

4. EGYENÁRAM, FÉLVEZETŐ

4.A EGYENÁRAMÚ MÉRÉSEK

Előismeret:

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

Ellenállások soros és párhuzamos kapcsolása.

Telep elektromotoros ereje és belső ellenállása, kapocsfeszültség.

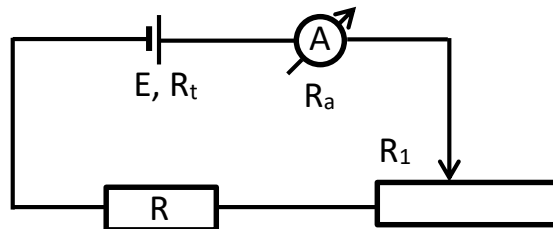
Műszerek bekötése, belső ellenállása.

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

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

4.A.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

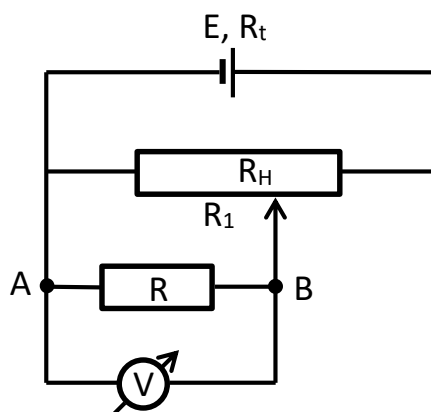
Az R_1 ellenállás értékét változtatva megváltozik az áramkör összellenállása, így tudjuk szabályozni az R ellenálláson átfolyó áram nagyságát. Az áramkörben folyó áram nagysága:

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

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

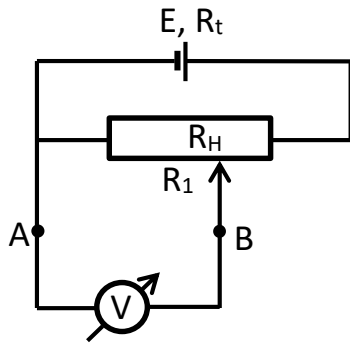
4.A.2. Potenciometrikus feszültség szabályozás, feszültségosztó

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:

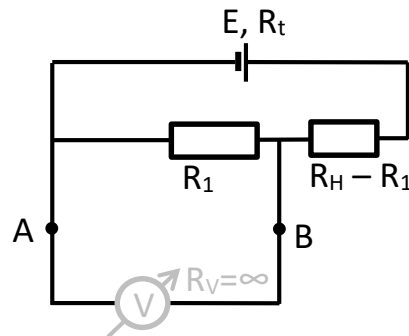


2. ábra: Potenciometrikus feszültség szabályozás

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 ellenállás nélkül



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

Mivel az R_t -t eltávolítottuk és az ideális voltmérő ellenállása végtelen, ezért ilyenkor áram csak a telepen és a helipoton folyik át, és az áram nagysága

$$I = E / (R_t + R_1 + (R_H - R_1)) = E / (R_t + R_H) \tag{2}$$

az R_1 értékétől független.

Az R_1 ellenálláson eső feszültség ekkor

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

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:

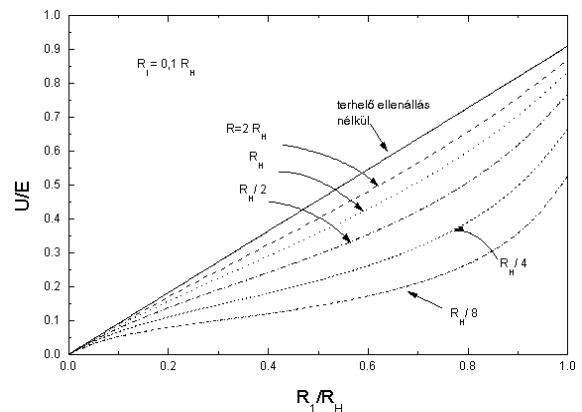
$$I = \frac{E}{\frac{R_1 R}{R_1 + R} + (R_H - R_1) + R_t} \tag{4}$$

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

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

Ilyenkor az A, 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 (egyenes), 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.

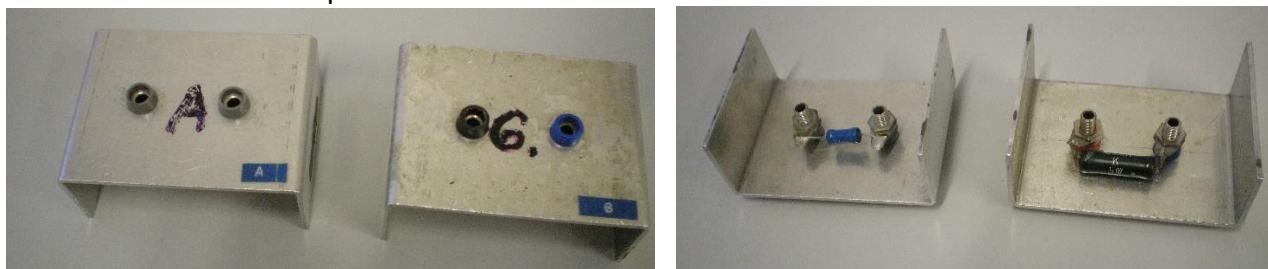
A kijelzett értéket mindig a méréshatárnál jelzett mértékegységgel együtt olvassuk le.

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

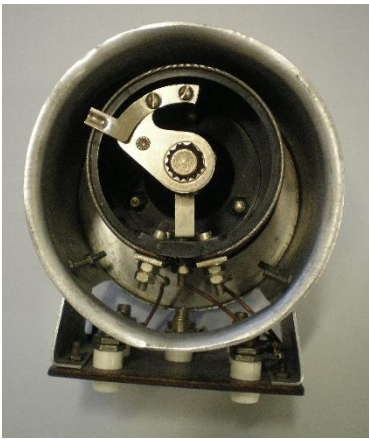
- **R** *Állandó ellenállások panelra szerelve*



7. ábra: Állandó ellenállások

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

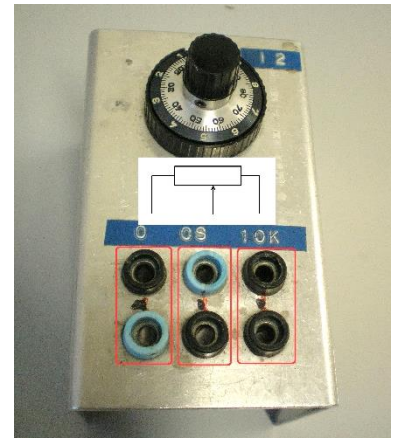
A potenciométer egy olyan ellenállás, aminek nem csak a két végén van egy-egy kivezetése, hanem van egy harmadik is – a csúszó érintkező, vagy röviden „csúszka” –, amelynek helyzete állítható egy tekerővel az ellenállás két vége között tetszőleges helyzetbe.



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. mikrodiállal.



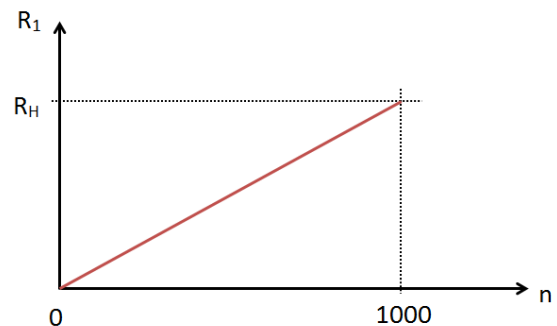
11. ábra: A mikrodiál 230-ra állítva

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.

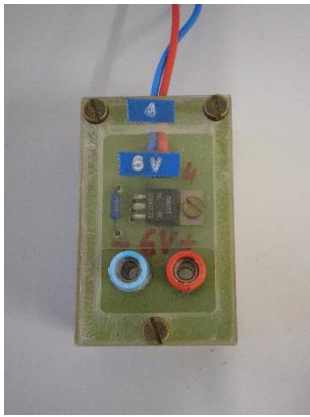
R_1 egyenesen arányos az értékállítón leolvasott n skálarésszel:

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

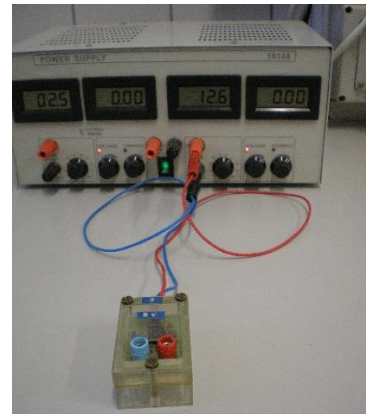


• **T Tápegység**

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



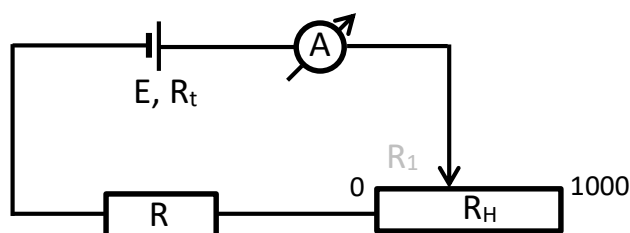
13. ábra: A kis tápegységet tápláló nagy tápegység

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.A.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 összeállítása 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,

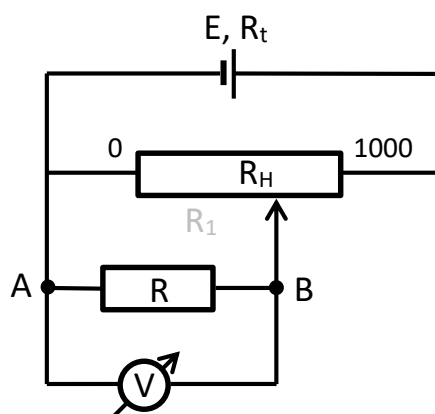
az $1/I - R_1$ grafikon a mért pontok ábrázolásával és az illesztett paraméterű egyenessel,

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.A.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.A.1 feladatban meghatározott értékét)!
- Számoljuk ki az ampermérő R_a belső ellenállását a 4.A.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.

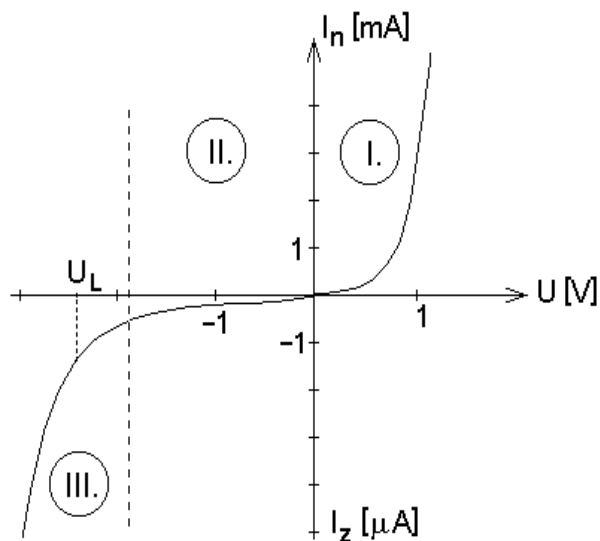
4.B. FÉLVEZETŐ DIÓDA

Félvezetők alatt olyan kristályos szilárd anyagokat értünk, amelyeknek fajlagos elektromos vezetése közönséges hőmérsékleten $10^{-9} - 10^3 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$, azaz kevesebb, mint a fémeké és több, mint a szigetelőké, és amelyekben a vezetést elektronok közvetítik. Vannak elemi félvezetők, mint a szilícium vagy a germánium, és vegyület-félvezetők, pl. a gallium-arszenid (GaAs). A legfontosabb félvezető anyag napjainkban a szilícium.

A félvezető dióda egy olyan áramköri elem, melynek áram–feszültség karakterisztikája nemlineáris. Áramköri szempontból tetszőleges kétpólusú alkatrészt elegendően jellemez, ha megadjuk, hogy valamely rákapcsolt feszültség hatására mekkora áram folyik át rajta. Amennyiben egyenfeszültségről van szó, akkor az alkatrészt jellemző $I(U)$ függvény grafikonját az alkatrész egyenáramú karakterisztikájának nevezzük.

Az ábra egy tipikus dióda karakterisztikát mutat.

A dióda karakterisztikáján megkülönböztetjük az I.-gyel jelölt nyitóirányú, II.-vel jelölt záróirányú, és a III.-mal jelölt letörési tartományt.



16. ábra: Félvezető dióda karakterisztikája

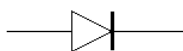
A félvezető dióda aszimmetriáját az magyarázza, hogy a dióda egy egyik oldalán p-típusúra, a másik oldalán n-típusúra adalékolt félvezetőből áll. (p-típusú félvezetőt úgy hozhatunk létre, hogy a 4 vegyértékű szilíciumhoz 3 vegyértékű atomokat – pl. bórt, galliumot, indiumot –, illetve n-típusút úgy, hogy 5 vegyértékű atomokat – pl. arzént, antimont, foszfort – adalékolunk. Tiszta és adalékolt félvezetőkről ld. az olvasmányt). A két tartomány közötti határfelületnél, a p-n átmenetnél a szabad töltéshordozók véletlenszerű termikus mozgásukat végezve átdiffundálnak a p- és n-típusú tartományt elválasztó határfelületen, és mivel az n-típusú részben nagyobb a szabad elektronok koncentrációja, mint a p-típusúban, természetesen több elektron érkezik időegység alatt a p-típusú tartományba, mint onnan vissza. Ugyanígy, a p-típusú részből több lyuk jut át az n-típusúba, mint elektron. A p-n átmeneten átdiffundáló töltéshordozók azonban nem maradnak "szabadok", hanem legnagyobb részük rekombinálódik az azon a részen lévő többségi töltéshordozóval: a p-típusú részben a lyukakkal, n-típusúban az elektronokkal. A rekombinációs folyamat miatt a p-n átmenet mindkét oldalán egy szabad töltéshordozókban szegény kiürített réteg jön létre. A szabad töltéshordozók ugyanakkor töltéssel bíró részecskék. A p-típusú részt mind a beérkező elektronok, mind a megszűnő lyukak negatívvá teszik, míg az n-típusú részben a szabad töltéshordozók diffúziója miatt pozitív többlettöltés halmozódik fel, ennek következtében a p-n átmenet körül a p-típusú oldalon negatív, az n-típusúban pozitív töltéssűrűség jön létre. A töltések elektromos teret hoznak létre, az elektromos tér iránya a pozitív tértöltésű tartománytól a negatív felé, azaz az n-rétegtől a p-réteg felé mutat. Ennek megfelelően az n-típusú tartomány elektromos potenciálja pozitívabb, mint a p-típusú tartományé. A p-n átmeneten kialakult feszültség, a küszöbfeszültség végül megakadályozza a szabad töltéshordozók további átvándorlását az ellentétes típusú tartományba. A küszöbfeszültség értéke függ a dióda anyagától, pl. szilíciumdiódaéknál a tipikus érték 0,6–0,7 V. Nézzük meg, hogyan alkalmazható a félvezető dióda p-n átmenete egyenirányításra! Kapcsoljunk a p-oldalra pozitív, az n-oldalra negatív feszültséget. Ekkor a potenciálgát alacsonyabb lesz és újabb elektronok diffundálhatnak át az n-oldalról a p-oldalra, illetve újabb lyukak a p-oldalról az n-oldalra. Az átdiffundáló töltéshordozók az elektródokhoz jutnak, áram indul meg. Ha a külső feszültség meghaladja a küszöbfeszültséget, a kiürített réteg eltűnik, és a p-n átmeneten semmi nem akadályozza a szabad töltéshordozók áthaladását. Az áramerősség a diódára kapcsolt külső

feszültség növelésével rohamosan nő. A dióda tehát átvezet. Az ilyen irányú feszültséget *nyitófeszültségnek*, az áramot *nyitóirányú áramnak* nevezzük.

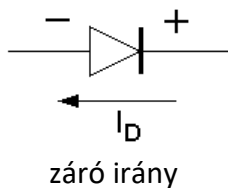
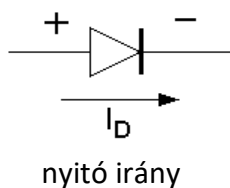
Fordítsuk meg a feszültség irányát. Most a rákapcsolt külső feszültség a belső potenciálgát magasságát növeli, a többségi töltéshordozók diffúziója a határrétegen keresztül gátolva van, a rekombinációs tartomány kiszélesedik, a dióda "lezár". Az ilyen irányú feszültséget *zárófeszültségnek* nevezzük. Ilyenkor is folyik egy kis áram (nagyságrendekkel kisebb, mint nyitóirányban), melyet a kisebbségi töltéshordozók hoznak létre. Ez a *záróirányú áram*. A kisebbségi töltéshordozók koncentrációja az $n_e \cdot n_l = n_i^2$ összefüggésnek megfelelően alakul (ahol n_e a szabad elektronok, n_l a lyukak koncentrációja, n_i pedig a szennyezetlen félvezetőben az adott hőmérsékleten termikus gerjesztéssel létrejövő elektron-lyuk párok koncentrációja, az „intrinsic” koncentráció). Mivel az intrinsic koncentráció erősen hőmérsékletfüggő, a kisebbségi töltéshordozók koncentrációja és a záróirányú áram nagysága is erősen hőmérsékletfüggő.

Növelve a záróirányú feszültséget azt tapasztaljuk, hogy egy bizonyos értékéig az áram gyakorlatilag állandó, de ezen feszültség túlhaladása után rohamosan növekedni kezd. Ezt nevezzük a dióda *letörési feszültségének*. Az áramnövekedés oka az, hogy a határrétegben a kisebbségi töltéshordozók akadálytalanul átjuthatnak, mivel a térerősség az áthaladás irányába mutató erővel hat rájuk, és ez az erő áthaladáskor fel is gyorsítja őket, annál nagyobb mértékben, minél nagyobb a potenciálgát. Egy bizonyos záróirányú feszültségnél már annyira felgyorsulnak, hogy ütközve a kristályrács kötött atomjaival azokról elektronokat szakíthatnak le, további szabad töltéshordozókat hozván létre, majd ezek tovább ütköznek és egy lavinaszerű folyamat indul meg, mely az áram nagymértékű növekedéséhez vezet. Ez az ún. Zener-effektus. A letörési feszültség annál nagyobb, minél kevésbé szennyezett a félvezető. A Zener-tartományban reverzibilisen működő diódákat *Zener-diódáknak* nevezik és feszültségstabilizálásra használják a letörési feszültségnél üzemeltetve.

A dióda áramköri jele:



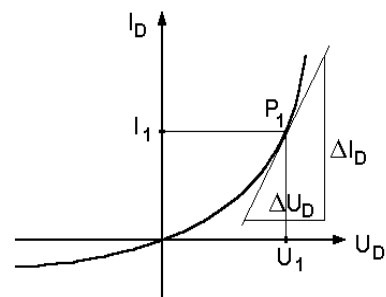
A nyíl mutatja a nyitóiránynak megfelelő irányt, vagyis a fenti ábrán a bal oldalon van a p-oldal és jobb oldalon az n-oldal, és a dióda akkor nyit ki, ha a p (bal) oldal potenciálja nagyobb, mint az n (jobb) oldalé:



Mivel a dióda nemlineáris elem, beszélhetünk a karakterisztika egy P_1 pontjában az

$R_e = U_1 / I_1$ egyenáramú ellenállásáról, illetve az

$R_d = \left. \frac{dU_D}{dI_D} \right|_{P_1}$ dinamikus (differenciális) ellenállásáról.



17. ábra: Dióda differenciális ellenállása

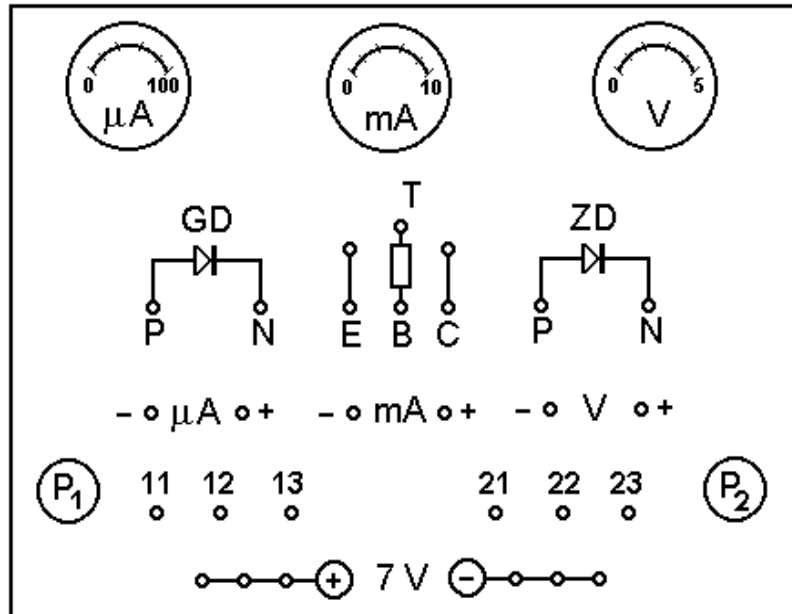
Utóbbi jobban jellemzi a dióda viselkedését egy adott tartományban, ha kissé megváltozik a feszültség vagy az áram nagysága.

MÉRÉSI FELADAT**Félvezető dióda karakterisztikájának mérése**

A mérés célja manuális forrasztási gyakorlat szerzése és a nemlineáris karakterisztika kimérése.

Eszközök:

mérőpanel, forrasztópáka, drótok, forrasztóon, mérőműszerek.



18. ábra: Mérőpanel dióda karakterisztikájának méréséhez.

Jelmagyarázat:

GD: germánium dióda, T: tranzisztor, ZD: Zener-dióda,

P: dióda p-réteg kivezetése, N: dióda n-réteg kivezetése,

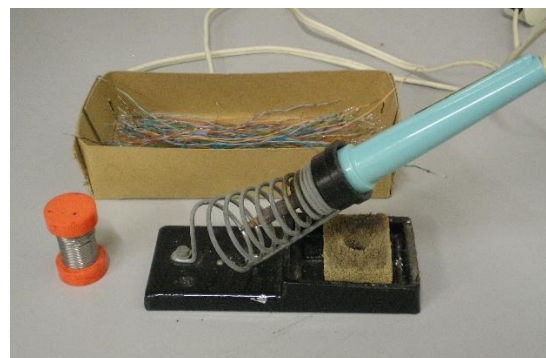
E, B, C: az npn tranzisztor emitter, bázis és kollektor kivezetései;

μA : a mikroampermérő kivezetései, mA: a milliamppermérő kivezetései, V: a voltmérő kivezetései,

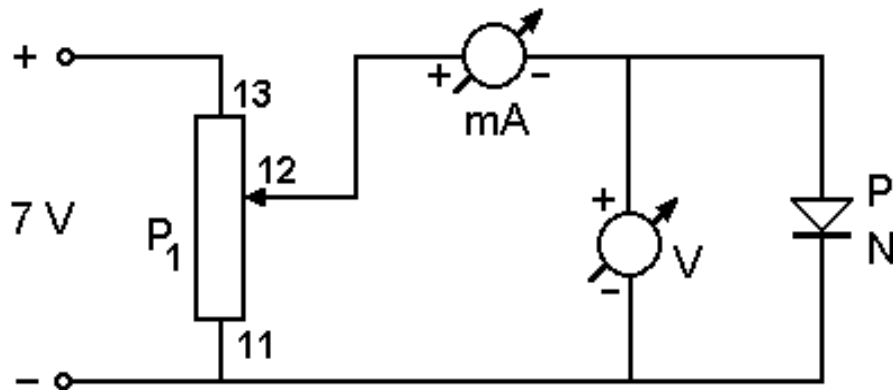
P_1 és P_2 : potenciométerek,

11, 12, 13, 21, 22, 23: a P_1 és P_2 potenciométerek kivezetései;

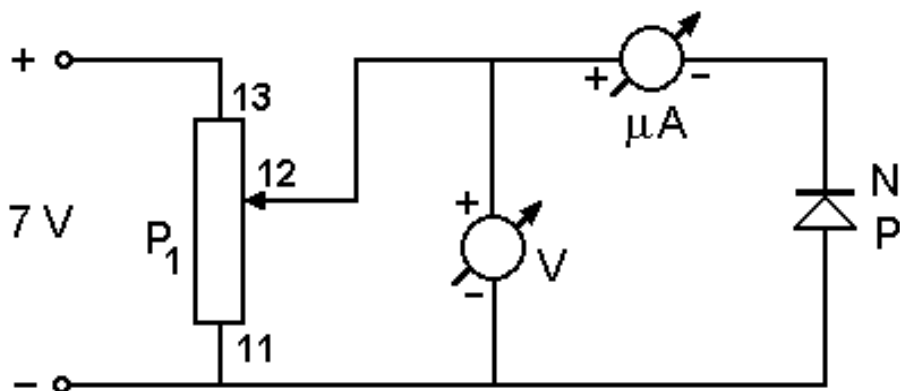
7 V: a tápfeszültség kivezetései.



19. ábra: Mérőpanel, forrasztóon, páka, vezetékek.



20. ábra: Kapcsolás a nyitóirányú dióda karakterisztika méréséhez



21. ábra: Kapcsolás a záróirányú dióda karakterisztika méréséhez

(Vegyük észre, hogy ezekben az áramkörökben a diódára jutó feszültség szabályozását az előző feladatban megismert feszültségosztóval oldjuk meg!)

A nyitó-, majd a záróirányú karakterisztika mérésére alkalmas kapcsolást egy panelen forrasztással állítjuk össze. Az áramköri elemek kivezetései a panel hátoldalán egy-egy lyukhoz vannak vezetve, ezeket azonosítjuk a 18. ábráról (ami a panelen is megtalálható), és kötjük össze vezetékekkel. Mivel forrasztáskor nehezebb elágazást készíteni, mint banándugókkal, érdemes kihasználni, hogy a tápegység sarkainak 4-4 kivezetése is van, így az áramköri rajzok alsó felének elágazásait ezek segítségével oldjuk meg.

Forrasztás előtt az értékesebb holminkat pakoljuk el az asztalról, és terítsünk ki egy kis terítőt, amire a panelt helyezzük. A mérésvezető beköti a panel vezetékét a megfelelő tápegységbe. A panelen a kapcsoló legyen lekapcsolva. Csatlakoztassuk a pákát a panel jobb alsó sarkán található aljzatra, és nedvesítsük meg a szivacsot. Amikor a páka meleg, ónozzuk végig néhányszor a hegyét és törölgesdük meg a szivacson. A forrasztást úgy végezzük, hogy a páka hegyét a lapos felületével a lyukra tesszük, ezzel megolvastjuk az ónpöttyöt, ekkor merőlegesen bedugjuk a vezetékét kb. 4-5 mm-nyire (közben a páka hegyét megtámaszthatjuk a lyuk szélén), majd elveszük a pákát, és a vezetékét addig fogjuk, amíg az ón meg nem szilárdul. Ha nem lenne elég ón a vezeték körül, akkor töltsük ki ónnal a lyukat. A vezetékét ugyanígy tudjuk kiforrasztani is, de ilyenkor legyünk nagyon óvatosak, csak lassan húzzuk ki a vezetékét, nehogy a megolvadt ón fröcsköljön! A páka hegyét időnként újra és újra ónozni és törölgetni kell.

Mérési feladat:

Készítsük el a 20. ábra szerinti kapcsolást a nyitó irányú karakterisztika méréséhez! A panelen néhány vezeték már be van forrasztva. Azonosítsuk, melyek ezek, és keressük meg, mely vezetékek hiányoznak még az áramkörből, ezeket forrasszuk be. Ha kész a kapcsolat, mutassuk meg a mérésvezetőnek.

Szorgalmi feladat:

Kössünk a mA-mérő és a voltmérő melletti kivezetésekbe egy-egy univerzális műszert, ezekről fogjuk leolvasni az áram és a feszültség értékét (nem a panelen található mutatós műszerekről, mert azok nem elég pontosak). (A feszültségmérő esetén a kivezetés párhuzamos, az árammérő esetén a kivezetés soros, így az oda csatlakoztatott univerzális műszerek ugyanazt a feszültséget, ill. áramot mérik.) A voltmérőt állítsuk 2 V-os méréshatárba, az ampermérőt pedig 20 mA-es méréshatárba. Kapcsoljuk fel a kapcsolót a panelen, és a potenciométer segítségével állítsuk az áramot 2 mA-ig ~0,5 mA-enként, majd 10 mA-ig ~1 mA-enként. Írjuk fel a ténylegesen beállított áramot és a mért feszültséget.

A záró irányú karakterisztika mérésére alkalmas áramkör össze van már forrasztva az egyik panelen. Kössünk a μ A-mérő és a voltmérő melletti kivezetésekbe egy-egy univerzális műszert. A voltmérőt állítsuk 20 V-os méréshatárba. Az áram mérésénél két lehetőségünk van:

1: Kihúzzuk az átkötő vezetékét a panelből és a helyére bekötjük az ampermérőt μ A-mérőként (mint ahogy nyitó irányban tettük a mA-mérőnél), ekkor a legkisebb méréshatárban 1 μ A pontossággal tudjuk mérni az áramot.

2: A panelben benne hagyjuk az átkötő vezetékét, amely egy 1 k Ω -os ellenállást tartalmaz, és a műszerünket feszültségmérőként párhuzamosan rákötjük erre a vezetékre. A műszert a legkisebb feszültség-méréshatárba állítjuk, ahol tized mV-okat tudunk leolvasni. A leolvasott feszültség számértéke a μ A-ben mért áram számértékének felel meg, mivel az 1 k Ω -os ellenállás sorosan van kötve a panelen lévő ampermérővel, és $1 \mu\text{A} \cdot 1 \text{k}\Omega = 1 \text{mV}$.

A záróirányú karakterisztika felvételéhez állítsuk a feszültséget ~1 V-onként 5 V-ig és mérjük meg az áramot!

Kiértékelés: szorgalmi feladat!

– Rajzoljuk meg a dióda $I(U)$ karakterisztikáját! Ábrázoljuk a nyitó- és a záróirányt közös koordinátarendszerben. A nyitóirányú áramot és feszültséget pozitívként, a záróirányú áramot és feszültséget negatívként értelmezzük (a műszerek bekötésétől, az onnan leolvasott előjelektől függetlenül). Mivel a nyitó- és a záróirányú áram között nagyságrendi eltérés van, készítsünk eltérő skálát a pozitív, ill. negatív irányba.

– Határozzuk meg a dióda R_e egyenáramú és R_d dinamikus ellenállását $I = 7 \text{ mA}$ -nél!

A dinamikus ellenállás meghatározásához húzzuk meg az érintőt az adott pontban, olvassuk le grafikusán a meredekségét és számoljuk ki $R_d = \Delta U_D / \Delta I_D$ -t.

– A nyitó- ill. záróirányú karakterisztika mérésére alkalmas áramkörben nem csak a diódára adott feszültség polaritása és az ampermérő méréshatára eltérő, hanem az is, hogy hogyan csatlakoznak a műszerek a diódához. Magyarázzuk meg, miért volt erre szükség! (Segítség: a műszerek nem tekinthető ideálisnak ebben az esetben.)

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

Az alábbi kérdések, feladatok, illetve ehhez hasonlóak várhatóak még a beugró zh-ban:

Rövid elméleti kérdések:

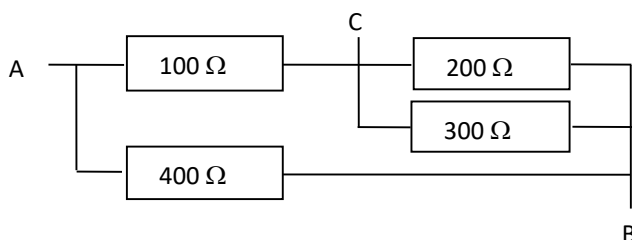
Igaz-e, hogy*

- 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 legnagyobbnál, de nagyobb a legkisebbnél?
- voltmérőt párhuzamosan kell bekötni arra két pontra, ami között mérni akarjuk a feszültséget?
- egy telep kapcsolófeszültsége (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 egyikén 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:

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

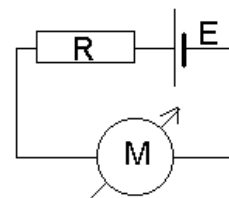
c) B-ből indulva három ágon juthatunk el C-be: egyikén a 200 Ω-os, másikon a 300 Ω-os ellenállás van, a harmadikon pedig a 400 Ω-os és a 100 Ω-os ellenállás sorosan kötve, tehát

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

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 $10 \, \Omega$?



Megoldás:

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

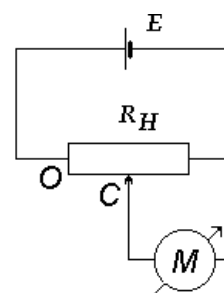
b) Ekkor a körben folyó áram

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

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

A csúszó a helipot felénél áll.

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



Megoldás:

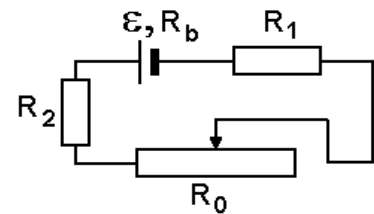
a) Voltmérőként: ideális voltmérőn nem folyik áram, vagyis most áram csak a potenciométeren folyik: $10 \text{ V} / 1000 \, \Omega = 0,01 \text{ A}$.

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

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

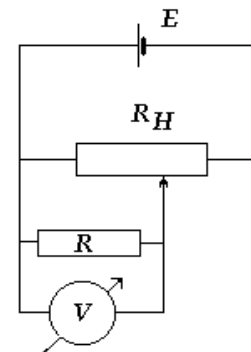
A számértékeket behelyettesítve $R_2 = 2900 \Omega$, $R_0 = 20 \text{ k}\Omega$.

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.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 .

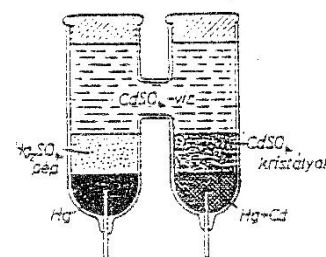
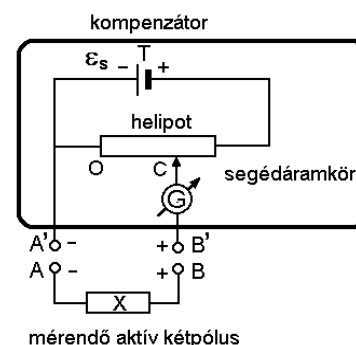
Az olyan aktív kétpólus esetében (pl. galvánelem), melynek nagy a belső ellenállása, vagy csak nagyon kis áramerősséggel terhelhető, különben „kimerül” (pl. elektrokémiában az **elektrodpotenciálok mérésénél**), olyan módszert kellene választani feszültségméréshez, melynél nem folyik áram a mérendő feszültségforráson keresztül. Erre ad lehetőséget a **kompenzációs elv**, amikor a mérendő feszültséget egy ismert, standard feszültséggel hasonlítjuk össze. 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 szemben, 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 feszültségétalonként 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 mérésorozat kiértékelésénél fél skálarésznél kisebb hibát kaptunk, számoljunk fél skálarész leolvasási hibával!