

Billenőáramkörök (multivibrátorok)

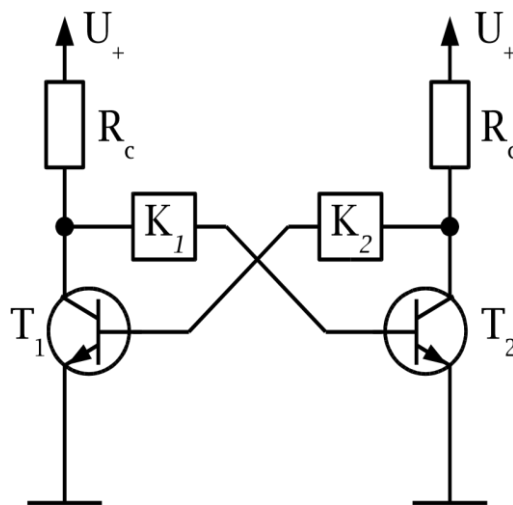
1. Bevezetés

Multivibrátorok típusai

A billenőáramkörök pozitívan visszacsatolt univerzális digitális áramkörök, melyeket négyszögjelek előállítására használunk. Kimeneti feszültségük nem folytonosan változik, hanem két diszkrét értéket vehet fel. Az billenés több különböző módon történhet. Eszerint létezik:

- *bistabil multivibrátor* --- mindkét állapota stabil. A kimeneti jelszint csak akkor változik, ha az átbillenési folyamatot egy bemeneti jel kiváltja.
- *monostabil multivibrátor* --- egy stabil állapota van. Az 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 visszabilen a stabil állapotába.
- *astabil multivibrátor* --- nincs stabil állapota. Külső vezérlés nélkül, periodikusan változtatja kimeneti feszültség szintjét, „billeg” a két állapota között.

A billenőáramköröket általánosan az 1. ábra mutatja. A billenőáramkör típusát a visszacsatolások (K_1 , K_2) határozzák meg (1. táblázat)



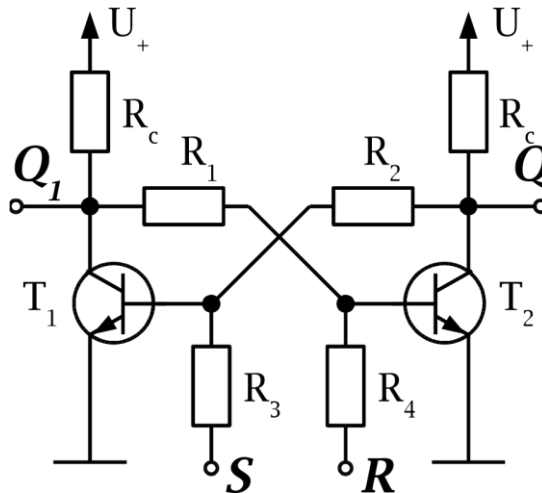
1. ábra - Billenőkörök bloksémája

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

1. táblázat - Billenőkörök visszacsatolásai

2. Bistabil multivibrátor

A bistabil billenőkör áramkörü megvalósítása a 2. ábrán látható.



2. ábra – Bistabil billenőkör

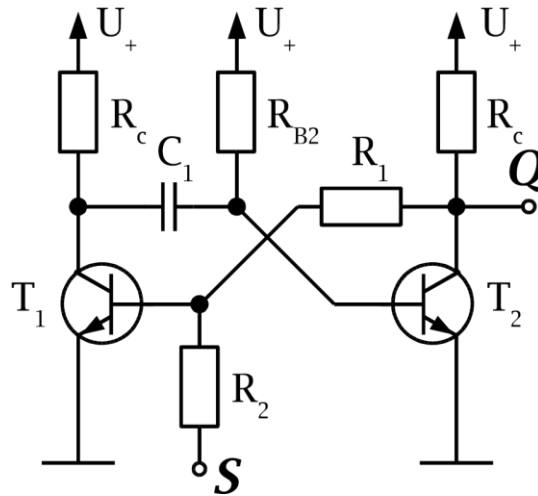
Alapállapotban sem az S sem az R bemenetre nem adunk jelet. Ilyenkor az áramkör a két stabil állapota egyikében van, és ott meg is marad (vagy $Q_1=0V$ és $Q_2=U_+$, vagy pedig $Q_1=U_+$ és $Q_2=0V$, ahol U_+ a tápfeszültséget jelöli). Tegyük fel, hogy áramkörünk ez utóbbi állapotban van. Ha az S bemenetre 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 továbbnöveli 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 kapcsolhatjuk a tápfeszültséget, az áramkör stabil állapotban marad.

Az áramkör másik stabil állapotba történő átbillenését úgy érhetjük 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 áramkörü 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.

Ez az áramkör egy **memóriaelem**, hiszen „emlékszik” arra, hogy a legutóbb melyik állapotába 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.

3. Monostabil multivibrátor



3. ábra – Monostabil billenőkör

A monostabil multivibrátor áramköri megoldásánál kiindulhatunk a flip-flop áramkörből. Az egyik visszacsatoló ellenállást cseréljük kondenzátorra. Egy ellenállással be kell állítani T_2 egyenáramú munkapontját. Ezt az áramkört mutatja a 3. ábra.

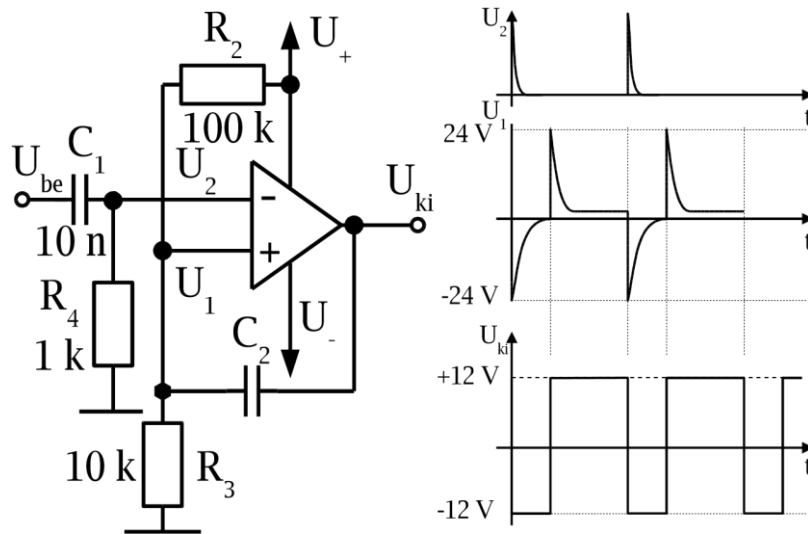
Tegyük fel hogy T_1 lezárt állapotban van, a T_2 tranzisztor pedig vezet (R_{B2} -n folyik bázisáram). Ez az áramkör stabil állapota. Az S-re adott rövid pozitív bemeneti impulzus T_1 -et kinyitja, ezáltal T_1 kollektorfeszültsége közel nullára csökken. Ezt a feszültségugrást a C_1 kondenzátor átviszi T_2 bázisára, ezért T_2 lezár, kollektorfeszültsége a tápfeszültségig növekszik. Emiatt az R_1 visszacsatoló ellenálláson keresztül T_1 nyitva marad akkor is, ha közben S-en megszűnt a jel. Ez 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 lecsökken. T_1 lezár és az áramkör visszaáll a stabil állapotába. A kimeneti impulzus időtartamát az $R_C C_1$ tag időállandója határozza meg.

3.1. Monostabil billenőáramkör műveleti erősítővel

A műveleti erősítő a bemeneteire vezetett két feszültség különbségét erősíti: $U_{ki}=A(U_1-U_2)$. A műveleti erősítők erősítése általában nagy, ezért csak kis (U_1-U_2) feszültségkülönbségek mellett működnek lineárisan. Nagyobb feszültségkülönbségek hatására telítésbe mennek (kimenetükön a pozitív vagy a negatív tápfeszültség jelenik meg).

Az ideális műveleti erősítőt a következő paraméterek jellemzik:

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



4. ábra – Monostabil billenőáramkör műveleti erősítővel

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

Ha (pozitív) feszültségugrást adunk az U_{be} bemenetre a C_1 kondenzátor a feszültségváltozást átengedi, ezért U_2 is pozitív feszültségre kerül. Abban az esetben, 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 -12V -ra.

Így a C_2 kondenzátor egyik fegyverzetén hirtelen 24V -os feszültségcsökkenés következik be. C_2 átengedi a feszültségváltozást, ezért másik fegyverzetén is megjelenik a 24V -os feszültségcsökkenés. Az átbillenés után az erősítő nem-invertáló (+) bemenetén kialakult $U_1 = -22,91\text{V}$ feszültség nem stabil, hiszen a C_2 kondenzátor elkezd töltődni, az R_3 - C_2 ponton a feszültség elkezd növekedni a feszültségosztó által megszabott egyensúlyi $1,09\text{V}$ irányába.

Amikor U_1 eléri U_2 feszültség szintjét (amely a rajta megjelenő túlimpulzus után ismét 0V lesz), az áramkör visszabilen stabil állapotába. A visszabilenést a kondenzátor, mint pozitív visszacsatolás segíti.

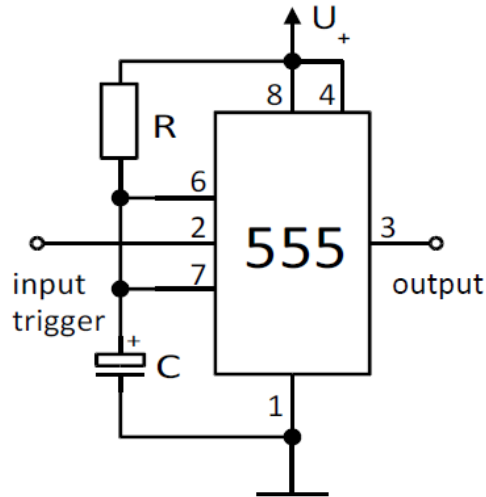
A Thevenin-tétel értelmében a feszültségosztó egyenáramú szempontból helyettesíthető egy $1,09\text{V}$ feszültséggenerátorral, amelynek belső ellenállása a feszültségosztó ellenállásainak párhuzamos eredője (R_p). Az ebben a körben kialakuló áram tölti a kondenzátort. A kondenzátoron mérhető feszültség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

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

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

3.2. Monostabil billenőáramkör 555-ös univerzális időzítővel

A gyakorlatban monostabil multivibrátort gyakran egy kimondottan erre a célra gyártott integrált áramkörrel (IC-vel) valósítanak meg: az 555-ös univerzális időzítővel. Ezzel az alkatrészsel μs -tól néhány óráig terjedő időzítések is megoldhatók.



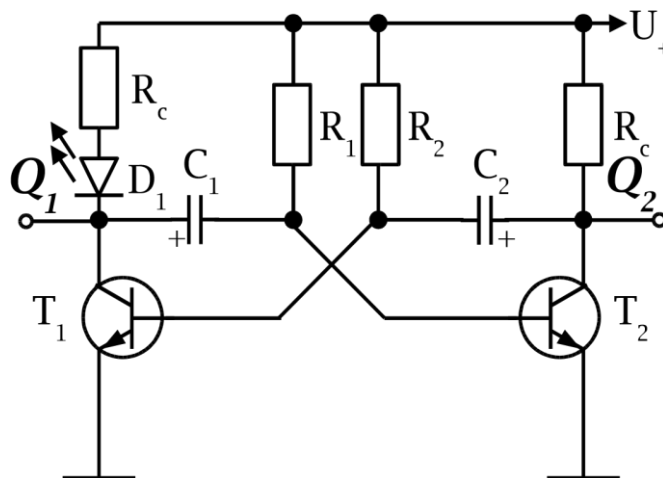
5. ábra - Monostabil multivibrátor 555-ös IC-vel

Az IC-s monostabil multivibrátor (5.ábra) periódusideje a következő képlettel számítható:

$$T = 1,1 \cdot R \cdot C [s]$$

4. Astabil multivibrátor

A multivibrátorok, mint kétállapotú elektronikai áramkörök alkalmasak négyzetjel előállítására. Egy tipikus astabil multivibrátor kapcsolása 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



Tegyük fel, hogy a két tranzisztor és a többi alkatrész szimmetrikus áramkört alkot. Ebben az esetben az áramköri egyensúlyban, mindkét tranzisztor vezet. Azonban áramkörünk nem tökéletesen zavarmentes.

Például a bekapcsolási folyamat 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 jobban kinyitja a T_1 tranzisztort, és a folyamat addig tart, amíg T_2 teljesen le nem zár. Ennek eredményeként Q_1 közel $0V$, $Q_2 = U_+$, a LED (D_1) világít.

A pozitív visszacsatolásnak köszönhető gyors átbillenés után a kondenzátorok (C_1 - C_2) elkezdnek töltődni. C_1 kollektorhoz kötött pontja közel $0V$ -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 töltődni. 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 közel $0V$, 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 négyszögjelet kapunk. Ha ez nem teljesül, akkor a multivibrátor két állapota különböző időállandóval rendelkezik és a kimeneti négyszögjel is aszimmetrikus lesz.

4.1. Astabil billenőkör 555-ös univerzális időzítővel

Ez az áramkör is megvalósítható (7.ábra) 555-ös univerzális időzítő IC-vel.

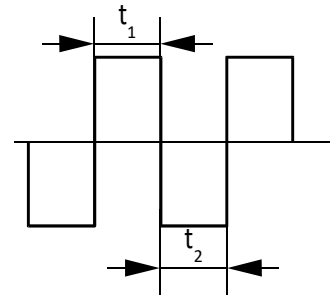
A négyzetjel frekvenciája a következő képlettel számítható:

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

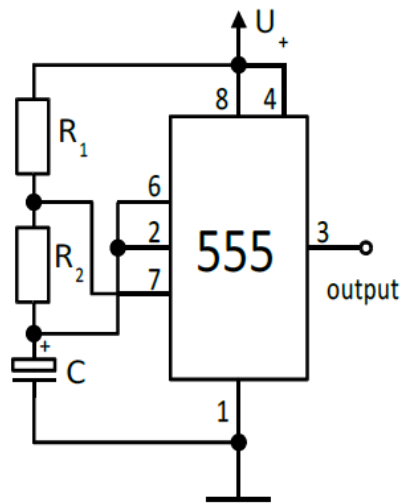
$$t_1 = 0.693 \cdot (R_1 + R_2) \cdot C$$

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

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



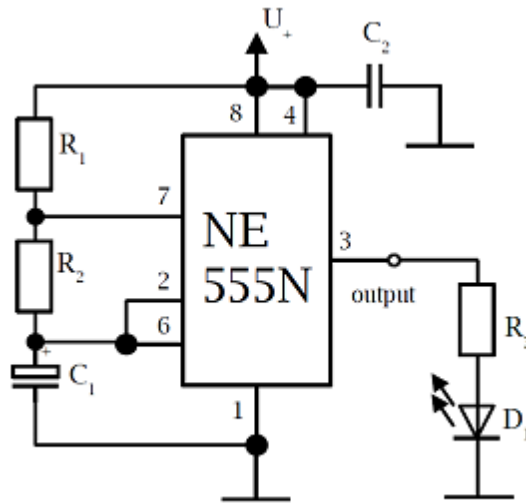
t_1 és t_2 periódusok hossza, D a kitöltési tényezője (a pozitív és negatív periódusok aránya)



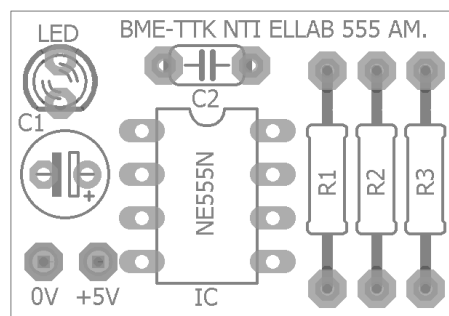
7. ábra - Astabil multivibrátor 555-ös IC-vel

5. Mérési feladatok

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



8. ábra - Astabil multivibrátor 555-tel



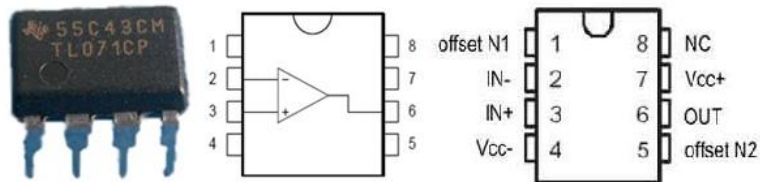
9. ábra – NE555-ös astabil multivibrátor beültetési rajza

- Számítással határozza meg az ellenállások (R_1 , R_2) értékét a kondenzátor (C_1) értékéhez ($1 \mu\text{F}$). Az áramkör $f = 1 \text{ Hz}$ frekvenciával billegjen. $t_1 = 0,7 \text{ s}$ és $t_2 = 0,3 \text{ s}$.
- A LED (D_1), melynek nyitófeszültsége $1,8\text{V}$, árama legyen 15 mA . Számítsa ki az előtét ellenállás értékét a LED számára. Az 555-ös IC mellékelt adatlapjában keresse meg az 5V tápfeszültséghez tartozó kimeneti feszültség értékét, a kimenet magas szintű állapota esetén (V_{OH}).
- A számított értékeket vesse össze a mérésvezetőtől kapott ellenállások értékeivel és számítsa ki a várható billegési frekvenciát a valós ellenállásértékekkel.
- Az előre legyártott nyomtatott huzalozású panelen forrassa össze az astabil multivibrátort. Fokozott figyelemmel ültessék be a polaritásfüggő alkatrészeket! (C_1 , IC, LED) Forrasszon 1-1 vezeték a tápfeszültség a panel csatlakozásaihoz.
- Csatlakoztassa DC tápegységre banándugós krokodilcsipeszes mérővezetékekkel az áramkört és adjon a panelre DC 5V -ot. Mérje meg oszcilloszkóp segítségével az R_3 és LED találkozásánál, hogy ténylegesen mekkora frekvencián billeg az áramkör kimenete. Mérje meg t_1 és t_2 értékét és vesse össze a számított értékekkel.
- Készítsen fotót az áramköréről és az oszcilloszkópon megjelenő jelalakról és tegye bele a jegyzőkönyvbe.

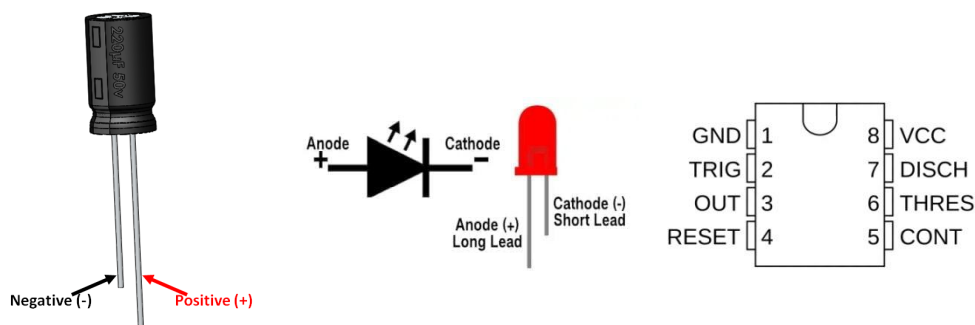


M2: Állítson össze monostabil billenőáramkört a 4.ábrán látható kapcsolás alapján, breadboard-on. A billenés időtartama (mely alatt a kimenet alacsony szinten tartózkodik) legyen 200 μ s. Az áramkör szimmetrikus tápfeszültséget (± 12 V) igényel! Műveleti erősítőként μ A741-est vagy TL071-est használjon (10. ábra).

- A függvénygenerátorról T elosztó és BNC kábel segítségével kösse be a bemenő jelet az oszcilloszkópra is. Az áramkörbe a bemenő jelet (100 Hz-es 5V csúcsértékű négyszögjel) oszcilloszkóp mérőfejjel vigye be.
- Változtassa a bemenő jel frekvenciáját először 500 Hz-re, majd 1 kHz-re és mérje meg az áramkör billenési idejét.
- A jegyzőkönyvben adjon választ arra, hogy bizonyos frekvencia fölött miért nem tartja az áramkör a közel 200 μ s-os billenési időt.
- Készítsen fotót az áramkörrel és az oszcilloszkópon megjelenő jelalakról és tegye bele a jegyzőkönyvbe.



10. ábra - TL071 és μ A741 lábkiosztása



11. ábra – Elektrolit kondenzátor, LED és az 555-ös IC bekötése, lábkiosztása

A jegyzőkönyvbe kerüljenek be tételesen 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: M1_vezetéknev1_vezetéknev2.pdf



6. Melléklet (NE555 adatlap részlet)



NE555

Electrical Characteristics ($V_{CC} = 5V$ to $15V$, $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise stated)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min	Typ.	Max	Unit	
V_{OL}	Low level output voltage	$V_{CC} = 15V, I_{OL} = 10mA$	—	0.1	0.25	V	
		$V_{CC} = 15V, I_{OL} = 50mA$	—	0.4	0.75		
		$V_{CC} = 15V, I_{OL} = 100mA$	—	2	2.5		
		$V_{CC} = 15V, I_{OL} = 200mA$	—	2.5	—		
		$V_{CC} = 5V, I_{OL} = 5mA$	—	0.1	0.35		
		$V_{CC} = 5V, I_{OL} = 8mA$	—	0.15	0.4		
V_{OH}	High level output voltage	$V_{CC} = 15V, I_{OH} = -100mA$	12.75	13.3	—	V	
		$V_{CC} = 15V, I_{OH} = -200mA$	—	12.5	—		
		$V_{CC} = 5V, I_{OH} = -100mA$	2.75	3.3	—		
I_{CC}	Supply current	Output low, no load	$V_{CC} = 15V$	—	10	15	mA
			$V_{CC} = 5V$	—	3	6	
		Output high, no load	$V_{CC} = 15V$	—	9	13	
			$V_{CC} = 5V$	—	2	5	
T_{ER}	Initial error of timing interval (Note 10)	Each time, monostable (Note 11)	—	—	1	3	%
		Each time, astable (Note 12)		—	—	2.25	
T_{TC}	Temperature coefficient of timing interval	Each time, monostable (Note 11)	$T_A = \text{full range}$	—	50	—	ppm/ $^\circ C$
		Each time, astable (Note 12)		—	150	—	
T_{VCC}	Supply voltage sensitivity of timing interval	Each time, monostable (Note 11)	—	—	0.1	0.5	%/ V
		Each time, astable (Note 12)		—	—	0.3	
T_{RI}	Output pulse rise time	$C_L = 15pF$	—	—	300	ns	
T_{FA}	Output pulse fall time	$C_L = 15pF$	—	—	300	ns	

Notes: 10. Timing interval error is defined as the difference between the measured value and the average value of a random sample from each process run.
11. Values specified are for a device in a monostable circuit similar to Figure 9, with the following component values: $R_A = 2k\Omega$ to $100k\Omega$, $C = 0.1\mu F$.
12. Values specified are for a device in an astable circuit similar to Figure 12, with the following component values: $R_A = 1k\Omega$ to $100k\Omega$, $C = 0.1\mu F$.