

14. Alkonykapcsoló, egyszerű szenzorok, komparátor

Írta: Szilágyi Miklós, Szomorú-Ozsváth Erzsébet

Lektorálta: Lágler Gergely, Veréb Szabolcs

A következő részben átismétljük a FET-ek működését, majd pár oldal múlva már hőmérséklet, fény és közelítés hatására tudunk vezérelni és szabályozni eszközöket.

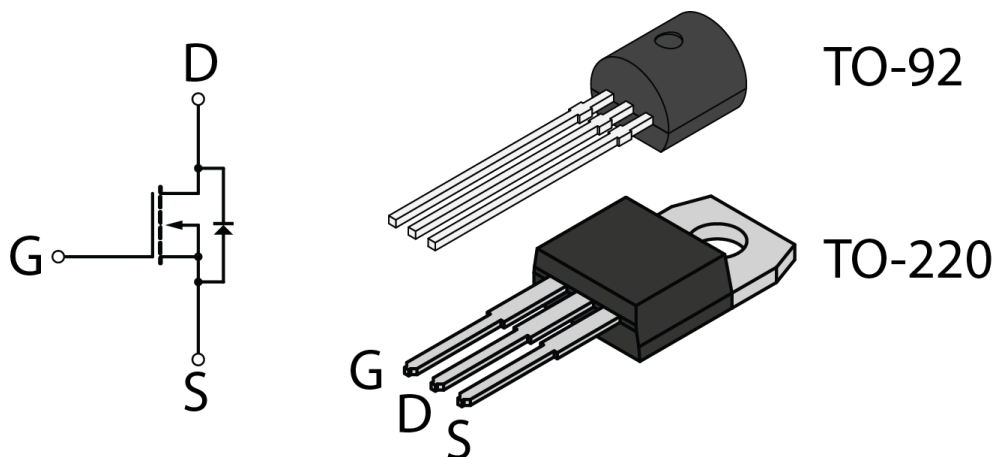
FIELD EFFECT TRANSISTOR - ISMÉTLÉS

FIGYELEM! A FET-ek nagyon érzékeny alkatrészek, mielőtt használnánk, mindenképp nézzük meg az adatlapjában megadott maximális feszültség és áram értékeket és soha ne lépjük át azokat. Nagyon érzékenyek az elektrosztatikus kisülésekre (ESD - ElectroStatic Discharge), amely akkor keletkezik, ha valamilyen elektromosan feltöltött tárgyat érintünk vagy közelítünk a FET-hez. Elektromosan feltöltött lehet az emberi test is, általában valamilyen dörzsölődés miatt (például a ruhánk és a székünk között, a cipőnk talpa és a padló között). Ettől úgy tudjuk megvédeni az alkatrészt, hogy miután kivettük a FET-et az ESD védett tasakból, utána amíg nem használjuk, addig az ESD védett tasakon legyen és csak akkor vegyük le róla, amikor beépítjük az áramkörbe. A levételnél először a tasakot érintsük meg és csak utána az alkatrészt, ekkor a tasak és a rajta lévő alkatrész velünk megegyező potenciálra kerül.



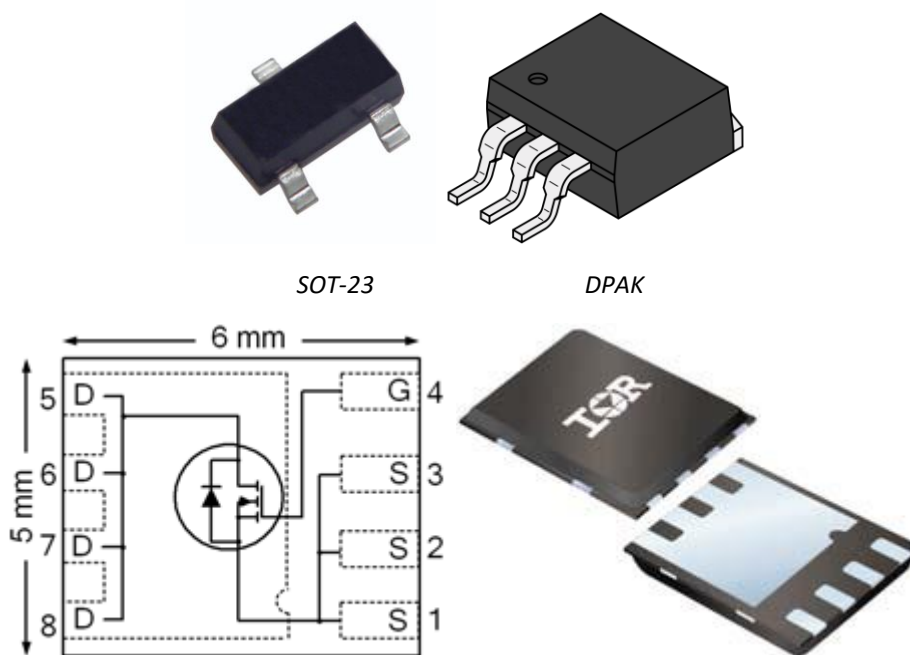
1. ábra - FET és ESD védett tasak

A FET-ek tokozási formája igen széleskörű. A leggyakrabban elterjedt furatszerelt és felületszerelt kivitelűek 3 kivezetésűek. (Gate, Drain, Source, a sorrend típusonként eltérő, de az adott alkatrész adatlapjában megtalálható a helyes bekötési sorrend, minden esetben nézzük meg az adatlapot.)

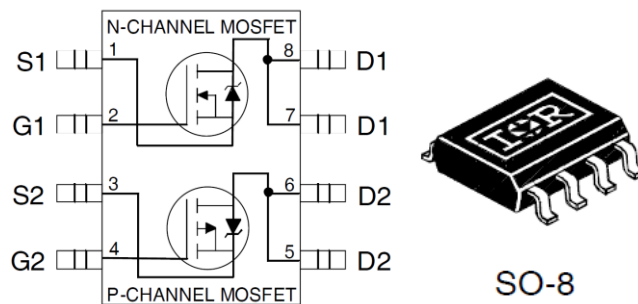


2. ábra - FET furatszerelt tokozások (TO-92 és TO-220)

A furatszerelt tokozások közül leggyakoribb a TO-92 és a TO-220 tokozások. Ezek mind 3 kivezetéssel rendelkeznek. A TO-220-as tokon található egy nagy fém felületet, amely az alkatrész hűtését segíti. Ez általában a Drain-re van kötve, de tájékozódjunk róla mindig az adatlapból. A felületszerelt kivitelűek (SMD - Surface Mount Device) közül a leggyakoribb a SOT-23, DPAK, DDPAK és SO-8-as tokozások. A háromnál több lábú kialakítások esetében előfordulhat, hogy nagy áramvezetési képesség miatt a Drain és Source több lábra is ki van vezetve, vagy több FET található a tokozásban.



PQFN 5x6 (Forrás: Infineon IRFH7085 adatlap)

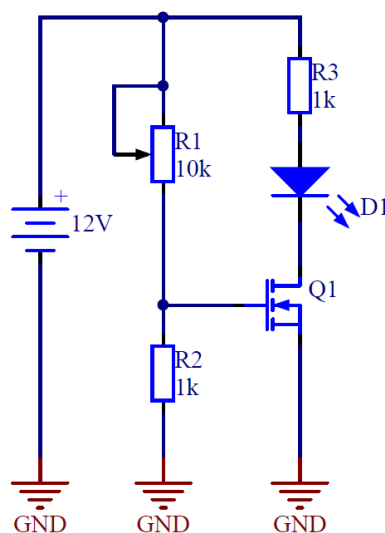


SO-8 (Forrás: Infineon IRF7317 adatlap)

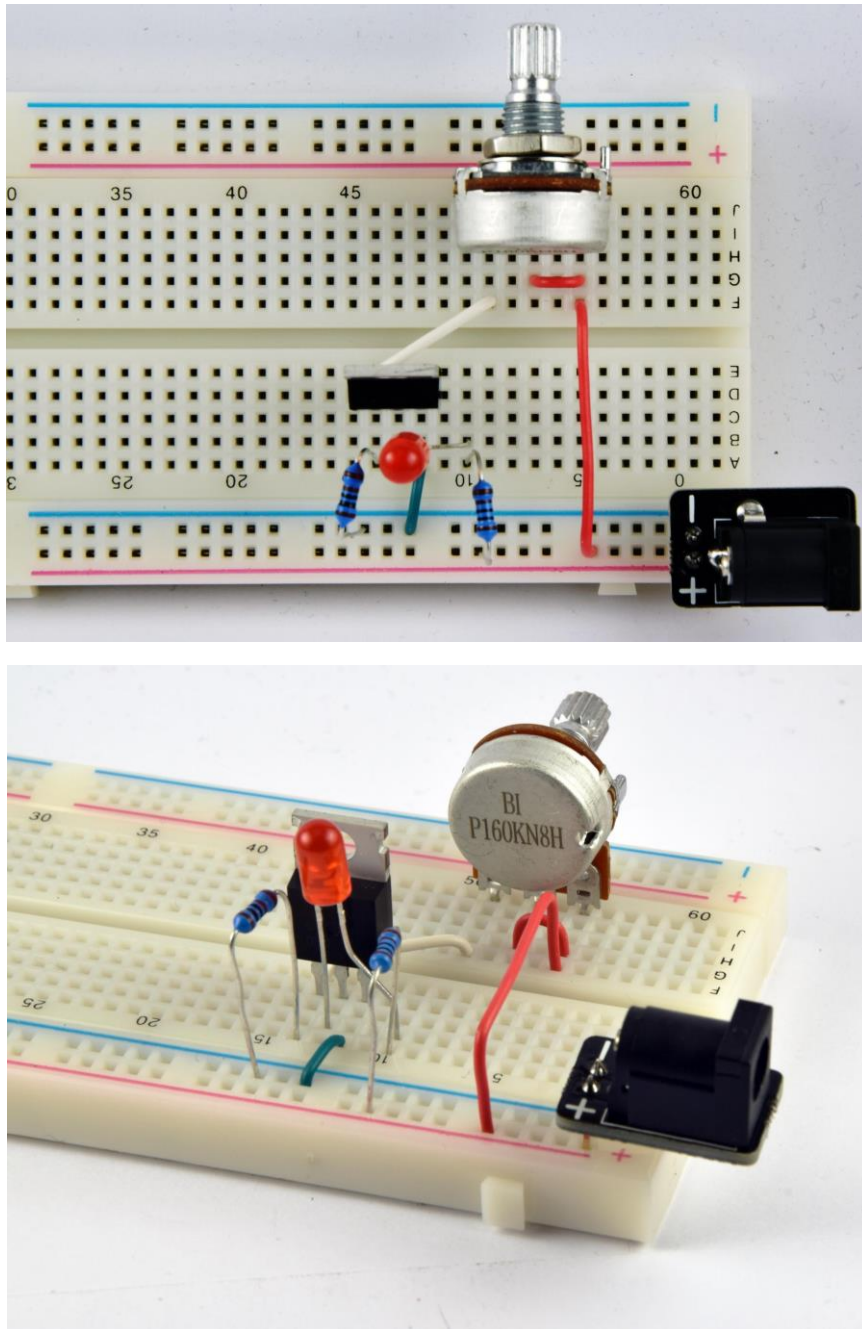
3. ábra - FET felületszerelt tokozások

Fontos, hogy ezen alkatrészeket feszültséggel lehet vezérelni (ismétlésképpen, a bipoláris tranzisztorokat árammal vezéreltük).

Az egyszerűség kedvéért a FET-re tekinthetünk úgy, mint egy feszültségvezérelt kapcsolóra. Első feladatként N-FET segítségével kapcsoljunk be egy LED-et. A FET vezérléséhez szükséges feszültséget egy állítható feszültségosztó áramkörrel valósítsuk meg. Állítsuk össze a próbapanelen az alábbi ábrán látható kapcsolást.

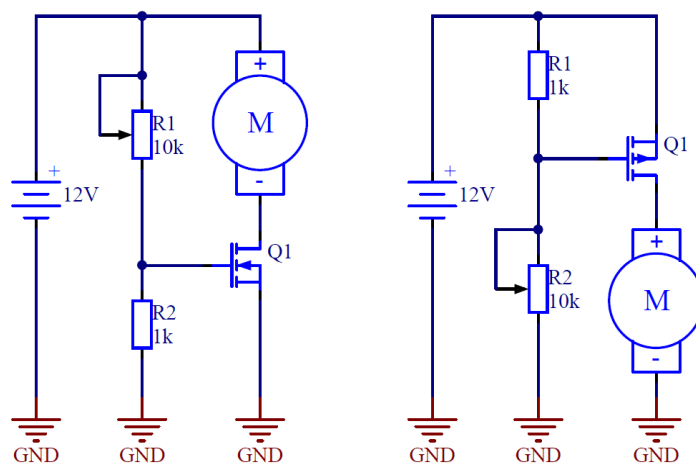


4. ábra - LED kapcsolása N-FET segítségével

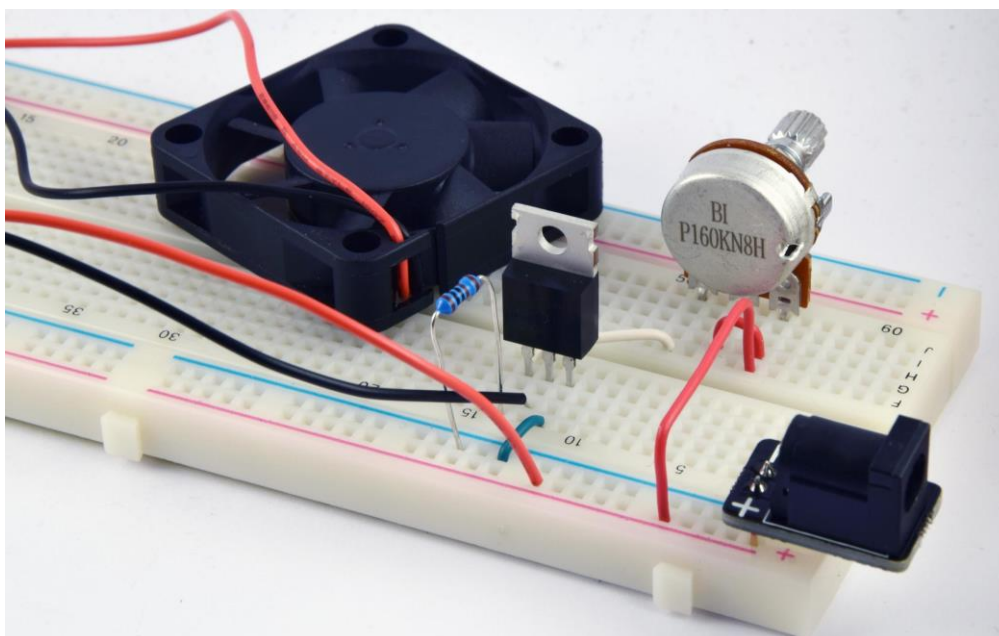


5. ábra - Összeállított kapcsolás próbapanelen

A rajzban a Q1-es MOSFET működése a következő: ha a Source-hoz képest a Gate potenciálját a nyitófeszültsége fölé emeljük, akkor a MOSFET Source-Drain kivezetései között mérhető ellenállása csökken (vezetni kezd - rövidzár). Ilyenkor a LED-del sorosan kapcsolt "áramkorlátozó" ellenálláson és a LED-en keresztül áram folyik, ennek hatására a LED világít. Amikor a MOSFET Gate potenciálja megegyezik a Source potenciállal vagy alacsonyabb attól, akkor a MOSFET drain source átmenete szakadásként viselkedik, vagyis nem folyik áram a körben és a LED nem világít. Egy nagyobb áramfelvételű fogyasztóval (DC ventilátor) is kipróbálhatjuk a kapcsolást, ebben az esetben érzékelhetővé válik a MOSFET ellenállásának változása.



6. ábra - Kapcsolási rajz ventilátorral (balra: N-FET, jobbra: P-FET használatával)



7. ábra - Összeállított kapcsolás N-FET-tel a próbapanelen

A 6. Ábra szerinti kapcsolásban már elhagyjuk az áramkorlátozó soros ellenállást és a LED helyett egy 12V-os DC ventilátort alkalmazunk az áramkörben. Ilyenkor ugyanaz az esemény figyelhető meg, mint korábban a LED esetében, vagyis ha a Gate potenciálja minimum 3V-tal magasabb, mint a Source, akkor a tranzisztor Drain és Source kivezetései között kis ellenállás keletkezik, megközelítőleg "rövidzár", emiatt a ventilátoron eső feszültség növekszik, amittől az működni kezd. Ha a Gate-Source feszültsége ismét a nyitófeszültség szintje alá esik, akkor a ventilátor megáll. A FET ellenállása függ a Gate-Source feszültségtől, így a megengedett határokon belül (lásd adatlap) érdemes minél nagyobb feszültséget választani, ha kapcsolóelemként akarjuk használni.

A potenciométer állításával változtatjuk az R1-R2-es ellenállásokkal felépített feszültségosztó arányát, így a MOSFET Gate-Source feszültségét módosítjuk, ennek hatására a MOSFET Drain-Source ellenállása

megváltozik. Figyeljünk a FET hőmérsékletére, mivel ha nincs teljesen lezárva vagy teljesen nyitva, akkor a rajta eldisszipálódó teljesítmény miatt túlmelegedhet. (Ezt vagy hűtőborda felszerelésével kompenzálhatjuk vagy csökkentjük a rajta disszipálódó teljesítményt.)

EGYSZERŰ SZENZOROK

FÉNYÉRZÉKENY ELLENÁLLÁS



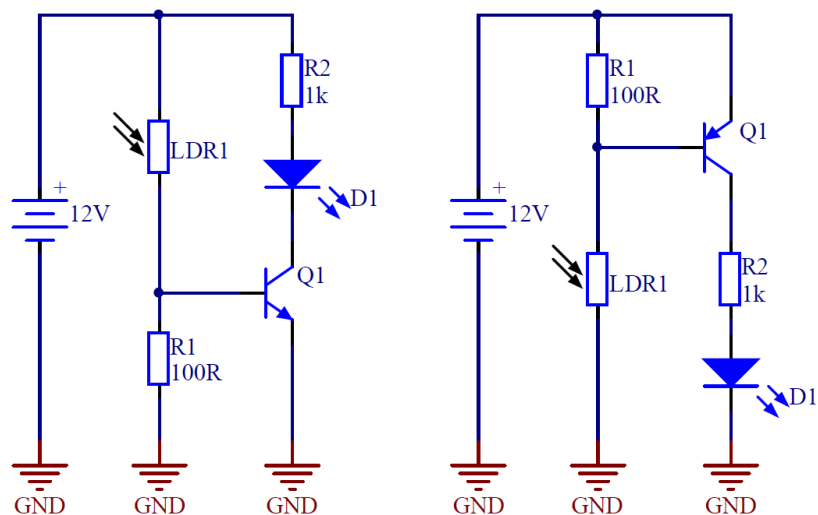
Szerző: oomlout [CC BY-SA 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>)]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Photoresistor_2.jpg

8. ábra - Fényérzékeny ellenállás

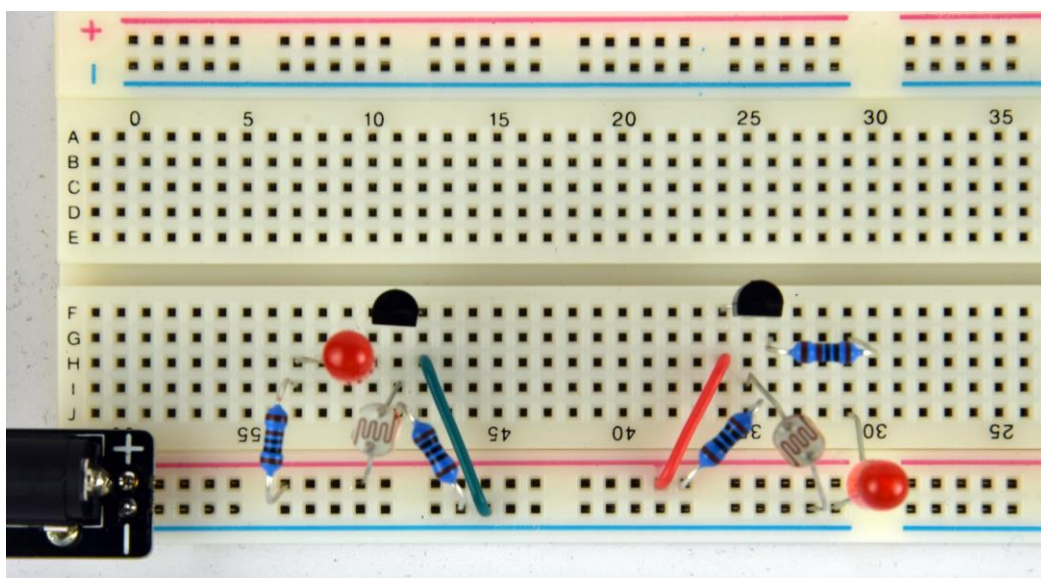
A fényérzékeny ellenállás (LDR vagyis light-dependent resistor) egy olyan félvezetőből készült eszköz, amely fény hatására változtatja az ellenállását. Azonban nem ugyanúgy viselkednek minden fajta fényre, így nagyon fontosak az alábbi, adatlapban megtalálható paraméterek:

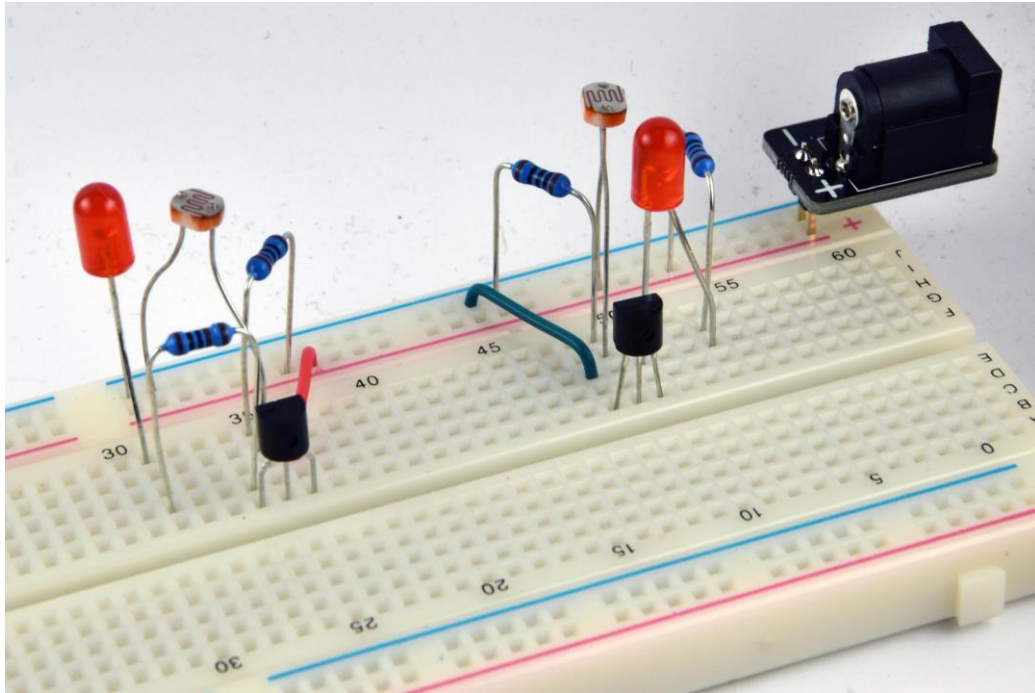
- “Spectral peak” annak a fénynek a hullámhossza, amire a legérzékenyebb, illetve a legnagyobb mértékben változtatja az ellenállását.
- “Photo resistance” adott megvilágítás mellett ekkora értékű ellenállásként viselkedik.
- “Dark resistance” megadja, hogy sötétben mekkora az LDR ellenállása.

A megvilágítás-ellenállás karakterisztikája függ a félvezető összetételétől. Az általunk használt PGM5506-os fotoellenállás negatív karakterisztikájú, azaz erősebb megvilágításban alacsonyabb az ellenállása. Általánosan elmondható, hogy lassú reakcióidejűek, tehát “gyors”, villogó fényt (5-10 Hz-nél magasabb frekvenciájúakat) nem képesek pontosan, jól követni. Emiatt “lassú” rendszereknél érdemes alkalmazni őket. Ezen alkatrész működését a “rajz 3”-ban található kapcsolással lehet egyszerűen bemutatni. A “PGM5506”-os típus 10 Lux megvilágítás hatására (szürkület, kislámpa fénye) adatlap szerint 2-6 kohm-os ellenállásként viselkedik. Ebből adódóan a kapcsolást úgy méreteztük hogy teljesen sötétből - általános szobai megvilágításig változtassa a tranzisztor bázisáramát. A bázisáram függvényében pedig változik a tranzisztor kollektor árama, emiatt a LED fényereje is.



9. ábra - Fényérzékeny ellenállás bekötése (balra NPN, jobbra PNP tranzisztorttal)





10. ábra - Összeállított kapcsolás próbapanelen
(Felső kép: balra NPN, jobbra PNP, alsó kép: balra PNP, jobbra NPN)

Nézzük az NPN tranzisztoros példát. Ahhoz, hogy a Q1 tranzisztor vezessen, a bázis-emitter feszültségnek nagyobbak kell lennie, mint a nyitófeszültségnek. Ez általában 0.6-0.7V körül alakul, és a bázisáram hatására kis mértékben változik. Mivel a tranzisztor bázisán áram folyik, így az LDR1 és az R1 nem alkot tisztán feszültségosztó áramkört. Az R1-en eső feszültség megegyezik a tranzisztor bázis-emitter feszültségével. Az R1 szerepe az, hogy az LDR1 nagy ellenállása esetén a tranzisztor be tudjon zárni, és ne folyjon át rajta áram. Tehát R1-gyel a bekapcsolási határt tudjuk beállítani. Ha az LDR1 és az R1 közös pontjának a feszültsége nem éri el a 0.7V-ot, a tranzisztor nem tud kinyitni. Számoljuk ki, hogy milyen LDR ellenállás tartozik a nyitófeszültséghez, ha R1-et 100Ω-nak választjuk.

$$R_1 / (R_1 + R_{LDR}) \cdot 12[V] = 0.7[V]$$

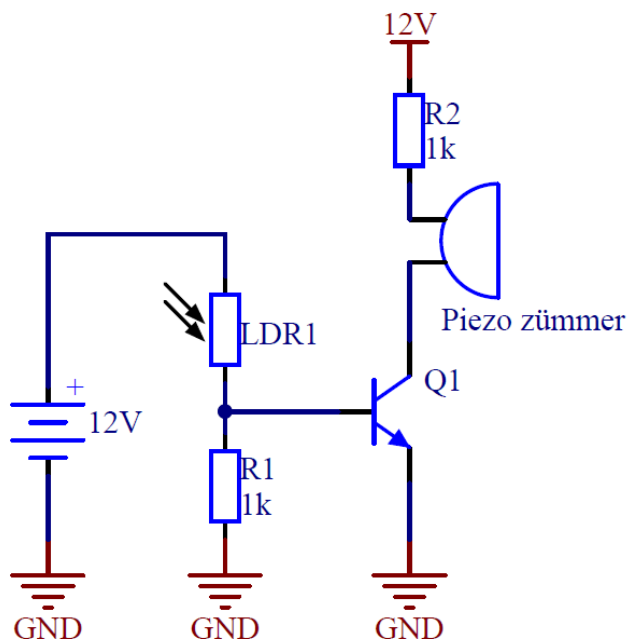
$$R_1 \cdot 12[V] / 0.7[V] - R_1 = R_{LDR} = 1.61[k\Omega]$$

Amint elérte a nyitófeszültséget a tranzisztor bázisa, az R1-en eső feszültséget állandónak tekinthetjük (elhanyagolható mértékben változik csak). A tranzisztor bázisáramát így az LDR1 ellenállása fogja meghatározni.

$$I_B = (12V - 0.7V) / R_{LDR}$$

Láthatjuk, hogy a bázisáram és az LDR ellenállása fordítottan arányos. Mivel nagyobb megvilágításnál kisebb az ellenállás, és kisebb ellenállásnál nagyobb a bázisáram, így a megvilágítás erőssége és a bázisáram végül egyenesen arányos lesz. A bázisáram β -szorosa kezd el folyni a kollektor felől az emitter felé. Mivel a kollektorral sorba kapcsoltuk a LED-et és ellenállást, a kollektoráram ezeken is keresztülmegegyezik, emiatt világít a LED. Így alkottunk egy áramkört, amely annál erősebben világít, minél nagyobb fényt érzékel, akár csak a mobiltelefonok kijelzője.

Ha a LED helyett egy piezo zűmmert helyezünk az áramkörbe, akkor készítettünk egy egyszerű "Elektromos kakast".



11. ábra - Fényérzékeny ellenállás zűmmerrel

NTC és PTC - TERMISZTOROK VAGYIS HŐMÉRSÉKLETFÜGGŐ ELLENÁLLÁSOK



12. ábra - Termisztorok

Az alábbiakban bemutatott alkatrészek hőmérséklet változás hatására változtatják meg az ellenállásukat. A mozaikszavak jelentése a következő: NTC, "Negative Temperature Coefficient" vagyis növekedő hőmérséklet hatására csökkenti az ellenállását, míg ezzel szemben a PTC - "Positive Temperature Coefficient" szó azt jelenti, hogy amikor nő a hőmérséklet, akkor nő az ellenállás.

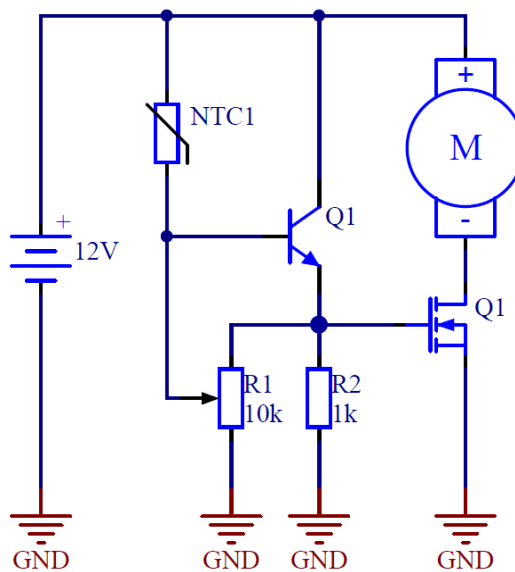
Az NTC működésének bemutatására a korábbi 9-es ábrán található kapcsolások is megfelelnek, ha az NTC-t az LDR helyett alkalmazzuk.

A következő kapcsolásban (13. ábra) egy bipoláris tranzisztor áramerősítési jellegét és egy MOSFET kapcsoló tulajdonságát fogjuk ötvözni azzal a céllal, hogy be tudjuk állítani az áramkörünk érzékenységét és ezzel arányosan a szabályozott hőmérsékletet.

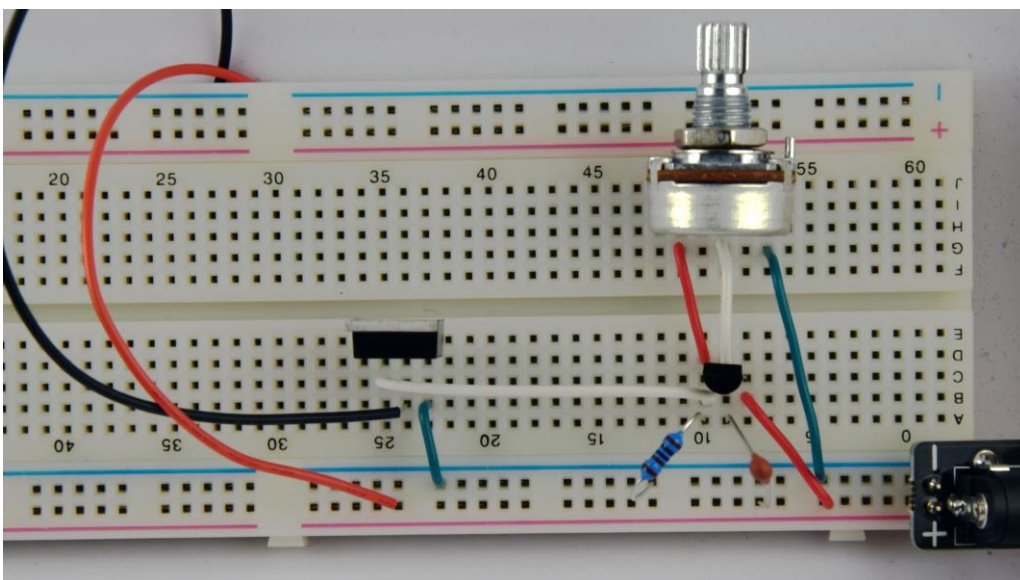
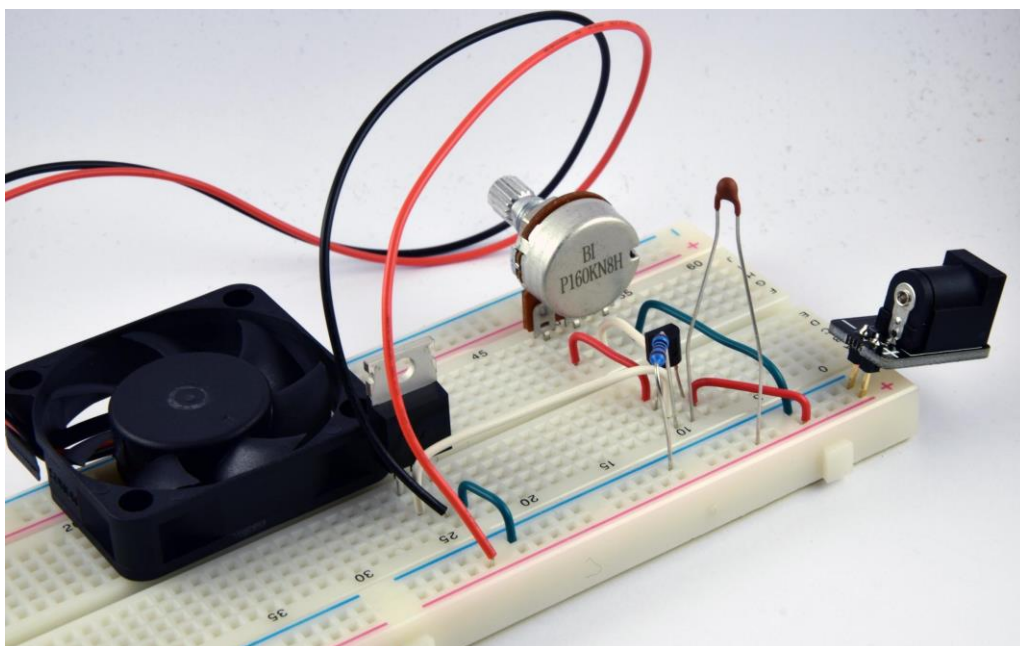
Képzeljük el hogy van egy terem, ahol a hőmérséklet függvényében a szellőztetést szeretnénk automatikusan vezérelni. Az NTC a hőérzékelő elem, az R1-es potenciométer az általunk kívánt hőmérséklet beállításáért felel, "Q1", "Q2" feladata pedig a ventilátor megfelelő működtetése.

Amikor az NTC elkezd melegedni, ezzel arányosan lecsökken az ellenállása, amely hatására a Q1-es tranzisztor bázis-emitter potenciálja eléri a 0.7V-os nyitófeszültséget. Ezután az NTC-n keresztül áram kezd el folyni a bázis felé, amely kollektoráramot generál. Az emitter árama megegyezik a kollektor- és a bázisáram összegével. Ez az áram az R2-es ellenálláson feszültséget hoz létre. Az R2-n eső feszültség pedig megegyezik a Q2-es N-FET Gate-Source feszültségével. Ha ez átlépi Q2 nyitófeszültségét, a FET elkezd vezetni, és felpörög a ventilátor, ami légáramlást hoz létre. A folyamat állandósul a külső hőmérséklet, a ventilátor légáramoltatása és a potenciométer állásának függvényében.

A határozottabb kapcsolás miatt a P1-es potenciométer pozitív visszacsatolásként is funkcionál, vagyis amint elkezd kinyitni a Q1-es tranzisztor, akkor a Q1 emitterének a potenciálja emelkedik. Mivel ezzel a kivezetéssel össze van kötve a potenciométer 3. kivezetése, ezért a 2. kivezetés feszültsége is növekedni fog. Mindez egy gerjesztő folyamat, mivel a Q1-es tranzisztoron még nagyobb áram folyik és még magasabb lesz az emitter potenciálja... A potenciométerrel tudjuk a kívánt hőmérséklet értékét befolyásolni. Ha az NTC helyett PTC-t alkalmazunk akkor fordítva fog működni a kapcsolás vagyis a ventilátor hűtés hatására fog bekapcsolni. (Ebben az esetben, ha a ventilátor helyett egy fűtőelemet pl. IR lámpát alkalmazunk, akkor van egy egyszerű fűtésszabályozásunk.)



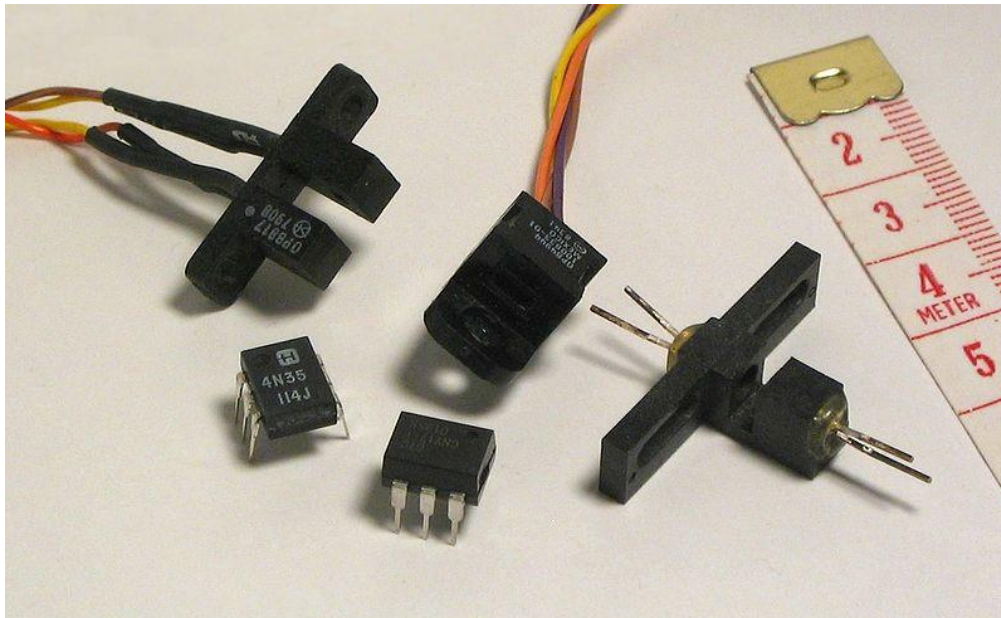
13. ábra - NTC ellenállás és ventilátor



14. ábra - Összeállított kapcsolás próbapanelen

OPTOELEKTRONIKAI ESZKÖZÖK

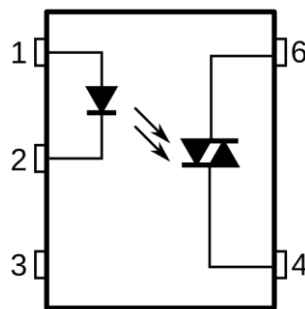
Ezen részben az optocsatolókról, azaz az optoizolátorról, optokapuról és reflexiós optóról írnék pár sort, amely a gyakorlati alkalmazásokhoz és felhasználásukhoz ad némi segítséget.



Szerző: Omegatron [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Opto-couplers.jpg>

15. ábra - Optocsatolók kialakítása

OPTOCSATOLÓ (OPTOIZOLÁTOR)



bal: SparkFun Electronics from Boulder, USA [CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>)]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LTV-816_1_channel_opto-isolator.jpg

jobb: Szerző: Krzysztof Zajaczkowski [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Optotriak.svg>

16. ábra - Optoizolátor kialakítása

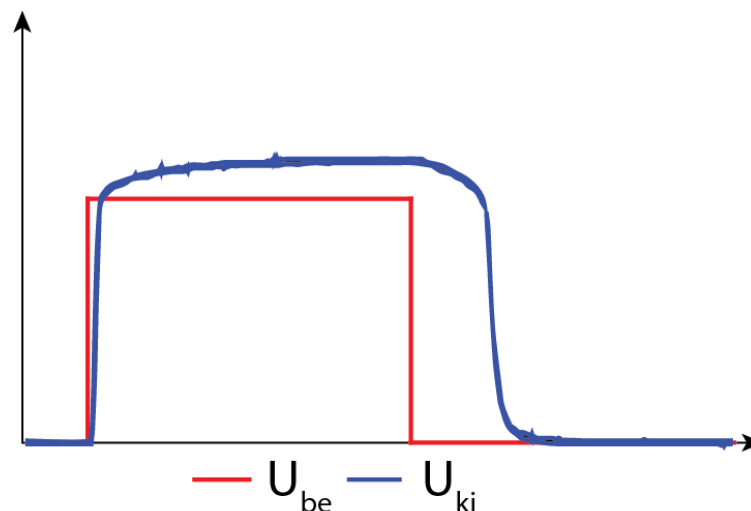
Ahogy a neve is mutatja, ez az alkatrész fény (opto) segítségével jelátvitelt valósít meg (csatol). Szerkezetileg két részre bontható: az egyik egy fényt kibocsátó rész (LED), a másik valamilyen fényre érzékeny rész (általában tranzisztor).

A működésük nagyon egyszerű. Amikor a LED-en pár mA-nyi áram folyik, akkor belül fényt sugároz, ezen fény hatására a fototranzisztor kinyit és "rövidzárként" viselkedik.

Elterjedt típusok: 4N25, 6N137, CNY17, MOC3063. Sokszor egy tokban több optocsatoló is van. A kimeneti kapcsolórészük is lehet többféle kialakítású: fotodióda, bipoláris tranzisztor, triak, FET stb. Az optocsatoló kiválasztásánál figyelni kell arra, hogy milyen a kapcsolóeszköze és az áramkört ennek megfelelően kell kialakítani. Nem helyettesíthetők egymással a különböző kimenetű optocsatolók, például FET-es kimenetű helyett nem alkalmazhatunk triakos kimenetűt.

Érdemes pár szót ejteni ezen eszközök felhasználásáról illetve pár technikai paraméterükről. Általában ott alkalmazzák, ahol nagy potenciálkülönbséget akarnak áthidalni vagy zavarvédetté szeretnék tenni az áramkört, például földhurok elkerülésére. Ennek fényében a legfontosabb paramétereik:

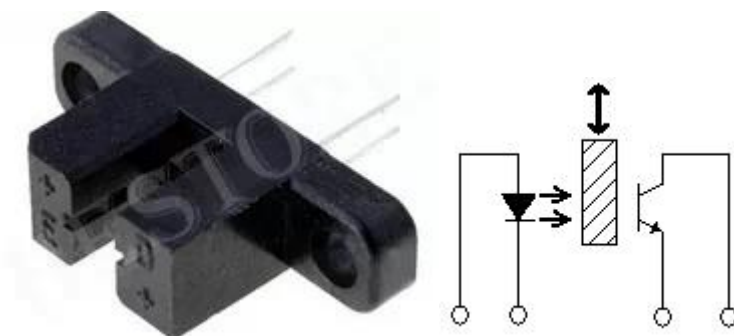
- **Izolációs feszültség:** Az a feszültség, amelyet még tartósan elvisel a bemeneti (vezérlő) és kimeneti (vezérelt) oldal között. Ezen feszültségig lehet alkalmazni jelátvitelre, efelett károsodhat az eszköz.
- **A LED üzemi árama (IF):** Ezen árammal érdemes meghajtani a LED-et, ahhoz, hogy üzembiztosan vezérelve legyen az eszköz kimeneti oldala. Ennél kisebb árammal vezérelve a kimeneti kapcsolóelem nem fog teljesen záródni. Általánosságban digitálisan alkalmazzuk az optocsatolókat, vagyis nyitott vagy zárt kimenetre van szükség, emiatt érdemes az előírt üzemi árammal vezérelni.
- **Kapcsolási idő:** Mivel az eszközön belül kis energiájú fénnel van vezérelve a "fototranzisztor", emiatt idő kell ahhoz hogy a kimeneti fokozata rövidzárként viselkedjen. Kikapcsolást követően mikor az eszközön belül található LED nem aktív, akkor pedig a kapcsolóeszköznek vissza kell állnia nyugalmi állapotba, ami ismételten valamekkora időt igényel. A bekapcsolási és kikapcsolási idő akár jelentősen is eltérhet, emiatt érdemes mindkét paramétert megnézni az adatlapban. Ezen "hibái" miatt az eszköznek véges működési frekvenciája van, ami felett a pontos jelátvitel nem garantált.
- **Áramátviteli tényező:** (CTR, vagyis Current Transfer Ratio) fontos jellemzője ezeknek az alkatrészeknek. Megmutatja, hogy a bemeneti áram maximum hányszorosát képes a kimeneti kapcsolóelem vezetni. Ennél nagyobb áramigény esetén nem tud tökéletesen zárt állapotba kerülni, az alkatrész tönkremehet. Ez az érték általában 10-400% között szokott lenni.



17. ábra - Optocsatoló kapcsolási ideje

OPTOKAPU (OPTIKAI KAPCSOLÓ)

Ezen alkatrész működési elve megegyezik az optoizolátoréval, van fényt kibocsátó része és van fényérzékeny része. A szerkezeti felépítése azonban más. Ennél az alkatrésznél a fény útját külső mechanikus eszközzel meg lehet szakítani. Ebből fakadóan a felhasználási területe is egészen más.

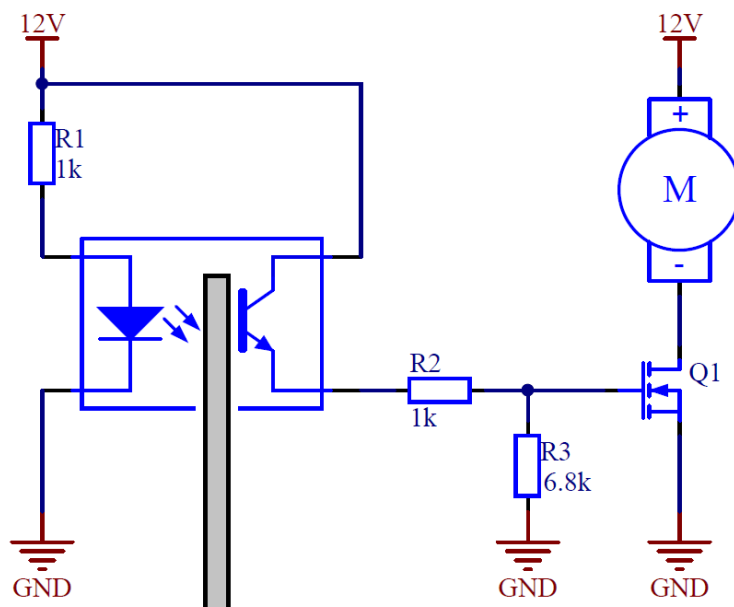


Forrás: HESTORE.hu, TCST2103

18. ábra - Optokapu kialakítása

Leggyakrabban pozíció érzékelésére használjuk, melynek egy speciális esete a végállás/vég helyzet detektálása. Először erősítsünk az érzékelendő tárgyra egy vékony, nem átlátszó anyagból készült nyelvet, melyet úgy kell elhelyezni, hogy végálláskor az optokapu részébe illeszkedjen. Ilyenkor a LED fénye nem jut el a kimeneten lévő fényérzékeny kapcsolóeszközig, ami ezért szakadásként fog viselkedni. Ha a nyelv elmozdul a résből, akkor a kapcsolóeszköz zárt, vezető állapotba kerül az őt érő fény miatt.

Az alábbi kapcsolásban egy optokapuvál vezérlünk egy villanymotort. Ha az optokapu rése szabadon van hagyva, akkor a kimenete rövidzárba vezérli az N csatornás MOSFET-et. Ellenkező esetben, ha a résbe egy tárgy jut, például a motor tengelyén elhelyezett nyelv, akkor a MOSFET szakadásként viselkedik és a motor megáll. Ha a nyelv kellően széles és a motor tengely lendülete nem viszi tovább a nyelvet, akkor mindig 1 fordulatot tesz meg a motor, és a nyelvet megállítja az optokapu részében.



19. ábra - Motor vezérlése optokapuvál



Szerző: Rrudzik [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)]
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Encoder.jpg>

20. ábra - Optikai enkóder

Ha az előző példát továbbgondoljuk, és nem csak egy, hanem rengeteg kis jelölést teszünk fel a motor tengelyére, akkor használhatjuk elfordulás, de akár fordulatszám mérésre is. Ehhez készítenünk kell egy olyan tárcsát, amelyen átlátszatlan és átlátszó csíkok vannak felváltva, egymás után. Leggyakrabban valamilyen átlátszó anyagra (például üveg, műanyagok) festenek fel fekete, nem átlátszó csíkokat. Az elkészült tárcsát a forgó tengelyre kell szerelnünk, majd az optokaput úgy elhelyezni, hogy a tárcsa egy része az optokapu résében legyen.

A forgás során az optokapu kimenete hol nyitott, hol zárt állapotba kerül, hiszen a tárcsán levő csíkok hol kitakarják, hol átengedik a LED által kibocsátott fényt. A nyitott és zárt állapotok könnyedén feszültségimpulzusokká alakíthatóak egy ellenállás segítségével. Két egymást követő impulzus között eltelt időből, vagy egy adott időtartam alatti impulzusok számából következtethetünk a forgó tengely fordulatszámára, amennyiben tudjuk, hogy a tárcsán hány darab csík helyezkedik el.

A tárcsával elfordulást is érzékelhetünk. Tegyük fel, hogy 200 db fényt átengedő csíkot tartalmaz, tehát 1 teljes fordulat hatására 200 impulzus jelentkezik az optokapu kimenetén. Mivel 1 teljes fordulat 360° , ezért $360^\circ/200=1,8^\circ$ -os szögelfordulásonként keletkezik újabb impulzus.

Lineáris útdóként is használhatjuk az optokaput, vagyis lineáris elmozdulást is tudunk detektálni vele. Ehhez szükségünk lesz egy, a tárcsához hasonló módon csíkozott szalagra, amit a mozgó tárgyhoz rögzítünk. Az optokaput úgy helyezzük el, hogy a mozgás során a szalag mindvégig az optokapu résében maradjon. Ezzel a módszerrel elérjük, hogy az elmozdulással arányos számú impulzus keletkezzen az optokapu kimenetén (szintén egy felhúzó ellenállás segítségével tudjuk a nyitott-zárt állapotokat impulzusokká alakítani). Ezt használják például tintasugaras nyomtatókban és szkennerekben a fej pontos pozicionálására. Vegyünk ismét egy példát! Tegyük fel, hogy egy 200mm hosszú szalagunk van, amely 1000

átlátszó csíkot tartalmaz. A mozgás során 50mm-es elmozdulásnál 250 impulzust fogunk kapni. Ebből következik, hogy $50\text{mm}/250 = 0.2 \text{ mm-enként}$ kapunk újabb impulzust.



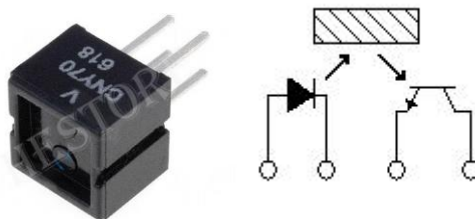
Szerző: Hans Haase [CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>)]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Inkprinter_Positioning_tape_IMG_8634.JPG

21. ábra - Lineáris enkóder szalagja

REFLEXIÓS OPTOCSATOLÓ

A reflexiós optocsatoló szerkezetileg nagyon hasonló az optokapuhoz. A különbség az, hogy a fényt kibocsátó dióda (LED) és a fototranzisztor nem egymással szemben helyezkedik el, hanem egymás mellett. Ebből adódik, hogy csak akkor fog zárt állapotba kerülni a kimeneti kapcsolóelem, ha a reflexiós optocsatoló előtt valamilyen fényt visszaverő tárgy van. Tehát ezt az alkatrészt tárgyak jelenlétének érzékelésére tudjuk használni.

Azt, hogy milyen távolságból képes egy tárgy detektálására, az optocsatoló típusa, az érzékelendő tárgy alakja, színe és a környezeti megvilágítás is befolyásolja.

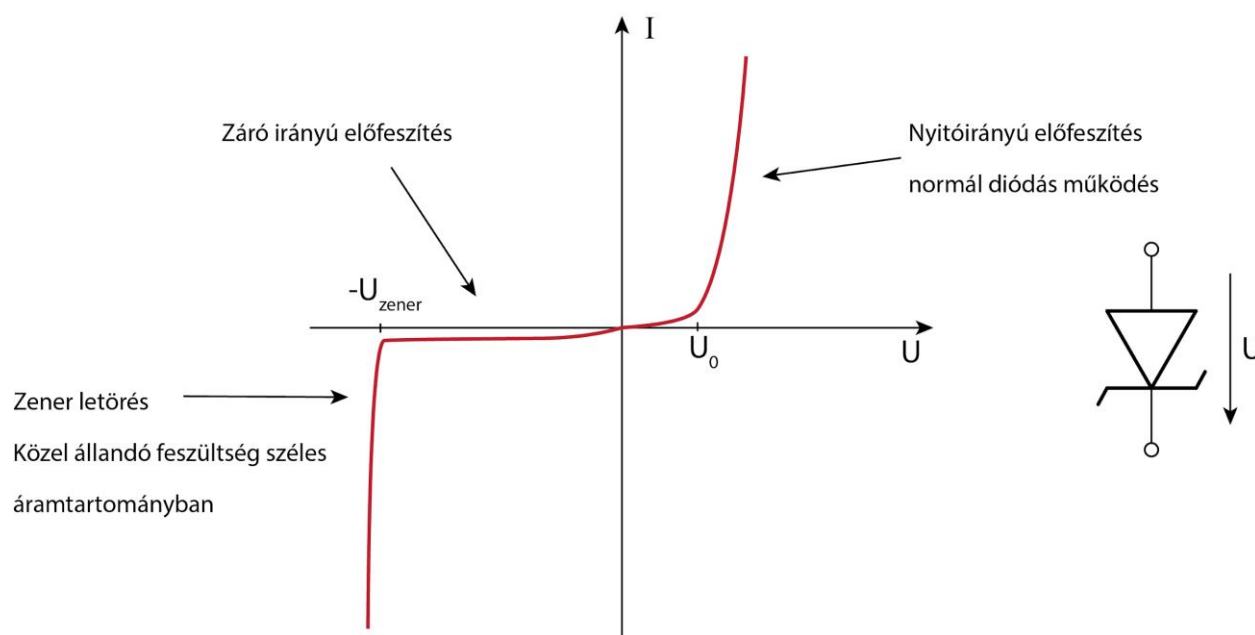


Forrás: HESTORE.hu, CNY70

22. ábra - Reflexiós optocsatoló kialakítása

Tokozási formáját tekintve nagyon különbözőek, a fenti képen láthatunk egy példát.

ZENER-DIÓDA



23. ábra - Zener dióda karakterisztikája

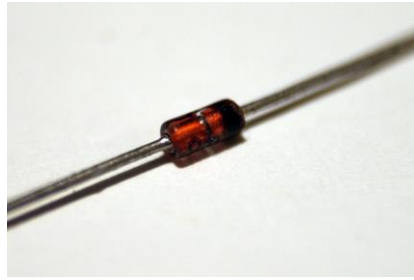
A Zener-dióda a korábban már ismertetett diódákhoz nagyon hasonló alkatrész, a feszültség-áram karakterisztikáját és rajzjelét az alábbi ábrákon láthatod. Első ránézésre semmi különbség nem látszik a közönséges dióda karakterisztikájával összevetve, azonban a letörési tartományban két fontos eltérés figyelhető meg.

Adott Zener-dióda letörési feszültségét pontosabban ismerjük, mint egy közönséges diódáét. Ezt a feszültségértéket Zener-feszültségnek nevezzük.

Másrészt a letörési tartományban a karakterisztika nagyon meredek. Ez azt jelenti, hogy ha a Zener-dióda katódja felől áram folyik az anód felé, akkor a rajta eső feszültség csak kis mértékben változik, azaz nagyon jó közelítéssel megegyezik a Zener-feszültségével.

A különbségekből következik, hogy olyan helyen érdemes őket alkalmazni, ahol szükség van ismert nagyságú feszültségre. Gyakorlati szempontból a diódákhoz képest "fordított bekötéssel" kötjük az áramkörbe, azaz a Zener-dióda katódja kerül pozitívabb feszültségre, hiszen így esik rajta a Zener-feszültség.

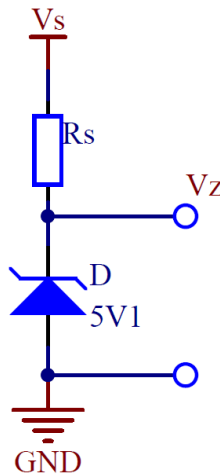
A Zener-diódákat gyakran egyszerűbb feszültségstabilizálási célokra alkalmazzuk. Ezen alkatrész megtalálható a legkülönbözőbb furatszerelt és felületszerelt tokozási formában. A kivezetések jelölése általában szabványos, a csíkkal jelölt része a katód (cathode).



Szerző: Teravolt [CC BY 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>)]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zener_Diode.JPG

24. ábra - Zener-diódák kialakítása

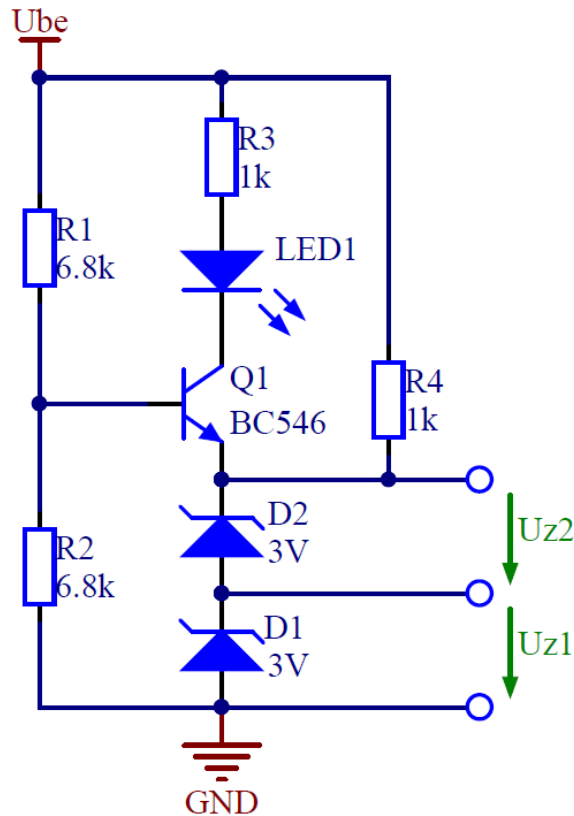
Az alábbi kapcsolási rajzon láthatjuk a Zener-dióda egy alkalmazási módját:



25. ábra - Zener-diódás kapcsolás

A kapcsolásban a Zener-dióda 5.1V zenerfeszültségű. Ez azt jelenti, hogy ennél nagyobb feszültség esetén kinyit, és lavina tartományban, állandó feszültség mellett kezd el vezetni. Emiatt a V_z kimeneten nem tud 5.1V-nál nagyobb feszültség megjelenni függetlenül a bemeneti V_s feszültségtől. 5.1V alatt Zener-dióda zárva marad, nem vezet. Ekkor a bemeneti és kimeneti feszültség megegyezik. A Zener-diódáról bővebben egy későbbi tananyagrészen olvashatsz, most csak az alapvető tulajdonságait szerettem volna bemutatni.

Az alábbi áramkör a 12V-os akkumulátorok feszültségének ellenőrzésére szolgál, melyben kihasználjuk a Zener-dióda letörési feszültségét a jelszint eltolása végett.



26. ábra - Akkumulátor tesztelő áramkör

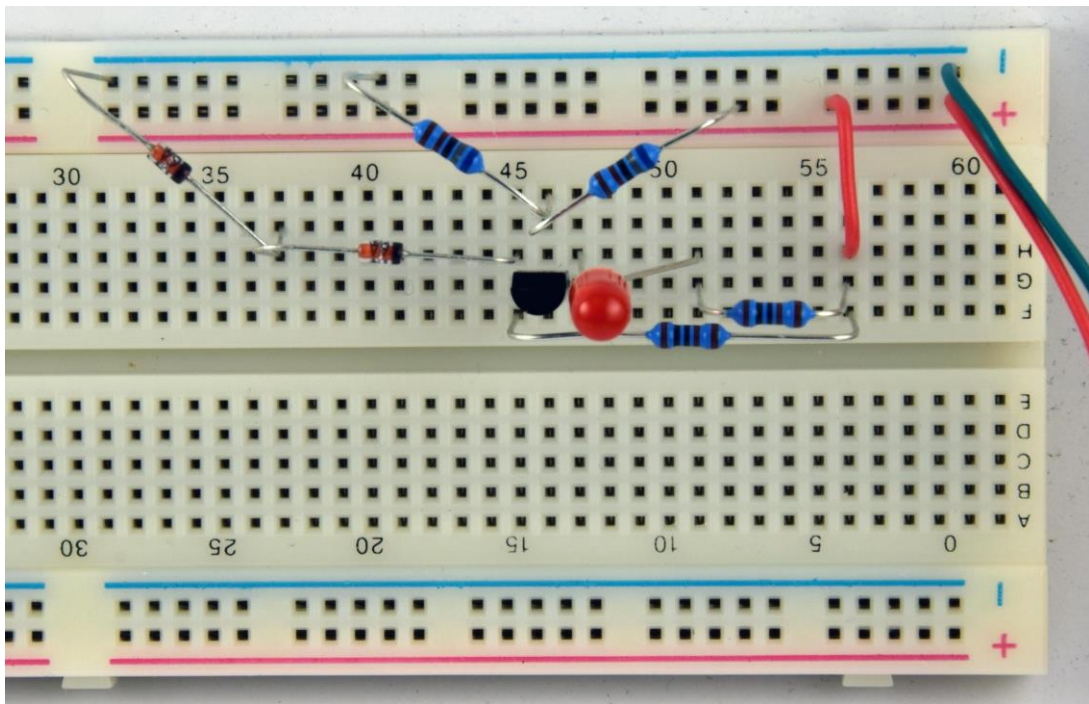
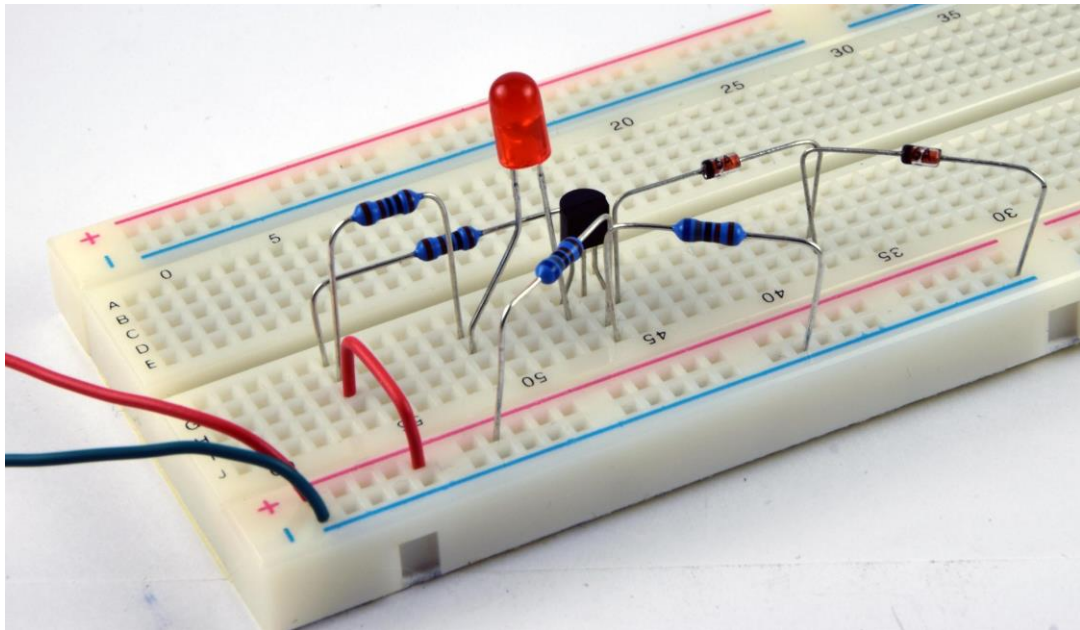
A tranzisztor emitterével sorba kapcsoltunk két 3V-os Zener-diódát azzal a céllal, hogy az emitter feszültségét 6V-ra emeljük. Ahhoz, hogy a Zener-diódákon kialakuljon a 3V-os Zener-feszültség, pár milliampernyi áramot kell rajtuk átfolyatni. Ezt az áramot az R4 ellenállás biztosítja (előfeszíti a diódákat).

Miért volt erre szükség? Azért, hogy a GND-hez képest a tranzisztort ne 0,6V-os feszültséggel tudjuk nyitni, hanem ettől magasabb értékkel. Ezen érték az alábbiak szerint alakul: $U_{z1} + U_{z2} + \text{Tranzisztor nyitófeszültség}$, vagyis: $3V + 3V + 0,6V = 6,6V$

A tranzisztor bázisa R1 és R2 alkotta feszültségosztóba van bekötve. Mivel a két ellenállás értéke megegyezik, ezért a bázisfeszültség a tápfeszültség fele lesz (ha a tranzisztor zárva van, vagyis nem folyik bázisáram).

Tegyük fel, hogy a bemenetre kapcsolunk 13 V-ot. Ekkor a tranzisztor bázisa $13V / 2 = 6,5V$ -os potenciálra kerül. Mivel 6,6 V-os feszültség kell hogy a tranzisztor kinyisson, ezért a tranzisztor még zárva marad, vagyis a nyitáshoz $2 \cdot 6,6 = 13,2V$ feszültséget kell kötni a bemenetre.

A gyakorlatban (az alkatrészek szórása miatt) már 12 V-tól halványan pislákol a LED, 14V-nál már szinte teljes fényerővel világít, tehát ezen kis áramkör megfelel 12V-os akkumulátorok feszültség szintjének megállapítására.



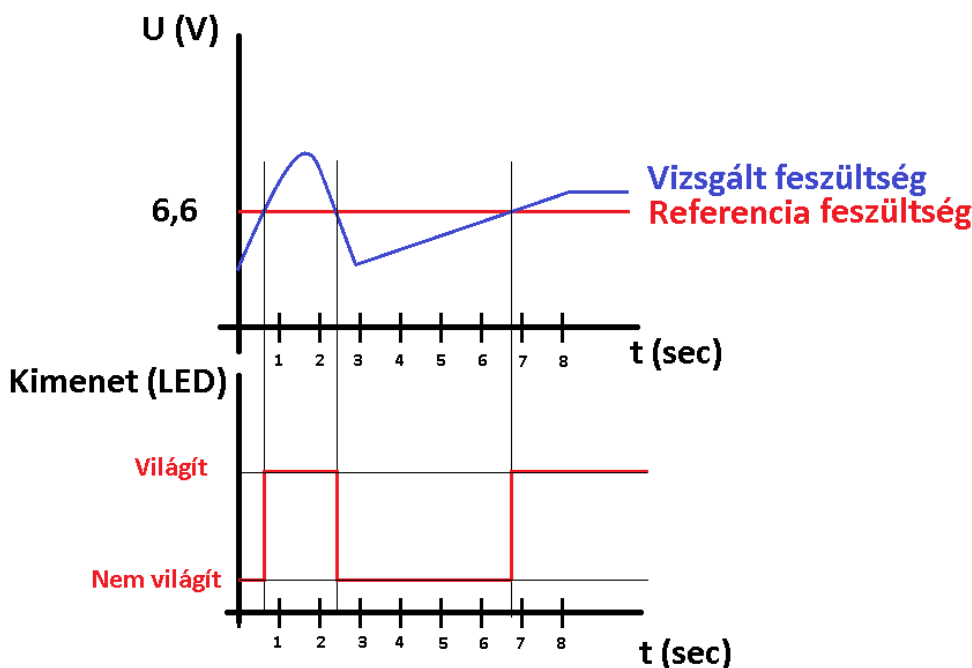
27. ábra - Összeállított kapcsolás próbapanelen

Ez a példány Rába Ármin kizárólagos használatú példánya.

<http://kristalyisztaelektronika.hu> | Minden jog fenntartva Xtalin Mérnöki Tervező Kft.

ANALÓG JELEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Ebben a részben két analóg jelet szeretnénk egymással összehasonlítani és a viszonyuk függvényében egy kimenetet vezérelni. A két analóg jelet nevezzük el, az egyik egy ismert feszültség: "referencia feszültség", a másik pedig az ismeretlen feszültség: "vizsgált feszültség". A "referencia feszültséget" az áramkörben mindig tekintsük állandónak, és a "vizsgált feszültséget" változó értékűnek. A korábban ismertetett 12V-os akkumulátor teszter kapcsolásban a referencia feszültség a Zener-diódák letörési feszültségeiből és a tranzisztor bázis-emitter feszültségéből adódtak össze (vagyis 6,6V), a vizsgált feszültség a bemeneti feszültség (tápfeszültség) fele. Ennek a két feszültségnek a viszonyát szeretnénk vizsgálni a későbbiekben majd egy áramkörrel, és eldönteni hogy a vizsgált feszültség a referenciához képest kisebb vagy nagyobb. A lentebbi ábrán látható hogy a "referencia feszültséghez" képest a "vizsgált feszültség" milyen hatással van a LED fényére.



28. ábra - Elvárt működés diagramja

A korábban bemutatott akkumulátor ellenőrző áramkörnek vannak hibái. Ezek a hibák abból adódnak hogy a zener diódákon, ha változik az átfolyó áram erőssége, akkor kis mértékben, de változik a rajtuk eső feszültség is. Illetve a tranzisztor sem egy állandó Bázis-Emitter feszültségnél nyit ki, hanem az egyéb környezeti paraméterektől is függ. Vagyis a "referencia feszültség" nem stabil érték. Ebből arra következtethetünk, hogy ezzel a felépítéssel és alkatrészekkel egyszerűen nem lehet megoldani hogy határozottan változzon meg a kimeneti jelszint. (LED állapota.) Ezen felül további probléma hogy a vizsgált feszültség forrást terheltük azzal az árammal, ami a tranzisztor meghajtásához kellett.

Összefoglalva a korábbi áramkör hibáit:

- A kimenet állapotváltozása átmenetes, nem hirtelen változású.
- Terheli a mért áramkört (viszonylag nagy áram folyik be a bemeneten).

Két analóg jel összehasonlítását nevezhetjük komparálásnak is. Ezen jelek hibamentes összehasonlítására alkalmazzuk a "komparátor" megnevezésű céláramkört. Ezen felül rengeteg mikrovezérlő is tartalmaz komparátor perifériát, ahol egy referencia feszültséghez tud egy bemeneti ismeretlen feszültséget komparálni.

A MŰVELETI ERŐSÍTŐTŐL A HISZTERÉZISES KOMPARÁTORIG

A következő néhány oldalban odáig szeretnénk eljutni, hogy megértsük, hogyan is működik egy hiszterézises komparátor, ehhez az úgynevezett műveleti erősítőt, és néhány fogalmat meg kell ismerjünk.

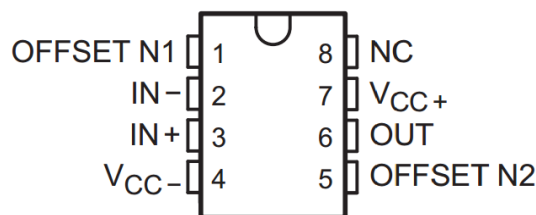
MI AZ A MŰVELETI ERŐSÍTŐ?

A műveleti erősítőnek legalább öt kivezetése van, melyek a következők:

- Pozitív tápfeszültség
- Negatív tápfeszültség
- Pozitív bemenet, másik nevén neminvertáló bemenet
- Negatív bemenet, másik nevén invertáló bemenet
- Kimenet

Különbféle tokozásban gyártják őket. A leggyakoribb tokozásnak (DIP8 vagy SO8) nyolc kivezetése, tehát a fenti ötön kívül még három különféle funkciót betöltő lába van. Ezzel a hárommal most nem foglalkozunk, a megértéshez elég a fent felsoroltak funkcióját megismerni. Előfordulnak még olyan típusok, amelyek egy tokban több műveleti erősítő egységet tartalmaznak, ebben az esetben a tápfeszültségük közös. Adott műveleti erősítő típus lábainak funkciójáról az alkatrész adatlapjában találunk bővebb információt.

A következőkben a TL081 típust mutatom be, az ábrán látható a lábkiosztása. Az előző bekezdés alapján a 2,3,4,6,7 lábakat fogjuk használni.



Forrás: Texas Instruments TL081 adatlap

29. ábra - TL081 komparátor lábkiosztása

A műveleti erősítő a kimenetere a pozitív és a negatív bemenetei közötti feszültségkülönbség konstansszorosát kapcsolja, vagyis képlettel írva:

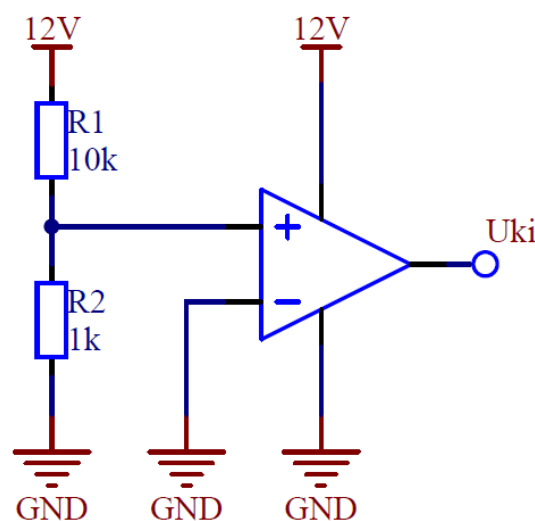
$$U_{ki} = A_{u0} \cdot (U_P - U_N)$$

Ez a konstans szám, melyet a képletben A_{u0} jelöl, a műveleti erősítő erősítése. Az értéke sok paramétertől függ (például műveleti erősítő típusától, hőmérsékletétől), általában tízezer és egymillió között van.

Ez azt jelenti, hogy ha a neminvertáló bemenetén 1V-tal nagyobb a feszültség az invertáló bemenetéhez képest, akkor a képlet alapján a kimeneti feszültség 10.000V-1.000.000V között kellene legyen. Jogosan érezhetjük azt, hogy ez nem lehetséges. A kimeneti feszültséget a pozitív és a negatív tápfeszültség korlátozza: pozitívnál nem lehet nagyobb, a negatívnál nem lehet kisebb. Ezt a jelenséget telítésnek/szaturációnak nevezzük. Tehát 1V bemeneti feszültségkülönbség esetén a valóságban a pozitív tápfeszültséget mérhetnénk a kimeneten.

Egyes műveleti erősítő típusok nem képesek a teljes tápfeszültséget rákapcsolni a kimenetükre, vagyis maximum a pozitív tápfeszültségnél kicsivel kisebbet, és minimum a negatívnál kicsivel nagyobbat mérhetnénk a kimeneten. Azokat a típusokat, amelyek képesek táptól-tápig vezérelni a kimenetüket, rail-to-rail műveleti erősítőknek nevezzük.

A TL081 nem rail-to-rail típus. A következő áramkör segítségével demonstrálni lehet ezt a tulajdonságát. Egy ellenállásosztóval a tápfeszültséget a 11-ed részére osztjuk le, így 1,2V körüli feszültség mérhető a neminvertáló bemeneten. A műveleti erősítő kimenetén a tápfeszültségnél kicsivel kisebb feszültséget fogsz mérni.



30. ábra - Egyszerű műveleti erősítő csatlakozás

HOGYAN LESZ A MŰVELETI ERŐSÍTŐBŐL KOMPARÁTOR?

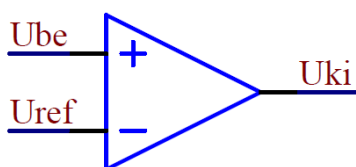
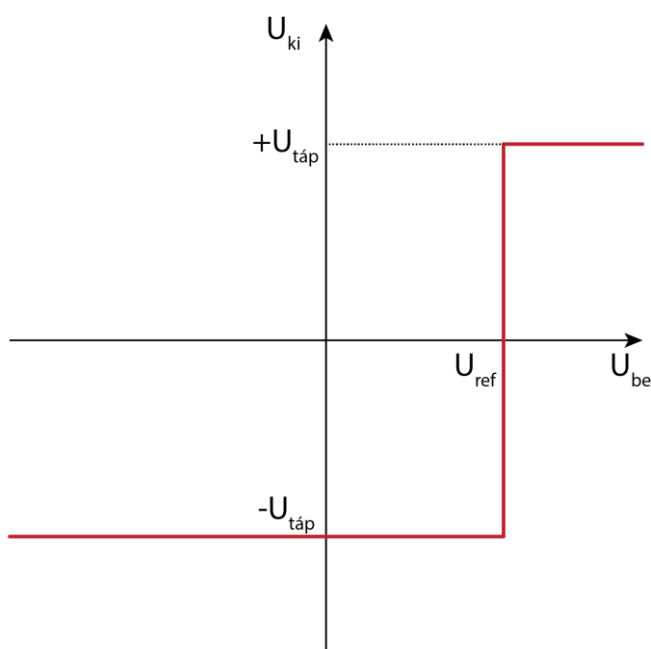
A komparátorok két analóg bemeneti jel összehasonlítását végzik. Általában egy ismert feszültséggel (referenciafeszültséggel) szeretnénk összehasonlítani egy másik feszültségjelet.

Ha egy műveleti erősítő invertáló bemenetére a referenciafeszültséget, a neminvertáló bemenetére pedig az összehasonlítandó jelet kötjük, akkor a műveleti erősítő kimenete:

- a pozitív tápfeszültség, ha a komparálandó jel nagyobb a referenciafeszültségnél
- a negatív tápfeszültség, ha a komparálandó jel kisebb a referenciafeszültségnél.

Invertáló bemenet (-)	Nem invertáló bemenet (+)	Kimenet
U_{ref}	$>U_{ref}$	$U_{táp+}$
U_{ref}	$<U_{ref}$	$U_{táp-}$

Tehát a műveleti erősítő kimeneti feszültségének aktuális értéke jelzi, hogy az összehasonlítandó jel nagyobb vagy kisebb a referenciafeszültséghez képest, vagyis ez az áramkör egy komparátor.



31. ábra - Műveleti erősítő jele és karakterisztikája

Kitekintés

Mire jó még műveleti erősítő?

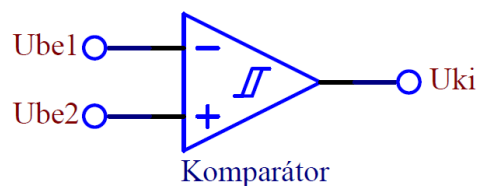
Ha a műveleti erősítő invertáló bemenetét összekötjük a kimenetével, akkor a kimeneti feszültség meg fog egyezni a neminvertáló bemenetén mérhető feszültséggel.

Felvetődhet a kérdés, hogy miért van ez így? Gondoljuk át mi történik! Tegyük fel, hogy kezdetben a pozitív bemenet és a kimenet értéke is 0V. Kapcsoljunk képzeletben például 1V feszültséget a pozitív bemenetre. Ekkor a műveleti erősítő bemenetei közötti feszültségkülönbség 1V lesz, emiatt a kimeneti feszültség elkezd növekedni egészen addig, amíg el nem éri az 1V-ot: ekkor a bemeneti feszültségkülönbség 0V lesz (mivel a neminvertáló bemenetre a kimeneti feszültség van kötve). Elképzelhetjük úgy is, hogy a műveleti erősítő úgy változtatja a kimenetét, hogy a bemeneti feszültségkülönbsége 0V legyen. Ez a gondolkodás minden olyan esetben igaz, ha a kimenet kapcsolatban van az invertáló bemenetével, vagyis, ha, úgynevezett negatív visszacsatolás van a kimenet és a bemenet között.

Mire jó ez az áramkör? A műveleti erősítő bemenetén nagyon kis áram folyik (uA nagyságrendű), míg a kimenetén ennél jóval nagyobb (mA nagyságrendű) folyhat károsodás nélkül, vagyis a műveleti erősítő segítségével egy kisáramú feszültségforrásból (például egy ellenállásosztó) készíthetünk egy nagyobb árammal terhelhető. Ezt az áramkört követő erősítőnek nevezzük. Ha van kedved nyugodtan építsd meg ezt a kapcsolást.

A boltokban kapható komparátorok tulajdonképpen olyan műveleti erősítők, amelyek bizonyos szempontból előnyösek, ha komparátorként akarjuk használni őket; műveleti erősítőként viszont előnytelen tulajdonságokkal rendelkeznek. Azt érdemes megjegyezned, hogy műveleti erősítőt erősítésre használjuk, a komparátorokat pedig feszültségjelek összehasonlítására. Az alapvető működésük szempontjából nincs különbség közöttük.

A kapcsolási rajzokon a komparátort és a műveleti erősítőt gyakran egyforma szimbólummal ábrázolják. Ha jelölik, akkor általában az ábrán látható módon.



32. ábra - Komparátor jele

KOMPARÁTOR TÍPUSOK

Komparátorból is több féle létezik, például:

- Ablakkomparátor
- Histerézis nélküli komparátor
- Histerézises komparátor

Az ablakkomparátor azt jelzi a kimenetén, hogy a bemeneti jel beleesik-e egy feszültség tartományba (feszültségablakba).

A hiszterézis nélküli komparátor az egyszerű komparátor, amelyet az előzőekben megismertünk.

A hiszterézises komparátorok annyiban különböznek a hiszterézis nélküli komparátoroktól, hogy a telítési állapotok közötti váltáshoz a bemeneti feszültségeknek egy minimális feszültségértékkel el kell térniük egymástól. Ez a feszültségkülönbség a hiszterézisfeszültség. A hiszterézissel pár bekezdéssel később részletesen fogunk foglalkozni, egyelőre elég ennyit tudnod róla.

A valóságban a boltokban kapható hiszterézis nélküli komparátorok is rendelkeznek hiszterézissel, de a hiszterézisfeszültségük annyira kis értékű, hogy a gyakorlatban elhanyagolható.

A komparátorok kimenetét tekinthetjük digitális jelnek, azaz logikai szempontból "0" értékű, ha a kimeneti feszültség a negatív tápfeszültség és "1" értékű, ha a kimeneti feszültség a pozitív tápfeszültség.

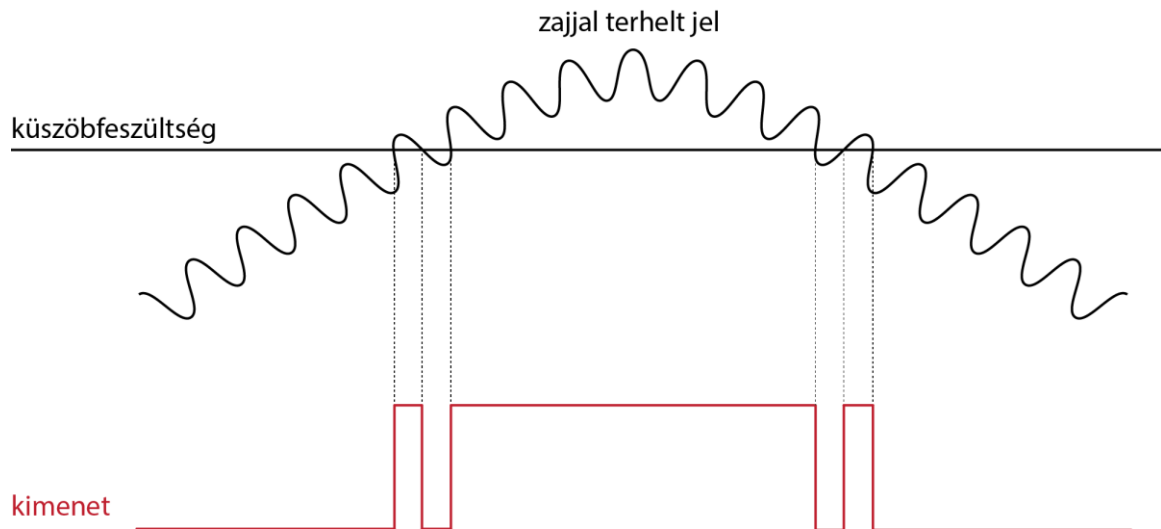
HISZTERÉZISES KOMPARÁTOR

Hiszterézis nélküli komparátorból könnyedén készíthetünk hiszterézises komparátort, de előtte vizsgáljuk meg közelebbről, hogy miért lehet szükség a hiszterézisre.

Tegyük fel, hogy egy klímaberendezéssel felszerelt szoba hűtését akarjuk vezérelni. Azt szeretnénk, hogy 23°C legyen a szobában.

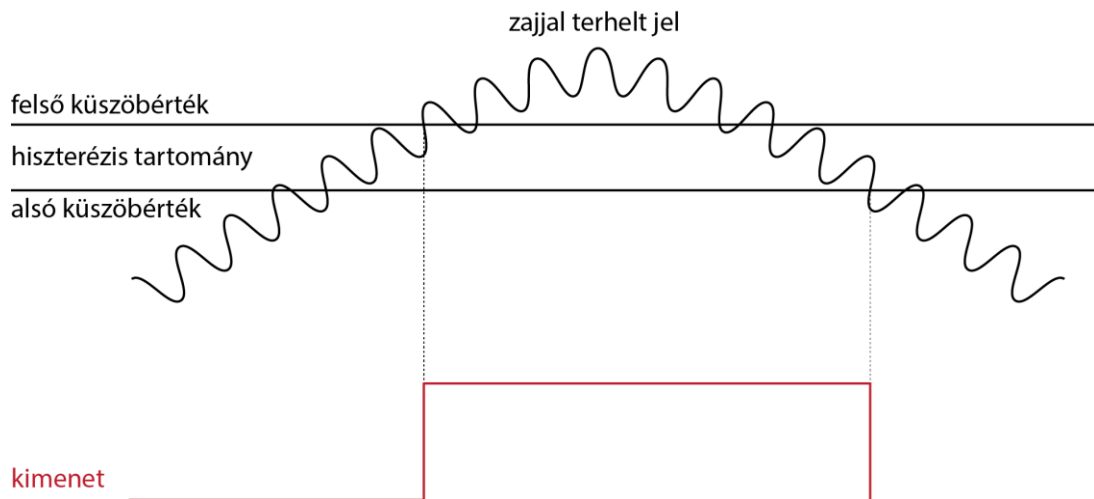
Rendelkezésre áll egy hőmérő. A hőmérséklet jelét egy komparátorra kötjük, melynek a referenciahőmérséklete 23°C, a kimenetével pedig a klímaberendezést kapcsoljuk. Tehát ha a hőmérséklet nagyobb mint 23°C, akkor a klímaberendezést bekapcsoljuk, ha kisebb, akkor kikapcsoljuk. Képzeld el, hogy a szobahőmérséklet 30°C-ról lecsökkent 22,99°C-ra, tehát kikapcsol a klímaberendezés. Emiatt hideg levegő áramlása megszűnik, a szobában levő melegebb levegőtömeg miatt a hőmérő gyorsan visszamelegszik és 23°C-t jelez. Ez a komparátort visszabillenti az előző állapotba, a klímaberendezés bekapcsol. Így azonban újra megindul a hideg levegő áramlása, a hőmérő hűlni kezd, a komparátor újra kikapcsolja a klímaberendezést, és így tovább. Ez a ki-be kapcsolgatás nem tesz jót a klímaberendezésnek. Meg kellene oldanunk, hogy csak akkor kapcsoljuk be, ha a hőmérséklet "valamennyivel" 23°C felett van (például 23,6°C), illetve akkor kapcsoljuk ki, ha a hőmérséklet 23°C-nál "valamennyivel" kisebb (például 22,4°C). A két kapcsolási érték közötti különbséget nevezzük hiszterézisnek.

Általában szükség van hiszterézisre, ugyanis a valóságban minden mérés zajos, azaz a mért érték "ugrál" a valóságos érték körül, emiatt a komparálási értéknél a kimenet is a zajnak megfelelően "ugrál". A jelenséget az alábbi ábra szemlélteti.



33. ábra - Histerézis szükségessége mérés esetén

A histerézist úgy is elképzelhetjük, hogy két küszöbérték van. Akkor vált át a komparátor kimenete "1" állapotból "0" állapotba, ha a bemeneti jel kisebb az alsó küszöbértéknél és akkor vált a kimenete "0" állapotból "1" állapotba, ha a bemeneti jel nagyobb a felső küszöbértéknél. Ha megfelelően választjuk meg a küszöbértékeket, akkor a zajok okozta ki-be kapcsolgatásokat meg tudjuk szüntetni.

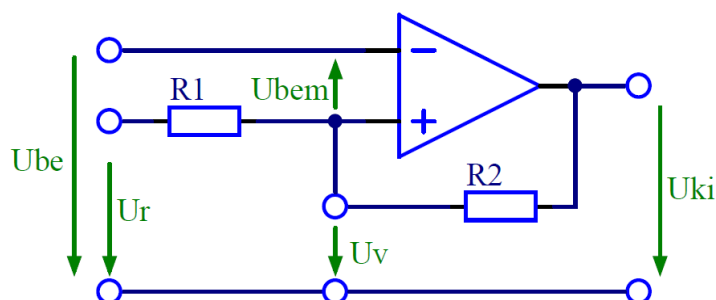


34. ábra - Zajos jel komparálása histerézises esetben

Visszatérve a szoba hűtéséhez, tegyük fel, hogy meguntuk az örökös kapcsolgatást, eldöntöttük, hogy kompromisszumot kötünk, és elviseljük, hogy a hőmérséklet 22 és 24 fok között lesz és beszerzünk egy histerézises komparátort. Úgy állítjuk be a komparátorunkat, hogy a histerézisfeszültség a 2°C-nak megfelelő feszültségérték legyen, a komparálási feszültség pedig a 23°C-nak megfelelő feszültségértéknél. Induljunk megint 30°C-ról. A klímaberendezés addig működik, amíg a szoba le nem hűl 22°C-ra, ekkor a klímaberendezés kikapcsol. A hőmérséklet emelkedni kezd, de a klímaberendezés nem kapcsol be 23°C-on, hanem majd csak 24°C-nál. Elértük, amit szerettünk volna: nincs folyamatos kapcsolgatás, mégis kellemes hőmérsékleten olvasgathatjuk tovább a komparátorokról szóló részt.

FÁBÓL VASKARIKA, AVAGY HISZTERÉZIS NÉLKÜLI KOMPARÁTORBÓL HISZTERÉZISES KOMPARÁTOR

Most nézzük meg konkrétan, hogyan is készíthetünk egy általunk meghatározott hiszterézisfeszültségű komparátort!



35. ábra - Összeállított kapcsolás a próbapanelen

A kapcsolás egyszerűnek mondható: egy komparátorra és két ellenállásra van szükség. Így bekötve a két ellenállás úgynevezett pozitív visszacsatolást eredményez. A kimenet aktuális állapota visszahat a bemenetre, emiatt a bemeneten nagyobb változásra van szükség, hogy ellensúlyozni tudja ezt a visszacsatoló hatást. Emiatt a bemeneten nagyobb változásra van szükség, hogy ellensúlyozni tudja ezt a visszacsatoló hatást.

Az áramkör különböző paramétereit a következő összefüggések alapján számíthatjuk ki. (A “Miért pont így?” kérdés megfajtására adott választ a villamosmérnöki szak első félévében megtudhatjátok, minden kedves érdeklődőt bátorítanék rá. Ez itt a reklám helye.)

A magas komparálási küszöbérték:

$$U_{th} = U_r \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} - U_{ki-} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Az alacsony komparálási küszöbérték:

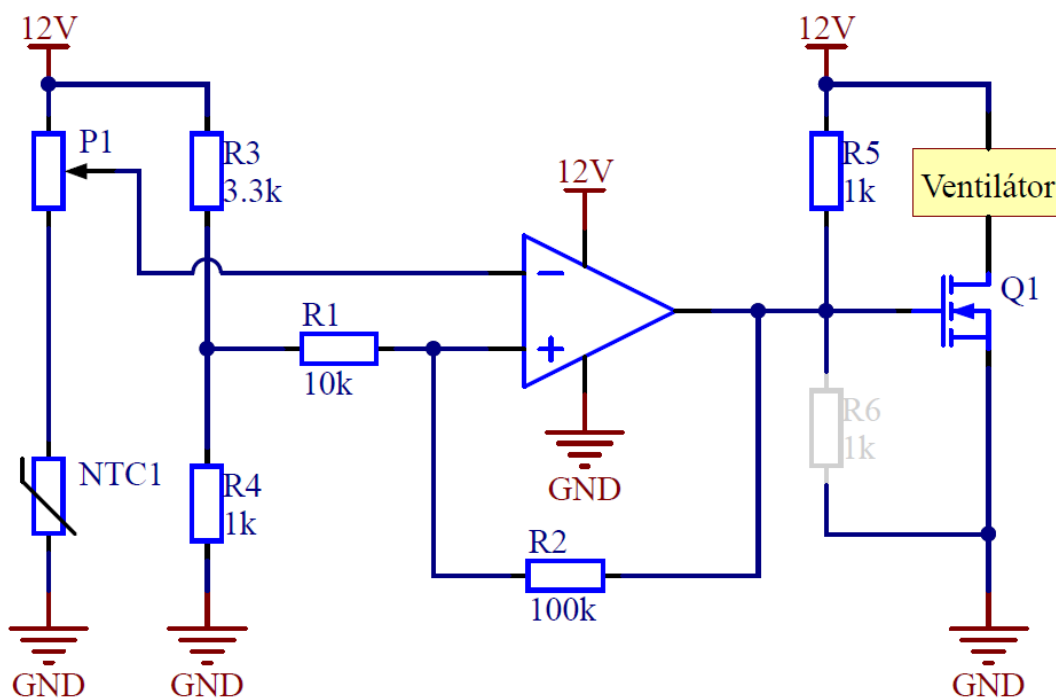
$$U_{tl} = U_r \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} - U_{ki+} \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Kitekintés

A Schmidt-trigger a hiszterézises komparátor szinonímája, gyakran találkozhatasz ezzel a kifejezéssel, ha komparátorokkal kapcsolatos irodalmat olvasol.

Építsük meg a szoba hűtéskapcsolóját! Mire lesz szükségünk? Kelleni fog egy hőmérő, amely feszültséggé alakítja a hőmérsékletet. Szükség van még egy hiszterézises komparátorra és egy potenciométerre, hogy állítani lehessen a szoba kívánt hőmérsékletét, valamint egy referenciafeszültségre, melyet egy ellenállásosztóval tudunk egyszerűen megvalósítani.

Az áramkört az alábbi ábrán láthatod. A felhasznált komparátor típus érdekessége, hogy logikai “1” állapotban nem képes a kimenetére kapcsolni a pozitív tápfeszültséget. Emiatt szükség van egy felhúzó ellenállásra a kimeneten, ami ilyen esetben pozitív tápfeszültségre köti a kimenetet.



36. ábra - NTC hőmérővel kapcsolt ventilátor komparátoros logikával

Az ellenállások értéke alapján

$$U_r = U_{táp} \cdot R_3 / (R_3 + R_4) = 12[V] \cdot 3,3[k\Omega] / 4,3[k\Omega] = 9,2[V]$$

$$U_{th} = U_r \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} - U_{ki-} \cdot \frac{R_1}{R_2} = 9,2[V] \cdot \frac{10 + 100}{100} - 0[V] \cdot \frac{10}{100} = 10,1[V]$$

$$U_{tl} = U_r \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2} - U_{ki+} \cdot \frac{R_1}{R_2} = 9,2[V] \cdot \frac{10 + 100}{100} - 12[V] \cdot \frac{10}{100} = 8,92[V]$$

Az áramkör működését tekintsük át először úgy, mintha R6 ellenállás nem lenne beépítve. Az NTC és a potenciométer egy feszültségosztót alkot. Az NTC ellenállása a hőmérséklet csökkenésekor növekszik, emiatt (ha a potenciométert nem csavargatjuk) a komparátor negatív bemenetén levő feszültség növekedni kezd. Ha ez a feszültség U_{th} feszültség fölé emelkedik (esetünkben 10,1V fölé), akkor a komparátor a kimenetét összeköti a negatív tápfeszültséggel, vagyis a kimeneti feszültség 0V lesz. Ez a MOSFET kikapcsolását eredményezi, így a ventilátor nem fog forogni.

Ha ezután a hőmérséklet növekedni kezd, fordított folyamat játszódik le: az NTC ellenállása csökkenni kezd, így a komparátor negatív bemeneti feszültsége is csökkenni fog. Ha U_{tl} alá csökken (esetünkben 8,92V alá), akkor a komparátor logikai "1" állapotba kerül, a kimenetét lekapcsolja a negatív tápfeszültségről, így R5 ellenálláson nem folyik áram, feszültség sem esik rajta, tehát a MOSFET gate

feszültsége is 12V-ra emelkedik. Emiatt a MOSFET bekapcsol, ami a ventilátor forgását fogja eredményezni.

Fontos megjegyezni, hogy a MOSFET-ek maximálisan megengedhető gate-soruce feszültsége típusonként eltérő lehet, mindig le kell ellenőrizni, hogy az adatlapban szereplő határértékeket ne haladjuk meg. A példánkba szereplő NTD4963N típus gate-soruce feszültsége $\pm 20V$ közötti lehet. Az áramkörben a gate-soruce feszültség 0V és 12V közötti tartományban változik, tehát megfelelünk a kritériumnak.

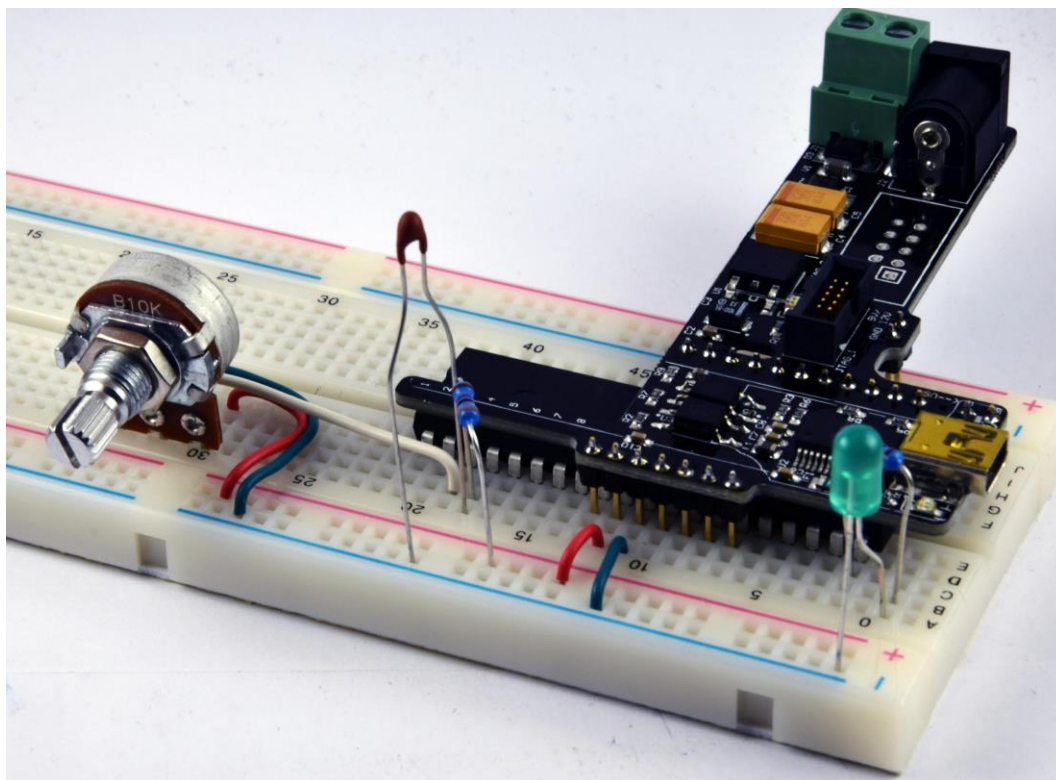
Ha olyan MOSFET-et alkalmaznánk, amely maximális gate-source feszültsége 12V-nál kisebb, akkor szükség van az R6 ellenállás beépítésére, így, ha a komparátor lekapcsolja a kimenetét a negatív tápfeszültségről, a MOSFET gate-source feszültsége 6V körüli értékű lesz, hiszen R5 és R6 egy feszültségosztót alkotnak és ellenállás értékük megegyezik. R6 értékét úgy kell megválasztanod, hogy a rajta eső feszültség mindig kisebb legyen a MOSFET maximálisan megengedett gate-soruce feszültségénél.

Az áramkört úgy tudod tesztelni, hogy nyugalmi állapotban addig tekergeted a potenciométert, amíg a ventilátor épp ki nem kapcsol. Ezután ha a kezddel melegíted az NTC-t, a ventilátornak be kell kapcsolnia. Ha abbahagyod a melegítést, a ventilátornak rövid időn belül újra ki kell kapcsolnia.

A ventilátort helyettesítheted például egy LED-el, csak ne felejts el megfelelő értékű ellenállást sorbakötni vele!

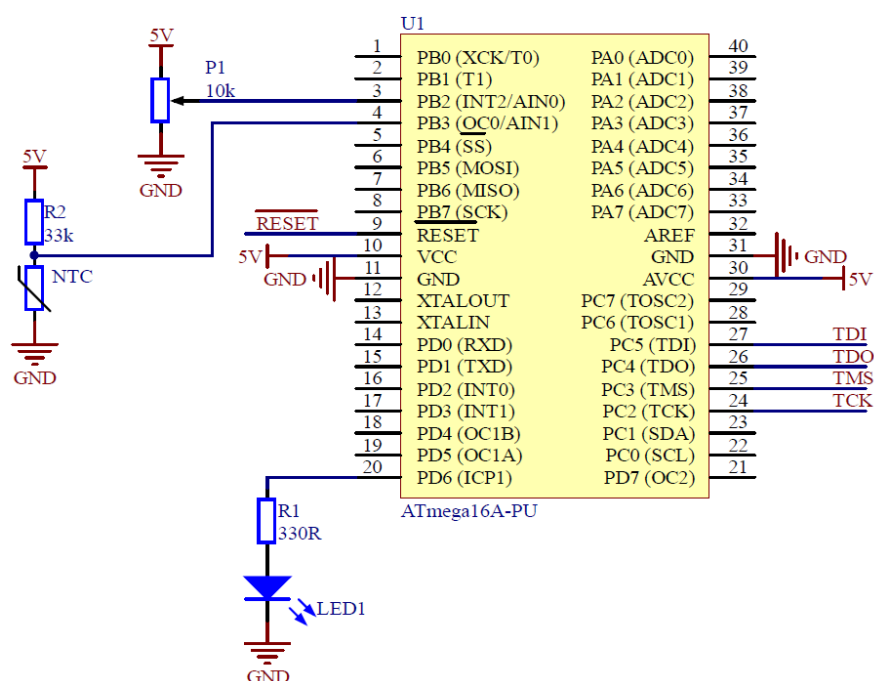
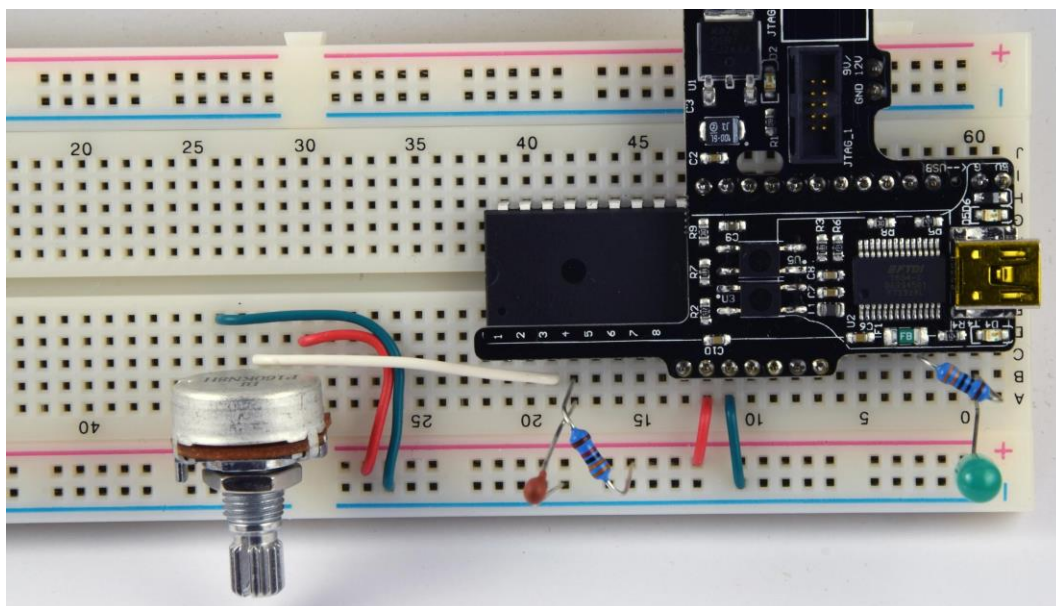
MIKROVEZÉRLŐ KOMPARÁTORA

Most, hogy megismertük a komparátorokat, nézzük meg, hogy hogyan is használhatjuk a mikrovezérlőbe beépítettet!



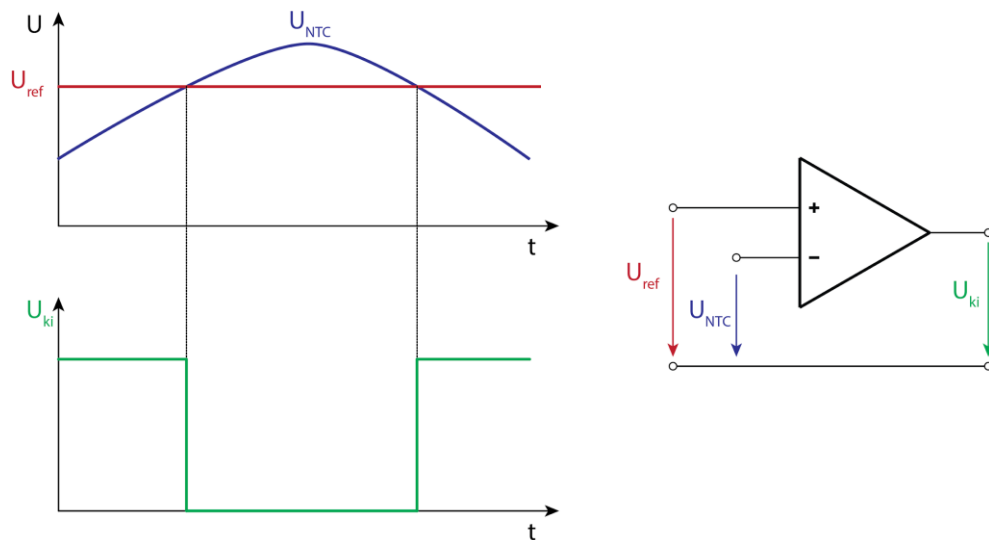
Ez a példány Rába Ármin kizárólagos használatú példánya.

<http://kristalytisztalelektronika.hu> | Minden jog fenntartva Xtalin Mérnöki Tervező Kft.



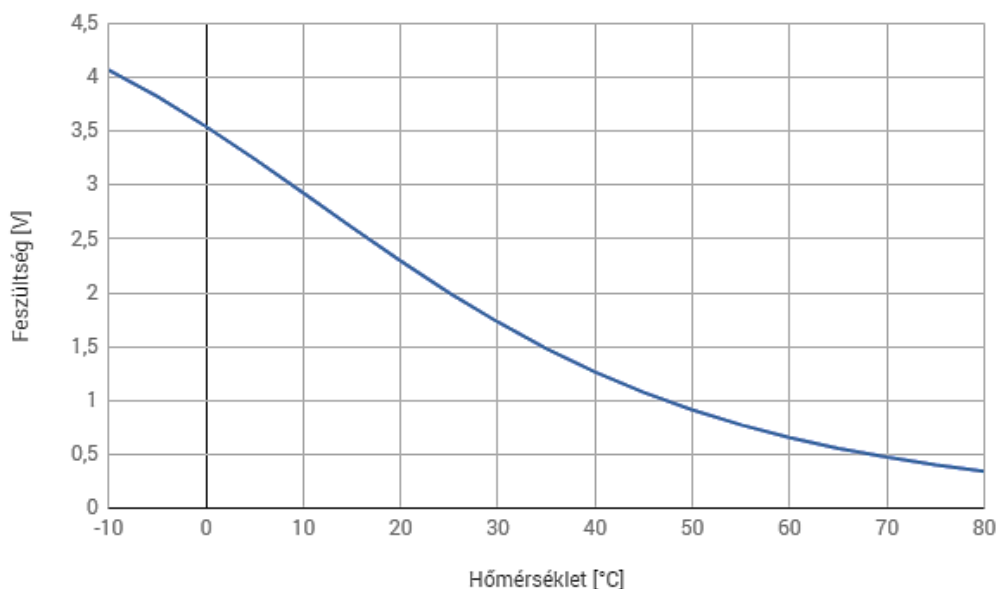
37. ábra - Mikrovezérlős példa komparátorra

Állítsuk össze a fenti kapcsolást a breadboard-on. A LED-hez használjunk 330Ω-os előtét ellenállást. Egy 10kΩ-os potenciómétert használjunk referenciafeszültség előállítására, a csúszóérintkezőjét kössük a komparátor AIN0 (pozitív) bemenetére. Hőmérséklet mérése céljából használjuk a 22kΩ-os NTC termisztort és kössük vele sorba egy 33kΩ-os ellenállást, a közbülső pontot csatlakoztassuk a komparátor AIN1 (negatív) bemenetére. A komparátor kimenete logikai egy lesz, ha a neminvertáló (AIN0) bemenetén a feszültség nagyobb, mint az invertáló (AIN1) bemenetén, különben logikai nulla. Vizsgáljuk meg, hogyan változik a komparátor kimenete az NTC ellenállásváltozása, azaz a hőmérséklet függvényében. Ha az NTC-n eső feszültség alacsonyabb a referencia értéknél, akkor a kimenet magas lesz, ellenkező esetben alacsony.



38. ábra - Komparátor kimenete a két bemenet függvényében

Az NTC és a vele sorba kötött 33k Ω -os ellenállás egy feszültségosztót alkot, ami az 5V-os tápfeszültséget osztja az ellenállások arányában. Szobahőmérsékleten, azaz 25°C-on az NTC ellenállása 22k Ω , azaz a rajta eső feszültség 2V. A hőmérséklet növekedésével az NTC ellenállása, így a rajta eső feszültség is csökken, például 35°C-on már csak 14k Ω az ellenállása, és 1.49V a rajta eső feszültség, míg 15°C-on 36k Ω az ellenállása, és 2.6V a rajta eső feszültség. Minden egyes hőmérséklethez megfeleltethetünk egy feszültségértéket, így a referencia feszültséget szolgáltató potméterrel lényegében egy referencia hőmérsékletet adhatunk meg.



39. ábra - 33k Ω -os fix és 22k Ω -os NTC feszosztó kimenete a hőmérséklet függvényében

Egy gondolkodtató kérdés:

Ha a potméterrel beállítom a 40°C-nak megfelelő 1.26V-ot, akkor 39°C vagy 41°C esetén lesz a komparátor kimenete logikai 1? Gondold végig, ne siesd el a választ.

Válasz:

A potméter a neminvertáló bemenetre van kötve, tehát ebben az esetben akkor lesz a kimenet logikai egy, ha a referencia feszültség magasabb az NTC-n eső feszültségnél. Mivel magasabb hőmérsékletek esetén a mért feszültség kisebb, így a 41°C-hoz alacsonyabb jelszint (1.22V) tartozik, míg a 39°C-hoz magasabb (1.3V). Tehát a referencia hőmérsékletnél magasabb értékek esetén a komparátor kimenete logikai magas, míg az alatt alacsony. A helyes válasz így a nagyobb, azaz 41°C.

Nézzünk meg ennek szemléltetésére egy példaprogramot. Töltsük be az Atmel Studio-ba a 14_1_Komparator projektet.

```
#include "../Headers/main.h"

int main(void)
{
    //PORT-ok inicializálása
    IOInit();

    //Komparátor inicializálása
    ComparatorInit();
}
```

Itt látható egy *ComparatorInit()* függvény, amely beállítja a komparátor státusz regiszterét (ACSR) a megfelelő értékre. Ennek működéséről bővebben olvashatsz a mikrovezérlő adatlapjának 193-195. oldalán. A komparátor kimenetének értékét az ACSR regiszter ACO bitje tartalmazza, melyet a *tbi(ACSR, ACO)* függvényhívással tudunk kiolvasni.

```
//Végtelen ciklus
while (1)
{
    //Komparátor kimenetének ellenőrzése
    if (tbi(ACSR, ACO) != 0)
    {
        //Bekapcsoljuk a LED-et, ha a kimenet logikai magas
        sbi(PORTD, 6);
    }
    else
    {
        //Kikapcsoljuk a LED-et, ha a kimenet logikai alacsony
        cbi(PORTD, 6);
    }
}
return 0;
}
```

Töltsük fel a kódot a mikrovezérlőre és teszteljük le. A potenciométerrel állítsuk be a referenciafeszültséget úgy, hogy a LED még éppen ne világítson. Ekkor, ha a kezünk melegével, vagy valamilyen más hőforrással felmelegítjük az NTC-t, akkor a LED világítani fog mindaddig, amíg vissza nem húl a beállított érték alá, ami a szobánk aktuális hőmérséklete.