

Jelátvitel

Programozható irányítóberendezések
és szenzorrendszerek

KOVÁCS Gábor

gkovacs@iit.bme.hu

Jelforrások osztályozása

- Földelés szerint
 - Földelt: a jelforrás egyik kimenete a földre csatlakozik
 - Földfüggetlen: a jelforrás egyik kimenete sem csatlakozik a földre
- Szimmetria szerint
 - Szimmetrikus: a jelforrás kimenetei és a belső feszültségforrás kapcsolai között mérhető impedanciák azonosak
 - Aszimmetrikus: a jelforrás kimenetei és a belső feszültségforrás kapcsolai között mérhető impedanciák azonosak
- Eltolt nullszintű
 - a belső feszültségforrás referenciaszintje a föld
 - ebben az esetben a kimeneti kapcsok egyike sem földelhető

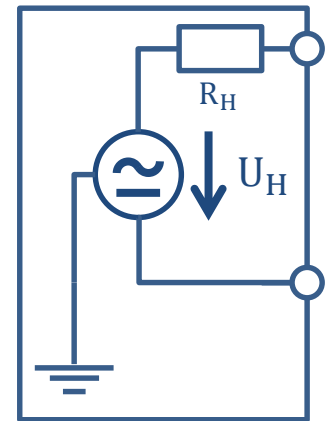
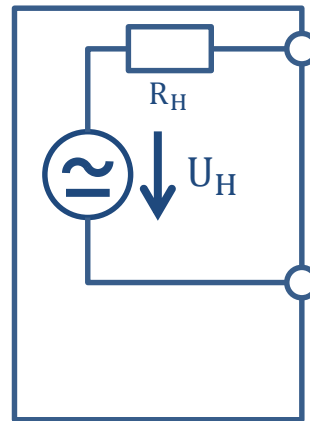
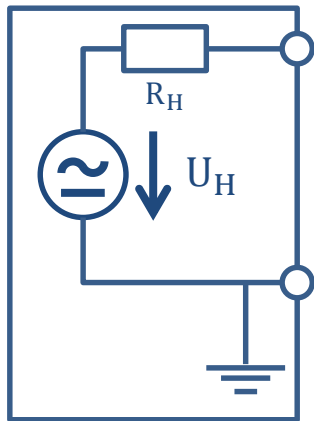
Jelforrások típusai

Földelt

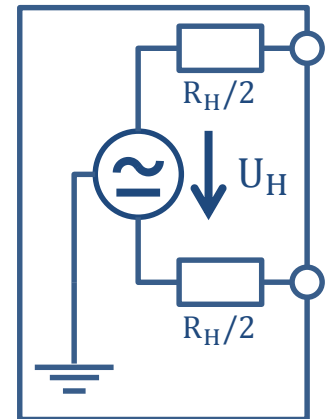
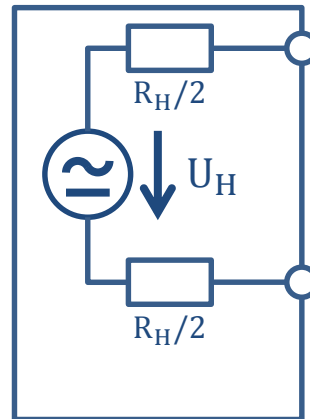
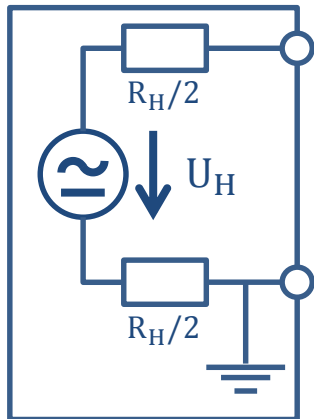
Földfüggetlen

Eltolt nullszintű

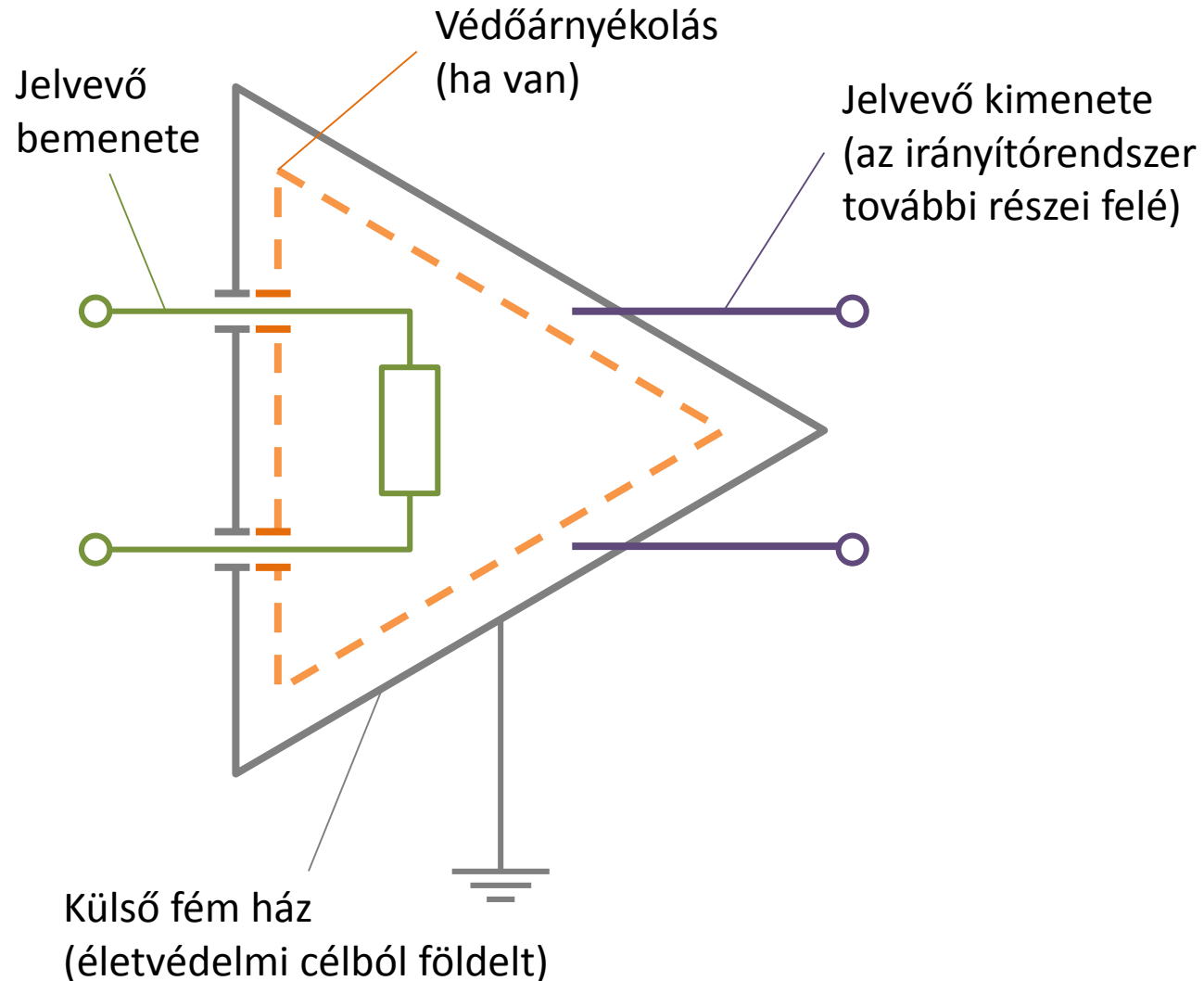
Aszimmetrikus



Szimmetrikus

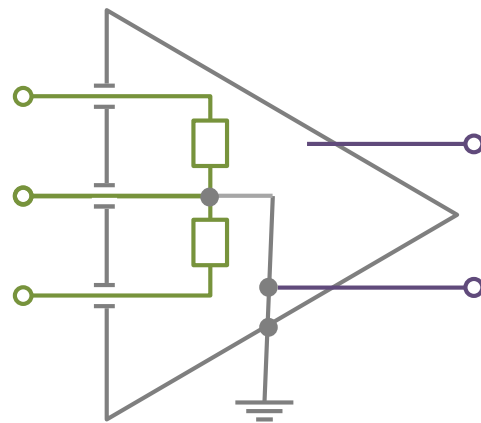
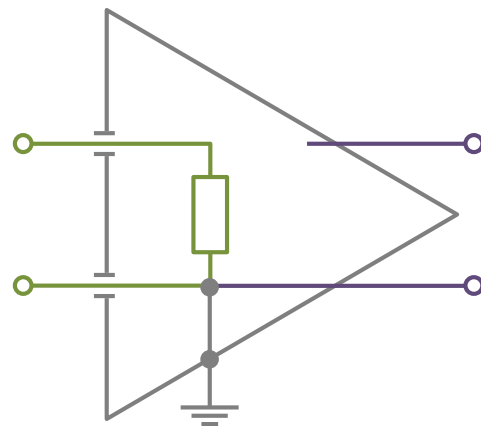


Jelvevők felépítése



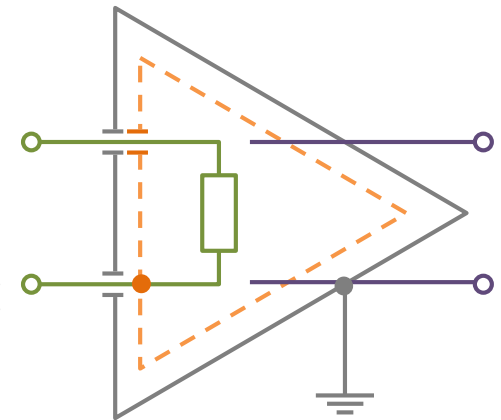
Árnyékolás nélküli jellevők

- Aszimmetrikus földelt
 - A bemeneti pontok és a föld között mérhető impedanciák nagysága különböző
 - Az egyik be- és kimeneti pont és a külső ház földelt
- Szimmetrikus földelt
 - A bemeneti pontok és a föld között mérhető impedanciák nagysága azonos
 - Az impedanciák kivezetett közös pontja, az egyik kimeneti pont és a külső ház földelt



Aszimmetrikus árnyékolt jellevő

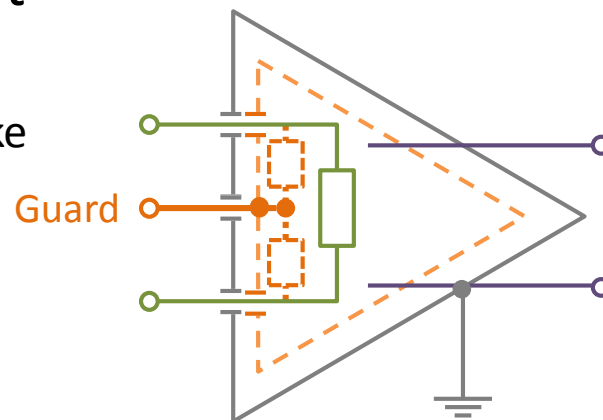
- A bemeneti vezetékek a földtől és a külső háztól szigeteltek
- Az egyik bemeneti pontot leföldelve a bemeneti pontok és a föld között mérhető impedanciák nagysága különböző
- Az egyik kimeneti pont és a külső ház földelt
- Az egyik bemeneti pont a földfüggetlen védőárnyékoláshoz csatlakozik



Védőárnyékolt jelvevők

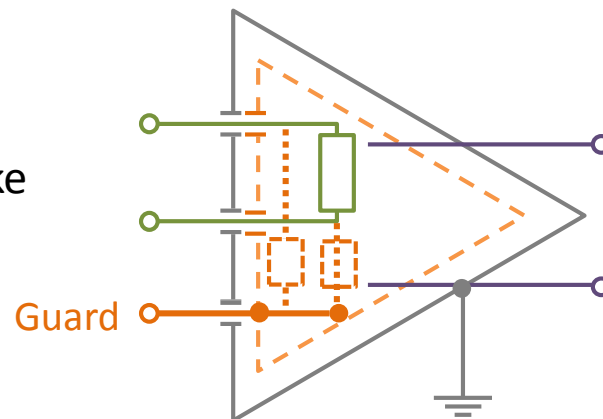
- Szimmetrikus földfüggetlen védőárnyékolt

- Védőárnyékolás (Guard, GU) kivezetve
- A bemeneti vezetékek és a védőárnyékolás vezetéke közti szórt impedanciák megegyeznek
- A külső ház és az egyik kimeneti vezeték földelt
- A védőárnyékolás vezetékét és az egyik bemeneti vezetéket összekötve aszimmetrikus földfüggetlen árnyékolt vevőt kapunk

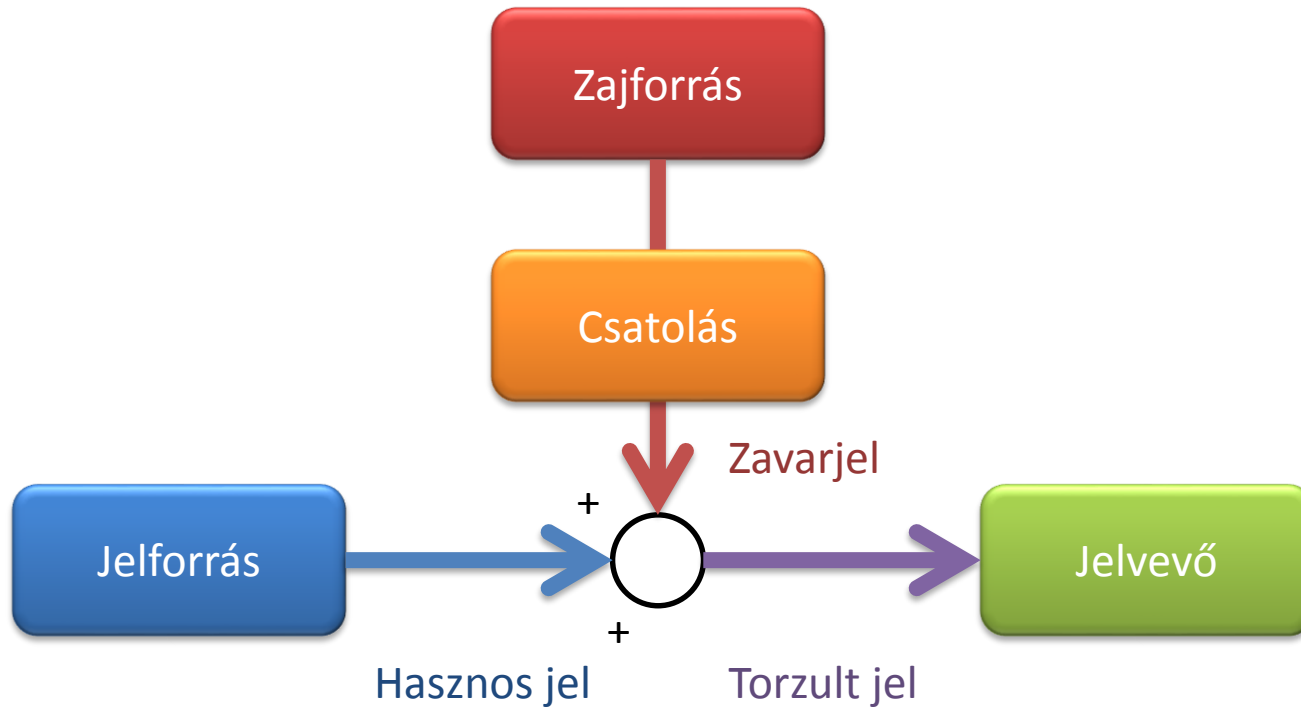


- Aszimmetrikus földfüggetlen árnyékolt

- Védőárnyékolás (Guard, GU) kivezetve
- A bemeneti vezetékek és a védőárnyékolás vezetéke közti szórt impedanciák különböznek
- A külső ház és az egyik kimeneti vezeték földelt
- A védőárnyékolás vezetékét és az egyik bemeneti vezetéket összekötve aszimmetrikus földfüggetlen árnyékolt vevőt kapunk



Zavarjelek megjelenése a jelátvitelben



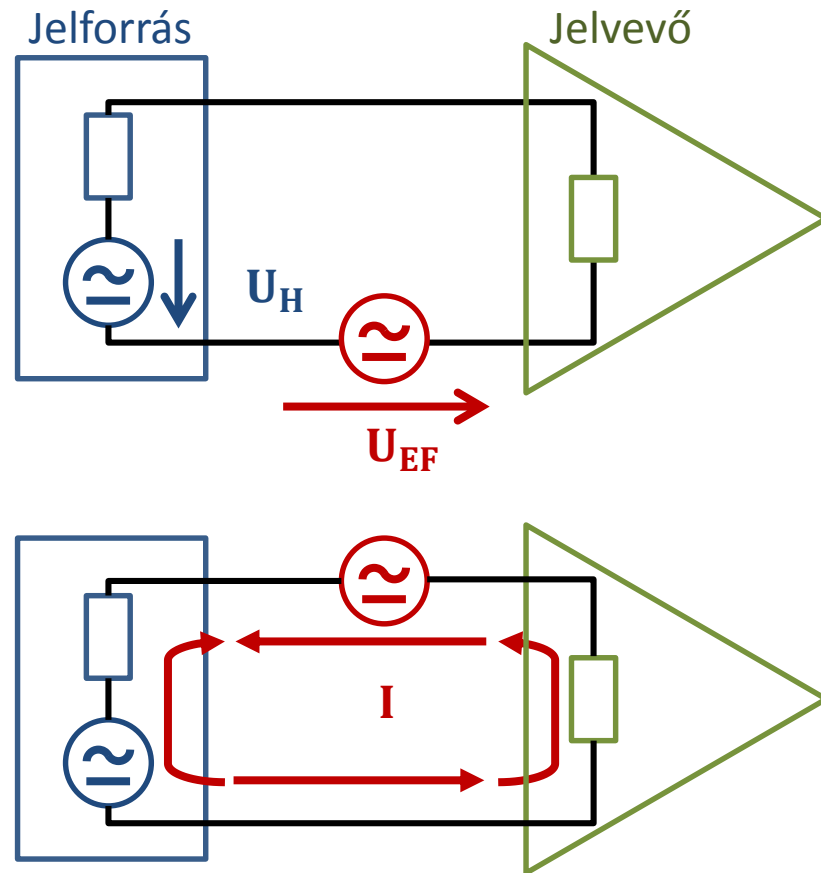
Zajforrások és csatolásuk

- Zajforrások ipari környezetben
 - Nagyteljesítményű villamos gépek
 - Nagyfeszültségű vezetékek
 - Elektromágneses sugárzás
- Csatolások típusai
 - Konduktív csatolás
 - Induktív csatolás
 - Kapacitív csatolás
 - Sugárzásos csatolás

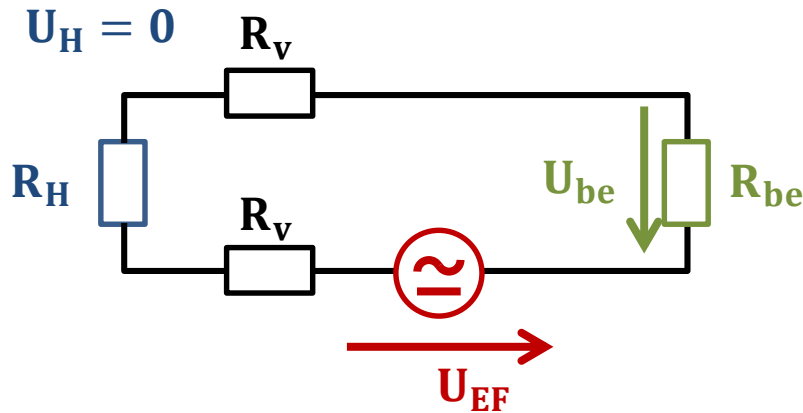
Ellenfázisú zavarjel

(Normal mode noise, differential noise)

- Azonos nagyságú zavaró jel halad a két vezetéken, de ellenkező irányban
- A két jelvezeték között ellenfázisú jel figyelhető meg
- A hasznos jellel sorosan jelentkezik



Ellenfázisú zavarjel



$$U_{be} = \frac{R_{be}}{R_{be} + 2R_v + R_H} U_{EF}$$

Ellenállás-értékek szokásos nagyságrendje:

- Adó kimeneti ellenállása: $R_H \sim \Omega$
- Vezeték ellenállása: $R_v \sim \Omega$
- Vevő bemeneti ellenállása (műveleti erősítő): $R_{be} \sim M\Omega$

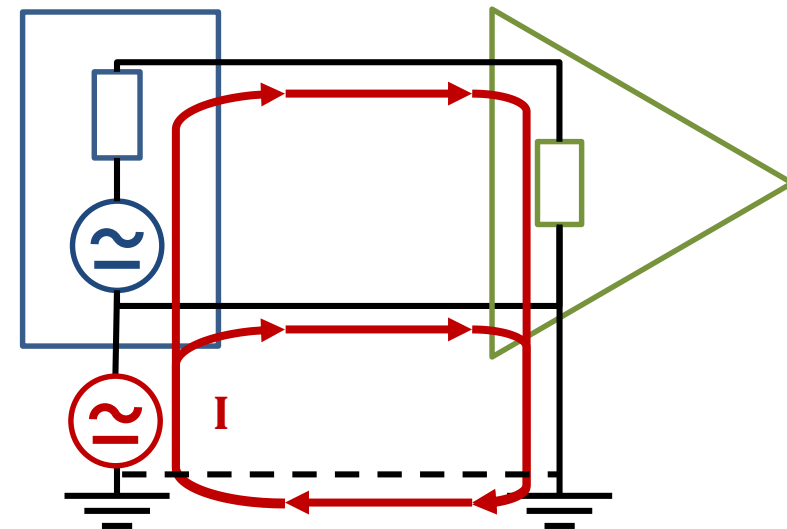
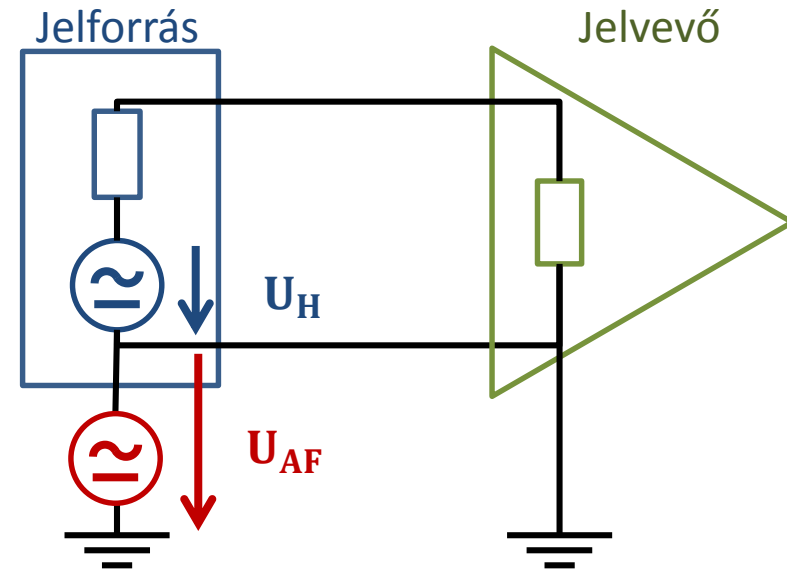
$$U_{be} \approx \frac{R_{be}}{R_{be} + 0 + 0} U_{EF} = U_{EF}$$

Az ellenfázisú zavarjel maradó torzulást okoz, melynek utólagos kiszűrése szinte lehetetlen.

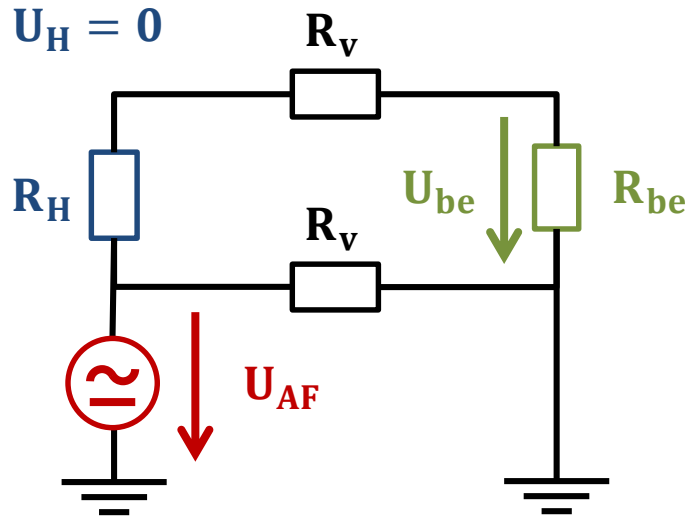
Közös fázisú zavarjel

(Common mode noise)

- A két jelvezeték közös pontja és egy rögzített pont (föld) közötti zavaró jel
- A vevő bemeneti pontjait azonos fázisban vezérli
- Ha differenciálisan mérünk, akkor nincs is probléma!
- De van: a közös fázisú zavaró jelből belső azonos fázisú zavaró jel keletkezhet



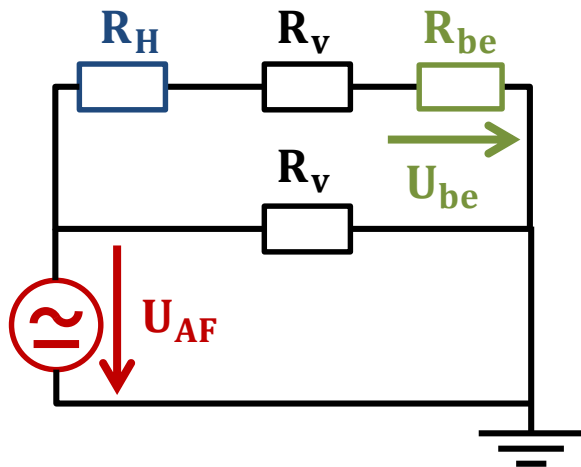
Hogyan lesz a közös fázisú zavaró jelből ellenfázisú?



$$U_{be} = \frac{R_{be}}{R_{be} + R_v + R_H} U_{AF}$$

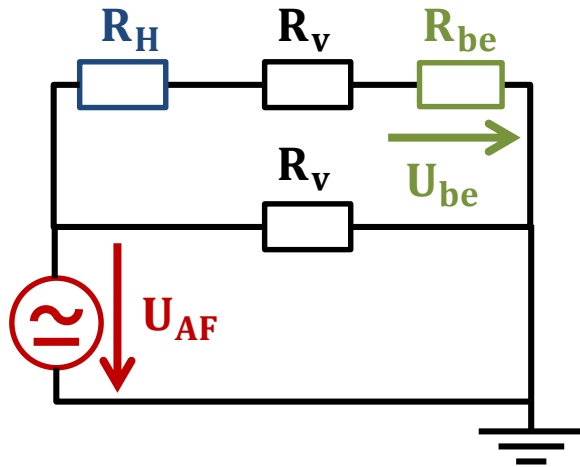
Ellenállás-értékek szokásos nagyságrendje:

- Adó kimeneti ellenállása: $R_H \sim \Omega$
- Vezeték ellenállása: $R_v \sim \Omega$
- Vevő bemeneti ellenállása (műveleti erősítő): $R_{be} \sim M\Omega$



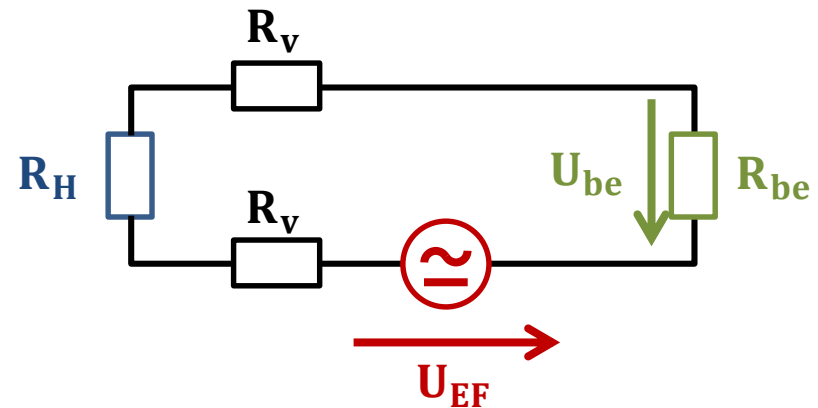
$$U_{be} \approx \frac{R_{be}}{R_{be} + 0 + 0} U_{AF} = U_{AF}$$

Hogyan lesz a közös fázisú zavaró jelből ellenfázisú?



$$U_{be} \approx \frac{R_{be}}{R_{be} + 0 + 0} U_{AF} = U_{AF}$$

\approx



$$U_{be} \approx \frac{R_{be}}{R_{be} + 0 + 0} U_{AF} = U_{EF}$$

A közös fázisú zavarjel tehát ellenfázisúvá alakul!

Közös fázisú **zavarjel**-elnyomás

- Cél: minél kisebb ellenfázisú zavarás
- Legalább az azonos fázisúból ne jöjjön létre belső ellenfázisú
- Mérőszám: közös fázisú zavarjel-elnyomás (Common Mode **Noise** Rejection, **CMNR**):

$$\text{CMNR} = 20\log_{10} \frac{U_{\text{AF}}}{U_{\text{EF}}}$$

ahol U_{AF} az azonos fázisú, U_{EF} pedig az abból keletkező ellenfázisú zavarjel

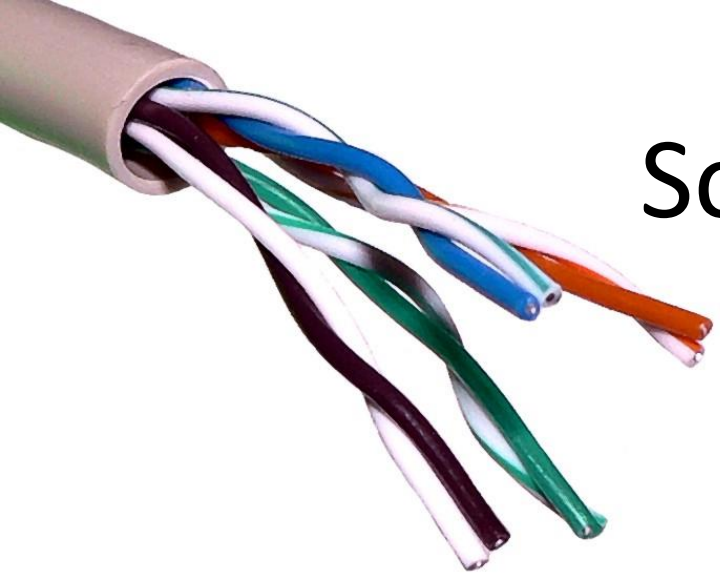
- CMNR ideális értéke ∞
- **Nem összetévesztendő a CMR-rel!**

Zavarjelek kiküszöbölésének lehetőségei

- Zajforrás megszüntetése
- Csatolás csökkentése (ideális esetben megszüntetése)
- Zavarjel kiszűrése a torzult jelből

Induktív csatolás csökkentése

- Ismert tény: vezető hurokban a mágneses tér feszültséget indukál
- Az indukált feszültség egyenesen arányos a hurok felületével, illetve a mágneses térrel
- A csatolás elsősorban ellenfázisú zavarjelet okoz
- Csatolás csökkentése
 - Vezetékpár távolságának csökkentése
 - A mágneses tér csökkentése, AC és DC vezetékek térbeli elkülönítése

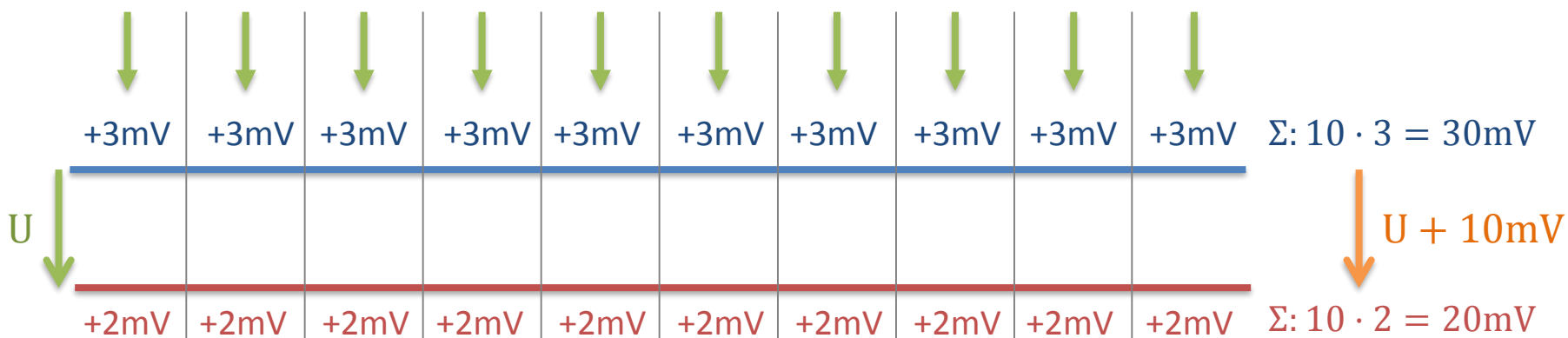


Sodrott érpár

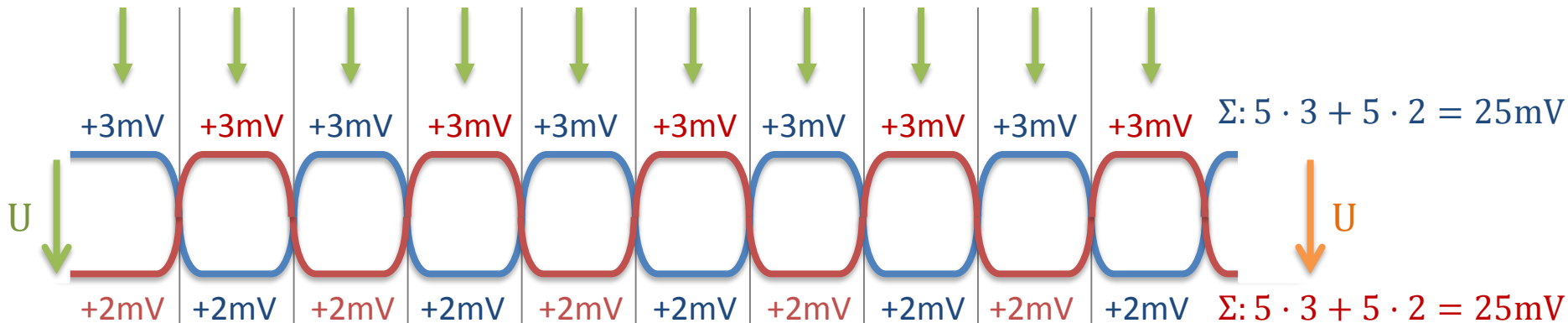
- Olcsó és egyszerű megoldás
- A zajcsökkentés függ a csavarási hurok hosszától
- Akár 40dB-es zajcsökkentés

Sodrott érpár

Külső mágneses tér

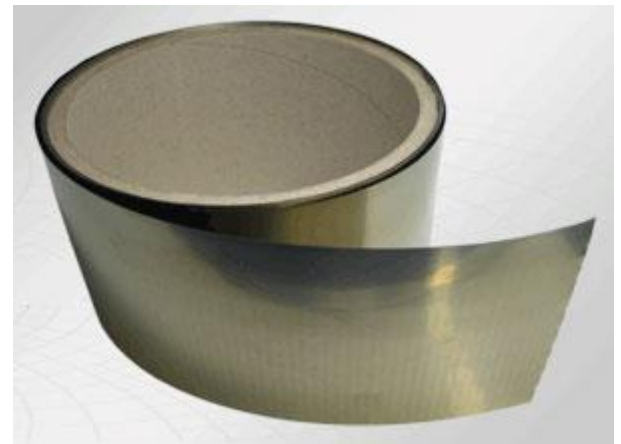


Külső mágneses tér



Mágneses árnyékolás

- Az induktív csatolás mágneses árnyékolással tovább csökkenthető
- Lehetséges árnyékolási módok
 - Mágneses árnyékoló szalag (egy vagy több rétegben)
 - Ferromágneses kábelvezető

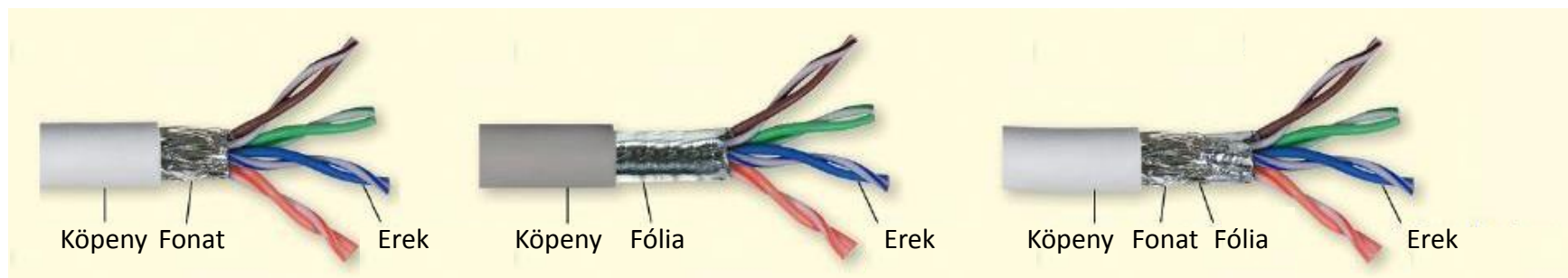


Kapacitív csatolás

- Legfőbb oka: szórt kapacitások
- Csökkentése:
 - vezetékek térbeli elkülönítése (ökölszabály: 0.5 m a jel- és tápvezeték között)
 - elektrosztatikus árnyékolás

Elektrosztatikus árnyékolás

- Galvanikusan folytonos árnyékoló réteg a vezeték körül
 - Fólia: alumínium/poliészter
 - Fonat: rézötvözet
 - Kombinált
- Az árnyékolást fix potenciálra kell kötni



Elektrosztatikus árnyékolás

Árnyékolás típusa

Zajcsökkentés [dB]

Árnyékolatlan vezeték

0 dB

Rézfonat árnyékolás, 85% fedettség

-40 dB



Spirálisan feltekercselt rézlemez, 90% fedettség

-50 dB



Aluminium Mylar szalag vezető drain szállal, 100% fedettség

-76 dB

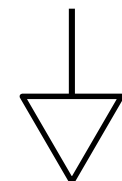


Egyéb zavarjelek

- Kontakt potenciál – DC ellenfázisú zavarjel
- Termikus potenciál – DC ellenfázisú zavarjel
- Tápforrásból eredő zavarjelek
- RF zavarjelek
- Tranziens zavarjelek

Földelés

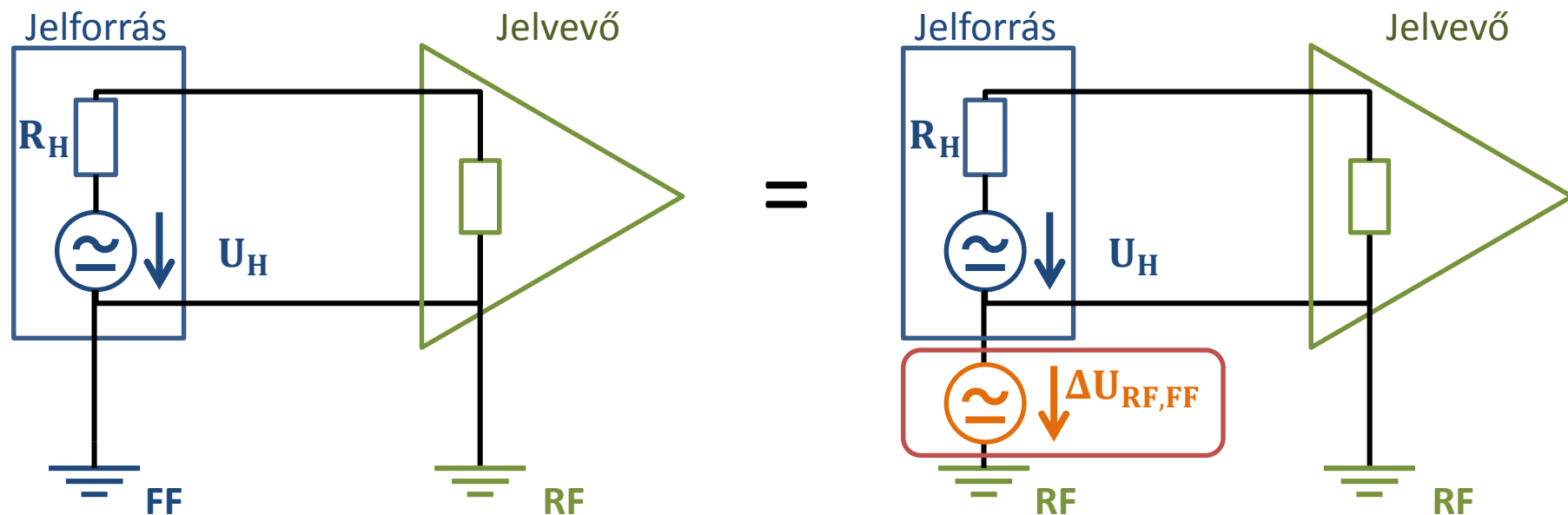
- Védelmi föld
 - Nem szigetelő felületekre kötve
 - Áram nem folyhat rajta
- Teljesítmény föld
 - AC vagy DC hálózat közös vezetéke
 - Áramvezetés a feladata
- Analóg és digitális jelföldek
 - Információt hordozó jelvezetékek referenciapontja
- Közös földelések
 - **Az életvédelmi föld nem közösíthető mással**
 - Teljesítményföld és jelföldek közösíthetők



Földelés

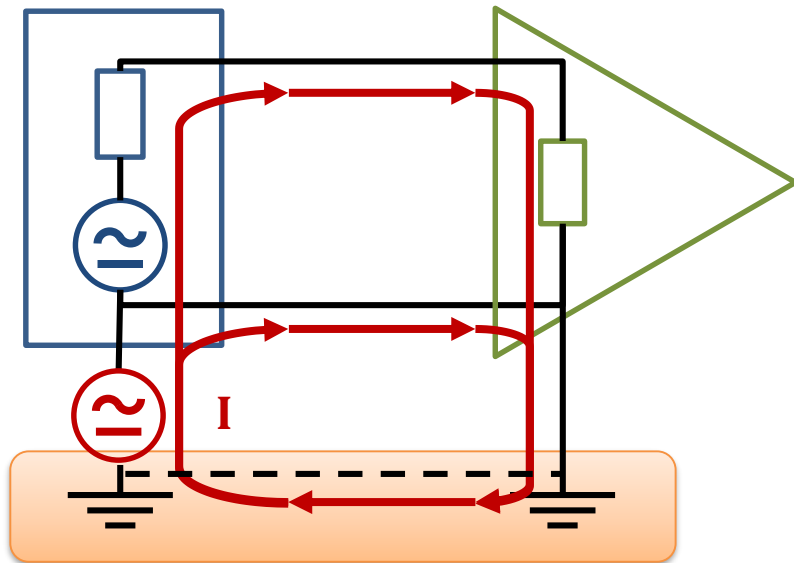
- Földek megkülönböztetése
 - Felhasználói föld (FF): technológia oldali föld (érzékelő vagy beavatkozó szerv)
 - Rendszerföld (RF): az irányítóberendezés földje
- RF és FF feszültség szintje nem feltétlenül egyezik meg!

Felhasználói- és rendszerföld



Azonos fázisú zavarjel!

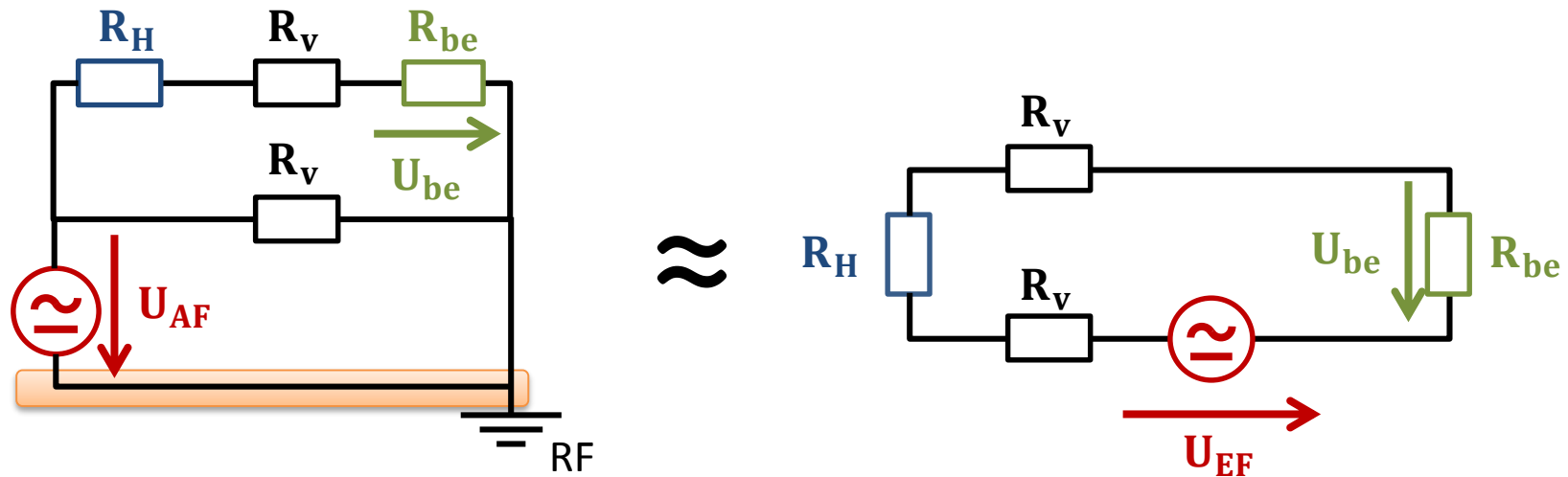
Földhurok



- Földhurok (földáramkör): két olyan pont között kialakuló áramkör, melyeknek elvben azonos potenciálon (tipikusan földön) kéne lenniük
- Oka: a különböző helyeken lévő földelések egymástól eltérő potenciálja

A földhurok azonos fázisú, illetve abból keletkező belső ellenfázisú zavarjelet okoz!

Hogyan lesz a közös fázisú zavaró jelből ellenfázisú?

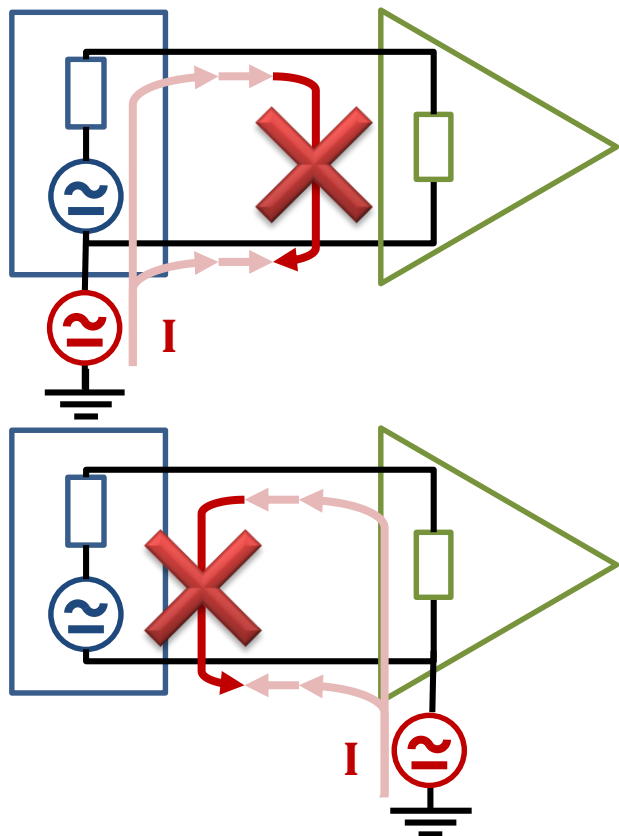


$$U_{be} \approx \frac{R_{be}}{R_{be} + 0 + 0} U_{AF} = U_{AF}$$

$$U_{be} \approx \frac{R_{be}}{R_{be} + 0 + 0} U_{AF} = U_{EF}$$

A földvezeték okozta csatolás miatt $CMNR \approx 0$

Egy helyen földelt áramkör

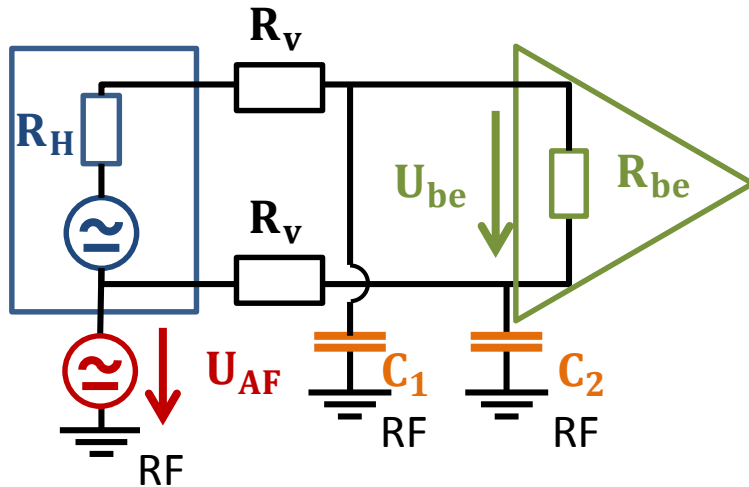


- Az áramkör nem záródik, ha csak a vevő vagy csak az adó földelt
- Elvben nem keletkezik belső ellenfázisú zavarjel:

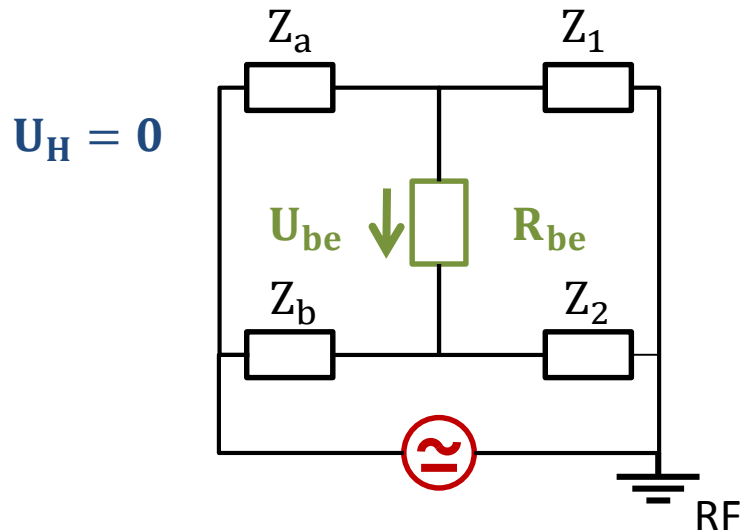
$$CMNR = 20 \log_{10} \frac{U_{AF}}{U_{EF}} = \infty$$

Az áramkört csak egy helyen szabad leföldelni!

Szórt kapacitások földcsatolása



- $Z_1 = \frac{1}{j\omega C_1}, Z_2 = \frac{1}{j\omega C_2}$
- $Z_a = R_V + R_H, Z_b = R_V$



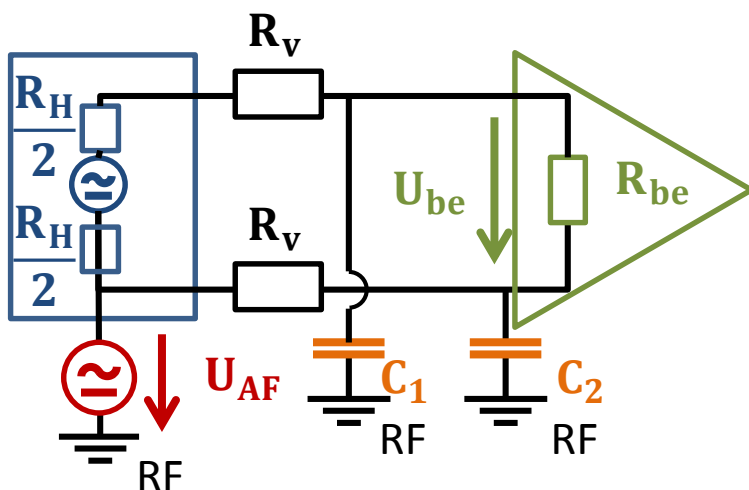
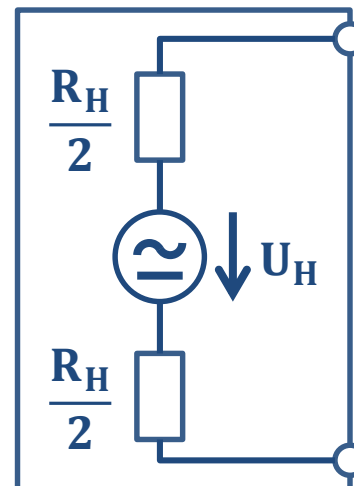
- $U_{be} = U_{AF} \left(\frac{Z_a}{Z_a + Z_1} - \frac{Z_b}{Z_b + Z_2} \right)$
- $Z := Z_1 \approx Z_2, |Z| \gg |Z_a|$
- $U_{be} \approx U_{AF} \frac{Z_a - Z_b}{Z}$
- $Z_a := Z_b + \Delta Z$
- $U_{be} \approx U_{AF} \frac{\Delta Z}{Z}$

Szórt kapacitások földcsatolása

- $U_{EF} \approx U_{AF} \frac{\Delta Z}{Z} \Rightarrow \text{CMNR} = 20 \log_{10} \frac{U_{AF}}{U_{EF}} = 20 \log_{10} \frac{|Z|}{|\Delta Z|}$
- Lehetőségek a CMNR növelésére
 - ΔZ csökkentése: szimmetrikus kialakítás
 - Z növelése: árnyékolás

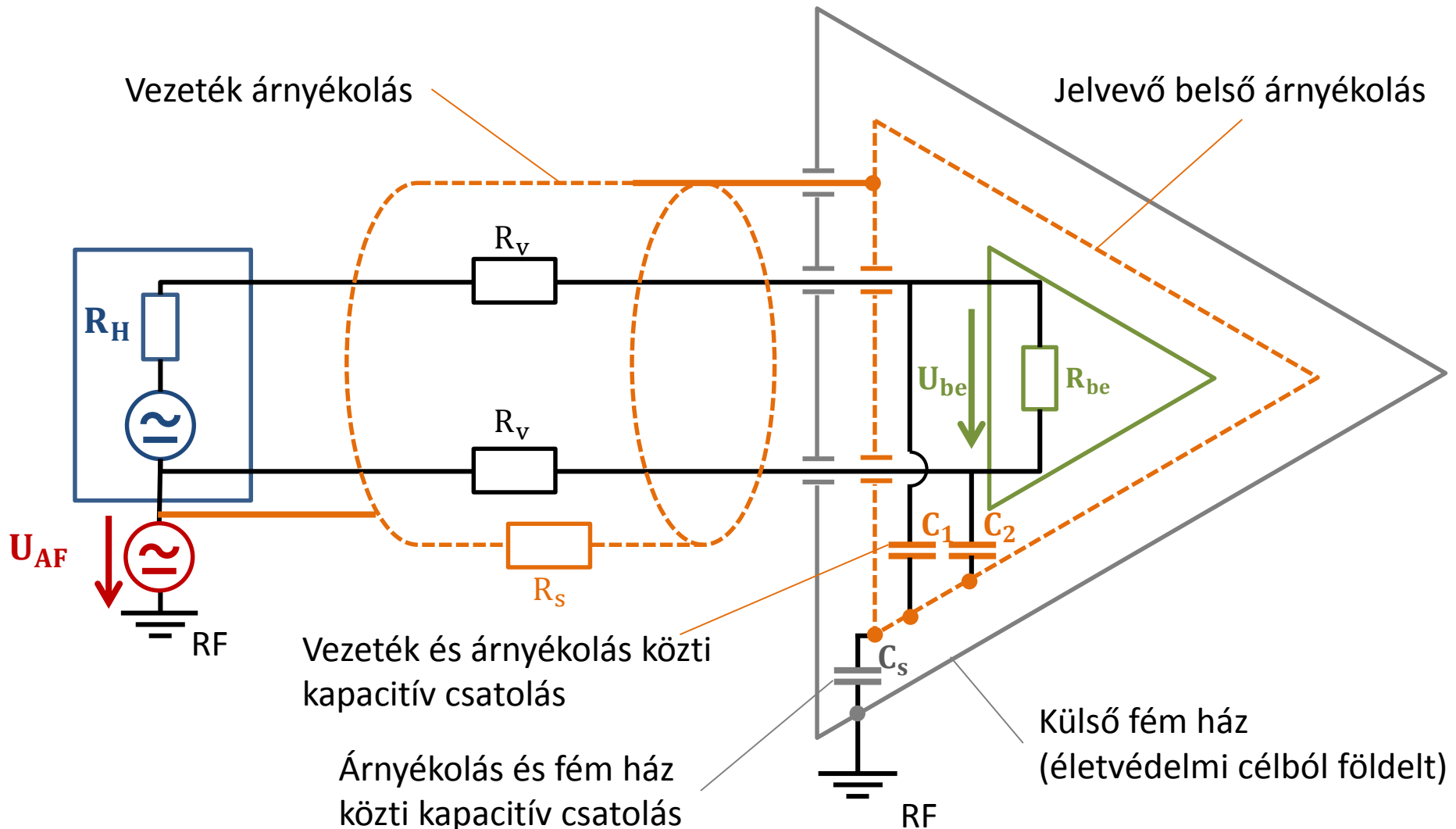
Szimmetrikus kialakítású jelforrás

- Szimmetrikus adó: az adó kimeneti pontjai és a jel forrása között mérhető impedanciák azonosak
- A gyakorlatban tökéletesen szimmetrikus jelforrás nem alakítható ki
- Érdeemes törekedni a szimmetrikus kialakításra



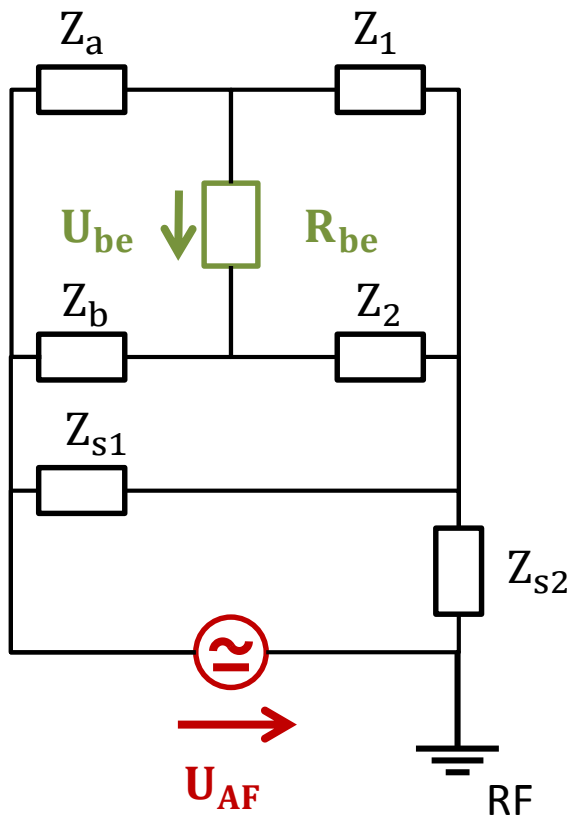
- $Z_a = R_V + R_H/2$
- $Z_b = R_V + R_H/2$
- $Z_a = Z_b \Rightarrow \Delta Z = 0$
- $CMNR = 20 \log_{10} \frac{|Z|}{|\Delta Z|} = \infty$

Árnyékolás



Árnyékolás

$$U_H = 0$$



- $Z_1 = \frac{1}{j\omega C_1}$, $Z_2 = \frac{1}{j\omega C_2}$, $Z = Z_1 = Z_2$
- $Z_a = R_v + R_H$, $Z_b = R_v$, $Z_a = Z_b + \Delta Z$
- $|Z| \gg |Z_1|, |Z_2|$
- $Z_{s1} = R_s$
- $Z_{s2} = \frac{1}{j\omega C_s}$
- $|Z_{s2}| \gg |Z_{s1}|$

$$U_{be} = U_{AF} \frac{Z_{s1}}{Z_{s1} + Z_{s2}} \frac{\Delta Z}{Z} \approx U_{AF} \frac{Z_{s1}}{Z_{s2}} \frac{\Delta Z}{Z}$$

$$CMNR = 20 \log_{10} \frac{|Z_{s2}|}{|Z_{s1}|} \frac{|Z|}{|\Delta Z|}$$

Mivel $|Z_{s2}| \gg |Z_{s1}|$, így CMNR értéke jelentősen növelhető.

Árnyékolás potenciáljának rögzítése

- Csak egyetlen pontban
- Földelt jelforrás esetén a jelforrásnál
- Földfüggetlen jelforrás esetén a vevőnél
- Földelt és eltolt nullszintű jelforrás esetén az eltolt nullszinten
- Földelt jelforrás és földfüggetlen árnyékolt vevő esetén a jelforrásnál földre, a vevőnél pedig az árnyékoláshoz kell rögzíteni

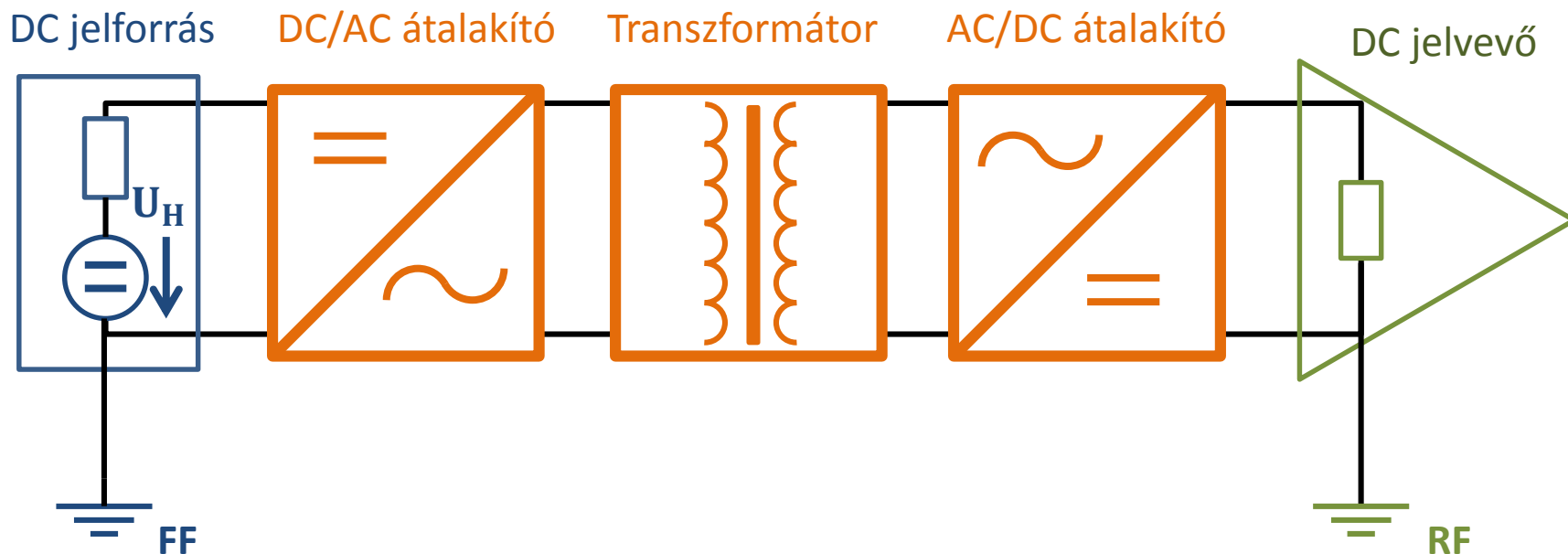
Jelforrások és jellevők összekapcsolásának szabályai

1. Földelés csak egy ponton (jelforrásnál vagy jellevőnél)
2. Árnyékolást csak egy ponton szabad fix potenciálra (általában földre) kötni, egy pontban viszont szükséges is
3. Ha lehet, törekedni kell a szimmetrikus kialakításra

Két pontban szükséges földelés problémája

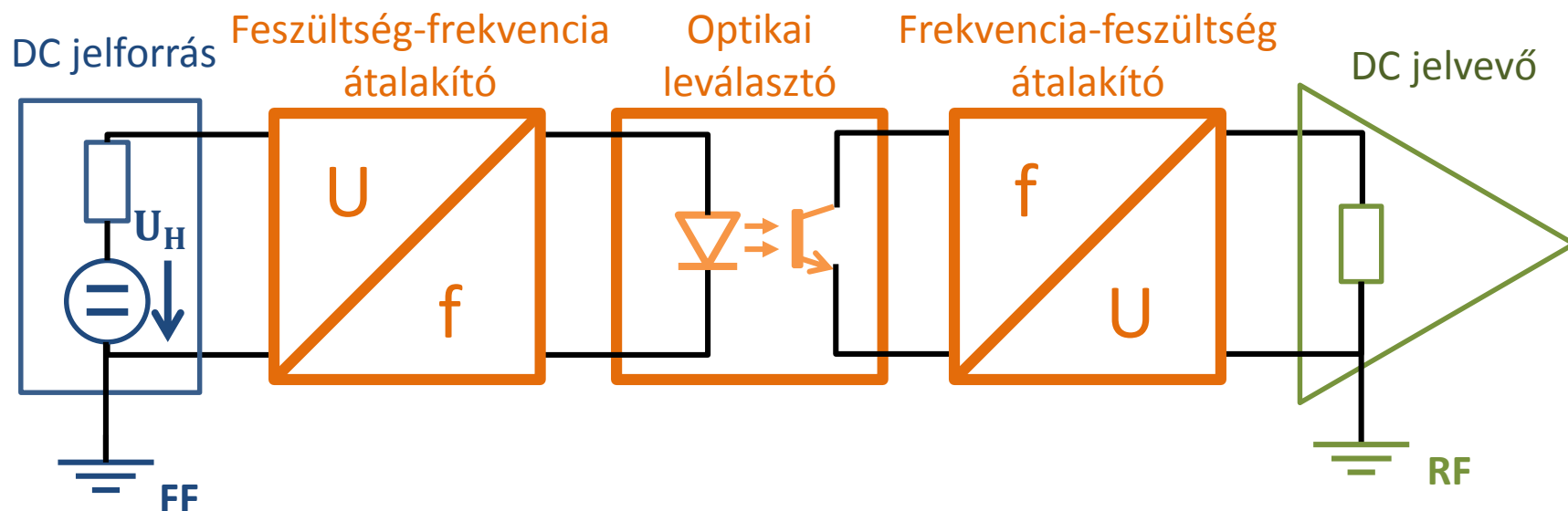
- Földelt adók esetén földfüggetlen vevő alkalmazása a megoldás
- Mit tegyünk, ha mégis földelt vevőre van szükség, illetve az áll rendelkezésre?
- Megoldás: galvanikus leválasztás
 - A földtől függetlenítjük a jelet
 - Az azonos fázisú zavarjel hatása megszűnik

Transzformátoros leválasztás



- AC-DC és DC-AC konverterek
- AC leválasztás transzformátorral
- Hátrány: lineáris átvitelű transzformátort és pontos AC-DC, DC-AC konvertereket igényel

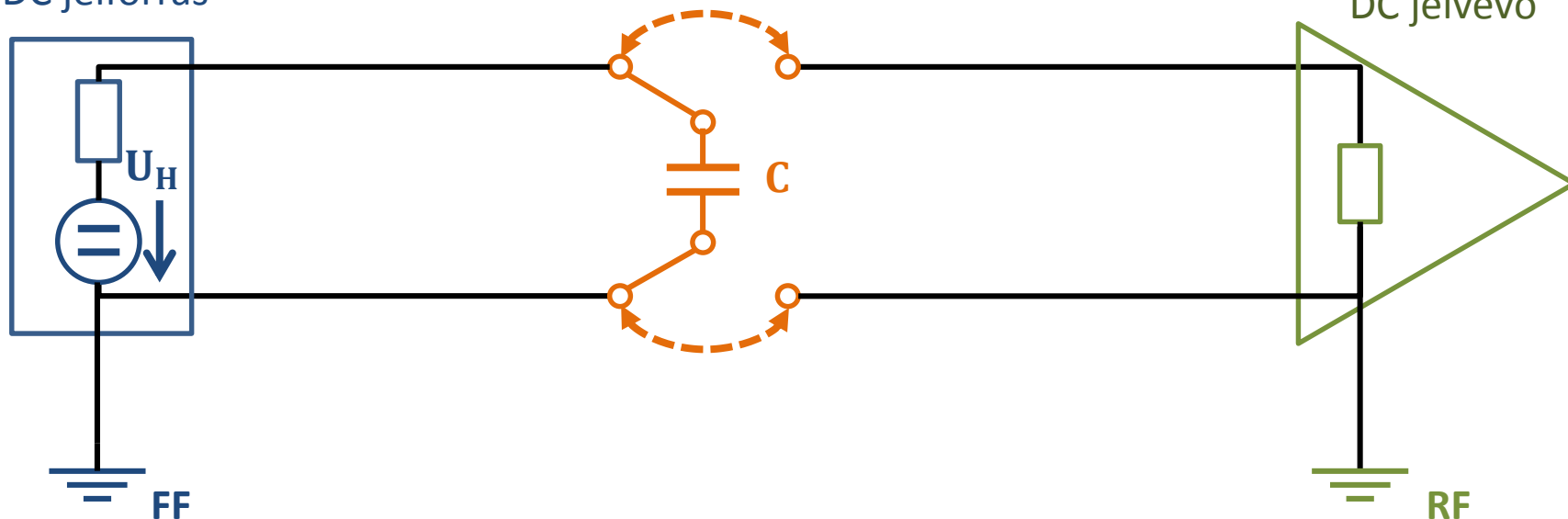
Optoizolátoros leválasztás



- Feszültség-frekvencia átalakító (VFC): olyan VCO, aminek a frekvenciája a bemeneti feszültséggel arányos
- Megfelelő frekvenciájú optocsatoló szükséges
- Frekvencia-bemenetű jellevő esetén nincs szükség visszaalakításra

Repülőkondenzátoros leválasztás

DC jelforrás



- A kondenzátort a jelforrásra kapcsoljuk, az feltöltődik annak feszültségére (analóg memória)
- Átkapcsolunk a jellevőre, annak kapcsain megjelenik a forrás feszültsége
- Szűrőként is funkcionál (ellenállással kiegészítve)
- A feszültséget hosszú ideig megőrzi – ez problémát is okozhat!