

# Billenő áramkörök (multivibrátorok)

## Jelterjedés hatása az átvitt jele

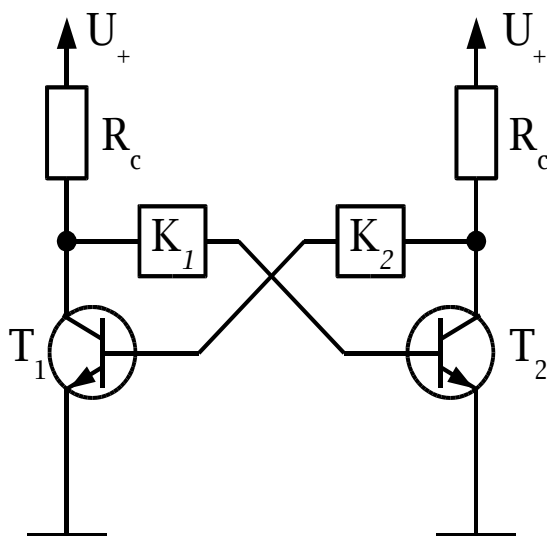
### 1. Bevezetés

#### 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 állapot között.

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



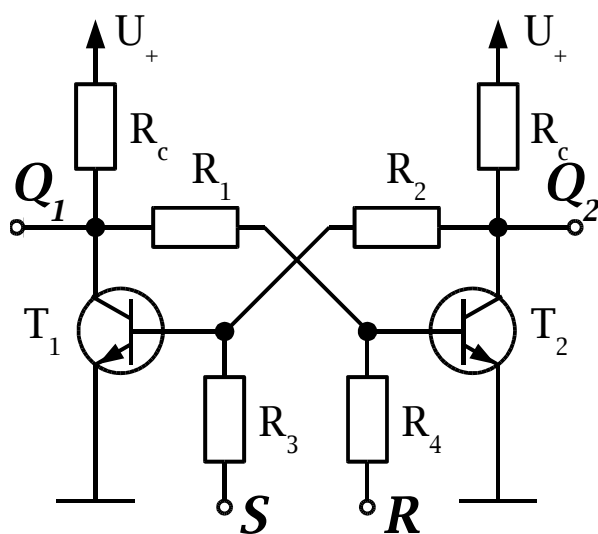
1. ábra Billenőkörök blokksémája

| 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 billenő kör áramköri megvalósítása a 2. ábrán látható.



2. ábra Bistabil billenő kör

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  $Q_1=0$  V és  $Q_2=U_+$ , vagy pedig  $Q_1=U_+$  és  $Q_2=0$  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.

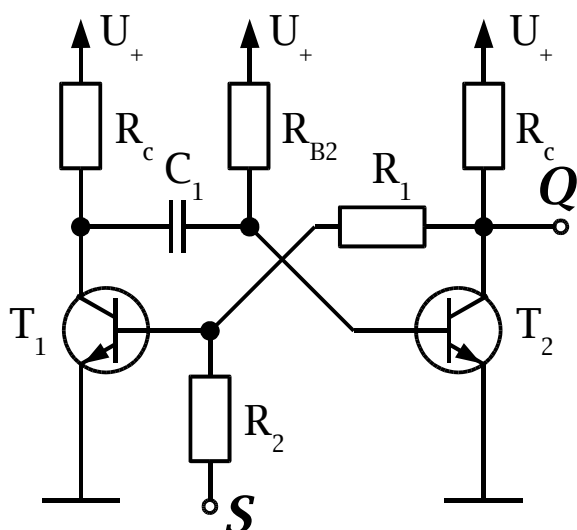
Vegyük észre, hogy ez az áramkör egy **memóriaelem**, hiszen „emlékszik” arra, hogy a legutóbb melyik állapotba billentettük. Az  $S$  bemenetre adott jellel lehet beírni (set), az  $R$  bemenetre adott jellel pedig törölni (reset). A régi statikus RAM-ok ilyen elemekből álltak össze.

## 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 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.



3. ábra Monostabil billenőkör

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.

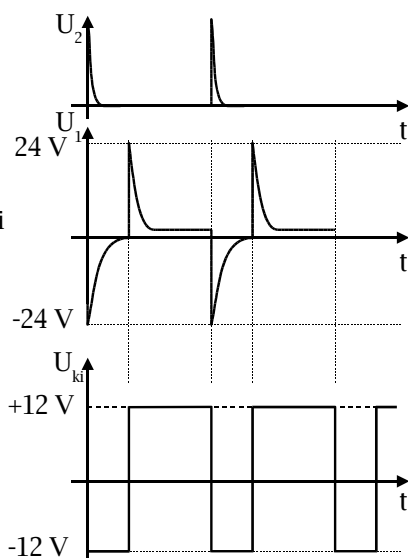
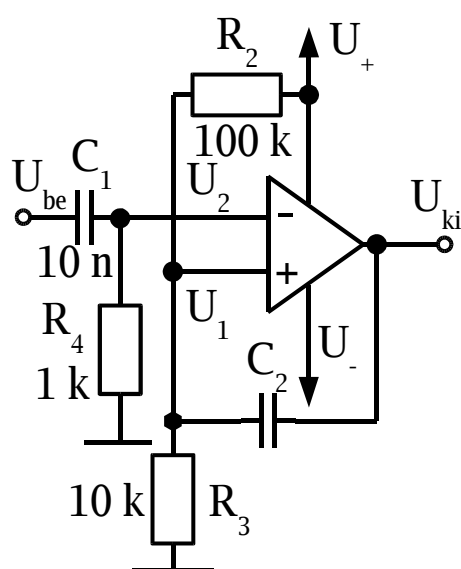
A műveleti erősítő – amellyel a „Műveleti erősítők alapkapcsolásai” című mérés keretében részletesen foglalkozunk – a bemeneteire vezetett két feszültség különbségét erősíti:  $U_{ki}=A(U_1-U_2)$ . Általában erősítésük nagyon nagy, így csak igen kis ( $U_1-U_2$ ) feszültségkülönbségek mellett működnek lineárisan. Nagyobb feszültségkülönbségek hatására telítésbe mennek (kimenetükön a (pozitív, vagy negatív)

tápfeszültség jelenik meg).

Az ideális műveleti erősítőt a következő paraméterek jellemzik:

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

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 (-) földpotenciálán (0 V), nem invertáló bemenete (+) az  $R_2$ - $R_3$  feszültségosztónak köszönhetően 1,09 V potenciálán van. Így a két bemenet közötti különbség telítésbe viszi az erősítőt, melynek kimenetén ezért +12 V mérhető stabilan.



4. ábra Monostabil billenőkör műveleti erősítővel; jobbra: főbb jelalakok

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 nem-invertáló (+) bemenetén kialakult  $U_1=-22,91\text{ V}$  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  $U_2$  feszültség szintjét (amely a rajta megjelenő túlimpulzus után ismét 0 V lesz), az áramkör visszabillen stabil állapotába. A visszabillenést a kondenzátor, mint pozitív visszacsatolás,

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

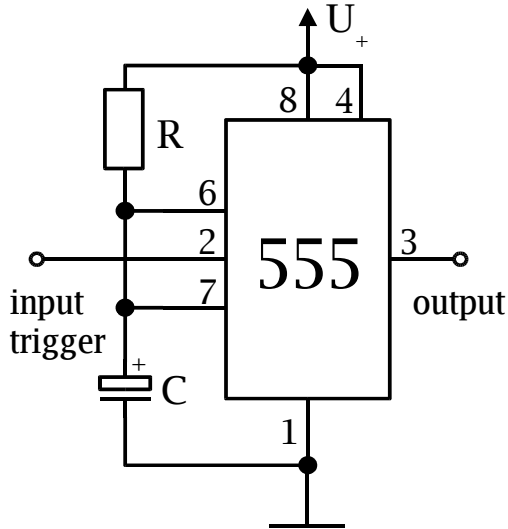
1 A műveleti erősítőt szimmetrikus tápfeszültséggel tápláljuk, azaz  $\pm U_T$ -vel, a bemeneti jel pedig 0V középvezetőségű

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:

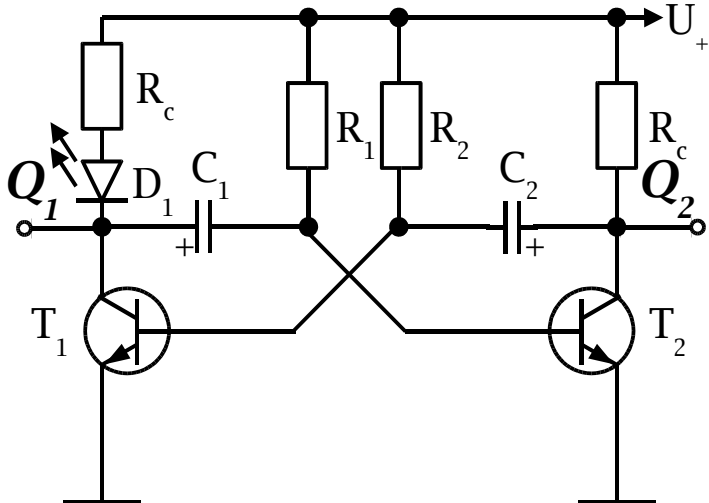
$$T = 1,1 \cdot RC [s]$$

#### Elméleti feladat:

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

### 1.3. Astabil multivibrátor

A multivibrátorok, mint két-állapotú elektronikai áramkörök, kiválóan alkalmasak négyszögjelek 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

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.

Az áramkör működése:

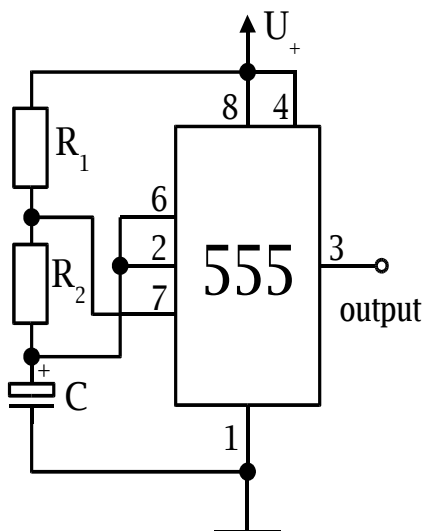
Először tételizzük fel, hogy a két tranzisztor és a körjük épített elemek teljes szimmetriát eredményeznek. Ebben az esetben az áramkör egyensúlyban van, mindkét tranzisztor vezet. Azonban áramkörünk nem tökéletesen zavarmentes. Ha más nem is, a bekapcsolási folyamat bizonyosan jelentős tranzienseket 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

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

A pozitív visszacsatolásnak köszönhető gyors átbillenés után a kondenzátorok ( $C_1$ - $C_2$ ) elkezdnek töltődni.  $C_1$  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  $R_1C_1$  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  $Q_2 \sim 0$  V, míg  $Q_1 = U_+$ ,  $D_1$  nem világít.

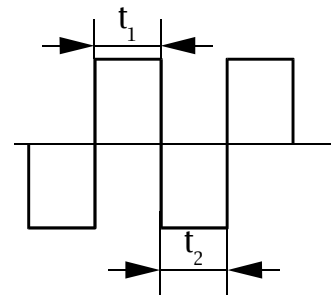
A fentiekből látszik, hogy a két állapot közötti átbillenések időtartama a kondenzátorok feltöltődésének és kisülésének időtartamával arányos. Ezt az időt az  $R_1$  és  $R_2$  ellenállásokon valamint a  $C_1$ ,  $C_2$  kondenzátorokon keresztül tudjuk szabályozni.  $\tau_1 = R_1C_1$ , illetve  $\tau_2 = R_2C_2$ . 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 négyyszögjel 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 négyyszögjel  $t_1$  és  $t_2$  periódus-hossza, valamint  $D$  kitöltési tényezője (a pozitív és negatív periódusok aránya):

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

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

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

## 2. Mérőfej kompenzáció. Jelterjedés hatásának bemutatása.

Ha méréseinket oszcilloszkóppal végezzük, a mért jelet az oszcilloszkóp bemenetére kell vezetnünk. Erre a célra BNC csatlakozós árnyékolt kábeleket használunk. A következőkben ezek használatát sajátítjuk el.

Az oszcilloszkóp-mérőkábel végén lévő, érintkezővel ellátott szondát mérőfejnek nevezzük. Többféle mérőfej létezik. Két nagy csoportjukat alkotják az aktív és a passzív működésűek, de használnak speciális mérőfejeket is úgy mint:

- árammérő
- nagyfeszültségű
- demodulációs
- egyenirányítós, stb.

A mérőfej feladatai a következők:

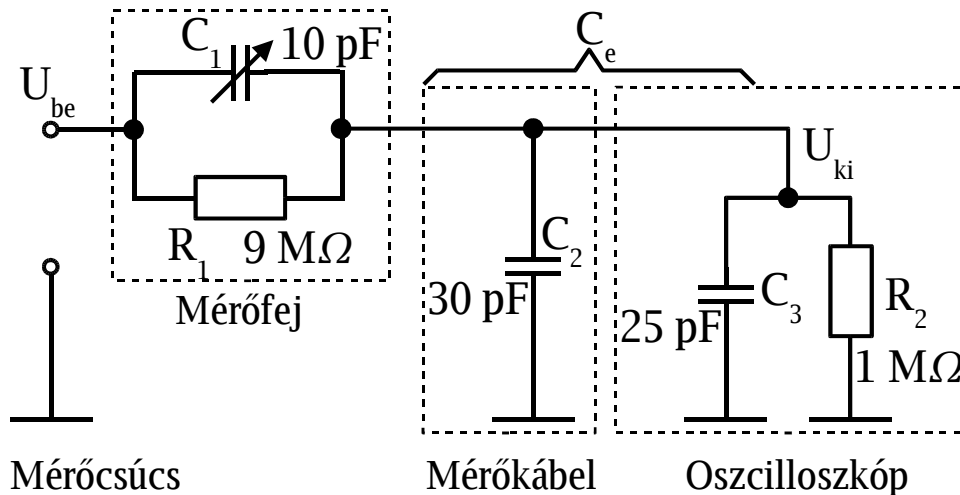
- a mérendő jel alakhű átvitele a mérőhegyről a kábelben keresztül az oszcilloszkóp bemenetére
- a mérendő jel amplitúdójának leosztása/erősítése
- annak megakadályozása, hogy az oszcilloszkóp leterhelje a mérendő áramkört, amivel meghamisítaná a mérés eredményét
- egyes speciális jelek átalakítása

Mi egy egyszerű, passzív, 1:1 és 1:10-es leosztással rendelkező mérőfejet használunk. Az oszcilloszkópunk bemeneti ellenállása 1 M $\Omega$ , bemeneti kapacitása 25 pF. A mérőkábel kapacitása tipikusan ~20-30 pF, a koaxiális kábel kapacitása ~100 pF/m.

Ez a bemeneti impedancia esetenként (pl. nagy bemeneti ellenállású áramkörök vizsgálata esetén) túl kicsi lehet, és így leterhelheti a mérendő áramkört. Azon kívül hogy csökkenhet a mérendő jel amplitúdója, oszcilláció is felléphet a vizsgált körben. Ilyen esetben az oszcilloszkóp már nem tekinthető ideális műszernek, hanem sokkal inkább elefántnak a porcelánboltban.

Megoldást erre a problémára a mérőfej impedanciájának megnövelése jelent, aminek legelterjedtebb módszere a mérendő jel 1:10-es leosztása a mérőfejen belül. Az 1:1 és 1:10-es feszültség leosztás között a mérőfejen található kapcsolóval választhatunk.

A 8. ábrán látható, hogy a bemeneti jel egy komplex (azaz ellenállást és nem-rezisztív elemet – esetünkben kondenzátort – is tartalmazó) feszültségosztóra kerül. Az  $R_1$ - $C_1$  osztóban  $C_1$  változtatható, míg az  $R_2$ - $C_3$  osztó fix értékű elemekből áll, melyek az oszcilloszkópon belül találhatók. Az így kialakított elrendezésben az osztók közösen biztosítják az 1:10-es feszültségleosztást (és ezzel a kompenzációt), az oszcilloszkóp 1 M $\Omega$ -os bemeneti impedanciája mellett.



8. ábra Mérőfej kompenzáció mérési elrendezése

A mérőfejen található kapacitás változtatható. Ennek oka az, hogy minden kábel kapacitása különböző. Így mindig az adott elrendezésnek (azaz kábel kapacitásnak) megfelelően kell beállítani a kompenzáló kapacitás értékét.

Egyenáram esetén a 9 M $\Omega$  - 1 M $\Omega$  soros ellenállásokon történik a feszültségosztás. Váltakozó áram esetén viszont más a helyzet:

$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{R_2 \times C_e}{R_1 \times C_1 + R_2 \times C_e} = \frac{\frac{R_2}{1+j\omega R_2 C_e}}{\frac{R_1}{1+j\omega R_1 C_1} + \frac{R_2}{1+j\omega R_2 C_e}} \rightarrow \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \text{ ha } R_1 C_1 = R_2 C_e$$

A mérőfejen található kapacitás értékét tehát  $R_1 = 9R_2$  esetén a mérőkábel, és az oszcilloszkóp kapacitások párhuzamos eredőjének ( $C_e = 25 \text{ pF} + 30 \text{ pF} = 55 \text{ pF}$ ) 1/9-edére kell beállítanunk  $C_1 = \sim 6 \text{ pF}$ . Ilyen beállítás mellett bármilyen frekvencián 1:10 lesz a feszültségosztás a mérőfej és az oszcilloszkóp bemenete között.

A gyakorlatban ez a beállítás egy tetszőleges frekvenciájú kalibrációs négyszögjel segítségével történik. Használjuk erre a célra astabil multivibrátorunk kimeneti négyszögjelét! Ezt a négyszögjelet rákapcsoljuk a mérőfejen keresztül (melyet 10x-es állásba kapcsolunk) az oszcilloszkóp bemenetére. A képernyőn látható jelalak változik, ahogy a mérőfej kompenzáló kapacitást változtatjuk -- minél tökéletesebb négyszögjelre kell törekedni. Ha be tudjuk állítani a szabályos négyszögjelet, az azt jelenti, hogy a komplex feszültségosztónkkal kompenzálni tudtuk a mérőkábelünk kapacitását, és a mérendő jeleink alakhűen jutnak el az oszcilloszkóphoz.

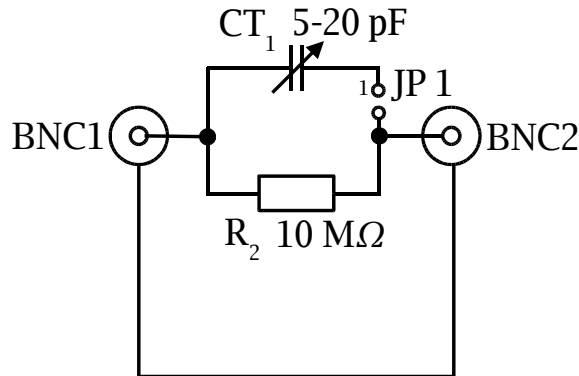
A mérési elrendezést a 8. ábra szemlélteti.

### Elméleti feladat:

F3: Méretezzen egy 1/2-es leosztású kompenzált mérőfejet! A kábel kapacitása legyen most is 30 pF, az oszcilloszkóp bemeneti ellenállása 1 M $\Omega$ , kapacitása 25 pF.

Mi a véleménye egy leosztás nélküli (1/1-es) mérőfejről?

### 2.1. A mérőpanel sémája



9. ábra Mérőpanel sémája

Az V. mérőpanel 1. áramköre a 9. ábrán látható kapcsolást valósítja meg.  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$ ,  $Z_1$ ,  $TP1$  és  $BNC3$  elemeket nem használjuk a méréseinkhez.

#### Ellenőrző kérdések:

- E1: Rajzolja fel emlékezetből a 10x-es mérőfej és az oszcilloszkóp bemenetének kapcsolását!
- E2: Hogyan számoljuk egy aluláteresztő szűrő -3 dB-es törésponti frekvenciájának értékét a szűrő paraméterei alapján?
- E3: Hogy néz ki a túlkompenzált és az alulkompenzált négyszögjel a képernyőn?
- E4: Ha másik mérőhelyről kér már kompenzált mérőfejet, újra kell-e azt kompenzálni? Miért?
- E5: Meghosszabbítható-e a 10x-es mérőfej kábele, ha távol van a mérendő jel?
- E6: Miért négyszögjel segítségével célszerű elvégezni a mérőfej kompenzációt?

### 3. Jelvisszaverődések kábelvégekről

Az elméleti elektrodinamika leírja, hogy az elektromágneses jelek egy része az útjukba kerülő impedanciákról visszaverődik, ha az impedanciák illesztése nem megfelelő.

Szabad kábelvégződésről a jel a beeső jellel azonos fázisban, míg rövidre zárt végről ellenfázisban verődik vissza. A visszaverődött jel késve ér vissza, mivel az elektromágneses jelek is véges sebességgel - fénysebességgel - terjednek. A terjedési idő már néhány méteres kábelhossz esetén is könnyedén mérhető. A visszavert jelek megváltoztatják a mért jel alakját. Mivel a visszaverődési jel-tranziensek néhány  $\mu$ s alatt lejátszódnak, alacsony frekvenciás jeleknél (10 Hz – 1 kHz) ez általában nem okoz gondot. Nagyobb frekvenciájú jeleknél több méter hosszú mérőkábel esetén (pl. amikor a detektor egy erősen sugárveszélyes helyen van, s onnan a jeleket egy tőle messzebb fekvő, sugárzás által védett helyre kell vezetni) ezt a problémát ki kell küszöbölni.

A megoldás a kábelek és a további áramköri elemek impedancia illesztésén keresztül lehetséges. Jelvisszaverődés nem történik, ha a kábel a hullámimpedanciájával megegyező értékű ellenállással van lezárva<sup>3</sup>.

A mérés során ezt a gyakorlatban is kipróbáljuk.

### 4. Mérés feladatok

M1: Építsen astabil multivibrátort egy előre megadott áramköri lapkán a mérőhelyen található kapcsolás alapján!

a) Számítással határozza meg az ellenállás(ok) értékét a mérésvezető által megadott kondenzátor értékeihez úgy, hogy az áramkör  $f = 1$  Hz frekvenciával billegjen! A LED ( $D_1$ ) színe szabadon

<sup>3</sup> Lezárás alatt a hullámimpedanciával (amit egy kábel esetén a geometriai méretek és az anyagminőségek szabnak meg) megegyező nagyságú ellenállás kábelvéghez való csatlakoztatását értjük.

választható a rendelkezésre álló készletből.

b) A mérésvezetőtől kapott, előre legyártott nyomtatott huzalozású lemezen forrassza 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!

M3: Vizsgálja a kompenzációs mérőfejet modellező kapcsolást!

a) Adjon a 9. ábrán látható áramkör bemenetére függvénygenerátorról 100 Hz-es szinuszelet! Eltávolított jumper (JP1) mellett mérje BNC2-n az áramkör kimeneti feszültségét oszcilloszkóppal, koaxiális kábelben keresztül!

b) Növelje a frekvenciát, és mérje meg a kimeneten a -3 dB-es törésponti frekvenciát ( $f_T$ )!

c) A törésponti frekvencián állítsa át a függvénygenerátor jelét négyszög jelre! Figyelje meg a jelalakot, majd állítsa vissza a függvénygenerátort szinuszos jelre!

d) Jumper-rel zárja rövidre JP1-et! Ezzel bekapcsoltuk a változtatható kapacitású kondenzátort az áramkörbe. Változtassa  $CT_1$  értékét! Magyarázza a tapasztaltakat!

e) Állítsa be  $CT_1$ -et úgy, hogy pontosan(!) a 100 Hz-en beállított amplitúdót mérje a kimeneten! Változtassa a frekvenciát! Mi történik a jel amplitúdójával? Magyarázza a tapasztaltakat!

f) Állítsa át a függvénygenerátor jelét négyszög jelre! Figyelje meg most is a jelalakot! Írja le mit tapasztalt, majd állítsa vissza a függvénygenerátort szinuszos jelre!

g) Toldja meg az oszcilloszkóphoz csatlakozó kábelt egy másik, kb. 500 mm hosszú koaxiális kábel! Hogyan változik a kimeneti jel amplitúdója? Vizsgálja meg most is a mért jelet úgy, hogy a bemenetre négyszögjelet kapcsol! Magyarázza a tapasztaltakat!

M4: 10x-es leosztású mérőfej vizsgálata.

a) Csatlakoztassa a mérőkábelt az oszcilloszkópon található kalibrációs mérőpontra! 10x-es állásban a mérőfejben lévő beépített, változtatható kapacitás segítségével állítson be a képernyőn szabályos négyszögjelet!

b) Az előző pont szerinti elrendezésben hosszabbítsa meg a jel útját az oszcilloszkópig kb. 1 m hosszú koaxiális kábel betoldásával. Most is vizsgálja a képernyőn a mért négyszögjelet. Magyarázza a látottakat!

M5: Jeltovábbítás és visszaverődés vizsgálata hosszú kábelben.

a) Kapcsoljon 300 kHz-es négyszögjelet az oszcilloszkóp bemenetére kb. 1 m hosszú koaxiális kábel, T-elosztón keresztül! A T-elosztó szabad felére kössön 10 m hosszú koaxiális kábelt! Figyelje meg jól az oszcilloszkóp képernyőjén látható jelalakot a következő esetekben:

- a koaxiális kábel vége szabad
- a koaxiális kábel vége rövidre van zárva
- a koaxiális kábel vége  $50\ \Omega$ -al van lezárva

Magyarázza a tapasztalt jelenségeket!

## 5. Ajánlott irodalom

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

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

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