

## 4. EGYENÁRAM, FÉLVEZETŐ

### 4.A EGYENÁRAMÚ MÉRÉSEK

**Előismeret:** Elektromos áram, potenciál, feszültség, ellenállás. Az Ohm-törvény. Ellenállások soros és párhuzamos kapcsolása. Az elektromos áram teljesítménye.

Telep elektromotoros ereje és belső ellenállása, kapcsolófeszültség.

Műszerek bekötése, belső ellenállása.

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

**A gyakorlat célja:** Ismerkedés az áram- és feszültségmérő műszerekkel; feszültségosztó működése.

**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 csúszkája és vége között az ellenállás arányos a két pont közötti ellenállás hosszával ( $\rho$  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  $R_i$  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).

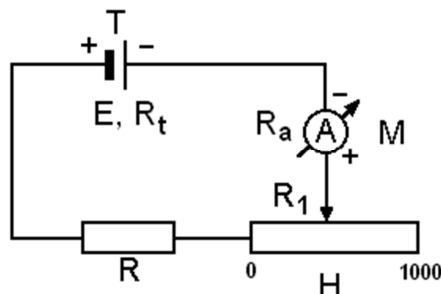
Mérjük meg a két állandó ellenállás értékét, és írjuk fel a jelüket (betű-, ill. számjel) és a mért értékeket az adatlapra.

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).

### 4.A.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). 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  $1/I$ -t  $R_1$  függvényében (mm-papíron)!
- Határozzuk meg az  $1/I - R_1$  egyenes paramétereit a legkisebb négyzetek módszerével!

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

- 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:

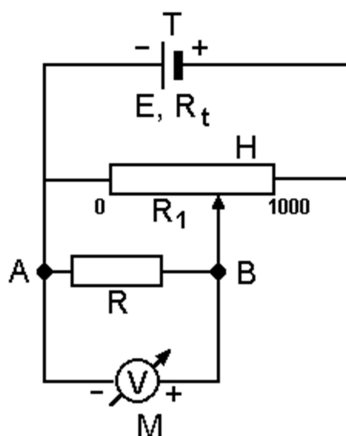
az  $R_1 - I - 1/I$  táblázat az adatlapon kitöltve,  
 az  $1/I - R_1$  grafikon a mért pontok ábrázolásával és az illesztett paraméterű egyenessel,  
 a számítások részletei: a meredekség és a tengelymetszet számításához szükséges **átlagok** értéke, a meredekség és a tengelymetszet értéke (mértékegységekkel 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 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

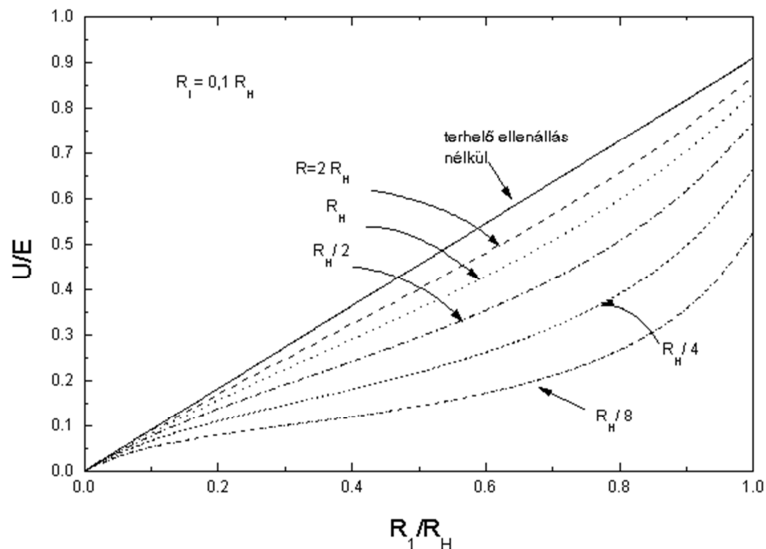
$$U_{AB}(R_1, \infty) = E \frac{R_1}{R_t + R_H}. \quad (3)$$

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 mikrodiálállásoknál!  $U_{AB}(R_1, \infty)$

### Kiértékelés:

- Ábrázoljuk a mért  $U_{AB}(R_1, R)$  és  $U_{AB}(R_1, \infty)$  értékeket az  $R_1$  ellenállás függvényében közös koordináarendszerben!
- Számítsuk ki a telep  $R_t$  belső ellenállását a terheletlen esetben mért három  $U_{AB}(R_1, \infty)$  értékből lineáris regresszióval:

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

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

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 4.A.1 feladatban meghatározott értékét)!

- Számoljuk ki az ampermérő belső ellenállását a 4.A.1 feladatban kiszámolt  $R_m$ -et felhasználva.

### Beadandó:

- a mérési eredmények táblázatosan és grafikusan ( $R_1$ ,  $U_{AB}(R_1, R)$ ,  $U_{AB}(R_1, \infty)$ ),
- 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.

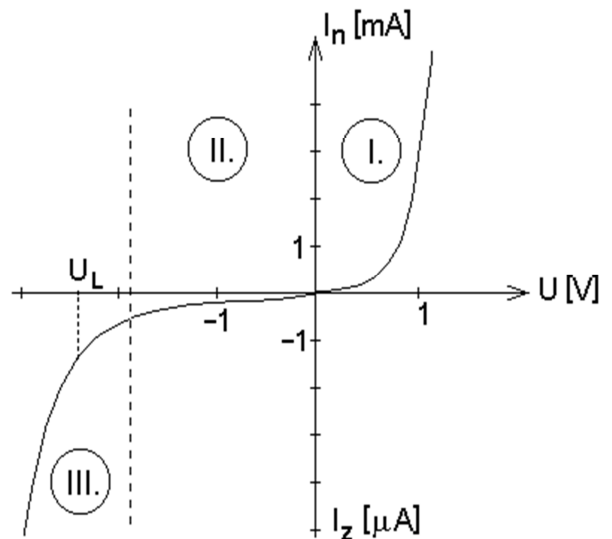
A félvezető dióda egy olyan áramköri elem, melynek áram-feszültség karakterisztikája nemlineáris. Áramköri szempontból tetszőleges kétpólusú alkatrészt elegendően jellemez, ha megadjuk, hogy valamely rákapcsolt feszültség hatására mekkora áram folyik át rajta. Amennyiben egyenfeszültségről van szó, akkor 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.

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. bört, galliumot, indiumot –, illetve n-típusú 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 az 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 a dióda anyagától függ, egyéb tényezőktől közel független. Szilíciumdiódáknál a tipikus érték 0,7 V.

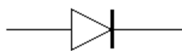
Nézzük meg, hogyan alkalmazható a félvezető dióda p-n átmenete egyenirányításra! Kapcsoljunk a p-oldalra pozitív, az n-oldalra negatív feszültséget. Ekkor a potenciálgát alacsonyabb lesz és újabb elektronok diffundálhatnak át az n-oldalról a p-oldalra, illetve újabb lyukak a p-oldalról az n-oldalra. 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.



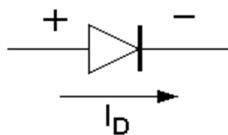
Fordítsuk meg a feszültség irányát. Most a rákapcsolt külső feszültség a belső potenciálgát magasságát növeli, a többségi töltéshordozók diffúziója a határreteken keresztül gátolva van, a rekombinációs tartomány kiszélesedik, a dióda "lezár". Az ilyen irányú feszültséget *zárófeszültségnek* nevezzük. 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 túllhaladása után rohamosan növekedni kezd. Ezt nevezzük a dióda *letörési feszültségének*. Az áramnövekedés oka az, hogy a határretegben 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.

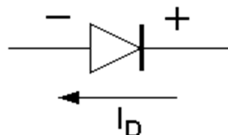
A dióda áramköri jele:



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:



nyitó irány

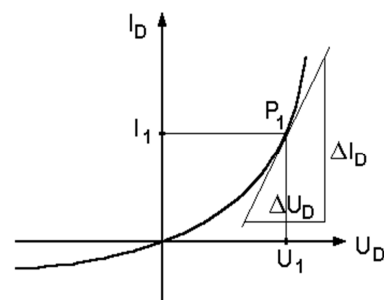


záró irány

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.



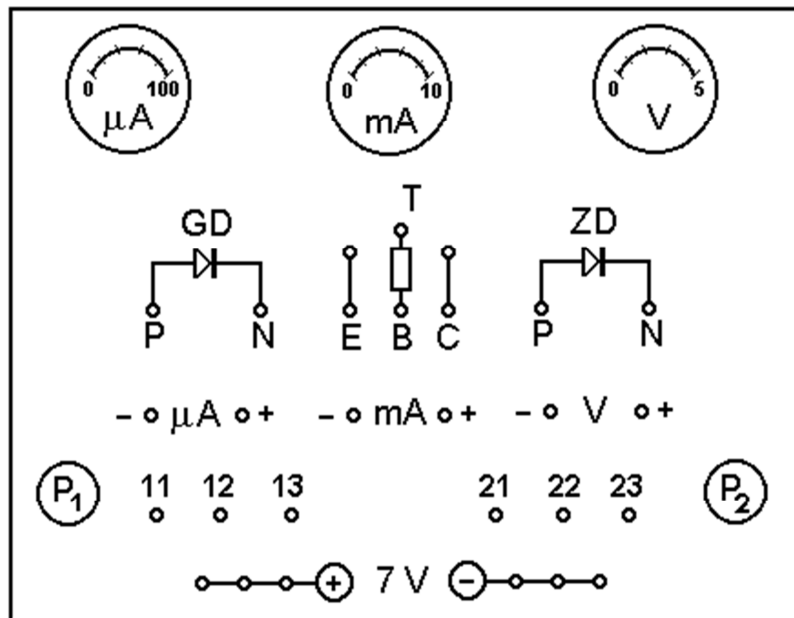
Utóbbi jobban jellemzi a dióda viselkedését egy adott tartományban, ha kissé megváltozik a feszültség vagy az áram nagysága.

### Mérés: Félvezető dióda karakterisztikájának mérése

A mérés célja az elméleti részben leírtak kézzelfoghatóvá tétele, ill. manuális forrasztási gyakorlat szerzése.

### Eszközök:

mérőpanel, forrasztópáka, drótok, forrasztóórn, mérőműszerek



A mérőpanel

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;

$\mu\text{A}$ : a mikroampermérő kivezetései, mA: a milliampermérő 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.

### Mérési feladat:

A nyitó-, majd a záróirányú karakterisztika mérésére alkalmas kapcsolást egy panelen forrasztással állítjuk össze. (Vegyük észre, hogy a diódára jutó feszültség szabályozását az előző feladatban megismert feszültségosztóval oldjuk meg!)

Az áramköri elemek kivezetései a panel hátoldalán egy-egy lyukhoz vannak vezetve, ezeket azonosítjuk a fenti 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.

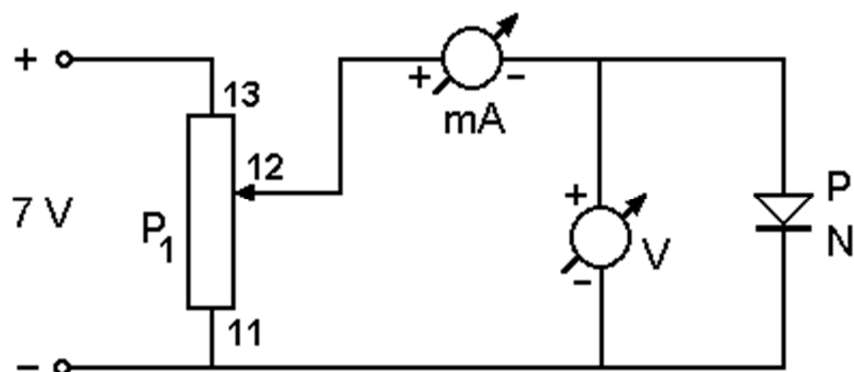
Forrasztás előtt az értékesebb holminkat pakoljuk el az asztról, és terítsünk ki egy kis terítőt, amire a panelt helyezük. A mérésvezető beköti a panel vezetékét a megfelelő tápegységbe. A panelen a kapcsoló legyen lekapcsolva. Csatlakoztassuk a pákát a panel jobb alsó sarkán található aljzatra, és nedvesítsük meg a szivacsot. Amikor a páka meleg, ónozzuk végig néhányszor a hegyét és törölgessük 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 elvesszük 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.

Ha kész a kapcsolás, mutassuk meg a mérésvezetőnek.

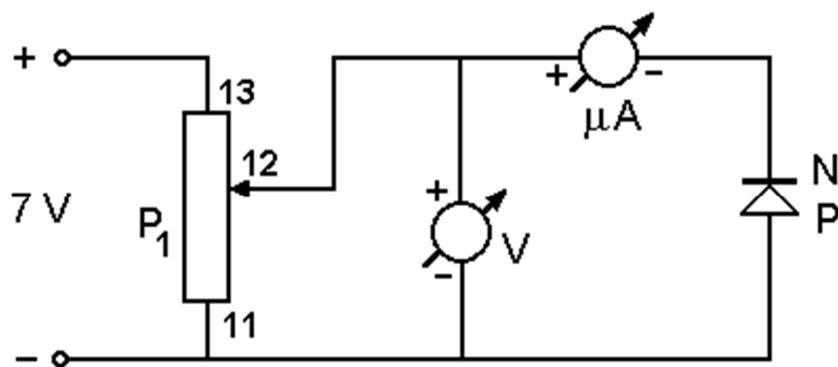
Az áram és a feszültség értékét nem a panelen található műszerekről olvassuk le, hanem a pontosabb mérés érdekében a műszerek melletti kivezetésekbe egy-egy univerzális műszert kötünk. (A feszültségmérő esetén a kivezetés párhuzamos, az árammérő esetén a kivezetés soros, így az oda csatlakoztatott univerzális műszerek ugyanazt a feszültséget, ill. áramot mérik.)

Kapcsoljuk fel a kapcsolót a panelen, és a potenciométer állításával mérjük meg a dióda nyitó-, majd a záróirányú karakterisztikáját!



*Kapcsolás a nyitóirányú dióda-karakterisztika méréséhez*

Nyitó irányban a voltmérőt állítsuk 2 V-os méréshatárba, az ampermérőt pedig 20 mA-es méréshatárba. A potenciométer segítségével az áramot állítsuk 2 mA-ig ~0,5 mA-enként, majd 10 mA-ig ~1 mA-enként. Írjuk fel a ténylegesen beállított áramot és a mért feszültséget.



*Kapcsolás a záróirányú dióda-karakterisztika méréséhez*

Záró irányban 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  $\mu\text{A}$ -mérőként (mint ahogy nyitó irányban tettük a mA-mérőnél), ekkor a legkisebb méréshatárban  $1 \mu\text{A}$  pontossággal tudjuk mérni az áramot.

2: A panelben benne hagyjuk az átkötő vezetékét, amely egy  $1 \text{ k}\Omega$ -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  $\mu\text{A}$ -ben mért áram számértékének felel meg, mivel az  $1 \text{ k}\Omega$ -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:

– Rajzoljuk meg a dióda  $I(U)$  karakterisztikáját! Ábrázoljuk a nyitó- és a záróirányt közös koordináta-rendszerben. 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.

### Szorgalmi feladat:

*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

Minimumkérdések a beugró zh-ban:

- Ohm-törvény
- soros és párhuzamos kapcsolás; eredő ellenállás
- $R = \rho \cdot \ell / A$
- feszültség, potenciál; az áram iránya
- telep elektromotoros ereje, belső ellenállása, kapocsfeszültsége
- áram- ill. feszültségmérő bekötése; ideális műszerek
- n- és p-típusú félvezetők
- a mérések felsorolása, elve, a szükséges eszközök és alkalmazandó képletek.

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?
- egy reális (azaz nem zérus belső ellenállású) feszültségforrásra rákötve egy változtatható ellenállást, az ellenálláson a teljesítmény csökkeni fog az ellenállás növelésével, mert kisebb áram folyik át rajta?
- 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?
- szilíciumhoz bört adagolva n-vezetővé válik?

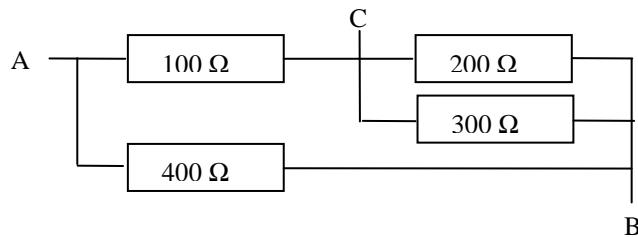
\*A válaszokhoz indoklást is kérünk!

Rajzolja le egy félvezető dióda jelét, írja oda, melyik oldal az n-típusú, és rajzolja be, hogyan kell feszültséget rákötni, hogy nyitó irányban legyen (azaz melyik oldal legyen pozitívabb potenciálon).

Sorolja fel, hogy milyen típusú félvezetőket ismer, és milyen töltéshordozók játszanak szerepet bennük. Mire jó a félvezető dióda? Rajzolja fel a dióda karakterisztikáját: az  $I(U)$  függvényt.

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  $100 \Omega$ -os ellenállás sorosan van kötve  $200 \Omega$ -os és a  $300 \Omega$ -os ellenállás párhuzamos eredőjével, és az egész párhuzamosan van kötve a  $400 \Omega$ -os ellenállással:

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

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

$$\frac{200 \cdot 300}{200 + 300} = 120 \Omega, 120 + 400 = 520 \Omega, R_{AC} = \frac{520 \cdot 100}{520 + 100} \approx 83,9 \Omega.$$

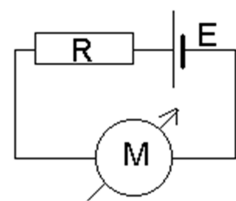
c) B-ből indulva három ágon juthatunk el C-be: egyiken a  $200 \Omega$ -os, másikon a  $300 \Omega$ -os ellenállás van, a harmadikon pedig a  $400 \Omega$ -os és a  $100 \Omega$ -os ellenállás sorosan kötve, tehát

$$\frac{1}{R_{BC}} = \frac{1}{200} + \frac{1}{300} + \frac{1}{400 + 100} \rightarrow R_{BC} \approx 96,8 \Omega.$$

2. A telep elektromotoros ereje  $E = 10 \text{ V}$ , belső ellenállása  $2 \Omega$ ;  $R = 88 \Omega$ ;  $M$  egy univerzális V-A- $\Omega$  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  $200 \text{ mA}$ -es méréshatárú árammérő állásba kapcsoljuk, ha ekkor a belső ellenállása  $10 \Omega$ ?



Megoldás:

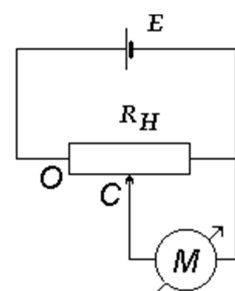
a) Ha  $M$  ideális voltmérő, akkor nem folyik áram a körben, és a műszer a telep elektromotoros erejét mutatja, azaz  $10 \text{ V}$ -ot.

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.

A csúszó a helipot felénél áll.

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



Megoldás:

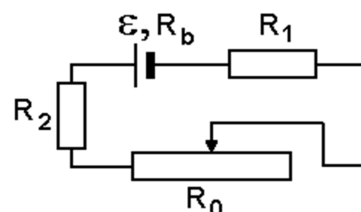
a) Voltmérőként: ideális voltmérőn nem folyik áram, vagyis most áram csak a potenciométeren folyik:  $10 \text{ V} / 1000 \Omega = 0,01 \text{ A}$ .

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

b) Ampermérőként: ideális ampermérő ellenállása zérus, vagyis most rövide 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 csúszójának változtatásával az áramerősség

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

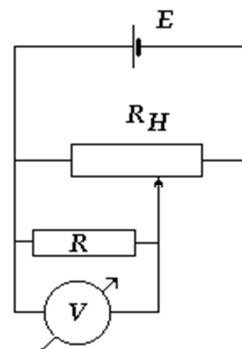
A számértékeket behelyettesítve  $R_2 = 2900 \Omega$ ,  $R_0 = 20 \text{ k}\Omega$ .

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

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

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

6. (DRS 19.27.) Három darab, egyenként  $1,5 \text{ V}$  elektromotoros erejű és  $4,5 \Omega$  belső ellenállású elemet sorosan kötve  $11 \Omega$ -os külső ellenállásra kötünk. Mekkora a kapocsfeszültség és az áramerősség?

Megoldás:

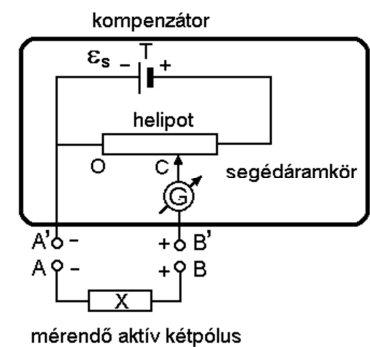
$I = (3 \cdot 1,5) / (3 \cdot 4,5 + 11) = 4,5 / 24,5 \approx 0,184 \text{ A} = 184 \text{ mA}$ ,

a kapocsfeszültség  $U_k = E - I \cdot R_b = (3 \cdot 1,5) - 0,184 \cdot (3 \cdot 4,5) \approx 2,02 \text{ V}$  (elemenként  $0,673 \text{ V}$ )

### 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 $\Omega$ .

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).

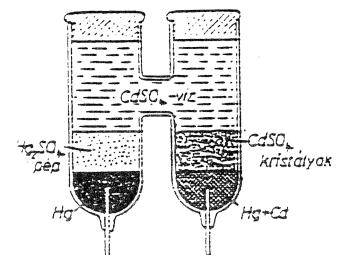


Ha egy hurokba két azonos elektromotoros erejű telepet kötünk egymással szembe, akkor a hurokban nem folyik áram. A kompenzációs feszültségmérés azt jelenti, hogy a mérendő feszültségforrással szembe egy változtatható feszültségű forrást kötünk, melynek a feszültségét úgy állítjuk be, hogy az áramerősség 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,  $I_s = \epsilon_s / (R_H + R_t)$ , 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  $\epsilon_0$  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  $\mu A$ -nél kisebb áramerősséggel terhelhető.



A normálem bekötésével kompenzálva a kört

az  $R_{OC}$  ellenállás értéke  $R_0$ , ill. a leolvasott mikrodiálállás  $n_0$ , 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 mikrodiálállás  $n_x$ , 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  $\mu\text{A}$  nagyságrendű.

### **Kiértékelés:**

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