

JOBB MA EGY DEPREZ, MINT HOLNAP EGY MULTI

avagy mutatós kísérletek mutatós műszerekkel

Jendrék Miklós

Boronkay György Műszaki Középiskola
és Gimnázium, Vác

A hagyományos műszerek, fizikai eszközök, hétköznapi használati tárgyak – viszonylagos egyszerűségüknel fogva – jó lehetőséget kínálnak működésük megismeréséhez, a bennük fellelhető, illetve az általuk bemutatható fizikai jelenségek tanulmányozására. Ezért az idei (53.) Középiskolai Fizikatanári Ankétára is hagyományos eszközökből és a hozzájuk kapcsolódó kísérletek közül válogattam. Két *Deprez*-műszerre esett a választásom.

A forgótekerces (Deprez) műszerek (1. ábra) felépítése a következő: egy patkómágnese pólusai között tengelyezett tekerces helyezkedik el. A tekerceshez, ami az áram mágneses hatása miatt a mágneses mezőben elfordul, egy mutató van rögzítve. Az áramerősséggel arányos forgatónyomatékot spirálrugó deformációja tartja egyensúlyban [1–3].

Műszereinkkel kapcsolatos vizsgálódásainkat azzal kezdjük, hogy meghatározzuk azok méréshatárát és belső ellenállását. Ezt követően olyan kis áramok keltésére alkalmas villamos energiaforrásokat, áramköröket hozunk létre, amelyek közvetlen csatlakoztatása sem tesz kárt műszereinkben. Soros, illetve párhuzamos kapcsolás alapján megpróbáljuk kideríteni, hogy műszereink mennyire közelítik meg az ideálst. Végül alaplóműszerünk segítségével ohmmérőt készítünk. Megvizsgáljuk a különböző kapcsolások sajátosságait, alkalmazhatóságukat.

Belső ellenállás, méréshatár

Az alaplóműszer belső ellenállását legegyszerűbben ohmmérővel mérhetjük meg. Ez a művelet azonban kellő elővigyázatosságot igényel. Ugyanis az ohmmérő saját feszültségforrást tartalmaz. Ez biztosítja, hogy az ismeretlen ellenálláson megfelelő, a méréshez szükséges nagyságú áram folyjon. Állandó terhelő ellenállás mellett, a söntölő hatás miatt, az ohmmérő kapcsain mérhető feszültség a méréshatár növelésével csökken. Erről meggyőződhetünk, ha összekapcsolunk egymással egy ohmmérőt és egy (digitális) voltmérőt. A voltmérő 0,55 V-ot mutatott az ohmmérő méréshatárától függetlenül mindaddig, amíg nem kapcsolom párhuzamosan a műszerekre még egy néhány kiloohm nagyságú ellenállást. Ekkor, ahogy növeltem az ohmmérő méréshatárát, rendre kisebb feszültsé-

geket mértem. Kellő tapasztalatgyűjtést követően, a polaritás figyelembevételével, a nagy méréshatárra állított ohmmérőt bátran ráköthetjük az érzékeny mikroampermérőre és lemérhetjük annak ellenállását. A méréshatár csökkentésével elérjük műszerünk mutatójának maximális kitérését. Ezt követően leolvassuk a műszer kapcsain eső feszültséget. Az általam vizsgált alaplóműszer belső ellenállása $2\text{ k}\Omega$, teljes kitérésnél $0,2\text{ V}$ feszültség esik rajta. A kapott adatokból következik, hogy a Deprez-alaplóműszer egyaránt alkalmas áram-, valamint feszültségmérésre. Az alábbi kísérletekhez használt műszer méréshatára: $100\text{ }\mu\text{A}$, illetve $0,2\text{ V}$.

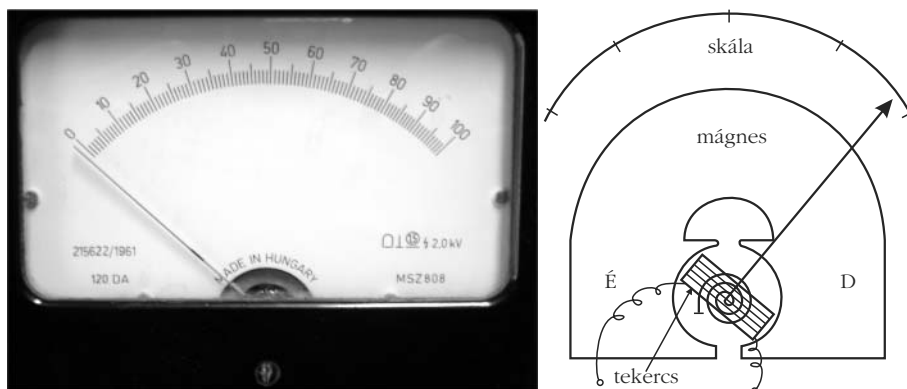
Mielőtt eldöntenénk, hogy melyik feladat – feszültség- vagy árammérés – ellátására alkalmasabbak műszereink, kapcsoljunk rájuk olyan feszültségforrásokat, amelyek millivoltsos feszültségek keltésére képesek.

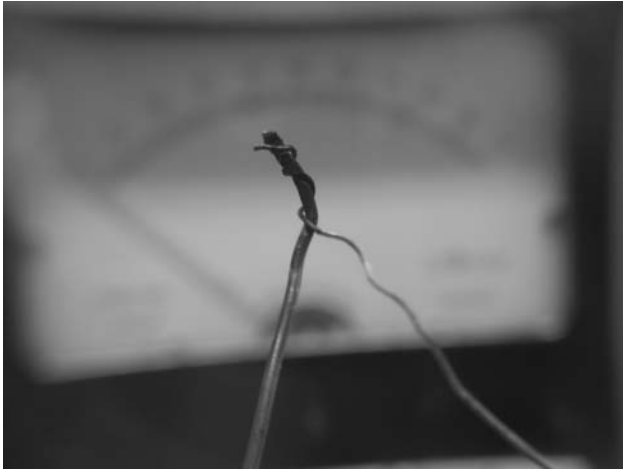
Kisfeszültségű források

1. *Készítsünk termoelemet.* A termoelemek két különböző anyagú, egyik végükön összeforrasztott drótból állnak. Ez a pont a termoelem úgynevezett „érzékelő-pontja” (2. ábra). A leggyakrabban alkalmazott és iskolai felhasználásra is javasolható termoelemek vas- és konstantán-, illetve réz- és konstantándrótból készülnek [4]. (A konstantán 55% Cu és 45% Ni ötvözet.) A vas-konstantán termoelemek $-200\text{ }^\circ\text{C}$ – $+1000\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet-tartományban használhatók. A forrasztási pont hőmérsékletét $1\text{ }^\circ\text{C}$ -kal növelve $0,00005\text{ V}$ termofeszültség-növekedés adódik, tehát a termofeszültség hőmérsékletfüggő.

A réz-konstantán termoelem -200 és $+600\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérséklet-határok közt alkalmazható, $1\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékletváltozásra $0,00004\text{ V}$ feszültségváltozást ad. Tudományos vizsgálatoknál $+1700\text{ }^\circ\text{C}$ -ig platina-platinaró-

1. ábra. Deprez-műszer





2. ábra. A termoelem „érzékelőpontja”

dium, illetve a nikkel-krómnikkel (0 °C-tól +1200 °C-ig) termoelemeket használják [5, 6]. A termoelemet – a polaritás figyelembevételével – a műszerre kötjük, és érzékelőpontját gyufa, öngyújtó vagy gyertya lángjával melegítjük. Megfigyelhetjük, közben hogyan változik a műszer mutatójának kitérése (3. ábra).

2. *Készítsünk galvánelemet.* Ha nincs kéznél citrom, uborka, alma vagy burgonya, megteszi egy cserép virág is. Szúrjunk a földbe egy réz- és egy vaselektrodát. A réz lehet egy kulcs, a „vas” például egy krokodilcsipesz (4. ábra). Az elektródák anyagával, távolságával, a talaj nedvességtartalmával változtatható a feszültség. Legalább ilyen jó elemet kapunk, ha ezután az elektródákat egy pohárba töltött csapvízbe helyezük.

3. *Próbálkozzhatunk fotoeffektussal is!* Kiváló erre a célra, például a Tesla 1pp 75 típusú félvezető fotodióda [7] (5. ábra). Ugyanakkor elő is állíthatjuk a célnak megfelelő átalakítót egy közepes vagy nagy teljesítményű tranzisztorból (6. ábra). П213 típusú tranzisztor tetejét leválasztottam (lefűrészeltem), és a mikroampermérőhöz a bázis-kollektor átmenetet kapcsoltam.

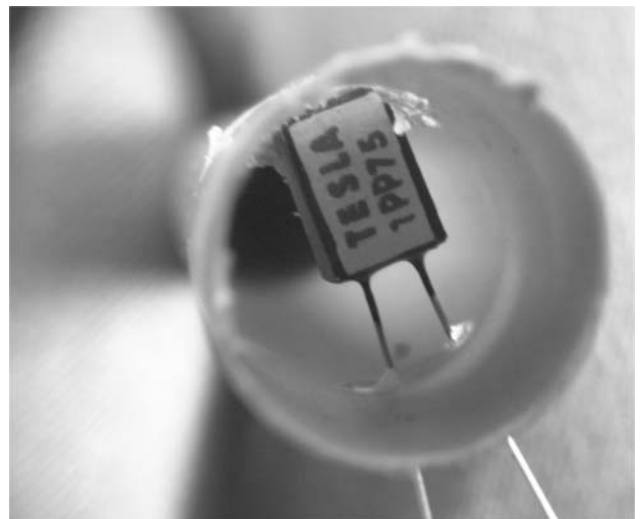
4. ábra. Virágföldből készült galvánelem



3. ábra. A termoelem működése

4. *A fényforrásként használt zseblámpaizzót meg a fotodiódát egy – a villanszerelésnél használatos – 16 mm-es átmérőjű, vékonyfalú (MŰ III.) műanyagcső két végén helyezzük el úgy, hogy az izzó és a dióda távolsága változtatható legyen.* Olyan távolságot választunk, hogy a fotodióda által keltett áram biztosítsa a műszer mutatójának megfelelő kitérését (7. ábra). Amennyiben vizsgálni kívánjuk a fotoáram nagyságát a megvilágítás (fényforrás távolságának) függvényé-

5. ábra. Fotodióda



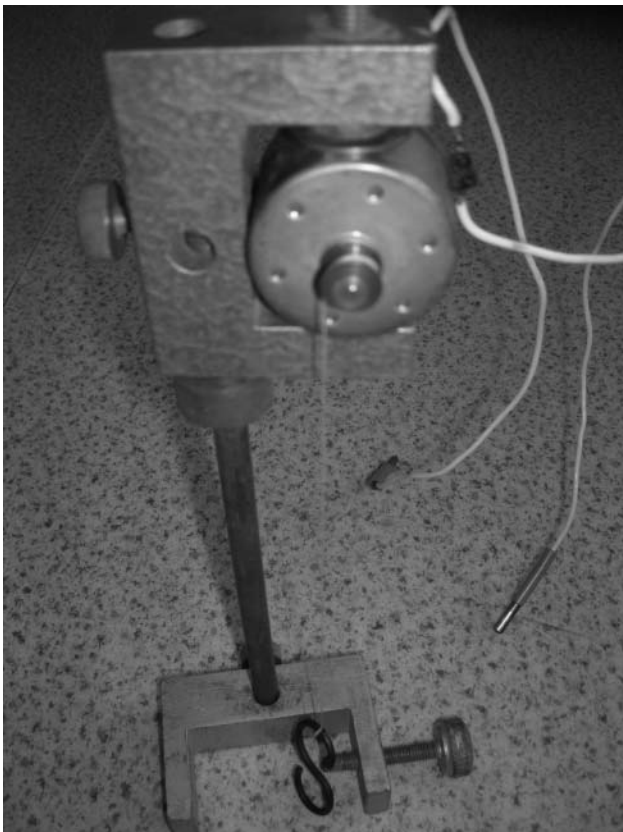


6. ábra. „Fototranzisztor”

ben, célszerű az izzót az öt tápláló vezetékkel együtt egy másik, például 11 mm-es – milliméterpapírból készített skálával ellátott – csőbe helyezni.

5. Bevetethünk izgalmasabb, reverzibilis folyamatokat, illetve energiaátalakulásokat is szemléltető, látványos eljárást. Vegyünk egy egyenáramú törpefeszültségre tervezett kisteljesítményű motort (8. ábra). Ilyen például régi kazettás magnókból szerelhető ki. Egy vékony fonalat tekerjünk fel a motor forgórészének tengelyére megfelelő feszültségforrás alkalmazásával (motor üzemmódban). A motor tekercsét

8. ábra. Egyenáramú motor



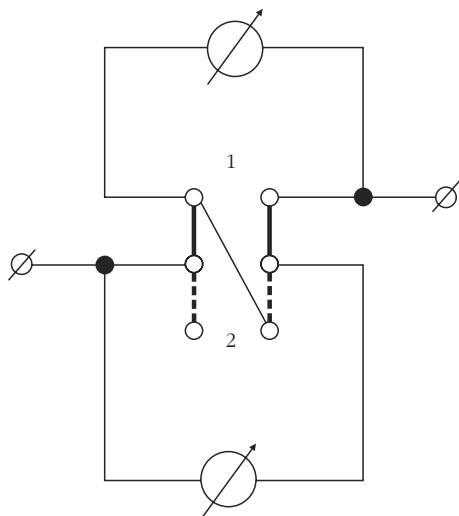
7. ábra. Fotoeffektus

kapcsoljuk a mikroampermérőre (ügyeljünk a polarításra!), majd óvatosan hozzuk forgásba a motor forgórészét a fonál húzásával. A motor generátor üzemmódban feszültséget/áramot indukál, amit jelez a műszerünk.

6. A gyakorlatban talán a legcélravezetőbb, ha kis feszültségű forrást két különböző fajta ceruzaelemből állítunk össze (9. ábra). Ha szembe kapcsoljuk őket, üresjárási feszültségeik kivonódnak, belső ellenállásuk összeadódik. Több elem közül válogatva nagy eséllyel találunk olyan kettőt, amelyek biztosítják a kívánt feszültségértéket.

9. ábra. Szembekapcsolt elemekkel kisfeszültséget állíthatunk elő





10. ábra. Soros-párhuzamos „átalakító”

Mennyire ideálisak a műszerek?

Egy műszer annál jobb, minél kevésbé változtatja meg jelenlétével a mérendő mennyiséget, azaz kevés teljesítményt von el a rendszertől. Az ideális voltmérő ellenállása végtelenül nagy, az ampermérőé végtelenül kicsi. Egy Deprez-műszer ellenállását a tekercséhez felhasznált rézhuzal hossza és keresztmetszete szabja meg. Az általam használt alpműszer belső ellenállása 2 k Ω , ami ideális voltmérőnek kevés, ampermérőnek sok. A műszer okozta mérési hiba nemcsak a belső ellenállás abszolút értékétől, hanem a mérendő áramkör szakaszának ellenállásától is függ. Egy alpműszer méréshatára kiterjeszthető. Ennek következtében – sönt- vagy előtét-ellenállás használatától függően – áram vagy feszültség mérésére alkalmas műszert kapunk. Milyen hatással van a méréshatár növelése az így kapott műszer belső ellenállására? Söntellenállással ellátott műszer annál jobb árammérő, minél kisebb a sönt nagysága, vagyis nagyobb a méréshatár. Ha voltmérőként kívánjuk használni műszerünket és egyre nagyobb előtét-ellenállást alkalmazunk, a méréshatárral arányosan nő a voltmérő eredő ellenállása is, de feszültségegységre jutó ellenállása (a voltmérő „jósága”) állandó marad. Tehát, a mérendő áramköri szakasz ellenállásán múlik, mennyire pontos a voltmérőnk. Analóg voltmérőt célszerű minél érzékenyebb alpműszerből készíteni [8, 9].

Annak eldöntésére, hogy mérőeszközeink mennyire közelítik meg az ideálist, vagyis, hogy melyik feladat (áram- vagy feszültségmérés) ellátására alkalmasabbak, vizsgáljuk meg, mit mutatnak a sorosan, illetve párhuzamosan kapcsolt műszerek. Ideális esetben az árammérők ugyanazt az áramot mérik külön-külön is, mint amit sorba kapcsolva. Párhuzamos kapcsolás esetén, egyforma műszereknél – az áramosztás miatt – az áramkörben folyó áram feleződik. A voltmérőknél más a helyzet: párhuzamosan kapcsolt „ideális” műszerek nem befolyásolják a mért értéket, soros kapcsolásnál a belső ellenállásokkal arányos



11. ábra. A „fekete doboz”

feszültségeséseket tapasztalhatunk. A mérést végezzük el kis (millivoltos) és „nagy” (néhány voltos) feszültséggel.

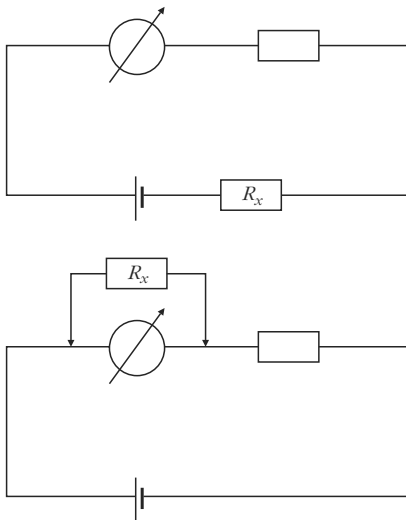
A soros-párhuzamos „üzemmód” váltását célszerű egy egyszerű kapcsolás alkalmazásával végezni (10. ábra). A kapcsoló 1. helyzetében a két műszer párhuzamosan, míg 2-es pozícióban sorosan van kapcsolva. A kapcsolót egy régi mechanikai stopper dobozában helyeztem el (11. ábra).

Kis feszültségű mérésekhez legkényelmesebb szembekapcsolt elemekből álló telepet használni. Kis feszültségnél a szükséges előtét-ellenállás sokkal kisebb, mint a műszer belső ellenállása, ezért ebben az esetben alpműszerünk sokkal jobb voltmérő, mint ampermérő. Alig van eltérés az egy, illetve két párhuzamosan kapcsolt műszer által mutatott értékben. Ugyanakkor soros kapcsolásnál jól megfigyelhető a feszültség megosztása.

Ha millivoltos feszültségek helyett 2–3 V-os telepet használunk, 20–30 k Ω -os előtét-ellenállásra van szükség. Minél nagyobb a telepfeszültség és a megfelelő áram korlátozására szükséges ellenállás, annál jobb áramgenerátort kapunk; az áram erőssége egyre kevésbé függ a terheléstől. Ez jól megfigyelhető két sorosan, illetve párhuzamosan kapcsolt műszer segítségével.

Műszerünk felhasználásával készítsünk ohmmérőt!

A rendelkezésre álló feszültségforrást egy olyan nagyságú előtét-ellenállással (potenciométerrel) egészítsük ki, hogy az áramkör zárását követően a műszer végkitérést mutasson. Ezután két lehetőségünk van (12. ábra): vagy megszakítjuk az áramkört és ismert értékű ellenállásokkal kalibráljuk a műszert (soros ohmmérő), vagy az áramkör megszakítása nélkül végezzük a kalibrálást úgy, hogy az ismert ellenállásokat az alpműszerrel párhuzamosan kapcsoljuk (párhuzamos ohmmérő). Utóbbi esetben csak kisebb ellenállások mérésére van lehetőség, ugyanis a belső ellenállás értékét lényegesen meghaladó sönt nem eredmé-



12. ábra. Soros és párhuzamos ohmmérő

nyez értékelhető áramerősség-változást. A skála egyik kapcsolásnál sem lineáris, ráadásul soros ohmmérő esetén fordított.

Vizsgáljuk meg a két esetet részletesebben. A soros kapcsolás alapján felírt feszültségosztás:

$$U_x = \frac{UR_m}{R_x + R_e + R_m},$$

ahol U_x az R_x ismeretlen ellenállás hatására a műszeren eső feszültség, a műszer ellenállása $R_m = 2 \text{ k}\Omega$, az előtét-ellenállás $R_e = 28 \text{ k}\Omega$, a telep feszültsége $U = 3 \text{ V}$. Az ismert értékeket behelyettesítve:

$$U_x = \frac{6}{R_x + 30} \text{ (V)}, \text{ illetve } I_x = \frac{3}{R_x + 30} \text{ (mA)}.$$

Az ellenállásokat $\text{k}\Omega$ -ban adjuk meg.

A második (párhuzamos) kapcsolás alapján:

$$I_x = I_m \frac{R_x}{R_m + R_x},$$

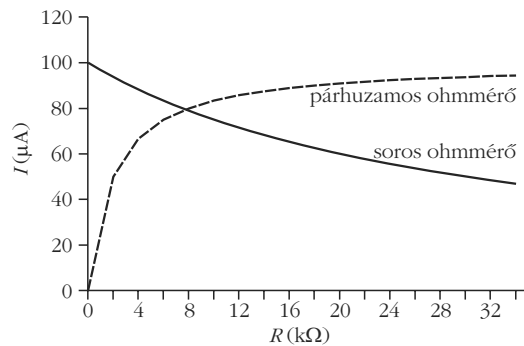
ahol I_m a főágban folyó áram. $I_x = I_m = 100 \mu\text{A}$, ha $R_x \rightarrow \infty$. Az állandók behelyettesítésével:

$$I_x = 0,1 \frac{R_x}{2 + R_x} \text{ (mA)}.$$

Műszerünk kalibrálásához minden ellenállásértékhez hozzárendelünk egy-egy áramerősség-értéket (13. ábra). A soros és a párhuzamos kapcsoláshoz tartozó görbe metszéspontja olyan ellenállásértéket jelent, amely ugyanakkora kitérést eredményez mindkét kapcsolásnál. Egyenlővé téve a két áramerősség-képletet:

$$0,1 \frac{R_x}{2 + R_x} = \frac{3}{R_x + 30} \text{ alapján } R_x = \sqrt{60} \approx 7,75 \text{ k}\Omega.$$

A görbék segítségével is megállapítható, hogy a $8 \text{ k}\Omega$ körüli ellenállásérték az, amely mindkét kapcsolás



13. ábra. Ohmmérők kalibrálási görbéi

segítségével ugyanolyan pontossággal lemérhető. A könnyebb leolvashatóság érdekében az ennél nagyobb ellenállásokat soros, míg a kisebbeket párhuzamos ohmmérővel kényelmesebb mérni. Ezek az értékek – sajnos mindkét esetben – a skála első kétharmadára esnek, ahol a műszer pontatlansága nagyobb.

Vegyünk érzékeny búcsút!

Válasszunk akkora előtét-ellenállást, hogy a sorosan kapcsolt műszerek kitérése a maximális közel fele legyen. Ha most vesszük kézbe az egyik műszert és megdöntjük többször egymás után hol egyik, hol másik irányba (jobbra-balra), hogy a mutató lengésbe jöjjön, a másik műszer mutatójának kilengését figyelhetjük meg. Nemcsak az elektromágneses indukció, de a Lenz-törvény is látványosan szemléltethető ezzel az egyszerű, búcsúzáshoz választott összeállítással.

Összegzés

A fizikai jelenségek jobb megértését szolgáló kísérletek elvégzésére nem feltétlenül szükségesek drága, bonyolult műszerek. A környezetünkben (fizikaszertárban) fellelhető egyszerű, hagyományos eszközök is kiválóan alkalmasak egy sor – különböző témakörhöz tartozó – kísérlet bemutatására. Így egy Deprez műszer segítségével nemcsak annak tulajdonságait, hanem sok egyéb jelenséget is vizsgálhatunk, demonstrálhatunk, tanulmányozhatunk, mint például a termoelektromos jelenség, fotoeffektus, elektromágneses indukció stb.

Irodalom

1. <http://www.freeweb.hu/hmika/Fizika/Html/MaHaMusz.htm>
2. http://wiki.ham.hu/index.php/Deprez_m%C5%B1szer
3. http://hu.wikipedia.org/wiki/Leng%C5%91tekerceses_m%C5%B1szer
4. H. Breuer: *Atlasz Fizika*. Athenaeum, Budapest, 2000, 238–239.
5. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Термопара>
6. <http://metal.elte.hu/~phexp/doc/hot/j2s8.htm>
7. http://www.ises.info/ises_data/publications/LustigAtAllVillach2006.pdf
8. http://www.puskas.hu/r_tanfolyam/muszerek_es_meresek.pdf
9. <http://vili.pmmf.hu/jegyzet/meres/23.html>