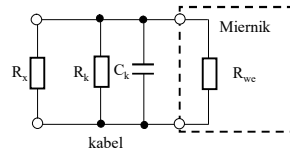


Pomiary dużych rezystancji (izolacji)

Cel: Zapoznać się z podstawowymi problemami pomiaru oraz pomiarami dużych rezystancji (parametrów izolacji)

1. Problemy pomiarów dużych rezystancji

- Problem pomiarów (przetworników) dużych rezystancji polega we wpływie rezystancji izolacji R_k i pojemności C_k kabla oraz wzmacniacze operacyjnych.



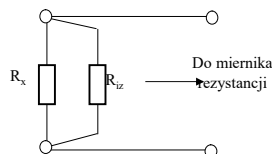
Te parametry bocznikują rezystancją mierzoną, wskutek czego wynik pomiaru równa się rezystancji równoległego połączenia mierzonego i kabla

$$R_{pom} = R_x \parallel R_k$$

Pojemność kabla powoduje zwiększenie czasu pomiaru ponieważ wzrasta stała czasowa obwodu pomiarowego

$$\tau_x \approx R_x \cdot C_k$$

1. Problemy pomiarów dużych rezystancji

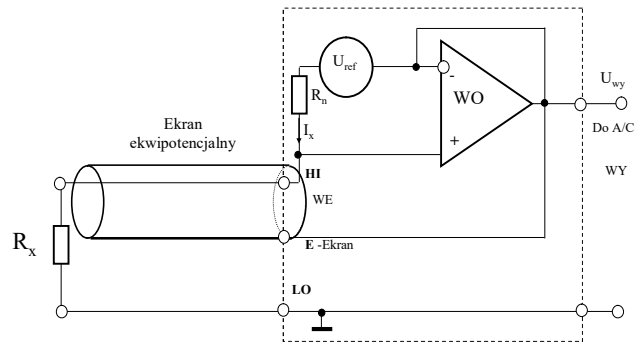


$$\delta_{iz} \cong \frac{G_{iz}}{G_x} \cong \frac{R_x}{R_{iz}}$$

Wpływ rezystancji izolacji kable

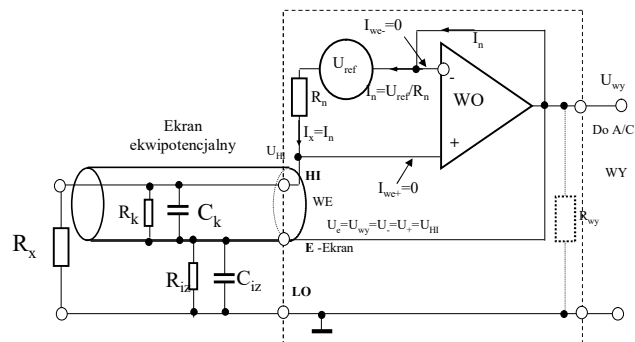
- **wpływ izolacji** z rezystancją powyżej $R_{iz}=100 \text{ G}\Omega$ przy $R_x < 100 \text{ M}\Omega$ jest mniejszy od **0,1%**.

2. Pomiaru dużych rezystancji z 3 - przewodowym podłączeniem obiektu badanego



Schemat pomiaru dużej wartości rezystancji

2. Pomiaru dużych rezystancji z 3 - przewodowym podłączeniem obiektu badanego



Schemat pomiaru dużej wartości rezystancji

2. Pomiary dużych rezystancji z 3 - przewodowym podłączeniem obiektu badanego

$$I_0 = I_x + I_k$$

Z punktu widzenia przetwarzania rezystancji w napięcie wpływ kabla przejawia się tym, że prąd pobudzający zamyka się nie tylko przez rezystor (obiekt) badany, ale także i przez rezystancją kabla, który są nie rozróżniane.

$$I_k = \frac{U_{WOwe}}{R_k}$$

5. Pomiary dużych z trzy - przewodowym podłączeniem obiektu badanego.

Dlatego wartość błędu względnego od wpływu tego prądu może być obliczona na podstawie wzoru

$$|\delta_{kabela}| = \frac{I_k}{I_x} = \frac{I_k}{I_n - I_k} = \frac{\frac{U_{WOwe}}{R_k}}{\frac{U_{ref}}{R_n} - \frac{U_{WOwe}}{R_k}} = \frac{1}{\frac{U_{ref}}{R_n} \cdot \frac{R_k}{U_{WOwe}} - 1} \approx \frac{U_{WOwe}}{R_k} \cdot \frac{R_n}{U_{ref}}$$

Przykładowo, jeżeli $U_{ref}=1$ V, $R_n=10$ M Ω , $U_{WOwe}=50$ mkV, $R_k=5$ G Ω

$$|\delta_{kabela}| \approx \frac{U_{WOwe}}{R_k} \cdot \frac{R_n}{U_{ref}} = \frac{50 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^9} \cdot \frac{10 \cdot 10^6}{1} = 10^{-7} = 0,1 \text{ ppm.}$$

Jeżeli ekran nie jest wykorzystywany, wtedy wartość błędu względnego od wpływu tego prądu może być obliczona na podstawie wzoru

$$|\delta_{kabela}| = \frac{R_x}{R_{iz} + R_x} \approx \frac{R_x}{R_{iz}}$$

Przykładowo, jeżeli przy $U_{ref}=1$ V, $R_n=10$ M Ω wartość nominalna napięcia wyjściowego ma być równą 10 V, wtedy $R_x=100$ M Ω , dlatego

$$|\delta_{kabela}| \approx \frac{100 \text{ M}\Omega}{5 \text{ G}\Omega} = 5\%$$

3. Pomiar parametrów izolacji

Podstawowymi obiektywnymi parametrami materiałów dielektrycznych (izolacji) w stałym polu elektrycznym są:

rezystywność skrośna ρ_s oraz
powierzchniowa ρ_p

3. Pomiar parametrów izolacji (rezystywności skrośnej i powierzchniowej)

Rezystywność skrośna ρ_s odwzoruje własności przepływu prądu wewnątrz objętości dielektryka umieszczonego pomiędzy dwoma elektrodami (o zadanej powierzchni), do których doprowadzone jest napięcie stałe.

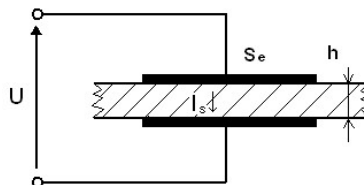
Rezystywność skrośna ρ_s wyznaczana jest ze wzoru:

$$[\Omega \cdot m] \text{ lub } [\Omega \cdot cm] \quad \rho_s = R_s \frac{S_e}{h}$$

gdzie $R_s = U/I_s$ jest zmierzona wartość rezystancji skrośnej przez pomiar wartości doprowadzonego do elektrod napięcia U oraz wartość płynącego wewnątrz objętości dielektryka prąd I_s ;

S_e jest efektywną powierzchnią elektrod;

h – jest grubością izolacji (dielektryka).



3. Pomiary parametrów izolacji (rezystywności skrośnej i powierzchniowej)

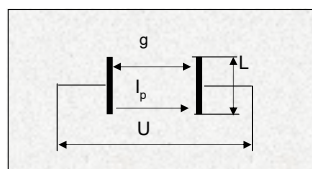
Rezystywność powierzchniowa ρ_p odzworuje własności przepływu prądu po powierzchni dielektryka pomiędzy dwoma elektrodami o zadanych wymiarach i odstępnie usytuowanymi na jego powierzchni, do których doprowadzone jest napięcie stałe.

Rezystywność powierzchniowa ρ_p wyznaczana jest ze wzoru: $\rho_p = R_p \frac{L}{g}$ [Ω]

gdzie $R_p = U/I_p$ jest zmierzona wartość rezystancji powierzchniowej przez pomiar wartości doprowadzonego do elektrod napięcia U oraz wartość płynącego po powierzchni dielektryka prąd I_p ;

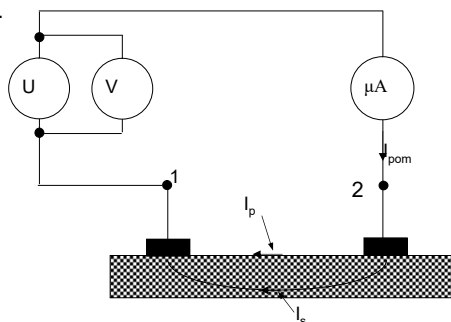
L jest odległością pomiędzy elektrodami;

g – jest odstępem pomiędzy elektrodami



3. Pomiary parametrów izolacji (rezystywności skrośnej i powierzchniowej)

Przez materiał dielektryczny, do którego za pomocą elektrod pomiarowych zostało podane napięcie, płyną jednocześnie prądy wewnątrz jego objętości (I_s) oraz po powierzchni (I_p).

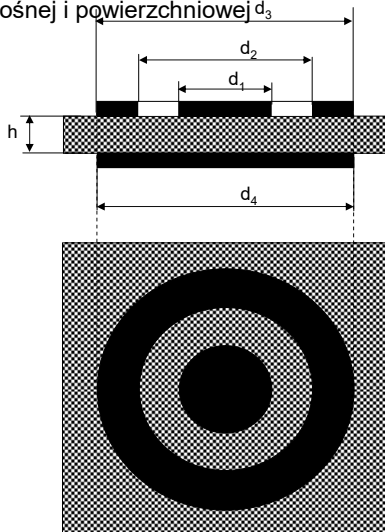


Dlatego zmierzona wartość rezystancji jest wypadkową rezystancją skrośnej i powierzchniowej: $I_{pom} = I_s + I_p$.

W celu niezależnego pomiaru rezystancji skrośnej i powierzchniowej (i dalej odpowiednich rezystywności) wykorzystuje się specjalne elektrody pomiarowe (komórka pomiarowa)

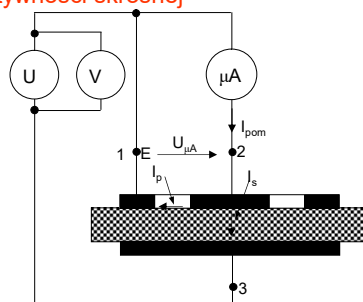
3. Pomiary parametrów izolacji (rezystywności skrośnej i powierzchniowej)

Układ elektrod pomiarowych (komórka pomiarowa) do niezależnego pomiaru rezystancji skrośnej i powierzchniowej d_3



3. Pomiary parametrów izolacji (rezystywności skrośnej i powierzchniowej)

Pomiar rezystancji i rezystywności skrośnej



3. Pomiary parametrów izolacji (rezystywności skrośnej i powierzchniowej)

Pomiar rezystancji i rezystywności skrośnej

$$R_i = \frac{U}{I_{pom}}$$

Wartość rezystancji skrośnej

$$\rho_s = \frac{K_s}{h} \cdot R_s$$

Wartość rezystywności skrośnej

Wartość stałej K_s komórki pomiarowej

z okrągłymi elektrodami pomiarowymi do pomiaru rezystywności skrośnej ρ_s

wyznaczana jest ze wzoru:

$$K_s = \pi \left(\frac{d_1}{2} + B \cdot g \right)^2$$

gdzie B jest współczynnikiem efektywnej powierzchni elektrody pomiarowej (można przyjąć $B=0$);

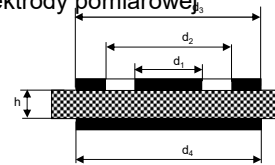
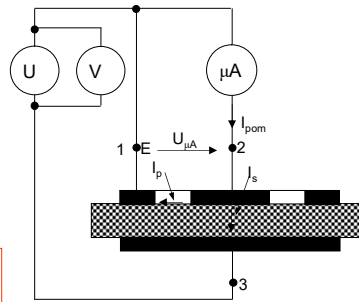
- jest połową odległości

elektrody wewnętrznej i zewnętrznej.

Otóż

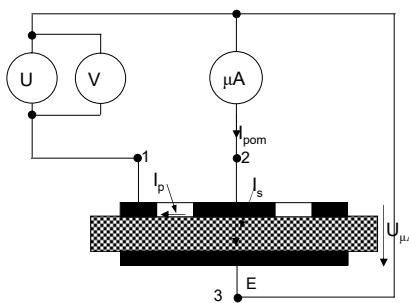
$$g = \frac{d_2 - d_1}{2}$$

$$K_s \cong \pi \frac{d_1^2}{4}$$



3. Pomiary parametrów izolacji

Pomiar rezystancji i rezystywności powierzchniowej



3. Pomiary parametrów izolacji (rezystywności skrośnej i powierzchniowej)

Pomiar rezystancji i rezystywności **skrośnej**

Wartość prądu powierzchniowego (powodującego błąd)

$$I_p = \frac{U_{\mu A}}{R_p} = \frac{I_{pom} R_{\mu A}}{R_p}$$

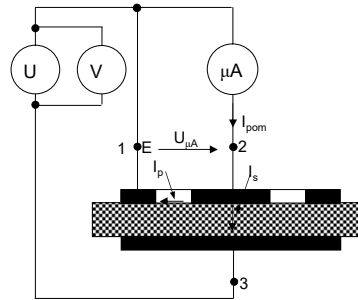
Błąd

$$\Delta I_{pom} = I_{pom} \frac{R_{\mu A}}{R_p}$$

$R_{\mu A} \ll R_p$

$$\delta I_{pom}(I_p) = \frac{\Delta I_{pom}}{I_{pom}} = \frac{R_{\mu A}}{R_p}$$

$$\delta I_{pom}(I_p) \rightarrow 0$$



3. Pomiary parametrów izolacji (rezystywności skrośnej i powierzchniowej)

Pomiar rezystancji i rezystywności **powierzchniowej**

Wartość prądu skrośnego (powodującego błąd)

$$I_s = \frac{U_{\mu A}}{R_s} = \frac{I_{pom} R_{\mu A}}{R_s}$$

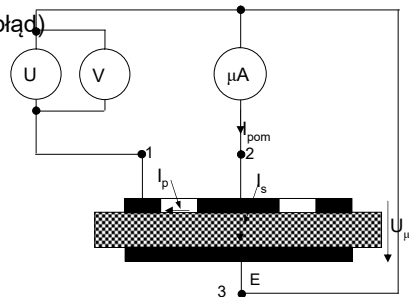
Błąd

$$\Delta I_{pom} = I_s = I_{pom} \frac{R_{\mu A}}{R_s}$$

$R_{\mu A} \ll R_s$

$$\delta I_{pom} = \frac{\Delta I_{pom}}{I_{pom}} = \frac{R_{\mu A}}{R_s}$$

$$\delta I_{pom}(I_s) \rightarrow 0$$



3. Pomiar parametrów izolacji (rezystywności skrośnej i powierzchniowej)

Pomiar rezystancji i rezystywności powierzchniowej

$$R_p = \frac{U}{I_{pom}}$$

Wartość rezystancji powierzchniowej

Wartość rezystywności powierzchniowej

$$\rho_p = K_p \cdot R_p$$

Wartość stałej K_p komórki pomiarowej

do pomiaru rezystywności powierzchniowej

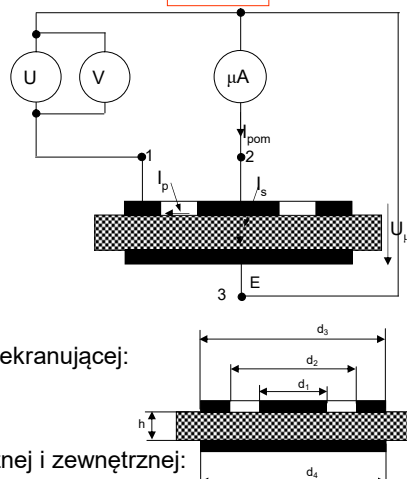
$$K_p = \frac{P}{g} = \pi \left(\frac{d_1 + d_2}{d_2 - d_1} \right)$$

gdzie P jest efektywnym obwodem elektrody ekranującej:

$$P = \pi d_0 = \pi(d_1 + g)$$

g - jest połową odległości elektrody wewnętrznej i zewnętrznej:

$$g = \frac{d_2 - d_1}{2}$$



Niepewność pomiaru parametrów izolacji (rezystywności skrośnej i powierzchniowej)

1. Przy założeniu jednostajnego rozkładu prawdopodobieństwa wskazań mierników (V, A) złożona względna niepewność standardowa wyniku pomiaru rezystancji R_x , obliczona metodą typu B:

$$u_{c,B,rel}(R_x) = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(kl_V \frac{U_n}{U} \right)^2 + \left(kl_A \frac{I_n}{I} \right)^2}$$

- 2a. Przy założeniu jednostajnego rozkładu prawdopodobieństwa odchyłek w granicach $\pm \Delta d_{1gr}$ oraz $\pm \Delta d_{2gr}$ wartości średnic d_1 , d_2 elektrod pomiarowych oraz przy pominięciu niepewności π względna niepewność standardowa złożona stałej komórki K_p , (do pomiaru rezystywności powierzchniowej) wyznaczona metodą typu B, równa się :

$$u_{cB,rel}(K_p) = \frac{2d_1 d_2}{(d_2^2 - d_1^2) \sqrt{3}} \sqrt{\left(\frac{\Delta d_{1gr}}{d_1} \right)^2 + \left(\frac{\Delta d_{2gr}}{d_2} \right)^2} \cdot 100\%$$

Niepewność pomiaru parametrów izolacji (rezystywności skośnej i powierzchniowej)

- 2b. Przy założeniu jednostajnego rozkładu prawdopodobieństwa odchyłeń w granicach $\pm \Delta d_{1gr}$ wartości średnicy d_1 elektrody pomiarowych względna niepewność standardowa złożona stałej komórki K_s , (do pomiaru rezystywności skośnej) wyznaczona metodą typu B, równa się :

$$u_{B,rel}(K_s) = 2 \left(\frac{\Delta d_{1gr}}{d_1} \right) \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} 100\%$$

3. Przy pomiarach wielokrotnych (n wyników) niepewność standardowa obliczona metodą typu A:

$$u_A(\rho_x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n \cdot (n-1)}}$$

Gdzie $v_i = \rho_i - \bar{\rho}$, $\bar{\rho} = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n}$

Względna niepewność standardowa obliczona metodą typu A $u_{A,rel}(\rho_x) = \frac{u_A(\rho_x)}{\rho_x} 100\%$

Niepewność pomiaru parametrów izolacji (rezystywności skośnej i powierzchniowej)

4. Złożona względna niepewność standardowa wyniku pomiaru rezystywności

$$u_{c,rel}(\rho_{Vx}) = \sqrt{u_{c,B,rel}^2(R_x) + u_{B,rel}^2(K) + u_{A,rel}^2(\rho_x)}$$

Gdzie K dotyczy K_s lub K_p

5. Złożona niepewność standardowa wyniku pomiaru rezystywności

$$u_c(\rho_x) = \frac{\rho_x \cdot u_{c,rel}(\rho_x)}{100\%}$$

6. Wynik końcowy pomiaru rezystywności (najprostsza forma)

$$\rho = \rho_x \pm u_c(\rho_x)$$