vagy negatív tápra ül ki.
- 3 Ez csak egy kb. érték az A_0 -nak csak minimális értéke van megadva az adatlapban.

A 2. ábrán a kimeneti feszültség változását szemléltetjük a bemeneti függvényében. Míg a 3. ábrán megfigyelhetjük a komparátor rövid erősítő üzemben történő működését is.



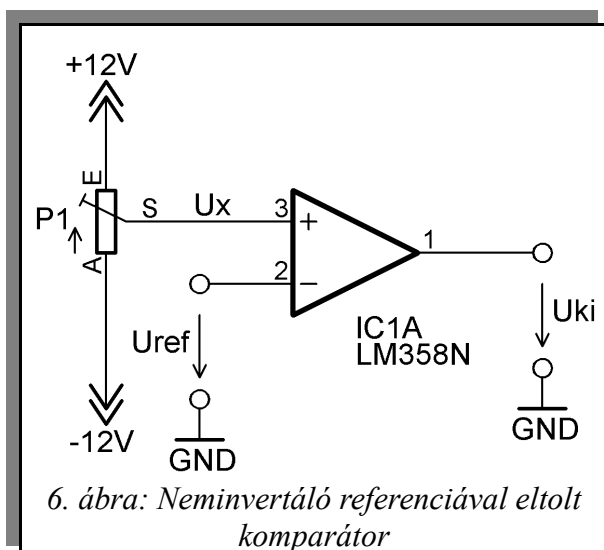
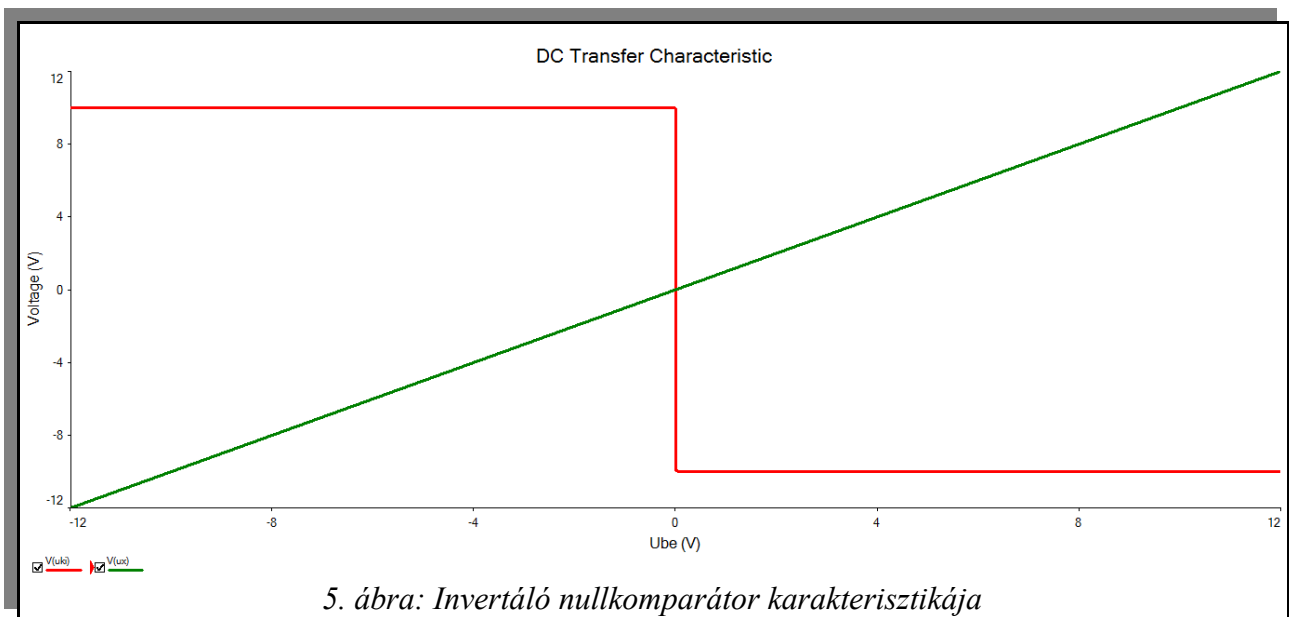
A valóságban csak a CMOS kialakítású ún. rail to rail típusú műveleti erősítő esetén lehet táptól-tápig kivezérelni az erősítőt. Bipoláris felépítés mellett a tápfeszültségből levonódik 1-2 V (a kimeneti tranzistorok U_{CEmin} feszültsége). Sok esetben nem engedhető meg az, hogy a kimenet ennyire bizonytalan értéket adjon (pl. TTL szinthez kell illeszteniük). Ilyenkor egy Zener diódás feszültségstabilizátort kötünk a kimenetre és ez állítja be a fix, pontos kimeneti jelszintet. A komparátor működik ún. single supply üzemmódban is.

Az áramkör nevében a neminvertáló jelző arra utal, hogy – mivel a neminvertáló lábra csatlakoztattuk a bemeneti U_x feszültséget – nem invertál, vagyis a bemeneti feszültség negatív értékeire negatív kimeneti feszültség, pozitív értékeire pozitív kimeneti feszültség a válasz. A nullkomparátor kifejezés a billenési szintre utal (0 V).



A 4. ábrán egy invertáló nullkomparátort láthatunk. A működés hasonló a neminvertálóhoz, azonban a kapcsolás ahogy a nevéből is következik invertál. Vagyis negatív U_x feszültségnél pozitív tápfeszültség közeli értéket, míg pozitív U_x feszültségnél negatív tápfeszültség közeli értéket mérhetünk. A transzfer karakterisztika az 5. ábrán látható.

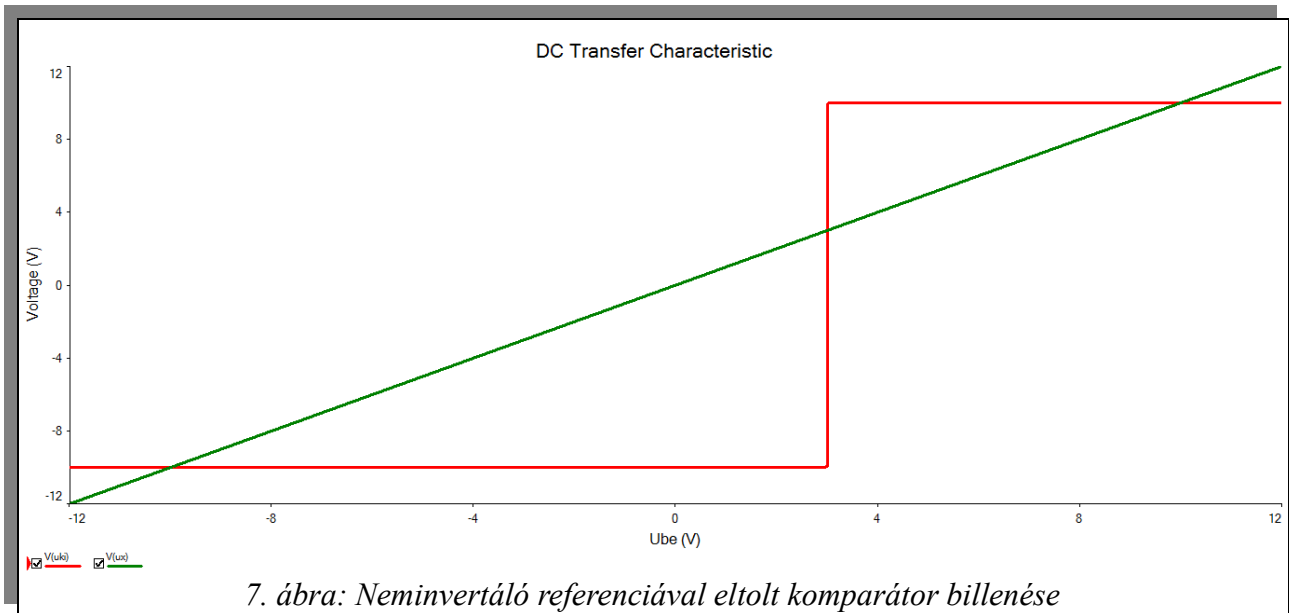
A jelleggörbe és az eddig leírtak alapján próbáljuk meg önállóan elemezni az áramkör működését!



A 6. ábrán egy neminvertáló referenciával eltolt komparátor elrendezését rajzoltuk meg. A billenési szint megváltozását az előző áramkörökhöz képest a 7. ábra szemlélteti.

Az áramkör működése megegyezik az eddig taglaltakéval, azonban itt most a két bemenet különbsége során az invertáló bemenet esetén nem 0 V-al kell számolnunk, hanem a referenciafeszültséggel. A kapcsolás – a bemenetek felcserélésével – egyszerűen átalakítható invertáló üzemmódrá is.

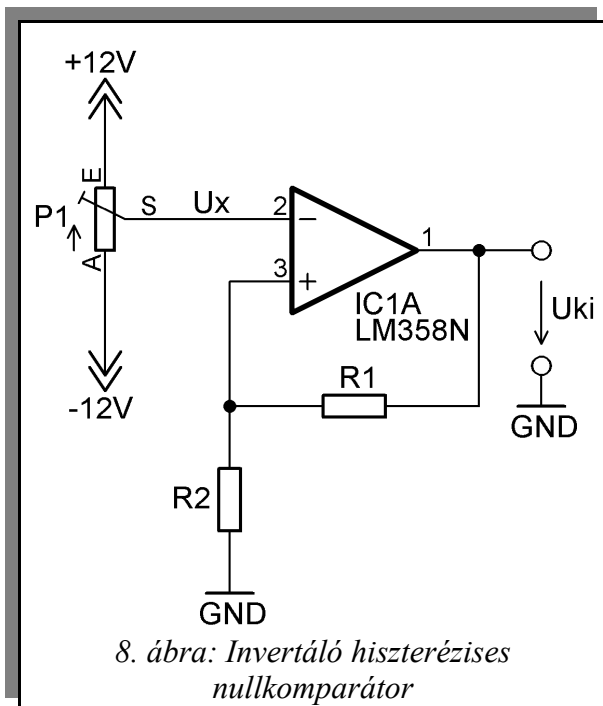
Készítsünk invertáló referenciával eltolt komparátor kapcsolást az eddig tanultak alapján!



7. ábra: Neminvertáló referenciával eltolt komparátor billenése

Néhány speciális elrendezésű komparátor kapcsolás

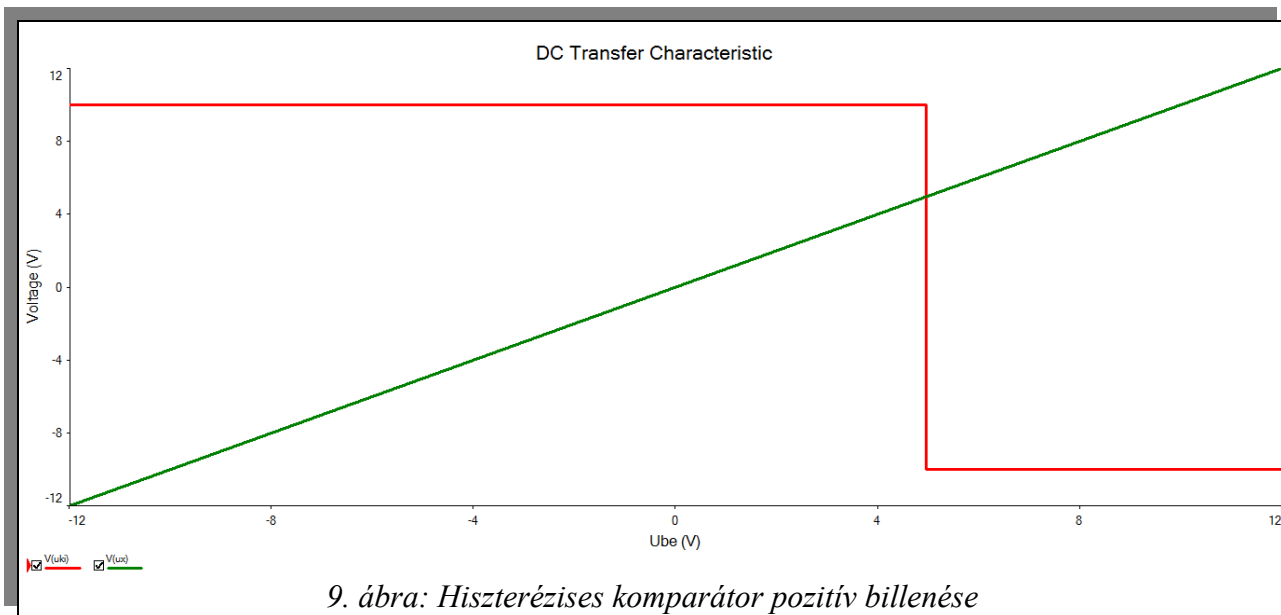
A műszaki életben van néhány speciális igény, amihez igazodnia kell a komparátorok kialakításának is. Az eddig ismertett áramkörök hátránya, hogy amennyiben a bemeneti jel a komparálási szint szűk környezetében változik, akkor a kimenet billenése folyamatossá válik. Gondoljunk egy egyszerű hőmérséklet szabályozásra! 20 °C-ot úgy tudunk pl. tartani, hogy ha a hőmérséklet a 20 °C-ot meghaladja, akkor a hűtést kapcsoljuk be (pl. pozitív tápfeszültség a komparátor kimenetén), míg 20 °C-os hőmérséklet alatt a fűtést kell aktiválnunk (pl. negatív tápfeszültség a komparátor kimenetén). A probléma ott van, hogy a rendszer tehetetlensége miatt a fűtés-hűtés üzem folyamatossá válik, rengeteg energiát fogyasztva. A megoldás, hogy egy érzéketlenségi küszöböt, ún. hiszterézist alakítunk ki. A fenti példánál mondjuk csak 22 °C felett kapcsol be a hűtés, míg a fűtés 18 °C alatt aktiválódik.



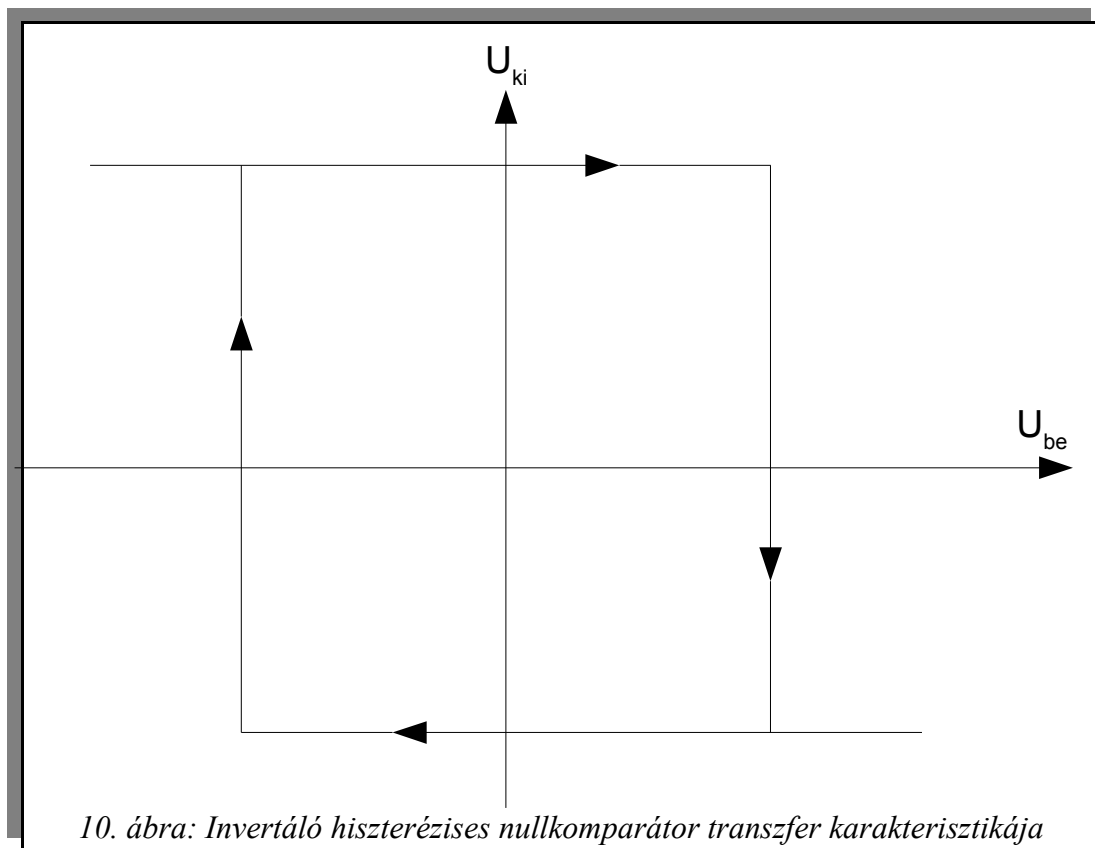
8. ábra: Invertáló hiszterézises nullkomparátor

Természetesen nem csak a hőmérséklet szabályozásra igaz ez a fajta működési kritérium, hanem minden szabályozásra, hiszen a fizikai mennyiségek megváltoztatása (hőmérséklet, fordulatszám, irány/szög, stb.) sokkal lassabb folyamat, mint amit az elektronika alapesetben érzékelni tud (a korszerű komparátorok néhány ns-os változásokat is képesek érzékelni és reagálni rájuk).

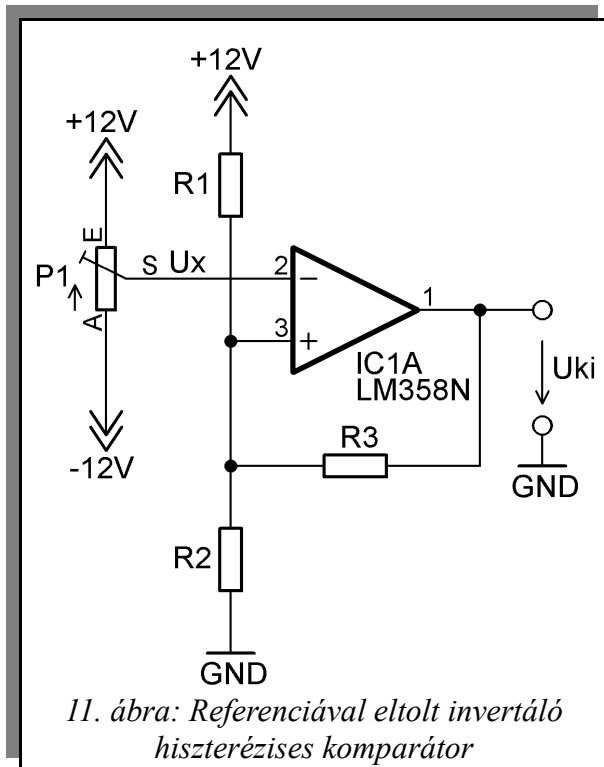
A 8. ábrán látható áramkör egy hiszterézises komparátor. A pozitív billenési szint: $U_t \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1}$, míg a negatív: $-U_t \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1}$. Próbáljuk kitalálni, mi történik, ha az R2 ellenállást nem földre, hanem referencia feszültségre csatlakoztatjuk!



A 9. ábrán láthatjuk azt az esetet, amikor az U_x feszültséget negatív értékről pozitív irányba módosítjuk. Amennyiben az irányt megfordítjuk az ábra tükörképét kapjuk. A bemeneti jel változásának irányát jelölve a 10. ábrán látható a teljes transzfer karakterisztika.



Gondoljuk végig, hogyan lehetne az áramkörből a neminvertáló kapcsolást megalkotni!

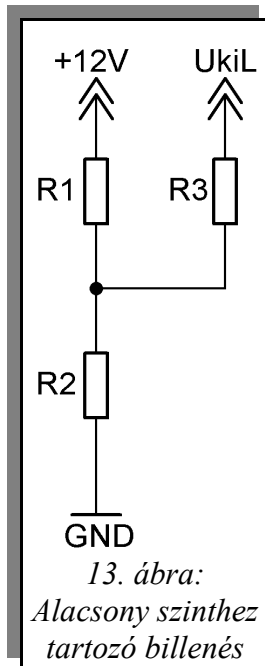
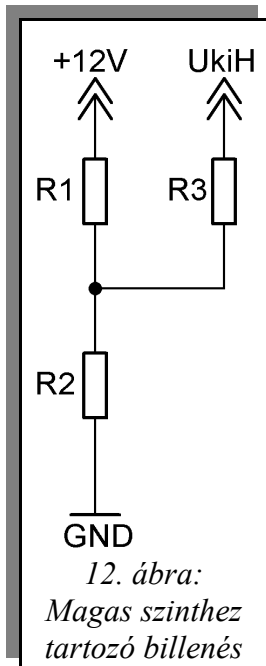


Természetesen a hiszterézises komparátor esetén is felmerülhet, hogy egy adott referenciafeszültség környezetében kell billenni. Ez a fajta működés a 11. ábrán látható áramkörrel valósítható meg. A működés elemzéséhez vizsgáljuk meg a 12. és a 13. ábrát!

Látható, hogy a billenési szintet az R_1 , R_2 , R_3 ellenállások és a kimenet jelszintje határozza meg. Amennyiben egy tápról – jelen esetben 12 V-ról – üzemeltetjük a műveleti erősítőt⁴, akkor a következő két komparálási szint adódik:

$$U_t \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_1 \times R_3},$$

$U_t \cdot \frac{R_2 \times R_3}{R_2 \times R_3 + R_1}$. Mi történik, ha kettős tápról üzemeltetjük az áramkört? Milyen hálózatanalizáló módszert kell alkalmazni? Próbálja meg levezetni a billenési szinteket ebben az esetben is!



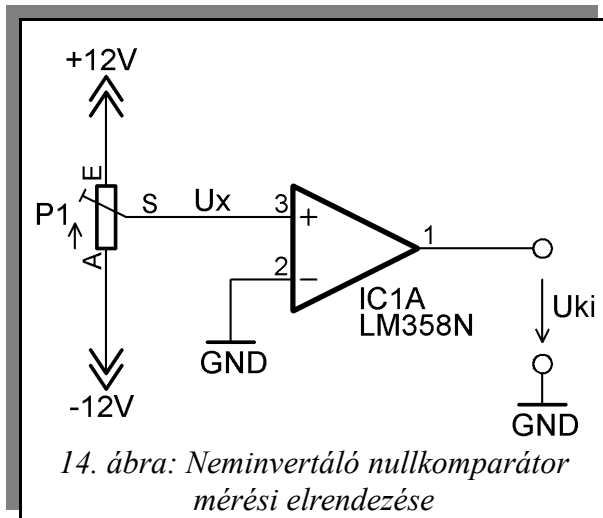
A komparátor és a műveleti erősítő

Sajnos, mivel a komparátorok és a műveleti erősítők rajzjele nagyon hasonló, ill. kommersz esetekben gyakran készítünk komparátort műveleti erősítőből, a műszaki életben gyakran keverik össze ezeket az áramköröket. Vannak műveleti erősítők, amelyek kifejezetten jók komparátornak, mások csak nagyon kis jelszintek, ill. frekvenciák esetén tudják csak ezt a feladatot ellátni. A 741 típusú műveleti erősítő pl. nagyon rossz komparálási célra a rossz paraméterei – többek között a kis értékű slew-rate – miatt. Ettől függetlenül kommersz esetekben sokszor alkalmazunk olcsóbb kivitelű általános célú műveleti erősítőket komparátorként. Precíziós áramkörökben természetesen csak és kizárólag a

külön erre a célra kifejlesztett komparátor IC-k (pl. LM139, LT1016) használata ajánlott.

⁴ Ekkor $U_{kiH} \approx 12 \text{ V}$, $U_{kiL} \approx 12 \text{ V}$.

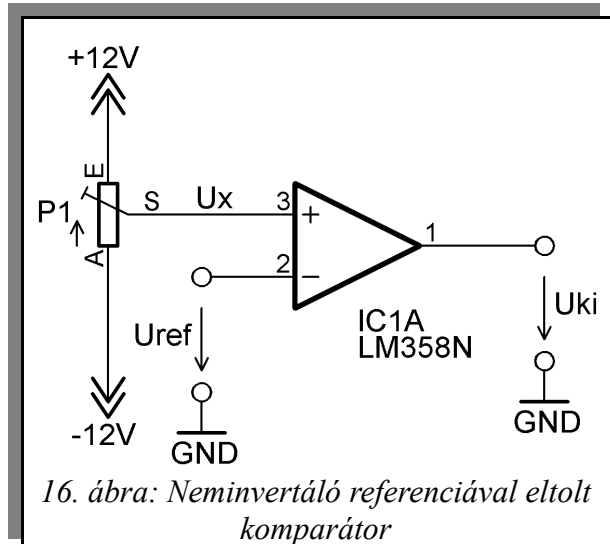
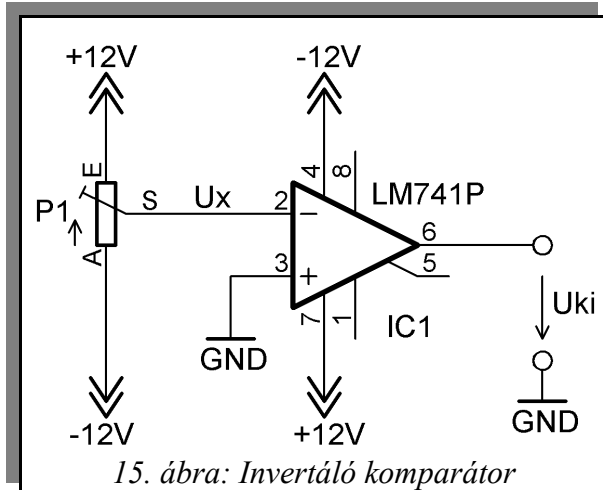
Javasolt feladatok a gyakorlaton történő munkavégzésre



Első lépésként ellenőrizzük a műveleti erősítő működőképességét az ofszet feszültség mérésével (ennek az abszolútértéke maximum 7 mV lehet LM358, és 3 mV LM358A esetén)!

Készítsük el a 14. ábrán látható neminvertáló nullkomparátor áramkört! Használjunk 10 kΩ-os ellenállást és ±12 V-os tápfeszültséget! Vizsgáljuk meg a kimeneti feszültség változását az U_x feszültség változtatásának hatására!

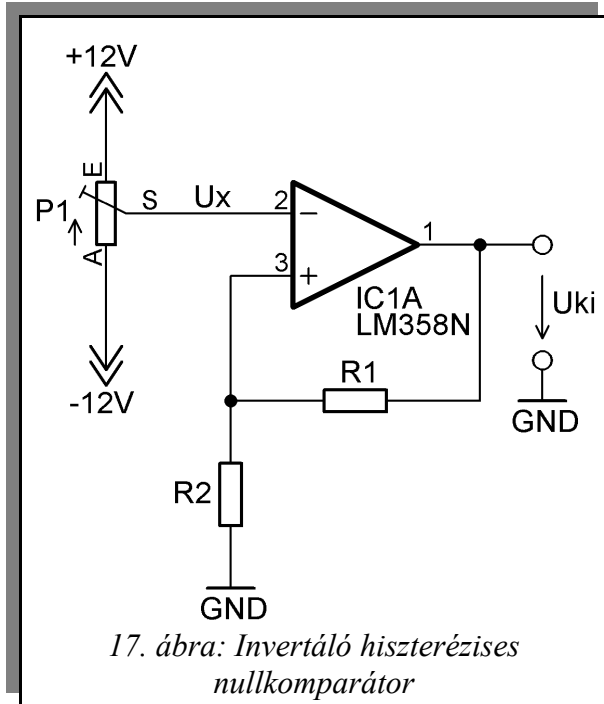
Válasszuk le a potenciómétert az áramkör bemenetéről, kössünk az U_x pontra egy 300 Hz-es, 5 V_{pp} nullszimmetrikus háromszögjelet, és vegyük fel a transzfer karakterisztikát!



Végezzük el a fent leírtakat a 15. ábrán látható invertáló komparátor esetén is. Adjunk javaslatot, hogyan kellene az U_x bemenetet védeni egy külsőleg érkező túlfeszültség ellen!

A 16. ábrán egy referenciával eltolt komparátor rajza látható. A referenciafeszültséget egy feszültségosztóval állítsuk be 2 V-ra! Vizsgáljuk meg az áramkör működését! Az osztót helyettesítsük egy potencióméterrel és nézzük meg, hogyan változik a transzfer karakterisztika a potencióméter értékének változtatásának függvényében.

Oldjuk meg, hogy a kimeneti feszültség ne üljön ki tápfeszültségre, hanem ±4 V legyen! Szorgalmi feladatként végezze el az invertáló referenciával eltolt komparátor bemérését is!



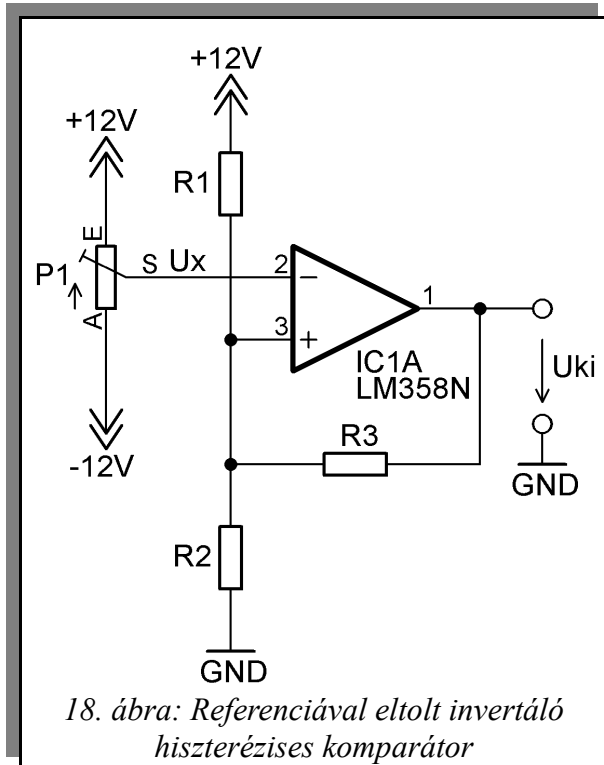
Állítsuk össze a 17. ábrán látható kapcsolást és végezzük el az áramkör teljes körű vizsgálatát (vegyük fel a transzfer karakterisztikát oszcilloszkóp és függvénygenerátor segítségével is)! A hiszterézist állítsuk be 8 V-ra!

Készítsünk olyan áramkört, ahol a hiszterézis értéke egy potenciométerrel állítható!

Használjunk két különböző színű LED-et a két kimeneti érték megjelenítésére!

Illesszük az áramkört TTL jelszinthez!

Készítsük el a 18. ábrán látható referenciával eltolt áramkört!⁵ Állítsuk be a billenési szintet 4 V-ra, a hiszterézist pedig 2 V-ra! Ellenőrizzük a működést, a potenciométer segítségével, majd vegyük fel a transzfer karakterisztikát!

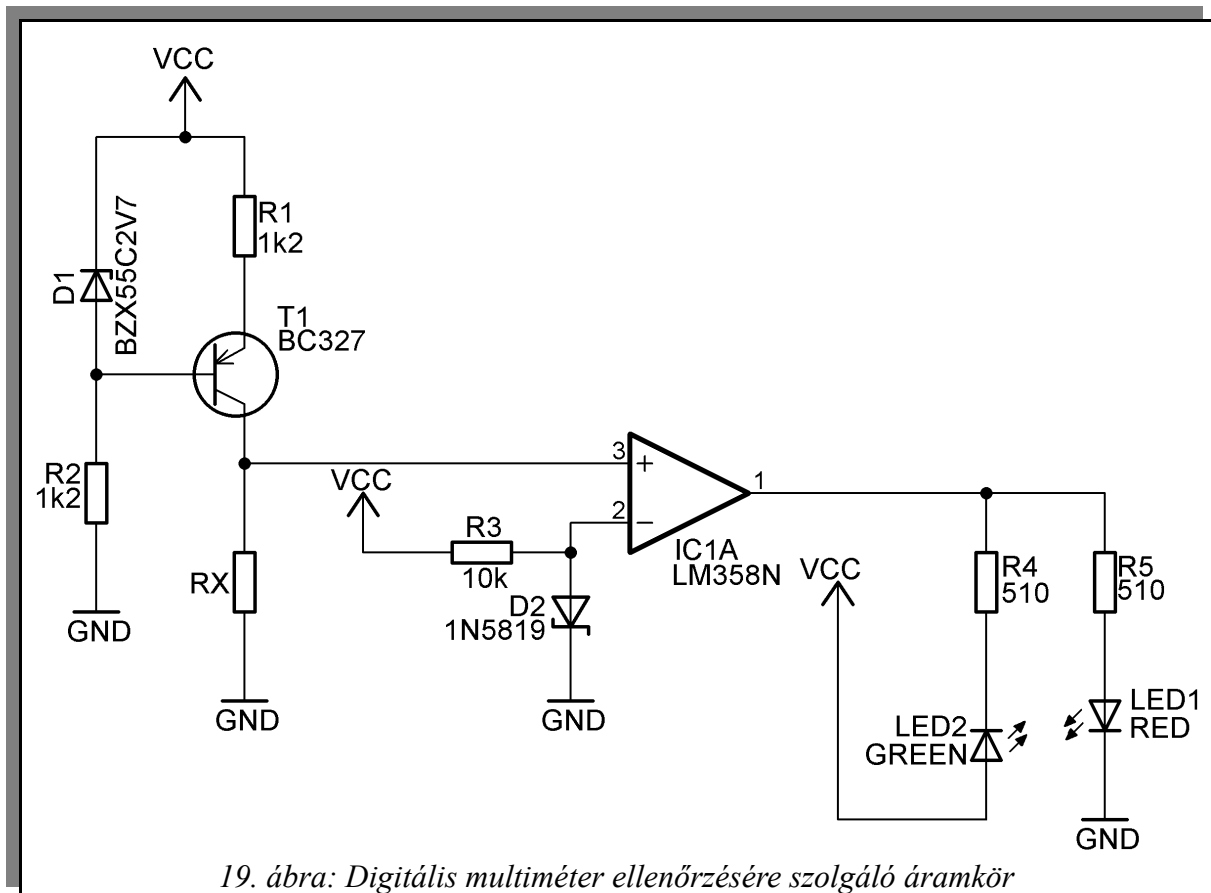


5 A működés egyszerűbb elemzése végett üzemeltetheti single supply-ról is a műveleti erősítőt.

Érdekesebb feladatok a jó gyerekeknek

A 19. ábrán egy olyan áramkört láthatunk, amivel ellenőrizni tudjuk egy DMM árammérő részének működőképességét. Az áramkör egy 9 V-os akkumulátorról működik. A T_1 , D_1 , R_1 , R_2 elemek egy földelt terhelésű áramgenerátort alkotnak a terhelést a multiméter ampermérőjének belső ellenállása adja majd. A komparátor referencia feszültségét egy Schottky diódával tudjuk biztosítani. Számítsa ki, hogy milyen ellenállás értékénél fog billenni az áramkör! Építse meg a kapcsolást – az R_x helyére kössön egy potenciométert – és tesztelje a működést. Milyen hibát észlel, és hogyan lehetne ezen segíteni?

Amennyiben kijavította a hibát és úgy találja, hogy az áramkör tökéletesen működik, tesztelje le a multimétereket a laborban a segítségével!



Amennyiben a laboratórium eszköztárából lehetővé teszi állítsunk össze egy alacsonykapcsolót!

Egy precíziós egyenirányító⁶ és komparátor-sor segítségével készítsen 5-10 LED-et tartalmazó kivezérlésjelzőt! Tesztelje az áramkört szinuszzel a függvénygenerátor és az oszcilloszkóp segítségével! Az ajánlott billenési szintek: 100 mV, 200 mV, 300 mV, 400 mV, 500 mV, 600 mV, 700 mV, 800 mV.

Amennyiben jónak találja az áramkört hajtja meg egy zenét szolgáltató eszközről (mp3/mp4 lejátszó, telefon, laptop).

⁶ A korábbi gyakorlaton már találkoztunk ezzel az áramkörrel.