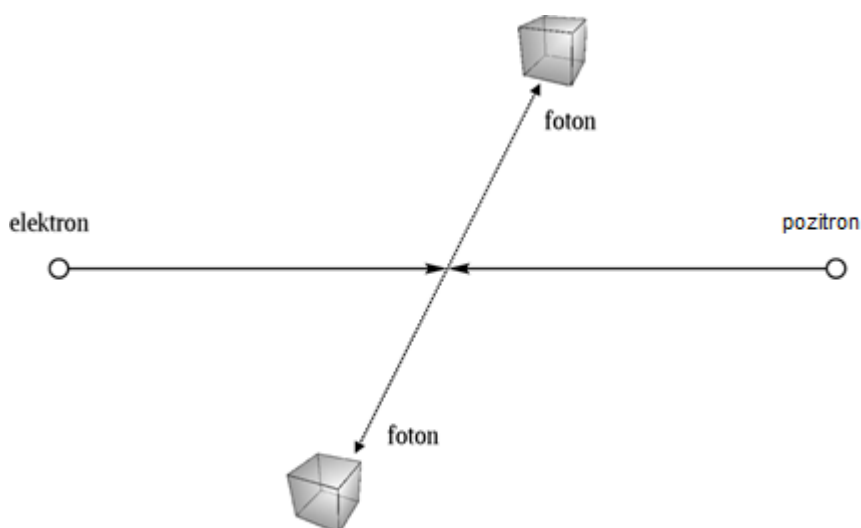


# Koincidencia áramkör, jelterjedés hatása az átvitt jelre

## 1. Bevezetés

Gyakori feladat a mérés technikában, amikor két jelenség egyidejűségét kell detektálni. Ha ezek a jelenségek olyan gyorsan követik egymást, hogy az ember számára érzékelhetetlenek, akkor elektronikai áramköröket hívhatunk segítségül. Az olyan áramköröket, amelyek két jel egyidejű érzékelését jelzik, koincidencia áramköröknek nevezzük. Ezek az áramkörök bizonyos értelemben szűrőkként is felfoghatók, ugyanis küldetésükből adódóan képesek arra, hogy egyidejű eseményeket kiszűrjenek véletlenszerű időpontban bekövetkező jelenségek közül.

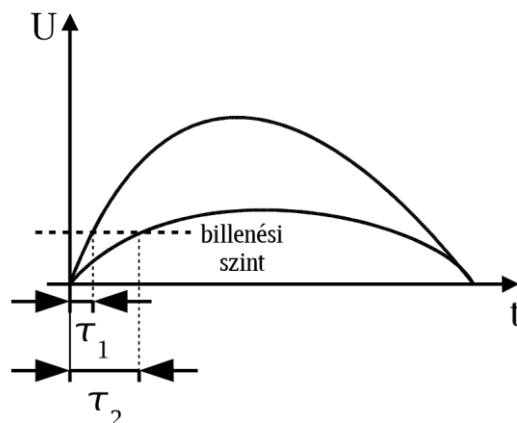
A koincidencia áramkörök egyik fontos felhasználási területe az orvosi elektronika. Nagyon fontos orvosi diagnosztikai berendezés a PET (pozitron-annihilációs tomográf). A betegnek rövid felezési idejű, pozitron-bomló radioaktív izotópot adnak, s a készülék meghatározza, hogy ez az izotóp a test mely részében milyen koncentrációban van jelen. Ebből a szövetek, szervek anyagcseréjére, elzáródásra vagy daganatra lehet következtetni. A mérés azon alapul, hogy egy elektron és egy pozitron találkozásakor két – egyenként 511 keV energiájú – foton keletkezik, amelyek – az impulzus- és energiamegmaradásnak megfelelően – egymással  $180^\circ$ -os szöget bezárva távoznak (ez az annihiláció jelensége). Nagyenergiájú fotonokat többféle detektorral is lehet detektálni, problémát jelent, hogy ezek a detektorok detektálják a máshonnan (környezetből, természetes radioaktív anyagokból stb.) érkező fotonokat is. Ennek a problémának a megoldására kiválóan alkalmasak a koincidencia áramkörök. A folyamatot két, egymáshoz képest megfelelő pozícióban (egymással szemben) elhelyezett detektorral vizsgáljuk. A két detektor jelét koincidencia áramkörrel értékeltetjük ki, amelyik csak akkor jelez, ha mindkét detektorba ugyanabban a pillanatban (vagy csak nagyon kicsi időeltéréssel) érkezik a két foton. Ily módon jelentős mértékben csökkenthető a nem egyidejű foton-háttér, a vizsgált jelenséget kiemeltük a haszontalan zajból. A tomográfia (háromdimenziós helymeghatározás) is könnyebbé válik, hiszen a két egymással szemben levő detektor már kijelöl egy egyenest, amelyen a fotonokat kibocsátó pont elhelyezkedik (1. ábra).



1. ábra Elektron-positron annihiláció

## 2. Koincidencia áramkörök felépítése

A koincidencia áramkörök tipikusan digitális áramkörök, hiszen mindkét (esetleg több) bemenetükön vagy van jel, vagy nincs (ezt a két állapotot jelölhetjük 0-val illetve 1-el), s azt vizsgáljuk, hogy vajon egyszerre van-e jel a különböző bemeneteken. Természetesen az érzékelők analóg mennyiségeket érzékelnek, ezért először ezeket digitalizálni kell. Nagyon fontos a digitalizálásnál, hogy az az időbeli információt jól őrizze meg, hiszen ez a legfontosabb az egyidejűség eldöntése szempontjából. Ezért a professzionális elektronikában a koincidencia áramköröket egy „time pick-off” (időjelölő) áramkör előzi meg, amely a bemeneti jelből digitális időzítő jelet állít elő. Erre többféle megoldás is létezik, mi egy egyszerű Schmitt-triggerrel használunk. Bár létezik ennél kifinomultabb megoldás is /mert az azonos időben keletkezett, de különböző amplitúdójú jelekre a Schmitt trigger más és más időpontban billen (lásd 2. ábra)/, a mi céljainkra - az áramkör működésének demonstrálására - azonban ez is megfelel.

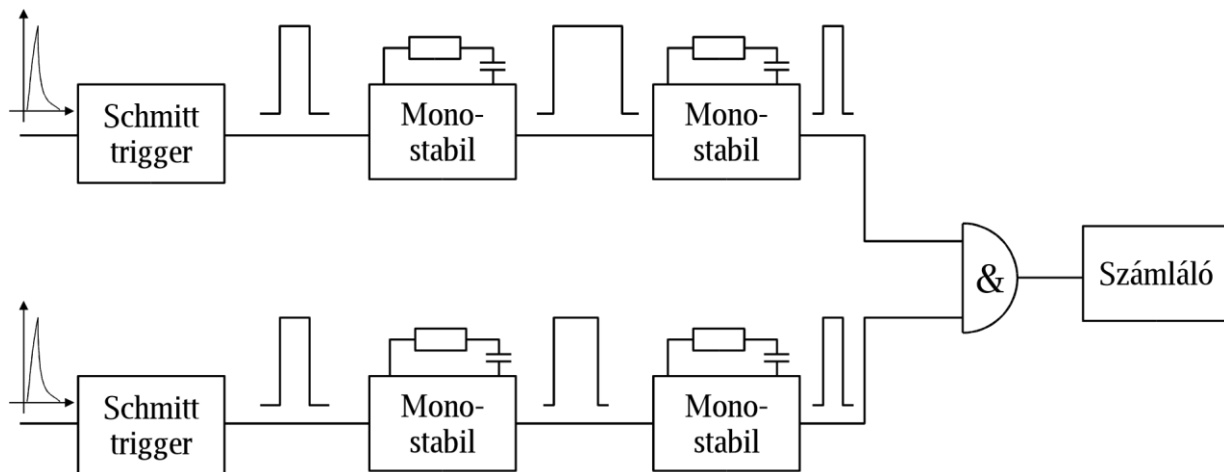


2. ábra A jelamplitúdó hatása a bebillenés idejére

Az eddigieket összefoglalva: ahhoz, hogy egy koincidencia áramkör megbízhatóan működjön, az alábbi feltételeknek eleget kell tennie.

- a. Jelzése legyen független a beérkező jel amplitúdójától.
- b. A két jel beérkezése között eltelt idő legyen hangolható. Erre azért lehet szükség, mert esetleg a két detektort nem tudjuk, vagy nem sikerül a vizsgált jelenség helyétől azonos távolságban elhelyezni, a detektorok nem pontosan egyformák (pl. két különböző típusú detektor), vagy a kimeneti jelek valamilyen más (pl. elektronikai) oknál fogva késnek egymáshoz képest. Az így fellépő időkülönbséget kompenzálni kell.
- c. A véletlenül fellépő koincidenciák arányát lehetőleg alacsony szinten kell tartani.

Ezeknek a feltételeknek megfelelő áramkör blokkdiagramja a következő ábrán látható.



3. ábra Koincidencia áramkör sémája

- A **Schmitt-trigger** billenési szintjével állítható be az a minimális jelamplitúdó, amire még az áramkör érzékeny. A Schmitt trigger hiszterézisének köszönhetően az áramkör zajtűrése is beállítható.
- Az **első monostabil billenőkör** feladata a csatornába beérkező jelek időbeli eltolása. Az eltolás mértéke az áramkörbe kapcsolt RC-tag segítségével szabályozható. Ezzel az eltolással kompenzálhatjuk az egyidejű jelek bármely okból bekövetkező időbeli elcsúszását (pl. különböző detektortávolságok miatt). Ennek a legegyszerűbb technikai megvalósítása az, hogy a második monostabil kör az első monostabil impulzus lefutó élére billen be. Ezáltal az első monostabil impulzus-szélessége (amit az RC-taggal tudunk változtatni) tulajdonképpen az első és a második monostabil kör bebillenése közötti időközést határozza meg.
- A **második monostabil billenőkör** a jelformálást végzi. Itt állíthatjuk be, hogy milyen széles jelek kerüljenek végül az ÉS kapu bemeneteire. Ezek a jelszélességek fogják majd megszabni, hogy a véletlen koincidenciáknak mekkora lesz a szerepe (lásd később).
- A koincidencia áramkör lelke az áramkör végén található **ÉS kapu**. Ennek kimenetén csak akkor kapunk jelet, ha két bemenetere azonos időpillanatban érkeznek az egyes csatornák jelei. Ez azt jelenti, hogy a bemenetein található jelek között van időbeli átfedés. Könnyen belátható, hogy ha az egyik jel  $\tau_1$ , a másik jel  $\tau_2$  ideig tart, akkor  $(\tau_1 + \tau_2)$  lesz az a maximális időkülönbség, amellyel érkező jeleket még egyidejűnek fog jelezni az áramkör. Ezt az időt a koincidencia áramkör **felbontási idejének** nevezzük.

Ha nem kétbemenetű, hanem több-bemenetű ÉS kaput használunk, több jel időbeli egybeesését is vizsgálhatjuk. Ezek a többszörös koincidenciák elviekben nem különböznek a kétszeres koincidenciától, ezért ezekkel külön nem foglalkozunk.

Az áramkör kimenetére kapcsolt számláló tulajdonképpen már nem része a koincidencia áramkörnek, de szükséges ahhoz, hogy megszámlálhassuk az egy időben érkező impulzusokat.

Mivel különféle hangkártyák vannak forgalomban, ezért a panelen erre is ki van alakítva egy illesztő fokozat, melynek működésétől most eltekintünk.

### 3. Két véletlen jelsorozat detektálása koincidencia áramkörrel

A két detektált jelsorozat olyan fizikai folyamatokból is származhat, amelyekben az impulzusok időbeli eloszlása egymáshoz képest véletlenszerűen alakul. Ilyenkor természetesen számolnunk kell azzal, hogy

a ténylegesen egy időben bekövetkező események mellett (ha vannak ilyenek egyáltalán) bizonyos valószínűséggel fellépnek véletlen koincidenziák is.

A véletlen koincidenziák száma a következő képlettel számolható:

$$N_{md} = (\tau_1 + \tau_2) N_1 \cdot N_2 \quad (1)$$

$N_{md}$  - véletlen koincidenziák száma időegység alatt

$\tau_1, \tau_2$  - a jelformáló monostabil áramkör jeleinek szélessége

$N_1, N_2$  - az ÉS kapu bemeneteire időegység alatt érkező impulzusok száma

Ha a mérendő jelben a koincidenziák száma nagy az összes mért eseményhez képest, akkor a jelek nem tekinthetők függetleneknek. Ebben az esetben a következő képlet lesz érvényes:

$$N_{md} = N_1 \cdot N_2^f \cdot \tau_1 + N_2 \cdot N_1^f \cdot \tau_2 \quad (2)$$

$N_1^f, N_2^f$  - a mérendő jelsorozat ágaiban mért, független (koincidenziát nem okozó) események száma

$$N_1^f = N_1 - N_{koinc}; N_2^f = N_2 - N_{koinc} \quad (3)$$

(Figyelem: az (1) (2) és (3) egyenletekben szereplő  $N_1$  és  $N_2$  mennyiségek valószínűségi változók, amelyek értéke a várható értékük körül ingadozik. Emiatt a véletlen koincidenziák száma is valószínűségi változó lesz.)

A mérést úgy kell megtervezni, hogy a véletlen koincidenziák várható száma lehetőleg ne legyen túl nagy (a valódiakhoz képest), ellenkező esetben nagyon nehéz az eredményből a valódi koincidenziákra következtetni. Az (1) képlet alapján úgy tűnik, hogy a véletlen koincidenziák számát az impulzusok időtartamának ( $\tau_1 + \tau_2 =$  **felbontási idő**) csökkentésével minden határon túl lehet csökkenteni. Ez azonban nincs így. Ennek az az oka, hogy a fizikai folyamatból egyszerre induló jelek az ÉS kapu bemenetére nem egyszerre érkeznek meg. Ilyet okozhat például az időkijelölő áramkör impulzus-szélességeinek időbeli ingadozása elektronikus zajok miatt (ezt az angol szakirodalomban „jitter”-nek - remegésnek hívják arra utalván, hogy amikor oszcilloszkóppal figyeljük ezeket a jeleket, azok nem egy helyben állnak, hanem „remegnek” jobbra-balra az időtengely mentén). Ha most a felbontási időt a remegés időtartama alá csökkentjük, akkor egyes valódi koincidenziákat is elveszítünk, hiszen a remegés miatt egyesek kicsúsznak az átfedésből. Ezek miatt a véletlen koincidenziák száma nem csökkenthető minden határon túl. A konkrét méréskor viszont fontos ismerni az arányukat, ezért meg is kell tudni mérni őket.

A mérés egyik lehetősége magában az (1) összefüggésben van: ismerve a koincidenzia áramkör felbontási idejét, az  $N_1$  és  $N_2$  oldalági beütésszámok (számlálóval történő) megméréssel a véletlen koincidenziák száma meghatározható.

Egy másik mérési mód a koincidenzia áramkör elhangolásán alapul. Ugyanis, ha az egyik csatornában a késleltető monostabil áramkörrel a valódi koincidenziákat időben eltoljuk egymáshoz képest, akkor ezek már biztosan nem esnek egybe. Megszűnnek a valódi koincidenziák, s ezért az áramkör csak a véletlen koincidenziákat méri.

### **Ellenőrző kérdések:**

- E1: Milyen feltételeknek kell megfelelnie egy koincidencia áramkörnek?  
 E2: Mit értünk egy koincidencia áramkör felbontási ideje alatt?  
 E3: Mi szabja meg a véletlen koincidenciák arányát?  
 E4: Mitől függ, hogy a felbontási időt mennyire lehet csökkenteni?  
 E5: Miért van szükség az időbeli eltolásra, és hogyan lehet megvalósítani?  
 E6: Milyen szerepe van a jelformáló áramkörnek és hogyan lehet megvalósítani?

### **Elméleti feladatok:**

- F1: Egy pozitron-emittáló radioaktív preparátumot (amely gamma sugárzást is emittál) két detektorral, és hozzájuk kapcsolt koincidencia berendezéssel vizsgálunk. Az „A” esetben a detektorok közelebb vannak a preparátumhoz (szimmetrikusan), a „B” esetben távolabb. Az „A” és a „B” esetben mért „oldalági” beütésszámok arányai 100:1. Melyik esetben lesz nagyobb a valódi/véletlen koincidenciák aránya? Miért?
- F2: Próbáljon tiltó (antikoincidencia) áramkört tervezni. Az áramkörnek két bemenete és egy kimenete van. A két bemenet szerepe nem szimmetrikus: az egyik bemenetére adott jel mindig áthalad az áramkörön, **kivéve** amikor a másik bemenetre tiltó jel (vétó) érkezik. (A tiltó bemenetre adott jel tehát soha sem halad át, csak a másik bemenet jeleinek áthaladását vezérli). Mit kellene a gyakorlaton szereplő kapcsoláson változtatni, hogy ilyen tulajdonságú áramkörre alakítsuk? Hogyan kellene beállítani az egyes elemeket egy ilyen üzemmódban? Vajon hol van szükség ilyen áramkörre?

### **4. 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:

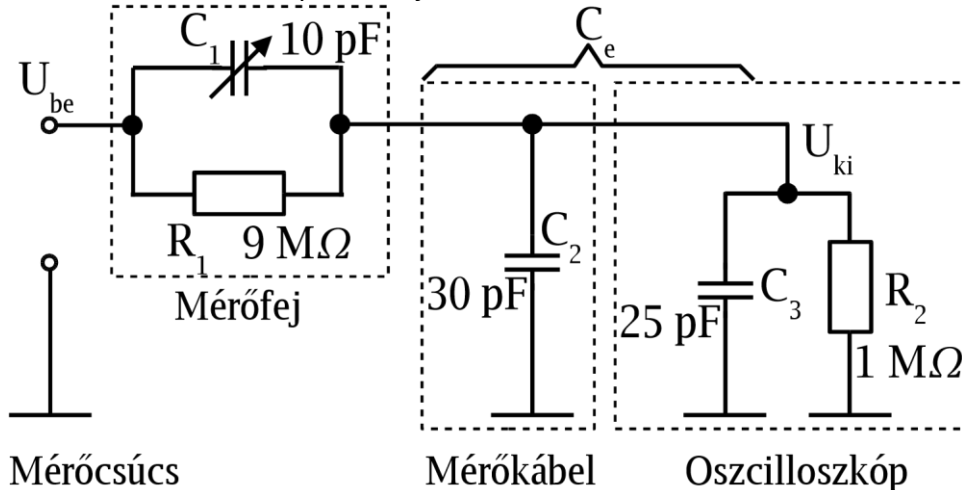
- a mérendő jel alakhű átvitele a mérőhegyről a kábelben keresztül az oszcilloszkóp bemenetére
- a mérendő jel amplitúdójának leosztása/erősítése
- annak megakadályozása, hogy az oszcilloszkóp leterhelje a mérendő áramkört, amivel meghamisítaná a mérés eredményét
- egyes speciális jelek átalakítása

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

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 találhatóak. Az így kialakított elrendezésben az osztók közösen biztosítják az 1:10-es feszültségelosztást (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

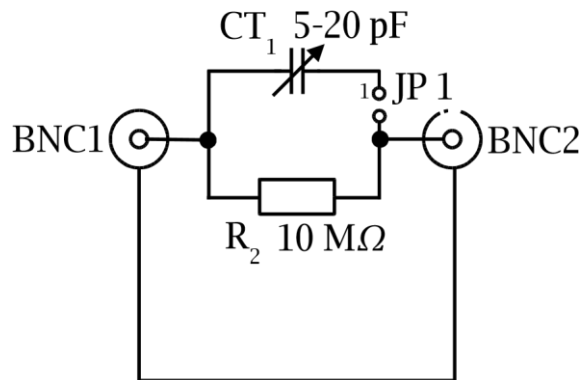
komplex feszültségosztókkal kompenzálni tudtuk a mérőkábelünk kapacitását, és a mérendő jeleink alakhűen jutnak el az oszcilloszkóphoz.

A mérési elrendezést a 8. ábra szemlélteti.

### **Elméleti feladat:**

F3: Méretezzen egy 1/2-es leosztású kompenzált mérőfejet! A kábel kapacitása legyen most is 30pF, az oszcilloszkóp bemeneti ellenállása 1 M $\Omega$ , kapacitása 25 pF. Mi a véleménye egy leosztás nélküli (1/1-es) mérőfejről?

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 paramétereinek alapján?

E3: Hogy néz ki a túlkompensált és az alulkompensált 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?

## **5. 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>1</sup>.

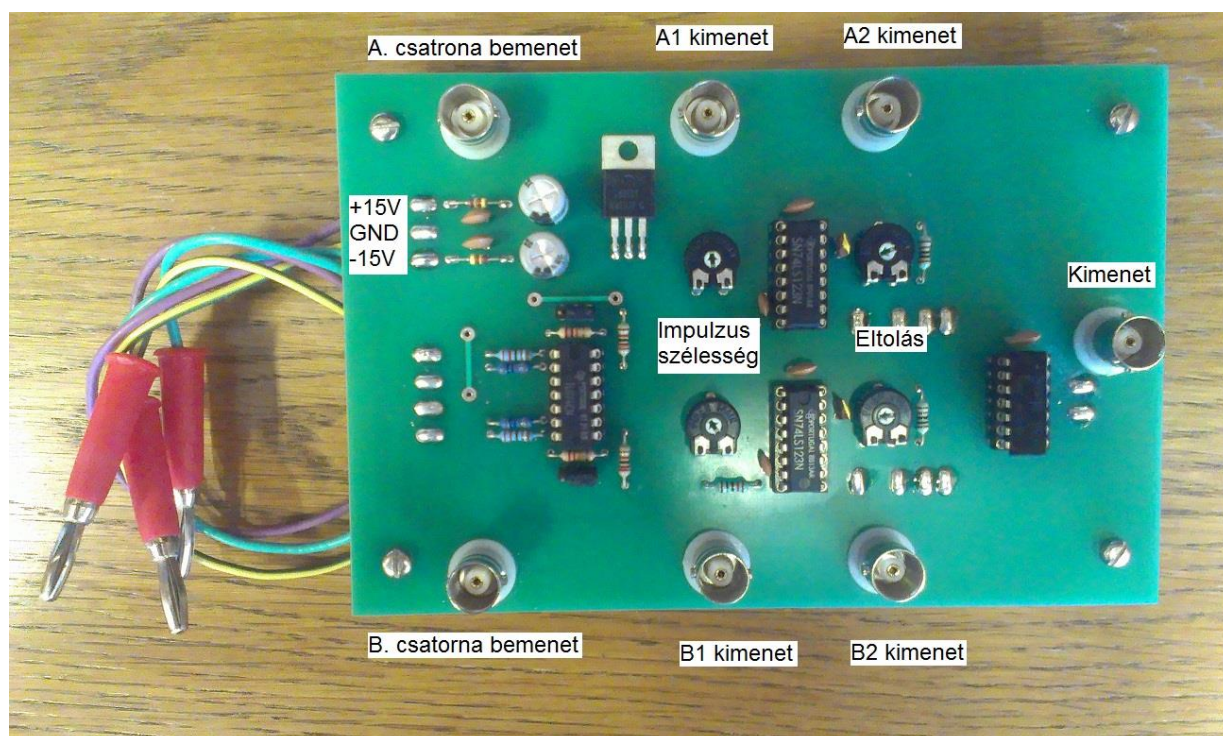
A mérés során ezt a gyakorlatban is kipróbáljuk.

## 6. Mérés

A mérés során egy panelen elkészített koincidencia áramkör tulajdonságait vizsgáljuk. A két véletlen jelsorozatot számítógéppel állítjuk elő, ezeket a számítógép a hangkártya jobb és baloldali kimenetén adja ki. Maguk a jelsorozatok a számítógépen található wav formátumban, a c:\koincidencia könyvtárban. Ezeket például bármilyen médialejátszó programmal megnyithatjuk.

### Mérési feladatok:

M1: Jelgenerátor segítségével állítson elő 5 kHz frekvenciájú, 5 V csúcsfeszültségű négyzög jelet, melynek feszültség szintjei 0 V és 5 V. Ezzel a jellel vizsgálja a koincidencia mérőkártya egyes blokkjainak (lásd 3. ábra) kimenetén mérhető jeleket, és ezek helyzetét egymáshoz képest (ehhez az oszcilloszkópot szinkronizáltassa az egyik jelsorozat jeleivel, és így azokhoz, mint viszonyítási pontokhoz képest mérheti a másik jelsorozatot). A mérőkártya tápfeszültsége  $\pm 15$  V legyen! A megfelelő bekötéshez használja a 10. ábrán látható képet. Vizsgálja meg a potenciométerek szerepét is ezen négyzögjelek segítségével.



10. ábra Koincidencia mérőpanel

<sup>1</sup> Lezárás alatt a hullámimpedanciával (amit egy kábel esetén a geometriai méretek és az anyagminőségek szabnak meg) megegyező nagyságú ellenállás kábelvéghez való csatlakoztatását értjük.



- M2: Vizsgálja a koincidencia áramkört valódi koincidenciákat (is) tartalmazó jelsorozatok segítségével, melyet a számítógép hangkártyájával állíthat elő a fentebb említett könyvtárban található fileok lejátszásával.
- M3: Indítsa el az „Audacity”, ismerkedjen meg az alapvető használatával, és elemezze a c:\koincidencia könyvtárban található jelsorozatokat!
- M4: Mérje meg nagysebességű számlálók segítségével a c:\koincidencia könyvtárban található szimulált jelsorozatokban a valódi koincidenciák számát!
- M5: Határozza meg a koincidencia áramkörrel a jelekben található (azaz a szimulált mérésben fellépő) véletlen koincidenciák számát az (1) összefüggés felhasználásával. (A felbontási időt oszcilloszkóp segítségével határozza meg, az oldalági beütésszámokat pedig számlálóval!)
- M6: Mérje meg a véletlen koincidenciák számát az előbbi jelsorozat időbeli eltolásával is. Hasonlítsa össze a 4. feladatban kapott értékekkel, és diszkutálja az eredményt.
- M7: A mért valódi és véletlen koincidenciák számát összehasonlítva vizsgálja az egyes mérések pontosságát, megbízhatóságát!

M8: Vizsgálja a kompenzációs mérőfejet modellező kapcsolást!

- a) Adjon a 9. ábrán látható áramkör bemenetére függvénygenerátorról 100 Hz-es szinuszjelet!  
Eltávolított jumper (*JP1*) mellett mérje BNC2-n az áramkör kimeneti feszültségét oszcilloszkóppal, koaxiális kábelen 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! Magyarozza 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? Magyarozza 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 kábellel! Hogyan változik a kimeneti jel amplitúdója? Vizsgálja meg most is a mért jelet úgy, hogy a bemenetre négyszögjelet kapcsol! Magyarozza a tapasztaltakat!

M9: 10x-es leosztású mérőfej vizsgálata.

- a) Csatlakoztassa a mérőkábelt az oszcilloszkópon található kalibrációs mérőpontra! 10x-esállásban 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. Magyarozza a látottakat!

M10: Jeltovábbítás és visszaverődés vizsgálata hosszú kábelben.

- a) Kapcsoljon 300 kHz-es négyszögjelet az oszcilloszkóp bemenetére kb. 1 m hosszú koaxiális kábellel, 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. Magyarozza a tapasztalt jelenségeket!