



# Komparátorok vizsgálata

## 1. Bevezetés

Analóg makroszkopikus világunkban minden fizikai mennyiség folytonos értékkészletű. Csak néhányat említve ilyenek a hossz, idő, sebesség, az elektromos mennyiségek (feszültség, áramerősség, ellenállás), stb.

Ahhoz, hogy az analóg világból áttérjünk a digitális világba, az analóg mennyiségeket digitálissá kell alakítanunk. A legegyszerűbb digitális jelrendszer a kétértékű, azaz bináris rendszer. Ebben a digitális mennyiségek nagyságát a kettes számrendszerben adjuk meg. Itt összesen két számérték szükséges egy tetszőleges szám felírásához: a 0 és az 1. A kettes számrendszert többféle módon reprezentálhatjuk. Például elektronikusan úgy, hogy egy áramkörben, ha folyik áram, akkor az a digitális 1-et, ha pedig nem folyik, akkor az a digitális 0-át jelentse. Másik lehetőség, hogy ha valahol feszültség jelenik meg, akkor az digitális 1-et jelent, ha pedig nem mérünk feszültséget, akkor az digitális 0-át.

Amikor egy analóg jelet digitálissá alakítunk, az egyik alapfeladat az összehasonlítás. Ennek kapcsán két analóg értéket hasonlítunk össze, de az összehasonlítás eredménye már digitális érték, azaz csak két értéket vehet fel. Ha a két összehasonlítandó mennyiség feszültség ( $U_1$  és  $U_2$ ), akkor a két lehetséges eredmény:  $U_1 \leq U_2$ , illetve  $U_1 \geq U_2$  (miután csak két kimeneti érték lehetséges, olyan relációkat kell keresnünk, amelyek kölcsönösen kizárják egymást, ugyanakkor az összes lehetséges esetet lefedik).

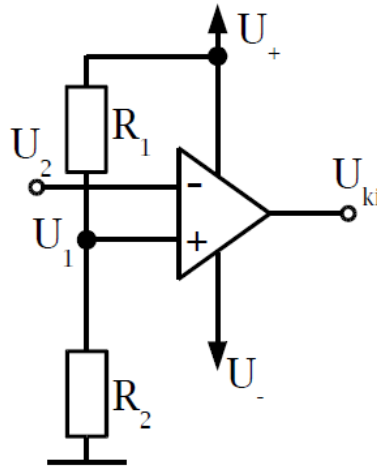
A digitalizálás mellett a műszaki gyakorlatban nagyon gyakori feladat annak megállapítása, hogy egy mennyiség meghalad-e egy adott értéket. Ilyen feladat lehet egy tartály vízszintjének, egy helyiségben a radioaktív sugárzás szintjének a figyelése, de ilyen a hőmérséklet figyelése egy hűtőgépben vagy egy sütőében. Mivel a figyelt mennyiségeket általában elektromos feszültséggé alakítjuk, így a feladatot feszültség szint összehasonlításra vezetjük vissza. A komparátorokat tehát a gyakorlatban sokszor felhasználjuk, így érdemes közelebbről megismerkedni velük.

Egy ilyen feladat megvalósításához olyan áramkörre van szükség, amelynek bemenete két analóg feszültséget tud fogadni és a kimenete két stabil állapot egyikébe billen.

Az ilyen tulajdonságú áramköröket nevezzük komparátoroknak. Komparátort többféle módon meg lehet valósítani. Ezen a laboron tranzisztorokkal és műveleti erősítővel felépíthető komparátorokkal foglalkozunk.

## 2. Komparátor kapcsolás műveleti erősítővel

A komparátor áramkör két feszültség jelet hasonlít össze és meghatározza, hogy melyik a nagyobb. Az összehasonlítás végeredménye a kimeneti feszültség szintben mutatkozik meg. Ha egy műveleti erősítő kimenete a pozitív tápfeszültségre billen, akkor a nem-invertáló (+) bemenetére vezetett jel nagyobb, mint az invertáló bemenetén (-) lévő jel. Ha pedig negatív tápfeszültségre billen az erősítő kimenete, akkor az invertáló bemeneten (-) lévő jel a nagyobb, vagyis a pozitívabb.



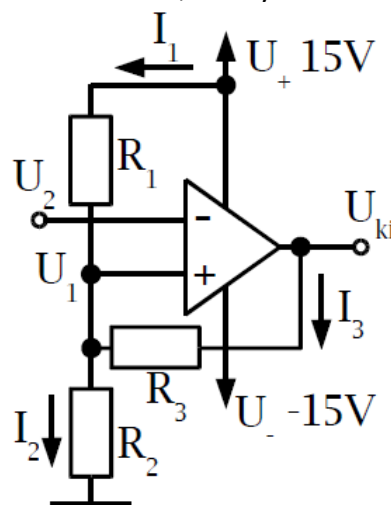
**1. ábra - Komparátor műveleti erősítővel**

Az 1. ábrán látható kapcsolásban az  $R_1$  és az  $R_2$  ellenállásokból létrehozott feszültségosztó adja meg az átbillenési feszültséget ( $U_1$ ). Ha a bemenő feszültség ( $U_2$ ) ennél kisebb, a műveleti erősítő kimenete a pozitív tápfeszültségre billen ( $U_2$  az invertáló bemenetre van kötve!), ha ennél nagyobb, akkor a negatív tápfeszültségre.

Ilyen kapcsolást ritkán szoktak alkalmazni, mert használatakor több probléma is adódik. Többek közt az erősítő a nagy bemenő ellenállása miatt erősen zajérzékeny. Mivel a bemeneti jel általában zajjal terhelt, ezért ha a jel átlagértéke az átbillenési feszültség közelében van, akkor a zaj ide-oda billenti. Ezek elkerülésére sokkal jobb lenne egy olyan áramkör, amelynél az átbillenéshez tartozó bemeneti feszültség különböző értékű. Más szóval az áramkörnek hiszterézise van. Ezt valósítja meg a Schmitt-trigger áramkör.

### 3. Schmitt-trigger kapcsolás műveleti erősítővel

A Schmitt-trigger olyan komparátor áramkör, amely hiszterézissel rendelkezik. (2. ábra)



**2. ábra – Schmitt-trigger műveleti erősítővel**



A műveleti erősítő tápfeszültsége itt +15V és -15V, ezért ezek jelentik ideális esetben a kimeneti feszültség szélső (telítési) értékeit is. Az átbillenési feszültséget most is az  $U_1$  feszültség adja meg, ez azonban most az  $R_3$  ellenállás által létrehozott pozitív visszacsatolás miatt függeni fog a kimeneti feszültségtől. Mivel a műveleti erősítőt ideálisnak tekintjük, az  $U_1$  feszültséget kizárólag a három ellenállás és két feszültség ( $U_{ki}$ , illetve  $U_+=15\text{ V}$ ) határozzák meg:

$$U_1 = R_2 \cdot (I_1 + I_3) = R_2 \cdot \left( \frac{15 - U_1}{R_1} + \frac{U_{ki} - U_1}{R_3} \right)$$

Az egyenletet  $U_1$ -re átrendezve :

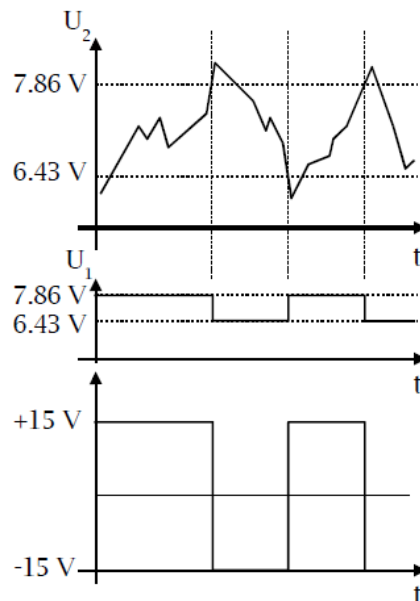
$$U_1 = \frac{15}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_3}} + \frac{U_{ki}}{1 + \frac{R_3}{R_2} + \frac{R_3}{R_1}}$$

A példában  $R_1=10\text{ k}\Omega$  ,  $R_2=10\text{ k}\Omega$  ,  $R_3=100\text{ k}\Omega$  és ezeket behelyettesítve:

$$U_1 = \frac{15}{2.1} + \frac{U_{ki}}{21}$$

A billenési értékek  $U_{ki+}=15\text{ V}$  és  $U_{ki-}=-15\text{ V}$  behelyettesítésével:  $U_{1+}=7,86\text{ V}$ ,  $U_{1-}=6,43\text{ V}$ .

Ezért a Schmitt-trigger kimeneti feszültsége a 3. ábrán látható módon fog alakulni



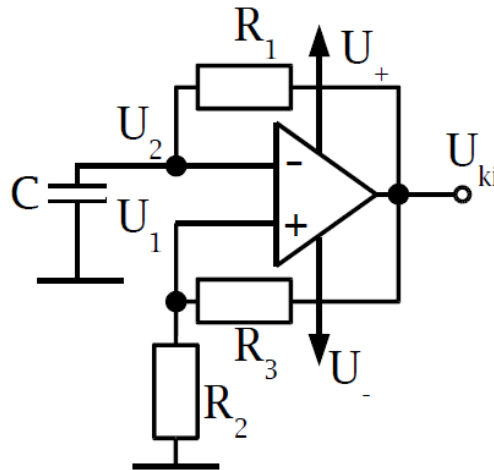
**3. ábra – Schmitt-trigger kimenetének változása változó bemeneti jel esetén**

Tehát a Schmitt-trigger  $U_2$  bemenetére adott növekvő bemeneti feszültség esetén 7,86V-nál fog átbillenni a kimeneti feszültség az eredeti pozitív (+15V) tápfeszültségről a negatív (-15V) tápfeszültségre és csökkenő bemeneti feszültség esetén +6,43V-nál billen vissza a kimenet a +15V-os tápfeszültségre.

Ez azt is jelenti, hogy  $U_H=7,86\text{ V}-6,43\text{ V}=1,43\text{ V}$  hiszterézissel rendelkezik. Ha a zajok a bemeneti feszültségen ennél kisebbek, akkor azok nem fogják átbillenteni az áramkört.

#### 4. Astabil multivibrátor (relaxációs oszcillátor) műveleti erősítővel

A Schmitt-trigger áramkör módosításával négyszögjel generátort (oszcillátort) is készíthetünk (4. ábra). A Schmitt-triggerhez hasonlóan ez az áramkör is az  $R_2$ - $R_3$  feszültségosztó kimeneti-feszültség függését használja ki. Mivel ez egy oszcillátor, ezért működése nem igényel bementi jelet!



4. ábra – Relaxációs oszcillátor műveleti erősítővel

A  $R_2$  és  $R_3$  határozza meg az áramkör billenési pontjait:

$$U_{1b1} = U_+ \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}, \text{ ill. } U_{1b2} = U_- \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

Ezek nyilván a tápfeszültségek,  $U_+$  és  $U_-$  között vannak. Tegyük fel, hogy a műveleti erősítőnk éppen a pozitív tápfeszültségre billent ki. Ez azt jelenti, hogy  $U_2 < U_1$  hiszen ezért áll be  $U_+$ -ra az erősítő kimenete. Ekkor a  $C$  kondenzátor  $U_{1b2} \cdot C$  töltést halmozott fel, és elkezd áttöltődni az  $R_1$  ellenálláson keresztül  $U_{ki} = U_+$  irányába.

Egy kezdeti töltéssel rendelkező kondenzátor töltődésének egyenlete:

$$q = q_0 \cdot e^{\left(\frac{-t}{RC}\right)} + CU(1 - e^{\left(\frac{-t}{RC}\right)})$$

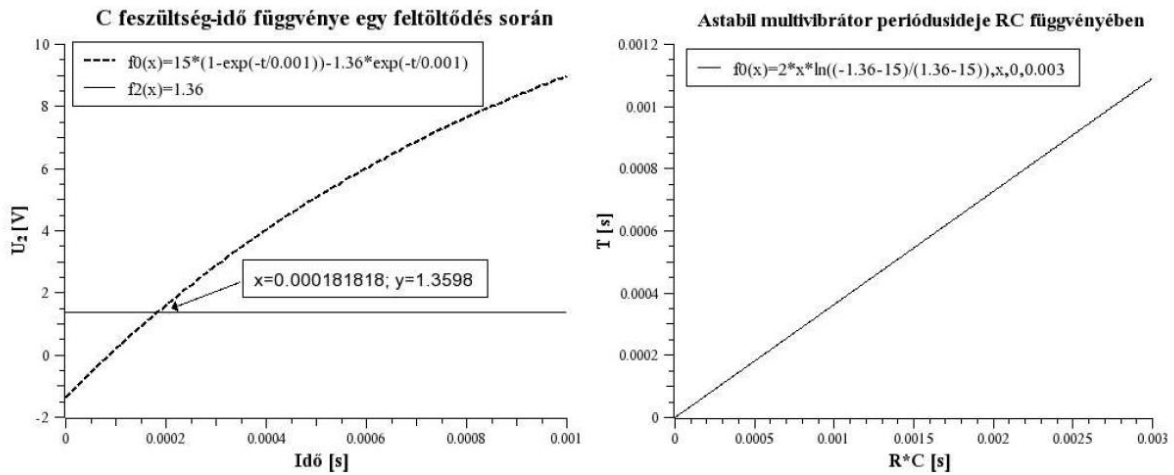
A mi esetünkben  $U = U_{ki+}$ , és  $q_0 = U_{1b2} \cdot C$ , tehát a töltődési egyenlet:

$$q = U_{ki+} \cdot C \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-t}{R_1 C}\right)}\right) + U_{1b2} \cdot C \cdot e^{\left(\frac{-t}{R_1 C}\right)}$$

$U_2$  időbeli változása az alábbi:

$$U_2 = U_{ki+} \cdot \left(1 - e^{\left(\frac{-t}{R_1 C}\right)}\right) + U_{1b2} \cdot e^{\left(\frac{-t}{R_1 C}\right)}$$

Látható, hogy  $U_2$  exponenciális (5. ábra), időállandóját az  $R_1 \cdot C$  szorzat adja meg.  $C$  töltődési ideje csak az egyik félperiódusra vonatkozik, ezért  $t = T/2$ !



5. ábra - C feszültség-idő függvénye a töltődés alatt és az oszcillátor T-RC függvénye

A folyamatosan növekvő  $U_2$  el fogja érni az  $U_{1b1}$  billenési feszültséget (5. ábra, nyíllal jelölt pont) és akkor - a pozitív visszacsatolás miatt - az áramkör átbillen a másik végállapotába, azaz  $U_{ki}=U_-$  és ennek megfelelően  $U_1=U_{b2}$  lesz (6. ábra).

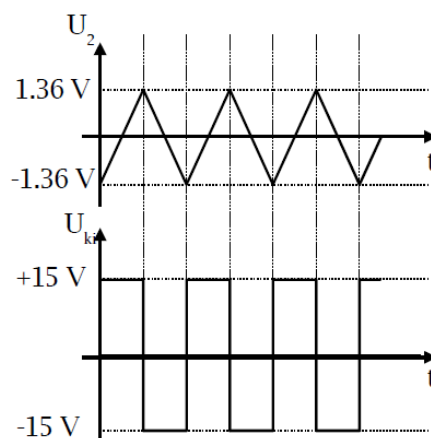
A billenésig eltelt idő az alábbi egyenletből számítható:

$$U_{1b1} = U_+ \cdot \left(1 - e^{\left(-\frac{T}{2R_1C}\right)}\right) + U_{1b2} \cdot e^{\left(-\frac{T}{2R_1C}\right)}$$

Az egyenletet T-re kifejezve megkapjuk a relaxációs oszcillátor kimenetének periódusidejét:

$$T = 2R_1C \cdot \ln\left(\frac{U_+ + U_{1b1}}{U_+ + U_{1b2}}\right)$$

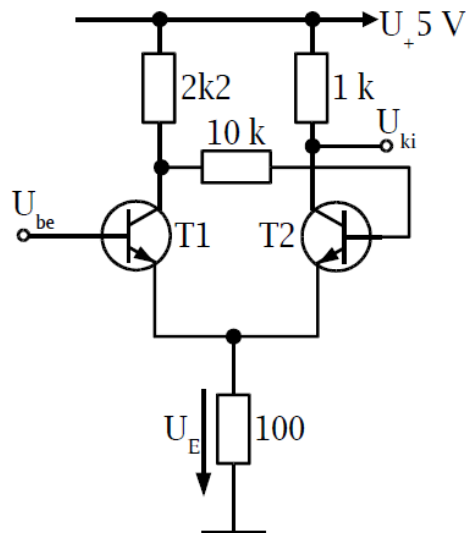
A billenés után a kondenzátoron nem tud hirtelen megváltozni a feszültség, ezért az átbillenés utáni pillanatban  $U_2=U_{b1}$ . Innentől kezdve azonban a kondenzátor elkezdi áttöltődni és az  $U_2$  pont feszültsége exponenciálisan most már az „új”  $U_{ki}$  feszültséghez, azaz  $U_-$ -hoz kezd tartani, ameddig el nem éri az  $U_{b2}$  feszültséget. Itt a folyamat eljutott abba az állapotba amiből kiindultunk és a kör újraindul.



6. ábra -  $U_2$  és  $U_{ki}$  feszültségmenete

## 5. Tranzisztoros Schmitt-trigger

A 7. ábra egy tranzisztorokkal megvalósított Schmitt-triggeret mutat. A pozitív visszacsatolás miatt az áramkör két állapotú: vagy az egyik tranzisztor vezet, vagy a másik.



**7. ábra – Tranzisztoros Schmitt-trigger áramkör**

A histerézist az egyes kollektorokba kapcsolt különböző nagyságú ellenállások biztosítják. Mivel értékük az emitterben lévő ellenállásnál egy nagyságrenddel nagyobb, ezért ezek állítják be a tranzisztorokon (és ezzel az emitter ellenálláson) átfolyó áram értékét. Fontos, hogy ha  $U_{be}$   $T_1$  bázisán van, akkor a  $T_1$  tranzisztor kollektorába kapcsolt ellenállás legyen a nagyobb. Az emitter ellenálláson eső feszültség megszabja a tranzisztorok nyitófeszültségét (ami az emitter-bázis diódán eső feszültséggel, azaz kb. 0,6V-tal nagyobb  $U_E$ -nél) és mivel mindkét tranzisztor telítési üzemmódban működik (azaz  $U_{CE} \sim 0V$ ), az ellenállások ismeretében a billenési szintek könnyen kiszámíthatók.

## 6. Mérési feladatok:

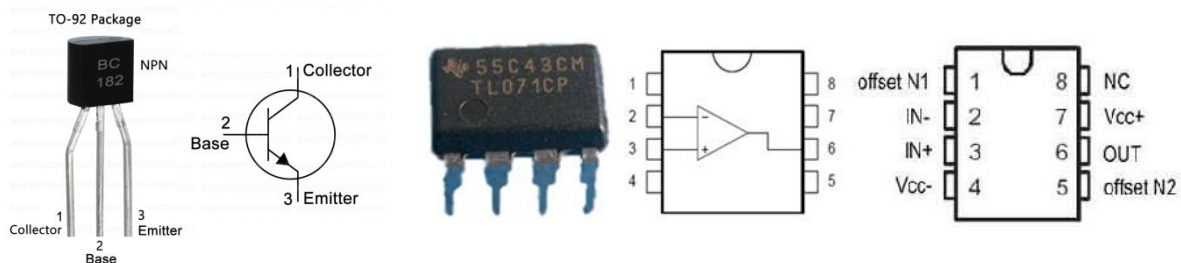
M1: Építse meg az 1. ábrán látható komparátor kapcsolást  $\mu A741$  vagy TL071 műveleti erősítővel. A tápfeszültség legyen szimmetrikus  $\pm 5V$ ,  $R_1=22\text{ k}\Omega$ ,  $R_2=10\text{ k}\Omega$ . Változtassa lassan, a billenési küszöb közelében a bemeneti feszültséget és határozza meg a multiméter segítségével, hogy mekkora bemeneti feszültségnél billen át kimenet! Van-e különbség a kimeneten megjelenő feszültség szintek között? A billenési feszültséget a jegyzőkönyvben számítással igazolja.

M2: Alakítsa át a kapcsolást a 2. ábra szerint!  $R_3=100\text{ k}\Omega$ . Hogyan változik a billenési küszöb? A mért adatokat számítással is igazolja a jegyzőkönyvben.

M3: Építsen a 4. ábra alapján relaxációs oszcillátort ( $R_1=10\text{ k}\Omega$ ,  $R_2=10\text{ k}\Omega$ ,  $R_3=22\text{ k}\Omega$ ). Határozza meg C értékét úgy, hogy az oszcillátor 12 kHz-en rezegjen! Műveleti erősítőként TL071-et használjon. Ellenőrizze a jelalakokat a műveleti erősítő bemenetein és kimenetén! A kimeneti feszültség megfigyelése után cserélje ki a műveleti erősítőt  $\mu A741$ -re! Milyen változást tapasztalt a jelalakban?

Mi lehet a különbség oka (jegyzőkönyvkészítés során az adatlapok összehasonlítása alapján)? A jegyzőkönyvbe tegyen képet a két műveleti erősítővel generált jelalakról.

M4: Építse meg a 7. ábra szerinti kapcsolást! ( $T_1=T_2=BC182$ ) Mérje meg a kapcsolás bemeneti billenési küszöbértékeit és kimeneti feszültségértékeit. A jegyzőkönyvben számítással igazolja a mért adatokat és magyarázza meg a kimeneten megjelenő feszültségértékeket.



8. ábra – BC182, TL071 és  $\mu A741$  lábkiosztása

A jegyzőkönyvbe kerüljenek be tételen felsorolva a felhasznált mérőeszközök, generátorok, vezetékek és alkatrészek típusal-típuszámmal, darabszámmal és értékkel, ha ezek megtalálhatók az eszközökön! A fotók mérete olyan legyen, hogy a jegyzőkönyv ne haladja meg a 10 Mbyte-ot.

A jegyzőkönyv az alábbi formátumú legyen: M3\_vezetéknev1\_vezetéknev2.pdf