

ÖSSZEFOGLALÁS:

OHM-TÖRVÉNY: Egyenáram esetén $U = I \cdot R$. Az elektromos feszültség egyenesen arányos az áramerősséggel. Az arányossági tényező az R ellenállás. Váltakozó áram esetén $U_{\text{eff}} = I_{\text{eff}} \cdot Z$. Az elektromos feszültség effektív értéke egyenesen arányos az áram effektív értékével. Az arányossági tényező a Z impedancia.

ELLENÁLLÁS: Az ohmos ellenállás (R) azt mutatja meg, hogy egy elektromos vezető anyag milyen mértékben áll ellen az elektromos áram kialakulásának. $R = \rho (l/A)$, ahol ρ a fajlagos ellenállás, l a vezető hossza, A pedig a keresztmete. Mértékegysége az ohm (Ω).

KAPACITÁS: Két, egymástól szigetelő anyaggal elválasztott vezető lemez ún. kondenzátort alkot. Ennek kapacitása: $C = \varepsilon (A/d)$, ahol ε a szigetelő anyag dielektromos állandója, A a lemez felülete, és d a lemezek közötti távolság. A kapacitás a kondenzátor elektromos töltésnyújtó képességét fejezi ki. Mértékegysége a farád (F).

KAPACITÍV ELLENÁLLÁS: A kondenzátor váltóáramú áramkörben a frekvenciával fordított arányban lévő ellenállást képvisel: $X_C = 1/2\pi f C$. Mértékegysége az ohm (Ω).

IMPEDANCIA: Ohmos ellenállást, frekvenciafüggő elemeket (kondenzátort, tekercset) vegyesen tartalmazó elektromos áramkör adott frekvencián mérhető váltóáramú ellenállása. Jele: Z . Mértékegysége az ohm (Ω).

ELLENÁLLÁSOK SOROS KAPCSOLÁSA: A sorbakapcsolt ellenállások összeadódnak. Az eredő ellenállás: $R_e = R_1 + R_2 + \dots$

KAPACITÍV ELLENÁLLÁSOK SOROS KAPCSOLÁSA: A sorbakapcsolt kapacitív ellenállások váltóáramú áramkörben összeadódnak. Az eredő impedancia: $Z_e = X_{C1} + X_{C2} + \dots$

A BŐR FAJLAGOS ELLENÁLLÁSA: egységnyi felületű bőr ellenállása: $\rho^* = R \cdot A$. Mértékegysége: Ωm^2 , $\text{k}\Omega\text{cm}^2$.

A BŐR FAJLAGOS KAPACITÁSA: egységnyi felületű bőr kapacitása: $\gamma^* = C/A$. Mértékegysége F/m^2 , $\mu\text{F}/\text{cm}^2$.

Az elektromos áram biológiai hatásai, veszélyessége, az érintésvédelem, valamint a diagnosztika szempontjából is érdekes lehet a bőr olyan adatainak ismerete, amelyeket az impedancia (váltakozó áramú-, röviden váltóáramú ellenállás) mérések szolgáltatnak. Gyakorlatunkon egyen- és váltóáramú mérések eredményeiből meghatározzuk a bőr fajlagos ellenállását és fajlagos kapacitását.

Az elektromos áramnak az emberre gyakorolt hatását nagymértékben befolyásolja az áram típusa (egyenáram, váltóáram, impulzusok, lásd 1. ábra), az áram erőssége és az egyes szervekben fellépő áramsűrűség, valamint az áramhatás időtartama (l. a címlap ábráját). Az áram erősségét kívülről a test felületére jutó adott feszültség esetén döntő mértékben a bőr impedanciája szabja meg.

Kapcsolódó részek:
Damjanovich - Fidy - Szöllösi:
VII/1.2.2., VII/1.2.3.



1. ábra. Az elektromos áram tipikus jelalakjai.

A bőr fajlagos ellenállása a bőr rétegvastagságától és strukturájától függ. Adott esetben értékét a bőr keringésének pillanatnyi állapota erősen befolyásolja, ami pedig a vegetatív idegrendszer szabályozása alatt áll. Ebből következik, hogy a fajlagos ellenállás értéke helyről helyre és időről időre változik. Ennek mérése felhasználható a diagnosztikában, például az alábbi eljárásokban:

- Ha egy bőrterület beidegzése károsodott, az adott terület ellenállása megnő. Ennek alapján az idegműködés vizsgálható.
- Az idegműködés változásán alapul az ún. hazugságvizsgáló gép működése is. Ez esetben a bőrimpedanciával párhuzamosan több más paramétert is mérnek (pulzusszám, vérnyomás, légzésszám, stb.).
- Az ellenállás pontszerű, helyi megváltozása alapján nagy valószínűséggel megtalálhatók az ún. akupunktúrás pontok.

A bőr impedanciájának nagysága a test felszínén mérhető elektromos jelek (pl. EKG, EEG jelek) mérésekor is szerepet játszik.

Más szövetek, testrészek impedanciájának mérése is hasznos információkat nyújthat az orvos számára.

- A legújabb, az ellenállás mérésén alapuló eljárás az **impedancia tomográfia**. Lényege az, hogy a vizsgálandó testrészen — amelyre nagyszámú mérőelektrodot helyeznek fel — nagyfrekvenciás váltakozó áramot vezetnek át. Az elektrodok által detektált jeleket számítógép értékeli és kialakítja a testrészt ellenállási térképét. A CT-hez hasonlóan (lásd 13. RÖNTGEN – CT) különböző metszeti képek hozhatók létre. Bizonyos kórképek esetén (pl. érszűkület, tüdővizenyő) jellegzetes, diagnosztikus értékű változások jelennek meg az ellenállási térképen.
- Az egyes szövetek közül a vér tűnik ki viszonylag nagy vezetőképesége, kicsiny ellenállása révén. Ezért alkalmas az ellenállás mérése a vér áramlásának vizsgálatára is. Az **impedancia kardiográfiában** a mellkasra helyezett elektrodok segítségével a szívét is magába foglaló testrészt ellenállását mérik. A szív vérrrel való telítődése, majd a vérnek az aortába való pumpálása során az ellenállás jellegzetesen ingadozik, aminek mértékéből a szív pulzustérfogata, valamint perctérfogata meghatározható. Hasonló eljárás az **impedancia pletizmográfia** is, amellyel a végtagok vérellátását vizsgálják.

Végül megemlítünk még két alkalmazási lehetőséget. A két tenyér, vagy két talp közötti ellenállásméréssel (l. a címlap ábráját) megbecsülhető a test zsírtartalma, ugyanis a zsírszövet ellenállása nagyobb, mint a többi lágy szöveté. A mellkas ellenállásának mérésével pedig még a légzés folyamatos ellenőrzése is lehetséges.

ELMÉLETI ÖSSZEFOGLALÁS

A BŐR ELEKTROMOS MODELLJE

A bőr ellenállását (R), ill. impedanciáját (Z) a 2. ábra szerinti kapcsolásban feszültség és áramerősség mérésére vezetjük vissza. Egyenáram esetén $R = U_{\text{gen}} / I_{\text{bőr}}$, váltóáram esetén pedig $Z = U_{\text{gen eff}} / I_{\text{bőr eff}}$. A mérésben feszültségforrásként egyen-, ill. váltófeszültségű **függvénygenerátort**, ampermérőként **digitális multimétert**, az áram testbe való bevezetéséhez pedig két **fémlektrodot** használunk.

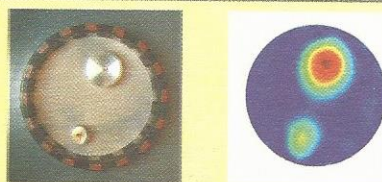
A mérőáramkör helyettesítő kapcsolásában (3. ábra) figyelembe vesszük, hogy a két elektród között különböző felületű (A_1, A_2), de kb. azonos vastagságú (l) bőrrétegek valamint izomszövet vannak **sorba kapcsolva**:

A hazugságvizsgáló gép által vizsgált paraméterek egyike a bőr ellenállása. Az ujjbegy izzadságmirigyének aktivitása nagymértékben befolyásolja az itt mért ellenállást. Az izzadás mértékét pedig a hazugság befolyásolhatja.

egyenáram
direct current, DC current
Gleichstrom

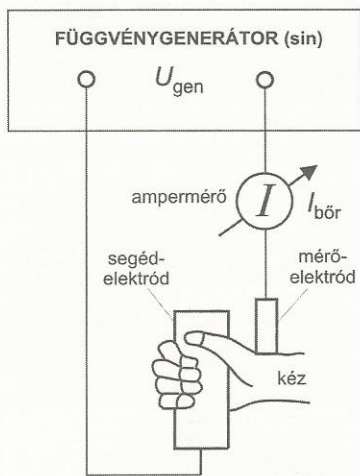
váltakozó áram, váltóáram
alternating current, AC current
Wechselstrom

impedancia
impedance
Impedanz



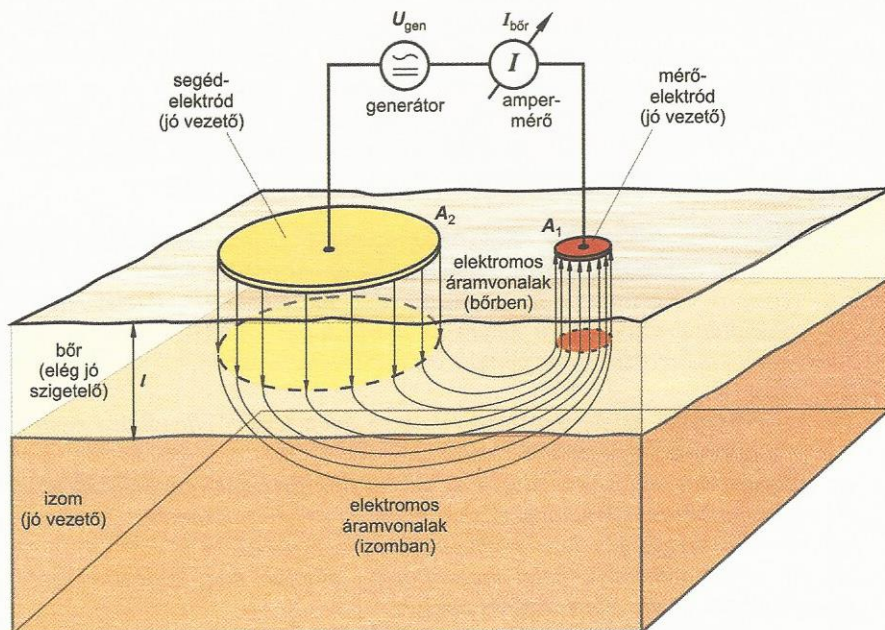
Különböző fajlagos ellenállású tárgyak helyzete jól rekonstruálható az **impedancia tomográfia** módszerével. A különböző szerveket modellező fantom fémtárgyai elektrolitban helyezkednek el, a kör peremén az elektrodok láthatók.

Impedancia (Z): Ohmos ellenállást, frekvenciafüggő elemeket (kondenzátort, tekercset) egyenesen tartalmazó elektromos áramkör adott frekvencián mérhető **váltóáramú ellenállása**. Jele: Z . Mértékegysége az ohm (Ω).



2. ábra. A bőrimpedancia mérés kapcsolási rajza.

- a bőr ellenállása, ill. kapacitása a mérőelektrod alatt (R_1 és C_1),
- az izom ellenállása (R_i),
- a bőr ellenállása, ill. kapacitása a segédelektrod alatt (R_2 és C_2).



3. ábra. A bőr ellenállásának mérési vázlatja. (A bőr vastagsága erősen fel van nagyítva.)

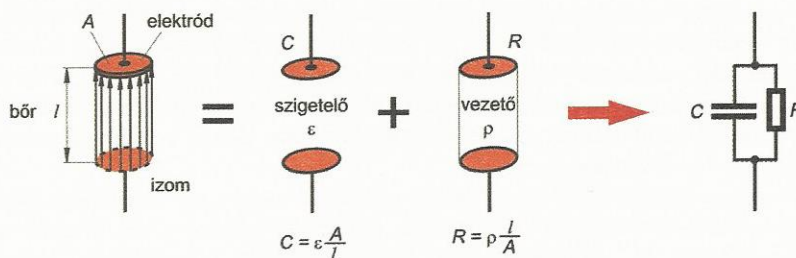
A bőr vezetőnek, de egyben szigetelőnek is tekinthető, ezért a bőr elektrodok alatti A felületű és l vastagságú részét egy ellenállással (R) és egy kondenzátorral (C) helyettesíthetjük, amelyek párhuzamosan kapcsolódnak (4. ábra).

Egy A felületű, l vastagságú, ρ fajlagos ellenállású elektromos vezető R ellenállása:

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

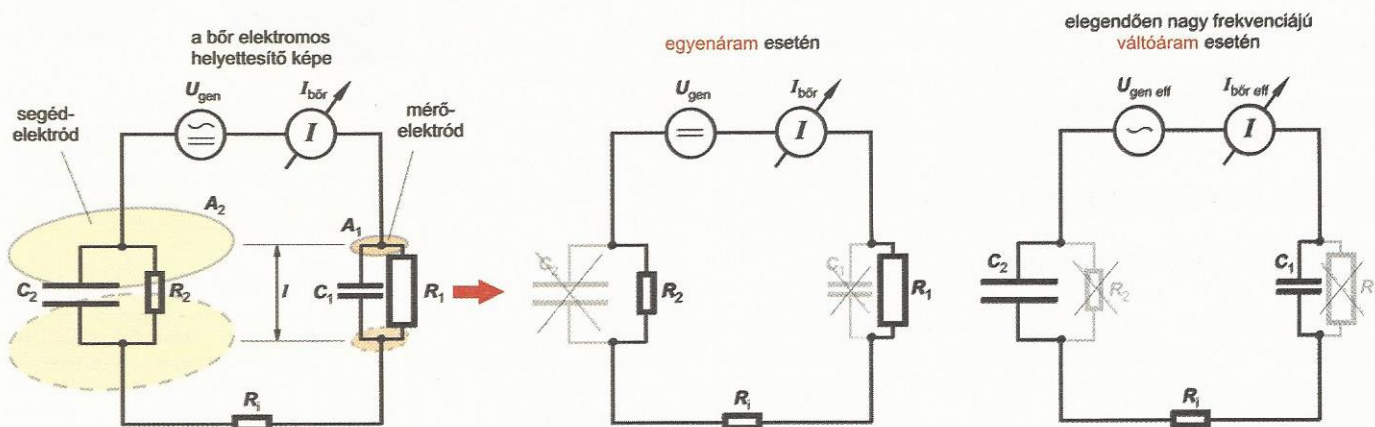
Egy A felületű elektrodok közötti, l vastagságú, ϵ dielektromos állandójú elektromos szigetelő C kapacitása:

$$C = \epsilon \frac{A}{l}$$



4. ábra. A bőr elektromos modellje az egyik elektrod alatt.

A segéd- és mérőelektrod, valamint az izom elektromos helyettesítő képe a mérési elrendezésnek megfelelő kapcsolásban az 5. ábra bal oldalán látható.



5. ábra. A bőr mérési elrendezésének elektromos helyettesítő kapcsolása.

A modell meglehetősen bonyolult, öt elemet tartalmaz, ezért célszerű bizonyos megfontolásokat tenni a kevésbé meghatározó elemek elhagyására. Ezért először az egyenáramú mérés körülményeit vizsgáljuk (5. ábra középső része). Ekkor a

kondenzátorok (C_1, C_2) nem játszanak szerepet, hiszen az áramok kizárólag az ellenállásokon folynak.

Mivel a mérőelektrod felülete sokkal kisebb, mint a segédelektrodé: $A_1 \ll A_2$, és az ellenállás a felületekkel fordítottan arányos, ezért:

$$R_1 = \rho \frac{l}{A_1} \gg R_2 = \rho \frac{l}{A_2}, \quad (1)$$

ahol ρ a bőr fajlagos ellenállása. Megállapíthatjuk, hogy az elektrolitban gazdag izom R_i ellenállása igen kicsi az R_1, R_2 -hez képest. Ezért R_i , és az (1) alapján R_2 is elhanyagolható az R_1 -hez képest, így a soros kapcsolás eredő ellenállása:

$$R_e = R_1 + R_i + R_2 \cong R_1. \quad (2)$$

A fentieket figyelembe véve az egész áramkörben az egyetlen számottevő ohmos ellenállás: **a mérőelektrod alatti bőr R_1 ellenállása.**

Másodszorra a **váltóáramú mérés** körülményeit vesszük figyelembe (5. ábra jobb oldali része), feltételezve, hogy a frekvencia „elegendően” nagy.

A kondenzátorok **kapacitív ellenállása**, X_C :

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}, \quad (3)$$

ahol f a váltóáram frekvenciája. A fenti összefüggés szerint minél nagyobb a frekvencia, annál kisebb lesz a kapacitív ellenállás.

Megállapíthatjuk, hogy a kondenzátorok kapacitív ellenállásai (X_{C1}, X_{C2}) igen kicsinyek a velük párhuzamosan kapcsolódó ellenállásokhoz képest, így az áramok elegendően nagy frekvencián kizárólag a kondenzátorokon folynak. Ezért az R_1, R_2 ellenállások elhagyhatók.

Mivel a mérőelektrod felülete sokkal kisebb, mint a segédelektrodé: $A_1 \ll A_2$, a bőr kapacitása az elektrodok alatt a felületekkel arányos lesz:

$$C_1 = \varepsilon \frac{A_1}{l} \ll C_2 = \varepsilon \frac{A_2}{l}, \quad (4)$$

ahol az ε a bőr dielektromos állandója. A (3) és (4) szerint:

$$X_{C1} = \frac{1}{2\pi f C_1} \gg X_{C2} = \frac{1}{2\pi f C_2}. \quad (5)$$

Az izom R_i ellenállása ebben az esetben is jelentéktelen nagyságú, így elhanyagolható, tehát a soros kapcsolás eredő váltóáramú ellenállása, impedanciája:

$$Z_e = X_{C1} + X_{C2} \cong X_{C1}. \quad (6)$$

A mérési elrendezés eredő kapacitását elegendően nagy frekvencia esetén tehát a **mérőelektrod alatti bőr C_1 kapacitása határozza meg.**

Modellünket mindössze két elemre zsugorítottuk: a mérőelektrod alatti bőr ellenállására (a továbbiakban $R = R_1$) és kapacitására (a továbbiakban $C = C_1$), (6. felső ábra). A fentebbi megfontolások alapján R és C ismét külön-külön érvényesülhet, attól függően, hogy egyenáramú, vagy elegendően nagy frekvenciájú váltóáramú közelítést alkalmazunk (6. középső és alsó ábra).

Összefoglalva: Az **egyenáramú mérés** lényegében a bőr mérőelektrod alatti **R ellenállását** adja, míg az elegendően nagy frekvenciájú **váltóáramú mérés** lényegében a bőr mérőelektrod alatti **X_C kapacitív ellenállását** szolgáztatja.

Ellenállások sorbakapcsolásánál az egyenáramú **eredő ellenállás** az egyedi ellenállások összege:

$$R_e = R_1 + R_2 + \dots$$

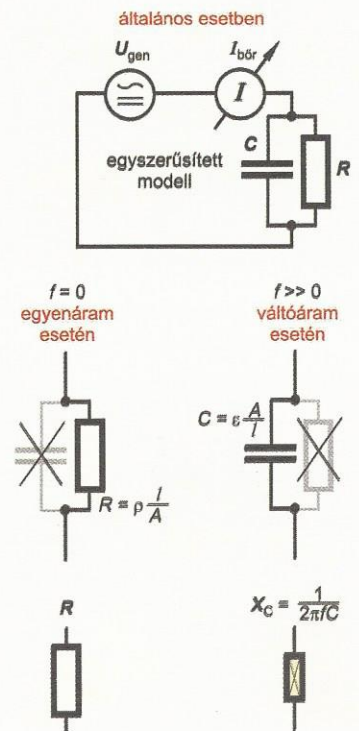
Váltóáramú esetben kondenzátorok sorbakapcsolásánál az **eredő impedancia** az egyedi váltóáramú ellenállások összege:

$$Z_e = X_{C1} + X_{C2} + \dots$$

A fentiekben — az egyszerűség kedvéért — csak **egyenáramú**, ill. **elegendően nagy frekvenciájú váltóáramú** esetben írtuk le a bőr impedancia egyszerűsített modelljét. A teljesség kedvéért, de levezetés nélkül megadjuk az impedanciagörbe egzakt matematikai egyenletét, amely **minden frekvenciára** érvényes:

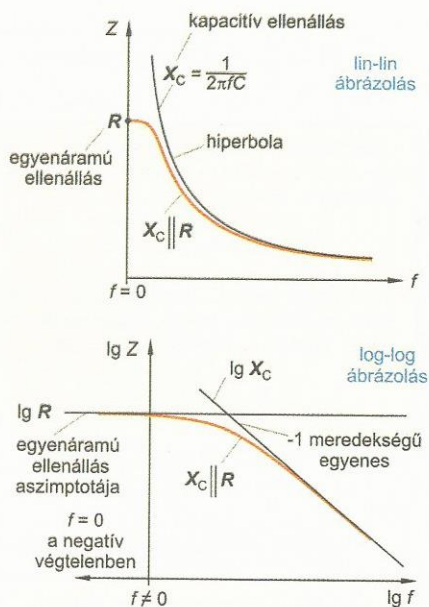
$$|Z| = \frac{R}{\sqrt{1 + (2\pi f RC)^2}}$$

Természetesen, f helyébe nullát ill. elegendően nagy frekvenciaértéket helyettesítve, az impedanciára R , ill. az $X_C = 1/2\pi f C$ értékeket kapjuk, ami megegyezik a modellünkben használt közelítésekkel.



6. ábra. Az egyszerűsített modell és az egyenáramú, ill. elég nagy frekvenciájú váltóáramú helyettesítő kép.

A BŐRIMPEDANCIA ÁBRÁZOLÁSA A FREKVENCIA FÜGGVÉNYÉBEN



A 7. ábra felső részén a bőrimpedancia (Z) értékének változását ábrázoltuk a frekvencia függvényében. Egyenáram ($f = 0$) esetén a mért ellenállást egy pont ábrázolja (R). Váltóáramú mérésnél, ha a frekvencia elég nagy, a párhuzamos kapcsolás kondenzátorként viselkedik, így az együttes impedancia-görbe (piros) belesimul a kondenzátorra jellemző hiperbolába ($X_C = 1/2\pi f C$).

A mérési pontokra grafikus úton azonban nehézkes lenne egy pontos hiperbolát illeszteni, ezért a (3) összefüggést logaritmáljuk, aminek következtében a hiperbola -1 meredekségű egyenessé alakul:

$$\lg X_C = \lg\left(\frac{1}{2\pi C}\right) + \lg\left(\frac{1}{f}\right), \quad (7)$$

$$\lg X_C = -\lg(2\pi C) - \lg f. \quad (8)$$

Ha a milliméterpapírunk y , ill. az x tengelye logaritmikusan beosztású, $y = \lg X_C$, ill. $x = \lg f$ helyettesítéssel élhetünk:

$$y = \text{konst.} - x, \quad (9)$$

ami egy -1 meredekségű egyenes egyenlete. Tehát logaritmikusan ábrázolás esetén a mérési pontjainkra vonalzóval kényelmesen egyenest illeszthetünk.

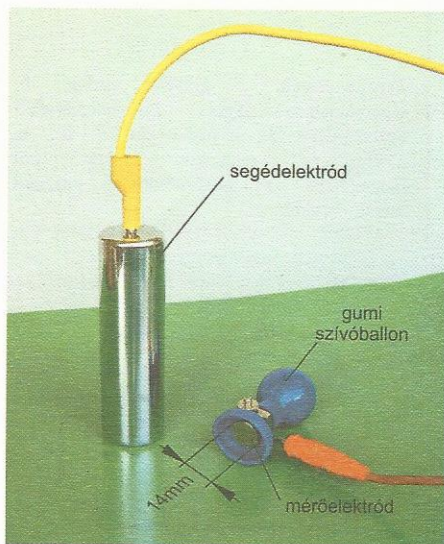
Mivel a logaritmikusan beosztású x -tengely nulla pontja a negatív végtelenben található, az egyenáramú ellenállásmérés R értéke nem ábrázolható közvetlenül. Helyette $\lg R$ értéknél egy vízszintes egyenest húzunk, amelyhez, mint aszimptotához a mért impedanciagörbénk hozzásimul.

A MÉRÉS MENETE

Az elektródok képét a 8. ábrán láthatjuk. A 2., vagy a 10. ábra alapján a mérőszinórok segítségével összeállítjuk a bőrimpedancia mérő kapcsolást.

A mérőáramkörbe két elektród és mérőszinórok közvetítésével kapcsolódunk be: a vastag – vizes gézlappal borított – nagyméretű **segédelektrodát** kézbe fogjuk, a szívóballonos **mérőelektrodát** pedig a vízzel megnedvesített alkarra, vagy a kézfejre rögzítjük (10. ábra). Mérőáramforrásként többfunkciós **függvénygenerátor** (9. ábra), mint egyenfeszültségű, ill. mint szinuszos váltófeszültségű áramforrás szolgál. A mérőfeszültséget az (OUT) jelzésű banánhüvelyekbe csatlakoztatott mérőszinórok szolgáltatják. A bőrön átfolyó áramerősség-értékeket **digitális multiméterrel** mérjük. A mérőszinórok a digitális multiméter (COM) ill. a (A) jelzésű banánhüvelyekbe kerülnek.

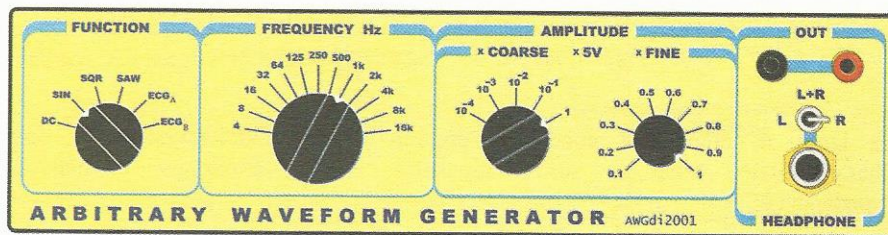
7. ábra. A bőrimpedancia lineáris és logaritmikusan ábrázolásban.



8. ábra. A bőrimpedancia méréséhez használt elektródok.



10. ábra. A bőrimpedancia mérési elrendezése.



9. ábra. A többfunkciós függvénygenerátor, mint egyen- és váltóáramforrás.

EGYENÁRAMÚ ELLENÁLLÁSMÉRÉS:

A **bőr egyenáramú ellenállásának** mérésekor a generátort a FUNCTION kapcsolójával (DC) egyenfeszültséget szolgáltatató állásba kapcsoljuk. Az egyenfeszültség nagysága:

$$U_{\text{gen}} = 5 \text{ (V)} \cdot U_{\text{coarse}} \cdot U_{\text{fine}}, \quad (10)$$

ahol U_{coarse} a COARSE kapcsoló, az U_{fine} pedig a FINE gomb állásáról olvasható le. A digitális multimétert egyenárammértő (DC A szektor) állásba kapcsoljuk, és a méréshatárt kezdetben egy közepes értékre, pl. 200 mA-re (200m) állítjuk. A méréshatárt ezután addig csökkentjük, amíg az érzékenység megfelelő nem lesz.

A bőr egyenáramú ellenállását (R) az Ohm-törvény segítségével számítjuk ki. Értéke közvetlenül adódik a generátor feszültségének (U_{gen}) leolvasása és az áramerősségmérés ($I_{\text{bőr}}$) alapján.

$$R = \frac{U_{\text{gen}}}{I_{\text{bőr}}} \quad (11)$$

IMPEDANCIAMÉRÉS

A **bőr frekvenciafüggő váltóáramú impedanciáit** a generátor FUNCTION kapcsolójának (SIN) állásában mérjük ki. Mivel a szinuszos váltófeszültség amplitúdója olvasható le a műszerről, az effektív érték az alábbi képlet szerint számítható:

$$U_{\text{gen eff}} = 5 \text{ (V)} \cdot U_{\text{coarse}} \cdot U_{\text{fine}} \cdot 0,707. \quad (12)$$

A digitális multimétert váltóáramú (AC A szektor) állásba kapcsoljuk és a méréshatárt a fentebb már ismertetett módon állítjuk be. A táblázatban megadott frekvenciákat a FREQUENCY kapcsolóval beállítva, sorra kimérjük és feljegyezzük a bőrön keresztül folyó effektív áramerősség $I_{\text{bőr eff}}$ értékeit.

A bőr váltóáramú impedanciáit (Z) a generátor effektív feszültségéből ($U_{\text{gen eff}}$) és a mért áramerősség ($I_{\text{bőr eff}}$) adatokból az Ohm-törvény segítségével számítjuk ki:

$$Z = \frac{U_{\text{gen eff}}}{I_{\text{bőr eff}}} \quad (13)$$

Egyenáramon és alacsonyabb frekvenciákon a maximális amplitúdót állítsuk be. Magasabb frekvenciáknál $U_{\text{coarse}} = 10^{-1}$ értéket célszerű beállítani, az esetleges rázásérzet elkerülése miatt.

A bőr ohmos ellenállása, ill. frekvenciafüggő impedanciái kiszámítása után a mérési adatokból olyan paramétereket határozhatunk meg, melyek függetlenek a mérőelektrod geometriai méretétől. Ezek a **bőr fajlagos ellenállása**, ill. a **bőr fajlagos kapacitása**.

A BŐR FAJLAGOS ELLENÁLLÁSÁNAK KISZÁMÍTÁSA

A technikában szokásos $R = \rho l / A$ formula helyett vezetőrétegek (membrán, bőr) esetében az $R = \rho^* / A$ használatos. A réteg $\rho^* = \rho l$ **fajlagos ellenállásában** a réteg l vastagsága is benne foglaltatik (u. i. az l nem ismert), ezért itt ρ^* egysége: **ohm·m²**. A bőr fajlagos ellenállását tehát az alábbi képlet alapján számoljuk ki:

$$\rho^* = R \cdot A, \quad (14)$$

ahol az A felületet a korong alakú mérőelektrod $d = 14$ mm-es átmérőjéből számítjuk ki m²-ben.

A BŐR FAJLAGOS KAPACITÁSÁNAK KISZÁMÍTÁSA




A bőr kapacitásának a kiszámításához önkényesen kiválasztunk egy pontot az impedancia görbe lejtős szakaszán, lehetőleg a nagyobb frekvenciákhoz tartozó értékek közül. Ekkor a modell jó közelítéssel kapacitívnek tekinthető. A (3) összefüggésből a C -t kifejezve kapjuk:




$$C = \frac{1}{2\pi f Z}, \quad (15)$$

amibe az f -et és a hozzátartozó, (13) alapján kiszámolt Z értéket behelyettesítve megkapjuk a bőr mérőelektrod alatti kapacitását.

A bőr **fajlagos kapacitása** $\gamma^* = \varepsilon / l$, melynek mértékegysége F/m², a fentiekhez hasonlóan a $C = \varepsilon A / l$ formula alapján az alábbi képlet szerint számítjuk ki:

$$\gamma^* = \frac{C}{A}. \quad (16)$$

	fajlagos ellenállás
	resistivity, specific resistance
	spezifischer Widerstand

	fajlagos kapacitás
	specific capacity
	spezifische Kapazität

FELADATOK

1. A függvénygenerátort, a digitális multimétert, és az elektródokat kössük össze a 2. ill. a 10. ábrának megfelelően!
2. Állítsuk be az ajánlott feszültségértékeket (U_{gen}) a generátoron és jegyezzük fel az értéket! Váltóáramú esetben számítsuk ki az effektív értékeket ($U_{\text{gen eff}}$)!
3. A készülékek egyenáramú állásában mérjük meg a bőrön átfolyó áramot ($I_{\text{bőr}}$)! Számítsuk ki az egyenáramú ellenállás (R) értékét!
4. A készülékek váltóáramú állásában a frekvencia változtatásával (16 Hz – 8 kHz) mérjük ki a megadott frekvenciákon a bőrön átfolyó váltóáramot ($I_{\text{bőr eff}}$)! (Nagyobb frekvenciákon csökkentjük a generátor feszültségét)! Számítsuk ki az adott frekvenciákhoz tartozó váltóáramú ellenállások, azaz az impedanciák (Z) értékeit!
5. Ábrázoljuk (mindkét tengelyen logaritmusos beosztás mellett) az impedanciát (Z) a frekvencia (f) függvényében (lásd BEVEZETŐ, jegyzőkönyv minta)! Rajzoljuk be az egyenáramú mérés aszimptotáját R -nél, ill. a nagyobb frekvenciákhoz tartozó pontokhoz illeszkedő -1 meredekségű egyenest!
6. A bőr mérőelektród alatti ohmos ellenállásából (R) számítsuk ki a fajlagos ellenállást (ρ^*)!
7. Határozzuk meg a bőr mérőelektród alatti kapacitását (C) a fentiek szerint, majd számítsuk ki a fajlagos kapacitást (γ^*)!

A JEGYZŐKÖNYV TÁBLÁZATÁNAK TERVEZETE:

frekvencia (Hz)	$U_{\text{gen}}, U_{\text{gen eff}}$ (V)	$I_{\text{bőr}}, I_{\text{bőr eff}}$ (A)	R, Z (Ω)
0 (egyenáram)			
16			
32			
64			
125			
250			
500			
1000			
2000			
4000			
8000			