

# E9 laboratóriumi mérés – Fizikai Tanszék

## Ellenállás-mérés Wheatstone-híd kapcsolásban

### 1. A mérés célja, elve

Fontos feladat az elektronikában az egyes áramköri elemek ellenállásának meghatározása. Ennek egyik módszere az áramköri elem feszültség-áram karakterisztikájának felvétele. Azokban az esetekben, ahol az Ohm-törvény érvényes, ez a mérési módszer feleslegesen bonyolult, létezik a karakterisztika felvételénél egyszerűbb módszer, például a Wheatstone-híd alkalmazása.

Ez különösen fontos azokban az esetekben, ahol egy fém fajlagos ellenállását kell meghatározni. Egy hosszú, egyenes vezető ellenállása egyszerű módon függ az anyagra jellemző fajlagos ellenállástól, amely így a vezető geometriai adatai segítségével az ellenállásból meghatározható.

A mérés első feladata a fajlagos ellenállás meghatározása három fémhuzal esetén.

Vannak azonban olyan esetek, amelyekben az Ohm-törvény nem érvényes, például egy magas hőmérsékleten működő izzólámpa esetében.

A mérés második feladata ennek szemléltetése.

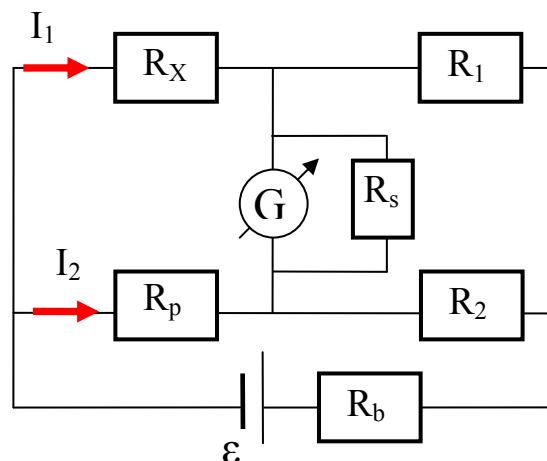
### 2. Elméleti és technikai leírások

Az alábbi rövid összefoglalás nem az elméleti anyag részletezését célozza, pusztán emlékeztető az előadásokon és gyakorlatokon tanultakra, illetve bemutatjuk azok technikai alkalmazásait.

Az egyes alfejezetekben szereplő, aláhúzott, vagy bekeretezett részek, illetve a mérések kapcsolási rajzai a laboratóriumi mérések beugró dolgozataiban számon kérhetőek.

#### 2.1. Ellenállásmérés Wheatstone-híddal

Egy adott áramköri elem ellenállását az alábbi kapcsolásban tudjuk mérni (ezt nevezzük Wheatstone-hídnak). A kapcsolási rajz a beugró dolgozatban számonkérhető.



**1. ábra** Ellenállás mérése Wheatstone-híd kapcsolással

A hídkapcsolásban  $R_x$  az ismeretlen, mérendő ellenállás,  $R_p$  értékét szabályozni tudjuk.  $G$  jelöl egy érzékeny áramerősség-mérő műszert, úgynevezett galvanométert. Az  $R_b$  ellenállás a feszültségforrás belső ellenállása, míg  $R_s$  a galvanométerre kapcsolt sönt-ellenállás.

Az elrendezést összeállítva általában a  $G$  galvanométeren áram fog folyni. Azonban az  $R_p$  ellenállást addig szabályozhatjuk, amíg a híd árammentes nem lesz,  $I_G \approx 0$ . Ekkor a Wheatstone-híd kiegyenlített állapotban van. A kiegyenlített állapotra felírhatóak az alábbi hurokegyenletek:

$$I_1 R_x - I_2 R_p = 0 \text{ és } I_1 R_1 - I_2 R_2 = 0$$

Ezek alapján kiszámíthatjuk az ismeretlen ellenállás értékét:

$$R_x = R_p \cdot \frac{R_1}{R_2}$$

Ezek alapján az ellenállásmérés egyszerű. Az ismeretlen ellenállást bekötjük a Wheatstone-híd megfelelő bemenetére, az állítható ellenállást addig változtatjuk, amíg a hidat ki nem egyenlítjük, majd leolvassuk az egyes ellenállások értékét, amelyekből egyszerűen számolható  $R_x$ .

## 2.2. Az ellenállás függése a geometriai méretektől

A mérési feladat része három vezeték anyagának fajlagos ellenállásának mérése. Ehhez fel kell eleveníteni a vezetékek ellenállásának kiszámítására vonatkozó összefüggést. Egy vékony, állandó  $A$  keresztmetszetű,  $l$  hosszúságú vezető ellenállása

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A}$$

Alakban számolható ki, ahol  $\rho$  a fajlagos ellenállás, mértékegysége  $\Omega m$  vagy  $\Omega \cdot mm^2 / m$ . Mivel a mérés során az ellenállást és a geometriai adatokat mérjük meg, a fajlagos ellenállás az alábbi összefüggéssel számolható ki:

$$\rho = R \cdot \frac{A}{l}$$

## 2.3. A lámpa üzemi ellenállásának kiszámítása

Az egyes áramköri elemek mindegyike tönkremegy, ha túlságosan nagy feszültséget vagy áramot kapcsolunk rá. A pontos határértékek meghatározása a mérés előkészítésének egyik legfontosabb feladata.

Azonban nem minden áramköri elemnél vannak ezek az információk megadva. Gyakori, hogy az ellenállás, illetve a maximális teljesítmény van megadva, de ezek bármelyikét helyettesítheti az üzemi feszültség, illetve üzemi teljesítmény is. Ez utóbbi a helyzet a vizsgált izzólámpa esetén is.

Ezek a mennyiségek azonban könnyedén kiszámolhatóak egymásból, figyelembe véve, hogy a stacionárius áram teljesítménye

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

Ezen összefüggés segítségével számolható ki az izzólámpa üzemi ellenállása is.

## 3. A mérés módszere

Az első mérési feladat három huzal (kanthal – FeCrAl ötvözet, vas, réz) fajlagos ellenállásának megmérése. Ehhez meg kell mérni a vezetékek hosszát, keresztmetszetét, illetve ellenállását (ezt Wheatstone-híd kapcsolásban). Ezen adatok alapján számolható ki a huzalok fajlagos ellenállása.

Külön mérési feladat egy izzólámpa ellenállásának mérése is, illetve az ellenállás értékének kiszámítása az üzemi adatokból (lásd 2.3. alfejezet). A két eredmény között komoly különbség van, amelyet meg kell tudni magyarázni.

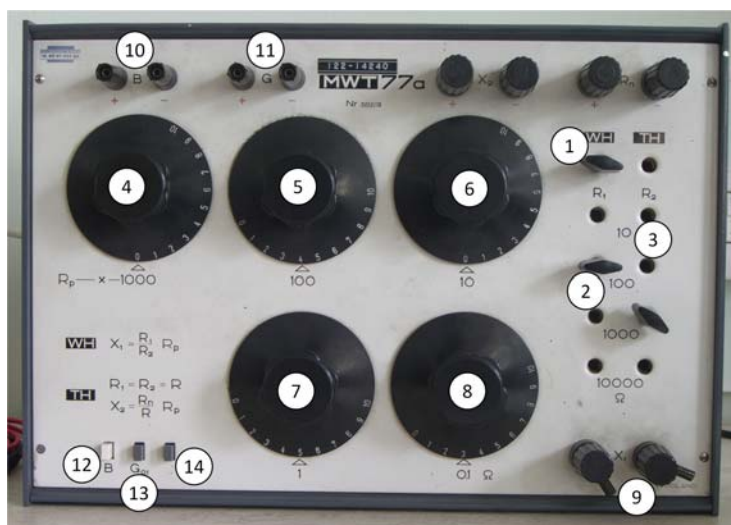
A Wheatstone-híddal történő ellenállásmérést kétféleképpen tudjuk elvégezni. Az első eset – amely az elméleti leírásban is szerepel – a galvanométeren átfolyó áram erősségének mérésével valósul meg. Ekkor a híd kiegyenlítése az áramerősség 0A-re történő beállítását jelenti.

A másik módszer, hogy a mérőberendezésen (ekkor ez már nem egy galvanométer) eső feszültséget mérjük. Ha a feszültségesés 0V a berendezésen, akkor nyilván áram sem folyik rajta, vagyis a híd 0V-os feszültség mérése esetén van kiegyenlítve. A laboratóriumban használt mérőeszköz ez utóbbit pontosabban hajtja végre, ezért a mérés során mi is ezt az utat követjük, vagyis a hidat nem az áramerősség mérésével, hanem feszültségmérés segítségével egyenlítjük ki.

## 4. A mérés folyamata

### 4.1. A kapcsolás összeállítása

A kapcsolás összeállításánál a Wheatstone-híd áll a középpontban:

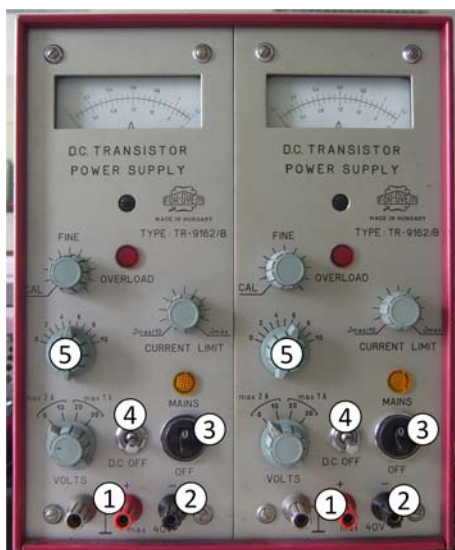


1. kép A Wheatstone-híd

- 1 – A híd-típusok közti kapcsoló. Ennek WH állásban kell lennie.
- 2 – az  $R_1$  ellenállás beállítására alkalmas sor
- 3 – az  $R_2$  ellenállás beállítására alkalmas sor
- 4, 5, 6, 7, 8 – a változtatható  $R_p$  ellenállás 1000 $\Omega$ -os, 100 $\Omega$ -os, 10 $\Omega$ -os, 1 $\Omega$ -os és 0,1-os osztása
- 9 – Ezen két pont közé kell bekötni a mérendő  $R_x$  ellenállásokat (vezetékek, illetve lámpa)
- 10 – Ezen két pont közé kell bekötni a feszültségforrást (pozitív a pozitívba, negatív a negatívba)
- 11 – Ezen két pont közé kell bekötni a mérőműszert (negatív a földre, pozitív a mérendő pontra)
- 12 – Ezzel a gombbal (B jelzés) lehet a feszültséget a hídra ráadni
- 13 – Ezzel a gombbal ( $G_{0,1}$  jelzés) lehet a mérőműszert a hídba bekapcsolni
- 14 – Ezzel a gombbal (G jelzés) lehet kiiktatni a beépített sönt-ellenállást

Fontos megemlíteni, hogy ezen Wheatstone-híd esetében az állandónak tekintett  $R_1$  és  $R_2$  ellenállások is változtathatóak, bár nagyon szűk keretek között. A tűskék beállításakor különböző  $R_1 / R_2$  arányokat hozhatunk létre, így több különböző aránypár esetén végrehajtott mérés átlagolásával a mérés pontosságát fogjuk növelni – a híd belső felépítéséből származó hibákat lehet így kiküszöbölni. Azonban ezeknek az ellenállásoknak a változtatása nem része a híd kiegyenlítési folyamatának, azt az  $R_p$  ellenállás változtatásával kell elérni.

Az alkalmazott tápegység egy iker-tápegység, amelynek mindkét oldala autonóm módon működik. Az egyes mérőhelyeken csak az egyik vagy másik felét kell használni. Működtetéséhez az alábbiakat kell tudni:



**2. kép** A mérés során alkalmazott tápegység előlapja

- 1 – A tápegység kimenetének pozitív pólusa
- 2 – A tápegység kimenetének negatív pólusa
- 3 – Központi kapcsoló
- 4 – Az egyenfeszültség áramkörre adásának kapcsolója
- 5 – A leadott feszültség beállítására használt kapcsoló (a mérés során erre nincs szükség)

A méréshez galvanométer helyett egy többfunkciós mérőeszközt használunk, amely nagyban pontosítja a mérési folyamatot.



**3. kép** A mérőeszköz előlapja

- 1 – A mérőműszer „föld” pontja – ide kell a híd negatív sarkát kötni
- 2 – A mérendő pont alzata – ide kell kötni a híd pozitív sarkát
- 3 – A mérés típusát és méréshatárát változtató kapcsoló

A mérőeszköz központi kapcsolója a hátlapján található, azzal kapcsolható be a berendezés.

A mérési összeállításra a központi feszültséget a gyakorlatvezető az áramkör ellenőrzése után kapcsolja rá.

A központi feszültség bekapcsolása után a tápegység központi kapcsolójának (2. kép 3. pont) használatával, a mérőeszköz áram alá helyezésével, illetve az egyenfeszültséget az áramkörre adó kapcsoló (2. kép 4. pont) felkattintásával kezdődhet a mérés.

## 4.2. A vezeték geometriai adatainak mérése

Első lépésben érdemes a vezeték geometriai adatait megmérni.

A vezeték hosszát mérőszalaggal végezzük. Ne feledjük el a vezető hosszát oda-vissza mérni!

A keresztmetszet helyett valójában az átmérőt tudjuk megmérni. Ebből kell tudni kiszámítani az  $A$  felületet, feltételezve, hogy a vezeték kör keresztmetszetű. Az átmérő mérését mikrométerrel végezzük el.

A keresztmetszet mérésekor figyeljünk, hogy azt egy viszonylagosan sima, egyenes szakaszon mérjük, illetve ne szorítsuk össze túl erősen a tolmérő szarait, mert különben deformáljuk a vezetőt, és így a mérésünk pontatlan lesz.

## 4.3. Az ellenállás-értékek mérése

A mérés során az egyes vezeték ellenállását külön végezzük el, és mindegyiket két, különböző  $R_1 / R_2$  ellenállásarány (javasolt arányok 10/100 és 10/1000) esetében is megmérjük, a végeredmény az így kapott ellenállásértékek átlaga lesz majd. A teendők lépésről lépésre az alábbiak:

1. Az  $R_1$  és  $R_2$  ellenállásokat beállítjuk az első ellenállás-arány értékének megfelelően.
2. Az  $R_p$  változtatható ellenállás értékét 10  $\Omega$ -ra állítjuk be.
3. A „B” jelzésű gomb (1. kép, 12. pont) benyomásával feszültséget adunk a hídra.
4. Ellenőrizzük, hogy a mérőberendezés feszültségmérésre van állítva, 1V nagyságrendben. Ez a kapcsoló (3. kép 3. pont) bal szélső állása.
5. A „G<sub>0,1</sub>” jelzésű gombbal (1. kép, 13. pont) az áramkörbe kapcsoljuk a mérőeszközt.
6.  $R_p$  változtatásával kiegyenlítjük a hidat, vagyis úgy állítjuk be, hogy a mérőeszköz 0V feszültséget mutasson.
7. Ha már 0V-ot mutat a mérőberendezés, átváltunk mV-os mérésre (a pontosabb eredmények érdekében), a mérőműszer kapcsolójának (3. kép 3. pont) elfordításával.
8. Tovább pontosítjuk a híd kiegyenlítését úgy, hogy a mérőeszköz 0mV-ot mutasson.
9. A még pontosabb eredmény elérése érdekében a „G” jelzésű gomb (1. kép, 14. pont) lenyomásával kiiktatjuk a sönt-ellenállást.
10. Így is 0mV-ig folytatjuk a híd kiegyenlítését.
11. Leolvassuk az  $R_p$  ellenállás értékét.
12. A „G<sub>0,1</sub>” és „G” jelzésű gombok felengedésével kiiktatjuk a mérőberendezést a körből.
13. A „B” jelű gomb felengedésével levesszük a feszültséget a hídról.
14. Rögzítjük az  $R_1$ ,  $R_2$  és  $R_p$  ellenállások értékét.
15. A mérőberendezést visszaállítjuk 1V-os nagyságrendű mérésre.
16. Új  $R_1 / R_2$  ellenállásarányt állítunk be, és újra elvégezzük a 2.-15. pontok utasításait.

Ha végeztünk egy huzal ellenállásának megméréssel, a 15. pont elvégzése után kössük át az áramkört, és kezdjük újra az 1. ponttól a mérési folyamatot.

## 4.4. Izzó ellenállásának mérése

Külön feladat az izzó ellenállásának meghatározása. Ehhez a fenti folyamatot (1.-16. pontok) kell követni, de a körbe a mérendő ellenállás helyére az izzót kapcsoljuk. Az izzó a rajta átfolyó áram hatására elkezd melegedni, ami befolyásolja az ellenállását. Ennek következménye a két, különböző ellenállásarányhoz tartozó mérésen is látható lesz.

Ezen felül az izzó ellenállásának mérésekor az állandó ellenállások aránya ne legyen 1/100-nál kisebb (javasolt arányok 100/1000 és 10/1000)!

#### 4.5. A mérés után

A mérési feladatok elvégzése után ellenőrizni kell, hogy a mérőeszköz V nagyságrendű mérésre van-e állítva, illetve a hídról lekapcsoltuk a mérőműszert, illetve a tápfeszültséget (vagyis a „B”, „G<sub>0,1</sub>” és „G” jelzésű gombok fel vannak engedve). Ezután a tápegységet és a mérőeszközt ki kell kapcsolni. Csak ezek elvégzése után lehet szétszedni az összeállított áramkört, az egyes áramköri elemeket rendezetten elhelyezve.

### 6. Kiértékelés, számolások, tapasztalatok

A kiértékelést a három vezetékre és az izzó esetében külön-külön kell elvégezni.

A kiértékelés első lépése – mind a négy esetben külön-külön – a különböző aránypároknál mért ellenállások átlagának kiszámítása.

A huzalok esetében ki kell számolni a geometriai adatok segítségével az egyes vezetékek fajlagos ellenállását  $\Omega m$  vagy  $\Omega \cdot mm^2 / m$  mértékegységben megadva. Az előbbi esetén kiemelten fontos a megfelelő 10 hatványok alkalmazása.

A lámpa esetén a kiértékelés része az üzemi ellenállás kiszámítása és a mért ellenállás-értékkel való összehasonlítás. Ehhez képezni kell a kettő hányadosát, illetve az eltérést szövegesen meg kell magyarázni.

### 7. A jegyzőkönyv elkészítésének specifikumai

A jegyzőkönyvnek az általános szabályokon túl az alábbiaknak kell megfelelni:

- A kapcsolási rajzot az elméleti anyag alapján kell beilleszteni.
- A jegyzőkönyvnek a huzalok esetében tartalmaznia kell:
  - Az  $R_1$ ,  $R_2$  és  $R_p$  ellenállások értékét, a kiszámolt  $R_x$  értéket mindkét aránypár esetén.
  - A két aránypár esetén számolt  $R_x$  átlagát.
  - A huzal geometriai adatait.
  - A huzal számolt fajlagos ellenállását.
- A jegyzőkönyvnek az izzó esetében tartalmaznia kell:
  - Az  $R_1$ ,  $R_2$  és  $R_p$  ellenállások értékét, a kiszámolt  $R_x$  értéket mindkét aránypár esetén.
  - A két aránypár esetén számolt  $R_x$  átlagát.
  - Az izzó üzemi adataiból számolt üzemi ellenállását
  - A mért és az üzemi ellenállások arányát, illetve az eltérés magyarázatát.