

## 2. mérés

### **Impulzustechnikai áramkörök elemzése**

Az impulzustechnikai áramkörökben a tranzisztorok kapcsoló üzemmódban működnek. A kapcsoló megszakított állapotát a lezárt üzemmódú tranzisztor valósítja meg, ahol - mint ismeretes - mindkét PN-átmenet záró feszültséget kap. A lezárt tranzisztorokon csak igen csekély visszáram (szivárgási áram) folyik át, ami néhány tíz nA nagyságrendű.

A kapcsoló bekapcsolt állapotát a telítésben üzemelő tranzisztor reprezentálja. A telítésben működő bipoláris tranzisztor kollektor-emitter feszültsége ideális esetben nulla, a valóságban néhány század, esetleg tized V. Az impulzustechnikai áramkörök számára speciális technológiai megoldásokkal gyártott diódákat és tranzisztorokat alkalmaznak, amelyek záróárama és telítési feszültsége minimális.

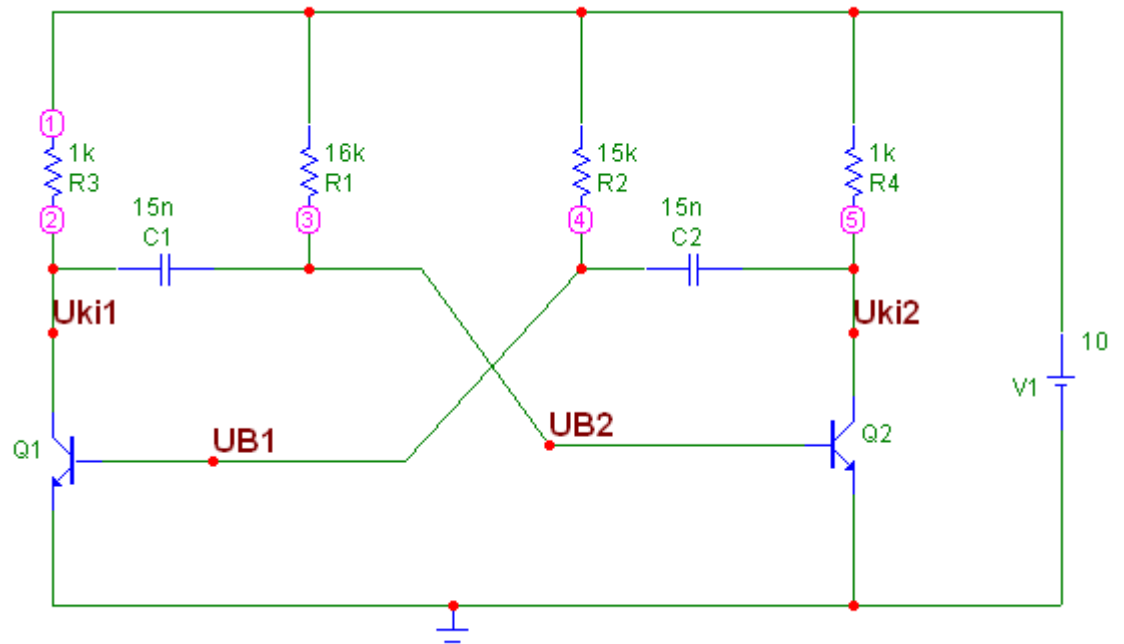
#### **1.0 Astabil multivibrátor**

Jelen mérésünk során bipoláris tranzisztorokból összeállított impulzustechnikai áramköröket vizsgálunk.

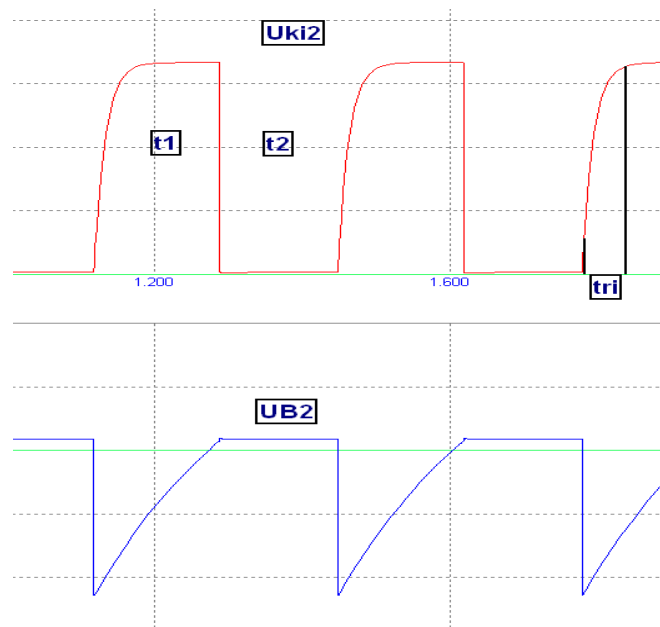
*Astabil multivibrátornak (AMV)* nevezzük az olyan áramkört, amelynek nincs stabil állapota, ezért kimenete két állapot (általában nulla volt és a tápfeszültség) között változik az időzítő elemek által meghatározott frekvenciával. Az astabil multivibrátor tehát impulzus-oszcillátornak felel meg. Az áramkör a tápfeszültség bekapcsolását követően azonnal szabadon oszcillál! Elsőként a diszkrét elemekből felépített AMV-vel ismerkedünk meg.

Az áramkör kapcsolását az 1. ábra szemlélteti. A két kimeneten ellenfázisú jelek lépnek fel, és a jelamplitúdó - elvileg - a tápfeszültséggel egyezik meg. Az  $U_B$  feszültség a bázis és a földpont között mérhető időfüggvény szerint változik, amelyet majd oszcilloszkópon

megvizsgálhatunk. A kéttranszistoros erősítő fokozat a  $C_1$ - $C_2$  kondenzátorokon át pozitív visszacsatolásban működik.



1. ábra



2. ábra

$$T = t_1 + t_2$$

$$f = 1/(t_1 + t_2) \quad \text{ahol } t_1 = 0,7 R_1 C_1 \quad (2) \quad \text{és} \quad t_2 = 0,7 R_2 C_2. \quad (3)$$

A kitöltési tényező:  $k = t_1/(t_1 + t_2)$

Az AMV méretezésénél az időzítési igényeken kívül arra is tekintettel kell lenni, hogy a tranzisztorok a legkedvezőtlenebb esetben is átbillenjenek.

Ennek teljesülési feltételei:  $R_1 \sim 0,8 B_{\min} * R_3, R_2 \sim 0,8 B_{\min} * R_4$  (4)

$B_{\min}$  a telítésben működő tranzisztor kollektor- és bázisáramának hányadosát jelenti, ami az alkalmazott tranzisztoroknál kb. 20-nak vehető. A 2. ábrán látható  $t_{ri}$  felfutási idő (a 10 % és a 90 %-os szint közötti idő) közelítőleg  $t_{ri} \sim 2,2 R_3 C_1$  (5) nagyságú.

A lefutás rendkívül meredek, ennek értéke a tranzisztorjellemzőktől függ.

**Az áramkör smd alkatrészekből megépítve rendelkezésre áll, csak a mérőpontokat vezettük ki. Ugyancsak kiveztettük az egyik kondenzátor két végpontját, így  $C_2$  cserélhető módon kívülről iktatandó a kapcsolásba!**

**Figyelem; Ügyeljünk az érintkezőtüskék épségére ! A paneleket igen óvatosan de határozottan tessék a raszter panelba dugni .**

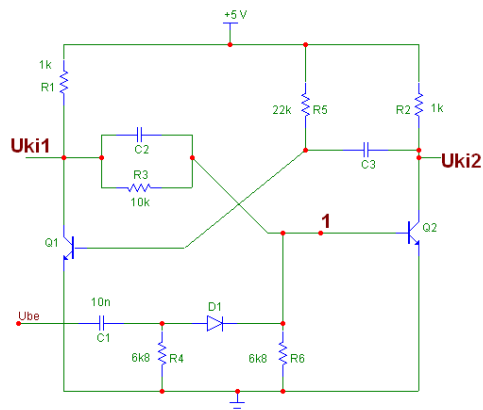
- 1.1 Helyezzük be a  $C_2$  helyében a  $C_1$ -gyel azonos 15 nF kapacitású kondenzátort, és adjunk +10 V tápfeszültséget az áramkörre. A két kimenetet vezessük az oszcilloszkóp két csatornájára. A berezgés a tápfeszültség bekapcsolása után azonnal megindul, az áramkörre nem kell semmiféle bemeneti generátor-jelet kapcsolni!!!

Rajzoljuk le a jelalakokat. Mérjük le a 2. ábrának megfelelő  $t_1, t_2, T$  és jelidőket és a  $k$  kitöltési tényezőt. A (2) és (3) összefüggések segítségével határozzuk meg  $t_1$  és  $t_2$ , számított értékét és hasonlítsuk össze a mért értékekkel.

- 1.2 Mérjük le a 2. ábra alapján a  $t_{ri}$  felfutási időt, és ellenőrizzük annak egyezését az (5) összefüggés alapján számított értékkel.
- 1.3 Hagyjuk az oszcilloszkóp egyik csatornáján továbbra is az egyik tranzistor kimeneti jelét, és a másik csatornára vezessük rá ugyanannak a tranzisztornak a bázisát. Rajzoljuk le a jelalakokat. Mérjük le a 2. ábrán feltüntetett  $U_B$  feszültség pozitív tartományba eső feszültségét az oszcilloszkóp DC állásában.
- 1.4 Cseréljük ki a  $C_2$  kondenzátort 33 nF (vagy 47 nF) nagyságúra. Ekkor a kitöltési tényező megváltozik. Végezzük el így is az 1.1. feladatban megjelölt méréseket és számításokat!

## 2.0 Monostabil multivibrátor

A *monostabil multivibrátornak (MMV)* egyetlen stabil állapota van. Ha az áramkört valamilyen indítójellel stabil állapotából kibillentjük, kvázistabil állapotba kerül, amelynek idejét az időzítő elemek (tipikusan RC tagok) értéke határozza meg. Az áramkör kimeneti jele tehát meredek fel- és lefutású feszültségimpulzus, ahol a fel- és a lefutási idők értéke az alkalmazott tranzisztorok paramétereitől és az alkalmazott RC-elemek értékétől függ. A monostabil multivibrátorokat ezért a legtöbbször jelformálásra, lassú, vagy szabálytalan impulzusok meredek felfutású, adott időtartamú jelekké való átalakítására használják.



3. ábra

A két tranzisztorból álló monostabil kapcsolás a panelban készen rendelkezésre áll, csak a két időzítő kondenzátort ( $C_2$  és  $C_3$ ) kell kívülről az áramkörhöz csatolni. A fontosabb mérőpontokat a panelre kiveztettük. Az áramkör elvi kapcsolási rajza a 3. ábrán látható.

**Figyelem; Ügyeljünk az érintkezőtüskék épségére ! A paneleket igen óvatosan de határozottan tessék a raszter panelba dugni .**

Indítás nélkül a  $Q_1$  tranzisztor vezet és a  $Q_2$  lezárt állapotban van. Ha a bemenetre feszültségugrást adunk, azt a  $C_1$ - $R_4$  kör differenciálja (Id. az 1. sz. mérés megfelelő ábráját) és negatív tüskét a dióda levágja.

A pozitív tüske felhúzza  $Q_2$  bázisát, es lezárja a  $Q_1$  tranzisztort.  $Q_1$  megnövekedett kollektor feszültsége telítésbe viszi a  $Q_2$  tranzisztort, és az  $U_{ki2}$  kimeneten a feszültség leesik. Ez a kvázi-stabil állapot mindaddig tart, amíg az  $R_5$  és  $C_3$  tagok által meghatározott időállandó leteltével az eredeti stabil állapotba vissza nem billen a kapcsolás.

A kvázi-stabil állapot ideje:  $t_1 = 0,7 \cdot R_5 \cdot C_3$

Az  $U_{ki(1)}$  kimeneten a felfutási idő:  $t_{r1} = 2,2 R_1 C_2$ ,

az  $U_{ki(2)}$  kimeneten a felfutási idő:  $t_{r2} = 2,2 R_2 C_3$ , (8)

A  $t_f$  lefutási idő mindkét kimeneten 10 - 100 ns értékű (a tranzisztor jellemzőitől függ).

**2.1** Helyezzük be a  $C_2 = 100$  pF és a  $C_3 = 5.6$  nF kondenzátorokat, majd adjunk az áramkörre +5 V tápfeszültséget. Egyenfeszültség-mérővel mérjük meg a  $T_1$  és  $T_2$  bázisán és kollektorán az egyenfeszültség-szinteket.

**2.2** Adjunk a bemenetre impulzusgenerátorból pozitív polaritású, cca. 2.5 kHz-es ismétlődési frekvenciájú, keskeny tüimpulzus-jelet ( $t_i$  cca. 150 us). Ezt a bemeneti jelet vezessük rá az oszcilloszkóp egyik csatornájára is! Az  $U_{ki1}$  kimenetet kapcsoljuk az oszcilloszkóp másik bemenetére, és növeljük a bemeneti jel nagyságát addig, amíg az oszcilloszkópon meg nem jelenik a formált impulzus-válaszjel. Rajzoljuk le a kapott jelalakot. Mérjük le a  $t_i$  impulzus időt (a jel 50 %-ánál olvasva le annak idejét).  $U_{be}$  helyére Kapcsoljuk most az oszcilloszkópra az  $U_{ki2}$  kimenetet, és ismét rajzoljuk le a jelalakot ( $U_{ki1}$  alá) majd mérjük meg az impulzusidőt. A két mért impulzusidő, összege adja a  $T$  periódusidőt, és ennek reciproka a frekvenciát (Id. (2) összefüggést).  
Határozzuk meg  $T$  és  $f$  értékét!

**2.3** Adjuk az oszcilloszkóp egyik csatornájára az  $U_{ki1}$  kimenetet, és a másik csatornára vezessük rá a 3. ábrán bejelölt (1) mérési pontot. Rajzoljuk le a differenciált bemenőjel és  $U_{ki1}$  időfüggvényét!

Ezt követően nézzük meg mindkét bázison a jelalakokat, és rajzoljuk le azokat is. Vizsgáljuk meg az oszcilloszkóp két csatornájára vezetve a  $Q_1$  tranzisztor kollektorának és bázisának jelét, majd a  $Q_2$  tranzisztor kollektorának és bázisának jelét. Rajzoljuk le a jelalakokat!

**2.4** Adjunk a bemenetre olyan nagyfrekvenciás impulzusjelet, amelynek periódusideje nem kisebb a  $t_i$  impulzusidőnél. (Lásd:2.2 ). Mérjük le mindkét kimeneten a  $t_r$  felfutási időt. A (8) képlet alapján ellenőrizzük a

mért és a számított felfutási idők egyezését  $U_{k12}$  esetében. A méréseket a 3. ábra szerint végezzük, a 10 %-os és 90 %-os jelszinteket alapul véve.

### Szorgalmi feladat:

**2.5** Legyen  $C_2 = 22 \text{ pF}$ , és  $C_3$  az előbbi érték. Végezzük el így is a 2.2. feladatban leírt vizsgálatokat. A (6) összefüggés alapján ellenőrizzük a mért és számított idők egyezését.

**2.6** Legyen  $C_2 = 68 \text{ pF}$  és  $C_3 = 150 \text{ pF}$ . Végezzük el ismét a 2.2. feladatban leírt vizsgálatokat, majd az összefüggés alapján ellenőrizzük a mért és számított idők egyezését.

### 3.0 Schmitt-trigger kapcsolások

Többnyire jelformálási feladatokat lát el a *Schmitt-trigger (ST)* is, amelynek jellegzetes tulajdonsága, hogy a bemeneti feszültség meghatározott értékénél - az indítási (komparálási) szintnél - a kimeneti feszültség ugrásszerűen megváltozik. Ekkor az áramkör az egyik állapotából a másik állapotába hirtelen átbillen. Ha a bemeneti feszültséget csökkentjük, akkor az előbbi komparálási szinthez képest kisebb feszültségnél fog az áramkör az eredeti állapotába visszabilenni. A két billenési feszültség különbségének abszolút értéke:

$$U_h = | U_1 - U_2 |$$

az ún. hiszterézis feszültség ( 5. ábra.). A hiszterézis következtében az áramkör kevésbé érzékeny a zajokra, mivel a bemeneti feszültség  $U_h$  tartományba eső megváltozásaira nem reagál.

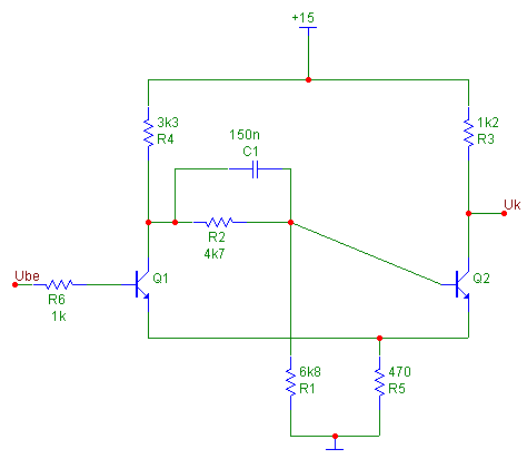
A Schmitt-triggereket alkalmazzák a jelformáláson kívül a szinusz- illetve háromszögjel "négyszögesítésére" is, vagy nyomógombok pergés mentesítésére .

Az egyszerűbb multivibrátor- és trigger kapcsolások alapvetően két tranzisztorból épülnek fel, amelyek a működésük során ellentétes üzemmódban funkcionálnak. A telítés - lezárás átkapcsolások idejét az időzítő elemek értéke és a tranzisztorok töltéstároló tulajdonságai szabják meg.

### 3.1 Tranzisztoros trigger kapcsolás

A mérődobozban összeállított, egyszerű trigger kapcsolás rajza a 4. ábrán látható. A  $C_1$  - kondenzátor kivételével valamennyi elem a panelban elhelyezve rendelkezésre áll.

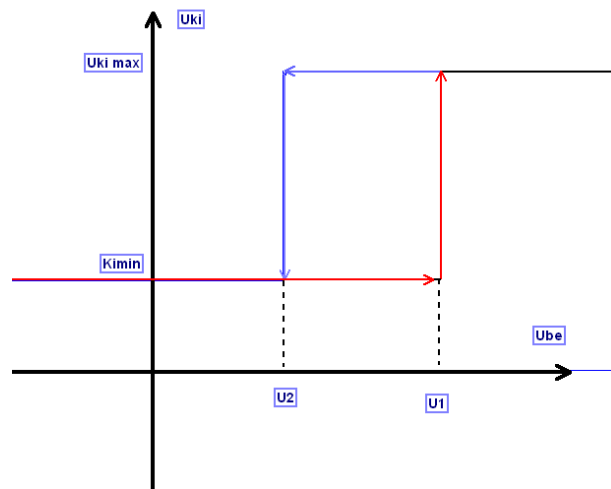
**Figyelem; Ügyeljünk az érintkező tüskék épségére ! A paneleket igen óvatosan de határozottan tessék a raszter panelba dugni .**



4.ábra



Az áramkör átviteli függvényét az 5. ábra szemlélteti.



5 ábra

A két tranzisztor itt is felváltva van vezetési, itt. lezárási tartományban. Feltéve, hogy a vezetési állapotban lévő a tranzisztor eléri a telítési tartományt, az átbillenést  $U_1$  feszültség közelítőleg

$$U_1 = U_E + U_{BE} \quad (9)$$

nagyságú, ahol  $U_E$  a közösített emitterek DC feszültsége és  $U_{BE}$  a bázis-emitter nyitófeszültség (kb. 0,6 V).  $U_E$  értéke attól függ hogy  $Q_1$  vagy  $Q_2$  van telítésben. A közösített emitterek feszültség értéke az  $R_3$ , ill. az  $R_4$  ellenállás és az  $R_5$  ellenállás által leosztott tápfeszültségnek felel meg. Ha a bemenetre  $U_1$ -nél kisebb feszültség kerül,  $Q_1$  lezárt állapotban van, a kollektorán lévő magas feszültség  $Q_2$  bázisára kerül, és telítésbe vezérli azt. Így a kimeneten  $U_E$ -vel csaknem azonos értéket kapunk, ez lesz az 5. ábrán feltüntetett  $U_{ki\_min}$  érték. Növelve a bemeneti feszültséget és elérve  $U_1$ -et,  $Q_1$  kinyit, kollektor feszültsége lecsökken és  $Q_2$  lezárt állapotba kerül. Ekkor a kimeneten a tápfeszültséggel azonos érték ( $U_{ki\_max}$ ) mérhető. Az  $U_2$  visszabillenési feszültség meghatározása az áramkör részletesebb analizisét teszi szükségessé. Ehhez figyelembe kell venni,

hogy a működés során  $Q_2$  általában nem éri el a telítési tartományt, hanem csak a normál aktív tartomány szélénél működik, valamint azt a tényt hogy mivel  $R_4 > R_3$ , ezért  $Q_2$  bekapcsolt állapotában  $U_E$  nagyobb mint  $Q_1$  bekapcsolt állapota esetén. Ebből eredően a  $Q_1$  bekapcsolása illetve kikapcsolása  $U_{be}$  különböző értékeinél következik be.  $U_H = U_1 - U_2$ . Az  $U_H$  hiszterézis feszültség a tranzisztorok töltéstárolásától, valamint az  $R_2C$  szorzattól is függ. Ezeknek a hatásoknak a következménye, hogy  $U_2$  és  $U_1$  (Id. 5. ábra) szintfüggővé válik, vagyis az átbillenési feszültségek attól is függenek, hogy  $U_{be}$  éppen eléri  $U_1$ -et, vagy lényegesen meghaladja azt.

A C kondenzátor - értékétől függően - gyorsítja a billenési folyamatokat.

- 3.1.1** Adjunk a kapcsolásra +15 V-os tápfeszültséget, és a C kondenzátort ne helyezzük be az áramkörbe. A bemenetre adjunk nulla voltot (kapcsoljuk a földre), majd egyenfeszültség-mérővel mérjük meg a tranzisztorok emitterén, bázisán és kollektorán, az egyenfeszültséget.

Adjunk ezt követően a bemenetre +15 V feszültséget (vagyis a tápfeszültségnek megfelelő értéket), és ekkor is mérjük meg a DC szinteket. A mért értékeket ellenőrizzük számítással az előzőekben leírtak szerint!

- 3.1.2** Adjunk a bemenetre a függvénygenerátorból kb. 2 kHz-es szinusz jelet és a kimenetet vezessük oszcilloszkópra. Növeljük a jel amplitúdót addig, amíg a kimeneten meg nem jelenik a négyyszögjel. Mérjük le ezen minimális bemeneti jel amplitúdóját és ellenőrizzük a (9) összefüggést. Mérjük meg a kapott négyyszögjel k kitöltési tényezőjét (ld. (3) képlet). Növeljük meg a bemeneti jel amplitúdó kb. kétszeresére, és ekkor is mérjük meg a kitöltési tényezőt. Adjunk olyan nagy jelet a bemenetre, ami még éppen nem torzítja a kimeneti jelet, és ismét mérjük meg a kitöltési tényezőt. Mindhárom esetben rajzoljuk le a jelalakokat! Milyen következtetéseket vonhatunk le a tapasztalt eredményekből?

### 3.1.3 A gyorsító kondenzátor szerepe

$f=200$  kHz frekvencián állítsunk be a generátoron akkora amplitudót, amely még nem indítja az áramkört. Csak ekkor helyezzük be a  $C_1$  gyorsító kondenzátort. Ekkor rajzoljuk le  $U_{be}$  és  $U_{ki}$  időfüggvényeket.

### 3.1.4 Hiszterézis vizsgálat

Adjunk a bemenetre 2 kHz-es szinusz jelet, és ugyanezt a jelet vezessük rá az oszcilloszkóp **Horizontális** eltérítést adó csatornájára is. A kimeneti négyszögjelet vezessük a **Vertikális** eltérítést adó csatornára. Helyezzük az oszcilloszkópot X-Y állásba, ( állítsuk le az időalapot ) ekkor a képernyőn nem az idő, hanem a bemeneti feszültség függvényében jelenik meg a kimeneti válaszjel. Helyes erősítés-beállítás esetén szépen kirajzolódik a képernyőre hiszterézis-görbe (Id. 5. ábra), amit rajzoljunk le.

#### **Figyelem;**

Mind a két csatorna DC állásban legyen, és még mielőtt bármilyen jelet kapcsolnánk az oszcilloszkóp bemenetére, az elektronsugarat állítsuk az origóba!

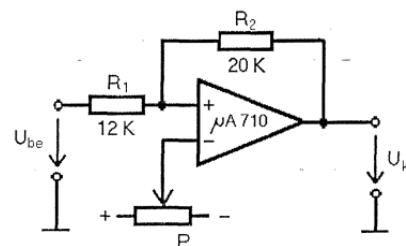
#### **Szorgalmi feladat:**

### 3.2 Schmitt trigger analóg komparátor felhasználásával

A vizsgálatra szánt kapcsolásban szereplő  $\mu A$  710 analóg komparátor egyszerűbb műveleti erősítőnek felel meg. Érdekessége az áramkörnek, hogy kimenete TTL-kompatibilis, vagyis tipikusan 3,6 V nagyságú, pozitív feszültséget ad. Ennek köszönhetően a 710 analóg komparátor egy igen egyszerű analóg-digitális átalakítónak tekinthető. A komparátor kettős táplálást igényel: +12 V és -6 V értékkel. A maximális bemeneti feszültség  $\pm 5$  V, a mérések során ezt az értéket ne lépjük túl!

A komparátor-IC Schmitt-trigger kapcsolása a 6. ábrán látható. Valamennyi elem a mérőpanelben található, mindössze a negatív bemenetet kell a P potenciométer csúszkájával összekötnünk.

A kapcsolat lényege, hogy az  $R_2$  ellenállás pozitív visszacsatolást valósít meg, így az átkapcsolás igen gyorsan, az integrált műveleti erősítők jelkövetési meredekségének sebességével megy végbe. A hiszterézis-feszültség jó közelítéssel az alkalmazott ellenállásoktól függ:



6. ábra

$$U_H = \frac{2R_1}{R_1 + R_2} U_{ki \max} \quad (10)$$

ahol az  $U_{ki \max}$  a TTL szintnek megfelelő jel nagyság. A P potenciométer két végét a panelon belül a tápfeszültségekre kapcsoltuk, így a csúszkát mozgatva  $\pm$  DC feszültség vehető le róla. Ezt a feszültséget a komparátor-bemenetre adva, a billenési szintek eltolhatók.

**3.2.1** Adjunk tápfeszültséget a komparátorra és kapcsoljuk a (-) bemenetet a P potméterre. A bemeneti szinusz jelet előzőleg oszcilloszkópra vezetve állítsuk be úgy, hogy amplitúdója ne lépje túl a maximálisan megengedett  $\pm 5$  V értéket. Legyen a jelfrekvencia kb. 2 kHz. A potenciométer csúszkáját vezessük voltmérőre, és a voltmérő közös pontját a kapcsoljuk a földpontra. így megmérhetjük az erősítő (-) bemenetére jutó DC feszültség nagyságát és polaritását. Állítsuk a P potenciométert olyan helyzetbe, hogy a jel éppen megjelenjen a kimeneten. Mérjük le ekkor a kitöltési tényezőt, és a DC feszültséget. Keressük meg a potenciométerrel a másik szélső helyzetet, ekkor is mérjük le a kitöltést és a DC feszültséget. Mérjük meg a kimeneti jel nagyságát ( $U_{ki \max}$ )!

**3.2.2** Rajzoljuk fel a képernyőre a hiszterézis ábrát a 3.1.5. feladatban közöltek szerint

**3.2.3** Térjünk vissza a 3.2.1. feladat-beállításához. Keressük meg a P potméterrel a jelet. Rajzoljuk le a jelalakokat 2 kHz, 100 kHz és 500 kHz jelfrekvencia esetében is. Ez utóbbi két frekvencián mérjük még a jel fel-és lefutási idejét a már ismert módon.