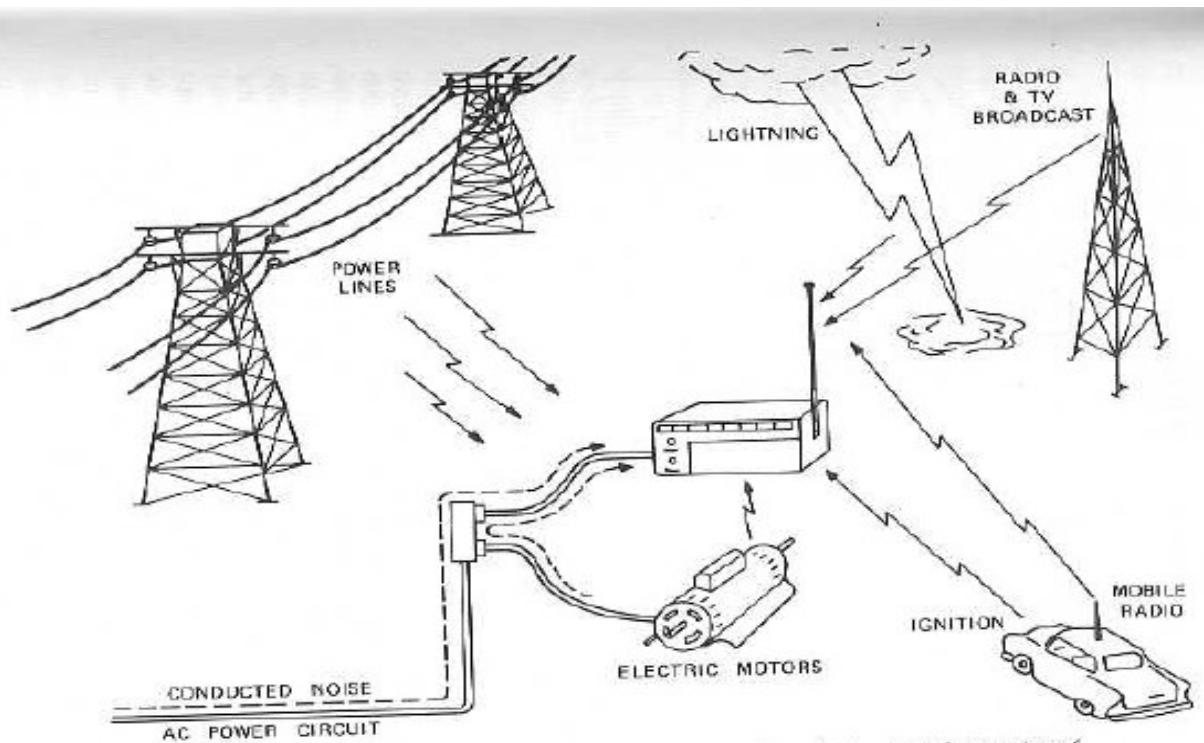


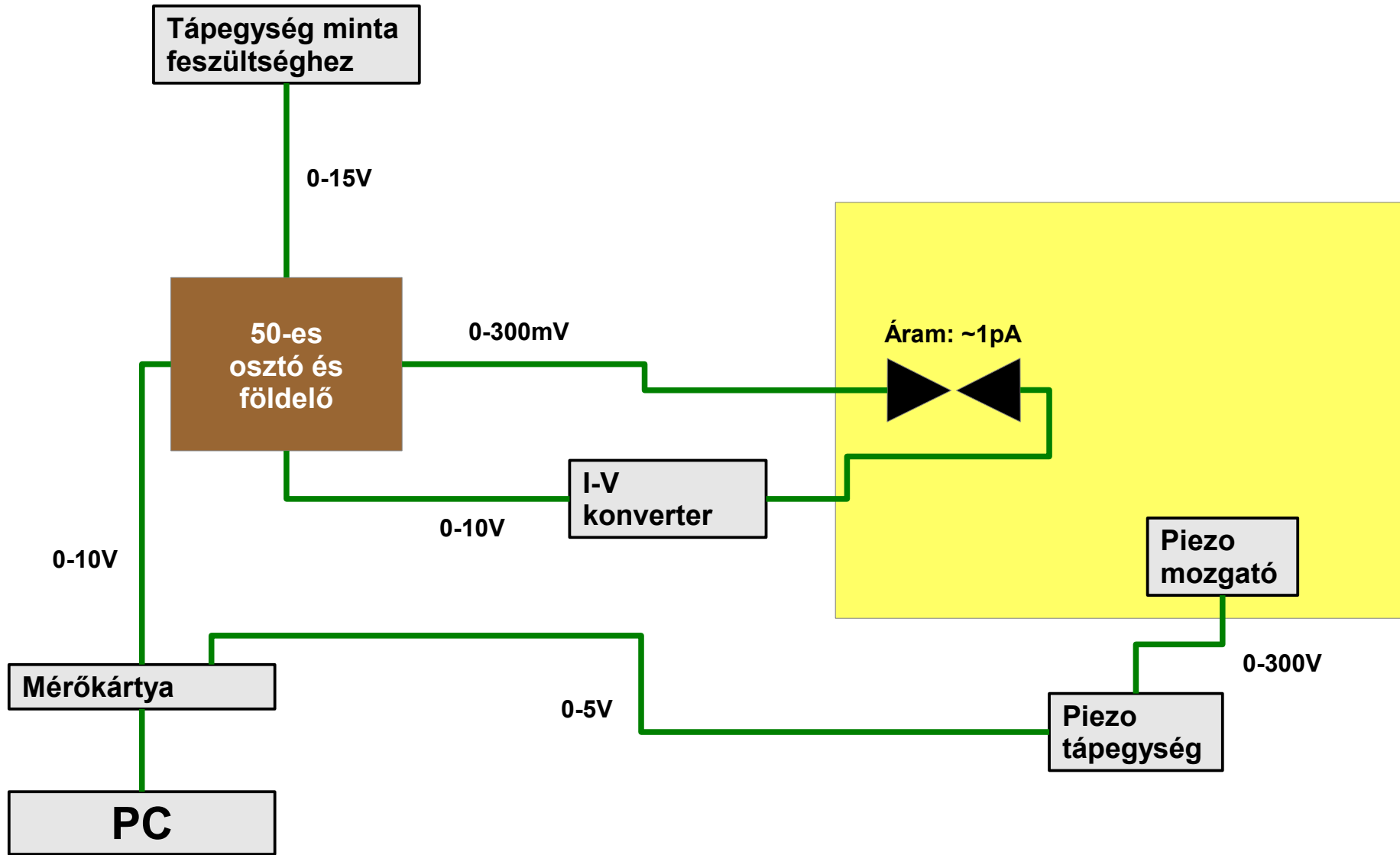
Elektromos zajcsökkentés vezetékkelés és földelés szerepe



BME Fizika Tanszák
Nanoszeminárium előadás
2012.11.29.
Balogh Zoltán

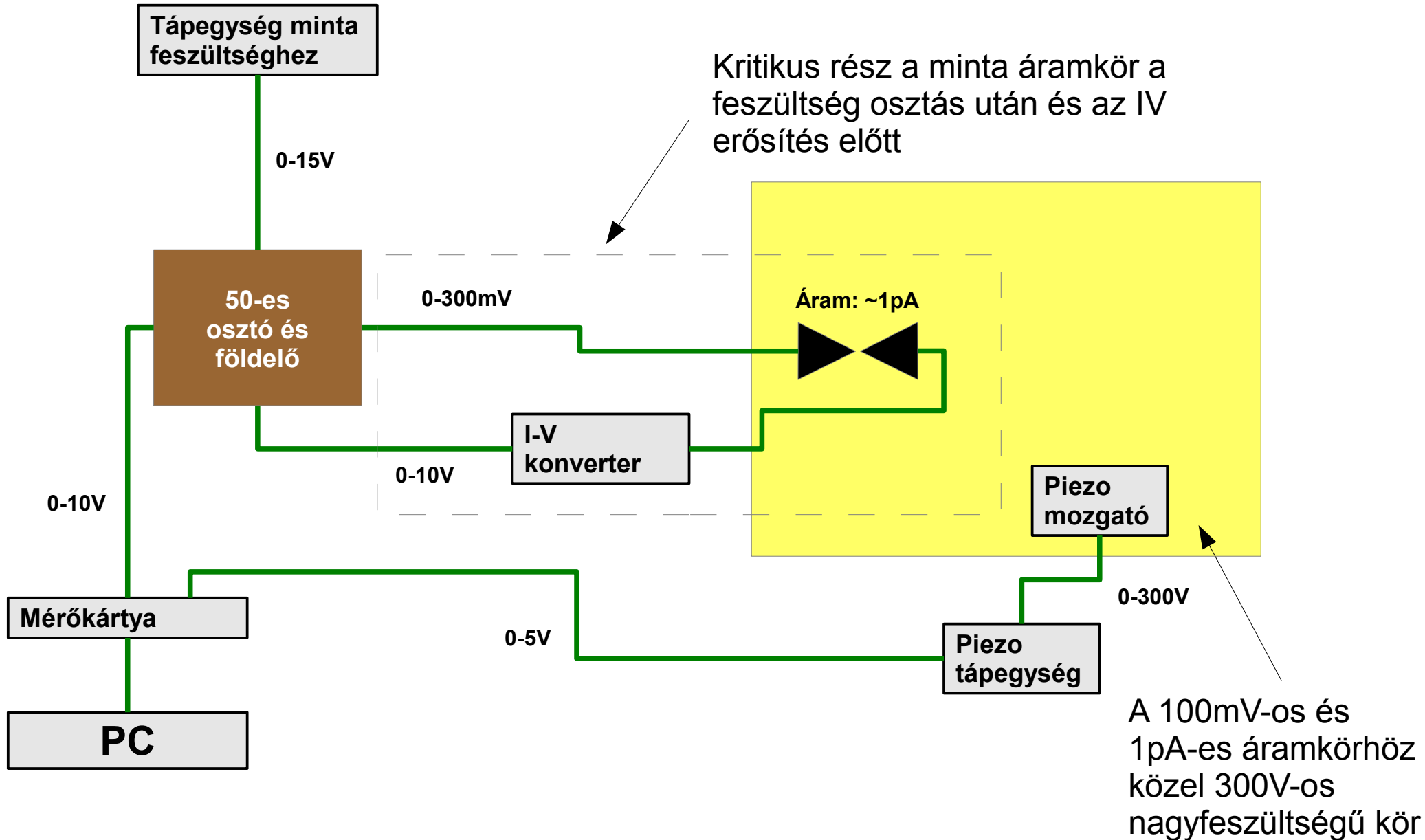
Egyszerű mérési elrendezés:

Csak a minimális számú elektronikai eszközt véve is „bonyolult” rendszerrel állunk szemben.

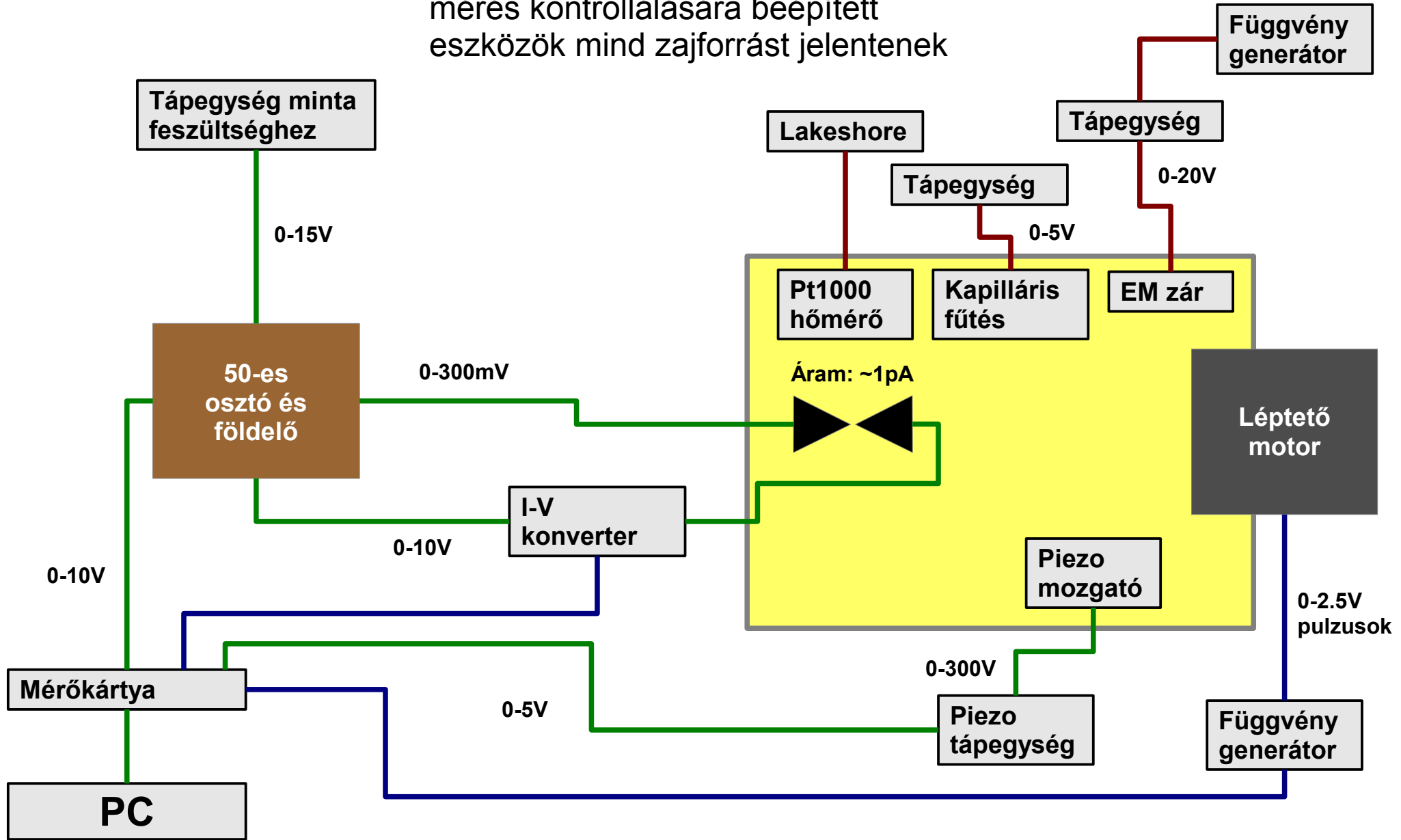


Egyszerű mérési elrendezés:

Csak a minimális számú elektronikai eszközt véve is „bonyolult” rendszerrel állunk szemben.



Teljes mérési elrendezés: A különböző paraméterek mérésére, a mérés kontrollálására beépített eszközök mind zajforrást jelentenek



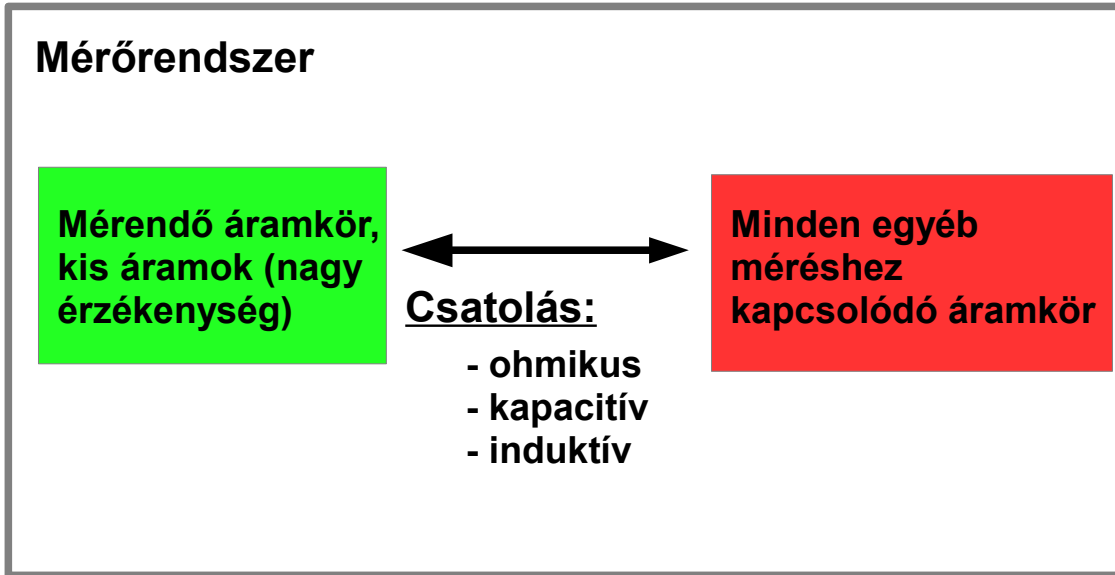
→ Új kábelek, zaj átvitele **kapacitív** és **induktív** módon

→ Új áramkörök, földelés kérdése: **földhurkok**

Mérőrendszer vezetékelése:

Zajszt csökkentése szempontjából fontos milyen vezeték (típus: coax, twisted pair; vezeték vastagság) alkalmazunk és térben hogy helyezzük el azokat.

Odafigyeléssel és gondos tervezéssel a zajszt akár több nagyságrenddel is csökkenthetők.



Egy átlagos rendszer legnagyobb (zajnak kitett) részét a vezetékek alkotják. Ezek könnyen zajt szedhetnek fel és sugározhatnak, gondolhatunk rájuk úgy mint egy antennára.

Nagy zajt okozhat a különböző rendszerek nem kívánt ohmikus csatolása, de ez könnyen megszüntethető

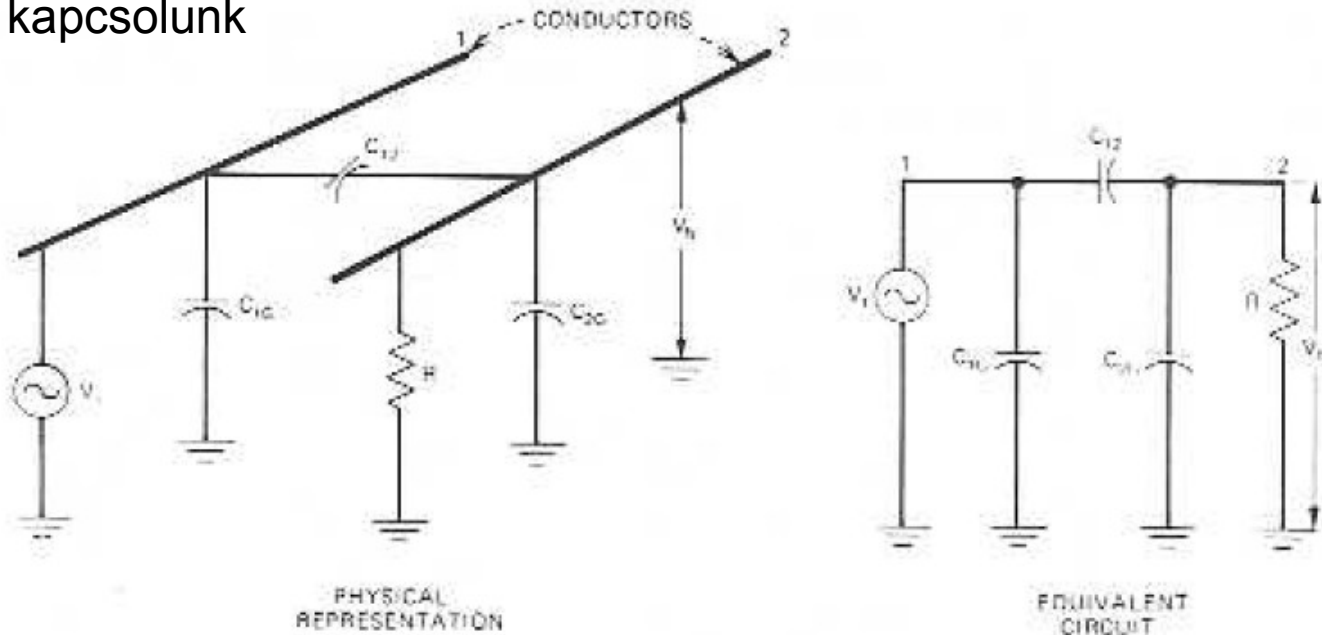


Fontos a megfelelő szigetelés és ennek strapabírósága

Kapacitív csatolás:

Tekintsünk két egyszerű vezetéket \longrightarrow Egymáshoz ohmikusan nem kapcsolódnak csak kapacitív módon.

1-es vezetőre V_1
feszültséget kapcsolunk



Mekkora V_N zajt okoz a 2-es vezetők az 1-es vezetők V_1 feszültsége?

$$V_N = \frac{j\omega [C_{12} / (C_{12} + C_{2G})]}{j\omega + 1/R (C_{12} + C_{2G})} V_1$$

$$R \ll \frac{1}{j\omega (C_{12} + C_{2G})} \rightarrow V_N = j\omega R C_{12} V_1$$

$$R \gg \frac{1}{j\omega (C_{12} + C_{2G})} \rightarrow V_N = \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{2G}} V_1$$

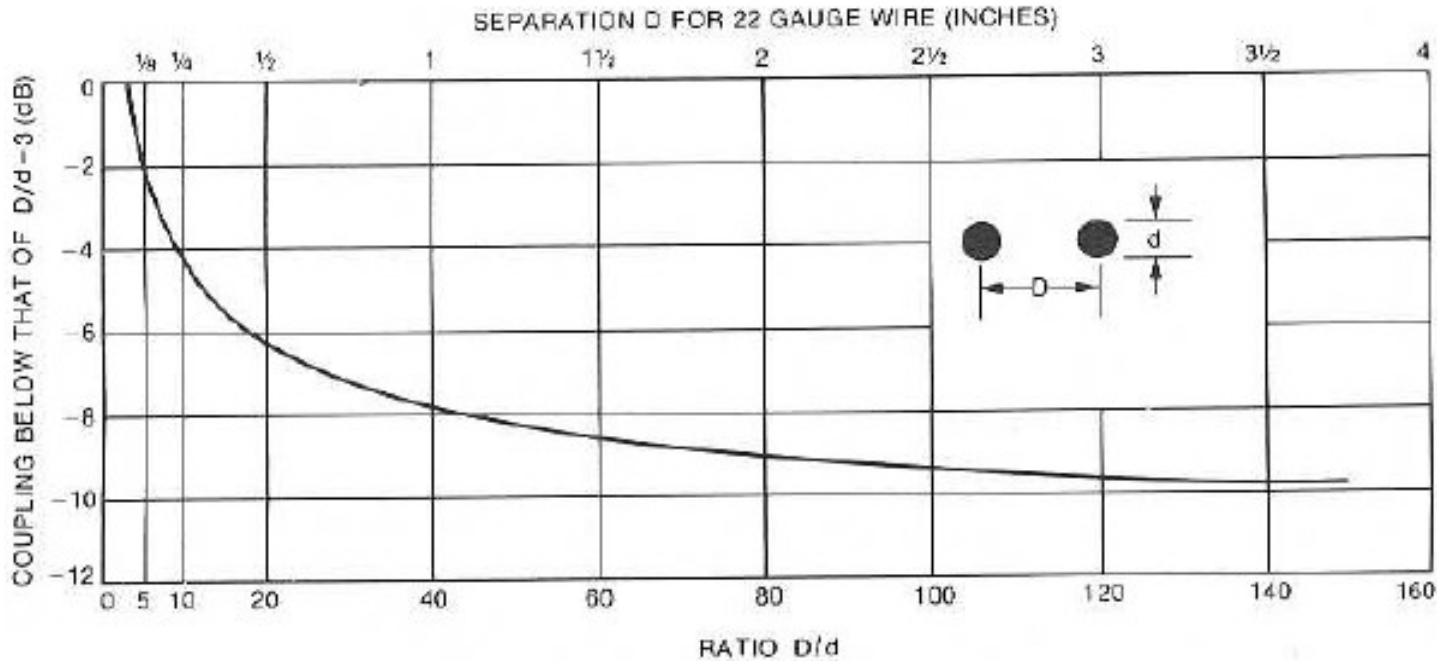
A két vezetők kapacitív csatolása mindkét határesetben szerepel, csökkentésével az átvitel is csökken

Kapacitív csatolás:

Hogyan tudjuk csökkenteni vezetéseink kapacitív csatolását?

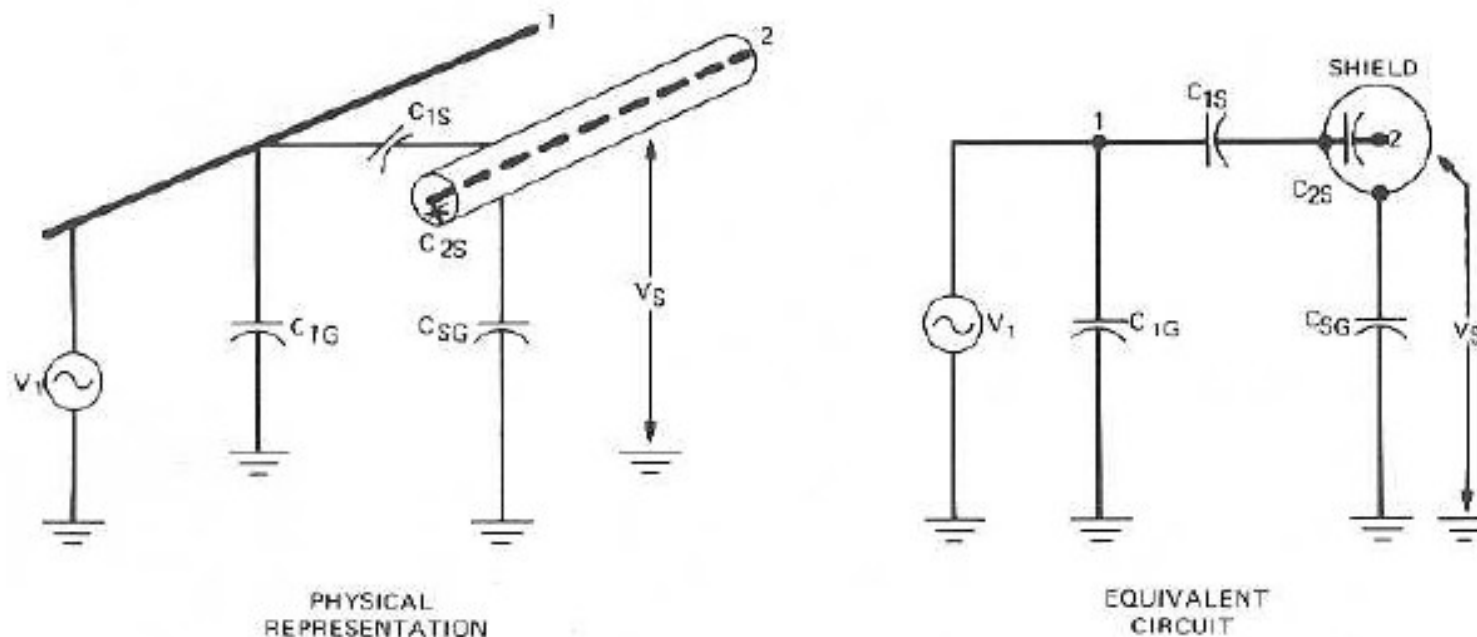
A kapacitás definíciója alapján értékét meghatározzák a **geometriai** viszonyok, valamint a dielektrikum

Megfelelő elrendezéssel jelentősen csökkenthető két vezető közötti kapacitív áthallás



Kapacitív csatolás:

A vezetékek szeparálása mellett (ami sokszor a helyhiány miatt nehezen kivitelezhető), lehetőségünk van **árnyékolás** beiktatásával is csökkenteni a kölcsönös kapacitást



Ideális esetben az árnyékolás a teljes vezetőt „befedi” és ekkor az árnyékolás és az 1-es vezető csatolódnak, a V_1 feszültség hatása az árnyékoláson jelenik meg

$$V_s = \frac{C_{1S}}{C_{1S} + C_{SG}} V_1$$

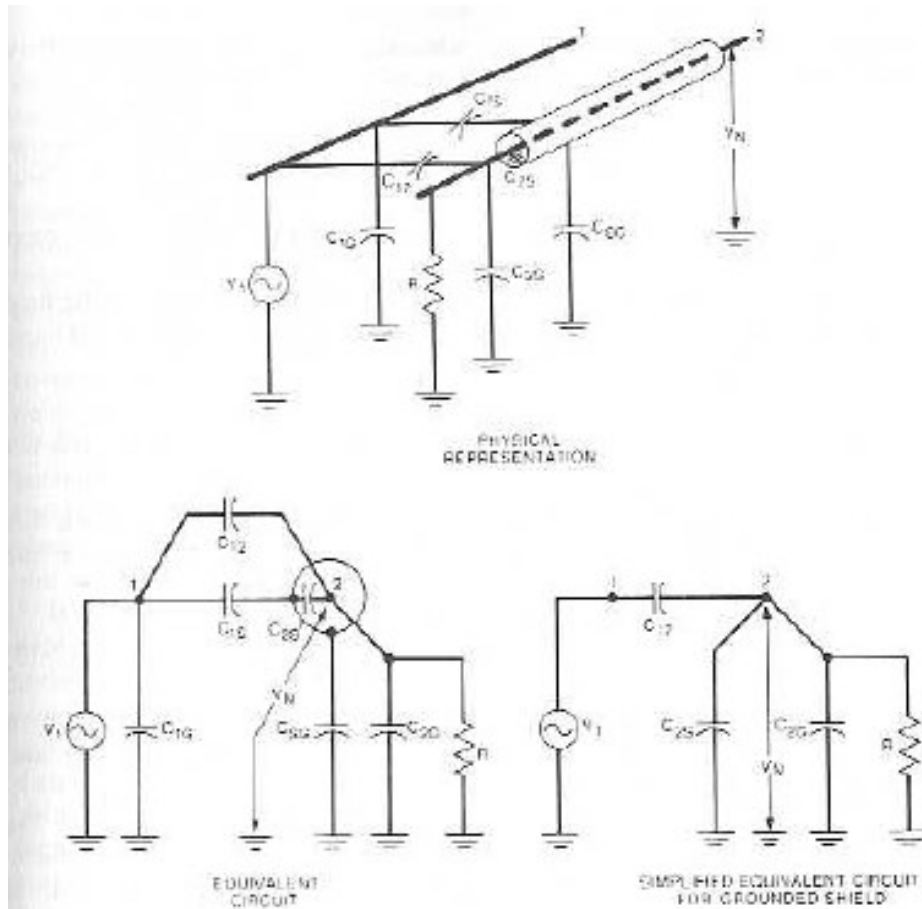
Ez a 2-es vezetők, ha C_{2S} -en át nem folyik áram $V_N = V_s$ feszültséget okoz.

Ha földeljük az árnyékolást $V_s = 0$, így V_N is kiküszöbölhető

Kapacitív csatolás:

Az előbbi példától a megvalósítható eset némiképp eltér például az árnyékolás nem terjed ki az egész vezetőre.

Ekkor a fizikai és áramköri kép kicsit módosul



Ha az árnyékolást földeljük, az elsöre bonyolultnak tűnő eset leegyszerűsödik. Az áthalásban csak a vezető árnyékoláson kívüli része játszik szerepet. Az 1-es vezető és a 2-es vezeték szabad részének kölcsönös kapacitása jelenik meg az átvitelben.

Könnyen belátható, hogy ez az eset megfelel az árnyékolatlan vezetéknek, hogy a 2-es vezeték nem csak C_{2G} -n keresztül csatolódik a földhöz, hanem C_{2S} -n is (mivel az árnyékolás földelt).

Így érvényes a két határesetre:

$$V_N = j\omega RC_{12} V_1 \quad V_N = \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{2G} + C_{2S}} V_1$$

Itt azonban a C_{12} csak a vezeték árnyékolatlan részét jellemzi, ami könnyen belátható, hogy lényegesen kisebb lehet, mint ugyan olyan körülmények között az árnyékolás mentes eset.

Induktív csatolás:

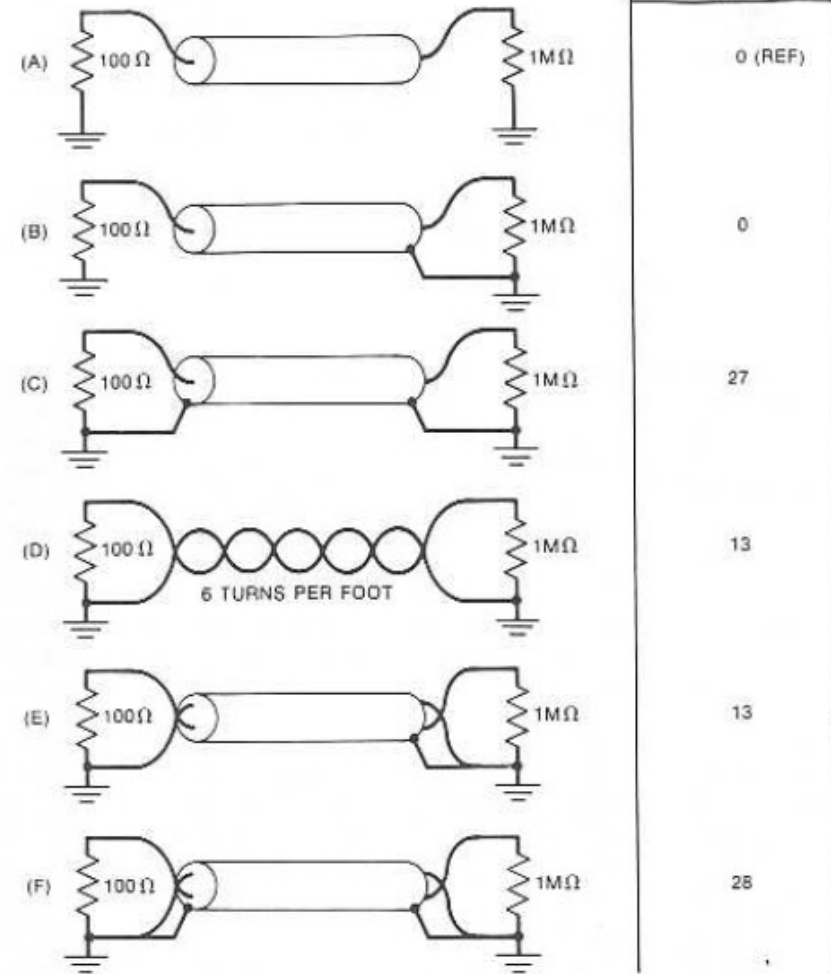
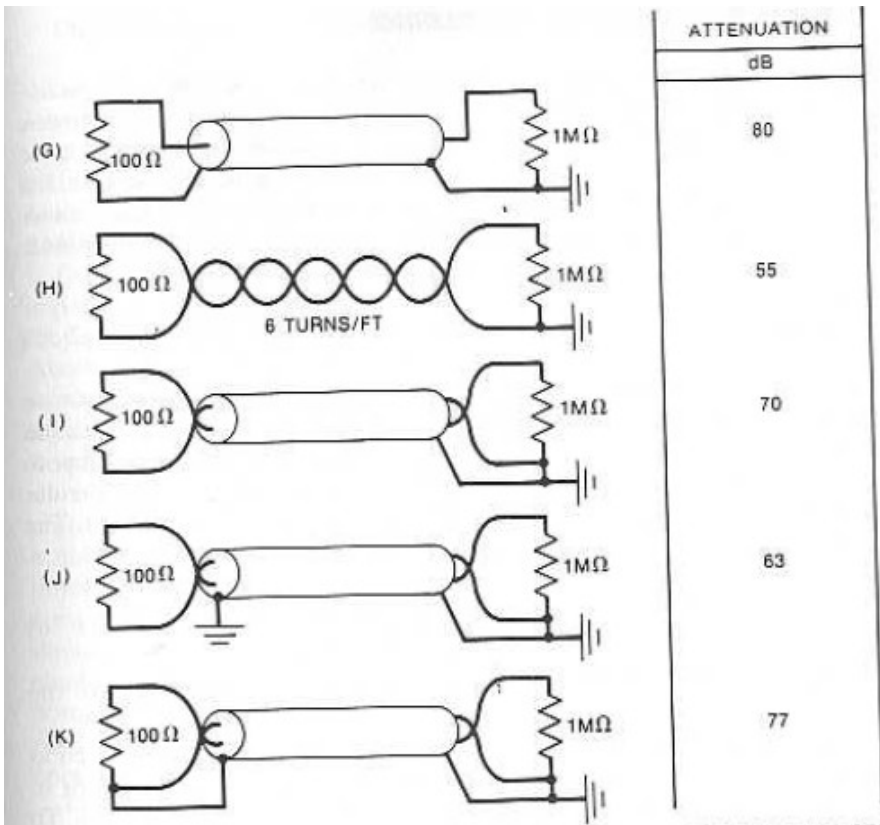
Változó fluxus \longrightarrow Feszültség indukálódik

Farady törvény:
$$V_N = -\frac{d}{dt} \int \vec{B} d\vec{A}$$

Zárt hurokra időben szinuszos fluxusváltozásra:

$$V_N = j\omega BA \cos \Theta$$

A kifejezésben a B indukció egy rendszer környezetében megjelenő áramkör által keltett mágneses mező. Az emiatti zaj forrás fő csökkentési módja a hurok területének (A) minimalizálása.



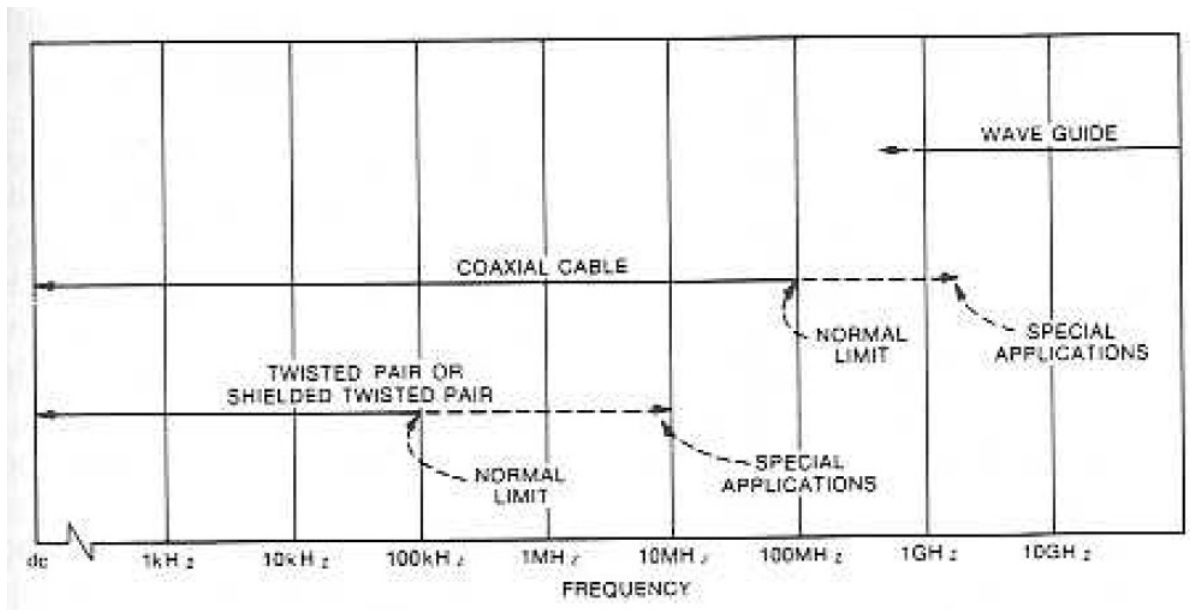
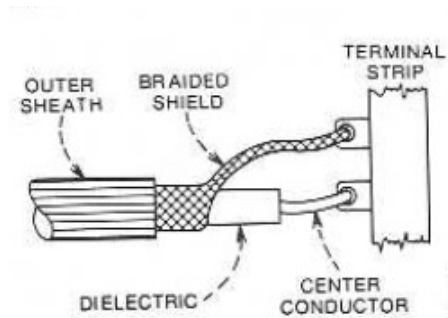
Az induktív csatolás kiküszöbölésében is szerepet kaphat az árnyékolás, azonban egy sokszor könnyen kivitelezhető lehetőség csavart vezetékpár (twisted pair) használata. (itt azonban egymáshoz közeliek a vezetékek, ami a kapacitív csatolásnál látottak alapján nem ideális)

Csavart érpár vagy koaxkábel:

Alacsony frekvencián (<100kHz) árnyékolt csavart érpár jól működik, de nagyobb frekvencián a veszteség jelentős lesz.

Koaxkábel egyenletes karakterisztikájú, a széles frekvencia tartományú rendszerekben lehet hasznos

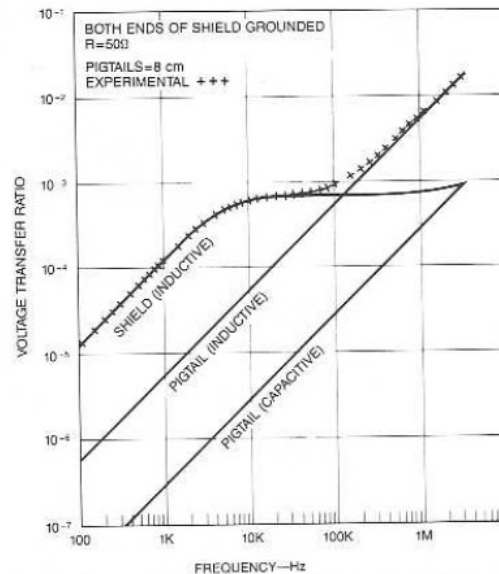
Árnyékolás bekötése:



A koax kábelnél azonban az árnyékolás földelése fontosabb szerepet játszik, főleg, ha a jelkör része



Duplán árnyékolt vagy triaxial kábel



Nagyfrekvenciás alkalmazásnál fontos lehet az árnyékolás végződése.

Kis ellenállás esetén induktív, nagy ellenállásnál kapacitív módon ronthat a zajátvitelen

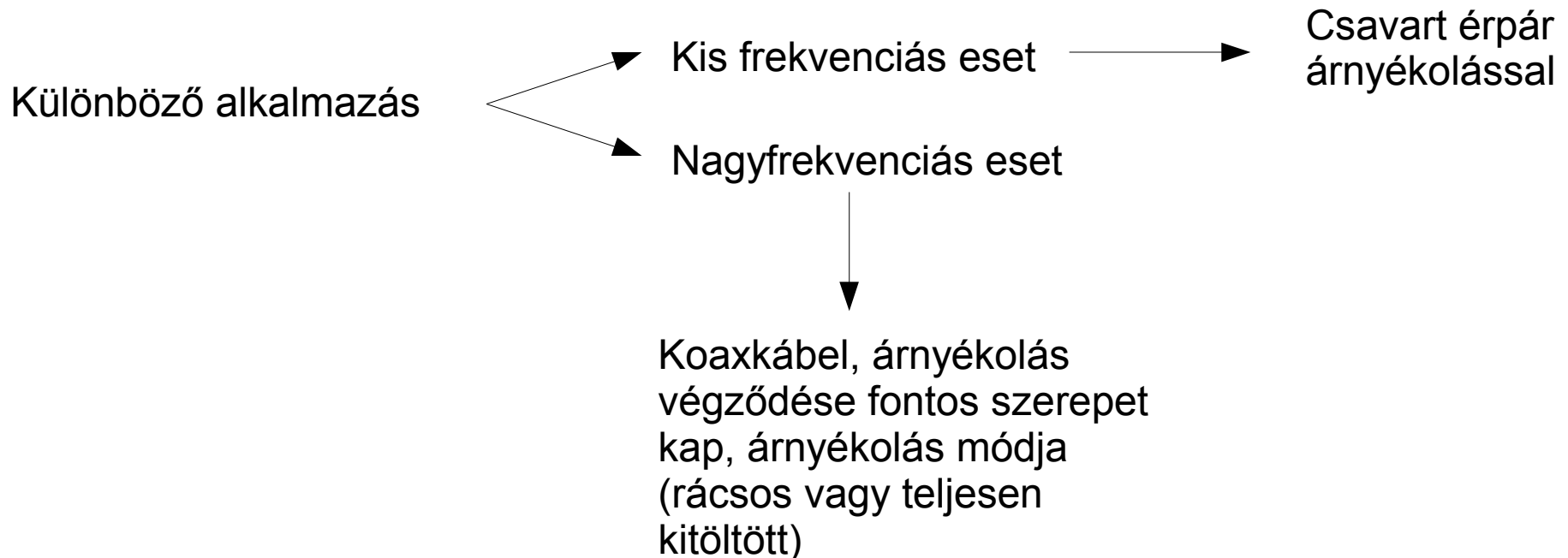
Konklúzió I.:

Kapacitív csatolás árnyékolással és a vezetékek megfelelő térbeli elrendezésével jelentős mértékben csökkenthető.

Az árnyékolást megfelelő ponton földelni kell, ha pedig az része a jelkörnek (koax kábel), biztosítani kell a zajmentességet.

Induktív áthallás a hurokméret csökkentésével és mágneses árnyékolással küszöbölhető ki.

Legjobb csillapítás megfelelően földelt koaxkábellel vagy csavart érpárral érhető el



Mérőrendszer földelése:

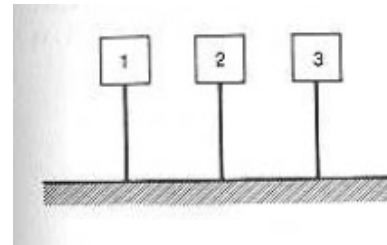
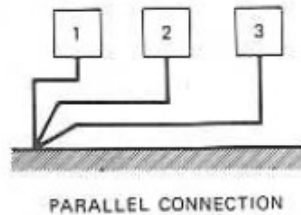
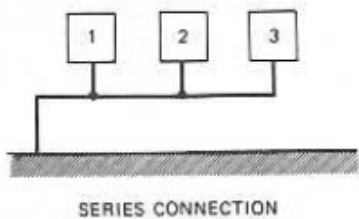
Két típusú földelés: —————▶ érintésvédelem

—————▶ **jelföld**

A megfelelő földelés a zaj csökkentésének leghatékonyabb módja. Kivitelezése azonban sok esetben nem egyszerű, valamint a különböző rendszerek más módszereket igényelnek.

Két alapfeltevés: - minden vezetők véges impedanciája van, amit általában rezisztív és induktív tagból származik
- két fizikailag szeparált földpont ritkán van ugyanolyan potenciálon

Jelföld alapvető típusai:



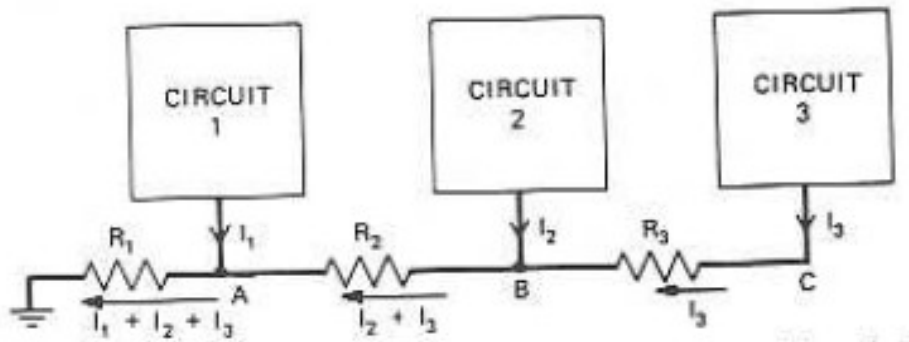
Egy pont földelés

Több pontos földelés

Hibrid földelés

Egypont földelés:

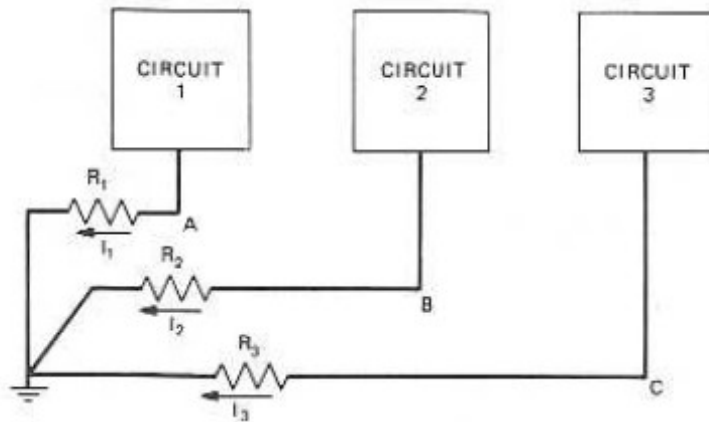
Probléma a véges impedancia



Egyszerűsége miatt sokszor használják és bizonyos rendszerekben megfelelő

DE széles jeltartományban működő rendszereknél, alacsony jelszintek esetén például jelentős problémát okozhat

Megoldás alacsony frekvencián parallel kapcsolás



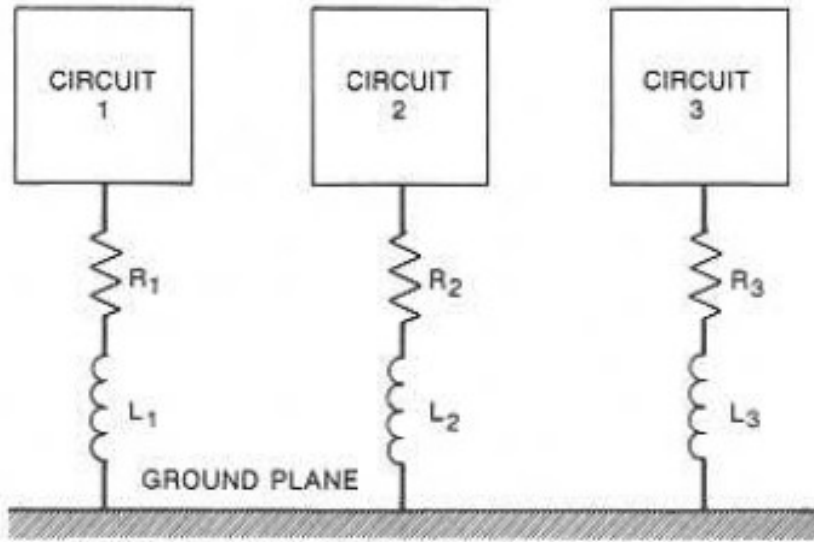
Nincs keresztcsatolás a különböző rendszerek földáramában.

Az egyes rendszerek földpotenciálja csak az adott rendszer jellemzőitől függ.

Hátránya a sok vezeték ami bizonyos rendszerekben nem alkalmazható, illetve a zsúfolt vezetékkötegek az előző részben tárgyalt problémákat vethetik fel

Az egypont földelés általános hátránya, hogy hosszú vezetékek kelljenek. Nagyfrekvencián ezek induktivitása jelentős szerepet kaphat, így az ilyen rendszereknél ez a módszer nem lesz ideális.

Több pontos földelés:



Ezt a módszert nagyfrekvenciákon célszerű alkalmazni, elve a minél rövidebb és kisebb impedanciájú föld csatlakozás használata. Ez nagyon magas frekvenciákon maximum pár cm-es földvezetékek használatát jelenti.



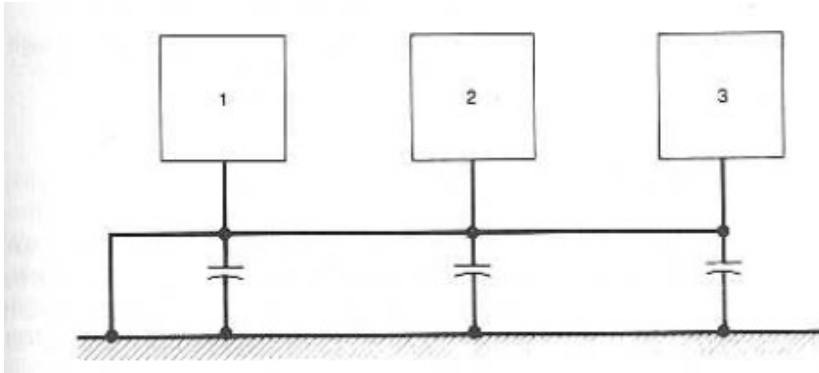
Azonban a különböző földpontok potenciálja a földsík impedanciája miatt eltérhet, ezt minimalizálni kell (pl. ezüst bevonat)

Több pontos földelés esetén elkerülendő:

- ▶ Nagy impedanciájú földsík (általában induktivitás miatt)
- ▶ Nagy földáram (pl. mágnesesen felvett)
- ▶ Nagyon érzékeny, kis zajtűrésű rendszer csatlakozik a földhöz

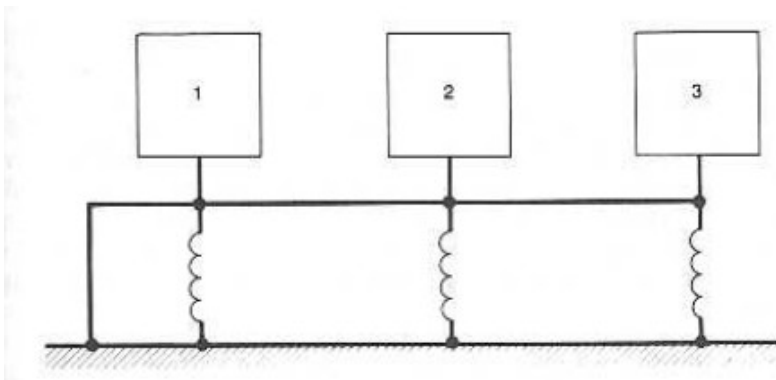
Hibrid földelés:

Esetenként hasznos lehet a két földelés típus együttes alkalmazása



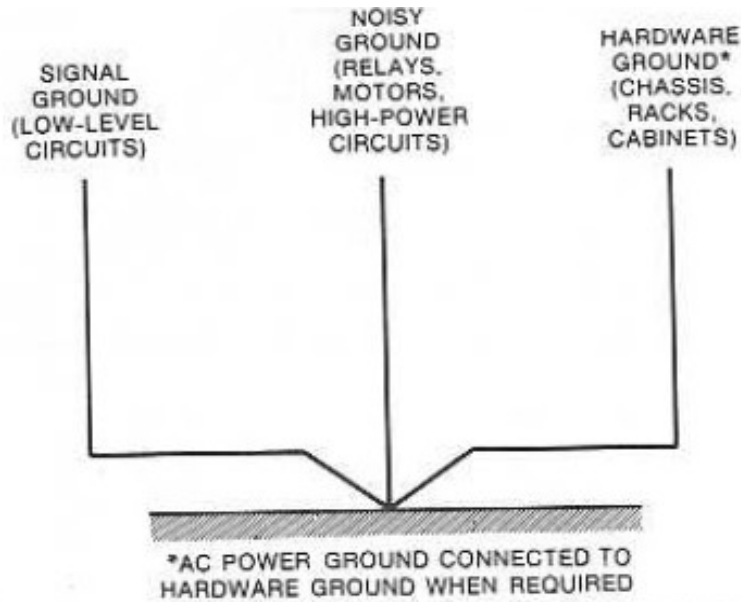
Alacsony frekvencián
egy pont földelés, nagy
frekvencián viszont több
pontos.

Néha például biztonsági okokból szükséges lehet kis frekvencián több pont földelés (hálózati áram), de nagyobb frekvencián pedig az egy pont föld kívánatos



Alacsony frekvenciás földelés gyakorlatban:

Legfontosabb kritérium a földek megfelelő kategorizálása és a rendszer ennek megfelelő kialakítása. Ez a megfelelő földelés 1. lépése.

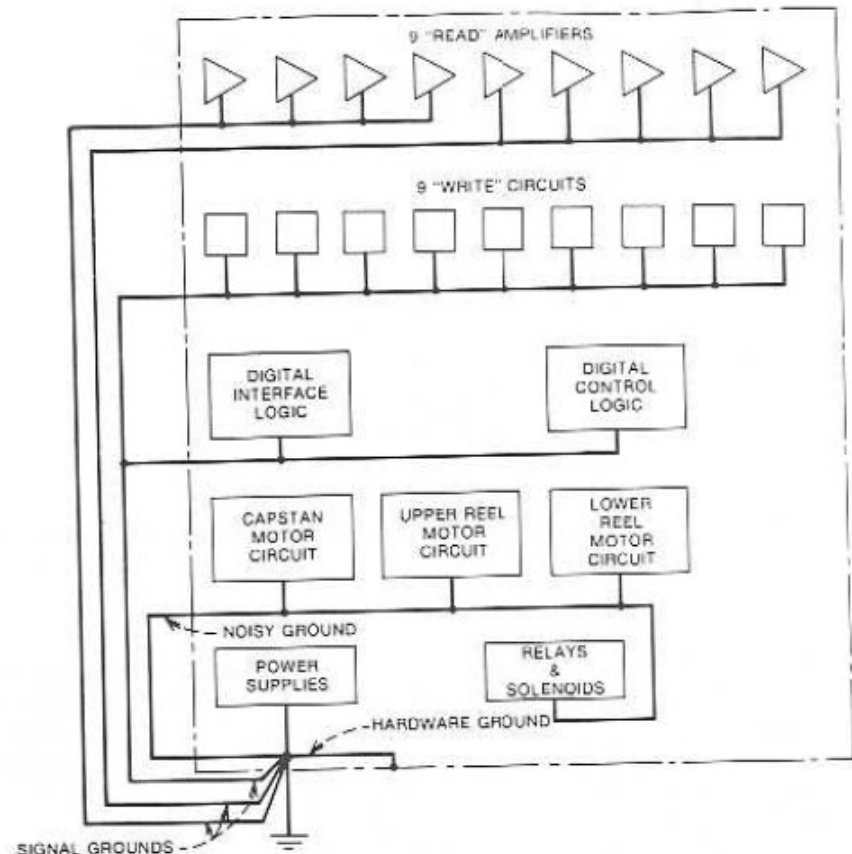


A mérőrendszer elemei földelés szerint 3 csoportra oszthatók. Ezek földelése külön kört kell alkotson, amik csak EGY PONTBAN kapcsolódnak össze.

Példa: videó

A különböző földek egy pontban találkoznak, ide kapcsolódk a tápegység földelése is.

Az ilyen blokkdiagramok készítése a földelés tervezésekor hasznos eszköz lehet!

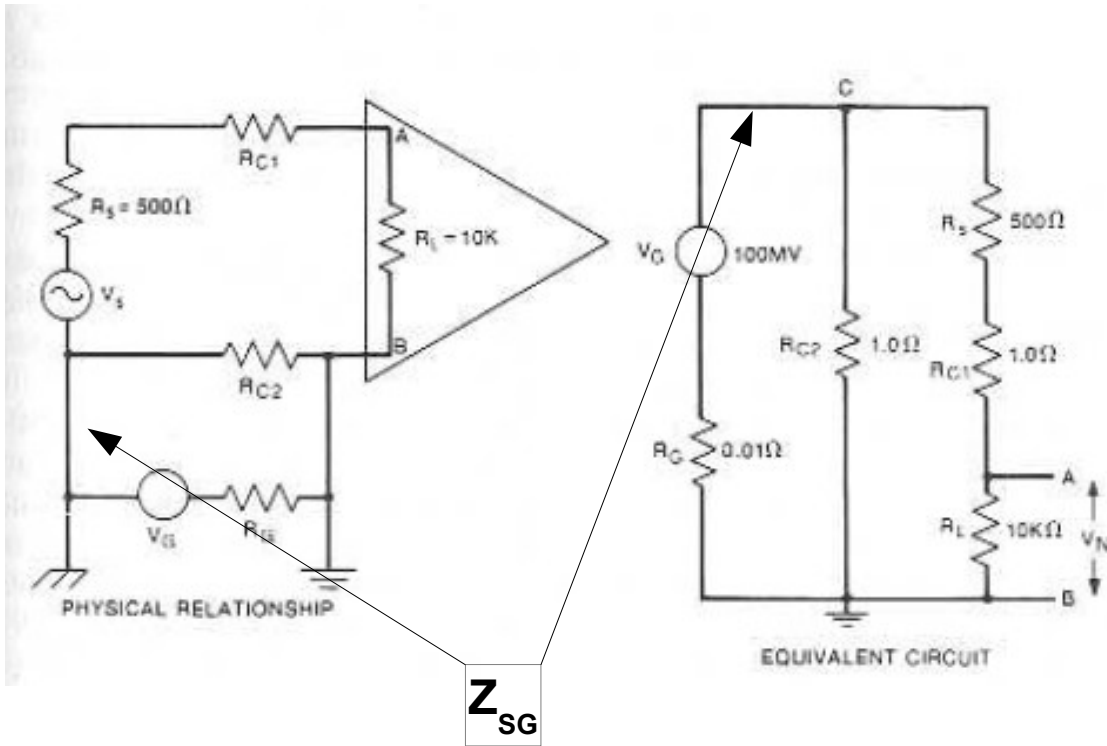


Különböző földpontok problémája:

Vizsgáljunk egy erősítőt (amit helyettesíthetünk tetszőleges terheléssel):

Az erősítő és a jel külön pontban földeltek

→ V_g nemkívánatos feszültségként jelenik meg a bemeneten



$$V_N = \frac{R_L}{R_S + R_{C1} + R_L} \frac{R_{C2}}{R_{C2} + R_G} V_G$$

Számszerű példa:

$$\begin{aligned} R_G &= 0.01 \Omega \\ R_S &= 500 \Omega \\ R_{C1} &= R_{C2} = 1 \Omega \\ R_L &= 10k \Omega \end{aligned} \quad \longrightarrow \quad 0.943$$

Azaz a földek eltérése majdnem teljesen megjelenik a jelen mint zaj. Ez alacsony jelszintű rendszerben komoly probléma lehet.

A megoldás rendszertől függően lehet, valamelyik földpont kiiktatása vagy differenciális erősítő használata.

↓
Földeletlen tápellátású erősítő

→ A jel földelésébe egy nagy impedancia beiktatása

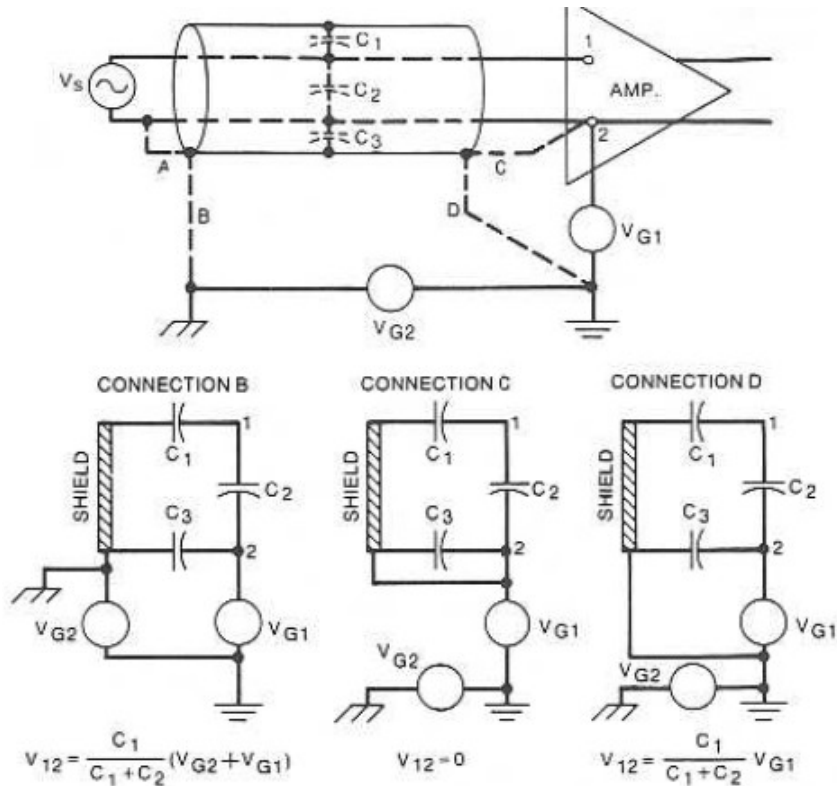
$$V_N = \frac{R_L}{R_S + R_{C1} + R_L} \frac{R_{C2}}{Z_{SG}} V_G$$

$$Z_{SG} = 1M\Omega \quad \longrightarrow \quad 9.53 \times 10^{-7}$$

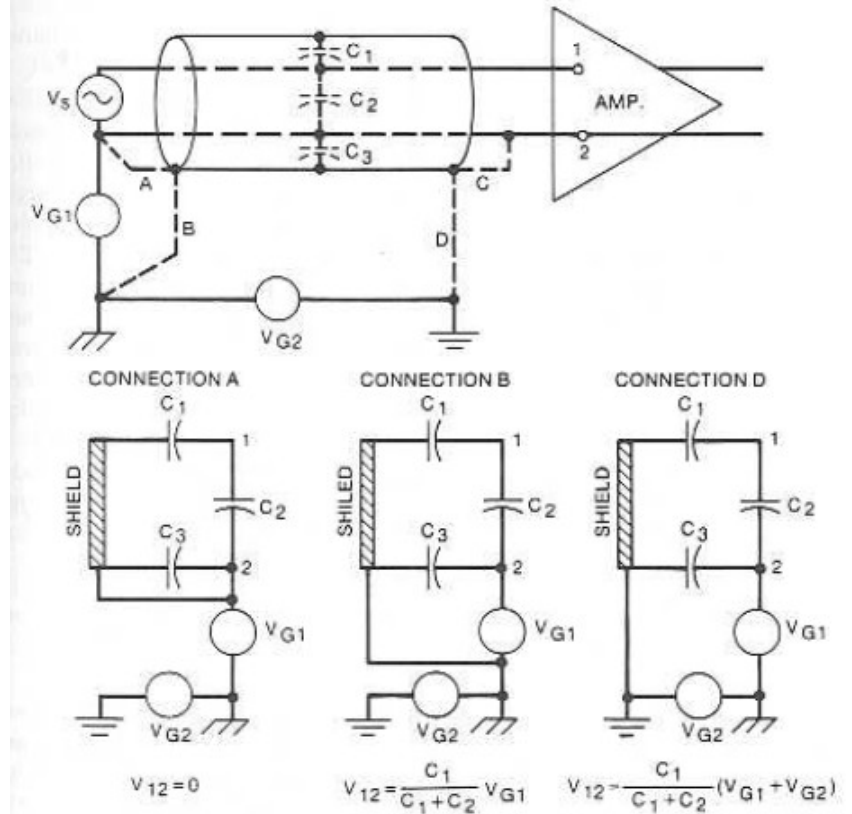
Árnyékolás földelése:

Az előző részben láttuk, hogy az árnyékolást földelni kell a megfelelő működéshez. Felmerül a kérdés, ezt a földelést hogyan tegyük meg. A megoldás függ a rendszerünk felépítésétől.

Földelt erősítő, földetlen jel



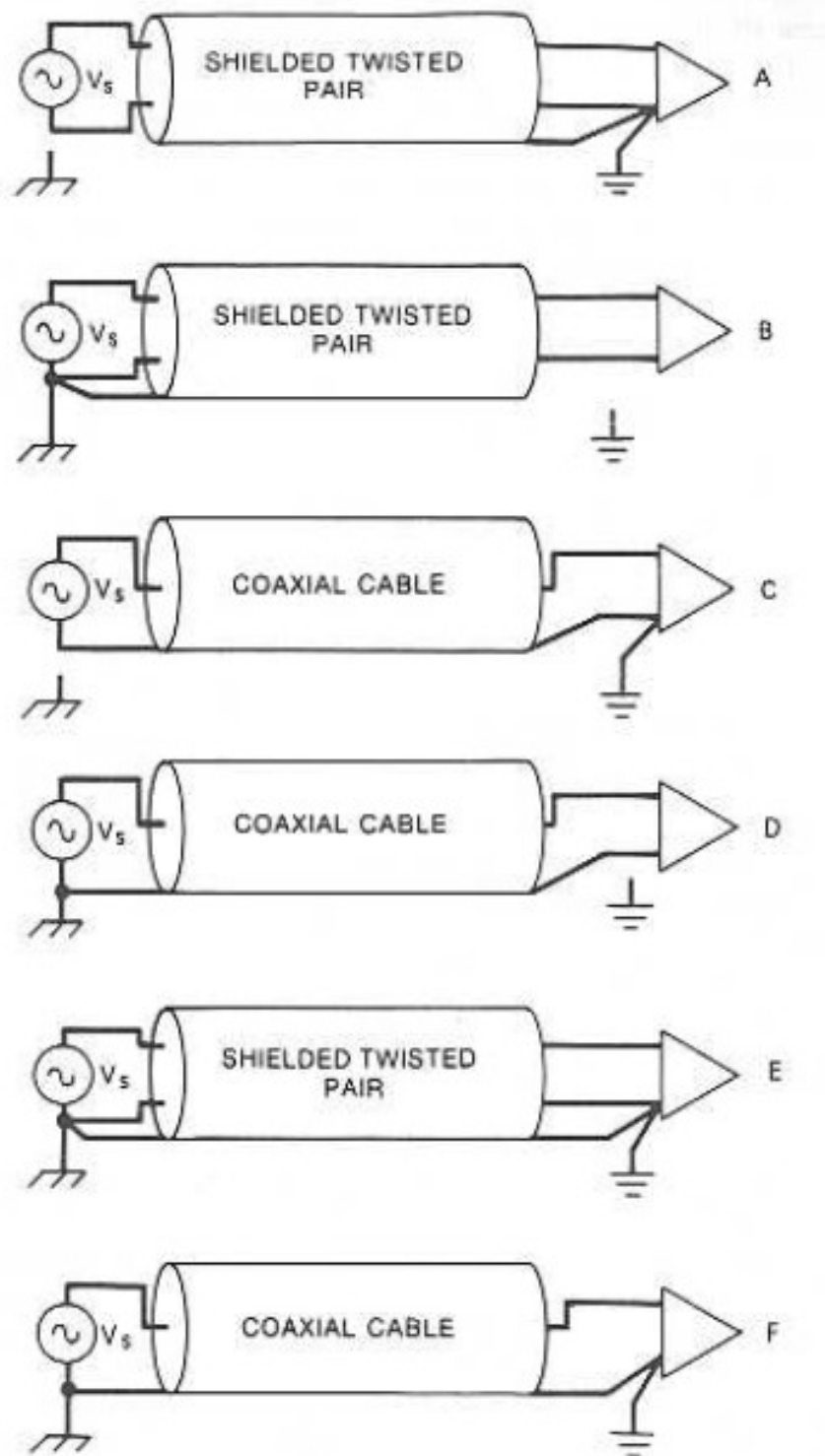
Földelt jel, földetlen erősítő (diff.erősítő)



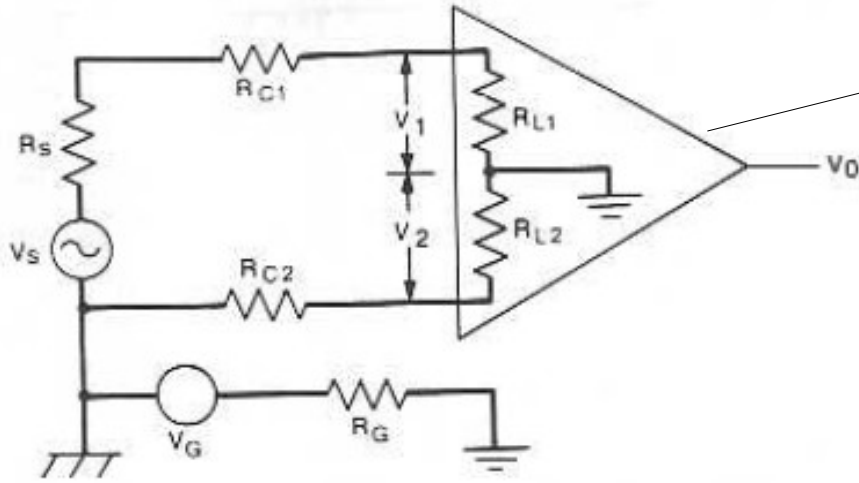
Látható, hogy fontos ismernünk a rendszerünk felépítését, ugyanis ami az egyik esetben a legrosszabb és legzajosabb megvalósítás, az a másik esetben lehet a legideálisabb.

Különböző vezetékek és eszközök esetén az ideális földelés:

TE jól csinálod?



Differenciális erősítő:

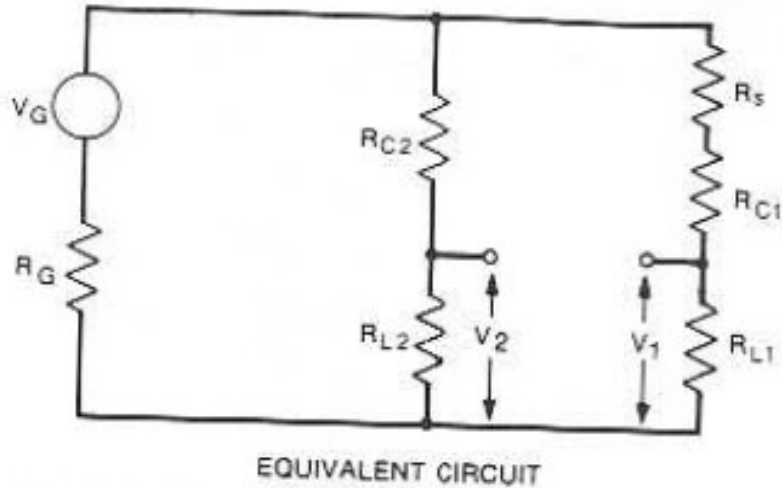


Diff.erősítő modellezése

$$V_0 = A(V_1 - V_2)$$

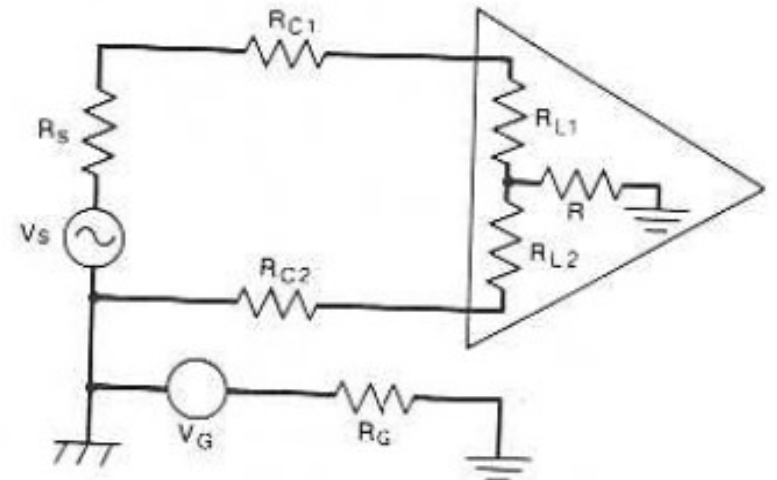
$$V_N = \left(\frac{R_{L1}}{R_S + R_{C1} + R_{L1}} - \frac{R_{L2}}{R_{C2} + R_{L2}} \right) V_G$$

$$R_{C1} = R_{C2} \quad R_{L1} = R_{L2}$$



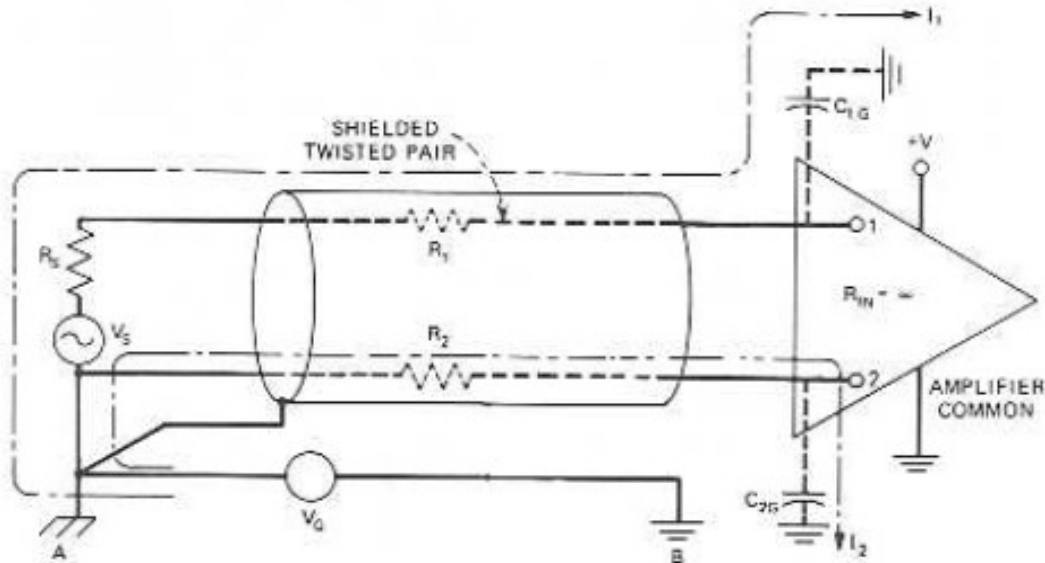
- Ha a bemeneti impedanciát (R_{L1} és R_{L2}) növeljük, V_N zaj csökken
- Csökkentjük a forrás impedanciát (R_S)

Egy megfelelő R ellenállás beiktatásával a jel bemeneti impedanciája növelése nélkül kiküszöbölhető V_G hatása



Guard shield:

Extrém alacsony jelek esetén a zaj csökkentése tovább fokozható az erősítő árnyékolásával



Árnyékolatlan esetben az erősítő bemenetei kapacitíven csatolódnak a földhöz, így parazita áramok folynak.

$$V_N = \left(\frac{R_1 + R_S}{R_1 + R_S + Z_{1G}} - \frac{R_2}{R_2 + Z_{2G}} \right) V_G$$

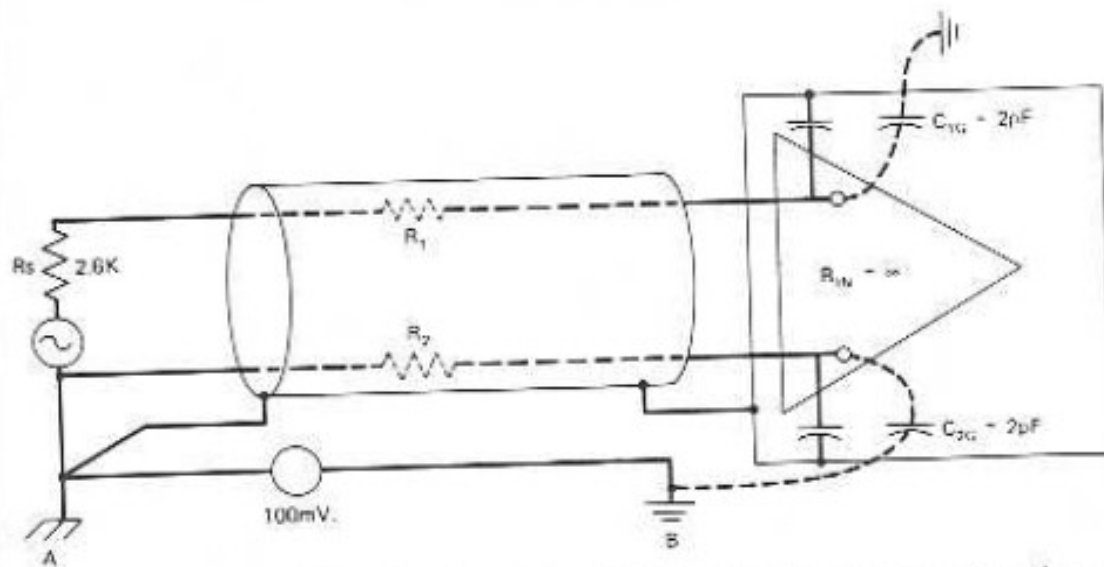
Számszerű példa:

$$R_S = 2.6 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = R_2 = 0$$

$$C_{1G} = C_{2G} = 100 \text{ pF}$$

$$\rightarrow Z_{1G}(60 \text{ Hz}) = Z_{2G}(60 \text{ Hz}) = 26 \text{ M}\Omega \rightarrow 10^{-4}$$



Az árnyékolás a föld felé eső szórt kapacitást jelentősen lecsökkenti (pl. 2pF).

$$\downarrow$$

$$5 \times 10^{-6}$$

Fontos emellett az árnyékolás bekötési pontját is figyelni!

Konklúzió II.:

Megfelelő földelés kialakításának lépései:

0. Milyen a rendszerünk felépítése (nagyfrekvenciás, alacsony frekvenciás, kis jelszint) és milyen zajszint elérése a cél
1. A rendszer részeinek kategorizálása, a jelföld különválasztása egyéb védő és zajos földelésektől
2. Eszközök specifikációjának megismerése (főleg a jelföldhöz kapcsolódók)
3. A földkontaktusok kialakításakor a különböző földpotenciálok elkerülése, földhurkok kiiktatása
4. Kábelek árnyékolásának megfelelő módon való kötése a földpontra
5. Eszközök árnyékolása (guard shield) és megfelelő bekötése

Köszönöm a figyelmet!

Forrás:

Noise reduction techniques in electronic systems – Henry W. Ott