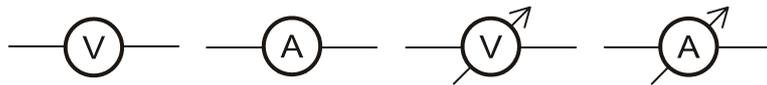


## 7. Feszültség és áram mérése, ideális és valós mérőműszerek, méréshatárkiterjesztés, voltonkénti belső ellenállás

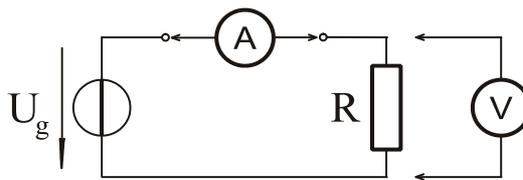
Áram mérésére a hálózat valamely ágát megszakítva, abba sorosan árammérőt iktatunk be. Az ideális árammérő vezetékként viselkedik, ellenállása nulla ohm. Ha ez teljesül, akkor az árammérő beiktatása nem változtatja meg a mérendő hálózatot, tehát a mérendő áram értékét sem. A sorosan beiktatott árammérőn átfolyik a mérendő áram.

Feszültség mérésére a hálózat két pontja közé párhuzamosan feszültségmérőt iktatunk be. Az ideális feszültségmérő szigetelésként viselkedik, ellenállása végtelen ohm.



7.1. ábra

A feszültség- és árammérő szabványos rajzjele a kör, és benne a mérendő mennyiség mértékegysége. A szakirodalomban gyakran találkozunk ennek – a műszer mutatójára emlékeztető – nyíllal történő kiegészítésével (7.1. ábra). A kiegészítés segíti a más hasonló rajzjelektől való megkülönböztetést, ezért gyakori. Egy áramkörben a feszültség- és árammérő elhelyezése látható a 7.2. ábrán.



7.2. ábra

A valós mérőműszerek ellenállása az ideálistól lényegesen eltér. A gyártók nem is gyártanak külön feszültség- és árammérőt, hanem nagy érzékenységű, úgynevezett “alapműszert”. Egy alapműszer mutatója  $U_m$  feszültség és  $I_m$  áram mellett lendül végkitérésbe. A végkitéréshez (FSD, Full Scale Deflection) tartozó skálaérték tehát egyaránt értelmezhető feszültség- és áramértékként is. Továbbá, mivel  $U_m$  és  $I_m$  a műszer ugyanazon állapotához (FSD) tartozó értékek, segítségükkel az alapműszer ellenállása kiszámítható:

$$R_m = \frac{U_m}{I_m} .$$

Vegyünk egy gyakori példát! Egy tipikus alapműszer végkitérésbe lendül

$$U_m = 50mV \text{ és}$$

$$I_m = 50\mu A \text{ hatására.}$$

A műszer ellenállása:

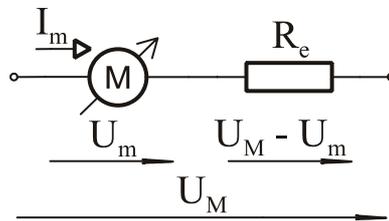
$$R_m = \frac{50mV}{50\mu A} = \frac{50 \cdot 10^{-3} V}{50 \cdot 10^{-6} A} = 10^3 \Omega = 1000\Omega = 1k\Omega .$$

Ezekkel az értékekkel kapcsolatban két lényeges probléma merül fel. Az első probléma az, hogy a műszaki gyakorlatban az  $1\Omega \dots 10M\Omega$  ellenállás-értéktartományba esnek általában a berendezések és eszközök ellenállásértékei.  $1\Omega$ -nál kisebb az elfogadható vezetékek ellenállása és a  $10M\Omega$ -os értéknél nagyobbakra mondjuk, hogy szigetelésnek tekinthetők (a jó szigetelők sokkal nagyobb ellenállásúak). Ezért az  $1k\Omega$ -os alapműszerünk nem tekinthető sem ideális árammérőnek, sem ideális feszültségmérőnek.

A második probléma az, hogy alaplámpászérünkkel reménytelen a szokásos több voltos, sőt több ezer voltos feszültségek vagy a több amperes áramok megmérésé. Az alaplámpászér skálájáról csak a  $0 \dots U_m$  illetve a  $0 \dots I_m$  tartományba eső értékek olvashatók le. A végkiteréshez tartó értékeknél lényegesen nagyobb értékek pedig biztosan tönkre is teszik a mészert. Ezen utóbbi probléma megoldására alkalmazható a mérésáthár-kiterjesztés. Ilyenkor vagy az áram-, vagy a feszültség-mérésáthárt növeljük. Az első problémáról nem megfeleldekezve oldjuk meg először a mérésáthár-kiterjesztést.

### Feszültség-mérésáthár kiterjesztése

Feladatunk, hogy az  $U_m$ -nél nagyobb feszültség mérésére nem alkalmas alaplámpászert annál nagyobb,  $U_M$  mérendő feszültség mérésére alkalmassá tegyük. Mindkét értéket ugyanazon állapotra, végkiterésre vonatkoztatjuk. Azt az elrendezést, melyben egy rendelkezésre álló feszültségnek csak egy része jut az egyik elemre, soros kapcsolással hozzuk létre és feszültségosztónak nevezzük. Az  $U_M$  mérendő feszültségből a mészere  $U_m$ -nek kell jutni, hogy végkiterésbe lendüljön. A megmaradó  $U_M - U_m$  feszültséget egy megfelelően méretezett ellenállás veszi magára, melynek neve előtétellenállás. A feszültségosztóban a mészert egy  $R_m$  nagyságú ellenállásnak tekintjük. A kapcsolat, feszültség és áramértékeivel a 7.3. ábrán látható.



7.3. ábra

Azt, hogy a mérésáthárt hányszorosára növeljük, egy szorzóval adjuk meg:

$$n = \frac{U_M}{U_m}$$

Ez általában egész szám, sőt gyakran 10 egész kitevőjű hatványa, 100, 1000 stb. is, mert a mészér skálájáról történő leolvasás így a legegyszerűbb.

Az előtétellenállás értéke az azon eső feszültség, és a rajta átfolyó áram hányadosaként számítható.

$$R_e = \frac{U_e}{I_e} = \frac{U_M - U_m}{I_m} = \frac{n \cdot U_m - U_m}{I_m} = \frac{(n-1) \cdot U_m}{I_m} = (n-1) \cdot R_m$$

Egy alaplámpászér feszültségmérésáthára egy azzal sorosan kapcsolt előtétellenállással terjeszthető ki, melynek értéke:

$$R_e = (n-1) \cdot R_m$$

*Példa:* Terjesszük ki az előző példában szereplő alaplámpászér mérésáthárát  $U_M = 5V$ -ra!

$$U_m = 50mV$$

$$I_m = 50\mu A$$

A mészér ellenállása:

$$R_m = \frac{50mV}{50\mu A} = \frac{50 \cdot 10^{-3}V}{50 \cdot 10^{-6}A} = 10^3 \Omega = 1000\Omega = 1k\Omega .$$

$$n = \frac{U_M}{U_m} = \frac{5V}{50mV} = \frac{5V}{5 \cdot 10^{-2}V} = 10^2 = 100$$

$$R_e = (n-1) \cdot R_m = (100-1) \cdot 1k\Omega = 99k\Omega$$

Az alaplámpászér mérésáthára tehát kiterjeszthető egy sorosan kapcsolt  $99k\Omega$  nagyságú előtétellenállás segítségével. Az alaplámpászér és az előtétellenállás soros kapcsolása együtt

$$R_m + R_e = 1k\Omega + 99k\Omega = 100k\Omega \text{ ellenállású.}$$

Ez  $n$ -szeres növekedés az  $R_m$ -hez képest. A feszültség-méréshatár kiterjesztés tehát arányos ellenállás-növekedéssel jár. Ez megoldás az alpműszerrel kapcsolatos első problémára. A mérés határ növelésével a feszültségmérő ellenállása nő, és bár általában nem lesz közel ideális, elhanyagolhatóan nagy, a mért értéket elfogadjuk, ritkán számítással korrigáljuk.

A kapcsolat ellenállása a mérés határral egyenesen arányos. Kétszer, háromszor, négyszer nagyobb mérés határhoz kétszer, háromszor, négyszer nagyobb  $R_m + R_e$  eredő ellenállás tartozik. A feszültségmérőt mérés határtól függetlenül jellemzi az úgynevezett "voltonkénti belső ellenállás" vagy érzékenység:

$$\acute{e} = \frac{R_m + R_e}{U_M} \left[ \frac{k\Omega}{V} \right]$$

A példában szereplő adatokkal

$$\acute{e} = \frac{R_m + R_e}{U_M} = \frac{1k\Omega + 99k\Omega}{5V} = \frac{100k\Omega}{5V} = 20 \frac{k\Omega}{V}$$

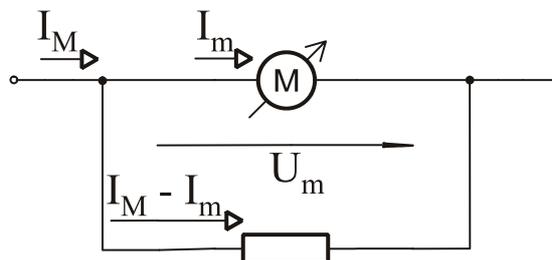
Ezt az értéket kapjuk akkor is, ha az alpműszer adataiból számolunk:

$$\acute{e} = \frac{R_m}{U_m} = \frac{1k\Omega}{50mV} = \frac{1k\Omega}{5 \cdot 10^{-2}V} = \frac{10^2 k\Omega}{5V} = 20 \frac{k\Omega}{V}$$

Laboratóriumokban elterjedt és gyakran használt a kapcsolóval tág határok között változtatható, sok mérés határájú feszültségmérő. Az ilyen műszerek skáláján fő jellemzőként szerepeltetik a voltonkénti belső ellenállás értékét.

#### Áram-mérés határ kiterjesztése

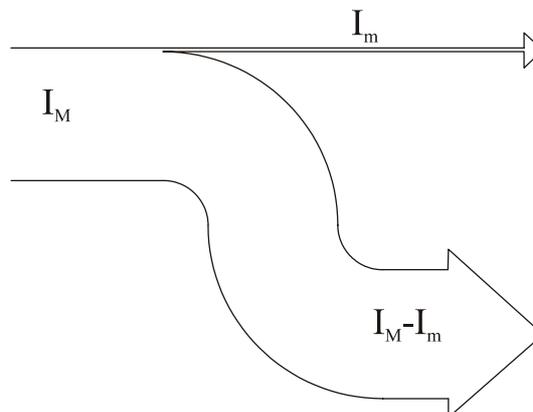
Az áram-mérés határ kiterjesztése akkor szükséges, ha az alpműszerrel végkitérésnél mérhető  $I_m$  áramnál nagyobbakat akarunk mérni. Jelöljük az új, végkitérésnél mérendő áramot  $I_M$ -mel!



7.4. ábra

A mérendő áram megosztását két részre, a műszerre megengedettre és a fennmaradó többlet áramra, áramosztóval végezhetjük. A 7.4. ábrán látható áramosztó egyik ágát az alpműszer, másik ágát egy megfelelően méretezett ellenállás alkotja. Az ellenállás neve söntellenállás, jele:  $R_S$ .

Az áramoknak a két ág közötti megosztását áramszalag-diagram érzékelteti (7.5. ábra).



7.5. ábra

Vezessük be a mérés határ növelését jellemző szorzót:

$$n = \frac{I_M}{I_m}$$

A söntellenállás áramát ismerjük, feszültsége pedig a párhuzamos kapcsolás miatt a műszer feszültségével egyezik meg. (Minden feszültség és áram végkitérésre vonatkozik.) A söntellenállás így már számítható:

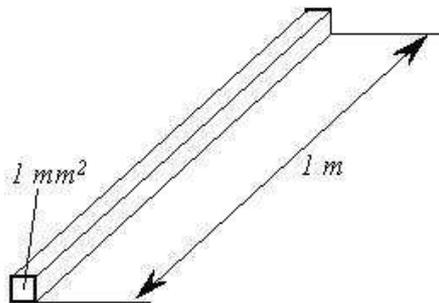
$$R_s = \frac{U_s}{I_s} = \frac{U_m}{I_M - I_m} = \frac{U_m}{n \cdot I_m - I_m} = \frac{U_m}{(n-1) \cdot I_m} = \frac{R_m}{(n-1)}$$

Egy alpműszer áram-méréshatára egy azzal párhuzamosan kapcsolt söntellenállással terjeszthető ki, melynek értéke:

$$R_s = \frac{R_m}{(n-1)}$$

## 8. Anyagok fajlagos ellenállása

A fajlagos ellenállás valamely anyag 1 mm<sup>2</sup> keresztmetszetű, 1 m hosszú darabjának az ellenállása (8.1. ábra). A fajlagos ellenállás anyagjellemző.



8.1. ábra

Jele:  $\rho$  (ejtsd: ró, görög kisbetű)

Mértékegysége:  $\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

$$1\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} = 10^{-6} \Omega \text{m}$$

Néhány fém fajlagos ellenállása:

anyag	vegyjel	$\rho \left[ \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \right]$
réz	Cu	0,0178
alumínium	Al	0,0286
ezüst	Ag	0,0160
arany	Au	0,0220

Ezek a legjobb vezetők. Az adatok elemi, nagy (legalább 99,99 %) tisztaságú anyagokra vonatkoznak. Napjainkban vezeték céljára legelterjedtebb a vörösréz. Rögzített, beépített helyeken