

# Billenő áramkörök

## Jelterjedés hatása az átvitt jelre

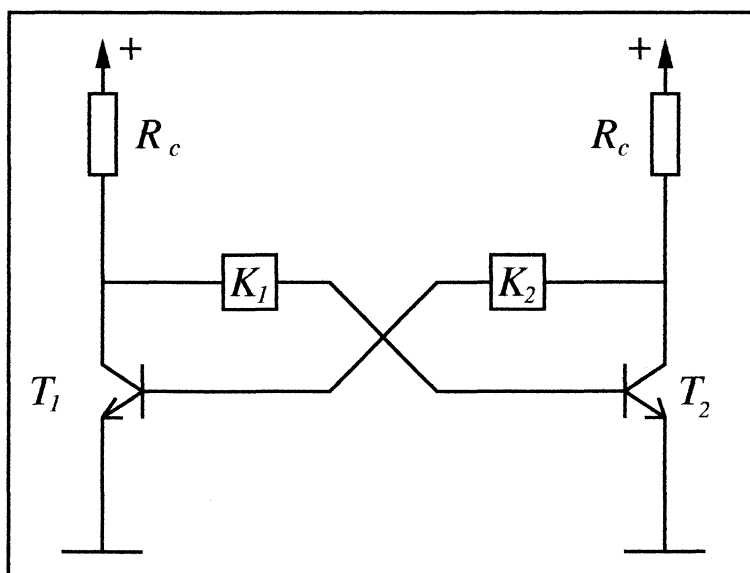
*Berta Miklós*

### 1. Billenőkörök

A billenőkörök pozitívan visszacsatolt digitális áramkörök. Kimeneti feszültségük nem folytonosan változik, hanem két meghatározott értéket vehet fel. Az átbillenést az egyes állapotokba különböző módokon idézhetjük elő:

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

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



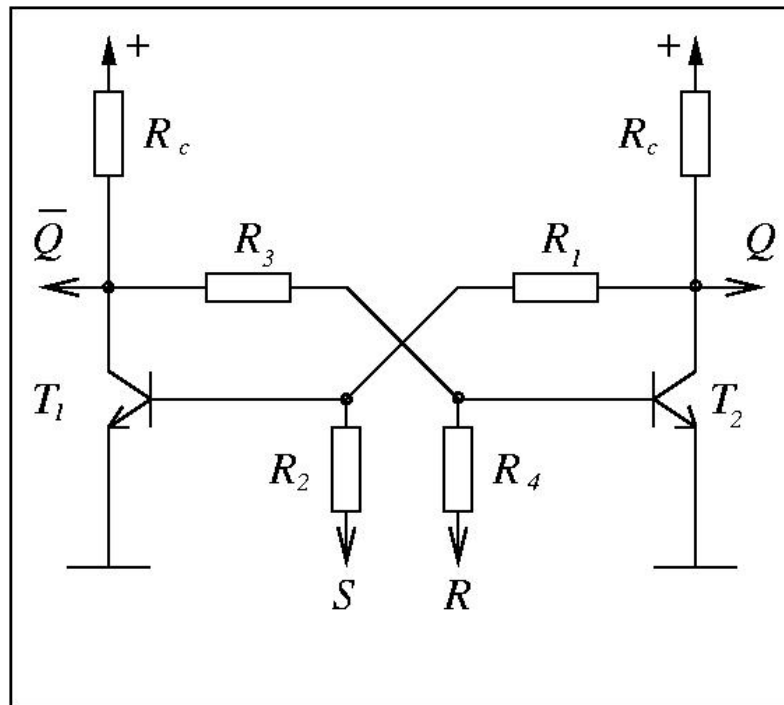
1. ábra Billenőkörök blokksémája

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

1. táblázat. Billenőkörök visszacsatolásai

## 1.1. Bistabil billenőkör (flip-flop)

A bistabil billenőkör áramköri megvalósítása a 2. ábrán látható



2. ábra. Bistabil billenőkör

Alapállapotban mind az „ $S$ ”, mind az „ $R$ ” bemenet földpotenciálón van. Ilyenkor az áramkör a két stabil állapota egyikében van, és ott meg is marad (vagy  $Q_1=0$  V és  $Q_2=+U_T$ , vagy pedig  $Q_1=+U_T$  és  $Q_2=0$  V. Itt  $U_T$ -val a tápfeszültséget jelöltük).

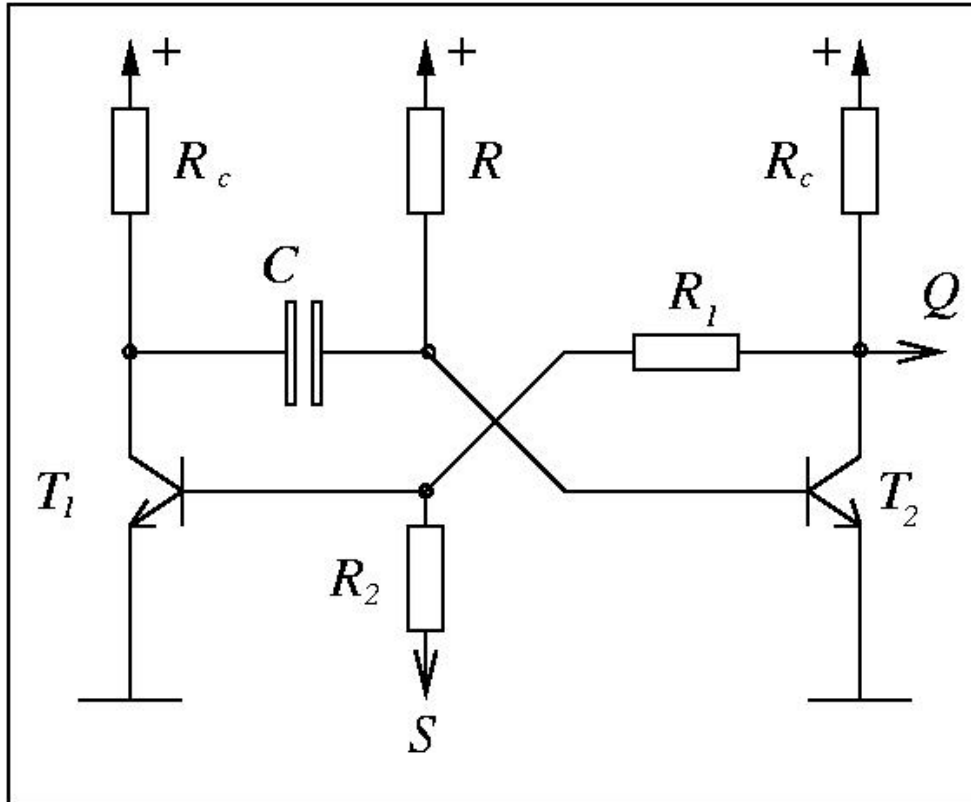
Ha az  $S$  bemenetre pozitív feszültséget adunk, akkor  $T_1$  kinyit, kollektorfeszültsége lecsökken. Emiatt  $T_2$  bázisárama csökken, kollektorfeszültsége nő. Ez a növekedés visszahat az  $R_1$  ellenálláson keresztül  $T_1$  bázisára és tovább növeli annak bázisáramát (pozitív visszacsatolás). A kapcsolás a stabil állapotot akkor éri el, ha  $T_1$  teljesen kinyit.  $T_2$  ekkor teljesen lezárt, és  $R_1$ -en keresztül  $T_1$ -et nyitva tartja. Ezek után a bemeneti feszültséget akár nullára is csökkenthetjük, az áramkör megtartja stabil állapotát. Az áramkör másik stabil állapotba történő átbillenését úgy idézhetjük elő, hogy az  $R$  bemenetre adunk pozitív feszültséget.

Ha mindkét bemenetre egyszerre kerül pozitív feszültség, akkor mindkét tranzisztor kinyit. Ez az állapot instabil. Ha ezután a bemeneti feszültségek nullára csökkennek, akkor az áramköri elemek aszimmetriája dönti el, hogy melyik stabil állapotba billen az áramkör. Így ezt a bemenő kombinációt ki kell zárni. Ha ezt biztosítjuk, akkor a flip — flop áramkör két kimenete ( $Q, \bar{Q}$ ) logikai értelemben egymás negáltjai.

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

## 1.2. Monostabil billenőkör

A monostabil multivibrátor áramköri megoldásánál kiindulhatunk a flip — flop áramkörből. Az egyik visszacsatoló ellenállást helyettesítsük kondenzátorral. De természetesen az  $R$  ellenállással gondoskodnunk kell  $T_2$  egyenáramú munkapontjának beállításáról is. Ezt az áramkört szemlélteti a 3. ábra



3. ábra. Monostabil billenőkör

Alapállapotban  $S$  itt is földpotenciálion van, ezért  $T_1$  lezár, a  $T_2$  tranzisztor pedig vezet ( $R$ -en keresztül folyik bázisáram). Ez az áramkör egyetlen stabil állapota. Az  $S$ -re adott rövid pozitív bemeneti impulzus  $T_1$ -et kinyitja, ezáltal kollektorfeszültsége nullára csökken. Ezt a feszültségugrást az  $RC$  felüláteresztő szűrő átviszi a  $T_2$  bázisára, ezért  $T_2$  lezár, kollektorfeszültsége 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  $R$  ellenálláson keresztül a  $C$  kondenzátor kezd feltöltődni, így  $T_2$  bázisfeszültsége növekszik. Egy bizonyos idő után  $T_2$  kinyit, kollektorfeszültsége leugrik. Ez lezárja  $T_1$ -et, s az áramkör visszaáll stabil állapotába. A kimeneti impulzus időtartamát az  $RC$ -tag határozza meg.

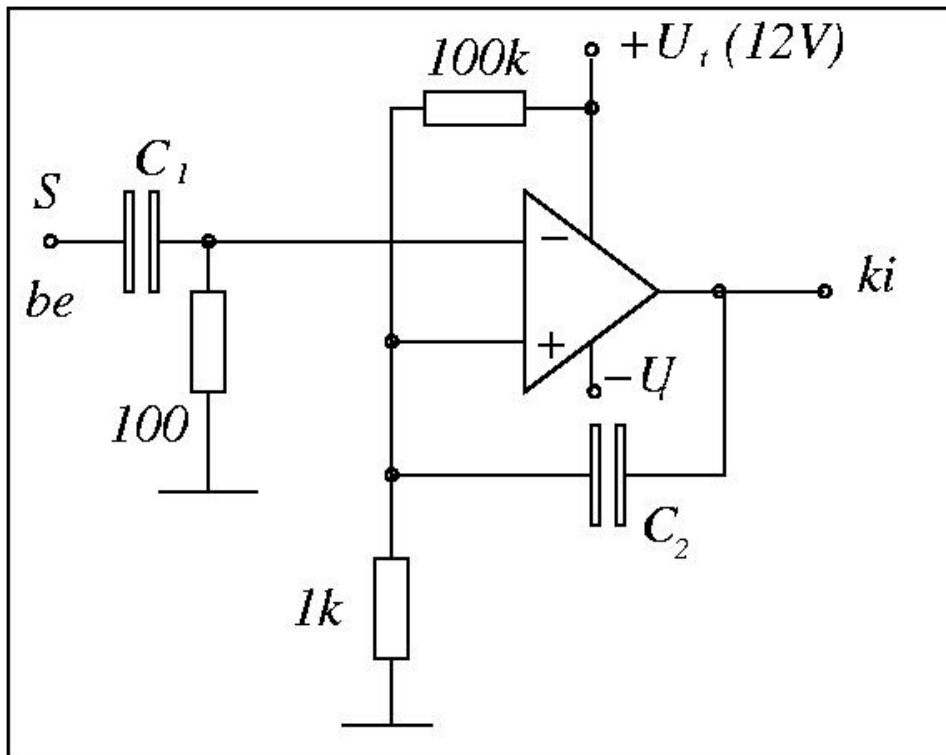
Monostabil billenőkört készíthetünk műveleti erősítő segítségével is. Erre mutat példát a 4. ábra.

A műveleti erősítő – amellyel egy másik mérés keretében majd részletesen is foglalkozunk - a bemeneteire vezetett két feszültség különbségét erősíti  $U_{ki} = A(U_1 - U_2)$ . Általában erősítésük igen nagy, így csak igen kis  $(U_1 - U_2)$  feszültségkülönbségek mellett működnek lineárisan. Nagyobb feszültségkülönbségek hatására telítésbe mennek, ami azt jelenti, hogy 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  $S$  bemenetére nem adunk jelet, akkor az erősítő invertáló bemenete (-) földpotenciálón (0 V) van, nem invertáló bemenete (+) a feszültségosztónak köszönhetően 120 mV potenciálón van. Így a két bemenet közötti különbség telítésbe viszi az erősítőt, melynek kimenetén ezért +12V mérhető stabilan.



4. ábra. Monostabil billenőkör műveleti erősítővel

Adjunk (pozitív) jelet az  $S$  bemenetre! A  $C_1$  kondenzátor a feszültségváltozást átengedi, ezért az erősítő invertáló bemenete is pozitív feszültségre kerül. Ha ennek a jelnek az amplitúdója nagyobb, mint a nem invertáló bemenet potenciálja (120 mV), akkor az erősítő kimenete átbillen -12V-ra. Így a  $C_2$  kondenzátor egyik fegyverzetén hirtelen 24 V-os potenciálcsökkenés következik be. Mivel a kondenzátor nem képes gyorsan követni ezt a változást, ezért másik fegyverzetén is 24 V-os potenciálcsökkenés következik be. A kimenet gyors változásaira vonatkozóan a kondenzátor tehát egy igen erős pozitív visszacsatolást jelent, s ez garantálja, hogy a kimeneti feszültség nemcsak „kimozdul” a nyugalmi szintjéről, hanem ténylegesen „átbillen”. Az átbillenés után az erősítő nem-invertáló (+) bemenetén kialakult  $-23,88$  V potenciál nem stabil, hiszen a  $C_2$  kondenzátor elkezd töltődni, és az adott ponton a potenciál elkezd növekedni a feszültségosztó által megszabott egyensúlyi 120 mV irányába. Amikor a nem-invertáló bemeneten a potenciál eléri az invertáló bemenet feszültség szintjét, az áramkör visszabilen stabil állapotába. A visszabilenést a kondenzátor, mint pozitív visszacsatolás, ugyancsak segíti.

Thevenin-tétele értelmében a feszültségosztó egyenáramú szempontból helyettesíthető egy 120 mV elektromotoros erejű feszültség-generátorral, amelynek belső ellenállása a feszültségosztó ellenállásainak párhuzamos eredője ( $R_p$ ). Ez a „generátor” tölti a kondenzátort. Ezért a kondenzátoron mérhető feszültség a töltődéskor:

$$U_{c_2} = -23,88 \exp\left(-\frac{t}{R_p C_2}\right) + 0,12(1 - \exp\left(-\frac{t}{R_p C_2}\right))$$

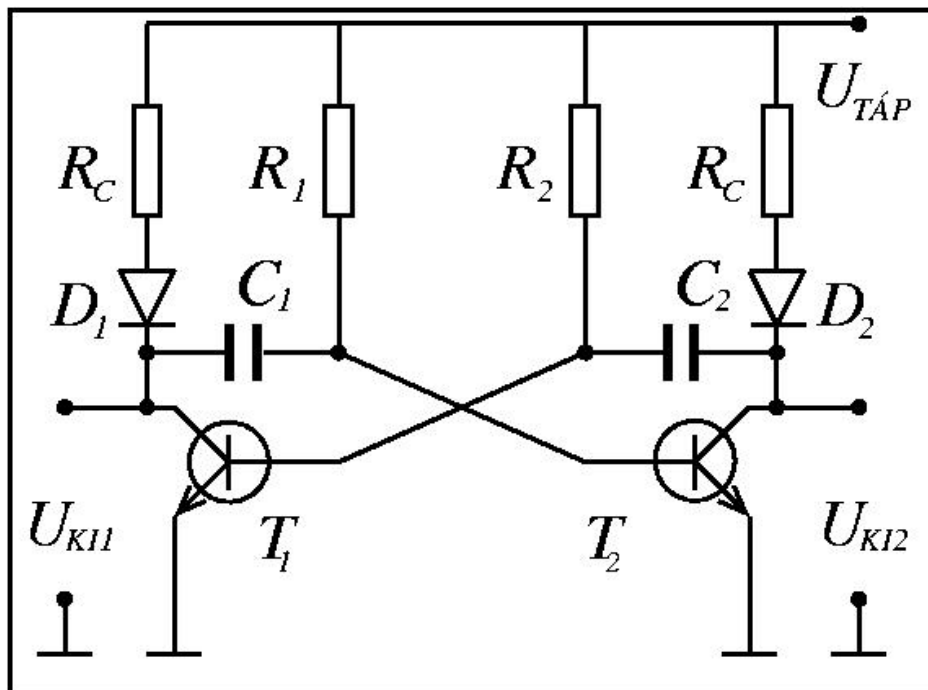
**1. Elméleti feladat:** Számolja ki a 4. ábrán látható áramkörben  $C_2$  értékét úgy, hogy a kimeneti jel időtartama 200  $\mu$ s legyen. (a műveleti erősítőt tekintse ideálisnak)!

### 1.3. Astabil multivibrátor

A multivibrátorok, mint két-állapotú elektronikai áramkörök, kiválóan alkalmasak négyszögjelek generálására. Egy tipikus astabil multivibrátor sémája látható az 5. ábrán.

Először tételezzük fel, hogy a két tranzisztor és a körjük épített elemek teljes szimmetriát eredményeznek. Ebben az esetben az áramkör egyensúlyban van, mindkét tranzisztor vezet. Azt is tudjuk azonban, hogy tökéletesen zavarmentes áramkör nincs. Ha más nem, a bekapcsolási folyamat bizonyosan jelentős zavart jelent. Belátjuk, hogy – a kondenzátorokon keresztül megvalósuló pozitív visszacsatolás miatt - az áramkör nem stabil a zavarokkal szemben.

Tegyük fel, hogy egy ilyen zavar miatt nőni kezd a  $T_1$  tranzisztor kollektorárama, ami azt eredményezi, hogy növekszik a feszültségesés ezen tranzisztor  $R_C$  munkaellenállásán. Ez a feszültségváltozás a  $C_1 R_1$  felüláteresztő szűrőn áthaladva maga után vonja a  $T_2$  tranzisztor bázisfeszültségének csökkenését.



5. ábra. Astabil multivibrátor

Tehát a  $T_2$  tranzisztor kevésbé lesz nyitva, így csökken a kollektorárama, nő a kollektorfeszültsége. Ezen feszültségnövekedés a  $C_2 R_2$  felüláteresztő szűrőn áthaladva 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  $U_{ki1} \sim 0$ , míg  $U_{ki2} = U_{TAP}$ .

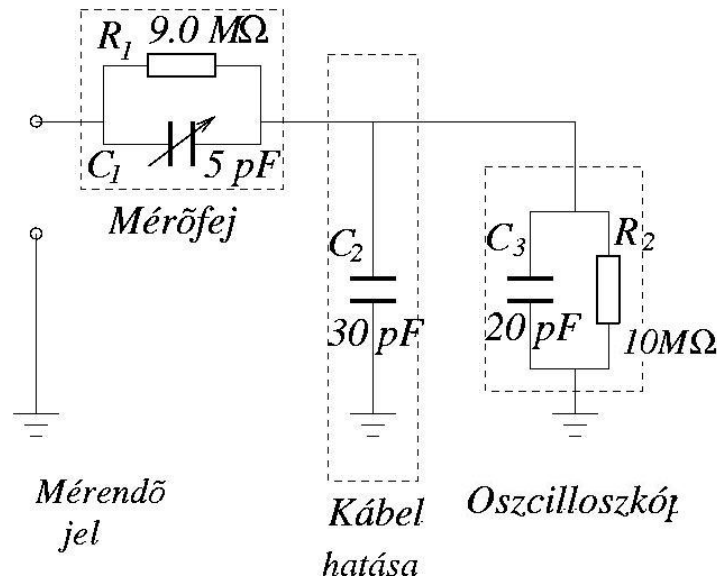
A pozitív visszacsatolásnak köszönhető gyors átbillenés után a kondenzátorok elkezdnek tölteni. A  $C_1$  kollektorhoz kötött pontja 0-n van, a másik pontja azonban az  $R_1$  ellenálláson keresztül  $U_{TAP}$ -hoz van kötve. Ezért a  $C_1$  kondenzátor az  $R_1 C_1$  időállandó által meghatározott módon elkezd tölteni. Emiatt a  $T_2$  tranzisztor bázisán lévő feszültség előbb-utóbb eléri a nyitófeszültséget, és  $T_2$  elkezd kinyitni. Ekkor az előzőhöz nagyon hasonló folyamat indul be, csak most a  $T_2$  tranzisztoron. Tehát a rendszer átbillen másik állapotába, amikor  $T_2$  van nyitva és  $T_1$  pedig lezárt. Ilyenkor  $U_{ki2} \sim 0$ , míg  $U_{ki1} = U_{TAP}$ .

A fentiekből látszik, hogy a két állapot közötti átbillenések időtartama a kondenzátorok feltöltődésének és kisülésének időtartamával egyezik meg. 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, s a generált jel is aszimmetrikus lesz.

## 2. Jelterjedés hatásának bemutatása mérőfej kompenzáción keresztül

Ha méréseinkhez oszcilloszkópot használunk, akkor a mért jelet valahogy az oszcilloszkóp bemenetére kell kötnünk. Általában ebből a célból BNC csatlakozós árnyékolt kábeleket használunk. Alacsony frekvenciákon ezeknek a kábeleknél a néhány pF/m kapacitása nem jelent gondot, de magasabb frekvenciákon már jelentős lehet az ebből a kapacitásból származó reaktancia. Ezért jó, ha olyan mérőfejet használunk, amely lehetővé teszi ennek a hatásnak a kompenzálását. Ezt a mérőfejet nevezik 10x-es mérőfejnek (az elnevezés onnan származik, hogy a jelet tizedére le is osztja). A továbbiakban ennek a mérőfejnek a működését fogjuk megvizsgálni. A mérési szituációt a 6. ábra szemlélteti.



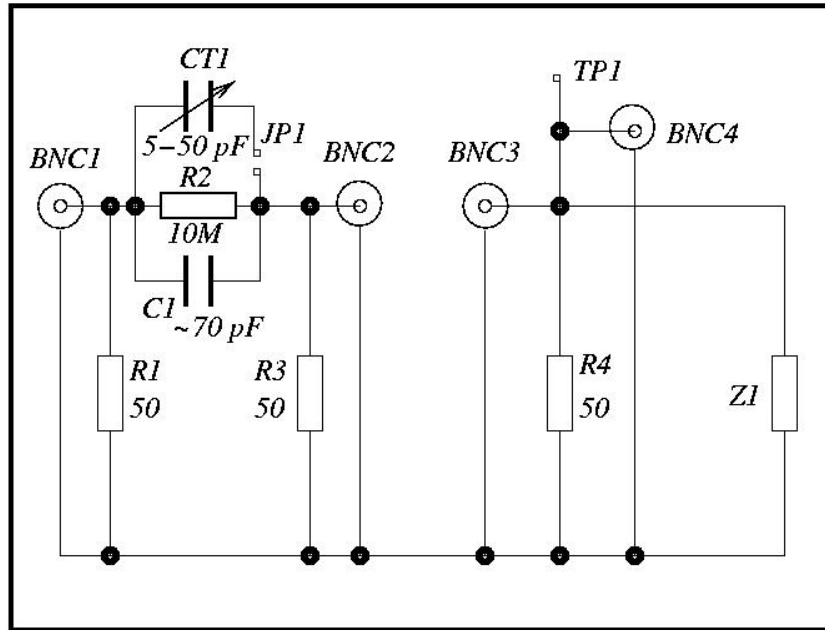
6. ábra. Mérési szituáció

A 6. ábráról leolvasható, hogy a bemeneti jel útjába két „feszültségosztó” kerül. Az egyik tisztán ohmos jellegű és alacsony frekvenciákon dominál, míg a másik kapacitív és a magas frekvenciás tartományban jut szerephez. Az így kialakított mérés során az osztók együttesen biztosítják az 1/10-es feszültségelosztást, és a kompenzációt az oszcilloszkóp 10 MΩ bemeneti impedanciája mellett. Látható, hogy a mérőfejben található egyik kapacitás állítható. Ennek oka az, hogy minden oszcilloszkóp bemeneti ellenállása, valamint minden kábel kapacitása kicsit más és más. Így mindig az adott elrendezésnek megfelelően kell beállítani a kompenzáló kapacitás értékét.

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 az oszcilloszkóp bemenetére. A képernyőn látható jelalakot változtatjuk a mérőfej kompenzáló kapacitásának változtatásával. Azt kell elérni, hogy se túllövéses ne legyenek, se lassú jelfelfutások.

**2. Elméleti feladat:** Méretezzen egy 1/2-es leosztású kompenzált mérőfejet. A kábel kapacitása legyen most is 30pF, az oszcilloszkóp bemenő ellenállása 10 MΩ. Mi a véleménye egy leosztás nélküli (1/1-es) mérőfejről?

## 2.1. A mérőpanel sémája



7. ábra. Mérőpanel sémája

## 2.2. Ellenőrző kérdések

1. Rajzolja fel emlékezetből a 10x-es mérőfej és az oszcilloszkóp bemenetének kapcsolását!
2. Vezesse le egy aluláteresztő szűrő -3 dB-es törésponti frekvenciájának értékét a szűrő paramétereinek alapján!
3. Hogy néz ki a túlkompenzált és az alulkompenzált négyyszögjel a képernyőn ?
4. Ha másik mérőhelyről kér már kompenzált mérőfejet, kell-e újra kompenzálni ? Miért?
5. Meghosszabbítható-e a 10x-es mérőfej kábele, ha távol van a mérendő jel?
6. Miért négyyszögjel segítségével célszerű elvégezni a mérőfej kompenzációt?

## 3. Jelvisszaverődések kábelvégekről

Az elméleti elektrodinamikából tudjuk (lásd. Budó: Kísérleti fizika II. A *telegráfegyenlet*), hogy a nagyfrekvenciás elektromos jelek egy része az útjukba kerülő impedanciákról visszaverődik, ha az áramkör egyes részeinek illesztése nem megfelelő.

Szabad végződésről a jel a bejövő jellel azonos fázisban, míg rövidre zárt végről ellenfázisban verődik vissza. A „visszaverődött” jel időben később ér vissza, hiszen a jelek terjedéséhez is idő kell („vákuumban” fénysebességgel terjednének a jelek, de egy kábelben valamivel lassabb a jelterjedés). Ez a jelenség megváltoztatja a használt jelek alakját. Mivel a visszaverődés általában rövid idővel később érkezik vissza, ezért „lassú” jeleknél ez nem okoz gondot. Gyors, és viszonylag nagyobb távolságra továbbított jeleknél azonban a problémát kezelni kell (pl. amikor a detektor egy erősen sugárveszélyes helyen van, s onnan a jeleket egy tőle messzebb fekvő, sugárzás által védett helyre kell vezetni).

A probléma kiküszöbölése a kábelek és a további áramköri elemek impedancia illesztésén keresztül lehetséges. Az elmélet azt mutatja, hogy nincs visszaverődés, ha a kábel a hullám-impedanciájának megfelelő módon van „lezárva”.

## 4. Mérési feladatok

1. **Építsen tranzisztoros astabil multivibrátort** egy előre megadott áramkörü lapkán az 5. ábra szerinti kapcsolás alapján !
  - a) Számítással határozza meg  $R_1$  és  $R_2$  értékét a mérésvezető által megadott többi áramkörü elem értékeihez úgy, hogy az áramkör  $f = 1$  Hz frekvenciával billegjen!
  - b) Forrasztópákával forrassza össze a kiszámított áramkört! (A forrasztópáka használatának elsajátítása a cél. Tehát nem kell kapkodni, nehogy égési sérülés legyen az eredmény!)
  - c) Mérje meg oszcilloszkóp segítségével, hogy ténylegesen mekkora frekvencián billeg az áramkör
  
2. **Állítson össze monostabil billenőkört** a 4. ábrán látható kapcsolásban, „breadboard”-on. A billenés időtartama legyen 200  $\mu$ s. Mérje is meg oszcilloszkóp segítségével a kimeneti jel időtartamát.
  
3. **Vizsgálja a kompenzációs mérőfejet modellező kapcsolást!**
  - a) Adjon a 7. ábra szerinti kapcsolás bemenetére függvénygenerátorról 100 Hz-es szinuszos jelet! Az áramkör kimeneti feszültségét mérje multiméterrel, rövid koaxiális kábelon keresztül!
  - b) Növelje a frekvenciát, és mérje meg, milyen frekvenciánál éri el a -3 dB-es töréspontot!
  - c) Módosítsa a trimmelő kondenzátor értékét. Magyarázza a tapasztaltakat !
  - d) A generátor frekvenciáját állítsa 1 MHz-re, és a kompenzáló kondenzátor kapacitását válassza úgy, hogy ezen a frekvencián legyen a -3 dB-es pont!
  - e) Az előző pont szerinti elrendezésben cserélje ki a koaxiális kábelt kétszer hosszabbra (körülbelül)! Magyarázza a tapasztaltakat!
  - f) A függvénygenerátor impedanciájának ismeretében számítással is támassza alá a tapasztaltakat.
  
4. **A 10x-es mérőfej vizsgálata.**
  - a) A mérőfej kondenzátorának segítségével állítson be a képernyőn túllövésmentes négyszögjelet!
  - b) Az előző pont szerinti elrendezésben hosszabbítsa meg a jel útját az oszcilloszkópig kb. 1m -es BNC kábel segítségével. Most is vizsgálja a képernyőn a kijövő négyszögjelet. Magyarázza a jelenséget
  
5. **Jeltovábbítás és visszaverődés vizsgálata hosszú kábelon.** Egy 200 ns időtartamú jelet szolgáltató monostabil billenőkör jelét kapcsolja egy oszcilloszkóp bemenetére T-elosztón keresztül. A T-elosztó másik oldalához csatlakoztasson 20 m koaxiális kábelt. Figyelje az oszcilloszkóp képernyőjét a következő esetekben:
  - a koaxiális kábel vége szabad
  - a koaxiális kábel vége rövidre zárva
  - a koaxiális kábel vége 50  $\Omega$ -val lezárva.Magyarázza a látottakat.

## 5. 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