

# Billenő áramkörök (multivibrátorok)

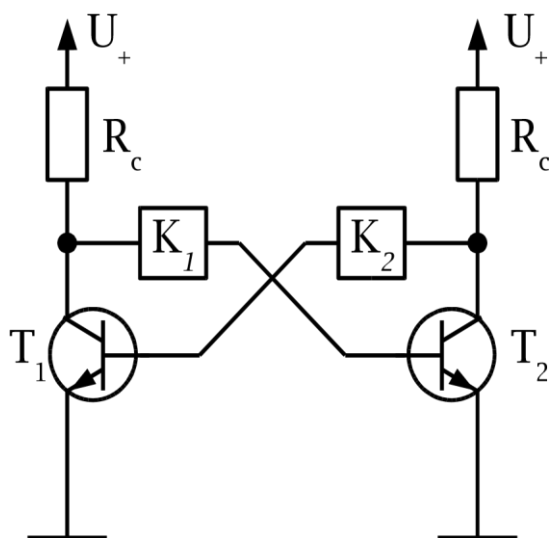
## 1. Bevezetés

### Multivibrátorok típusai

A billenőkörök pozitívan visszacsatolt univerzális digitális áramkörök, melyeket négyszögjelek előállítására használunk. Kimeneti feszültségük nem folytonosan változik, hanem két, az áramköri paraméterek által meghatározott értéket vehet fel. Az egyes állapotok közötti átbillenés több különböző módon is történhet; ezek szerint léteznek:

- *bistabil multivibrátor* --- mint a neve is mutatja, mindkét állapota stabil. A kimeneti jelszint csak akkor változik, ha az átbillenési folyamatot egy bemeneti jel kiváltja.
- *monostabil multivibrátor* --- csak egy stabil állapota van. A másik (instabil) állapotát egy bemeneti jellel válthatjuk ki, és az csak az alkatrészek értékei által meghatározott ideig marad fenn. Ezen idő eltelte után az áramkör automatikusan visszabillen a stabil állapotába.
- *astabil multivibrátor* --- nincs stabil állapota. Külső vezérlés nélkül, periodikusan változtatja kimeneti feszültség szintjét, „billeg” a két állapota között.

A billenő áramköröket általánosan az 1. ábra szemlélteti. A billenőkör típusát a visszacsatolások ( $K_1$ ,  $K_2$ ) határozzák meg (lásd 1. táblázat)



1. ábra - Billenőkörök bloksémája

Típus	$K_1$ csatoló	$K_2$ csatoló
Bistabil	R	R
Monostabil	R	C
Astabil	C	C

1. táblázat - Billenőkörök visszacsatolásai

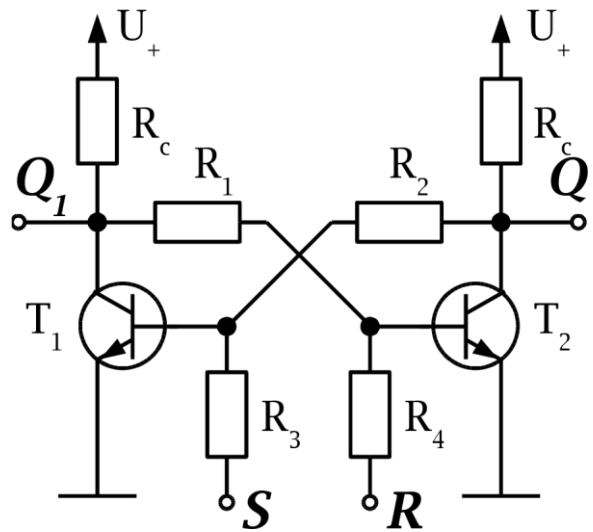
## 2. Bistabil multivibrátor (flip-flop)

A bistabil billenőkör áramköri megvalósítása a 2. ábrán látható.

Tekintsük át a működését!

Alapállapotban sem az  $S$  sem az  $R$  bemenetre nem adunk jelet. Ilyenkor az áramkör a két stabil állapota egyikében van, és ott meg is marad (vagy  $Q_1=0\text{ V}$  és  $Q_2=U_+$ , vagy pedig  $Q_1=U_+$  és  $Q_2=0\text{ V}$ , ahol  $U_+$  a tápfeszültséget jelöli). Tételezzük fel, hogy áramkörünk ez utóbbi állapotban van. Ha az  $S$  bemenetre tápfeszültséget adunk, akkor a  $T_1$  emitter-bázis diódán meginduló áram hatására a tranzisztor kinyit,  $T_1$  kollektor feszültsége lecsökken. Emiatt  $T_2$  bázisárama csökken,  $T_2$  kollektor feszültsége nő. Ez a növekedés visszahat az  $R_2$  ellenálláson keresztül  $T_1$  bázisára és tovább növeli annak bázisáramát (pozitív visszacsatolás). A kapcsolás a stabil állapotot akkor éri el, ha  $T_1$  teljesen kinyit.  $T_2$  ekkor teljesen lezárt, és  $R_2$ -n keresztül  $T_1$ -et nyitva tartja. Ezek után az  $S$  bemenetről le is vehetjük a tápfeszültséget, az áramkör megtartja stabil állapotát. Az áramkör másik stabil állapotba történő átbillenését úgy idézhetjük elő, hogy az  $R$  bemenetre adunk tápfeszültséget. Ha mindkét bemenetre egyszerre kerül tápfeszültség, akkor mindkét tranzisztor kinyit. Ez az állapot instabil. Ha ezután a bemenetekről levesszük a feszültséget, akkor az áramköri elemek aszimmetriája dönti el, hogy melyik stabil állapotba billen az áramkör. Mivel a végállapot ebben az esetben nem dönthető el egyértelműen, ezt a bemenő kombinációt ki kell zárni. Ha ezt biztosítjuk, akkor a bistabil multivibrátor (flip-flop) két kimenete ( $Q_1, Q_2$ ) logikai értelemben egymás negáltjai.

Vegyük észre, hogy ez az áramkör egy **memóriaelem**, hiszen „emlékszik” arra, hogy a legutóbb melyik állapotba billentettük. Az  $S$  bemenetre adott jellel lehet beírni (set), az  $R$  bemenetre adott jellel pedig törölni (reset). A régi statikus RAM-ok ilyen elemekből álltak össze.

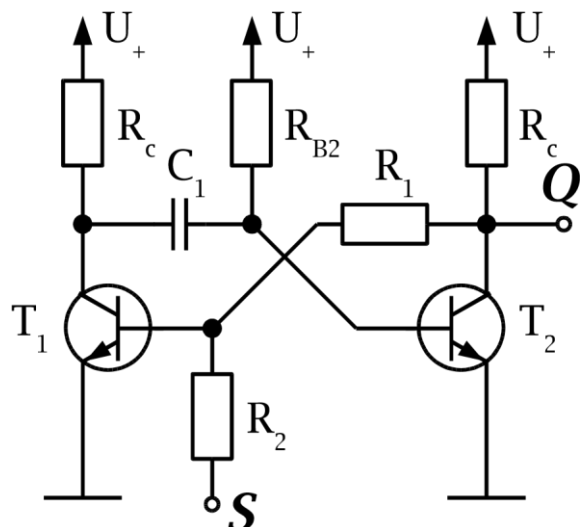


2. ábra - Bistabil billenőkör

## 3. Monostabil multivibrátor

A monostabil multivibrátor áramköri megoldásánál kiindulhatunk a flip-flop áramkörből. Az egyik visszacsatoló ellenállást helyettesítsük kondenzátorral. Természetesen egy ellenállással gondoskodnunk kell  $T_2$  egyenáramú munkapontjának beállításáról is. Ezt az áramkört szemlélteti a 3. ábra. Az áramkör működése hasonlít az előző kapcsolásnál megismertekhez.

Kiindulási helyzetként tegyük fel hogy  $T_1$  lezárt állapotban van, a  $T_2$  tranzisztor pedig vezet ( $R_{B2}$ -n keresztül folyik bázisáram). Ez az

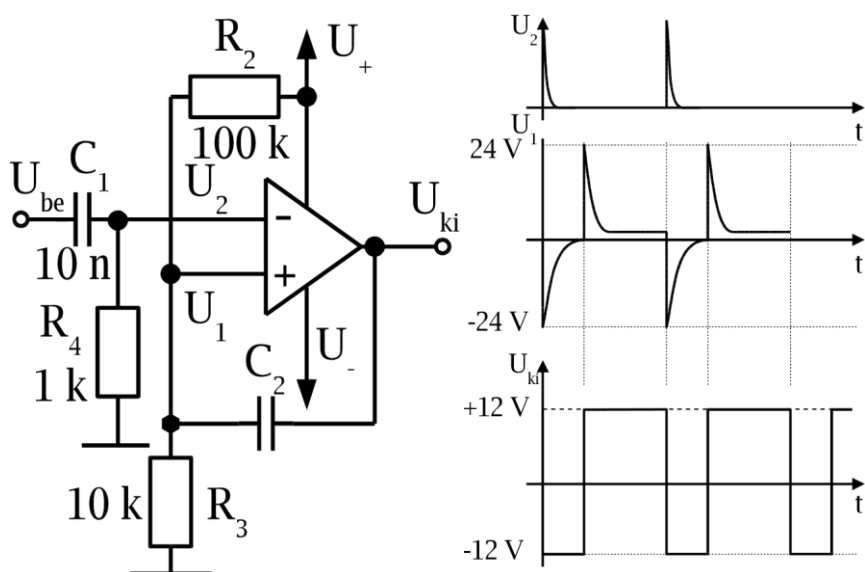


3. ábra - Monostabil billenőkör

áramkör egyetlen stabil állapota. Az  $S$ -re adott rövid pozitív bemeneti impulzus  $T_1$ -et kinyitja, ezáltal  $T_1$  kollektorfeszültsége közel nullára csökken. Ezt a feszültségugrást a  $C_1$  kondenzátor átviszi  $T_2$  bázisára, ezért  $T_2$  lezár, kollektorfeszültsége a tápfeszültségig felugrik. Emiatt az  $R_1$  visszacsatoló ellenálláson keresztül  $T_1$  nyitva marad még akkor is, ha közben  $S$ -en megszűnt a jel. Ez azonban nem stabil állapot, mert az  $R_{B2}$  ellenálláson keresztül a  $C_1$  kondenzátor elkezd feltöltődni, így  $T_2$  bázisfeszültsége növekszik. Az  $R_{B2}C_1$  tag időállandója által meghatározott idő után  $T_2$  kinyit, kollektorfeszültsége leugrik.  $T_1$  lezár, s az áramkör visszaáll a stabil állapotába. Látható tehát, hogy a kimeneti impulzus időtartamát csak az  $R_C C_1$ -tag időállandója szabja meg.

Monostabil billenőkört készíthetünk műveleti erősítő segítségével is. Erre mutat példát a 4. ábra. A műveleti erősítő – amellyel a „Műveleti erősítők alapkapcsolásai” című mérés keretében részletesen foglalkozunk – a bemeneteire vezetett két feszültség különbségét erősíti:  $U_{ki}=A(U_1-U_2)$ . Általában erősítésük nagyon nagy, így csak igen kis ( $U_1-U_2$ ) feszültségkülönbségek mellett működnek lineárisan. Nagyobb feszültségkülönbségek hatására telítésbe mennek (kimenetükön a tápfeszültség jelenik meg) (pozitív, vagy negatív) Az ideális műveleti erősítőt a következő paraméterek jellemzik:

- erősítésük végtelen  $A = \infty$
- bemeneti ellenállásuk végtelen  $R_{be} = \infty$
- kimeneti ellenállásuk nulla  $R_{ki} = 0$



4. ábra - Monostabil billenőkör műveleti erősítővel

Ha a 4. ábrán látható áramkör (melynél  $U_+=12\text{ V}$ ,  $U_-=-12\text{ V}$ )  $U_{be}$  bemenetére nem adunk jelet, akkor az erősítő invertáló bemenete (-) földpotenciál (0 V), nem invertáló bemenete (+) az  $R_2$ - $R_3$  feszültségosztónak köszönhetően 1,09 V potenciál van. Így a két bemenet közötti különbség telítésbe viszi az erősítőt, melynek kimenetén ezért +12 V mérhető stabilan.

Az áramkör működése:

Adjunk (pozitív) feszültségugrást az  $U_{be}$  bemenetre! A  $C_1$  kondenzátor a feszültségváltozást átengedi, ezért  $U_2$  is pozitív feszültségre kerül. Ha ennek a jelnek az amplitúdója nagyobb, mint a nem invertáló bemenet potenciálja ( $U_1=1,09\text{ V}$ ), akkor az erősítő kimeneti szintje

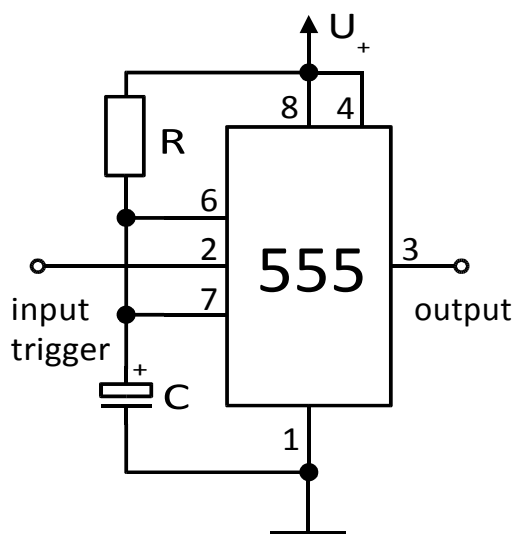
átbillen -12 V-ra. Így a  $C_2$  kondenzátor egyik fegyverzetén hirtelen 24 V-os potenciálcsökkenés következik be<sup>1</sup>.  $C_2$  átengedi a feszültségváltozást, ezért másik fegyverzetén is megjelenik a 24 V-os potenciálcsökkenés. A kimenet változásaira vonatkozóan tehát a kondenzátor egy igen erős pozitív visszacsatolást jelent (mivel a pozitív bemenetre vezetjük vissza a kimenet jelét), s ez garantálja, hogy a kimeneti feszültség nemcsak kimozdul az addigi szintjéről, hanem biztosan át is billen az ellentétes tápfeszültség szintjére. Az átbillenés után az erősítő neminvertáló (+) bemenetén kialakult  $U_1 = -22,91$  V potenciál nem stabil, hiszen a  $C_2$  kondenzátor elkezd töltődni, az  $R_3$ - $C_2$  ponton a potenciál elkezd növekedni a feszültségosztó által megszabott egyensúlyi 1,09 V irányába.

Amikor  $U_1$  eléri  $U_2$  feszültségszintjét (amely a rajta megjelenő tűimpulzus után ismét 0 V lesz), az áramkör visszabillen stabil állapotába. A visszabillenést a kondenzátor, mint pozitív visszacsatolás, ugyancsak segíti.

Thevenin-tétele értelmében a feszültségosztó egyenáramú szempontból helyettesíthető egy 1,09 V elektromotoros erejű feszültséggenerátorral, amelynek belső ellenállása a feszültségosztó ellenállásainak párhuzamos eredője ( $R_p$ ). Az ebben a körben kialakuló áram tölti a kondenzátort. A kondenzátoron mérhető feszültség a töltődéskor:

$$U_{C2} = 1,09 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{R_p \cdot C_2}}) - 22,91 \cdot e^{-\frac{t}{R_p \cdot C_2}}$$

Az egyenletet  $t$ -re kifejezve és megoldva, az átbillenés ideje:  $t = R_p C_2 \cdot \ln\left(\frac{24}{1,09}\right)$



5. ábra - Monostabil multivibrátor  
555-ös IC-vel

#### Elméleti feladat:

F1: Számolja ki a 4. ábrán látható áramkörben  $C_2$  értékét úgy, hogy a kimeneti jel időtartama 200  $\mu$ s legyen (a műveleti erősítőt tekintse ideálisnak)!

A gyakorlatban monostabil multivibrátort gyakran egy kimondottan erre a célra gyártott integrált áramkörrel (IC-vel) valósítanak meg: az **555-ös<sup>2</sup> univerzális időzítővel**. Ezzel az alkatrészsel  $\mu$ s-tól néhány óráig terjedő időzítések is megoldhatók. Az integrált áramkörös monostabil multivibrátor (5. ábra) periódusideje a következő képlettel számítható:

$$T = 1,1 \cdot RC[s]$$

#### Elméleti feladat:

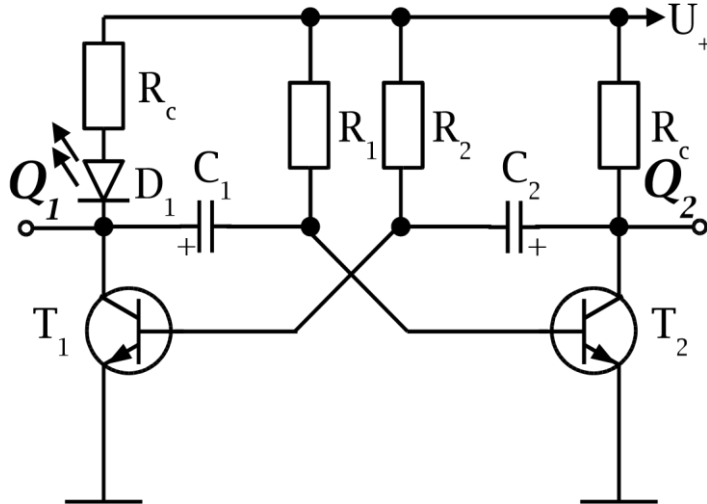
F2: Végezze el az előbbi elméleti feladatban keresett kapacitás-érték kiszámítását ezen képlet alapján is!

<sup>1</sup> A műveleti erősítőt szimmetrikus tápfeszültséggel tápláljuk, azaz  $\pm U_T$ -vel, a bemeneti jel pedig 0V középfeszültségű

<sup>2</sup> A boltban a következő nevenek kapható: CA555, NE555, HA555, SE555, ICM7555, MC1555, LM555C, LC7555 stb.

#### 4. Astabil multivibrátor

A multivibrátorok, mint két-állapotú elektronikai áramkörök, kiválóan alkalmasak négyyszögjelek generálására. Egy tipikus astabil multivibrátor sémája látható a 6. ábrán. A  $T_1$  kollektor körében lévő  $D_1$  világító dióda (LED) szerepe most az, hogy a feszültségek vizuális vizsgálatát segítse.



6. ábra - Astabil multivibrátor tranzisztorokkal

Az áramkör működése:

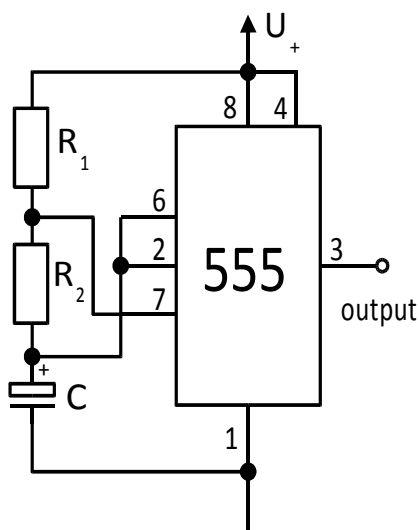
Először tételizzük fel, hogy a két tranzisztor és a körjük épített elemek teljes szimmetriát eredményeznek. Ebben az esetben az áramkör egyensúlyban van, mindkét tranzisztor vezet. Azonban áramkörünk nem tökéletesen zavarmentes. Ha más nem is, a bekapcsolási folyamat bizonyosan jelentős tranzienseket okoz. A kondenzátorokon keresztül megvalósuló pozitív visszacsatolás miatt (mivel a jelet  $Q$ -ról, azaz a kimenetről vezetjük a másik tranzisztor bázisára, azaz

bemenetére) az áramkör nem stabil a zavarjelekkel szemben. Tegyük fel, hogy egy zavarjel miatt nőni kezd a  $T_1$  tranzisztor kollektorárama, ami azt eredményezi, hogy növekszik a feszültségesés  $T_1$   $R_c$  ellenállásán. Ez a feszültségváltozás a  $C_1$  kondenzátoron átjutva maga után vonja  $T_2$  bázisfeszültségének a csökkenését. A  $T_2$  tranzisztor tehát kevésbé lesz nyitva, azaz csökken a kollektorárama, és nő a kollektorfeszültsége. Ezen feszültségnövekedés a  $C_2$  kondenzátoron átjutva még jobban kinyitja a  $T_1$  tranzisztort (itt zárul a pozitív visszacsatolási hurok), és a folyamat addig tart, amíg  $T_2$  teljesen le nem zár. Ennek eredményeként  $Q_1 \sim 0$  V, míg  $Q_2 = U_+$ , a LED ( $D_1$ ) világít.

A pozitív visszacsatolásnak köszönhető gyors átbillenés után a kondenzátorok ( $C_1$ - $C_2$ ) elkezdnek tölteni.  $C_1$  kollektorhoz kötött pontja közel 0 V-on van, a másik pontja azonban az  $R_1$  ellenálláson keresztül  $U_+$ -hoz van kötve. Ezért a  $C_1$  kondenzátor az  $R_1 C_1$  időállandó által meghatározott sebességgel elkezd tölteni. A töltődés miatt a  $T_2$  tranzisztor bázisán lévő

feszültség el fogja érni a bázis-emitter dióda nyitófeszültségét, és  $T_2$  elkezd kinyitni. Ekkor az előzőhöz nagyon hasonló folyamat indul be, csak most a  $T_2$  tranzisztoron. Tehát a rendszer átbillen a másik állapotába, amikor  $T_2$  van nyitva és  $T_1$  pedig zárva. Ilyenkor  $Q_2 \sim 0$  V, míg  $Q_1 = U_+$ ,  $D_1$  nem világít.

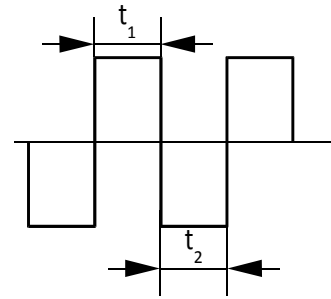
A fentiekből látszik, hogy a két állapot közötti átbillenések időtartama a kondenzátorok feltöltődésének és kisülésének időtartamával arányos. Ezt az időt az  $R_1$  és  $R_2$  ellenállásokon valamint a  $C_1$ ,  $C_2$  kondenzátorokon keresztül tudjuk szabályozni.  $\tau_1 = R_1 C_1$ , illetve  $\tau_2 = R_2 C_2$ . Ha  $\tau_1 = \tau_2$ , akkor szimmetrikus négyyszögjelet kapunk. Ha ez nem teljesül, akkor a multivibrátor két állapota különböző időállandóval rendelkezik, s a kimeneti négyyszögjel is aszimmetrikus lesz.



7. ábra - Astabil multivibrátor 555-ös IC-vel

Ezt az áramkört is megépíthetjük (7.ábra) az előzőekben megismert univerzális időzítő IC-vel (555). A négyszögjel frekvenciája a következő képlettel számítható:

$$f = \frac{1}{t_1 + t_2} = \frac{1}{0.693 \cdot C (R_1 + 2 \cdot R_2)}$$



A négyszögjel  $t_1$  és  $t_2$  periódus-hossza, valamint  $D$  kitöltési tényezője (a pozitív és negatív periódusok aránya):

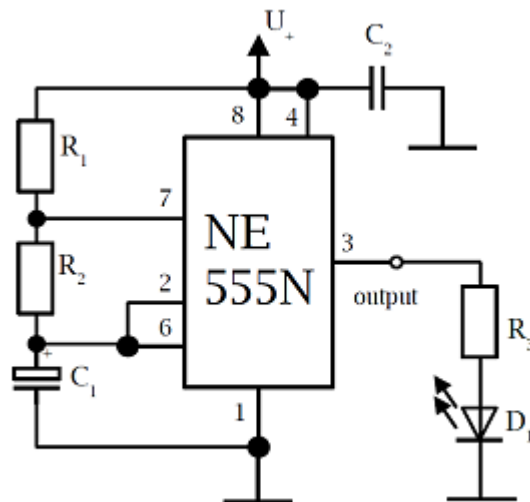
$$t_1 = 0.693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C$$

$$t_2 = 0.693 \cdot R_2 \cdot C$$

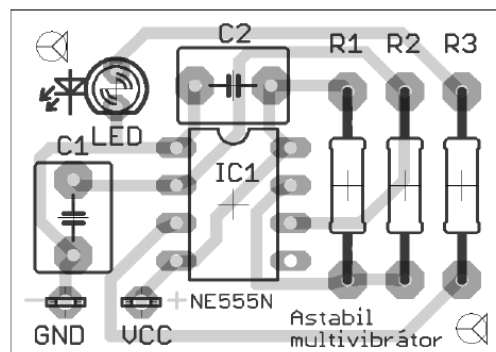
$$D = \frac{t_1}{t_1 + t_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + 2 R_2}$$

### 5. Mérési feladatok

M1: Építsen astabil multivibrátort egy előre megadott áramköri lapkán a 8. ábrán látható kapcsolás alapján!



8. ábra - Astabil multivibrátor 555-tel



9. ábra - Astabil multivibrátor NE555-ös IC-vel. Beültetési rajz

a) Számítással határozza meg az ellenállás(ok) értékét a mérésvezető által megadott kondenzátor értékeihez úgy, hogy az áramkör  $f = 1 \text{ Hz}$  frekvenciával billegjen! A LED (D1) színe szabadon választható a rendelkezésre álló készletből.

b) A mérésvezetőtől kapott, előre legyártott nyomtatott huzalozású lemezen forrassa össze az astabil multivibrátort. Munkájához az előzőekben kiszámított értékű alkatrészeket használja fel! Az áramkör összeszerelése során a forrasztópáka használatának elsajátítása, és a megépítés közben szerezhető tapasztalatok begyűjtése a cél. Az összeszerelés megkezdése előtt vegyék szemügyre a mérőhelyen található, kész mintaáramkört, és próbáljanak meg hasonló panelt készíteni!

c) Mérje meg oszcilloszkóp segítségével, hogy ténylegesen mekkora frekvencián billeg az áramkör.

M2: Állítson össze monostabil billenőkört a 4. ábrán látható kapcsolásban, breadboard-on. A billenés időtartama legyen  $200 \mu\text{s}$ . Mérje meg oszcilloszkóp és jelgenerátor segítségével a kimeneti jel időtartamát. A bemeneti jel frekvenciáját számítással határozza meg! Műveleti erősítőként  $\mu\text{A}741$ -est használjon!

## 6. Ajánlott irodalom

[1] Budó Ágoston: Kísérleti fizika II., Tankönyvkiadó

[2] John D. Lenk: Elektronikai alapkapcsolások gyűjteménye, Műszaki Könyvkiadó

[3] Zombori Béla: Az elektronika alapjai, Nemzeti Tankönyvkiadó