

4. EGYENÁRAMÚ MÉRÉSEK

Előismeret:

Elektromos áram, potenciál, feszültség, ellenállás. Az Ohm-törvény. Kirchhoff-törvények.

Ellenállások soros és párhuzamos kapcsolása.

Telep elektromotoros ereje és belső ellenállása, kapocsfeszültség.

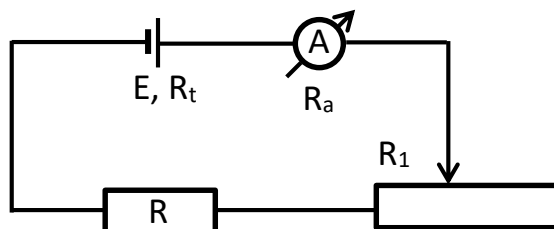
Műszerek bekötése, belső ellenállása.

Egyenes illesztése a legkisebb négyzetek módszerével (ld. az elméletnél!)

A gyakorlat célja: Ismerkedés az áram- és feszültségmérő műszerekkel; áramkör összerakása kapcsolási rajz alapján; potenciométer használata; feszültségosztó megértése.

4.1. Soros áramkörszabályozás

Az ábrán látható áramkörben az R ellenálláson átfolyó áram nagyságát (és a rajta eső feszültséget és a teljesítményt) tudjuk változtatni a vele sorosan kötött R_1 változtatható ellenállás állításával:



1. ábra: Soros áramkörszabályozás

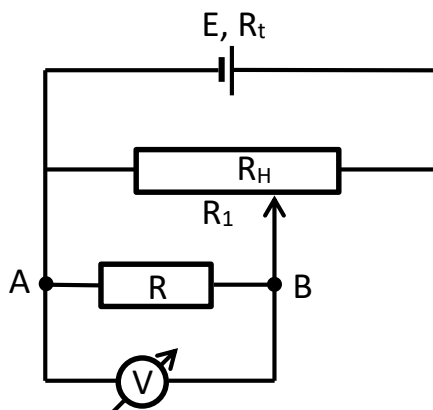
Az R_1 ellenállás értékét változtatva megváltozik az áramkör összellenállása, így tudjuk szabályozni az R ellenálláson átfolyó áram nagyságát. Az áramkörben folyó áram nagysága:

$$I = \frac{E}{R_1 + R + R_t + R_a}, \quad (1)$$

ahol E a telep elektromotoros ereje, R_t a telep, R_a pedig az ampermérő belső ellenállása.

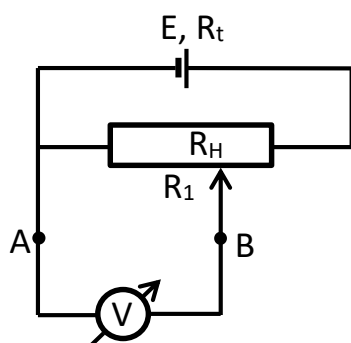
4.2. Potenciometrikus feszültségszabályozás, feszültségosztó

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:

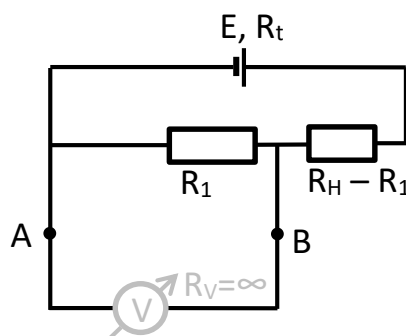


2. ábra: Potenciometrikus feszültségszabályozás

Ha nem lenne ellenállás az A és B pontok közé bekötve (azaz az A és B pontok közötti ellenállás $R = \infty$ lenne), és ideális feszültségmérővel mérnénk az U_{AB} feszültséget, akkor az U_{AB} feszültség az R_1 növelésével lineárisan nőne:



3. ábra: Potenciometrikus feszültség szabályozás R terhelő ellenállás nélkül



4. ábra: A helipotot a csúszka két ellenállásra vágja, ábrázolható két ellenállásként

Mivel az A és B pontok közé nincs bekötve ellenállás, és az ideális voltmérő ellenállása végtelen, ezért ilyenkor áram csak a telepen és a helipoton folyik át. Az áram nagysága

$$I = E / (R_t + R_1 + (R_H - R_1)) = E / (R_t + R_H), \quad (2)$$

ez az R_1 értékétől független.

Az R_1 ellenálláson eső feszültség ekkor

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

ez R_1 -nek lineáris függvénye.

Ezzel az áramkörrel tehát az A és B pontok közötti feszültséget az R_1 állításával lineárisan tudjuk növelni (ld. az 5. ábrán az egyenest).

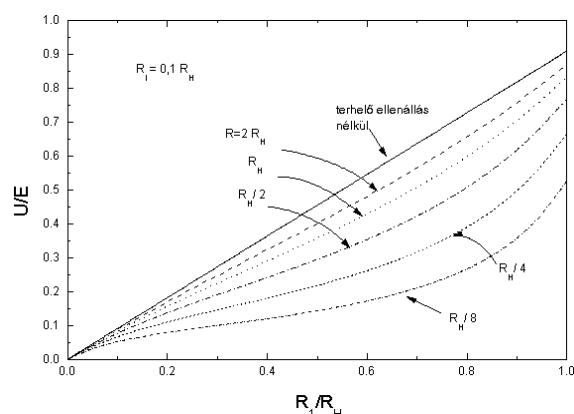
Az A és B pontok közé R ellenállást bekötve viszont R_1 állításával változik a kör eredő ellenállása, és változik a telepen átfolyó áram nagysága is:

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

Az R ellenálláson eső feszültséget ekkor az alábbi függvény írja le:

$$U_{A,B}(R_1, R) = I \frac{R_1 R}{R_1 + R} = E \frac{\frac{R_1 R}{R_1 + R}}{\frac{R_1 R}{R_1 + R} + (R_H - R_1) + R_t} \quad (5)$$

Ilyenkor az A és B pontok közti feszültség adott R -nél a helipot R_1 ellenállásának növelésével monoton, de nem lineárisan nő (ld. az 5. ábrát). Minél nagyobb az R terhelő ellenállás értéke, annál jobban megközelíti a függvény a (3) egyenest, amit akkor kapunk, ha R értéke "végtelen" nagy.



5. ábra: Potenciometrikus szabályozás terhelő ellenállás nélkül (egyenest), ill. különböző nagyságú terhelő ellenállásokkal (görbék). A tengelyeken relatív mennyiségek szerepelnek.

MÉRÉSI FELADATOK

A szükséges eszközök:

- *Mérőzsinórok banándugóval*

- **M** *Digitális kijelzésű univerzális mérőműszer*

A műszert mindig két vezetékkel kötjük be, az egyiket mindig a COM jelű lyukba tesszük, a másik bemenetet a mérendő mennyiségnek megfelelően választjuk 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. Viszont 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.

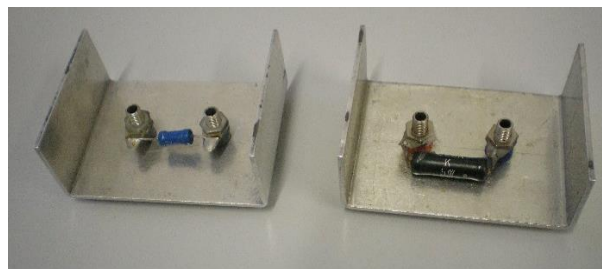
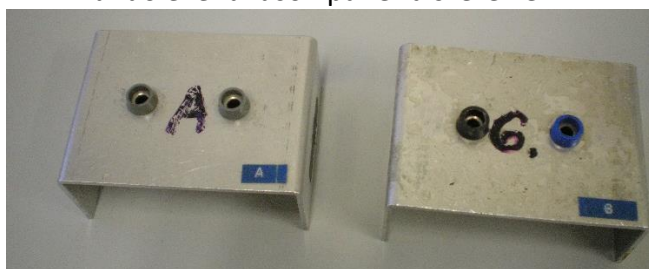
A kijelzett értéket mindig a méréshatárnál jelzett mértékegységgel együtt olvassuk le.

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



6. ábra: Univerzális mérőműszer

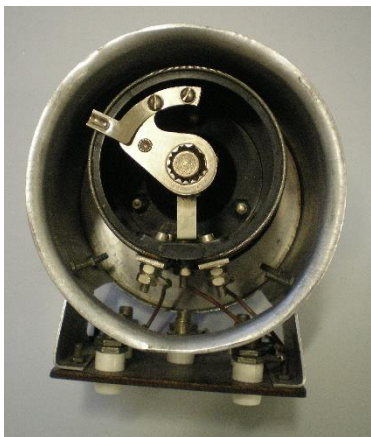
- **R** *Állandó ellenállások panelra szerelve*



7. ábra: Állandó ellenállások

- **H** *Helipot (azaz helikális potenciométer)*

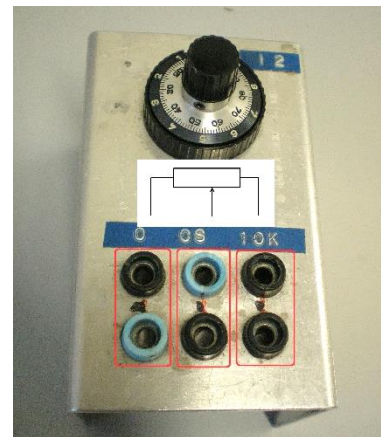
A potenciométer egy olyan ellenállás, aminek nem csak a két végén van egy-egy kivezetése, hanem van egy harmadik is – a csúszó érintkező, vagy röviden „csúszka” –, amelynek helyzete állítható egy tekerővel az ellenállás két vége között tetszőleges helyzetbe.



8. ábra: Potenciométer



9. ábra: Helipot belseje



10. ábra: Helipot panelre szerelve

A helipot olyan potenciométer, ahol a csúszka egy henger palástján, csavarvonalban halad, ami pontosabb állítást tesz lehetővé.

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 csúszkájához csatlakoznak.

A helipot el van látva egy 10 fordulatú, fordulatonként 100-as osztású (azaz 0-tól 1000-ig állítható) értékállítóval, ún. mikrodiall.



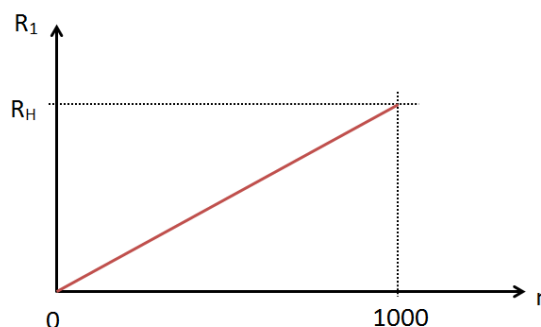
11. ábra: A mikrodiall 230-ra állítva

A csúszó érintkező a teljes ellenállást két részre osztja. Mivel $R = \rho \ell / A$, a potenciométer (helipot) csúszkája és vége között az ellenállás egyenesen arányos a két pont közötti ellenállás hosszával (mivel ρ és A konstansok).

A helipot összellenállását a két vége között R_H -val, a 0-hoz kötött vége és a csúszkája közötti ellenállást pedig R_1 -gyel jelöljük.

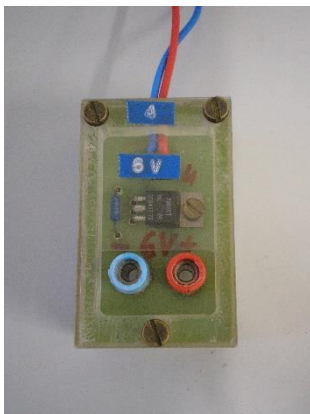
R_1 egyenesen arányos az értékállítón leolvasott n skálárésszel:

$$R_1 = \frac{n}{1000} R_H. \quad (6)$$

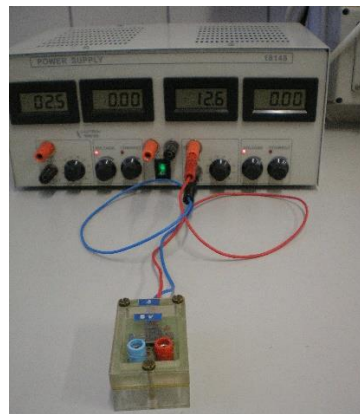


• T Tápegység

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.



12. ábra: Az áramkörbe bekötendő tápegység



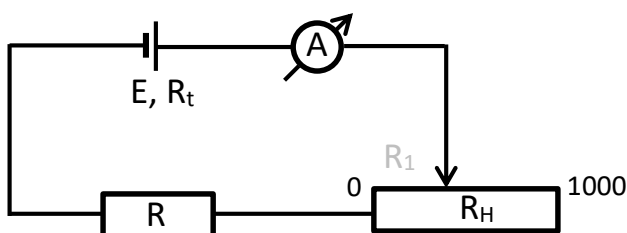
13. ábra: A kis tápegységet tápláló nagy tápegység

Az áramkörbe bekötendő tápegység fekete vagy kék vezetékét kössük a nagy tápegység fekete bemenetére. Ez a gyakorlat alatt végig rákötve maradhat, ilyenkor a kis tápegység még nincs feszültség alatt. A mérés előtt csatlakoztassuk a kis tápegység másik vezetékét a fekete bemenet fölötti piros bemenetre, ezzel tudjuk feszültség alá helyezni a tápegységet és a rákötött áramkört.

Ismerkedés az eszközökkel

- Mérje meg mindenki a saját ellenállását az univerzális műszerrel (ehhez először 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 (a műszerre kötött két vezetékét a helipot két fix végéhez kötve), 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 vezetékét 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 vezetékét 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).

4.1. Soros áramkörszabályozás



14. ábra: Soros áramkör. Az R egy számjeles ellenállás.

- Állítsuk össze a 14. ábrán látható kapcsolást! Az R számjeles ellenállás legyen. Az univerzális műszert ampermérőként kössük be (kis áramot fogunk mérni, a „mA” jelű bemenetet válasszuk).
- Az áramkör összeállítás után adjuk rá a feszültséget a tápegységre.
- A helipot értékállítójának forgatásával (az R_1 ellenállás változtatásával) állítsuk be az adatlapon megadott 11 értéket, és mérjük az áramot! Az adatokat írjuk a mérésvezető által kiosztott táblázatba.

Kiértékelés: Meg akarjuk határozni a körben lévő tápegység E elektromotoros erejét, a tápegység R_t és a műszer R_a belső ellenállását.

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

$$\frac{1}{I} = \frac{1}{E} R_1 + \frac{R + R_t + R_a}{E} \quad (7)$$

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

Az R_t és R_a belső ellenállásoknak csak az összegét fogjuk tudni meghatározni, jelöljük ezt R_m -mel:

$$R_m = R_t + R_a.$$

Az $y = ax + b$ egyenes paraméterei: $a = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\bar{x}^2 - \bar{x}^2}$ és $b = \bar{y} - a \bar{x}$.

Jelen esetben $x := R_1$, $y := (1/I)$, $a = 1/E$, $b = (R_m + R)/E$.

- Számoljuk ki az R_1 és $1/I$ értékeket! A számolás végezhető számítógéppel.
- Ábrázoljuk $1/I - R_1$ függvényében! A diagram készíthető mm-papíron vagy számítógéppel.
- Határozzuk meg az $1/I - R_1$ egyenes paramétereit a legkisebb négyzetek módszerével!

Ne feledkezzünk el a mértékegységekről!

- Tüntessük fel az illesztett paraméterű egyenest az $1/I - R_1$ grafikonon!
- Számoljuk ki E és R_m értékét az meredekségből és a tengelymetszetből!

Beadandó:

az $R_1 - I - 1/I$ táblázat az adatlapon kitöltve,

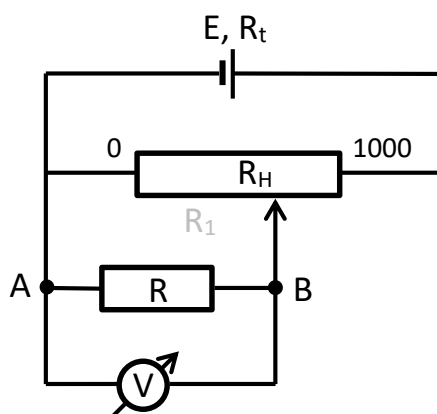
az $1/I - R_1$ grafikon a mért pontok ábrázolásával és az illesztett paraméterű egyenessel,

a számítások részletei: a meredekség és a tengelymetszet számításához szükséges átlagok értéke, a meredekség és a tengelymetszet értéke (mértékegységekkel együtt), valamint az E elektromotoros erő és R_m , a belső ellenállások összege.

Szorgalmi feladat:

Határozzuk meg E és R_m értékét az $I(R_1, E, R_m)$ hiperbola illesztésével!

4.2. Potenciometrikus feszültszabályozás, feszültségosztó



15. ábra: Potenciometrikus áramkör. Az R egy betűjeles ellenállás.

- Állítsuk össze a 15. ábrán feltüntetett kapcsolást! Az R betűjeles ellenállás legyen. Az univerzális műszert voltmérőként kössük be. Az áramkör összeállítása után adjuk rá a feszültséget a tápegységre.
- A helipot értékállítójának forgatásával (az R_1 ellenállás változtatásával) állítsuk be az adatlapon megadott 15 értéket, és mérjük a feszültséget! Az adatokat írjuk a mérésvezető által kiosztott táblázat $U_{AB}(R_1, R)$ oszlopába.
- Távolítsuk el a terhelő R ellenállást (ezzel az R ellenállás értékét "végtelenre" növeltük) és mérjük meg a feszültséget a táblázatban megjelölt 3 mikrodialállásnál! Az adatokat írjuk a mérésvezető által kiosztott táblázat $U_{AB}(R_1, \infty)$ oszlopába.

Kiértékelés:

Az ellenállás nélküli mérésből meghatározható a telep R_t belső ellenállása.

A (3) összefüggés szerint $U_{AB}(R_1, \infty)$ egy origón átmenő egyenes.

Az $y = ax$ (zérus tengelymetszetű) egyenes meredeksége $a = \frac{\overline{x \cdot y}}{\overline{x^2}}$.

Jelen esetben $x := R_1$, $y = U_{AB}(R_1, \infty)$, $a = \frac{E}{R_t + R_H}$.

- Számoljuk ki az $U_{AB}(R_1, \infty) - R_1$ egyenes meredekségét a legkisebb négyzetek módszerével! Ne feledkezzünk el a mértékegységekről!
- Számoljuk ki R_t értékét a meredekségből (felhasználva az E elektromotoros erőnek a 4.1 feladatban meghatározott értékét)!
- Számoljuk ki az ampermérő R_a belső ellenállását a 4.1 feladatban kiszámolt R_m -et felhasználva.
- Ábrázoljuk a mért $U_{AB}(R_1, R)$ és $U_{AB}(R_1, \infty)$ értékeket az R_1 ellenállás függvényében közös koordinátarendszerben! Tüntessük fel az illesztett paraméterű egyenest az $U_{AB}(R_1, \infty) - R_1$ sorozatnál, az $U_{AB}(R_1, R)$ sorozat pontjait pedig kössük össze egy görbével! A diagram készíthető mm-papíron vagy számítógéppel (de számítógéppel készítve is össze kell kötni a görbe pontjait).

Beadandó:

- a mérési eredmények táblázatosan és grafikusan (R_1 , $U_{AB}(R_1, R)$, $U_{AB}(R_1, \infty)$),
- a számítás részletei: a meredekség számításához szükséges átlagok értéke, a meredekség értéke (mértékegységgel együtt),
- a telep R_t belső ellenállása, és
- R_a , az ampermérő belső ellenállása.

KÉRDÉSEK, GYAKORLÓ FELADATOK

Az alábbi kérdésekre, feladatokra, ill. hasonlóakra lehet számítani a beugró kiszárthelyiben.

MINIMUMKÉRDÉSEK:

A soros és potenciometrikus mérések kapcsolási rajza az egyes áramköri elemek megnevezésével; mit kell állítani, mi a leolvasandó mennyiség; milyen mennyiségek lesznek kiszámolva a kiértékeléskor.

FOGALMAK, KÉPLETEK

- Ohm-törvény
- Kirchhoff-törvények
- soros és párhuzamos kapcsolás; eredő ellenállás
- $R = \rho \ell / A$
- telep elektromotoros ereje, belső ellenállása, kapocsfeszültsége
- áram- ill. feszültségmérő bekötése; ideális műszerek

Rövid elméleti kérdések:

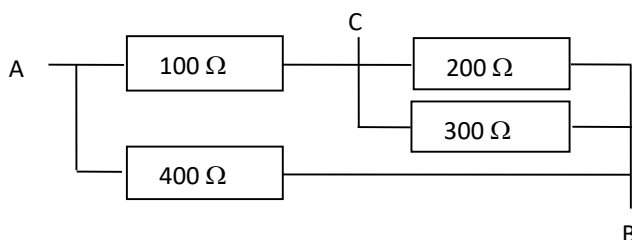
Igaz-e, hogy*

- két ellenállás soros eredője mindig nagyobb, mint közülük a nagyobb ellenállás értéke?
- két ellenállás párhuzamos eredője mindig kisebb, mint közülük a kisebb ellenállás értéke?
- egy potenciométer két oldala ellenállásának összege a csúszka helyzetétől független állandó érték?
- egy telep sarkain mérhető feszültség nem lehet nagyobb a telep elektromotoros erejénél?
- négy darab 10 ohmos ellenállást össze lehet úgy kapcsolni, hogy az eredő 10 ohmos legyen?
- két ellenállás párhuzamos eredője a kisebb és a nagyobb ellenállás érték közé esik?
- soros áramkörszabályozásnál a kör ellenállásának növelésével növeljük a körben folyó áramot?
- három párhuzamosan kapcsolt ellenállás eredője kisebb a legnagyobbánál, de nagyobb a legkisebbnél?
- voltmérőt párhuzamosan kell bekötni arra két pontra, ami között mérni akarjuk a feszültséget?
- egy telep kapocsfeszültsége (azaz a sarkain mérhető feszültség) csökken, ha a kör ellenállását úgy változtatjuk, hogy a telepen átfolyó áram nőjön?

**A válaszokhoz indoklást, a választ magyarázó képletet is kérünk!*

SZÁMOLÁSI FELADATOK

1. Mennyi az eredő ellenállás az **a) A és B, b) A és C, c) B és C** pontok között?



Megoldás:

a) A 100 Ω -os ellenállás sorosan van kötve 200 Ω -os és a 300 Ω -os ellenállás párhuzamos eredőjével, és az egész párhuzamosan van kötve a 400 Ω -os ellenállással:

$$\frac{200 \cdot 300}{200 + 300} = 120 \, \Omega, \quad 120 + 100 = 220 \, \Omega, \quad R_{AB} = \frac{220 \cdot 400}{220 + 400} = 141,9 \, \Omega.$$

b) Hasonlóan az A-B pontok közötti útvonalhoz most is két ágon indulhatunk el A-ból C felé: az egyik a 100 Ω -os ellenállás van, a másikon a 400 Ω -os ellenállás, és utána sorosan a 200 Ω -os és a 300 Ω -os ellenállások párhuzamosan kötve; tehát most a 400 Ω -os ellenállás sorosan van kötve 200 Ω -os és a 300 Ω -os ellenállás párhuzamos eredőjével, és az egész párhuzamosan van kötve a 100 Ω -os ellenállással:

$$\frac{200 \cdot 300}{200 + 300} = 120 \, \Omega, \quad 120 + 400 = 520 \, \Omega, \quad R_{AC} = \frac{520 \cdot 100}{520 + 100} = 83,87 \, \Omega.$$

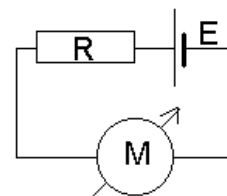
c) B-ből indulva három ágon juthatunk el C-be: egyik a 200 Ω -os, másikon a 300 Ω -os ellenállás van, a harmadikon pedig a 400 Ω -os és a 100 Ω -os ellenállás sorosan kötve, tehát

$$\frac{1}{R_{BC}} = \frac{1}{200} + \frac{1}{300} + \frac{1}{400 + 100} \rightarrow R_{BC} = 96,77 \, \Omega.$$

2. A telep elektromotoros ereje $E = 10 \, \text{V}$, belső ellenállása $2 \, \Omega$; $R = 88 \, \Omega$; M egy univerzális V – A – Ω mérő digitális műszer.

a) Mit mutat a műszer voltmérőként bekötve? (Ilyenkor a belső ellenállása végtelennek tekinthető.)

b) Mekkora áramerősséget mutat a műszer, ha ampermérőként kötjük be, és 200 mA-es méréshatárú árammérő állásba kapcsoljuk, ha ekkor a belső ellenállása 10 Ω ?



Megoldás:

a) Ha M ideális voltmérő, akkor nem folyik áram a körben, és a műszer a telep elektromotoros erejét mutatja, azaz 10 V-ot.

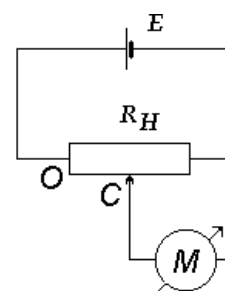
b) Ekkor a körben folyó áram

$$I = 10 / (2 + 88 + 10) = 0,1 \, \text{A} = 100 \, \text{mA}.$$

3. A telep elektromotoros ereje $E = 10 \, \text{V}$, belső ellenállása elhanyagolható. A helipot összellenállása 1000 Ω .

A csúszó a helipot felénél áll.

Mit mutat az M univerzális műszer **a)** voltmérőként, **b)** ampermérőként kapcsolva, ha mindkét esetben ideális műszernek tekinthető?



Megoldás:

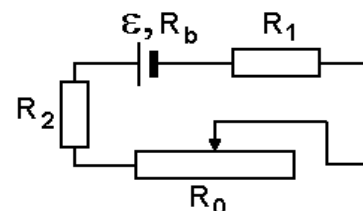
a) Voltmérőként: ideális voltmérőn nem folyik áram, vagyis most áram csak a potenciométeren folyik: $10 \, \text{V} / 1000 \, \Omega = 0,01 \, \text{A}$.

A műszer a helipot felén eső feszültséget mutatja: $U = 500 \cdot 0,01 = 5 \, \text{V}$.

b) Ampermérőként: ideális ampermérő ellenállása zérus, vagyis most rövidre zárja a vele párhuzamosan kötött helipotrészt, azon nem folyik áram.

Így a körben folyó áram: $10 \, \text{V} / 500 \, \Omega = 0,02 \, \text{A}$.

4. Van egy $E = 24 \text{ V}$ elektromotoros erejű és $R_b = 100 \Omega$ belső ellenállású telepünk, valamint egy $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ -os fogyasztónk. Mekkora R_0 összellenállású potenciométerre és R_2 sorba kötött ellenállásra van szükség, ha azt akarjuk, hogy az R_1 fogyasztón az ábra szerinti soros szabályozásnál az áramerősség $I_{\max} = 6 \text{ mA}$ és $I_{\min} = 1 \text{ mA}$ között változzon?



Megoldás:

A potenciométer csúszkájának változtatásával az áramerősség

$$I_{\max} = E / (R_b + R_1 + R_2) \text{ és } I_{\min} = E / (R_b + R_1 + R_2 + R_0) \text{ között változik.}$$

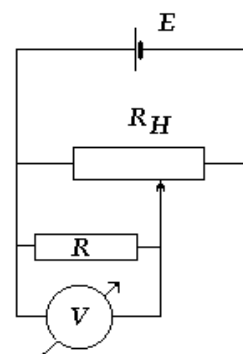
A számértékeket behelyettesítve $R_2 = 2900 \Omega$, $R_0 = 20 \text{ k}\Omega$.

5. $R_H = 2000 \Omega$, $R = 1200 \Omega$,

$E = 4,2 \text{ V}$, a telep belső ellenállása elhanyagolható,

A helipot csúszkáját úgy állítjuk be, hogy az R ellenállással párhuzamos oldala $R_1 = 800 \Omega$.

Mekkora feszültséget mutat a voltmérő? (a voltmérő ideális)



Megoldás:

A kör eredő ellenállása

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_1}} + (R_H - R_1) = \frac{1200 \cdot 800}{1200 + 800} + (2000 - 800) = 480 + 1200 = 1680 \Omega,$$

a telepen folyó áram nagysága $I = E / R_e = 4,2 / 1680 = 0,0025 \text{ A}$.

A voltmérő az R és R_1 ellenállásokkal van párhuzamosan kötve, a rajtuk eső feszültséget méri, és mivel a telepen átfolyó áram nagyságát ismerjük, abból a párhuzamos eredőjükkel számolható ki a rajtuk eső feszültség:

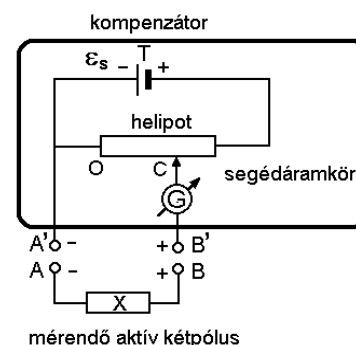
$$U = 0,0025 \cdot 480 = 1,2 \text{ V}.$$

FAKULTATÍV DEMONSTRÁCIÓ / SZORGALMI MÉRÉSI FELADAT

4.3. 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. Általában 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).

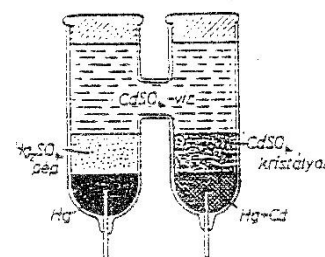


Ha egy hurokba két azonos elektromotoros erejű telepet kötünk egymással szembe, akkor a hurokban nem folyik áram. A kompenzációs feszültségmérés azt jelenti, hogy a mérendő feszültségforrással szembe egy változtatható feszültségű forrást kötünk, melynek a feszültségét úgy állítjuk be, hogy az áramerősség 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 μA -nél kisebb áramerősséggel terhelhető.

A normálem bekötésével kompenzálva a kört

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

$$U_{OC}(\text{normálem}) = \mathcal{E}_0 = I_s R_0;$$

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

$$U_x = \mathcal{E}_0 R_x / R_0 = \mathcal{E}_0 n_x / n_0.$$

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 skálárésznél kisebb hibát kaptunk, számoljunk fél skálárész leolvasási hibával!