

POMIARY REZYSTANCJI METODĄ MOSTKOWĄ

Cel: Zapoznać się zasadami pomiaru rezystancji układami mostkowymi

Plan:

- 1. Układy mostkowe. Mostek Wheatstone'a**
- 2. Uproszczony układ mostku laboratoryjnego**
- 3. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Wheatstone'a**
- 4. Problemy pomiaru małych rezystancji**
- 5. Mostek Thomsona do pomiaru małych rezystancji**
- 6. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Thomsona**

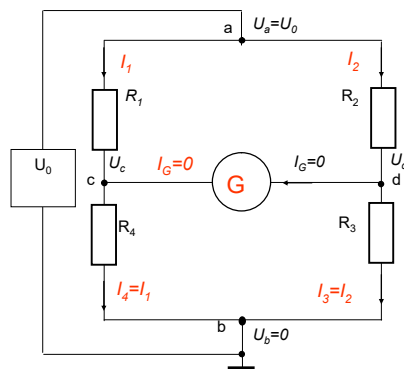
Metoda mostkowa należy do metod **bezpośredniego porównania wielkości mierzonej z wielkością referencyjną (odniesienia)**.

Metody porównawcze na ogół zapewniają **największą dokładność pomiaru**.

Metoda mostkowa wykorzystywana jest do dokładnego pomiaru **rezystancji, pojemności oraz indukcyjności**, tj. parametrów obwodów elektrycznych.

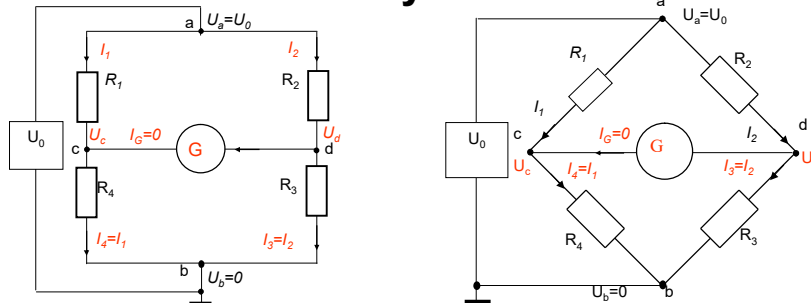
Pomiary metodą mostkowa mogą być realizowane na prądzie stałym lub zmiennym.

1. Układ mostkowy: Mostek Wheatstone'a



Obwód mostkowy rezystancyjny, zasilany źródłem napięciowym

1. Układ mostkowy: Mostek Wheatstone'a



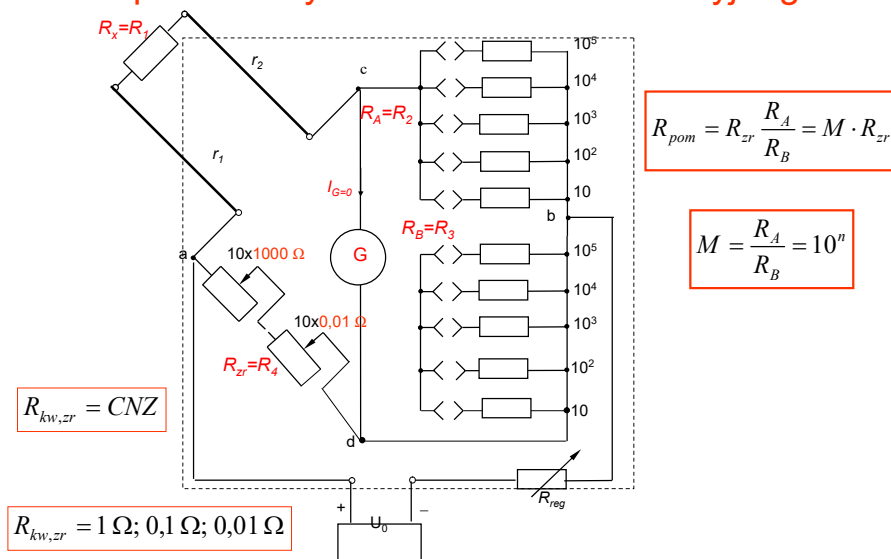
Jeżeli mostek jest zasilany od źródła napięcia U_0 wtedy równowaga mostka jest opisywana zależnościami

$$I_G = 0; \quad U_c = U_0 \frac{R_4}{R_1 + R_4}; \quad U_d = U_0 \frac{R_3}{R_2 + R_3}; \quad U_d = U_c$$

$$U_0 \frac{R_4}{R_1 + R_4} = U_0 \frac{R_3}{R_2 + R_3}; \quad R_2 R_4 - R_1 R_3 = 0$$

$$R_2 R_4 = R_1 R_3; \quad R_1 = \frac{R_2}{R_3} R_4$$

2. Uproszczony układ mostku laboratoryjnego



3. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Wheatstone'a

Wynik pomiaru mostkiem Wheatstone'a jest większy od wartości rezystancji mierzonej o sumaryczną rezystancję przewodów r_1 oraz r_2 .

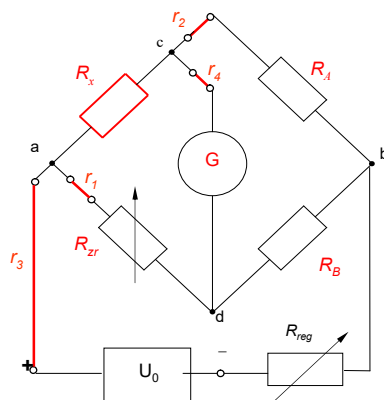
Dlatego skorygowany wynik pomiaru $R_x = R_{pom} - (r_1 + r_2)$

Jeśli wynik nie jest korygowany, wtedy powstaje błąd systematyczny od wpływu rezystancji linii, względna wartość którego zawsze jest dodatnią

$$\delta_{r12} = \frac{r_1 + r_2}{R_x} \cdot 100$$

3. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Wheatstone'a

W celu zmniejszenia wartości błędu systematycznego bez potrzeby korekcji można zastosować 4-przewodowe podłączenie rezystora badanego do mostku



$$\delta_{r14} = - \left(\frac{r_1}{R_{zr}} + \frac{r_2}{R_A} \right) 100\%$$

3. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Wheatstone'a

$$R_{pom} = R_{zr} \frac{R_A}{R_B} = M \cdot R_{zr}$$

Względna złożona niepewność standardowa wyniku pomiaru rezystancji, obliczona metodą typu B:

$$u_{B,rel}(R_x) = \begin{cases} \sqrt{\frac{\delta_{R_{zr},gr}^2 + \delta_{R_A,gr}^2 + \delta_{R_B,gr}^2}{3} + u_{B,rel}^2(R_{zr,kw})} \\ \sqrt{\frac{\delta_{R_{zr},gr}^2 + \delta_{R_A,gr}^2 + \delta_{R_B,gr}^2}{3} + u_{B,rel}^2(R_{x,nc})} \end{cases}$$

$\delta_{R_{zr},gr}; \delta_{R_A,gr}; \delta_{R_B,gr}$ - **względne graniczne (dopuszczalne) odchylenia odpowiednich rezystancji mostka od wartości nominalnych;**

3. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Wheatstone'a

Względna niepewność od kwantowania (dyskretności) rezystancji zrównoważenia R_{zr} oblicza się z wzoru

$$u_{B,rel}(R_{zr,kw}) = \frac{0.5 \Delta R_{zr,kw}}{R_{zr} \sqrt{3}} 100\% = \frac{0.5 \cdot CNZ_{zr}}{R_{zr} \sqrt{3}} 100\%$$

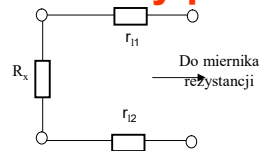
lub wpływ braku czułości (ujawnienia równowagi mostku za pomocą galwanometru), **względna niepewność od nieczułości oblicza się z wzoru**

$$u_{cB,rel}(R_{x,nc}) = \frac{(\Delta R_{zr})_{0,1dz}}{R_{zr} \sqrt{3}} 100\%$$

$(\Delta R_{zr})_{0,1dz}$ - **zmiana rezystancji zrównoważenia wywołująca zauważalne odchylenie wskaźnika galwanometru (0,1-0,5 podziałki)**

Może być tylko jedna (z tych dwóch) składowa!!

4. Problemy pomiaru małych rezystancji



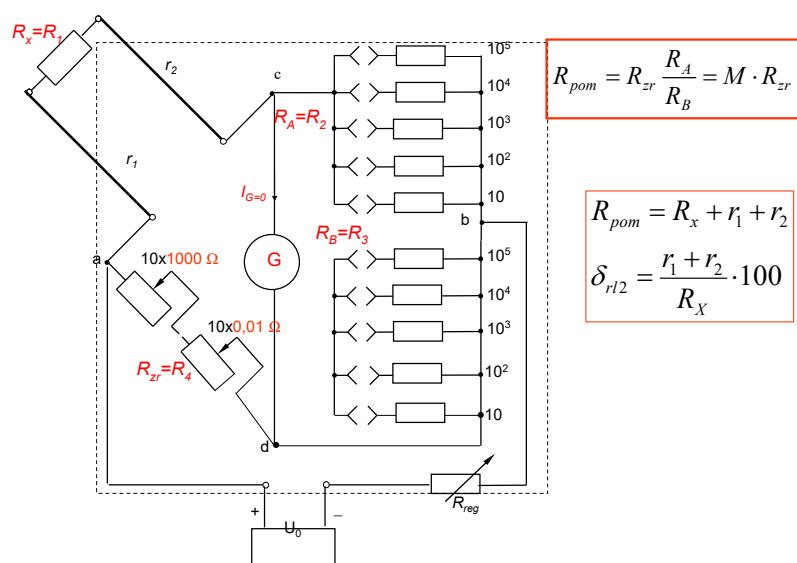
Wpływ rezystancji przewodów

$$R_{pom} = R_x + r_{l1} + r_{l2} \approx R_x + 2r_l$$

$$\delta_{rl} = \frac{2r_l}{R_x}$$

Dla wartości średnich (od ok. 1 kΩ do ok. 10 MΩ) wpływ przewodów z rezystancją ok. 2r_l=0,1 Ω jest mniejszy od 0,01%

4. Problemy pomiaru małych rezystancji



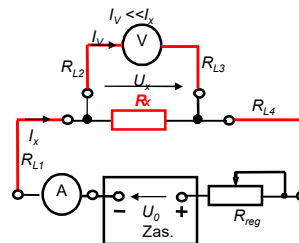
4. Problemy pomiaru małych rezystancji

4- przewodowe podłączenie
badanego rezystora do układu
pomiarowego:

Rozdzielone obwody:
prądowy (wymuszenie) i
napięciowy (pomiar)

Zwykle prąd przez rezystor
badany ma być stosunkowo
duży.

Poprawny pomiar napięcia!



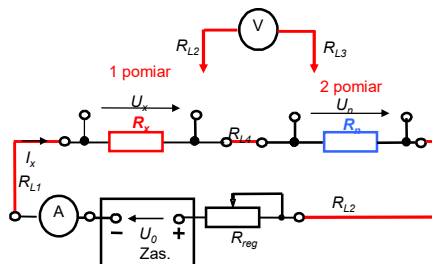
Jeśli $R_v \gg R_x$ wtedy $I_v \ll I_x$ i $I_A = I_x$ stąd praktycznie $U_V = U_x = I_x \times R_x$

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_V}{I_A}$$

4. Problemy pomiaru małych rezystancji

Rozdzielone obwody:
prądowy (wymuszenie) i
napięciowy (pomiar).

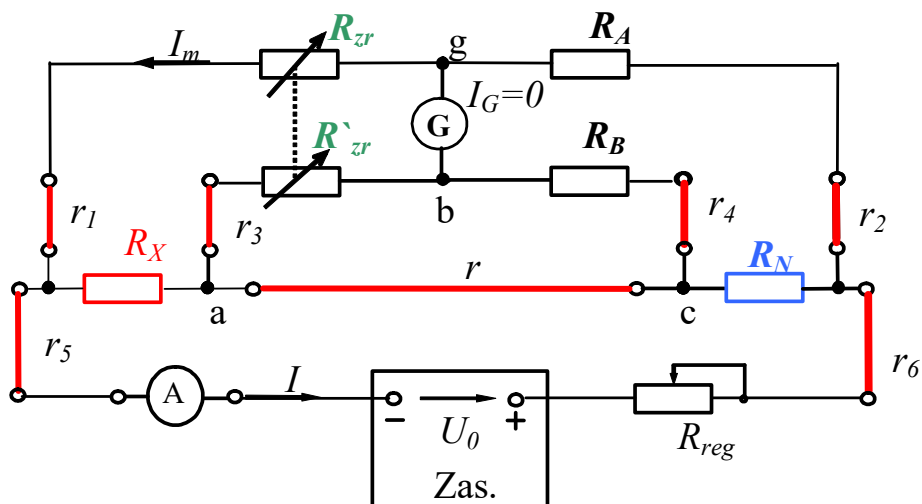
Zwiększenie dokładności:
Pośredni pomiar prądu
poprzez pomiar spadku
napięcia na
referencyjnym
(wzorcowym) rezystorze
Rn



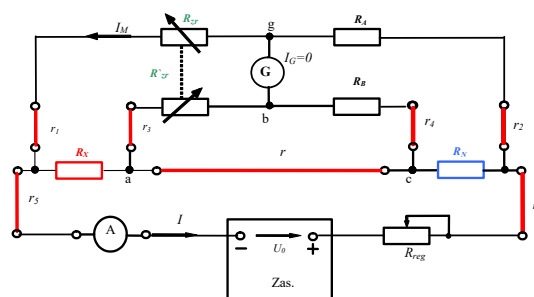
1 pomiar: $U_{V1} = I_x \times R_x$; 2 pomiar: $U_{V2} = I_x \times R_n$

$$\text{Wynik } R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_{V1}}{\frac{U_{V2}}{R_n}} = \frac{U_{V1}}{U_{V2}} R_n$$

5. Mostek Thomsona (do pomiaru małych rezystancji)



5. Mostek Thomsona (do pomiaru małych rezystancji)



Warunkiem zrównoważenia mostka (przy bardzo małej rezystancji $r=0$) przewodu pomiędzy punktami a-c) – prąd przez galwanometr równa się zero ($I_g=0$) jest równanie

$$U_g = U_x - I_m \cdot R_{zr} = U_x - \frac{U_x + U_N}{R_{zr} + R_A} R_{zr} = 0$$

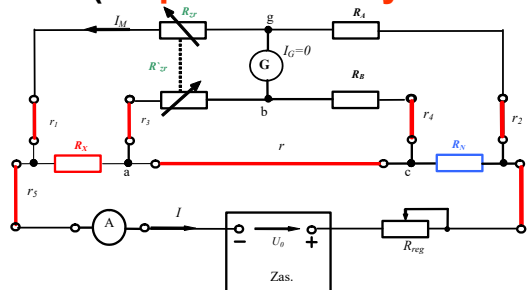
$$I_m = \frac{U_x + U_N}{R_{zr} + R_A}$$

$$U_x = I \cdot R_x$$

$$U_N = I \cdot R_N$$

$$U_x R_B = U_N \cdot R_{zr}$$

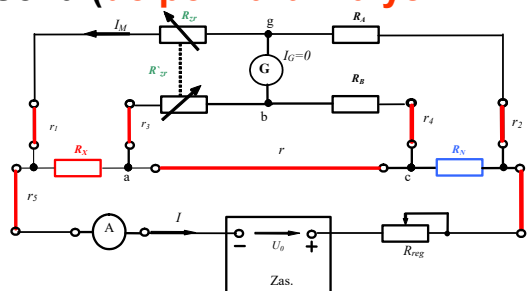
4. Mostek Thomsona (do pomiaru małych rezystancji)



Zwykle rezystancja rezystora wzorcowego $R_N = 10^k$, gdzie k jest liczbą całkowitą ujemną lub dodatnią: ($R_N = 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1; 1 \Omega, \dots$), oraz rezystancja rezystora R_A też krotna 10: $R_A = 10^m$, gdzie m jest liczbą dodatnią ($R_A = 10; 100; 1000; 10000 \Omega$), dlatego stosunek $R_N/R_A = 10^n$ – jest krotny 10 (n liczba całkowita) i uproszczony wzór na wartość rezystancji mierzonej ma postać:

$$R_x = 10^n \cdot R_{zr}$$

5. Mostek Thomsona (do pomiaru małych rezystancji)



$$R_x = \frac{R_N}{R_A} R_{zr} = 10^n \cdot R_{zr}$$

Mostki Thomsona wykorzystują się do pomiaru **małych wartości** rezystancji: w zakresie od 10^{-8} do $10^2 \Omega$, jest to możliwe dzięki małym wartościom rezystancji R_N od 10^{-5} ...do 10Ω .

6. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Thomsona

Względna złożona niepewność standardowa wyniku pomiaru rezystancji, obliczona metodą typu B:

$$u_{B,rel}(R_x) = \begin{cases} \sqrt{\frac{\delta_{R_{zr},gr}^2 + \delta_{R_{A},gr}^2 + \delta_{R_{N},gr}^2}{3} + u_{B,rel}^2(R_{zr,kw}) + u_{B,rel}^2(d)} \\ \sqrt{\frac{\delta_{R_{zr},gr}^2 + \delta_{R_{A},gr}^2 + \delta_{R_{N},gr}^2}{3} + u_{B,rel}^2(R_{x,nc}) + u_{B,rel}^2(d)} \end{cases}$$

$$\delta_{R_{zr},gr}; \delta_{R_{A},gr}; \delta_{R_{N},gr}$$

- względne graniczne (dopuszczalne) odchylenia odpowiednich rezystancji mostka od wartości nominalnych;

6. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Thomsona

Względna niepewność od kwantowania
(dyskretności) rezystancji zrównoważenia R_{zr} oblicza się z wzoru

$$u_{B,rel}(R_{zr,kw}) = \frac{0,5 \cdot \Delta R_{zr,kw}}{R_{zr} \cdot \sqrt{3}} 100\%$$

Względna niepewność od nieczułości oblicza się z wzoru

$$u_{cB,rel}(R_{x,nc}) = \frac{(\Delta R_{zr})_{0,1dz}}{R_p \sqrt{3}} 100\%$$

gdzie $(\Delta R_{zr})_{0,1dz}$ - zmiana rezystancji zrównoważenia wywołująca odchylenie wskaźnika galwanometru o 0,1-0,5 podziałki

6. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Thomsona

Względna niepewność od członu d (niezerowej
wartości rezystancji $r \neq 0$)

$$u_{B,rel}(d) = \frac{4\delta_{R_{2r,gr}}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{r}{R_x} \cdot \frac{k}{1+k}$$

$$k = R_x / R_N$$

**Przykłady
Na tablice**