

# 8. Astabil áramkör

Írta: Veréb Szabolcs

Lektorálta: Proksa Gábor

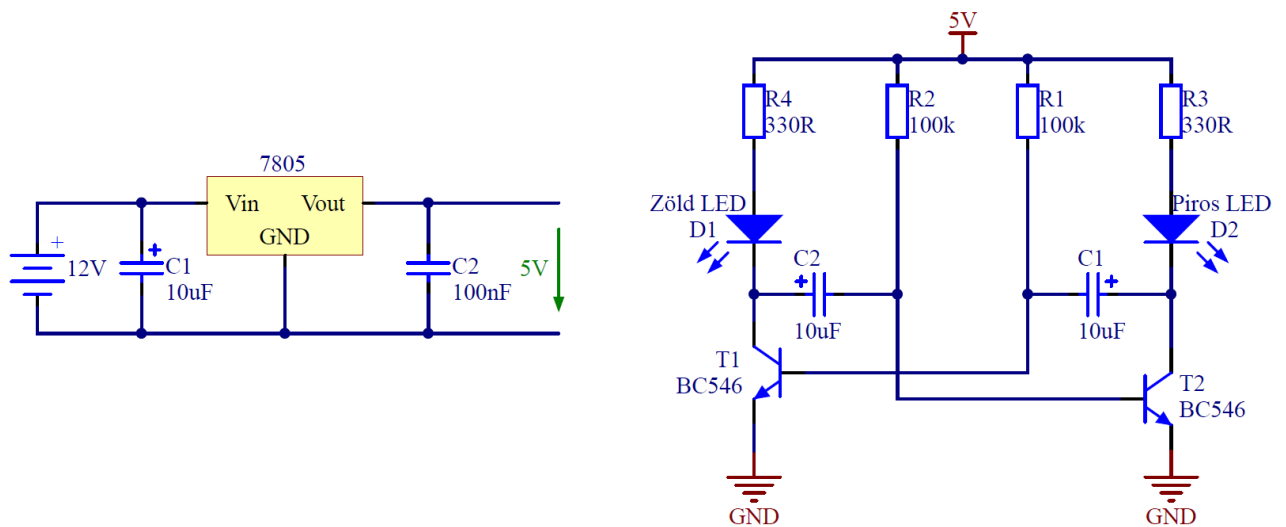
Ebben a tananyagrészben megismerkedhetsz a legegyszerűbb és a legismertebb LED-villogtató áramkörökkel.

Mit jelent az astabil szó? Talán ez volt az első gondolatod, amikor elolvastad a címet. Egyenlőre még maradjon titok, építsd meg a legegyszerűbb ilyen áramkört, és a működésének megértése közben megfejtjük a szó jelentését.

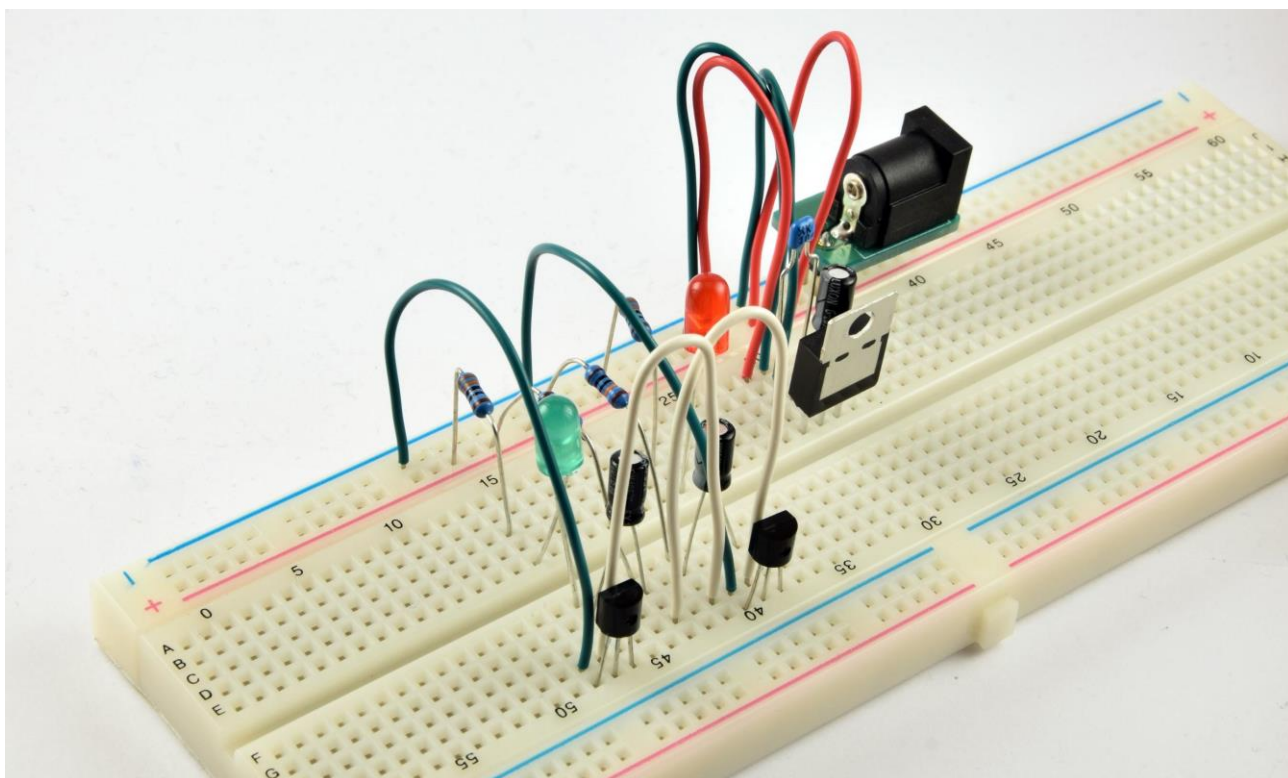
## ASTABIL ÁRAMKÖR TRANZISZTOROKKAL

Először is a korábban megismert 7805 típusú feszültségstabilizátorral építs meg egy 5V-os tápegységet.

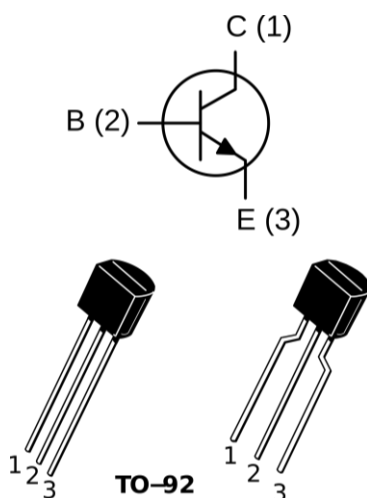
Ezután az 1. ábrán látható kapcsolási rajz alapján építsd meg az astabil áramkört a breadboardon. Egy lehetséges elrendezést láthatsz a 2. ábrán.



1. ábra - 5V-os tápegység, és az astabil multivibrátor



**2. ábra** - Kapcsolás megépítve a breadboard-on



**3. ábra** - BC546 tranzisztor lábkiosztása

Kapcsolj 5V feszültséget az áramkörre a megépített tápegység segítségével! Azt tapasztalod, hogy a két LED felváltva villog kb. 0,5-1 másodperces ütemben.

## KÍSÉRLETEZZÜNK!

Ne feledd: mielőtt módosítasz egy áramkört a breadboardon, mindig kapcsold le róla a tápfeszültséget!

Először az R1 ellenállást cseréld ki 33kΩ értékűre. A tápfeszültség visszakapcsolása után a LED-ek villogása aszimmetrikus lett, a D2 LED rövidebb ideig világít mint a másik. Ugyanez történik a D1 LED-el, ha az R2-t

cseréled ki (miközben R1 100kΩ értékű). Ha mindkét ellenállást 33kΩ-mal helyettesíted, akkor újra szimmetrikus lesz a villogás, viszont körülbelül háromszor olyan gyorsan villognak, mint 100kΩ-al. Ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a villogás frekvenciája összefügg R1 és R2 értékével.

Folytassuk a kísérletezést! Cseréld ki C1-et 22uF értékű kondenzátorra. A villogás újra aszimmetrikus, most a D2 LED hosszabb ideig világít. Ugyanezt tapasztalhatod a D1 LED-el, ha C2-t cseréled ki 22uF értékű kondenzátorra. Ha C1-et és C2-t is 22uF-al helyettesíted, akkor a villogás szimmetrikus lesz, és körülbelül fele olyan gyors, mint korábban. Tehát a villogás frekvenciája függ a kapacitás értékektől is.

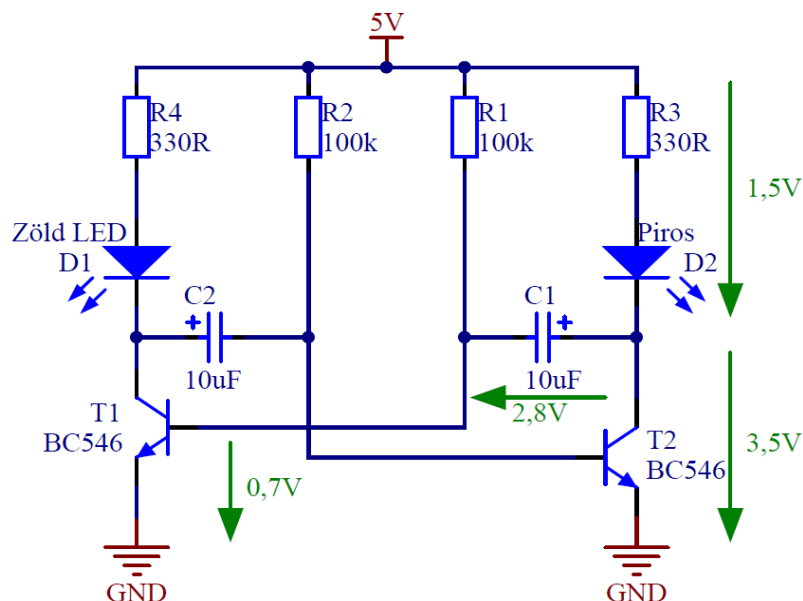
Ha megpróbálsz kicserélni R3 és R4 ellenállásokat például 1kΩ értékűekre, akkor a villogás frekvenciája nem változik, a LED-ek fényereje viszont igen (szigorúan nagyobb értékekkel próbálkozz, 220Ω-nál kisebb ellenállás kárt tehet a tranzisztorban és a LED-ben!).

Összefoglalva azt tapasztaltad, hogy a villogás frekvenciáját R1, R2, C1 és C2 értékei szabják meg. Hogy is működik ez az áramkör?

## MŰKÖDÉS

Induljunk ki abból az esetből, hogy a T1 tranzisztor épp vezető állapotban van (**D1 világít**), T2 pedig le van zárva (**D2 nem világít**). Ekkor T1 kollektorán közel nulla a feszültség.

**A teljes ciklus első felében** C2 töltődik R2-n keresztül, a kondenzátoron mérhető feszültség lassan növekedni kezd, és (az ábrán) jobboldali fegyverzetének feszültsége eléri T2 nyitófeszültségét (körülbelül 0,7V).



4. ábra - Feszültségek T1 nyitott, T2 zárt állapot esetén

Ebben a pillanatban a T2 tranzisztor kinyit, a kollektorfeszültsége nulla lesz, így **D2 világít**. Gyakorlatilag ezzel egyidőben D1 kialszik, de miért?

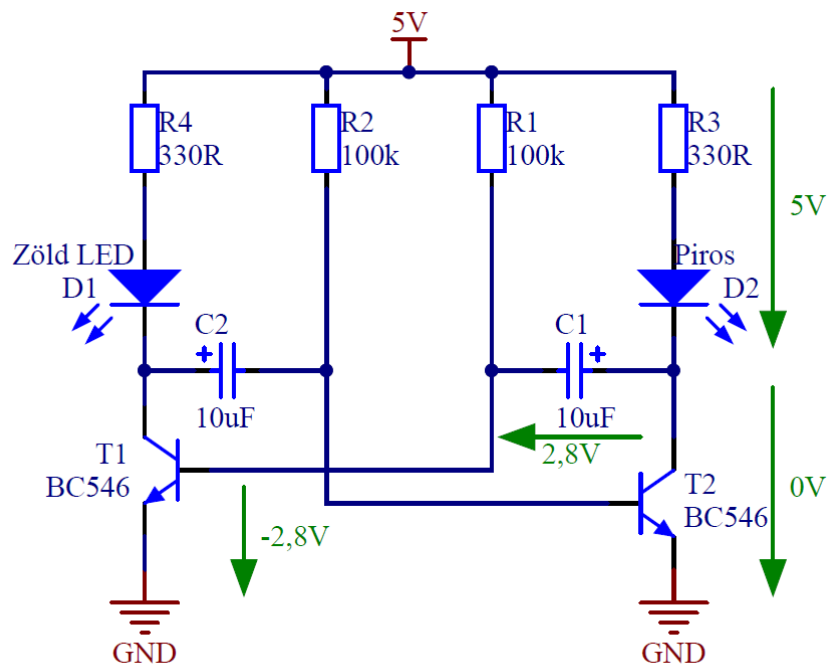
A megértéséhez először tudnod kell, hogy a kondenzátor fegyverzetei közötti feszültség nem változhat pillanatszerűen. Ezért a kapcsolás pillanatában a C1 kondenzátoron a kapcsolás előtti feszültségérték mérhető.

Mekkora volt ez a feszültség? A 4. ábrán láthatod a feszültségeket a kapcsolás pillanata előtt. C1 jobboldali fegyverzetén a tápfeszültségnél a LED nyitófeszültségével kevesebb a feszültség, a bal fegyverzetén pedig 0,7V mérhető, mivel T1 nyitva van. A kondenzátoron mérhető feszültség e két feszültség különbsége kell legyen ( $U_{BE1} + U_{C1} - U_{CE2} = 0$ ), vagyis 2.8V (a bejelölt mérőirányban).

T2 kapcsolásának pillanatában a kondenzátor feszültsége ugyanennyi marad, viszont T2 kollektorfeszültsége nullára csökken.

Az  $U_{BE1} + U_{C1} - U_{CE2} = 0$  hurokegyenlet alapján a T1 tranzisztor bázis-emitter feszültsége -2.8V, ami kisebb mint a nyitófeszültsége. Emiatt T1 kikapcsol, D1-en nem folyik tovább áram. Ez az oka annak, hogy D1 kialudt, amikor D2 kigyulladt.

Tehát most ott tartunk, hogy D2 világít, D1 nem világít.



5. ábra - Feszültségek közvetlenül T2 kinyitása után

**A teljes ciklus második felében** R1 tölni fogja a C1 kapacitást, vagyis T1 bázis-emitter feszültsége növekedni fog, egészen 0,7V-ig. Ekkor T1 vezető állapotba kerül (**D1 világít**), C2 kondenzátor megőrzi a változás előtti feszültségét, ami miatt T2 bázis-emitter feszültsége -2.8V lesz. Ez T2 kikapcsolását eredményezi (**D2 nem világít**). Innentől a folyamat ismétlődik.

## MÉRJÜNK!

A működés elvét méréssel is ellenőrizni tudod. Cseréld ki R1-et és R2-t 1MΩ értékű ellenállásokra, a C1-et és C2-t 22μF értékű kondenzátorokra, majd kapcsold rá a feszültséget az áramkörre! Az alkatrészek cseréjére azért volt szükség, hogy a villogás sebessége sokkal lassabb legyen, így a mérőműszereden követheted a feszültség változását.

A multimétered COM vezetékét az áramkör földjéhez, a pozitív vezetékét az egyik tranzisztor bázisához érintsd és figyeld hogyan változik a bázis feszültsége! Amikor a tranzisztor kollektorkörében levő LED kialszik a feszültség negatív lesz (körülbelül a tápfeszültség és a LED nyitófeszültségének a különbsége), majd szépen lassan növekszik körülbelül 0,7V-ig, ekkor a LED kigyullad. Ez pontosan megfelel az áramkör elvi működésének.

Előfordulhat, hogy a mérés közben a villogás periódusideje megváltozik. Ez akkor fordulhat elő, ha az általad használt multiméter úgynevezett belső ellenállása összemérhető nagyságú az áramkörben használt ellenállások nagyságával. Ezzel a jelenséggel nem kell törődni egyelőre, a feszültség változását így is meg tudod figyelni.

## MEKKORA A VILLOGÁS PERIÓDUSIDEJE?

Látható, hogy T1 és T2 ki- és bekapcsolási idejét a C1 és C2 kondenzátorok feltöltéséhez szükséges idő szabja meg, amit ebben az esetben az R1-C1 és R2-C2 alkatrészek értékei határoznak meg.

Le lehet vezetni, hogy a szükséges feltöltődési idő:

$$t = 0.69 \cdot R \cdot C$$

Ez a mi esetünkben:

$$t = 0.69 \cdot 100[k\Omega] \cdot 10[\mu F] = 0.69 \cdot (100 \cdot 10^3) \cdot (10 \cdot 10^{-6}) = 0.69[s]$$

Te is egy másodpercnél valamivel kisebb időközönként láttad a LED-eket villogni. A képletből az is jól látszik, hogy ha csökkented az ellenállás értékét, akkor csökken a tranzisztor bekapcsolva töltött ideje (a LED ekkor világít), ami megfelel a tapasztalataidnak. Szintén kiolvasható, hogy ha növeled a kondenzátor kapacitásának értékét, akkor növekedni fog ez az idő, vagyis lassul a villogás. Ezt is tapasztalhattad, amikor a kondenzátorokat cseréltük ki.

## KONKLÚZIÓ

A kísérletezés során sikerült már a működés megértése előtt rájönnöd, hogy hogyan változtathatod meg a villogás idejét. Azzal, hogy megérted a működést, pontosan meg tudod "jósolni", hogy mekkora villogási idő várható.

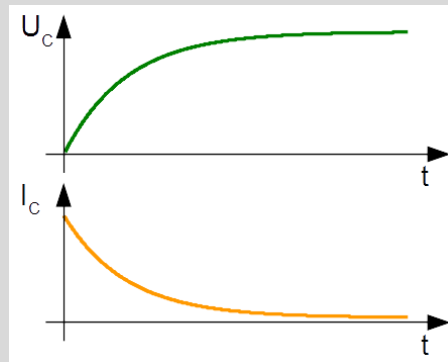
## MIT JELENT AZ ASTABILITÁS?

A stabilitás szó jelentése az állandóságra, változatlanságra utal, az 'a' pedig fosztóképző, vagyis az astabil szó jelenetése "nem állandó", "változó". Ebben az áramkörben a tranzisztorok állapota nem volt állandó, ki-be kapcsolgattak.

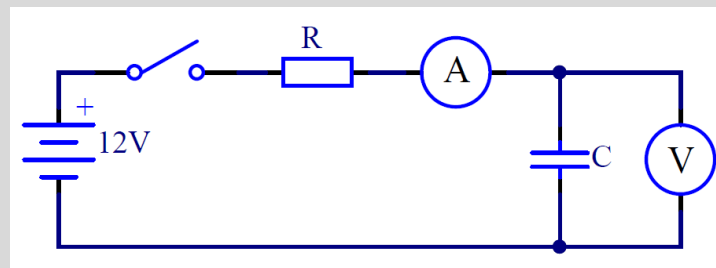
A kollektorokon mérhető feszültség vagy 0V, vagy a tápfeszültséggel közel megegyező nagyságú. Az ilyen, két érték között változó feszültséget négyzögjelnek nevezzük.

## Kitekintés

Hogyan változik egy kondenzátor feszültsége, ha egy ellenálláson keresztül töltjük?



6. ábra - Kondenzátor feszültsége és árama töltés közben



7. ábra - Kondenzátor töltése

Tegyük fel, hogy kezdetben a kondenzátoron nincsenek töltések. Hirtelen rákapcsoljuk az ellenállásra a tápfeszültséget. Ebben a pillanatban töltések kezdenek el áramolni a kondenzátorra, azaz áram fog folyni, mégpedig akkora nagyságú, mintha a kondenzátort egy vezetéssel, vagyis rövidzárral helyettesítenénk, tehát az áram  $I=U/R$  értékű lesz.

Ahogy töltések halmozódnak fel a kondenzátor fegyverzetén, az  $U=Q/C$  összefüggés alapján a kondenzátor feszültsége folyamatosan növekszik, emiatt az ellenálláson egyre kisebb feszültség esik, így az áram is csökkenni fog.

Mérésekkel is alátámasztható, hogy a fenti ábrán látható, exponenciális függvények írják le a kondenzátor feszültségét és áramát töltődés során. A feszültség időfüggvénye:

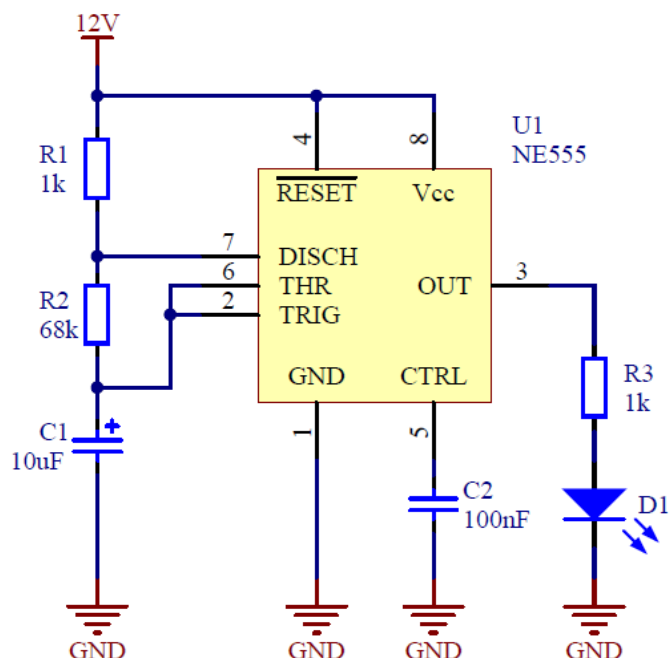
$$U(t) = (U_{vég} - U_{kezdeti}) \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

ahol  $\tau$ , az ún. időállandó

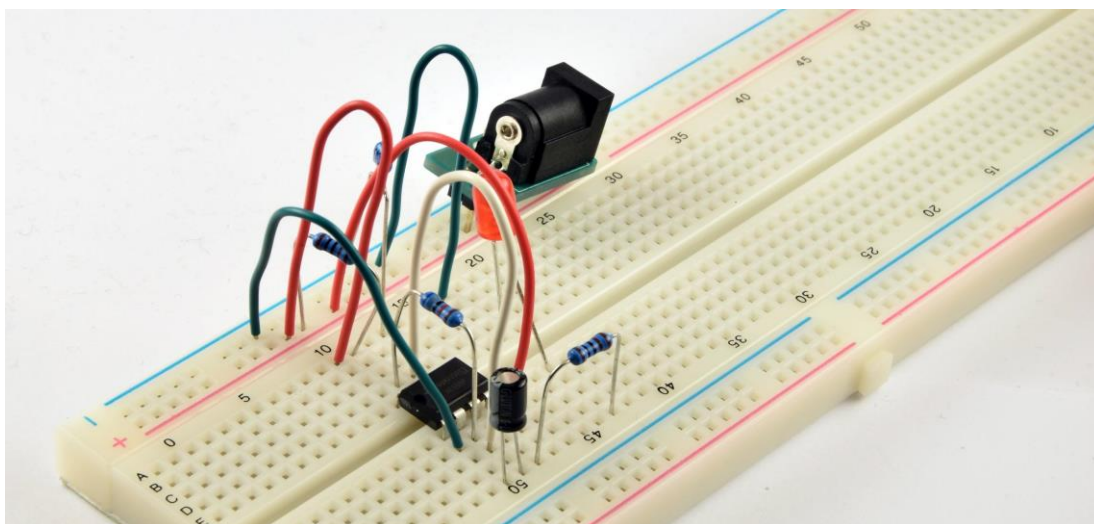
$$\tau = R \cdot C$$

## ASTABIL ÁRAMKÖR 555-ÖS INTEGRÁLT ÁRAMKÖRRREL

Négyszögjelre nagyon sok alkalmazásnál szükség van, azonban a tranzisztoros megoldás egyrészt nagy helyet foglal, másrészt a frekvenciája érzékeny a hőre és a tápfeszültség nagyságára is. Ezek miatt, és sokféle funkció egyesítésére hozták létre 1971-ben az 555-ös nevű IC-t, ami a mai napig nagyon népszerű.



8. ábra - Astabil áramkör 555-el



9. ábra - Astabil áramkör 555-el a breadboardon





A belsejében található egy feszültségosztó, mely három egyforma értékű ellenállásból áll ( $R_a$ ,  $R_b$ ,  $R_c$ ). Az összekapcsolódási pontjaikban fentről lefelé a tápfeszültség  $\frac{2}{3}$ -a és  $\frac{1}{3}$ -a mérhető, ez esetünkben rendre 8V és 4V feszültséget jelent.

Ezután van két feszültség-összehasonlító modul, melyek kimenetükre a tápfeszültséget kapcsolják (továbbiakban logikai "1" állapot), ha a pozitív bemenetükön nagyobb a feszültség, mint a negatívon. Minden más esetben nulla feszültség mérhető a kimenetükön (a továbbiakban logikai "0" állapot).

Az IC THRES jelű kivezetése (threshold, vagyis küszöb) az egyik ilyen modul pozitív bemenetére van kötve, a negatív bemenetére az ellenállásosztó  $\frac{2}{3}$ -as pontja kapcsolódik. Tehát ennek az összehasonlítónak akkor lesz a kimenetén "1", ha a THRES lábán a tápfeszültség  $\frac{2}{3}$ -ánál nagyobb a feszültség (esetünkben nagyobb mint 8V).

A másik modul pozitív lábára az osztó  $\frac{1}{3}$ -os pontja kapcsolódik, a negatív bemenetére az IC TRIG feliratú lába, vagyis akkor lesz a kimenetén "1", ha a TRIG (trigger, azaz ravasz vagy elsütő szerkezet) lábán a tápfeszültség  $\frac{1}{3}$ -ánál kisebb feszültség van (esetünkben kisebb mint 4V).

A két feszültség-összehasonlító modul kimenete egy úgynevezett RS-tároló egységre kapcsolódik. Ez az egység képes arra, hogy a kimeneti feszültségét ("0" vagy "1" állapotát) megőrizze, az állapotok közötti váltást a bemenetein levő "0" és "1" feszültségek határozzák meg.

Ha az S (set, vagyis beállító) bemenetén "1" van, akkor a kimenet "1" állapotba kerül. Ha az R (reset, vagyis visszaállító) bemenetén van "1", akkor a kimenet "0" állapotba kerül.

Az 555-ös IC-ben ez azt jelenti, hogy az RS-tároló kimenete "0" állapotba kerül, ha az IC THRES lábán a tápfeszültség  $\frac{2}{3}$ -ánál nagyobb a feszültség, "1" állapotba pedig akkor billen át, ha a TRIG lábán a tápfeszültség  $\frac{1}{3}$ -a alá esik a feszültség.

Az IC kimenete egy úgynevezett erősítőn keresztül kapcsolódik az RS-tároló kimentére, ezzel biztosítható, hogy az IC kimenetén (OUT láb) akár 200mA áram is folyhasson.

Az IC tartalmaz egy tranzisztort, amely akkor kapcsol be, ha az RS-tároló kimenete "0" állapotú (ezt a negált működést valósítja meg a tranzisztor bázisára kapcsolódó, háromszöggel és kis karikával jelölt egység).

Az IC DISCH (discharge, vagyis kisütés) lábát a tranzisztor az IC GND lábával köti össze.

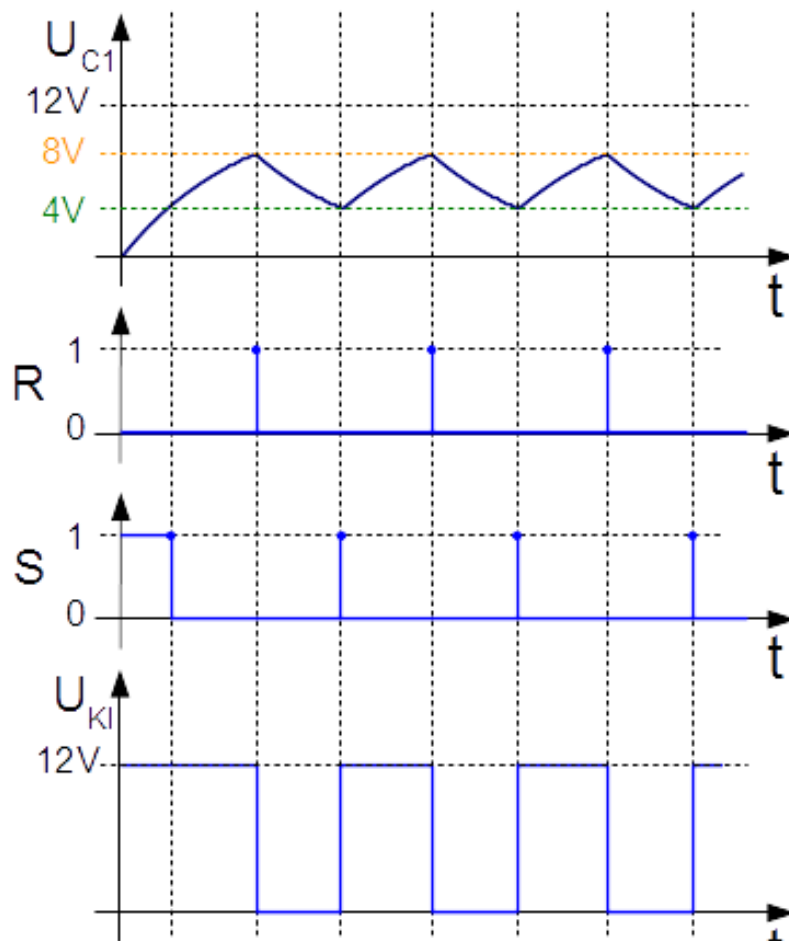
## AZ ÁRAMKÖR MŰKÖDÉSE

Hogy is működik az astabil áramkörben ez az IC?

Kezdetben a C1 kondenzátor feszültsége 0V. A tápfeszültség rákapcsolásakor az IC kimenetén a tápfeszültség mérhető (**a LED világít**), hiszen a TRIG lábán a tápfeszültség  $\frac{1}{3}$ -ánál (továbbiakban 4V) kisebb a feszültség, a tároló S bemenete "1" értékű.

A kondenzátor töltődni kezd az R1 és R2 ellenállásokon keresztül. Amint eléri a feszültség a 4V-ot az alsó összehasonlító kimenete "0" lesz, azonban a tároló R bemenete még "0", tehát az IC kimenete nem változik.

Az eddig leírt folyamat csak az áramkör bekapcsolásakor játszódik le.



10. ábra - A C1 kondenzátoron mérhető feszültség és az 555-ös IC jelei

A további események periodikusan ismétlődni fognak.

A kondenzátor feszültsége tovább növekszik, egészen a tápfeszültség  $\frac{2}{3}$ -áig (továbbiakban 8V). Ebben a pillanatban a felső összehasonlító kimenete "1"-re változik, ami az RS-tároló kimenetét "0" állapotba billenti, az IC kimenetén nulla feszültség mérhető (**a LED nem világít**).

Ezzel egyidőben a tranzisztor bekapcsol és a DISCH lábat a földre köti, ami miatt a kondenzátorból áram folyik ki R2-n keresztül, vagyis elkezd kisülni (innen ered a discharge láb elnevezése).

A kondenzátor feszültsége egészen 4V-ig csökken, ekkor ugyanis az alsó összehasonlító kimenete vált "1"-re, aminek hatására a tároló kimenete "1" állapotba kerül. A belső tranzisztor lezár, és a DISCH láb GND-vel való kapcsolata megszűnik. Ezzel egyidőben az IC kimenetén megjelenik a tápfeszültség, így a **LED világít**.

## MÉRJÜNK!

Cseréld ki R2-t 1MΩ értékű ellenállásra! Ezzel megnöveled a kimenet változásának idejét. A multimétereddel mérd meg a C kondenzátor kivezetésein mérhető feszültséget! Azt tapasztalod, hogy amíg a LED világít, a feszültség 4V-ról egészen 8V-ig nő, ezután a kimenet állapotot vált és a feszültség csökkenni kezd, amíg el nem éri a 4V-ot, majd a folyamat előlről kezdődik.

A két küszöbfeszültség pontosan a tápfeszültség  $\frac{2}{3}$ -a és  $\frac{1}{3}$ -a, vagyis az áramkör a fentieknek megfelelően működik.

## MEKKORA A VILLOGÁS PERIÓDUSIDEJE?

Az IC kimenetén mérhető feszültség változásának ideje a kondenzátor feltöltődési és kisülési idejétől függ. Töltődés során ezt az időtartamot R1+R2 és C értékei határozzák meg (a kimeneten a tápfeszültség mérhető, a LED világít), kisülés során csak R2 és C értéke a mérvadó (a kimenet feszültsége ekkor 0, a LED nem világít).

Ez azt jelenti, hogy ha R1 ellenállása nem sokkal kisebb R2 ellenállásánál, akkor a ki- és bekapcsolt állapotok időtartama nem lesz egyenlő.

Ezt tapasztaltad is, amikor R1 és R2 is 68kΩ ellenállású volt. Ekkor a két időtartam aránya:  $\tau_{ki/be} = \frac{(R_1+R_2) \cdot C}{R_2 \cdot C} = \frac{68k\Omega+68k\Omega}{68k\Omega} = 2$ , vagyis kétszer olyan hosszú ideig világít a LED, mint amennyi ideig nem. Ha R1 értéke sokkal kisebb, mint R2 értéke, akkor a két időtartam körülbelül egyenlő lesz, a kimenet változásának frekvenciáját főként C és R2 értéke határozza meg.

## Kitekintés

Nem beszéltünk még az IC fennmaradó két lábáról.

A IC RESET lába láthatóan az RS-tárolóhoz kapcsolódik. Ha ez a láb "0" értékű, akkor a tároló kimenete az R és S bemeneteitől függetlenül "0" állapotba kerül, innen a neve is (reset, vagyis visszaállítás). Ha azt akarjuk, hogy ne befolyásolja a tároló működését, akkor "1" értékre kell beállítani, vagyis össze kell kötni a táplálással.

Az ellenállásosztó felső,  $\frac{2}{3}$ -os pontja ki van vezetve az IC CTRL (control, vagyis vezérlés) lábára. Ez azért hasznos, mert ha pl. 5V-ot kapcsolunk erre a lábra, akkor az összehasonlító modulok nem a tápfeszültség  $\frac{2}{3}$ -ával és  $\frac{1}{3}$ -ával hasonlítják össze bemenetüket, hanem 5V-al és 2,5V-al, tehát a THRES és TRIG lábak érzékenységi feszültségét el tudjuk tolni tetszőleges értékre.

Asztabil kapcsolásban a CTRL lábat egy kis értékű kondenzátorral a földre kötjük.

Egyrészt azért, hogy a belső ellenállásosztón kialakuló feszültség zajmentes legyen.

Másrészt az áramkör bekapcsolásakor a kondenzátor miatt a feszültség-összehasonlító modulokra kapcsolódó osztón mérhető feszültségek lassabban érik el tápfeszültség  $\frac{2}{3}$ -át illetve  $\frac{1}{3}$ -át. Ez garantálja, hogy bekapcsoláskor az IC kimenete stabil állapotba kerül.

Említettem, hogy R1 értékét nem szabad túlságosan lecsökkenteni, mert az veszélyezteti magát az integrált áramkört. Miért van ez? Amikor a DISCH lábat a belső tranzisztor összeköti a GND-vel, akkor

gyakorlatilag R1 ellenállás a tápfeszültség és a GND közé van bekötve. Ha túl kicsi értékű R1 ellenállása, akkor nagy áram fog keresztülfolyni rajta ( $I=U/R$ ), ami a DISCH lábra kapcsolt tranzisztort tönkreteheti.

Az 555-ös IC nem csak astabil áramkört képes megvalósítani.

Például a monostabil áramkört, amely a bemenetére érkező impulzust legalább egy előre meghatározott ideig fenntartja a kimenetén.

Előállítható vele PWM jel is, mellyel a tananyag későbbi részében fogunk foglalkozni.

Az IC adatlapjában találhatsz még néhány érdekes alkalmazási területet.

## VÉGSZÓ

---

Ebben a tananyagrészben az astabil áramkör kétféle megvalósítását is megismerhetted. Mindkét megoldás azon alapszik, hogy egy kondenzátor ellenálláson keresztül történő töltéséhez vagy kisütéséhez szükséges idő függ a kondenzátor kapacitásától és az ellenállás ellenállásértékétől. Tulajdonképpen ezzel a módszerrel "időt mértünk".

Az astabil áramkör kimenetének feszültsége két érték között változott, amelyet logikai "1" és "0" állapotoknak nevezünk. Ez azt is jelenti, hogy a kimenet digitális jelnek tekinthető.

A tananyagban ez volt az első áramkör, amely önállóan "csinált" valamit, ez esetben digitális jelet állított elő, és még LED-eket is villogtatott!