

# Schmitt-trigger

## Átmenet az analóg és digitális világ között

Dr. Sükösd Csaba, Berta Miklós

### 1. Bevezetés

„Analóg” makroszkopikus világunkban nagyon sok fizikai mennyiség folytonos értékészletű. Magától értetődően ilyenek a hossz, idő, sebesség, de a legtöbb elektromos mennyiség is ilyen (feszültség, áramerősség, ellenállás.)

Amikor az „analóg” világból át akarunk térni a „digitális” világba, az analóg mennyiségeket digitálissá kell alakítanunk. A legegyszerűbben ezt úgy tehetjük meg, hogy a digitális mennyiségek nagyságát a kettes számrendszerben adjuk meg. Itt összesen két számjegy szükséges tetszőleges szám felírásához, a  $0$  és az  $1$ .

A kettes számrendszert többféle módon megvalósíthatjuk. Például elektronikusan úgy, hogy ha egy áramkörben folyik áram, akkor az a digitális  $1$ -et jelenti, ha pedig nem folyik, akkor az a digitális  $0$ -át jelenti. Másik lehetőség, hogy ha valahol van feszültség, akkor az digitális  $1$ -et jelent, ha pedig nincs akkor az digitális  $0$ -át.

Mivel azonban a fenti mennyiségek analóg mennyiségek így esetükben általában nem konkrét értékeket rendelünk a digitális számjegyekhez, hanem értéktartományokat. A különböző architektúrák (pl. TTL, CMOS), de a különböző digitális jeltovábbítási protokollok is (pl. RS-232, ... ) más- és más feszültségtartományokkal dolgoznak. E tartományok jó megválasztásának nagy jelentősége van az áramkörök „zajtűrése” szempontjából.

Amikor egy analóg jelet digitálissá akarunk alakítani 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 két összehasonlítandó mennyiség feszültség ( $U_1, U_2$ ), akkor a két lehetséges eredmény:  $U_1 < U_2$ , ill.  $U_1 \geq U_2$  (miután csak két kimeneti érték lehetséges, olyan relációkat kell keresnünk, amelyek kölcsönösen kizárják egymást, ugyanakkor az összes lehetséges esetet lefedik).

Egy ilyen feladat megvalósításához olyan áramkörre van szükség, amelynek

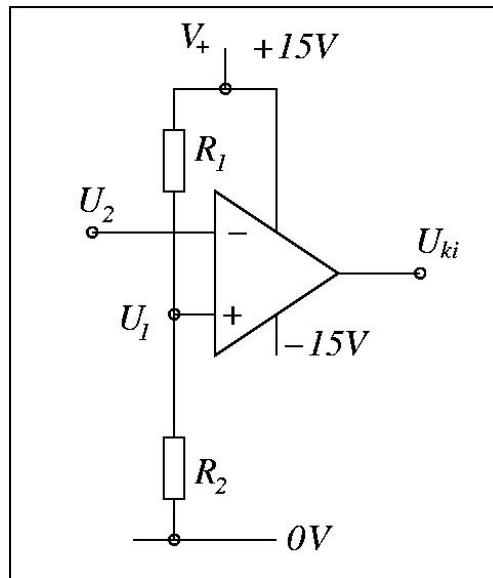
- bemenete két „analóg” feszültséget tud fogadni
- kimenete két stabil állapot egyikébe billen.

Az ilyen tulajdonságú áramköröket nevezzük *komparátoroknak*. Komparátort többféle módon meg lehet valósítani, mi a tranzistorokkal és műveleti erősítővel megvalósítható komparátorokkal foglalkozunk a továbbiakban.

A „digitalizálás” mellett, a műszaki gyakorlatban nagyon gyakori feladat annak megállapítása, hogy egy mennyiség nem halad-e meg egy adott értéket. Ilyen lehet egy tartály vízszintjének a figyelése, vagy egy helyiségben a radioaktív sugárzás szintjének figyelése, de ilyen a hőmérséklet figyelése egy hűtőgépben vagy egy sütőedényben. Mivel a figyelt mennyiségeket általában elektromos feszültséggé alakítjuk, így a feladatot feszültség szint figyelésre lehet visszavezetni. A komparátorokat tehát a gyakorlatban sokszor felhasználjuk, így érdemes közelebbről is megismerkedni velük.

## 1.1 Komparátor kapcsolás műveleti erősítővel

Tulajdonképpen egy műveleti erősítő már önmagában is egy komparátor. Az 1. ábrán látható kapcsolásban az  $R_1$  és az  $R_2$  ellenállásokból létrehozott feszültségosztó adja meg az átbillenési feszültséget. Ha a bemenő feszültség ( $U_2$ ) ennél kisebb, a műveleti erősítő kimenete a pozitív tápfeszültségen lesz (figyelem, „invertáló” bemenet), ha ennél nagyobb, akkor a negatív (ami ebben az esetben  $-15\text{ V}$ ).



1. ábra: Komparátor műveleti erősítővel

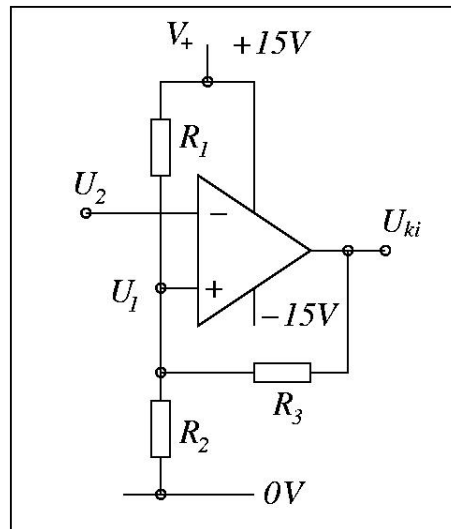
Ilyen jellegű kapcsolást ritkán szoktak alkalmazni, mert több probléma is van vele. Itt most csak kettőt említünk ezek közül:

- az erősítő nagy bemenő ellenállása miatt erősen zajérzékeny
- mivel a bemenőjel általában valamekkora zajjal terhelt, ezért ha a jel átlagértéke az átbillenési feszültség közelében van, akkor a zaj ide-oda billenti az áramkört, s végülis a zaj amplitúdója fogja megszabni, hogy mekkora feszültségnél „nyugszik meg” az egyik végállapotában.

Ezek elkerülésére jó lenne egy olyan áramkör, amelynek van valamekkora „hiszterézise”. Ez azt jelenti, hogy más az egyik irányba történő átbillenés feszültsége, mint a másik irányba. Ezt valósítja meg a Schmitt-trigger.

## 1.2 Schmitt-trigger kapcsolás műveleti erősítővel

A Schmitt-trigger olyan „billenő”-kapcsolás, amely valamekkora hiszterézissel rendelkezik. A megvalósítása a 2. ábrán látható egyszerű kapcsolással lehetséges.



2. ábra: Schmitt-trigger megvalósítása műveleti erősítővel.

A műveleti erősítő tápfeszültsége +15V és -15V, ezért ezek jelentik 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 kimenő feszültségtől. Mivel a műveleti erősítő „ideális”, ezért az  $U_1$  feszültséget kizárólag a három ellenállás és a két feszültség ( $U_{ki}$ , ill. +15V) határozzák meg:

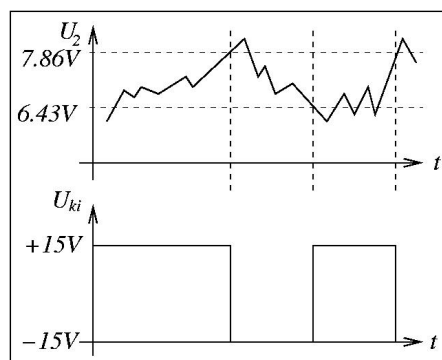
$$U_1 = R_2 \cdot (I_1 + I_3) = R_2 \cdot \left( \frac{15 - U_1}{R_1} + \frac{U_{ki} - U_1}{R_3} \right)$$

Átrendezve az egyenletet úgy, hogy  $U_1$ , legyen kifejezve:

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

A panelen  $R_1 = 10\text{k}$ ,  $R_2 = 10\text{k}$ ,  $R_3 = 100\text{k}$ . Ezért  $U_1 = \frac{15}{2,1} + \frac{U_{ki}}{21}$

A két átbillenési feszültséget  $U_{ki} = 15\text{V}$  és  $U_{ki} = -15\text{V}$  behelyettesítésével kapjuk: 7,86V, ill. 6,43V. Ezért a Schmitt-triggerünk a 3. ábrán látható módon fog „billegni”.



3. ábra: Schmitt-trigger billenése változó bemenő jelre

### Elméleti feladatok:

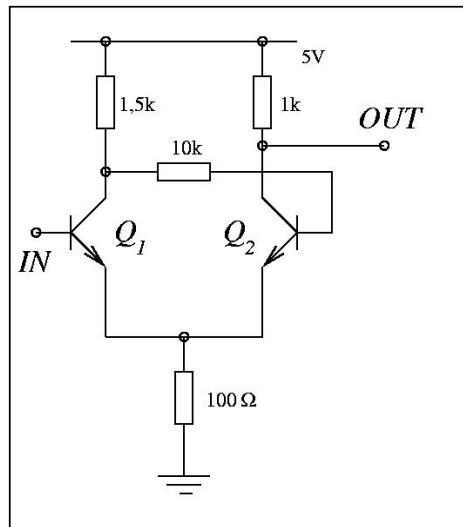
- E1. Határozzon meg olyan ellenállás-hármaszt a fenti kapcsolásban, amelynél a „bebillenés” éppen 7,5V-nál történik, a „visszabillenés” pedig 6,0V-nál.
- E2. Hogyan kellene módosítani a fenti kapcsolást ahhoz, hogy 5V és 7V között folyamatosan „szabályozni” lehessen a Schmitt-trigger bebillenési szintjét úgy, hogy közben a hiszterézis „szélessége” ne változzon?
- E3. Vizsgálja a visszacsatoló ellenállás hatását. Mi történik, ha  $R_3 \rightarrow \infty$  (szakadás)? Mi történik, ha  $R_3 \rightarrow 0$  (rövidzár)?

### 1.3 Tranzisztoros Schmitt-trigger

A 4. ábra egy tranzisztorokkal megvalósított Schmitt-triggerrel mutat. A pozitív visszacsatolás miatt az áramkör két állapotú; vagy az egyik tranzisztor vezet, vagy a másik. A hiszterézist az egyes kollektorokba kapcsolt különböző nagyságú ellenállások biztosítják. Fontos, hogy a  $Q_1$  tranzisztor kollektorába kapcsolt ellenállás legyen a nagyobb.

#### Elméleti feladat:

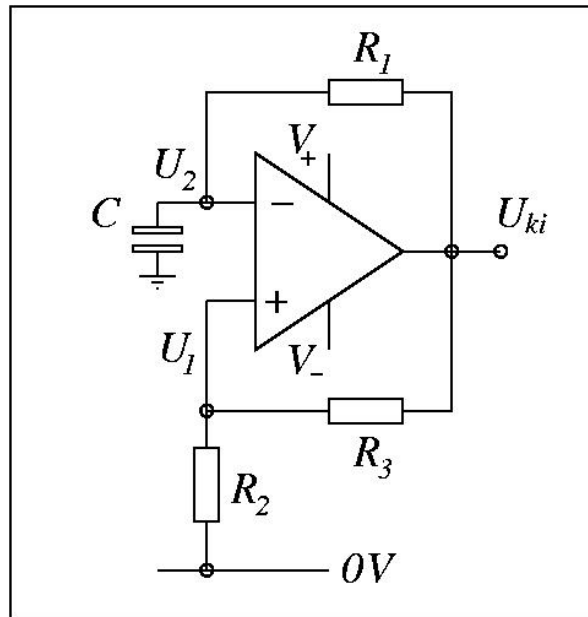
- E4. Határozza meg a 4. ábrán látható tranzisztoros Schmitt-trigger bebillenési szintjeit. (A tranzisztort tekintse ideális tranzisztornak,  $\beta=200$ .)
- E5. Miért fontos, hogy  $Q_1$  kollektorába kapcsolt ellenállás legyen nagyobb?



4. ábra: Tranzisztoros Schmitt-trigger

### 1.4 Astabil multivibrátor (relaxációs oszcillátor) műveleti erősítővel

A Schmitt-trigger kis „módosításával” négyszögjel-generátort (oszcillátort) is készíthetünk. Vizsgáljuk az 5. ábrán látható kapcsolást:



5. ábra: Astabil multivibrátor műveleti erősítővel

Az  $R_3$  és  $R_2$  -ből álló pozitív visszacsatolás már ismerős a Schmitt-triggerből, és feszültségosztóként megszabja az áramkör billenési pontjait:  $U_{b1} = V_+ \frac{R_2}{R_2 + R_3}$ , ill.

$U_{b2} = V_- \frac{R_2}{R_2 + R_3}$ . Ezek mindegyike nyilván  $V_+$  és  $V_-$  közé esik. Kiindulásképpen tegyük most fel, hogy a műveleti erősítőnk éppen a pozitív tápfeszültségre „feküdt ki”. Ez azt jelenti, hogy  $U_2 < U_{b1}$  hiszen ezért megy telítésbe az erősítő. No de ekkor a  $C$  kondenzátor elkezd töltődni az  $R_1$  ellenálláson keresztül  $U_{ki}(=V_+)$  irányába. Az  $U_2$  feszültség időbeli változása:

$U_2 = V_+ \cdot (1 - \exp(-\frac{t}{R_1 C})) + U_{20} \exp(-\frac{t}{R_1 C})$ . (Itt  $U_{20}$  az  $U_2$  feszültség  $t = 0$  időpillanatban felvett értéke). A töltődés exponenciális, és az időállandóját az  $R_1 C$  szorzat adja meg. Előbb-utóbb a növekvő  $U_2$  eléri az  $U_{b1}$  billenési feszültséget, s ekkor - a pozitív visszacsatolás miatt - az áramkör hirtelen átbillen a másik végállapotába, azaz  $U_{ki} = V_-$  és ennek megfelelően  $U_1 = U_{b2}$  lesz. A kondenzátoron hirtelen nem tud megváltozni a feszültség, ezért az átbillenés utáni pillanatban még megmarad a billenés előtti érték, azaz  $U_2 = U_{b1}$ . Innentől kezdve azonban a kondenzátor elkezd „áttöltődni”, és az  $U_2$  pont feszültsége exponenciálisan most már az új  $U_{ki}$ -hoz, azaz  $V_-$  hoz tart.

$$U_2 = U_{b1} \exp(-\frac{t}{R_1 C}) - V_- \cdot (1 - \exp(-\frac{t}{R_1 C})).$$

**Elméleti feladat:**

- E6. Határozza meg a relaxációs multivibrátor frekvenciáját! ( $V_+ = +12V$ ,  $V_- = -12V$ ,  $R_1 = 100k$ ,  $C = 100nF$ ,  $R_2 = 10k$ ,  $R_3 = 100k$ )

## 2. Ellenőrző kérdések

1. Mik az egyszerű (visszacsatolatlan) komparátor hátrányai?
2. Mire szolgál a pozitív visszacsatolás egy komparátor–kapcsolásban?
3. Magyarázza meg a hiszterézis lényegét! (ábra alapján)
4. Rajzolja fel egy relaxációs oszcillátor sémáját! Rajzolja fel az invertáló bemeneten mérhető jelalakot!
5. Adja meg egy tranzisztoros komparátor sémáját! Mi határozza meg hiszterézisének nagyságát?

## 3. Mérés

### 3.1 Mérési feladatok

1. Építse meg az 1. ábra szerinti kapcsolást,  $\mu\text{A}-741$ -es műveleti erősítőt használva. Változtassa lassan, a billenési küszöb közelében a bemeneti feszültséget! Figyelje a kimenet változását! Írja le mit tapasztalt!
2. Alakítsa át a kapcsolást a 2. ábra szerint! Milyen változást tapasztalt?
3. Építse meg a 4. ábra szerinti kapcsolást, vizsgálja működését!
4. Építsen a 5. ábra alapján relaxációs oszcillátort. Műveleti erősítőként  $\mu\text{A}-741$ -et használjon. Ellenőrizze a jelalakokat a bemeneten és a kimeneten. Válassza úgy  $R$  és  $C$  értékét, hogy az oszcillátor 10kHz-en rezegjen!