

3. EGYENÁRAMÚ MÉRÉSEK

A gyakorlatban gyakran van szükség az áramerősség vagy feszültség szabályzására (pl. hangszóró hangerejének beállítása, fűtésszabályzás, stb.). Erre a célra szolgálnak a *potenciométerek*. Ezek olyan ellenállások, ahol az ellenállás-vezetéken egy csúszó kontaktus mozdítható el, aminek szintén van kivezetése. A potenciométer egyik vége és a csúszó kontaktus közötti ellenállás nullától a potenciométer teljes ellenállásáig változtatható. A mérés témája a potenciométer alkalmazásainak bemutatása.

A szükséges eszközök és a kapcsolási rajzokon alkalmazott jelölésük:

- *Mérőzsinórok banándugóval*
- **M** *Digitális kijelzésű univerzális mérőműszer*

A két vezeték közül az egyiket mindig a COM jelű lyukba tesszük, a másik bemenetet pedig a mérendő mennyiségnek megfelelően válasszuk ki. A műszer a mért áramot és feszültséget előjellel együtt mutatja, ami akkor pozitív, ha a COM bemenet van a negatívabb potenciálon.

Mindig a lehető legkisebb méréshatáron mérjük, de mérési sorozat felvétele közben (különösen árammérés esetén) ne változtassuk a méréshatárt, mert ezzel megváltozik a műszer belső ellenállása, és ez befolyásolhatja a mérési eredményt! Ha a mérendő érték nem fér bele az aktuális méréshatárba, azt a kijelzőn megjelenő „1” jelzi. A kijelzett értéket mindig a méréshatárnál jelzett mértékegységgel együtt olvassuk le!

A műszeren levő HOLD és * gombok ne legyenek benyomva (a HOLD-nál az aktuális mérés helyett a legutoljára mért értéket mutatja, a * a kijelző világítását kapcsolja).

- **R** *Állandó ellenállások* panelra szerelve.
- **H** *Helipot (azaz helikális potenciométer)*

A potenciométer egy olyan ellenállás, aminek nem csak a két végén van egy-egy kivezetése, hanem van egy harmadik is –a csúszó érintkező, röviden „csúszka”–, amelynek helyzete állítható egy tekerővel az ellenállás két vége között tetszőleges helyzetbe. A csúszó érintkező a teljes ellenállást két részre osztja. Mivel $R = \rho \cdot \ell / A$, a potenciométer csúszkájára és vége között az ellenállás arányos a két pont közötti ellenállás hosszával (ρ és A konstansok).

A helipot olyan potenciométer, ahol a csúszó egy henger palástján, csavarvonalban halad, ami pontosabb állítást tesz lehetővé. A helipot összellenállása a két vége között R_H . A helipot el van látva egy 10 fordulatú, fordulatonként 100-as osztású (azaz 0-tól 1000-ig állítható) értékállítóval, ún. mikrodiállal. A helipot 0-hoz kötött vége és a csúszója közötti ellenállást R_1 -nek jelöljük; R_1 egyenesen arányos az értékállítón leolvasott n skálarésszel:

$$R_1 = \frac{n}{1000} \cdot R_H.$$

A helipot panelra van szerelve. A panelon mindhárom kivezetés (a helipot két vége és a csúszka) meg van duplázva (az egymás alatti kivezetések össze vannak kötve a panel hátoldalán), hogy megkönnyítsék az elágazások szerelését. A szélső kivezetések a helipot végpontjaihoz, a középső kivezetések a helipot csúszójához csatlakoznak.

- **T** *Tápegység*

Kb. 6 V egyenfeszültséget szolgáltató reális (állandó R_t belső ellenállású) feszültségforrás. Ezt az áramkörökbe bekötött tápegységet egy egyenfeszültségű tápegységről üzemeltetjük (kb. 11-12 V-ról), és onnan a feszültséget csak akkor kapcsoljuk rá, amikor az áramkör helyesen össze van rakva.

Ismerkedés az eszközökkel

Mérje meg mindenki a saját ellenállását (a legnagyobb méréshatárt válasszuk; mérjünk többféle bőrfelületen is, szárazon/nedvesen is).

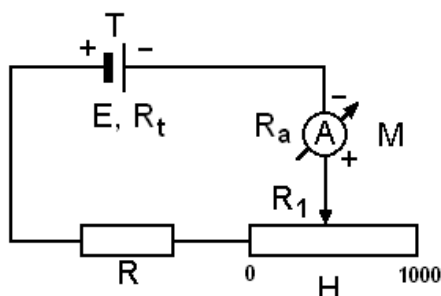
Mérjük meg a két állandó ellenállás értékét, és írjuk fel a jelüket (betű-, ill. számjel) és a mért értékeket az adatlapra.

Mérjük meg a helipot összellenállását (kössük a két vezeték a két fix véghez), és írjuk fel a jelét és a mért R_H értéket az adatlapra. Próbáljuk ki, mi történik, ha változtatjuk az értékállító állását. Ezután tegyük át az egyik vezeték a csúszka kivezetéséhez, a másikat hagyjuk a 0 jelnél, és ismét változtassuk az értékállító állását. Olvassuk le az értékállítót és a mért ellenállás-értéket, és ellenőrizzük az $R_1 = (n/1000) \cdot R_H$ összefüggést. Ezután tegyük át a vezeték a 0 oldalról az 1000 oldalra, és figyeljük meg, mi történik az értékállító állításával.

Mérjük meg a tápegység feszültségét (20 V-os egyenfeszültség méréshatárt választva).

3.1. Soros áramkör szabályozás

Az ábrán látható áramkörben az R ellenálláson átfolyó áram nagyságát (és a rajta eső feszültséget és a teljesítményt) tudjuk változtatni a vele sorosan kötött változtatható ellenállással (a helipot):



A helipot értékállítóját tekerve megváltozik a helipot áramkörbe bekötött R_1 ellenállása, és ezzel az áramkör összellenállása. Így tudjuk szabályozni az R ellenálláson átfolyó áram nagyságát. Az áramkörben folyó áram:

$$I(R_1) = \frac{E}{R_1 + R_m + R} \quad (1)$$

ahol $R_m = R_t + R_a$, a tápegység és a mérőműszer belső ellenállásának összege.

Mérési feladat:

- Állítsuk össze az ábrán látható kapcsolást! R számjeles ellenállás legyen. Az univerzális műszert ampermérőként kössük be (kis áramot fogunk mérni, a „mA” jelű bemenetet válasszuk) és állítsuk 20 mA-es méréshatárra. Utolsóként adjuk rá a feszültséget a tápegységre.
- Az R_1 ellenállás változtatásával (a helipot értékállítójának forgatásával) változtassuk az áramkörben folyó áramot és mérjük 11 különböző R_1 értéknél! Az adatokat írjuk a mérésvezető által kiosztott táblázatba.

Kiértékelés:

Határozzuk meg a körben lévő tápegység E elektromotoros erejét, és a tápegység és a műszer együttes belső ellenállását, $R_t + R_a = R_m$ -et az alábbi módon:

Az $I(R_1)$ nemlineáris összefüggést linearizáljuk úgy, hogy vesszük az (1) egyenlet reciprokát:

$$\frac{1}{I} = \frac{1}{E} R_1 + \frac{R + R_m}{E} \quad (2)$$

Látható, hogy az áram reciproka R_1 -nek lineáris függvénye, ahol az $1/I - R_1$ függvény meredeksége az elektromotoros erő reciproka, tengelymetszete pedig $(R_m + R)/E$.

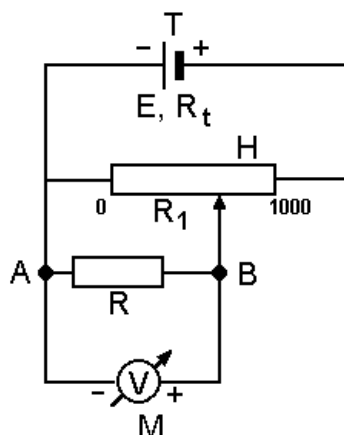
- Számoljuk ki az R_1 és $1/I$ értékeket!
- Ábrázoljuk $1/I - R_1$ függvényében (mm-papíron) és húzzuk meg a legjobban illeszkedő egyenest!
- Számoljuk ki az $1/I - R_1$ egyenes meredekségét és olvassuk le a tengelymetszetét!
- Számoljuk ki E és R_m értékét az meredekségből és a tengelymetszetből!

Beadandó:

az $R_1 - I - 1/I$ táblázat az adatlapon kitöltve,
az $1/I - R_1$ grafikon a mért pontok ábrázolásával és az egyenessel,
a számított meredekség és a leolvasott tengelymetszet értéke (mértékegységgel együtt),
valamint az E elektromotoros erő és R_m , a belső ellenállások összege.

3.2. Potenciometrikus feszültség szabályozás, feszültségosztó

Az ábrán látható áramkörben az R ellenálláson eső U_{AB} feszültség nagyságát (és a rajta átfolyó áramot és a teljesítményt) tudjuk változtatni a vele párhuzamosan kötött változtatható ellenállással:



Ha nem lenne ellenállás az A és B pontok közé bekötve (azaz $R = \infty$ lenne), és ideális feszültségmérővel mérnénk az U_{AB} feszültséget, akkor az U_{AB} feszültség R_1 növelésével lineárisan nőne. Ilyenkor ugyanis áram csak a telepen és a helipoton folyik át (mivel a voltmérő szakadás), az áram nagysága állandó: $I = E / (R_t + R_H)$, és

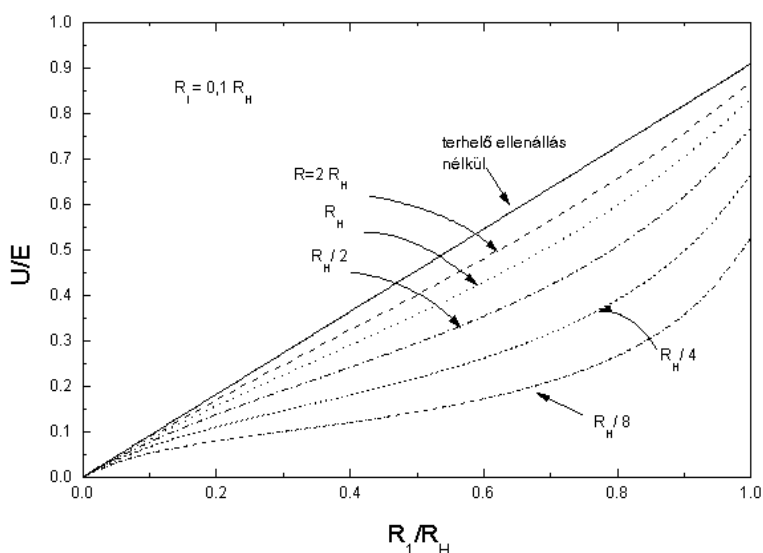
$$U_{AB}(R_1, \infty) = E \frac{R_1}{R_t + R_H}. \quad (3)$$

Az A és B pontok közé R ellenállást bekötve viszont R_1 állításával változik a kör eredő ellenállása, változik a telepen átfolyó áram nagysága is, és az R ellenálláson eső feszültséget az alábbi függvény írja le:

$$U_{AB}(R_1, R) = E \frac{\frac{R_1 R}{R_1 + R}}{\frac{R_1 R}{R_1 + R} + (R_H - R_1) + R_t}. \quad (4)$$

Ilyenkor az A, B pontok közti feszültség adott R -nél a helipot R_1 ellenállásának növelésével monoton, de nem lineárisan nő.

Minél nagyobb az R terhelő ellenállás értéke, annál jobban megközelíti a függvény a (3) egyenest, amit akkor kapunk, ha R értéke "végtelen" nagy.

**Mérési feladat:**

- Állítsuk össze az ábrán feltüntetett kapcsolást! R betűjeles ellenállás legyen. Az univerzális műszert voltmérőként kössük be. Utolsóként adjuk rá a feszültséget a tápegységre.
- Mérjük meg az R állandó ellenálláson eső feszültséget 15 különböző R_1 értéknél! $U_{AB}(R_1, R)$
- Távolítsuk el a terhelő R ellenállást (ezzel az R ellenállás értékét "végtelenre" növeltük) és mérjük meg az U_{AB} feszültséget a táblázatban megjelölt mikrodiálálásoknál! $U_{AB}(R_1, \infty)$

Kiértékelés:

- Ábrázoljuk a mért $U_{AB}(R_1, R)$ és $U_{AB}(R_1, \infty)$ értékeket az R_1 ellenállás függvényében, közös koordinátarendszerben! Rajzoljuk meg az $U_{AB}(R_1, R)$ görbét, és húzzuk meg a legjobban illeszkedő origón átmenő egyenest az $U_{AB}(R_1, \infty)$ pontokra!
- Számoljuk ki az $U_{AB}(R_1, \infty)$ egyenes meredekségét, majd
- a meredekségből a telep R_t belső ellenállását (felhasználva az E elektromotoros erőnek a 3.1 feladatban meghatározott értékét)!
- Számoljuk ki az ampermérő belső ellenállását a 3.1 feladatban kiszámolt R_m -et felhasználva.

Beadandó:

- a mérési eredmények táblázatosan és grafikusan (R_1 , $U_{AB}(R_1, R)$, $U_{AB}(R_1, \infty)$),
- az $U_{AB}(R_1, \infty)$ egyenes meredeksége (mértékegységgel együtt),
- a telep R_t belső ellenállása, és
- R_a , az ampermérő belső ellenállása.

Fakultatív demonstráció / szorgalmi mérési feladat

4.A.3. Kompenzációs feszültségmérés

Voltmérővel úgy mérjük meg egy tetszőleges AB kétpóluson eső U_{AB} feszültséget, hogy párhuzamosan kötjük a voltmérőt a mérendő elemmel, ill. hálózatrésszel (az A és B pontok közé). Pontos méréseknél nem hanyagolható el a voltmérő véges R_v ellenállása, ami most része lesz az áramkörnek. Tulajdonképpen egy új ágat nyitunk az AB kétpólussal párhuzamosan, az áramkör megváltozik, és így a mért feszültség különbözni fog attól az U_{AB} értéktől, melyet mérni akartunk. A hiba annál kisebb, minél nagyobb a voltmérő belső ellenállása. Ideális voltmérő belső ellenállása végtelen. A Deprez-rendszerű analóg műszerek alapműszerének belső ellenállása 1 V méréshatárnál 500-1000 ohm. A mérésnél használt digitális voltmérőnk belső ellenállása kb. 50 M Ω .

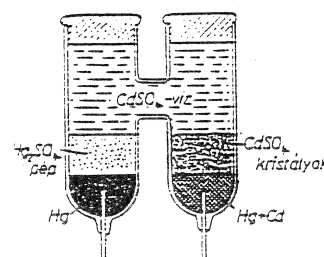
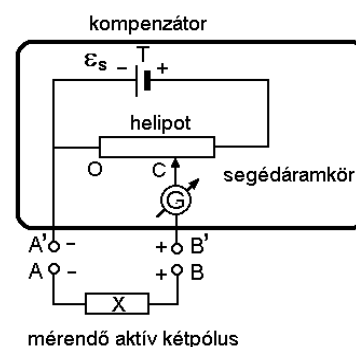
Az olyan aktív kétpólus esetében (pl. galvánelem), melynek nagy a belső ellenállása, vagy csak nagyon kis áramerősséggel terhelhető, különben „kimerül” (pl. elektrokémiában az **elektrodpotenciálok mérésénél**), olyan módszert kellene választani feszültségméréshez, melynél nem folyik áram a mérendő feszültségforráson keresztül. Erre ad lehetőséget a **kompenzációs elv**, amikor a mérendő feszültséget egy ismert, standard feszültséggel hasonlítjuk össze. Általánosan a kompenzációs elven való mérés azt jelenti, hogy a mérendő mennyiséget összehasonlítjuk egy tetszőlegesen változtatható mennyiséggel (kisebb? nagyobb?), és a változtatható mennyiséget addig változtatjuk, amíg azt nem detektáljuk, hogy a két mennyiség egyenlő, ekkor leolvassuk a változtatott mennyiséget (ilyen pl. a kétkarú mérleggel történő „kompenzációs” tömegmérés). A méréshez nincs szükség skálázott mérőeszközre, csak egy nulldetektorra, ami az egyenlőséget jelzi (pl. a mérleg nyelve).

Ha egy hurokba két azonos elektromotoros erejű telepet kötünk egymással szembe, akkor a hurokban nem folyik áram. A kompenzációs feszültségmérés azt jelenti, hogy a mérendő feszültségforrással szembe egy változtatható feszültségű forrást kötünk, melynek a feszültségét úgy állítjuk be, hogy az áramerősség nulla legyen, amit egy érzékeny ampermérővel detektálunk.

Hogy valósítjuk meg ezt a gyakorlatban? Az előbb láttuk, hogyan lehet potenciométerrel feszültséget szabályozni: egy telepet kötünk a potenciométer két végéhez, így a potenciométer zérus pontja és a csúszó között változtatható feszültséget tudunk előállítani. Ezekhez a pontokhoz kapcsoljuk a mérendő feszültségforrás AB sarkait úgy, hogy a körbe még egy érzékeny árammérő műszert (galvanométert) iktatunk be. **Vigyázzunk, hogy a telep és a mérendő feszültségforrás azonos előjelű pólusai érintkezzenek!** A csúszó helyének változtatásával elérhetjük, hogy a galvanométer zérus áramot mutasson: ekkor a csúszó és a 0 pont közötti feszültség megegyezik a mérendő feszültségforrás U_{BA} feszültségével.

Kompenzált állapotban (azaz amikor a galvanométeren nem folyik áram) a T telepen folyó áram független a mérendő feszültségtől, $I_s = \varepsilon_s / (R_H + R_t)$, ezért ezt a módszert állandó áramú kompenzátornak hívjuk. Általában a kompenzátor T telepének feszültsége nem ismert olyan pontossággal, mint amilyen pontos mérésre a helipot lehetőséget adna, ezért I_s -t egy ismert ε_0 elektromotoros erejű feszültségforrás etalon segítségével, pl. *Weston-féle normálemmel* határozzuk meg.

A Weston-féle normálem feszültségetalonként használatos kadmium-normálem, melynek elektromotoros ereje csak kissé függ a hőmérséklettől, 20 °C-on 1,01865 V. Speciális felépítése miatt gyakorlatilag sohasem "merül ki", mivel nempolározódó elektródokkal



rendelkezik. (Anódja Hg_2SO_4 péppel fedett higany, a katód kadmium amalgám CdSO_4 -tal fedve, az elektrolit kadmiumsulfát telített vizes oldata). Csak $10 \mu\text{A}$ -nél kisebb áramerősséggel terhelhető.

A normálem bekötésével kompenzálva a kört

az R_{OC} ellenállás értéke R_0 , ill. a leolvasott mikrodiálálás n_0 , ekkor

$$U_{OC}(\text{normálem}) = \varepsilon_0 = I_s R_0;$$

az ismeretlen U_{AB} feszültségű AB kétpólust bekötésével kompenzálva a kört

az R_{OC} ellenállás értéke R_x , ill. a leolvasott mikrodiálálás n_x , ekkor

$$U_{OC}(\text{ismeretlen}) = U_x = I_s R_x;$$

a két egyenletet elosztva I_s kiesik, és az ismeretlen feszültség

$$U_x = \varepsilon_0 R_x / R_0 = \varepsilon_0 n_x / n_0.$$

Eszközök

- a segédáramkörben alkalmazandó feszültségforrás
- $R_H = 1 \text{ k}\Omega$ ellenállású, $n = 1000$ beosztású értékállítóval ellátott helipot
- Kiiktatható védőellenállással ellátott galvanométer
- Weston-féle normálem
- ismeretlen elektromotoros erejű és belső ellenállású telep

A mérés kivitelezése

a) Állítsuk össze az ábra szerint az állandó áramú kompenzátort úgy, hogy a helipot "0" pontja a segédtelep negatív pólusával legyen összekötve. Ekkor a helipot csúszójának "0" helyzetében

$$U_{A'B'} = 0.$$

b) Hitelesítsük a kompenzátort a Weston-elemmel. Kapcsoljuk az elem negatív sarkát a B ponthoz, pozitív sarkát a galvanométerhez, és a csúszó változtatásával keressük meg az árammentes állapotot. Ekkor iktassuk ki a galvanométer védőellenállását, és ebben az érzékeny állapotban kompenzáljuk ki az áramkört. Olvassuk le az értékállítón a csúszka helyzetét, és jegyezzük fel n_0 -t. Ismételjük meg 5-ször a mérést.

c) Most kössük az ismeretlen elektromotoros erejű telepet össze a kompenzátorral, figyelve a polaritásra! Itt is keressük meg az árammentes állapotot és olvassuk le az a csúszó helyzetét az értékállítón (n_x). Ezt a mérést is 5-ször ismételjük.

A kompenzátorral sem tudunk tökéletes árammentességet biztosítani, a galvanométer leolvasási hibájánál kisebb áram még folyhat az áramkörben. Ez μA nagyságrendű.

Kiértékelés:

Határozzuk meg n_0 és n_x átlagát és hibáját. Számítsuk ki az ε_x elektromotoros erőt, valamint ε_x hibáját az n_0 és n_x mérésének hibájából. Ha a méréssorozat kiértékelésénél fél skálárésznel kisebb hibát kaptunk, számoljunk fél skálárész leolvasási hibával!