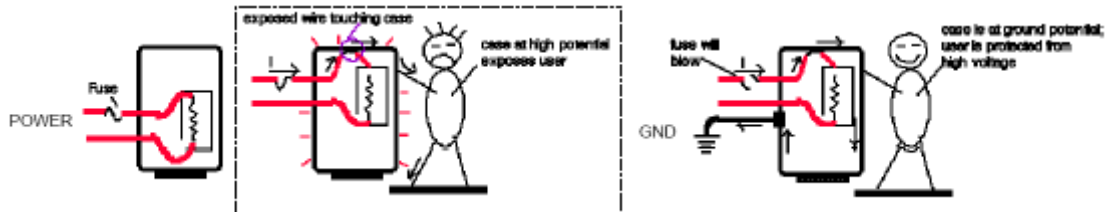


9. Meleg (Hi), hideg (Lo), (védő)föld
Alapjellemzők mérése

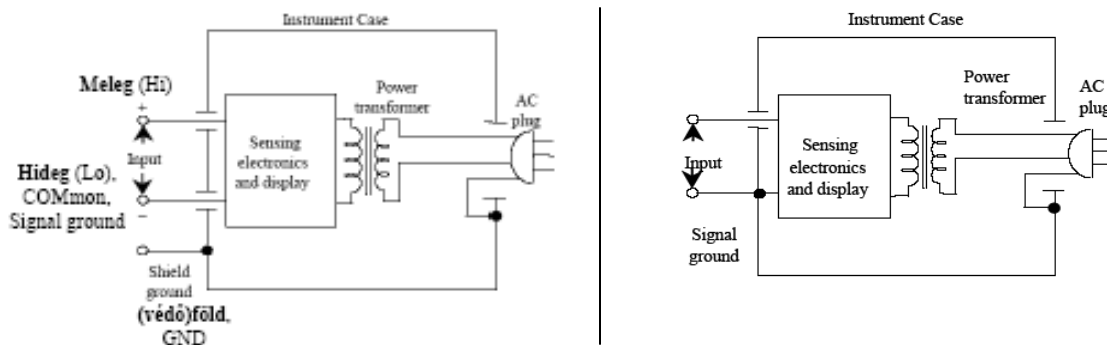
Biztonság (életvédelem) mindenk előtt!

1. (a) Hálózati tápellátású mérőeszközöknél a készülék (fém)háza – mint pl. minden háztartási készülék (!) esetén is – a három-vezetékes (fázis, nulla, életvédelmi /anya/föld: GND¹) hálózati kábel föld-pontjához van kötve, érhető életvédelmi okból.



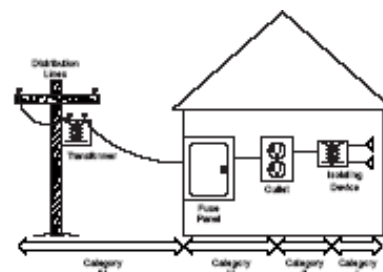
Így biztonságos: nem érheti áramütés az embert, ha véletlenül zárlat keletkezne a fázis² és a ház között. (Mobil – telepes – eszközöknél nincs ilyen probléma.)

(b) Ha a mérőáramkör jel-földje (a „hideg” vezeték: signal ground, COMmon, Low) nincs hozzákötve az életvédelmi földhöz (védőföld: GND, shield ground), akkor a mérőáramkör „lebeg” (a jelföld eltérő potenciálú a védőföldhöz képest). A készülékek többsége „lebegő műszer”, és a hálózati transzformátor (AC plug, power transformer) biztosítja az érzékelő elektronika és a kijelzés (sensing electronics and display) leválasztását.



Kivéve a nagyfrekvenciás jelméréseket, mint pl. az oszcilloszkóp esete, amelynél össze van kötve a jel- és az életvédelmi föld („nem lebegő műszer”), mert technikailag nem járható út a szétválasztás; a jel (a „meleg” vezeték, High) természetesen „lebeg”, és itt is van transzformátoros elszigetelés!

Csakis ilyen típusú (ún. I.-kategóriás) eszközökkel³ találkozunk; a nagyfeszültségű/erősáramú (energetikai) – nagy körülmények és speciális eszközöket igénylő – technika „külön (mérés)kultúra”.



2. A jel védelméről is gondoskodni kell – különösen kis szintek mérésénél! A környezeti zavar elhárítása a jel-vezetéről (pl. a jó földelés, vagy speciális árnyékolt mérőkábel

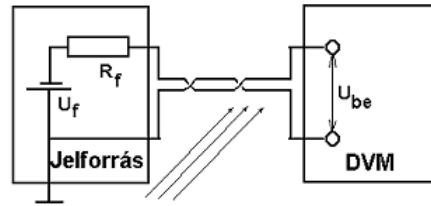
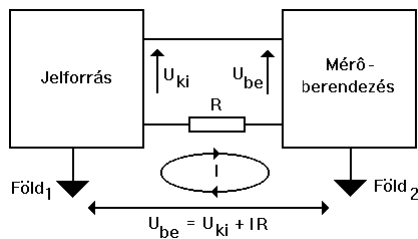
¹ GND: ground. (Vigyázat, jel-föld jelölésre is szokásos ez a rövidítés!)

² A föld és a nulla-vezeték között is felléphet potenciálkülönbség, ezért azt is tilos „fogdosni”! (Pláne, hogy gyakran nem is tudjuk, melyik a fázis és melyik a nulla-vezeték.)

³ „Emberrel érintkező” (orvosdiagnosztikai) eszközöknél további, igen szigorú előírásokat kell betartani.

használata), azaz méréshez a minél tisztább(zavarmetes) jel előállítása kulcs-kérdés!

Két eltérő „föld”-potenciálú eszköz összekapcsolásánál földhurok alakul ki (ami lebegő műszer /vagy forrás/ esetén nem lép fel), ezért azonos ponthoz kell földelni (kerülendő a földhurkot).

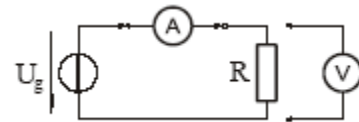


A kapacitív, ill. induktív csatolás hatását elektrosztatikus, ill. mágneses árnyékolás minimalizálja, pl. már egy *sodrott érpár* is jelentősen csökkenti az induktív zavarást (DVM: digitális voltmérő).

A zavaroszűrés beépülhet a mérésbe, utólagos adatfeldolgozással is van rá lehetőség (akár éppen DSP algoritmus lehet a „megváltás”), de az érzékelés és jelkondicionálás művelete az igazi terep, amit ott elrontunk, azt gyakran később nem tudjuk korrigálni.

3. Áram (A), feszültség (V) mérése, és kis kiegészítéssel ellenállás⁴ (Ω) is.

(a) Áram méréséhez a hálózatot megszakítva (!), abba *sorosan* kell beiktatni az **A-mérőt** (átfolyik rajta az áram, és ideális esetben az eszköz „vezeték” = ellenállása zérus).



Feszültség méréséhez a **V-mérőt** két hálózati pont közé *párhuzamosan* kötjük (és ideális esetben „szigetelés” = ellenállása végtelen, rajta nem folyik áram).

A vázolt hálózatban mért értékek (ideális eset, Ohm törvény): „A” = U_g/R , „V” = U_g .

(b) Hagyományos analog műszereknél a gyártók nem készítenek külön mérőket, hanem csak egy „alpműszert”, amelynek végkitérése I_m ill. U_m értéknél lép fel, tehát véges a belső (ún. műszer) ellenállás:⁵ $R_b (= U_m / I_m)$!

Probléma (kettő is van): R_b nem nulla (A), ill. nem végtelen (V), és az U_m ill. I_m végkitérésnél nagyobb mérendő érték tönkreteszi a műszert.

Megoldás (kettőt egy csapásra): méréshatár kiterjesztés. **Feszültség mérésnél**: soros, R_b -nél nagyobb értékű, ún. előtét-ellenállás beiktatása (így a mérendőnek csak egy része jut a műszerre, és egyúttal megnő a mérő ellenállása!). **Árammérésnél**: megosztjuk az áramot, „eltereljük” egy részét egy párhuzamos, R_b -nél kisebb, ún. sönt-ellenállással (és ezzel a mérő ellenállása is lecsökken!).

(Megjegyzés: belső feszültség- (vagy áram-)forrás és egy hiteles ellenállás kiegészítéssel, az „alpműszer” közvetlen **ellenállás mérésére** is alkalmas, de a skála nem lesz lineáris. Kérdés: az ábra szerinti ún. soros ohmmérő fordított Ω-skálája alapján, ahol végkitérésnél van 0 Ω, mi lehet a kiegészítő forrás, feszültség vagy áram?)



⁴ Áramkörből kivett ellenállás!

⁵ Ha $R_b < 1 \Omega$, elfogadható „vezeték”-nek; ha $R_b > 10 \text{ M}\Omega$, akkor tekinthető „szigetelés”-nek. Az aktuális érték valami „köztes” adat. Ha univerzális a műszer, azaz mind A-, mind V-mérőnek jó minőségű, akkor az alpműszer olyan, amelynél I_m kicsi (így ellenállása kicsi A-mérőként, és nagy – a szükséges előtét miatt – V-mérőként). A gyakorlatban R_b helyett I_m reciprokát adják meg műszer-állandóként.

Ha pl. $I_m = 40 \mu\text{A}$, akkor a műszer-állandó értéke $(1/40\mu\text{A}) = 25 \text{ k}\Omega/\text{V}$, így a műszer mint V-mérő 10 V-os méréshatárban $25 \text{ k}\Omega/\text{V} \cdot 10 \text{ V} = 250 \text{ k}\Omega$ ellenállással terhel.

És máris kezünkben van az univerzális (kézi)műszer: az üzemmód kapcsoló választja ki a mérendőt, míg a méréshatár-váltó az optimális mérési tartományt!

(c) Korszerű digitális mérőeszköznél többnyire *feszültséget* mérő **A/D konverter** az „alaplátvány”, ennek adott bemenetéhez kell illeszteni (csillapítani, erősíteni vagy átalakítani!) a mérendőt. *Áram* méréséhez kis ellenállás a jel-váltó. *Ellenállás* méréséhez belső, hiteles áramforrással generálunk a mérendővel arányos feszültséget.

A számjegyes érték-megjelenítést pontosnak hisszük. Kérdés: mennyi a bizonytalanság, ha egy elemnél **2.47 V** a mért érték, és a mérőeszköz 1 %-os pontosságú?

Válasz: (a) Ideális esetben is van (a kvantálás miatt) $\pm 1/2$ terjedelmű hiba, ez itt $u_1 = 0.005 \text{ V} = 5 \text{ mV}$. (b) A pontossági specifikációból adódóan $u_2 = 2,47 \cdot 0,01 \text{ V} = 0,0247 \text{ V} \approx 25 \text{ mV}$, ez itt domináns! (c) Hogyan értékeljük ezt az információt? Mérés előtt: csak az mondható az elem feszültségéről, hogy 0 V („kisütött” állapot) és 3 V („feltöltött” állapot) között lehet, és ezt az (igen nagy bizonytalanságú) apriori ismeretet módosítja a mérés, hiszen mérés után már tudjuk: az elem feszültsége $2,47 \text{ V} \pm 25 \text{ mV}$. (Azért ez jóval kisebb bizonytalanság!)⁶

Digitális multiméternél, a bemeneti túlterhelés-védelem mellett, gyakori szolgáltatás az automatikus méréshatár-váltás (auto range) is.

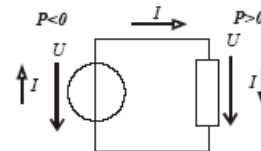
(d) Villamos méréseknél kiemelt fontosságú a feszültség és az áram mérése, ezek ismerete jól hasznosítható más mennyiségek mérésénél is. Az igen széles tartomány extrém (igen kicsi vagy igen nagy) értékei speciális eszközöket és gyakran különleges eljárásokat igényelnek – és ez a frekvencia tartományt tekintve is érvényes.

(e) Váltakozó (AC⁷) jel esetén – gondoljunk most a szinuszos jelre – az amplitúdó (csúcs, peak) érték helyett az **effektív (rms⁸) érték** mérése szokásos.⁹ Speciális „rms konverter” (AC/DC átalakító) állítja elő az rms érték DC ekvivalensét, az A/D átalakítás előtt.

4. Teljesítmény ($P = U \cdot I$ [= $U^2/R = I^2 \cdot R$]) mérése.

(a) A DC teljesítmény legegyszerűbben a fogyasztói feszültség (U) és áram (I) mérési eredményéből számítható.

A fogyasztó felvesz energiát (teljesítménye pozitív), a termelő lead energiát (teljesítménye negatív előjelű).



⁶ Lehetne (a) összegezni a két hibát, ha mindkettőt korlátnak tekintjük (legrosszabb esetű hibabecslés).

(b) Az 1 %-os adat valószínűleg „ 3σ (vagy 2σ) korlát” (vagy egyenletes eloszlás hibakorlátja, ezt csak a műszer adatlapja alapján lehetne eldönteni), független hibákat feltételezve szórás-négyzet összegzést is alkalmazhatunk (valószínűségi hibabecslés), de mennyi a kvantálási hiba szórása? (Egyenletes eloszlás esetén a „szórás = félszélesség/ $\sqrt{3}$ ”, itt a kvantálásnál pl. $5/\sqrt{3} \approx 3 \text{ mV}$).

A vizsgált esetben persze nincs értelme a szigorú bizonytalanság-becslésnek („ágyúval verébre”).

⁷ AC (alternating current): váltakozó kontra DC (direct current): egyen /vagy konstans/ jel. A jelzöt, bár eredeti jelentése az áramra utal, más típusú váltakozó ill. egyen jel megnevezésére is használjuk, pl.

AC feszültség = váltakozó feszültség.

⁸ **rms**: root (of the) mean (of the) square, „négyzet-átlag négyzetgyöke” – a definiáló egyenlet alapján elnevezve. Az effektív érték egyszerűen DC ekvivalens: a váltakozó feszültség (vagy áram) effektív értéke azzal az egyenfeszültséggel (vagy árammal) egyenlő, amely azonos ellenálláson ugyanakkora hőenergiát termel, tehát amivel azonos teljesítményű.

Ha egy *szinuszos* jel amplitúdója (csúcserő) U_p , akkor az effektív értéke $U_{\text{eff}} = U_{\text{rms AC}} = U_p/\sqrt{2}$.

Fontos, hogy a mérésnél milyen a „csatolás” (coupling): ha a jelben van DC komponens, akkor azt le kell választani ún. „AC csatolás”-sal (kapacitás beiktatása a jelútba), mert a „teljesítmények összeadódnak”:

$$(U_{\text{total rms}})^2 = (U_{\text{rms AC}})^2 + (U_{\text{DC}})^2$$

⁹ Az áramkör teljesítmény-viszonyaira ez mérvadó. De pl. túlterhelésnél a csúcserő érték érdekes.

Ha a mérők fogyasztását korrekcióként figyelembe kell venni, akkor az függ a mérési elrendezéstől. Kérdés: hogyan (R ellenállás a fogyasztó)?

(b) AC teljesítmény mérésénél az effektív értékek számítanak, és a szorzás elektronikusan, vagy digitalizálást¹⁰ követően numerikusan (DSP) realizálható.

Szinuszos jeleknél ha φ fázis-eltérés van a feszültség és az áram között, akkor a **hatásos** teljesítmény $\mathbf{P} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \cos\varphi$, és $\varphi = 0$ a DC-vel analóg eset, a $\varphi \neq 0$ pedig azt jelenti, hogy reaktív (kapacitív, induktív) elem is van a fogyasztóban, az ellenálláson kívül.

Speciálisan: $\varphi = \pi/2$, azaz tisztán reaktív fogyasztó: kapacitás esetén $\cos(\pi/2) = 0$, így $\mathbf{P} = 0$. Ez úgy lehetséges, hogy a kapacitás annyi energiát vesz fel egy periódus alatt, mint amennyit lead: az energiát csak időlegesen tárolja, és nem disszipálja! Mivel $\cos(\pi/2 + \varphi) = \sin\varphi$, a reaktív elembe ki-be pumpálódó ún. **meddő** teljesítmény $\mathbf{Q} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cdot \sin\varphi$ (ami persze valóságos kondenzátornál veszteségek forrása lehet).

Ha tehát nem vesszük figyelembe a fázis-viszonyokat, és a külön mért feszültség/áram értékeket szorozzuk, akkor $\mathbf{S} = U_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} = \sqrt{(\mathbf{P}^2 + \mathbf{Q}^2)}$ csak **látszólagos** teljesítmény.¹¹

5. Villamos energia ($\mathbf{E} = \mathbf{P} \cdot t$) mérése.

A pillanatnyi teljesítmény összegzése (idő integrálja) adja az elfogyasztott energiát, amit oly módon kaphatunk, hogy a teljesítmény mérőt kiegészítjük összegzővel.

Az 50 Hz-es hálózatban termelt és fogyasztott energiát indukciós fogyasztásmérő (villanyóra) méri, ez olcsó és elegendő (1-2 %-os) pontosságú. Nagyobb pontossági igény esetén alkalmazható elektronikus módszer, vagy – digitalizálást követően – a műveleteket numerikusan végrehajtó eljárás (DSP).

6. Frekvencia (f), időtartam (τ , $T = 1/f$) mérése.

A frekvencia adott időintervallumba eső jelváltások száma, így a frekvencia és az idő között szoros kapcsolat van. (Egy frekvencia-etalon időetalonnak is tekinthető, és viszont.) A technika jelenlegi szintjén ezeket a méréseket tudjuk a legpontosabban (10^{-13} körüli relatív bizonytalansággal) elvégezni.

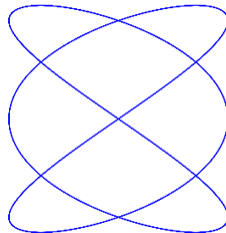
Egyeduralkodónak tekinthetők a digitális módszerek,¹² amelyek alapelve: kapuzott (impulzus-) számlálással megvalósított mérőszám-előállítás (electronic counter/timer).

Összetett jeleknél a spektrális komponensek frekvenciáját spektrum analízátorral mérjük.

¹⁰ Wattmérőnél nem kell rekonstruálni a hullámformát, csak egy paraméter (egy szorzat) megadása a cél, ezért enyhébb mintavételi kötés is adható.

¹¹ A teljesítmény egysége *watt* [W] = V·A. Azért hogy a hatásos (“wattos”) teljesítménytől megkülönböztessék, szokásos a meddő (“Reaktív”) teljesítménynél a “VAR”, ill. a látszólagos teljesítménynél a “VA” egység-jelölés. A “cos φ ” megnevezése: teljesítmény-tényező ($\cos\varphi = \mathbf{P}/\mathbf{S}$).

¹² Pl. frekvencia mérésnél (1) felhasználható frekvencia-függő elem is (ún. rezonancia módszer): „ráhangolunk” a mérendő frekvenciára, vagy (2) szinkronizált szinuszos forrásoknál a kis értékű és racionális frekvencia-arány ún. Lissajous-ábrával látványosan szemléltethető (oszilloszkópon):



(Az X:Y frekvencia-arány 3:1, és a két szinuszos jel fázis eltérése 30°.)