

## 4. fejezet

# Egyenáramú alpmérések. Elektrolitok vezetőképességének mérése

Ha egy áramkörü elemre (pl. fémes vezetőre vagy elektrolitbe merülő elektródák közé) elektromotoros erőt, azaz feszültséget kapcsolunk, az áramkörben elektromos áram indul meg. A tapasztalatok szerint ez az áram arányos a körre kapcsolt feszültséggel, A feszültség és a hatására létrejövő áram hányadosa állandó, vagyis Ohm törvénye szerint

$$U = R \cdot I.$$

Az  $R$  arányossági tényező az áramkörü elem ellenállása. Az ellenállás SI egysége  $1 \Omega$  (ohm), az az ellenállás, amelyen  $1$  amper erősségű áram folyik át, ha a feszültség  $1$  volt. Az ellenállás reciprokát vezetőképességnek nevezzük, mértékegysége  $1/\Omega = 1$  siemens.

Elektromos áramkörökben az egymás után – sorba – kapcsolt  $R_1, R_2, \dots$  ellenállások eredője az egyes ellenállások algebrai összege, míg a párhuzamosan kapcsolt  $R_a$  és  $R_b$  ellenállások eredő ellenállásának reciproka az egyes ellenállások reciprok értékének összege lesz:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b}.$$

Ez utóbbi eredményt úgy is interpretálhatjuk, hogy soros kapcsolásnál az ellenállások, párhuzamos kapcsolásnál a vezetőképességek adódnak össze.

Az előző eredmény alapján az is látszik, hogy valamely  $l$  hosszúságú és mindenütt egyenlő  $A$  keresztmetszetű fémhuzal ellenállása az  $l$  hosszúsággal egyenesen,  $A$ -val fordítottan arányos,

$$R = \rho \frac{l}{A},$$

hiszen a huzalt elemi (nagyon vékony és nagyon rövid) huzaldarabkák összességének képzelhetjük el, amelyek egymással  $l$  hosszúságon keresztül sorba, míg  $A$  keresztmetszeten keresztül egymással párhuzamosan vannak kötve. Itt  $\rho$  az anyagi minőségtől függő fajlagos ellenállás; egysége  $\Omega\text{m}$ . Ennek reciproka a fajlagos elektromos vezetőképesség,  $\kappa = 1/\rho$ ; egysége  $\Omega^{-1}\text{m}^{-1}$ . A vezetők (pl. a legtöbb fém) fajlagos vezetőképessége nagy, ellenállása kicsi; míg a szigetelők esetében az ellenállás nagy, és a vezetőképesség kicsi.

Ha az elektromos hálózat elágazásokat, csomópontokat, vagy zárt áramköröket, hurkokat is tartalmaz, az Ohm-törvény mellett a hálózat leírására használhatjuk az (elektromos) Kirchoff-törvényeket. Kirchoff I. törvénye szerint a csomópontokba befutó és az onnan távozó áramok erősségének összege zérus,

$$\sum I = 0.$$

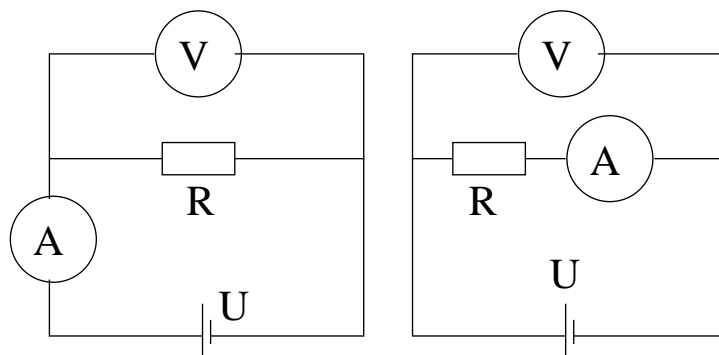
Kirchoff II. törvénye zárt áramkörben a részfeszültségek összege megegyezik az áramkörben lévő elektromotoros erők összegével,

$$\sum (R \cdot I) - \sum U = 0.$$

### 4.1. Árammérők használata

A vezetők ellenállásának abszolút mérése Ohm-törvénye alapján történhet, ha lemérjük a vezető két pontja között a potenciálkülönbséget és a rajta áthaladó áramot. Az ábra szerint  $U_0$  feszültségű telepből, a kis  $R_A$  belső ellenállású A ampermérőből és a mérendő  $R_x$  ellenállásból áramkört alakítunk ki, a nagy  $R_V$  belső ellenállású V feszültségmérőt pedig az  $R_x$  ellenállás végpontjaira kötjük. A mért  $I$  és  $U$  segítségével az  $R_x$  ellenállást kiszámítjuk:

$$R_x = \frac{U}{I}$$



Ellenállás mérése az árammérő kétféle elhelyezésével

Ez akkor érvényes, ha a voltmérő ellenállása végtelen. Műszereink azonban véges belső ellenállással rendelkeznek, a mérendő  $R_x$  ellenállás pontos meghatározásakor ezeket az ellenállásokat is figyelembe kell vennünk. Az ábra bal oldalán vázolt kapcsolással ugyanis az ampermérővel a voltmérőn átfolyó áramot, a voltmérő „fogyasztását” is mérjük:

$$I = I_R + I_V$$

Mivel:

$$I_R = \frac{U}{R_x}$$

és

$$I_V = \frac{U}{R_V},$$

$$I = U \left( \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_V} \right)$$

és ebből:

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{R_V}}, \quad (4.1)$$

ahol  $U$  a feszültségmérő által mutatott feszültségérték. Az előző hibát elkerülhetjük másik kapcsolással. A jobb oldali ábra szerint itt a voltmérő fogyasztását nem mérjük, ellenben az ellenálláson eső feszültséghez hozzámérjük az ampermérőn létrejött feszültséget.

Most

$$U = I \cdot R_x + I \cdot R_A,$$

amelyből a mérendő ellenállás helyes értéke:

$$R_x = \frac{U}{I} - R_A. \quad (4.2)$$

Azt, hogy mikor melyik kapcsolást használjuk, a használt műszerek döntik el. Ha a voltmérő ellenállása nem sokkal nagyobb, mint a mérendő ellenállás, az első módszer, míg ha elegendően nagy ellenállású a voltmérő, a második módszer alkalmazása célszerűbb.

Ha kis  $R_0$  belső ellenállású áramforrás áll rendelkezésünkre (pl. akkumulátor), egyetlen ampermérővel is mérhetünk ellenállást. Lényegében ezt a módszert alkalmazzák a kombinált analóg mérőműszerekbe beépített áramkörök. A feszültséget ilyenkor egyenlőnek vesszük az áramforrás feszültségével, és az ellenállást az

$$R = \frac{U_0 - I \cdot (R_b + R_0)}{I}$$

összefüggéssel számoljuk, ahol  $R_b$  a műszer belső ellenállása.

E műszer skáláját ellenállásértékre is hitelesíthetjük. Ha  $R_x = 0$ , akkor a műszer az előzőleg beállított végkitérésig tér ki, Ha  $R_x = \infty$ , akkor a műszer mutatója a skála 0-pontján áll. A közben lévő skálarészekhez:

$$I = \frac{U_0}{R_0 + R_b + R_x}.$$

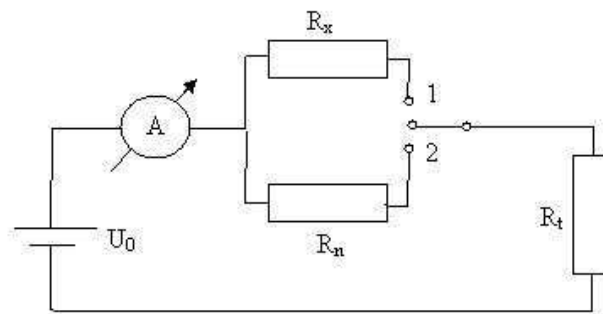
Az  $U_0$ ,  $R_0$  és  $R_b$  ismeretében az egyes skálarészekhez tartozó  $R_x$  értékek kiszámíthatóak, vagyis a műszer skálája kísérletileg ellenállásra is skálázható, ha ismert  $R_x$  értékekkel ezt valóban meg is tudjuk tenni. Ezeket vehetjük pl. egy ellenállászekrényből.

Mint látható, a mérési pontok egy hiperbolán fekszenek, a műszeren az Ohm-skála nem lesz lineáris.

Az előbbieken  $R_x$  kiszámításához feltételeztük  $R_V$ ,  $R_A$  és  $R_b$  ismeretét. Az alaplátványok belső ellenállását a műszerre ráírják, vagy mellékelik, az alapérzékenységekkel (pl. 1 mA, 100 mV; vagy 5 mA, 60 mV, stb.) együtt.

## 4.2. Ellenállásmérés helyettesítéssel

Az előbbinél valamivel egyszerűbb eljárás az ellenállásnak helyettesítő módszerrel történő meghatározása.



Ellenállásmérés helyettesítéssel – kapcsolási rajz

E célból készítsünk el egy kapcsolást, amelyben egy kétállású kapcsoló 1. állásában a mérendő  $R_x$  ellenállást, a 2. állásban egy ismert  $R_n$  ellenállást kapcsol az áramkörbe. Az áramkör zárása után az  $R_t$  ellenállással az A ampermérőn (melyet természetesen megfelelő méréshatárra kapcsoltunk, vagy megfelelő sönttel láttunk el) a skála kb. 2/3–3/4 részének megfelelő kitérést állítunk be.

Ezután a kapcsolót átkapcsolva a 2. helyzetbe, ismert ellenállásokkal (amelyeket általában egy dekád-ellenállásszekrényből veszünk) az előbbi műszer-kitérést állítjuk be. Mivel mindkét esetben ugyanaz az  $I$  erősségű áram folyik az áramkörben ( $U_0$  állandó), nyilvánvaló, hogy

$$R_x = R_n.$$

(Megjegyzés: A K-nak 2. állásba váltása előtt az ampermérő kímélése érdekében  $R_n$ -en kb. akkora ellenállásértéket állítunk be, amekkora a mérendő ellenállás várható értéke. )

### 4.3. Elektrolitok vezetőképességének mérése

Az analitikai kémiában konduktometriás módszerrel elektrolitoldatok elektromos vezetőképességét mérjük, és ebből illetve ennek kémiai reakció hatására bekövetkező változásaiból származtatunk analitikai információkat. Az elektromos vezetéshez olyan töltéshordozók (pl. elektronok, ill. anionok és kationok) jelenléte szükséges, amelyek képesek arra, hogy az elektromos tér hatására elmozduljanak. Ennek alapján különböztetünk meg elektromos vezetőket és szigetelőket.

A tiszta víz, mivel benne a hidroxónium- és hidroxilion töltéshordozók csak igen kis, az autoprotolízisnek megfelelő  $10^{-7}$  mol/l koncentrációban vannak jelen, csak nagyon kis mértékben vezeti az elektromos áramot, szigetelőnek tekinthető. Elektrolitok vizes oldataiban azonban a kationok és anionok koncentrációja jelentős lehet, emiatt azok az elektrolitikus disszociáció mértékétől függően többnyire vezetők.

A fajlagos vezetőképességet az oldatoknál a huzalokhoz hasonlóan definiáljuk. Így az elektrolitoknál mért  $R$  ellenállás felfogható az elektrolit anyagi minőségétől függő  $\rho$  fajlagos ellenállás és a mérőedény geometriai méreteitől függő  $C = \frac{l}{A}$  ellenálláskapacitás, vagy más néven cellaállandó szorzataként,

$$R = \rho \cdot C.$$

Az oldatok vezetőképességét a fajlagos vezetőképességgel ( $\kappa$ ) szokás definiálni. Ez jelenti az egymástól egységnyi távolságra levő egységnyi felületű elektródok között levő oldat vezetőképességét, azaz:

$$\kappa = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{A},$$

ahol  $1/R$  a vezetőképesség,  $l$  az elektródák távolsága,  $A$  az elektródák felülete.  $A$  és  $l$  geometriai meghatározása nehézkes lenne, ezért relatív módszert használunk: első lépésként a mérőcellának ismert  $\kappa$ -jú oldattal meghatározzuk a cellaállandóját.

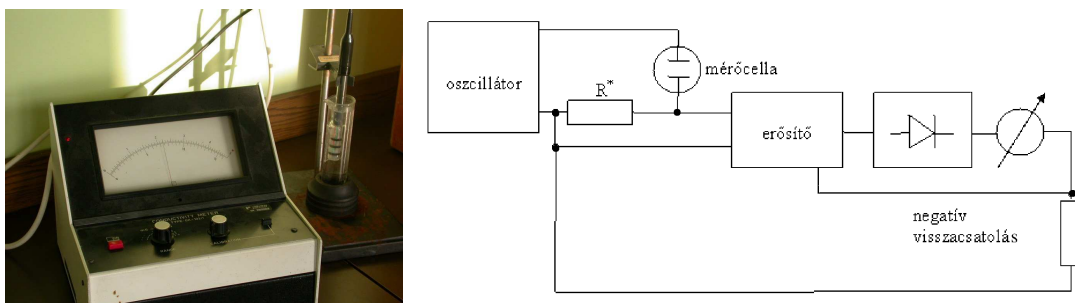
$$\frac{l}{A} = C.$$

Egy ismeretlen fajlagos vezetőképességű oldat fajlagos vezetőképességének meghatározása két lépésből,  $1/R$  és  $C$  méréséből áll.

$R$  ill.  $1/R$  mérésére több lehetőség kínálkozik. A polarizációs jelenségek fellépte miatt nem alkalmazhatóak az egyenfeszültségű módszerek. E probléma kiküszöbölhető váltakozó feszültség alkalmazásával.

A gyakorlaton a vezetőképesség ( $1/R$ ) mérésére egy gyári készüléket (típusa OK 102) alkalmazunk. Működési elve azon alapul, hogy az oldatba egy geometriailag jól definiált elektródapárt (mérőcella) merítünk és az ezen létrejövő feszültséget mérjük. A feszültség mérése az elvi kapcsolási rajz alapján történik. Az  $R^*$  ellenállás változtatása lehetővé teszi a méréshatár kiterjesztését is.

Az elektronikus rész speciális kialakítása a vezetőképesség siemensben (S) történő közvetlen kompenzálás nélküli leolvasását biztosítja. Minél nagyobb az oldat vezetőképessége, annál nagyobb frekvenciájú váltakozó feszültségre van szükség a mérésekhez. A készülékbe külön oszcillátort építettek be, amely



Vezetőképesség mérése. Balra: a műszer kijelzője, jobbra: az elvi kapcsolási rajz

Hőmérséklet (°C)	0,01 n	0,1 n	1 n
20	0,001276	0,01167	0,1020
21		0,01191	
22		0,01215	
23		0,01239	
24		0,01263	
25	0,001411	0,01288	0,1177
26		0,01311	
27		0,01335	
28		0,01359	
29		0,01384	
30		0,01407	

A különböző koncentrációjú KCl-oldatok fajlagos vezetőképessége különböző hőmérsékleten

80 Hz és 3 kHz közötti frekvenciaértékek előállítására alkalmas. A nagyobb frekvenciára történő átkapcsolás 500  $\mu$ S fölött a méréshatár kiterjesztésével automatikusan történik meg.

A mérendő oldatot egy edénybe helyezük, és a szabályszerűen csatlakoztatott mérőcellát vagy más néven harangelektrodát az oldatba merítjük. Ügyeljünk arra, hogy az oldat a harangelektrod mindhárom platinagyűrűjét tökéletesen ellepje. A méréshatár-kapcsolót a legnagyobb állásba állítjuk (500 mS) és fokozatosan kisebb méréshatárra kapcsolunk mindaddig, míg a műszer skáláján jól leolvasható értéket nem kapunk. Ezután ellenőrizzük a készülék beállítását, nyomjuk be a zérusponthangoló (piros) gombot, és a potenciométerrel állítsuk a mutatót a piros jelre. A gomb elengedése után olvassuk le a mutatott értéket. Először a harangelektroda  $C$  cellaállandóját határozzuk meg. Ehhez ismert fajlagos vezetőképességű oldat mérése révén juthatunk el. Ez esetünkben KCl-oldat, amelynek fajlagos vezetőképességét 20-30 °C hőmérsékletek között a táblázat tartalmazza.

Megmérjük a kiadott koncentrációjú KCl oldat hőmérsékletét és a készülék segítségével a vezetőképességét. Ismerjük a táblázatból az adott hőmérséklethez tartozó fajlagos vezetőképességet, ebből a cellaállandó meghatározható:

$$C = \frac{\kappa}{1/R}$$

Az elektrolitok fajlagos vezetőképessége a hőmérséklet mellett függ az elektrolit koncentrációjától is. A fajlagos vezetőképesség a koncentráció növekedésével eleinte növekszik, mert egyre több ion kerül az oldatba, további koncentráció-növekedéssel azonban rendszerint csökken, mert a disszociáció foka tömnyebb oldatoknál általában kisebb. A  $\kappa = \kappa(c)$  függvény tehát általában maximumon megy át. Mindazonáltal vezetőképességi mérésekből oldatok koncentrációjára következtethetünk, mert az eredeti koncentrációjú, majd a hígított oldat vezetőképességének összehasonlításával eldönthető, hogy a vezetőképesség nő vagy csökken a hígítás hatására; vagyis meghatározható, hogy melyik „ágon” helyezkedik el az oldatunk.

A koncentráció leolvasása ezután már egyértelmű.

Nagy pontosságú mérésekhez az oldatokat ún. vezetőképességi vízből ( $\kappa = 10^{-6}$ ) kell készíteni, ugyanis a méréseket a közönségen víz relatíve nagy fajlagos vezetőképességi értéke meghamisítaná.

#### 4.4. Feladatok

Eszközök: ellenállások, vezetékek, 2 db mérőműszer, OK102 típusú mérőkészülék, harangelektroda, oldatok

1. Mérje meg a kiadott ellenállást Ohm törvénye alapján, az (1) és (2) egyenletek felhasználásával.
2. Mérje meg a kiadott ellenállásokat helyettesítő módszerrel!
3. A kiadott koncentrációjú KCl-oldatok felhasználásával – többszöri mérés segítségével – határozza meg a harangelektroda cellaállandóját!
4. Határozza meg a kiadott oldatsorozat fajlagos vezetőképességét! A kapott eredményeket ábrázolja milliméterpapíron!
5. Határozza meg a grafikon segítségével az ismeretlen koncentrációjú oldat koncentrációját!