

POMIAR PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH SKÓRY**Zagadnienia:**

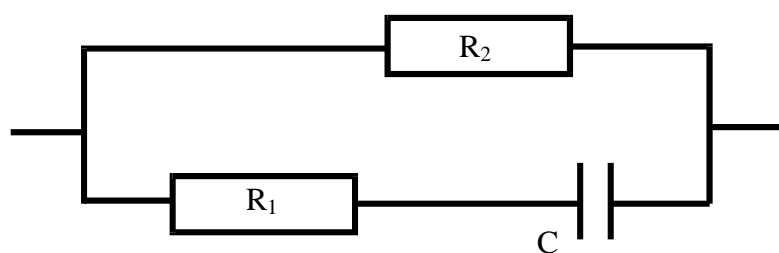
1. Budowa i funkcja skóry ludzkiej.
2. Natężenie prądu elektrycznego, opór właściwy i przewodnictwo właściwe. Łączenie oporów.
3. Obwód RC. Ładowanie i rozładowanie kondensatora.
4. Znajomość obsługi oscyloskopu.

Literatura:

1. Podręczniki kursowe do fizyki.
2. B. Kędzia, Materiały do ćwiczeń z biofizyki i fizyki.
3. R. Glaser, Wstęp do biofizyki (rozdział 5.4.2)
4. J. Terlecki, Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki i fizyki.

Wprowadzenie teoretyczne:

Skóra ludzka składa się z dwóch warstw: naskórka i skóry właściwej. Istnieje ścisły związek pomiędzy stanem czynnościowym skóry, a jej właściwościami fizycznymi. Warstwowa struktura skóry i występujące między jej powierzchniami różne stężenia jonów wytwarzają różnicę potencjałów zwaną biopotencjałem. Wypadkowa różnica potencjałów pomiędzy stroną wewnętrzną a zewnętrzną skóry zawiera się w przedziale 30 – 50mV (strona wewnętrzna ma potencjał ujemny). Wartość różnicy potencjałów zależy od czynności gruczołów potowych i naczyń krwionośnych. Skórę ludzką można traktować jako aktywny układ elektryczny zawierający źródło energii elektrycznej i rozproszone opory zarówno czynne jak i bierne (opór omowy i pojemnościowy). W ćwiczeniu mierzone będą właściwości elektryczne skóry ujawnione przy przepływie przez nią prądu elektrycznego wywołanego zewnętrzną różnicą potencjałów. Ze względu na ogromną liczbę elementów składowych (rozproszonych) skóry układ jest bardzo skomplikowany. Dlatego aby zbudować układ zastępczy skóry ("model elektryczny") należy dokonać upraszczających założeń, przy których parametry elektryczne układu są zbliżone do parametrów elektrycznych skóry. Przyłożenie do skóry podłużnego stałego napięcia elektrycznego powoduje przepływ prądu elektrycznego, analogicznie jak w układzie przedstawionym na rys 1. Układ ten można przyjąć jako elektryczny układ zastępczy skóry.



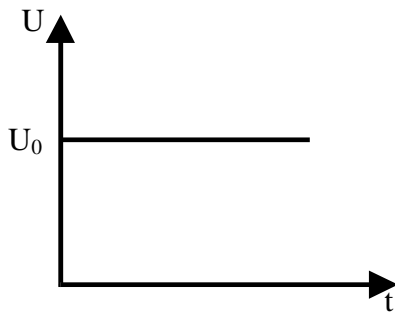
Rys 1. Elektryczny układ zastępczy skóry.

Układ zastępczy charakteryzują następujące parametry:

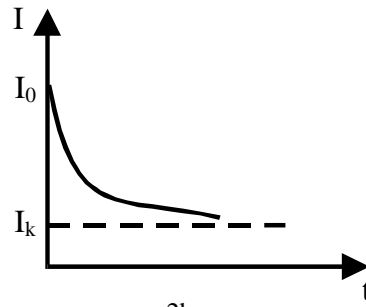
- a) przewodność stała $G_s = R^{-1}$ w gałęzi zawierającej opór R_2
- b) przewodność zmienna G_z w gałęzi zawierającej opór R_1 i pojemność C
- c) stała czasowa τ określona zależnością $\tau = R_1 C$

Przewodność zmienna G_s i pojemność C są ważnymi parametrami określającymi stan czynnościowy skóry. Niestety określenie "normy" dla tych parametrów nie jest łatwe, ponieważ ich wartości zależą od stanu zdrowia badanej osoby i lokalizacji badanego fragmentu skóry. Ponadto wśród osób zdrowych występuje znaczny rozrzut wartości tych parametrów. Zwiększenie pojemności i przewodności stałej

obserwuje się w stanach zapalnych skóry, zmniejszenie zaś u chorych z twardziną uogólnioną i przy porażeniach połowicznych pochodzenia mózgowego.



rys 2a



rys 2b

W ćwiczeniu należy zbadać zachowanie się zastępczego układu elektrycznego skóry (o znanych wartościach R_2 , R_1 i C) pobudzonego skokiem napięcia U_0 (rys 2a.).

W chwili początkowej $t = 0$ napięcie na kondensatorze jest równe zero. Zatem opór:

$$R_0 = \frac{R_2 \cdot R_1}{R_2 + R_1} \quad (1)$$

Natężenie prądu w chwili $t = 0$:

$$I_0 = \frac{U_0}{R_0} = U_0 \frac{R_2 + R_1}{R_2 \cdot R_1} \quad (2)$$

Po całkowitym naładowaniu się kondensatora, opór układu będzie równy $R_k = R_2$, ponieważ przez elementy R_1 , C prąd nie będzie płynął, zatem:

$$I_k = \frac{U_0}{R_2} \quad (3)$$

Zmiany natężenia prądu $I = f(t)$ w takim układzie po przyłożeniu napięcia U_0 ilustruje rys 2b.

Stała czasowa $\tau = R_1 C$ odpowiada czasowi, po którym wartość chwilowa składowej przejściowej natężenia prądu maleje e -krotnie.

$$\left(\frac{I_0 - I_k}{e} \right)_{t=\tau}, \quad e = 2,71$$

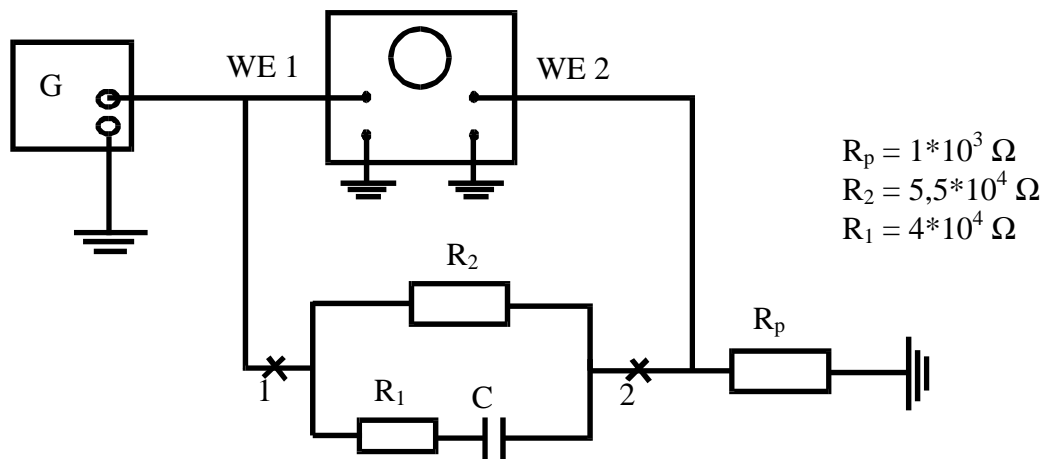
W rozważanym układzie zmiany natężenia prądu są opisane zależnością:

$$I = \frac{U_0}{R_2} + \frac{U_0}{R_1} \exp\left(-\frac{t}{R_1 C}\right) \quad (4)$$

Pomiar wartości I_0 , I_k i τ przy znanej wartości napięcia U_0 pozwala na wyznaczenie wartości nieznanymi wielkości R_1 , R_2 i C . Opory rzeczywiste R_2 i R_1 są związane z jonowym przewodnictwem prądu elektrycznego w różnych warstwach skóry (R_2 reprezentuje warstwę rogową). Pojemność elektryczna C skóry jest związana z pojemnością błon żywych komórek oraz z tym, że między niektórymi warstwami skóry występuje wyraźna granica o małej przewodności, analogicznie jak dielektryk w kondensatorze.

Wykonanie ćwiczenia:

W praktyce jako źródło skokowej zmiany napięcia stosowany jest generator impulsów prostokątnych. Na rys 3. przedstawiono schemat układu pomiarowego (zawierającego elementy R_2 , R_1 , C o znanych wartościach) imitującego własności elektryczne skóry. Do układu dołączono szeregowo opór R_p . Zmiany napięcia na tym oporze $U_p = IR_p$ obserwujemy na ekranie oscyloskopu.



Rys 3. Schemat układu pomiarowego imitującego własności elektryczne skóry.

A. Elektryczny obwód zastępczy

- Połączyć obwód według schematu przedstawionego na rys 3.
- Pokręta i klawisze oscyloskopu powinny być ustawione w następujących pozycjach:
kanał 1 – wzmacnienie napięciowe 2V/działkę
kanał 2 – 0,2V/działkę (ewentualnie zwiększyć czułość)
podstawa czasu – 0,2 ms/działkę
- Włączyć oscyloskop i generator impulsów prostokątnych. Za pomocą pokręta poziomu wyzwalania uzyskać stabilny obraz. Częstotliwość generatora powinna być równa $f = 500\text{Hz}$.

Uwaga : Zwrócić uwagę na to, czy wszystkie pokręta regulacji płynnej znajdują się w pozycji kalibrowanej (cal)

- Ustalić wartość amplitudy sygnału zasilającego układ $U_0 = 5\text{V}$ (zmierzyć za pomocą oscyloskopu – kanał 1, $U_0 = wk$, $w = 2\text{V/dz}$, k – liczba działek).
- Dobrać tak czułość kanału 2 (pomiar spadku napięcia na oporze R_p) aby wartości U_{p0} odpowiadało 7-8 działek na ekranie. Podstawa czasu musi być tak dobrana aby można było wyznaczyć wartość $t = \tau$.

$$\text{dla którego napięcie } U = \left(\frac{U_{p0} - U_{pk}}{e} \right)_{t=\tau}$$

- Zapisać wzmacnienie kanału 1 i 2 oraz podstawę czasu. Zmierzyć wartości napięć U_0 , U_{p0} i U_{pk} .
- Przerysować z ekranu obserwowane przebiegi i obliczyć τ . Jeżeli $R_p \ll (R_2, R_1)$ (w praktyce wystarczy, że $R_p = 0,1R_2$) to można wykazać (obliczenia w załączniku do instrukcji), że:

$$R_2 \approx \frac{U_0}{U_{pk}} R_p \quad (5)$$

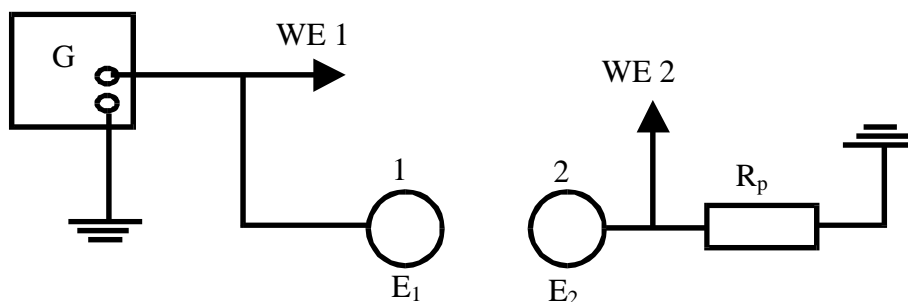
$$R_1 \approx \frac{U_0}{U_{p0} - U_{pk}} R_p \quad (6)$$

Korzystając z zależności 5 i 6 obliczyć wartości oporów R_2 i R_1 wiedząc, że $R_p = 1\text{k}\Omega$.

Z zależności $\tau = R_1 C$ obliczyć pojemność C . Porównać uzyskane wyniki z rzeczywistymi wartościami $R_2 = 5,5 \cdot 10^4 \Omega$, $R_1 = 4 \cdot 10^4 \Omega$, $C = 4,5\text{nF}$

B. Pomiar parametrów skóry

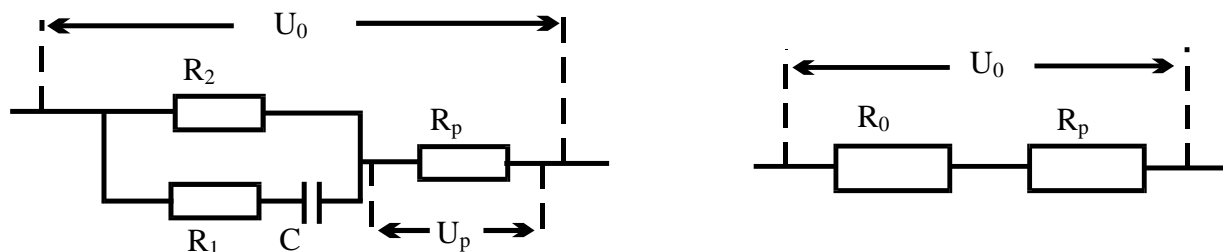
- 1) Rozłączyć obwód w punktach 1,2 (schemat rys 3).
- 2) Obwód R_1 , R_2 , C zastępujemy elektrodami włączonymi w punktach 1,2.



- 3) Powierzchnię elektrod należy posmarować cieniutką warstwą żelu i przyłożyć do skóry przedramienia badanej osoby. Odległość pomiędzy elektrodami powinna być równa $d = 5\text{cm}$.
- 4) Włączyć generator i powtórzyć czynności wymienione w punktach A (4-7).
- 5) Po przemyciu elektrod alkoholem te same czynności pomiarowe powtarza druga osoba wykonująca ćwiczenie.
- 6) Porównać obserwowany przebieg zmian napięcia w funkcji czasu z przebiegiem zarejestrowanym w punkcie A7.
- 7) Obliczyć stałą czasową τ , R_2 , R_1 i C dla pierwszej i drugiej osoby.
- 8) Przeprowadzić dyskusję wyników uzyskanych w części A i B.

DODATEK

CZĘŚĆ A

W chwili $t = 0$

$$R_0 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

$$I_0 = \frac{U_0}{R_0 + R_p}$$

$$U_{p_0} = U_0 - I_0 R_0 = U_0 - \frac{U_0 R_0}{R_0 + R_p}$$

$$U_{p_0} = U_0 \left(1 - \frac{R_0}{R_0 + R_p} \right) = U_0 \frac{R_0 + R_p - R_0}{R_0 + R_p} = U_0 \frac{R_p}{R_0 + R_p}$$

$$\frac{U_0}{U_{p_0}} = \frac{R_0 + R_p}{R_p} = 1 + \frac{R_0}{R_p} \quad \frac{U_0}{U_{p_0}} = g \quad (2)$$

W chwili $t = \infty$

$$I_k = \frac{U_0}{R_2 + R_p} \quad U_{p_k} = U_0 - I_k R_2$$

$$U_{p_k} = U_0 - \frac{U_0 R_2}{R_2 + R_p} = U_0 \left(1 - \frac{R_2}{R_2 + R_p} \right)$$

$$U_{p_k} = U_0 \frac{R_p}{R_2 + R_p}$$

$$R_p \ll R_2 \quad U_{p_k} = U_0 \frac{R_p}{R_2}$$

$$R_2 = \frac{U_0}{U_{p_k}} R_p \quad (3)$$

Podstawiamy do (1)

$$R_0 = \frac{R_1 k R_p}{R_1 + k R_p} \quad \text{podstawiamy do (2)}$$

$$g = 1 + \frac{R_1 k}{R_1 + k R_p}$$

CZĘŚĆ B

$$g - 1 = \frac{R_1 k}{R_1 + kR_p} \qquad k = \frac{U_0}{U_{p_k}} \qquad g = \frac{U_0}{U_{p_0}}$$

$$(g - 1)(R_1 + kR_p) = R_1 k$$

$$R_1 g + kgR_p - R_1 - kR_p = R_1 k$$

$$R_1(g - 1 - k) = R_p k(1 - g)$$

$$R_1 = \left| \frac{k(1 - g)}{g - k - 1} \right| R_p$$

licznik $\frac{U_0}{U_{p_k}} \left(1 - \frac{U_0}{U_{p_0}} \right)$

mianownik $\frac{U_0}{U_{p_0}} - \frac{U_0}{U_{p_k}} - 1 = \frac{U_0 U_{p_k} - U_0 U_{p_0} - U_{p_0} U_{p_k}}{U_{p_0} U_{p_k}}$

$$R_1 = R_p \left| \frac{\frac{U_0}{U_{p_k}} \left(1 - \frac{U_0}{U_{p_0}} \right)}{\frac{U_0 U_{p_k} - U_0 U_{p_0} - U_{p_0} U_{p_k}}{U_{p_0} U_{p_k}}} \right|$$

$$R_1 = R_p \frac{U_0 \left(1 - \frac{U_0}{U_{p_0}} \right) U_{p_0}}{U_0 \left(U_{p_k} - U_{p_0} - \frac{U_{p_0} U_{p_k}}{U_0} \right)} = \frac{U_{p_0} - U_0}{U_{p_k} - U_{p_0} - \frac{U_{p_0} U_{p_k}}{U_0}} R_p$$

$$R_1 = \frac{U_0 - U_{p_0}}{U_{p_0} - U_{p_k} + \frac{U_{p_0} U_{p_k}}{U_0}} R_p \qquad U_{p_0} \ll U_0 \qquad \frac{U_{p_0} U_{p_k}}{U_0} \rightarrow 0$$

$$R_1 = \frac{U_0}{U_{p_0} - U_{p_k}} R_p \tag{4}$$

Z zależności (3) i (4) można obliczyć R_1 i R_2 . Czas po którym $U_{p_0} - U_{p_k}$ zmaleje e-krotnie $\frac{U_{p_0} - U_{p_k}}{e}$

jest równy stałej czasowej $\tau = RC$