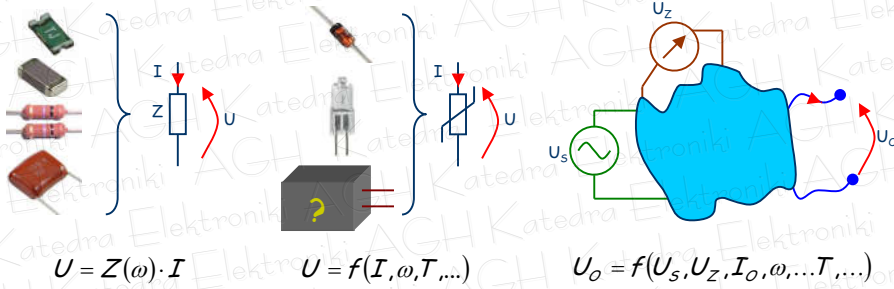


Pomiary impedancji dwójników

Impedancja „dwójnika”

Jak rozumiemy impedancję...

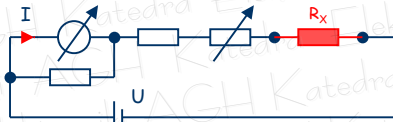


Czy można tak?



Pomiar rezystancji: omomierz

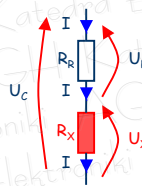
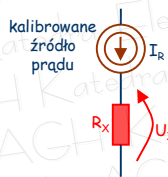
Omomierz „analogowy”



podziałka omomierza



Omomierz „cyfrowy”



$$R_X = \frac{U_X}{I_R}$$

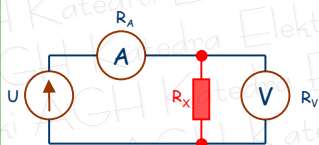
$$R_X [\text{k}\Omega] = U @ I_R = 1 \text{ mA}$$

$$R_X [\text{M}\Omega] = U @ I_R = 1 \mu\text{A}$$

$$1. R_X = \frac{U_X}{U_R} R_R \quad 2. R_X = \frac{U_X}{U_C - U_X} R_R$$

Pomiar rezystancji: metoda techniczna

Metoda dokładnego pomiaru napięcia



rezystancja mierzona

$$R_m = \frac{U_V}{I_A} = \frac{R_x R_V}{R_x + R_V} < R_x$$

bezwzględny błąd pomiaru

$$\Delta R_x = R_m - R_x$$

błąd względny

$$\delta R_x = \frac{\Delta R_x}{R_x}$$

błąd względny nominalny

$$\delta_N R_x = \frac{\Delta R_x}{R_m}$$

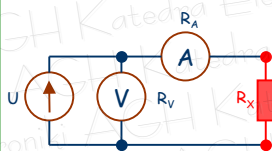
$$\Delta R_x = \frac{R_x^2}{R_x + R_V} = -\frac{R_m^2}{R_V - R_m}$$

poprawka

$$P = -\Delta R_x$$

$$P = \frac{R_m^2}{R_V - R_m}$$

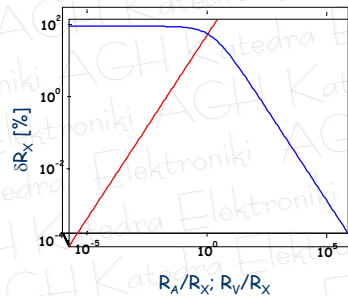
Metoda dokładnego pomiaru prądu



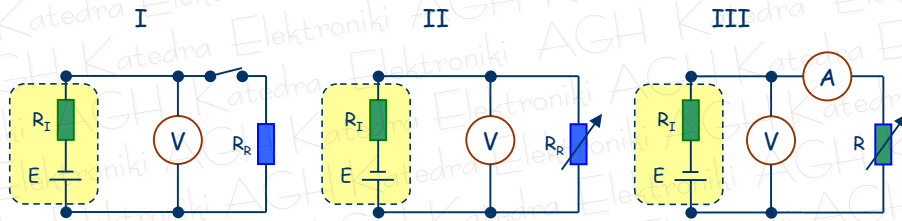
rezystancja mierzona

$$R_m = \frac{U_V}{I_A} = R_x + R_A > R_x$$

$$\Delta R_x = R_A$$



Pomiar rezystancji wewnętrznej



1. $U_{V1} = E$
 2. $U_{V2} = E \frac{R_R}{R_R + R_I}$

1. $U_{V1} = E \frac{R_{R1}}{R_{R1} + R_I}$
 2. $U_{V2} = E \frac{R_{R2}}{R_{R2} + R_I}$

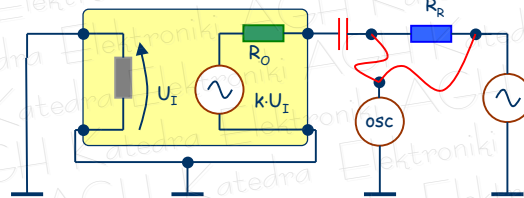
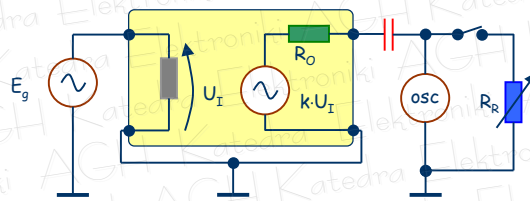
1. $U_{V1} = E$
 2. $E - I_{A2} R_I = U_{V2}$

Oszacowanie tzw. błędu granicznego wyznaczenia R_I

$$R_I = \frac{U_{V1} - U_{V2}}{I_{A2}} \Rightarrow \Delta_{gr} R_I = \left(\left| \frac{\partial R_I}{\partial U_{V1}} \right| + \left| \frac{\partial R_I}{\partial U_{V2}} \right| \right) \Delta_{gr} U + \left| \frac{\partial R_I}{\partial I_{A2}} \right| \Delta_{gr} I \quad \text{błąd graniczny bezwzględny}$$

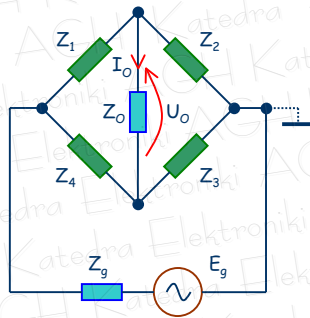
$$\delta_{gr} R_I = \frac{2 \Delta_{gr} U}{|U_1 - U_2|} + \frac{\Delta_{gr} I}{I_{A2}} \quad \text{błąd graniczny względny}$$

Pomiar rezystancji wyjściowej czwórnika



Pomiary mostkowe

Ogólna struktura mostkowa



Mostek zrównowazony:

$$Z_1, Z_2, Z_3, Z_4; U_o, I_o = 0$$

Warunek równowagi:

$$\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = \frac{Z_3}{Z_3 + Z_4} \Leftrightarrow Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$$

Mostek niezrównowazony:

$$Z_1, Z_2, Z_3, Z_4; U_o, I_o \neq 0$$

$$U_o = f_U(Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_g, Z_o, E_g)$$

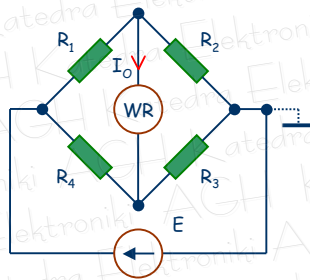
$$I_o = f_I(Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_g, Z_o, E_g)$$

Żeby nie utrudniać sobie życia taki układ trzeba zrobić „mądrze”...

- 1). $Z_g \approx 0, Z_o \approx \infty$
- 2). $Z_g \approx 0$

$$U_o = E_g \frac{Z_2 Z_4 - Z_1 Z_3}{(Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4)} \quad I_o = E_g \frac{Z_2 Z_4 - Z_1 Z_3}{Z_o(Z_1 + Z_2)(Z_3 + Z_4) + Z_3 Z_4(Z_1 + Z_2) + Z_1 Z_2(Z_3 + Z_4)}$$

Stałoprądowy mostek Wheastone'a



Warunek równowagi:

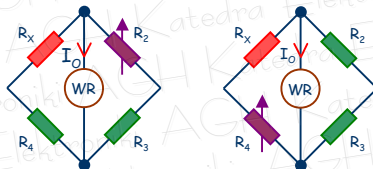
$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

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

Oszacowanie tzw. błędów granicznych

$$R_x = R_2 \frac{R_4}{R_3} \Rightarrow \delta_{gr} R_x = |\delta_{gr} R_2| + |\delta_{gr} R_3| + |\delta_{gr} R_4|$$

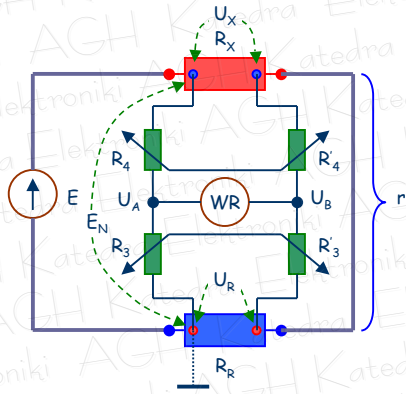
Sposoby równowazenia mostka



Metoda przestawiania

$$\left. \begin{array}{l} 1). R_x = R_2' \frac{R_4}{R_3} \\ 2). R_x = R_2'' \frac{R_4}{R_3} \end{array} \right\} R_x = \sqrt{R_2' R_2''} \quad \text{Błąd graniczny???$$

Pomiary małych rezystancji: mostek Thomsona



$$U_A = E_N \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

$$U_B = (E_N - U_X - U_R) \frac{R'_3}{R'_3 + R'_4} + U_R$$

Warunek równowagi: $U_A = U_B$

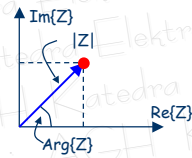
$$R_X = R_R \frac{R'_4}{R'_3}$$

Impedancja: model badanego elementu



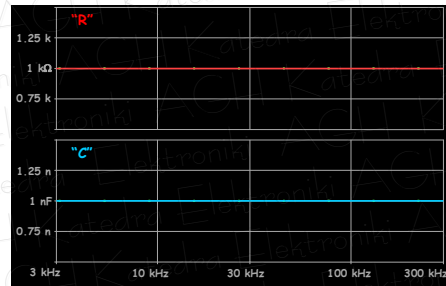
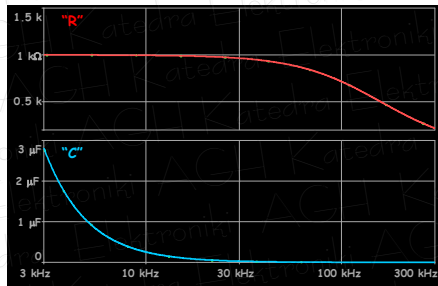
$$Z = \frac{U}{I} = \text{Re}\{Z\} + j \text{Im}\{Z\} = R + jX = |Z| e^{j \text{Arg}\{Z\}}$$

$$Y = \frac{I}{U} = \text{Re}\{Y\} + j \text{Im}\{Y\} = G + jB = |Y| e^{j \text{Arg}\{Y\}}$$

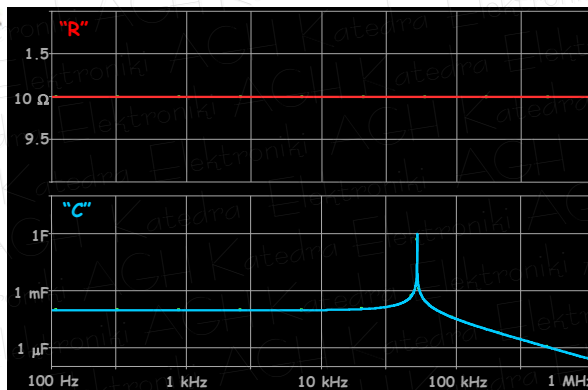
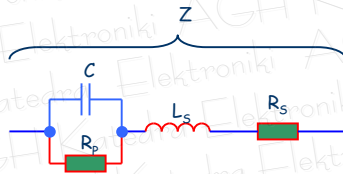


$$C = \frac{-1}{\omega \text{Im}\{Z\}}$$

$$R = \text{Re}\{Z\}$$

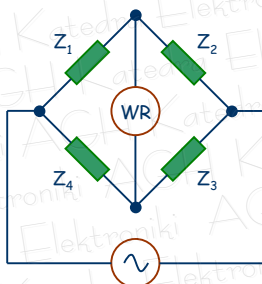


„Rzeczywisty” kondensator



Wartość R_s zwiększona dla lepszego ukazania zjawiska

Mostki prądu zmiennego



Warunek równowagi:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$$

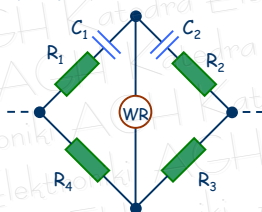
$$Z_i = R_i + jX_i$$

$$1). R_1 R_3 - X_1 X_3 = R_2 R_4 - X_2 X_4$$

$$2). R_1 X_3 - X_1 R_3 = R_2 X_4 - X_2 R_4$$

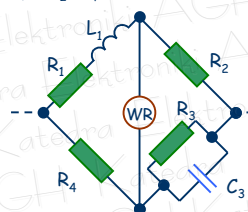
równowaga = $f(R_1, R_2, R_3, R_4, X_1, X_2, X_3, X_4, \omega)$

np.: $Z_3, Z_4 \rightarrow R$



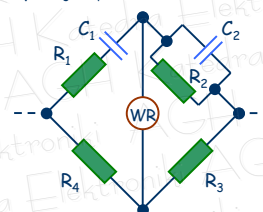
mostek Wiena

np.: $Z_2, Z_4 \rightarrow R$



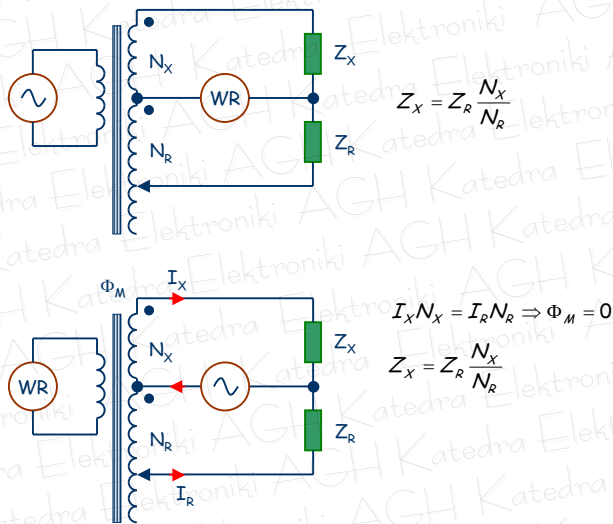
mostek Maxwella - Wiena

np.: $Z_3, Z_4 \rightarrow R$

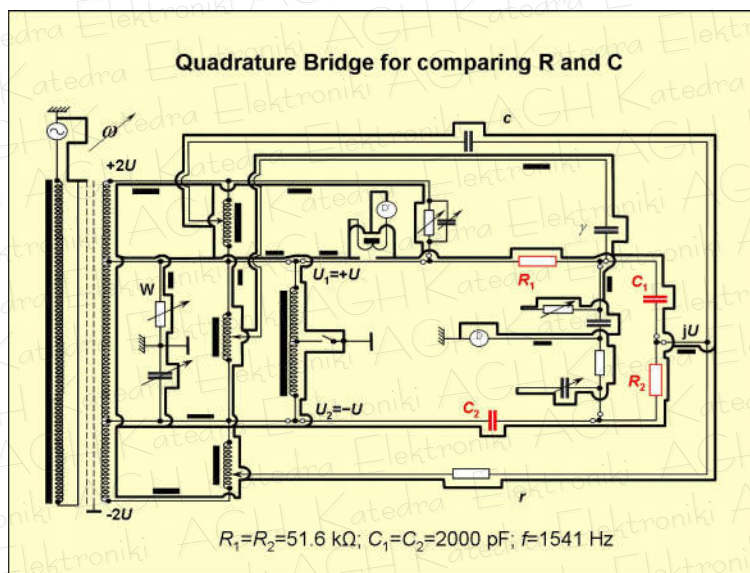


mostek Wiena - Robinsona

Mostki transformatorowe

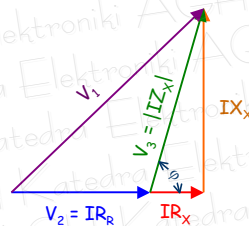
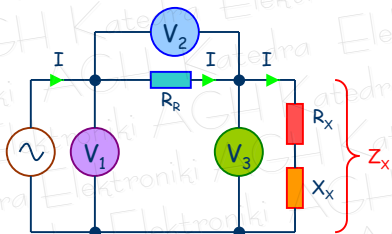


Mostek do zadań specjalnych...



Źródło: http://www.bipm.org/utils/common/img/elec/quadrature_bridge.jpg

Metoda „trzech woltmierzzy”



$$\cos \varphi = \frac{V_1^2 - V_2^2 - V_3^2}{2V_2V_3}$$

$$|Z_X| = \frac{V_3}{I} = \frac{V_3}{V_2} R_R$$

$$R_X = |Z_X| \cos \varphi$$

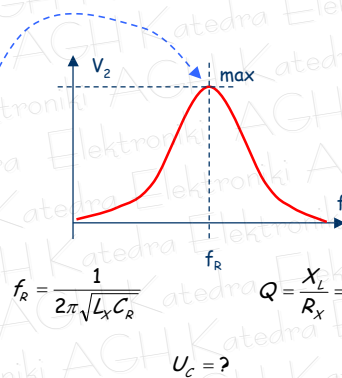
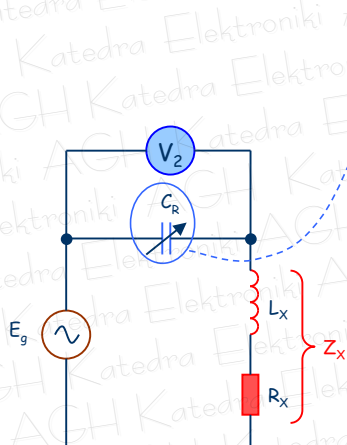
$$X_X = |Z_X| \sin \varphi$$

np.: Agilent E4982

1 MHz - 3 GHz

140 mΩ - 4.8 kΩ

Metoda rezonansowa

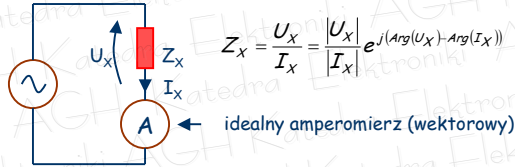


$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_X C_R}}$$

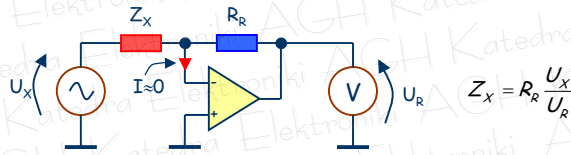
$$Q = \frac{X_L}{R_X} = \frac{X_C}{R_X}$$

$U_C = ?$

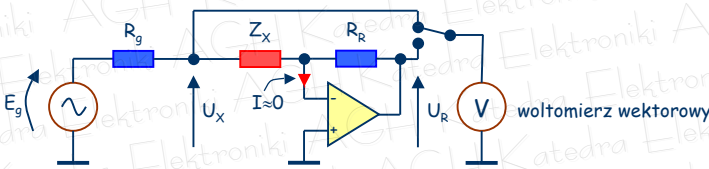
Pomiar impedancji metodą techniczną



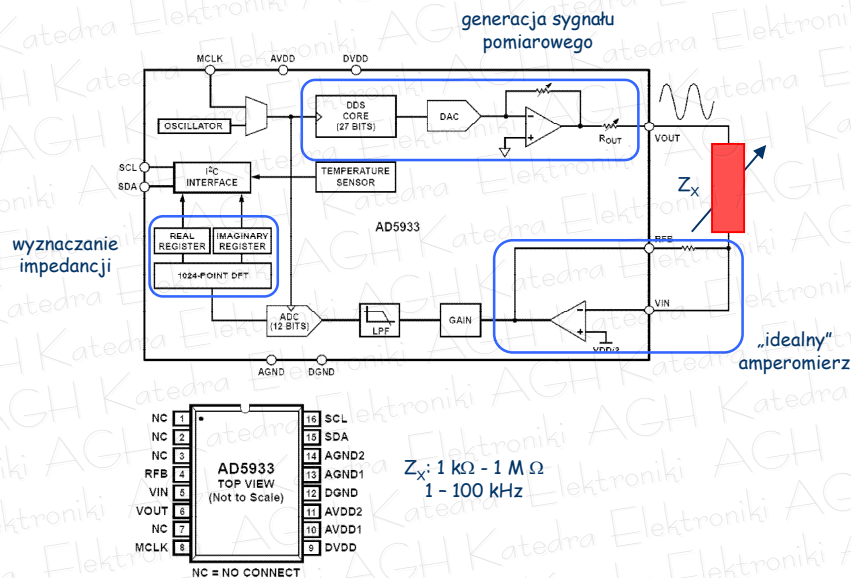
Pomiar z wykorzystaniem wzmacniacza operacyjnego



Realizacja praktyczna

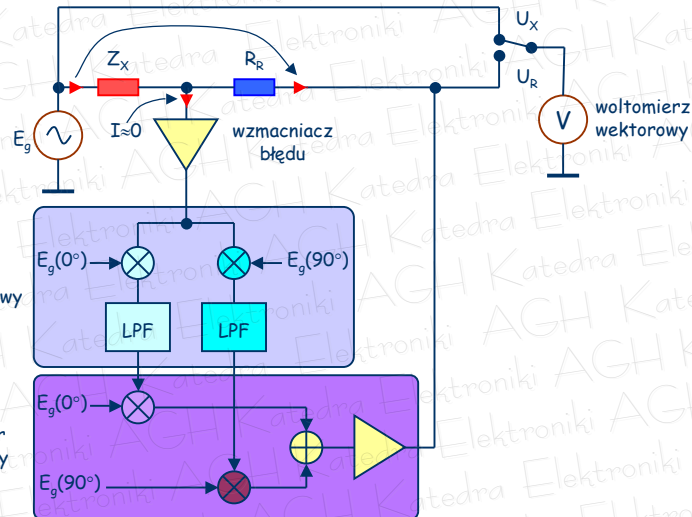


Rozwiązanie zintegrowane: konwerter impedancji



Pomiar w szerszym paśmie: mostek automatyczny

Auto-Balancing Bridge



Pomiar w jeszcze szerszym paśmie: analizator sieci

