

Mérési jegyzőkönyv

10. mérés:

Bőrimpedancia

A mérés helyszíne: Semmelweis Egyetem Elméleti Orvostudományi Központ
Biofizika laboratórium

A mérés időpontja: 2013. 04. 24.

A mérést végezte: Jánosa Dávid Péter – FDSA7Y

A mérést vezető oktató neve: Hajdú Angéla

A jegyzőkönyvet tartalmazó fájl neve: Borimp_Janosa_D_P.pdf

Felhasznált eszközök: Multiméter, függvénygenerátor, mérőelektródok



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

A mérés célja

A mérés során meghatározzuk a kéz bőrének egyenáramú és váltóáramú ellenállását (impedanciáját), valamint ennek fajlagos, felületegységet jellemző részét.

A mérés során felhasznált eszközök

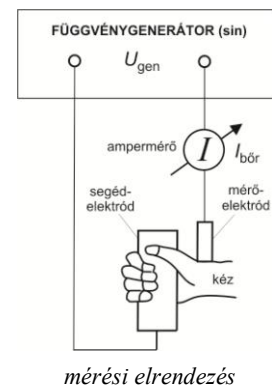
A méréshez bemenetet függvénygenerátorral állítunk elő, 0 és 8000 Hz között, logaritmikus léptékekben. A bőr impedanciájának abszolút értékét a feszültség és az áram effektív értékéből számoljuk ki, melyet multiméterrel mérünk. Az áramvezetés egy nagyméretű, kézbe fogható, és egy kis, tapadó koronggal a bőrre rögzíthető elektróda segítségével valósul meg. Az elektródák alatt a bőrt a mérés folyamán vizezzük, hogy ne a száraz, elhalt szaruréteg nagy ellenállása, hanem a bőr alsóbb rétegeinek vezetése domináljon. Tekintve, hogy az elektródák rögzítése nem kifejezetten stabil, a mérést párban végezzük, hogy a mérés alanyának ne kelljen az eszközkezeléssel foglalkoznia, és így az elektródok kontaktusa a teljes mérés alatt nagyjából állandó legyen.

Két mérést végzünk, szerepcserével.

A mérés menete

Elsőként lemérjük a függvénygenerátor különböző frekvencián leadott maximális üresjárású feszültségét, mely a mérésünk bemenetét fogja adni. Erre azért van szükség, mert bár a függvénygenerátor kimeneti feszültsége beállítható, az eszköz ilyen szempontból nem kifejezetten pontos, valamint a hiba a frekvenciatartományban változó.

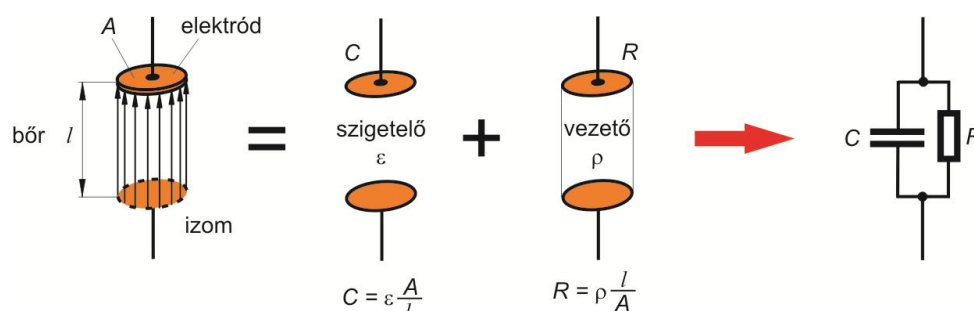
Ezután összeállítjuk a mérési elrendezést. A mérés alanya benedvesíti tenyerén és kézhátának hüvelykujj felőli részén a bőrt, majd tenyerébe fogja a nagyobb elektródát. Ezután felhelyezi a kézhát nedvesített részére a kisebb elektródát. A nagyobb elektródába az árammérő üzemmódba kapcsolt multiméteren keresztül bevezetjük a függvénygenerátor +, míg a kisebb elektródába a – pólusát. Ezután adott frekvenciákon lemérjük az alany kezén átfolyó áramot, és a feszültség ismeretében meghatározzuk az impedancia abszolút értékét.



Az elrendezést szemlélteti az oldalsó ábra.

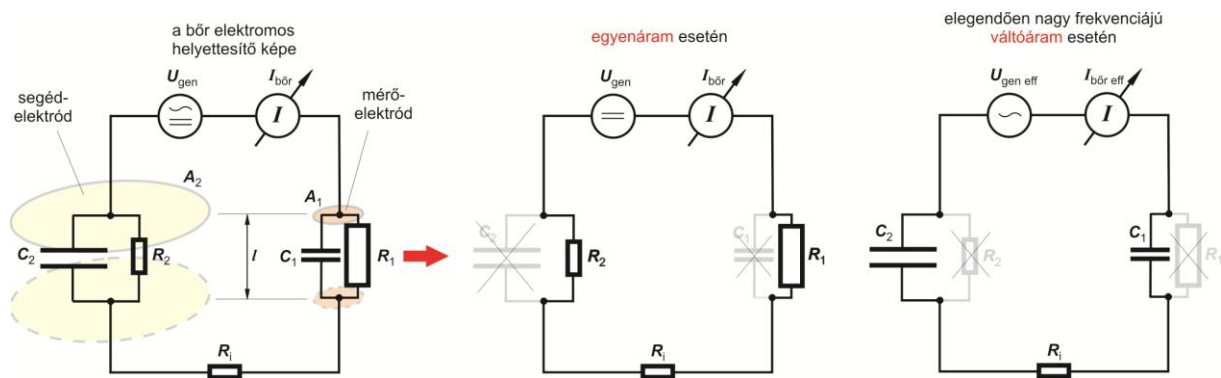
A mérési modell

A mérőelektród és a bőr által alkotott rendszerre az alábbi modellt használjuk:



Azaz egy bőr-elektrod átmenetet egy R ellenállás és egy C kapacitás által alkotott párhuzamos RC tag jellemez.

Az R tagok mérésére egyenáramon van lehetőségünk, ekkor ugyanis a kondenzátor szakadásnak felel meg. Magasabb frekvenciákon azonban a kondenzátor impedanciája az ellenálláshoz képest jelentősen kisebb lesz, így az ellenállás a nagyfrekvenciás modellben elhanyagolható. Tekintve, hogy a kisméretű mérőelektrod kontaktfelülete jelentősen kisebb, mint a segédelektrodé, mind rezisztív, mind kapacitív impedanciája jóval nagyobb lesz, mint a segédelektrodnak, így a mérés folyamán gyakorlatilag csak ennek a bőr-elektrod átmenetnek a paramétereire koncentrálnunk, ahogy azt az alábbi ábra is szemlélteti.



A modellben szerepel az izmok R_i vezetési ellenállása, azonban ez a bőrénél lényegesen kisebb, így a feladatban elhanyagolhatjuk.

A mért értékek

A gyakorlaton, a saját bőrömön az alábbi értékeket mértük:

Frekvencia [Hz]	Üresjárási feszültség [V]	Terhelési áram [μ A]	Impedancia abszolút értéke [k Ω]
0	5,01 V	56,5 μ A	88,67 k Ω
16	3,59 V	43 μ A	83,49 k Ω
32	3,53 V	52 μ A	67,88 k Ω
64	3,53 V	71,8 μ A	49,16 k Ω
125	3,48 V	104 μ A	33,46 k Ω
250	3,47 V	156,5 μ A	22,17 k Ω
500	3,48 V	249 μ A	13,98 k Ω
1000	3,5 V	410 μ A	8,54 k Ω
2000	3,5 V	700 μ A	5,00 k Ω
4000	3,58 V	1222 μ A	2,93 k Ω
8000	3,66 V	2510 μ A	1,46 k Ω

A mért értékekből könnyedén leolvasható a bőröm egyenáramú ellenállása, ez 88,67 kΩ. Ebből a gyakorlaton megadott módon számolható a fajlagos ellenállás:

$$R = 88,67 \text{ k}\Omega$$

$$\rho^* = R * A = 88,67 \text{ k}\Omega * (7\text{mm})^2 * \pi$$

$$\rho^* = 136,5 \text{ k}\Omega * \text{cm}^2$$

Bonyolultabb kérdés a modell kapacitásának meghatározása.

Elméletileg kellően nagy frekvencián a modell rezisztív tagját elhagyhatjuk, a modell tisztán kapacitív válik és bármely, ilyen nagy frekvencián mért impedanciából mindig ugyanazt a kapacitást számolhatjuk ki. A mérési tartományunk ennek a feltételnek azonban alig tud megfelelni, amint azt az alábbi, tisztán kapacitív modellt feltételező, az egyes frekvenciákra kiszámolt kapacitások mutatják:

Frekvencia [Hz]	Kapacitás becslés
16	1,191E-04 mF
32	7,327E-05 mF
64	5,058E-05 mF
125	3,805E-05 mF
250	2,871E-05 mF
500	2,278E-05 mF
1000	1,864E-05 mF
2000	1,592E-05 mF
4000	1,358E-05 mF
8000	1,364E-05 mF

Látható, hogy nagyjából 4000 Hz-re áll be a tisztán kapacitív modell, de ebben a tartományban csak két mérési pontunk van. Ez nem elegendő ahhoz, hogy korrekt görbeillesztéssel illesztéssel határozzuk meg a tisztán kapacitív régió paramétereit, így a kapacitást az utolsó két pont átlagából származtatom. Eszerint:

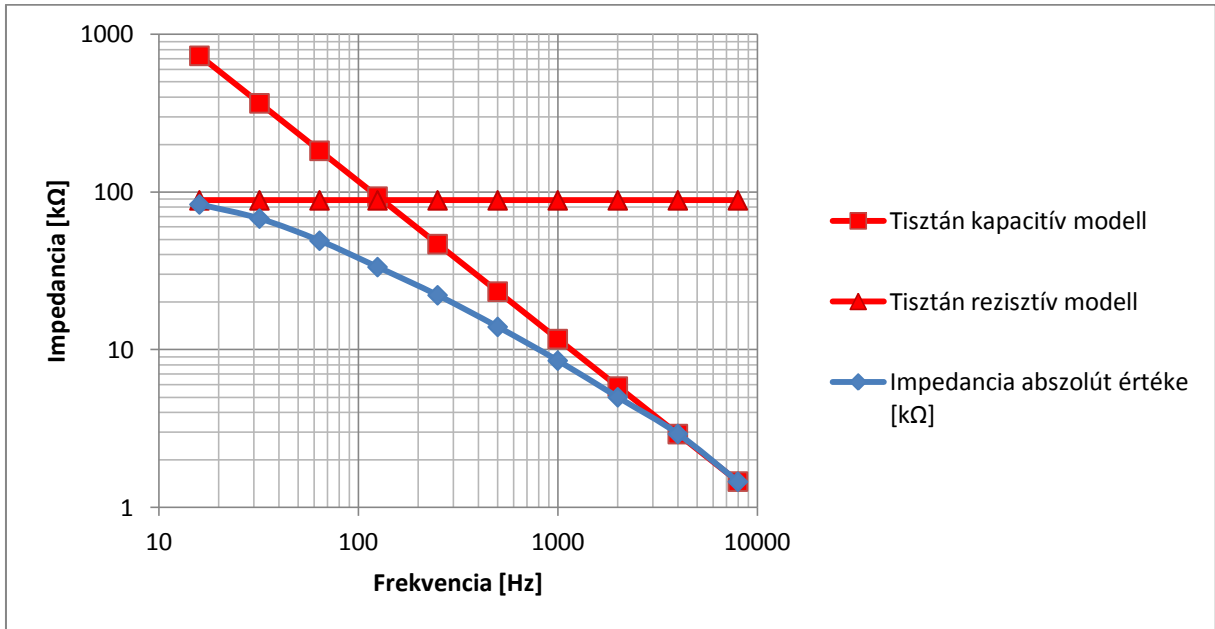
$$C = 1,36 * 10^{-5} \text{ mF}$$

$$\gamma^* = \frac{C}{A} = \frac{1,36 * 10^{-5} \text{ mF}}{(7\text{mm})^2 * \pi}$$

$$\gamma^* = 8,84 * 10^{-8} \frac{\text{mF}}{\text{mm}^2}$$

A mért értékek ábrázolása:

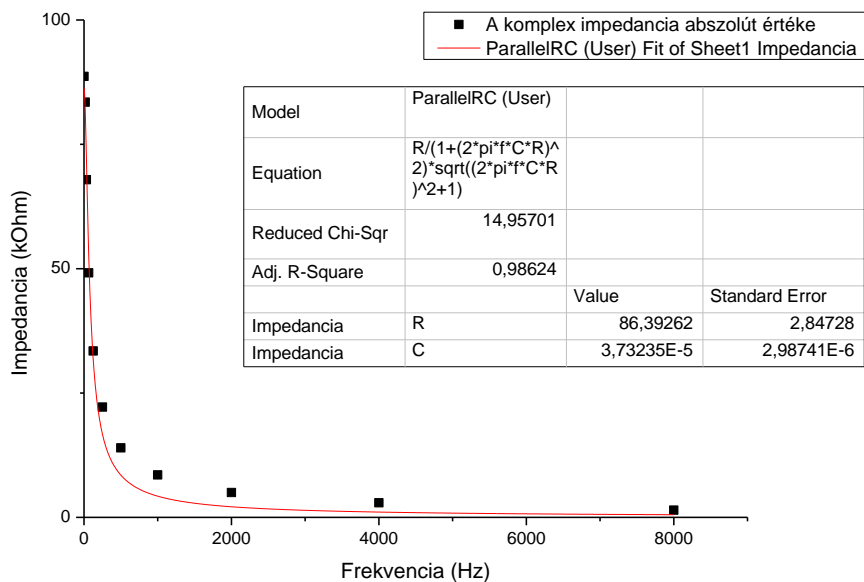
A mért értékeket logaritmikus léptékezés mellett grafikonban ábrázoltam. Mivel a feladat a rezisztív és a kapacitív komponens meghatározása, ezért a grafikonra illesztettem egy ideális rezisztív és egy ideális kapacitív modellt, melyeket a fent meghatározott paraméterek jellemeznek.



Érdekes eljátszani a gondolattal, hogy elméletileg a probléma a mai számítástechnikai eszközökkel a tartományi elhanyagolások nélkül, egy lépésben is kezelhető. Ehhez meg kell határozni az RC modell impedanciájának abszolút értékét. Ez az alábbi:

$$Z = \left| \frac{R * \frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} \right| = \left| \frac{R}{1 + j\omega RC} \right| = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

Ennek megfelelő görbét illeszthetünk a mérési adatainkra:



Az illesztés eredménye szerint

$$R = 86,39k\Omega$$

$$C = 3,73 * 10^{-5} mF$$

Míg az illesztés az egyenáramú ellenállást nagyjából helyesen meghatározta, addig a kapacitásra fals eredményt ad. Ez annak tudható be, hogy a teljes mérési adathalmazhoz képest alig vannak olyan pontok, ahol a görbe viselkedését ténylegesen C dominálja. Az illesztő algoritmusok pedig buták, a céljuk a négyzetes hibaösszeg minimalizálása, mely nem képesek súlyozni a „modell szempontjából lényeges” mérési pontokat a „kevésbé lényegesekkel” szemben. Emiatt mindig fontos, hogy a mérések kiértékelését ésszel, és ne kizárólag az eszközparkra hagyatkozva végezzük. Azonban az is tény, hogy ezen eszközök megfelelő használata nélkül nem lenne módunk arra, hogy a mostaninál összetettebb, vagy pontosabb modelleket kezeljünk, melyek figyelembe vennék a másik elektróda, valamint a muskuláris vezetés paramétereit is, márpedig kétségtelen, hogy a jelenlegi modell csupán durva közelítője a valóságnak.

A mért értékek hibája:

A mérés folyamán egy elég meglepő és zavaró hibajelenséggel talákoztunk, nevezetesen minden frekvencián a mért áramerősség folyamatosan, nagyjából másodpercenként 0,1 μA -el nőtt, függetlenül az elektróda nedvesítésétől, markolásától, valamint az egyéb izommozgásoktól. A növekedés aszimptotikusnak tűnt, azonban annyira hosszú lecsengésű, hogy nem volt módunk megvárni, amíg az áram beáll egy adott értékre, így amikor a változás már „lassúnak” tűnt, beírtuk rögzítettük az aktuális értéket, és a következő frekvenciára kapcsoltunk. Ez kétségtelenül mérési hibákhoz fog vezetni, azonban a jelenség komplexebb, semmint hogy ennek a jegyzőkönyvnek a keretében kísérletet tehessek a matematikai leírására.

A teljes hiba meghatározásra amúgy sem lenne módom, mivel nem ismert a multiméter pontossága.

Az eredmények értékelése

A gyakorlat folyamán meghatároztuk a bőr hozzávetőleges vezetési paramétereit, mely jó iránymutató, de tényleges eszközméretezésnél nem helyettesítheti a témába vágó szabványok átfogó ismeretét.

A modell rámutatott arra, hogy bár az elhanyagolásokon alapuló számítási módszerek a mai számítástechnikai környezetben feleslegesen sokat áldoznak fel a pontosságból, valamint sokszor már nem is kényelmesebbek, segítségükkel azonban végiggondolható és megérthető a folyamat működése, ami segít a mérés megfelelő előkészítésében, és a helyes kiértékelésben. A szélsőséges mérési tartomány miatt a gyakorlat jó példája annak, hogy a gondolkodás ma sem helyettesíthető számítógéppel, és hogy az elméleti alapozó oktatásnak továbbra is van létjogosultsága.