

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. Mostek Thomsona do pomiaru małych rezystancji**
- 5. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Thomsona**

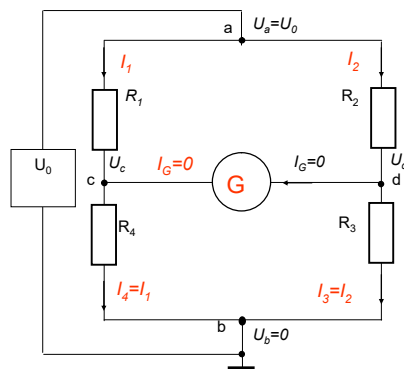
Metoda mostkowa należy do metod bezpośredniego porównania wielkości mierzonej z wielkością referencyjną (odniesienia).

Metody porównawcze na ogół zapewniają największą dokładność pomiaru.

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

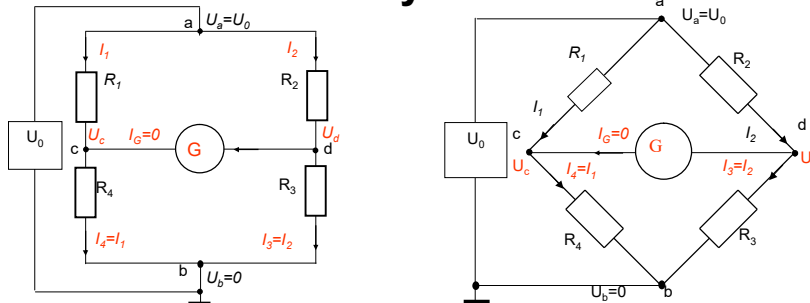
Pomiary metodą mostkowa mogą być realizowane na prądzie stałym lub zmiennym.

1. Układ mostkowy: Mostek Wheatstone'a



Obwód mostkowy rezystancyjny, zasilany źródłem napięciowym

1. Układ mostkowy: Mostek Wheatstone'a



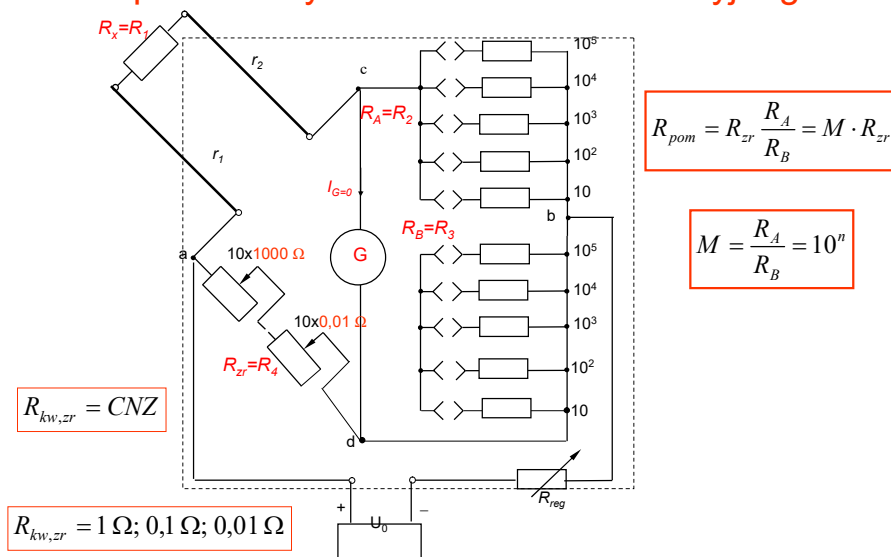
Jeżeli mostek jest zasilany od źródła napięcia U_0 wtedy równowaga mostka jest opisywana zależnościami

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

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

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

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 .

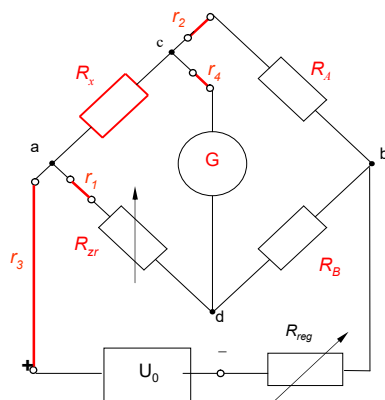
Dlatego skorygowany wynik pomiaru $R_x = R_{pom} - (r_1 + r_2)$

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

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

$$u_{B,rel}(R_x) = \sqrt{\frac{\delta_{Rzr,gr}^2 + \delta_{RA,gr}^2 + \delta_{RB,gr}^2}{3} + u_{B,rel}^2(R_{zr,kw}) + u_{B,rel}^2(R_{x,nc})}$$

$\delta_{Rzr,gr}; \delta_{RA,gr}; \delta_{RB,gr}$ - względne graniczne (dopuszczalne) odchylenia odpowiednich rezystancji mostka od wartości nominalnych;

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

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

3. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Wheatstone'a

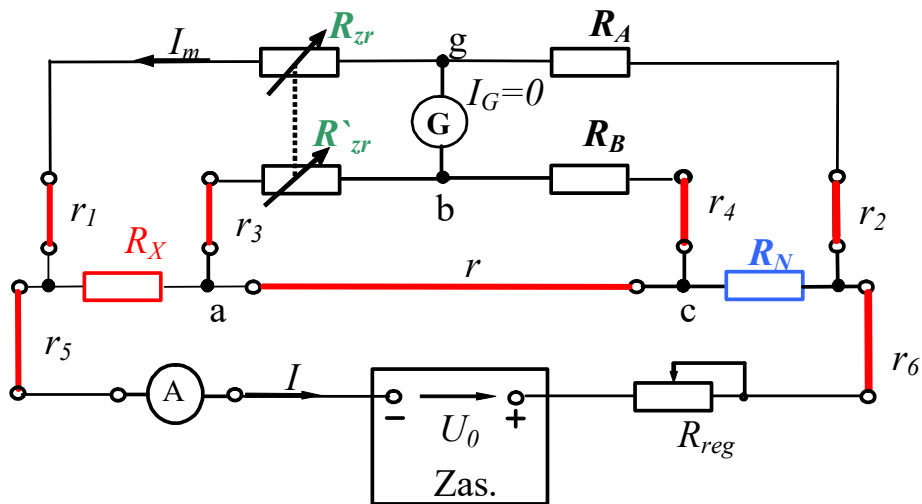
Względna złożona niepewność standardowa wyniku pomiaru rezystancji, obliczona metodą typu B:

$$u_{B,rel}(R_x) = \sqrt{\frac{\delta_{Rzr,gr}^2 + \delta_{RA,gr}^2 + \delta_{RB,gr}^2}{3} + u_{B,rel}^2(R_{zr,kw}) + u_{B,rel}^2(R_{x,nc})}$$

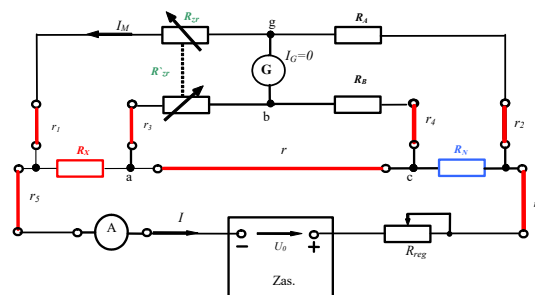
$$u_{cB,rel}(R_{x,nc}) = \frac{(\Delta R_{zr})_{0,1dz}}{R_p \sqrt{3}} 100\%$$

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

4. Mostek Thomsona (do pomiaru małych rezystancji)



4. 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

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

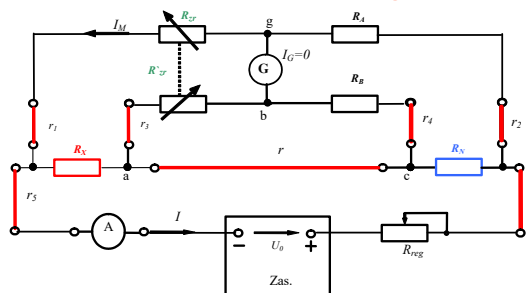
$$I_m = \frac{U_x + U_N}{R_{zr} + R_A}$$

$$U_x = I \cdot R_x$$

$$U_N = I \cdot R_N$$

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

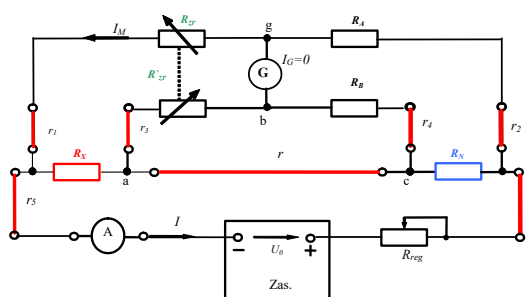
4. Mostek Thomsona (do pomiaru małych rezystancji)



Warunkiem zrównoważenia mostka – równanie pomiaru

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

4. Mostek Thomsona (do pomiaru małych rezystancji)

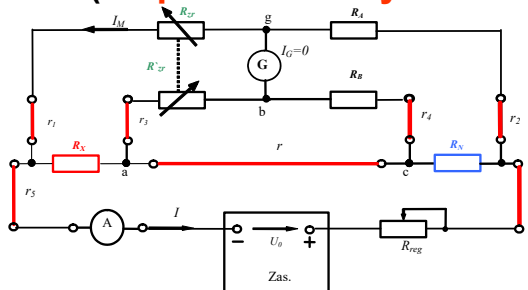


Na ogół przy pomiarach bardzo małych wartości rezystancji należy uwzględnić **niezerowe wartości rezystancji przewodów**, którymi podłącza się rezystor mierzony R_x , wzorcowy R_N oraz elementy mostka. Wtedy równanie mostka ma postać:

$$R_x = (R_{zr} + r_1) \frac{R_N}{R_B + r_2} + d$$

$$d = \frac{(R_A + r_4) \cdot r}{R_A + R_{zr}' + r_3 + r_4 + r} \left(\frac{R_{zr} + r_1}{R_B + r_2} - \frac{R_N' + r_3}{R_A + r_4} \right)$$

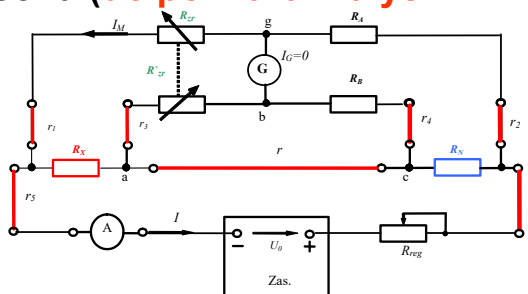
4. Mostek Thomsona (do pomiaru małych rezystancji)



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 ; 10000Ω), dlatego stosunek $R_N/R_A=10^n$ – jest krotny 10 (n liczba całkowita) i uproszczony wzór na wartość rezystancji mierzonej ma postać:

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

4. 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 .

5. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Thomsona

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

$$u_{B,rel}(R_x) = \sqrt{\frac{\delta_{Rzr,gr}^2 + \delta_{RA,gr}^2 + \delta_{RN,gr}^2}{3} + u_{B,rel}^2(R_{zr,kw}) + u_{B,rel}^2(R_{x,nc}) + u_{B,rel}^2(d)}$$

$\delta_{Rzr,gr}; \delta_{RA,gr}; \delta_{RN,gr}$ - względne graniczne (dopuszczalne) odchylenia odpowiednich rezystancji mostka od wartości nominalnych;

5. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Thomsona

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

$$u_{B,rel}(R_x) = \sqrt{\frac{\delta_{Rzr,gr}^2 + \delta_{RA,gr}^2 + \delta_{RN,gr}^2}{3} + u_{B,rel}^2(R_{zr,kw}) + u_{B,rel}^2(R_{x,nc}) + u_{B,rel}^2(d)}$$

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

5. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Thomsona

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

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

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

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

$$k = R_x / R_N$$

5. Niepewność wyniku pomiaru mostkiem Thomsona

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

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

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

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

$$k = R_x / R_N$$