

Pomiary impedancji

Pomiary RLC

Część II

1

Cel: Zapoznać się z podstawowymi metodami pomiaru parametrów RLC na prądzie zmiennym

Plan:

- 1. Pomiar RLC metodą techniczną 2: Pomiary watomierzem, woltomierzem i amperomierzem.**
- 2. Niepewność pomiaru metodą techniczną 2**
- 3. Przykłady pomiaru metodą techniczną 2.**
- 4. Pomiar RLC metodą mostkową.**
- 5. Cyfrowy miernik LCR typu MT4090.**
- 6. Parametry metrologiczne miernika impedancji LCR typu MT4090**
- 7. Niepewność pomiaru mostkiem MT4090**
- 8. Pomiary mostkiem MT4090. Przykłady**

2

1. Pomiar parametrów RLC metodą techniczną 2 na prądzie przemiennym: W, V, A

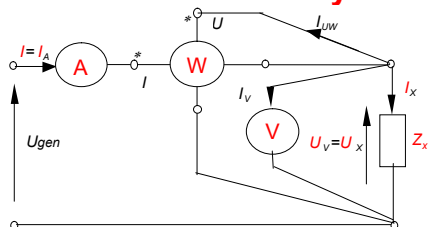
Metoda techniczna 2 bazuje na pomiarach watomierzem mocy czynnej oraz wartości skutecznych napięcia (woltmierzem AC) oraz prądu (amperomierzem AC).

Tj. metoda techniczna 2: pomiary na prądzie przemiennym:

- Mocy P – watomierzem W
- Prądu I – amperomierzem A
- Napięcia U – woltmierzem V

$$Z_x = \frac{U_V}{I_A}; R_x = \frac{P}{I_A^2}, X_x = \sqrt{Z_x^2 - R_x^2}$$

Ta metoda nie potrzebuje pomiaru rezystancji na prądzie stałym



3

1. Pomiar parametrów RLC metodą techniczną 2 na prądzie przemiennym: W,V,A

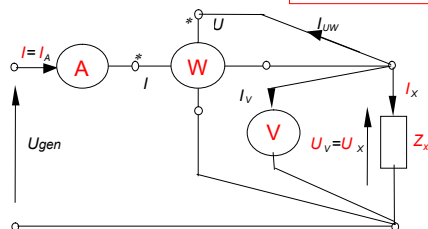
Z_x - moduł impedancji

$$Z_x = \frac{U_x}{I_x} \approx \frac{U_V}{I_A}$$

R_x - rezystancja

$$R_x = \frac{P_x}{I_x^2} \approx \frac{P_W}{I_A^2}$$

$$R_x \cong \frac{U_V^2}{P_W}$$



$$S = U_V I_A$$

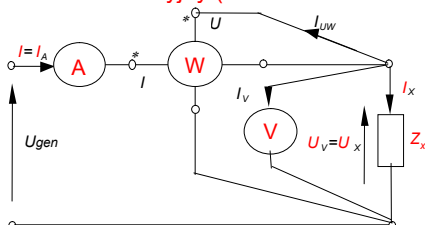
X_x - składowa

$$X_x = \frac{Q_x}{I_x} = \sqrt{Z_x^2 - R_x^2} \approx \sqrt{\left(\frac{U_V}{I_A}\right)^2 - \left(\frac{P_W}{I_A^2}\right)^2} = Z_x \sqrt{1 - \left(\frac{P_W}{U_V I_A}\right)^2} = Z_x \sqrt{1 - \left(\frac{P_W}{S}\right)^2}$$

4

1. Pomiar parametrów RLC metodą techniczną 2 na prądzie przemiennym: W, V, A

Obiekt indukcyjny (wskazanie watomierza - „dodatnie”)



$$L_x = \frac{X_x}{\omega} = \frac{1}{2\pi f} \frac{U_V}{I_A} \sqrt{1 - \left(\frac{P_W}{U_V I_A} \right)^2}$$

Dobroć

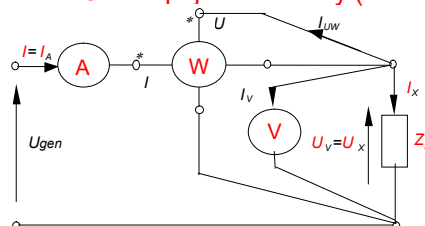
$$Q_s = \frac{\omega L_{x,s}}{R} = \sqrt{\left(\frac{U_V I_A}{P_W} \right)^2 - 1} \quad \text{szeregowy}$$

$$Q_p = \frac{R}{\omega L_{x,p}} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{U_V I_A}{P_W} \right)^2 - 1}} \quad \text{równoległy}$$

5

1. Pomiar parametrów RLC metodą techniczną 2 na prądzie przemiennym: W, V, A

Obiekt pojemnościowy (wskazanie watomierza - „ujemne”)



stratność

$$C_x = \frac{1}{\omega X_x} \cong \frac{1}{2\pi f} \cdot \frac{I_A}{U_V \sqrt{1 - \left(\frac{P_W}{U_V I_A} \right)^2}}$$

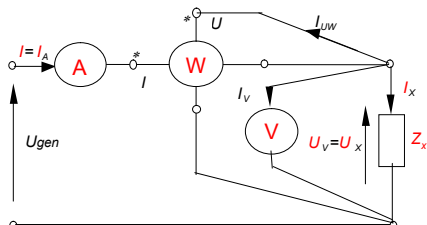
$$D_{x,s} = \text{tg} \delta_x = \omega R C_{x,s} \approx \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{U_V I_A}{P_W} \right)^2 - 1}} \quad \text{szeregowy}$$

$$D_{x,p} = \text{tg} \delta_x = \frac{1}{\omega R C_{x,p}} \approx \sqrt{\left(\frac{U_V I_A}{P_W} \right)^2 - 1} \quad \text{równoległy}$$

6

1. Pomiar parametrów RLC metodą techniczną 2 na prądzie przemiennym: W, V, A

Poprawa dokładności:
Korekcja wpływu obciążenia obiektu miernikami



Skorygowana moc

$$P_x = P_W - P_{miern} = P_W - U_V^2 \left(\frac{1}{R_V} + \frac{1}{R_{UW}} \right)$$

Skorygowany prąd

$$I_x = \sqrt{(I_A \sin \varphi)^2 + (I_A \cos \varphi - I_V - I_{UW})^2}$$

$$\varphi = \arccos \frac{P_W}{U_V I_A}$$

Podstawienie we wzory:

$$U_V \rightarrow U_V$$

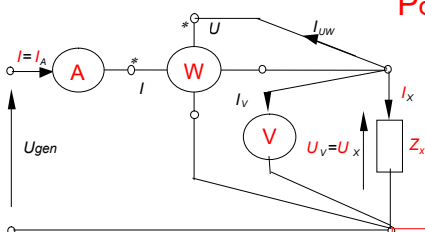
$$I_x \rightarrow I_A$$

$$P_x \rightarrow P_W$$

7

2. Niepewność pomiaru metodą techniczną 2 na prądzie przemiennym: W, V, A

Pomiar rezystancji:



$$R_x = \frac{P_x}{I_x^2} \approx \frac{P_W}{I_A^2}$$

$$P_x \rightarrow P_W$$

$$I_x \rightarrow I_A$$

Względna niepewność złożona

$$u_{c,rel}(R_x) = \sqrt{u_{rel}^2(P_W) + 4u_{rel}^2(I_A)} = \sqrt{\left(\frac{kl_W \cdot P_{nW}}{\sqrt{3} \cdot P_W} \right)^2 + 4 \left(\frac{kl_A \cdot I_{nA}}{\sqrt{3} \cdot I_A} \right)^2}$$

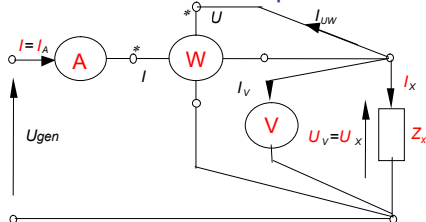
Bezwzględna niepewność złożona

$$u_c(R_x) = \frac{u_{c,rel}(R_x)}{100\%} \cdot R_x = \sqrt{\left(\frac{kl_W \cdot P_{nW}}{\sqrt{3} \cdot P_W} \right)^2 + 4 \left(\frac{kl_A \cdot I_{nA}}{\sqrt{3} \cdot I_A} \right)^2} \cdot \frac{R_x}{100\%}$$

8

2. Niepewność pomiaru metodą techniczną 2 na prądzie przemiennym: W, V, A

Niepewność pomiaru reaktancji



$$I_x \rightarrow I_A, U_x \rightarrow U_V \quad P_x \rightarrow P_W; f \rightarrow Hz$$

$$X_x = \sqrt{Z_x^2 - R_x^2} \approx \sqrt{\frac{U_V^2}{I_A^2} - \frac{P_W^2}{I_A^4}}$$

Względna i bezwzględna standardowa niepewność złożona pomiaru reaktancji

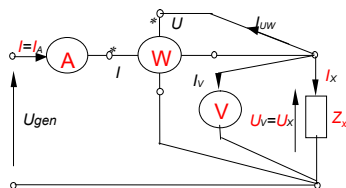
$$u_{c,rel}(X_x) = \sqrt{\left(\frac{Z_x}{X_x}\right)^4 u_{B,rel}^2(U_V) + \left(\frac{R_x}{X_x}\right)^4 u_{B,rel}^2(P_W) + \left(1 - \left(\frac{R_x}{X_x}\right)^2\right)^2 u_{B,rel}^2(I_A)}$$

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

9

2. Niepewność pomiaru metodą techniczną 2 na prądzie przemiennym: W, V, A

Niepewność pomiaru indukcyjności



$$I_x \rightarrow I_A, U_x \rightarrow U_V \quad P_x \rightarrow P_W; f \rightarrow Hz$$

$$L_x = \frac{X_x}{2\pi \cdot f} = \frac{\sqrt{Z_x^2 - R_x^2}}{2\pi \cdot f} \approx \frac{\sqrt{\frac{U_V^2}{I_A^2} - \frac{P_W^2}{I_A^4}}}{2\pi \cdot f}$$

Względna i bezwzględna standardowa niepewność złożona pomiaru indukcyjności

$$u_{c,rel}(L_x) = \sqrt{u_{c,rel}^2(X_x) + u_{B,rel}^2(f)^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{Z_x}{X_x}\right)^4 u_{B,rel}^2(U_V) + \left(\frac{R_x}{X_x}\right)^4 u_{B,rel}^2(P_W) + \left(1 - \left(\frac{R_x}{X_x}\right)^2\right)^2 u_{B,rel}^2(I_A) + u_{c,rel}^2(f)}$$

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

10

2. Niepewność pomiaru metodą techniczną 2 na prądzie przemiennym : W, V, A

Niepewność pomiaru dobroci obiektu indukcyjnego (pomiar rezystancji na prądzie przemiennym):

$$Q_L = \frac{\omega \cdot L_x}{R_x} = \frac{X_x}{R_x} = \sqrt{\frac{Z_x^2}{R_x^2} - 1} = \sqrt{\frac{U_V^2 I_A^2}{P_W^2} - 1}$$

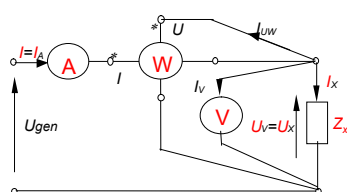
Bezwzględna niepewność złożona

$$u_c(Q_L) = \frac{\frac{U_{V,AC}^2 I_{A,AC}^2}{P_W^2}}{\sqrt{\frac{U_{V,AC}^2 I_{A,AC}^2}{P_W^2} - 1}} \sqrt{u_{B,rel}^2(U_{V,AC}) + u_{B,rel}^2(I_{A,AC}) + u_{B,rel}^2(P_W)} = \left(Q_L + \frac{1}{Q_L}\right) \sqrt{u_{B,rel}^2(U_{V,AC}) + u_{B,rel}^2(I_{A,AC}) + u_{B,rel}^2(P_W)}$$

11

2. Niepewność pomiaru metodą techniczną 2 na prądzie przemiennym: W, V, A

Niepewność pomiaru pojemności



$$I_x \rightarrow I_A, U_x \rightarrow U_V \quad P_x \rightarrow P_W; f \rightarrow Hz$$

$$C_x = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_x} = \frac{1}{2\pi \cdot f} = \frac{1}{2\pi \cdot f \sqrt{\frac{U_V^2}{I_A^2} - \frac{P_W^2}{I_A^4}}}$$

Względna i bezwzględna standardowa niepewność złożona pomiaru indukcyjności

$$u_{c,rel}(C_x) = \sqrt{u_{c,rel}^2(X_x) + u_{B,rel}^2(f)^2} = \sqrt{\left(\frac{Z_x}{X_x}\right)^4 u_{B,rel}^2(U_V) + \left(\frac{R_x}{X_x}\right)^4 u_{B,rel}^2(P_W) + \left(1 - \left(\frac{R_x}{X_x}\right)^2\right)^2 u_{B,rel}^2(I_A) + u_{c,rel}^2(f)}$$

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

12

2. Niepewność pomiaru metodą techniczną 2 na prądzie przemiennym : W, V, A

Niepewność pomiaru stratności obiektu pojemnościowego (pomiar rezystancji na prądzie przemiennym):

$$D_C = \omega \cdot R_x C_x = \frac{R_x}{X_x} = \frac{1}{\sqrt{\frac{U_V^2 I_A^2}{P_W^2} - 1}}$$

Bezwzględna niepewność złożona

$$u_c(D_C) = \frac{\frac{U_V^2 I_A^2}{P_W^2}}{\left(\frac{U_V^2 I_A^2}{P_W^2} - 1\right)^{\frac{3}{2}}} \sqrt{u_{B,rel}^2(U_V) + u_{B,rel}^2(I_A) + u_{B,rel}^2(P_W)} =$$

$$= D_C (1 + D_C^2) \sqrt{u_{B,rel}^2(U_{V,AC}) + u_{B,rel}^2(I_{A,AC}) + u_{B,rel}^2(P_W)}$$

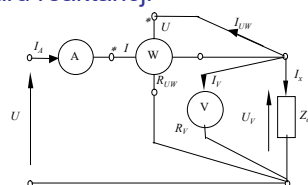
13

3. Przykłady pomiaru metodą techniczną 2

Przykład 1. Pomiary składowych impedancji:

Podczas pomiaru impedancji odbiornika jednofazowego wskazania mierników: watomierza $n_W=83$ dz (zakresy napięciowy $U_{nW}=300$ V, prądowy $I_{nW}=5$ A; znamionowa liczba działek $n_{nW}=150$ dz, nominalny $\cos\varphi_{nW}=1$, klasa $kl_W=0.5$, wskazanie woltomierza $U_V=228,5$ V, zakres 250 V, klasa $kl_V=1.0$, wskazanie amperomierza $I_A=4.45$ A, zakres 10 A, klasa $kl_A=1.0$. Częstotliwość $f=50$ Hz. Według wskazania mierników wyznaczyć:

1. Impedancję obiektu Z_{ob} .
2. Rezystancję obiektu R_{ob} .
3. Reaktancję obiektu X_{ob} .
4. Względną złożoną standardową niepewność pomiaru impedancji
5. Względną złożoną standardową pomiaru rezystancji
6. Względną złożoną standardową pomiaru reaktancji



14

3. Przykłady pomiaru metodą techniczną 2

Przykład 1. Pomiary składowych impedancji

Rozwiązanie:

Impedancja obiektu

$$Z_{ob} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{228.5 V}{4.45 A} = 51.348 \Omega$$

2a) Stała podziałki watomierza:

$$c_w = \frac{U_{nW} I_{nW} \cos \varphi_{nW}}{n_{nW}} = \frac{300V \cdot 5A \cdot 1}{150dz} = 10 W / dz$$

2b) Moc czynna (wskazanie watomierza)

$$P = P_w = c_w n_w = 10W / dz \cdot 83dz = 830 W$$

2c) Rezystancja obiektu

$$R_{ob} = \frac{P}{I_A^2} = \frac{830 W}{(4.45 A)^2} = 41.914 \Omega$$

3) Reaktancja obiektu

$$X_{ob} = \sqrt{Z_{ob}^2 - R_{ob}^2} = \sqrt{51.348^2 - 41.914^2} = 29.66 \Omega$$

15

3. Przykłady pomiaru metodą techniczną 2

Przykład 1. Pomiary składowych impedancji. Rozwiązanie:

4a) Względna standardowa niepewność pomiaru napięcia

$$u_{B,rel}(U) = \frac{kl_V \cdot U_{nV}}{\sqrt{3} \cdot U_V} = \frac{1.0\% \cdot 250V}{\sqrt{3} \cdot 228.5 V} = 0.632\%$$

4b) Względna złożona standardowa niepewność pomiaru prądu

$$u_{B,rel}(I) = \frac{kl_A \cdot I_{nA}}{\sqrt{3} \cdot I_A} = \frac{1.0\% \cdot 5 A}{\sqrt{3} \cdot 4.45 A} = 0.649\%$$

4c) Względna złożona standardowa niepewność pomiaru impedancji

$$u_{c,rel}(Z) = \sqrt{u_{B,rel}^2(U) + u_{B,rel}^2(I)} = \sqrt{0.632^2 + 0.649^2} = 0.905\%$$

5a. Względna standardowa niepewność pomiaru mocy

$$u_{B,rel}(P) = \frac{kl_w \cdot n_{nW}}{\sqrt{3} \cdot n_w} = \frac{0.5\% \cdot 150}{\sqrt{3} \cdot 83} = 0.522\%$$

5b. Względna złożona standardowa niepewność pomiaru rezystancji

$$u_{c,rel}(R) = \sqrt{u_{B,rel}^2(P) + 4u_{B,rel}^2(I)} = \sqrt{0.522^2 + 4 \cdot 0.649^2} = 1.40\%$$

6. Względna złożona standardowa niepewność pomiaru reaktancji

$$u_{c,rel}(X_s) = \sqrt{\left(\frac{Z_s}{X_s}\right)^4 u_{B,rel}^2(U_V) + \left(\frac{R_s}{X_s}\right)^4 u_{B,rel}^2(P_w) + \left(1 - \left(\frac{R_s}{X_s}\right)^2\right)^2 u_{B,rel}^2(I_A)} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{51.348}{29.66}\right)^4 0.632^2 + \left(\frac{41.914}{29.66}\right)^4 0.522^2 + \left(1 - \left(\frac{41.914}{29.66}\right)^2\right)^2 0.649^2} = 1.85\%$$

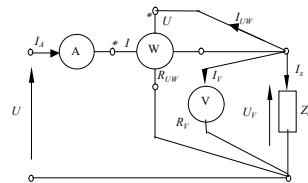
16

3. Przykłady pomiaru metodą techniczną 2

Przykład 2. Pomiary impedancji, indukcyjności:

Podczas pomiaru impedancji odbiornika jednofazowego (indukcyjny) wskazania mierników: watomierza $n_W=83$ dz (zakresy napięciowy $U_{nW}=150$ V, prądowy $I_{nW}=5$ A; znamionowa liczba działek $n_{nW}=150$ dz, nominalny $\cos\varphi_{nW}=1$) wskazanie woltomierza $U_V=137.5$ V oraz którego wskazanie amperomierza $I_A=4.65$ A. Częstotliwość $f=50$ Hz. Według wskazania mierników watomierza woltomierza i amperomierza) wyznaczyć:

1. Impedancje obiektu Z_{ob} .
2. Reaktancje obiektu X_{ob} .
3. Indukcyjność obiektu L_{ob}
4. Dobroć obiektu Q_{ob}



17

3. Przykłady pomiaru metodą techniczną 2

Przykład 2. Pomiary impedancji, indukcyjności: Rozwiązanie:

1) Impedancja obiektu $Z_{ob} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{137.5 \text{ V}}{4.65 \text{ A}} = 29.570 \Omega$

2a) stała podziałki watomierza: $c_w = \frac{U_{nW} I_{nW} \cos\varphi_{nW}}{n_{nW}} = \frac{150 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} \cdot 1}{150 \text{ dz}} = 5 \text{ W/dz}$

2b) moc czynna (wskazanie watomierza)

$$P = P_W = c_w n_W = 5 \text{ W/dz} \cdot 83 \text{ dz} = 415 \text{ W}$$

2c) Rezystancja obiektu

$$R_{ob} = \frac{P}{I_A^2} = \frac{415 \text{ W}}{(4.65 \text{ A})^2} = 19.193 \Omega$$

2d) reaktancja obiektu

$$X_{ob} = \sqrt{Z_{ob}^2 - R_{ob}^2} = \sqrt{29.5708^2 - 19.193^2} = 22.495 \Omega$$

3) Indukcyjność obiektu

$$L_{ob} = \frac{X_{ob}}{2\pi f} = \frac{22.495 \Omega}{2\pi 50 \text{ Hz}} \approx 7.160 \cdot 10^{-2} \text{ H} = 71.60 \text{ mH}$$

4) Dobroć obiektu

$$Q_{ob} = \frac{X_{ob}}{R_{ob}} = \frac{22.495 \Omega}{19.193 \Omega} \approx 1.17$$

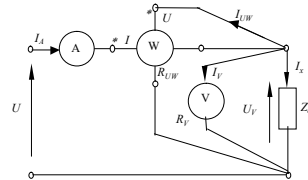
18

3. Przykłady pomiaru metodą techniczną 2

Przykład 3. Pomiary impedancji, pojemności:

Podczas pomiaru impedancji odbiornika jednofazowego (pojemnościowy) wskazania mierników: watomierza $n_W=41$ dz (zakresy napięciowy $U_{nW}=300$ V, prądowy $I_{nW}=10$ A; znamionowa liczba działek $n_{nW}=150$ dz, nominalny $\cos\varphi_{nW}=1$) wskazanie woltomierza $U_V=232,5$ V oraz którego wskazanie amperomierza $I_A=8,95$ A. Częstotliwość $f=50$ Hz. Według wskazania mierników watomierza woltomierza i amperomierza) wyznaczyć:

- 1. Impedancje obiektu Z_{ob} .
- 2. Reaktancje obiektu X_{ob} .
- 3. Pojemność C_{ob} obiektu.
- 4. Stratność D_{ob} obiektu



19

3. Przykłady pomiaru metodą techniczną 2

Przykład 3. Pomiary impedancji pojemności: Rozwiązanie:

1) impedancja obiektu $Z_{ob} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{232,5 V}{8,95 A} = 25,978 \Omega$

2a) stała podziałki watomierza: $c_w = \frac{U_{nW} I_{nW} \cos\varphi_{nW}}{n_{nW}} = \frac{300V \cdot 10A \cdot 1}{150dz} = 20 W / dz$

2b) moc czynna (wskazanie watomierza)

$$P = P_W = c_w n_W = 20W / dz \cdot 41dz = 820 W$$

2c) rezystancja obiektu $R_{ob} = \frac{P}{I_A^2} = \frac{820 W}{(8,95 A)^2} = 10,237 \Omega$

2d) reaktancja obiektu $X_{ob} = \sqrt{Z_{ob}^2 - R_{ob}^2} = \sqrt{25,978^2 - 10,237^2} = 23,876 \Omega$

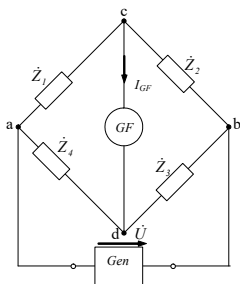
3) pojemność obiektu $C_{ob} = \frac{1}{2\pi f \cdot X_{ob}} = \frac{1}{2\pi \cdot 50Hz \cdot 23,876 \Omega} \approx 1,333 \cdot 10^{-4} F = 133,3 \mu F$

4) Stratność obiektu $D_{ob} = \frac{R_{ob}}{X_{ob}} = \frac{10,237\Omega}{23,876\Omega} \approx 0,43$

20

4. Pomiary RLC mostkami prądu przemiennego

Układ mostkowy prądu zmiennego utworzony jest połączeniem 4 impedancji (zespolone) Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 w obwód kołowy, zasilany **Generatorem (Gen)** napięcia przemiennego U_{gen} o częstotliwości f pomiędzy dwoma przeciwnymi węzłami oraz Włączonym pomiędzy dwoma innymi przeciwnymi węzłami **Galwanometrem fazoczułym (GF)**



Równowaga mostka (przy zerowym prądzie galwanometru $I_{GF}=0$) zapewniana jest przy spełnieniu warunków:

$$\dot{Z}_1 \dot{Z}_3 = \dot{Z}_2 \dot{Z}_4$$

$$Z_1 Z_3 e^{j(\varphi_1 + \varphi_3)} = Z_2 Z_4 e^{j(\varphi_2 + \varphi_4)}$$

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$$

$$\varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4$$

amplitudowa

fazowa

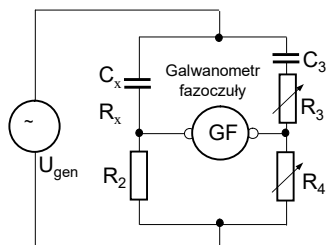
21

4. Pomiary RLC mostkami prądu przemiennego

Przykładowe układy mostkowe prądu zmiennego

Mostek Wien – Do pomiarów parametrów obiektu pojemnościowego.

Po zrównoważeniu mostku ($I_{GF}=0$)



$$C_x = \frac{R_4}{R_2} C_3$$

$$R_x = \frac{R_2}{R_4} R_3$$

$$\operatorname{tg} \delta_x = \frac{1}{Q_x} = \omega R_x C_x = \omega R_3 C_3 = \omega \tau_x$$

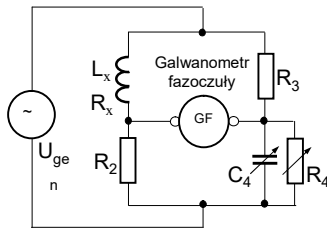
22

4. Pomiary RLC mostkami prądu przemiennego

Przykładowe układy mostkowe prądu zmiennego

Mostek Maxwell'a- Wiena – Do pomiaru parametrów obiektu indukcyjnego.

Po zrównoważeniu mostku: ($I_{GF}=0$)



$$L_x = R_2 R_3 C_4$$

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4}$$

$$\tau_x = \frac{L_x}{R_x} = R_4 C_4$$

$$Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega R_4 C_4 = \omega \tau_x$$

23

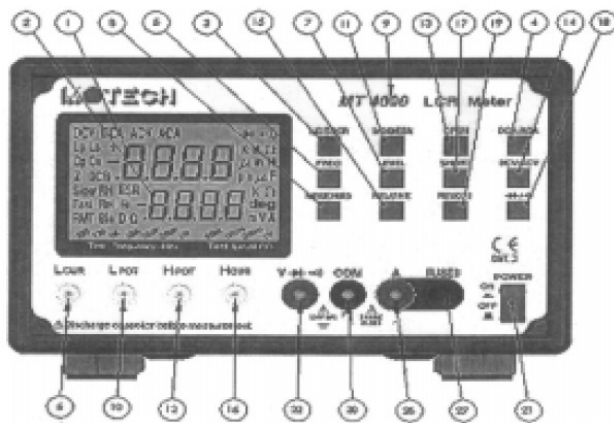
5. Elektroniczny mierniki impedancji LCR typu MT4090

- Miernik MT4090 LCR jest precyzyjnym przyrządem laboratoryjnym służącym do pomiarów impedancji i rezystancji cewek indukcyjnych, kondensatorów i rezystorów z podstawową dokładnością równą 0,1%.
- Dodatkowo, dzięki wbudowanym funkcjom pomiaru prądu i napięcia AC/DC oraz testów diod półprzewodnikowych i ciągłości MT4090 nie tylko służy do analizy charakterystyk podzespołów elektronicznych ale staje się podstawowym przyrządem na dowolnym stanowisku pomiarowym.

24

5. Elektroniczny mierniki impedancji LCR typu MT4090

- Widok panelu przedniego miernika impedancji LCR typu MT4090 [2] pokazany jest na rysunku.

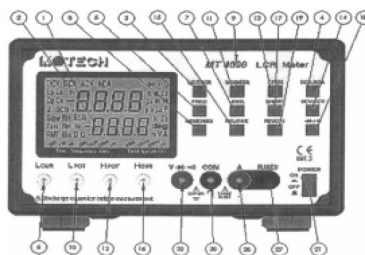


25

5. Elektroniczny mierniki impedancji LCR typu MT4090

Na tym rysunku podano następujące oznaczenia:

1. Podstawowe pole odczytowe
2. Dodatkowe pole odczytowe
3. Przycisk funkcji pomiarowej L/C/Z/DCR
4. Przycisk wyboru rodzaju prądu DCA/ACA
5. Przycisk wyboru częstotliwości testowej FREQ
6. Gniazdo pomiarowe LCUR
7. Przycisk wyboru napięcia testowego
8. Przycisk doboru zakresu RANGE HOLD
9. Oznaczenie modelu przyrządu
10. Gniazdo pomiarowe LPOT
11. Przycisk funkcji pomiarowej D/Q/θ/ESR
12. Gniazdo pomiarowe HPOT
13. Przycisk kalibracji rozwarciowej OPEN
14. Przycisk wyboru rodzaju napięcia DCV/ACV

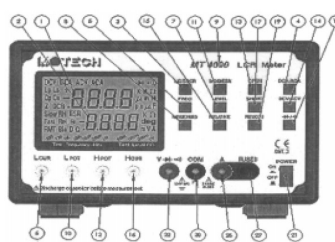


26

5. Elektroniczny mierniki impedancji LCR typu MT4090

Na tym rysunku podano następujące oznaczenia:

15. Przycisk funkcji pomiarów względnych RELATIVE
16. Gniazdo pomiarowe LCUR
17. Przycisk kalibracji zwarciowej SHORT
18. Przycisk wyboru testu diod lub ciągłości
19. Przycisk obsługi zdalnej REMOTE
20. Gniazdo pomiarowe COM (masa)
21. Włącznik zasilania POWER
22. Gniazdo pomiarowe multimetru V 24.
23. Gniazdo kabla sieciowego
24. Gniazdo interfejsu RS232C
25. Otwory wentylacyjne
26. Gniazdo pomiarowe prądowe A
27. Bezpiecznik topikowy 2A



27

5. Elektroniczny mierniki impedancji LCR typu MT4090

Pomiary RLC:

Parametry testowe:

1. **częstotliwość testowa** : 100Hz / 120Hz / 1kHz / 10kHz / 100kHz / 200kHz
2. **napięcie testowe** : 1Vrms / 0,25Vrms / 50mVrms / 1VDC (tylko pomiar DCR)
 - **mierzone wielkości** : Z, Ls, Lp, Cs, Cp, DCR, ESR, D, Q i θ
 - **dokładność podstawowa** : 0,1%
 - **wyświetlacz** : LCD, podwójny
 - **automatyczny i ręczny dobór zakresu pomiarowego**

28

5. Elektroniczny mierniki impedancji LCR typu MT4090

Pomiary RLC:

- interfejs RS-232
- kalibracja rozwarciowa i zwarciova
- wskazniki podstawowego pola odczytowego:

Z : impedancja AC

DCR : rezystancja stalopradowa

Ls : indukcyjnosc szeregowo

Lp : indukcyjnosc rownolegla

Cs : pojemnosc szeregowo

Cp : pojemnosc rownolegla

- Parametry wyswietlane na wyswietlaczu pomocniczym:
- θ :Kąt fazowy
- ESR :Rownowazna rezystancja szeregowo
- D :Stratnosc (tangens kąta strat)
- Q :Dobroć

29

6. Parametry metrologiczne miernika impedancji LCR typu MT4090

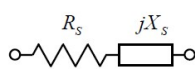
• Parametr	Zakres		
• Z	0,000 Ω	do	500,0 M Ω
• L	0,030 μ H	do	9999 H
• C	0,003 pF	do	80,00 mF
• DCR	0,000 Ω	do	500,0 M Ω
• ESR	0,000 Ω	do	9999 Ω
• D	0,000	do	9999
• Q	0,000	do	9999
• θ -	180,0°	do	180,0°
• Pomiary napięcia i prądu			
• V	0,0 mV	do	\pm 600 V
• A	0,000 mA	do	\pm 2 A

30

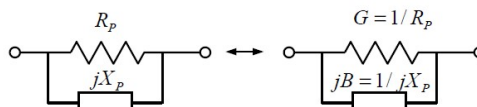
6. Parametry metrologiczne miernika impedancji LCR typu MT4090 4.

- Do celów analizy i pomiarów stosowane są dwa obwody zastępcze elementów impedancyjnych – szeregowy i równoległy.
- Na rysunku pokazano zależności między składowymi impedancji w obu trybach.

Szeregowy obwód zastępczy impedancji



Równoległy obwód zastępczy impedancji



$$Y = \frac{1}{R_p} + \frac{1}{jX_p}$$

$$Y = G + jB$$

31

6. Parametry metrologiczne miernika impedancji LCR typu MT4090

- **Pomiary pojemności: Tabela 1-C**

100Hz	79,57pF	159,1pF	1,591nF	15,91nF	159,1μF	1,591μF	15,91μF	159,1μF
	159,1pF	1,591nF	15,91nF	159,1μF	1,591μF	15,91μF	159,1μF	1,591mF
	2% ±1	1% ±1	0,5% ±1	0,2% ±1	0,1% ±1	0,2% ±1	0,5% ±1	1% ±1
120Hz	66,31pF	132,6pF	1,326nF	13,26nF	132,6nF	1,326μF	13,26μF	132,6μF
	132,6pF	1,326nF	13,26nF	132,6nF	1,326μF	13,26μF	132,6μF	13,26mF
	2% ±1	1% ±1	0,5% ±1	0,2% ±1	0,1% ±1	0,2% ±1	0,5% ±1	1% ±1
1kHz	7,957pF	15,91pF	159,1pF	1,591nF	15,91nF	159,1nF	1,591μF	15,91μF
	15,91pF	159,1pF	1,591nF	15,91nF	159,1nF	1,591μF	15,91μF	1,591mF
	2% ±1	1% ±1	0,5% ±1	0,2% ±1	0,1% ±1	0,2% ±1	0,5% ±1	1% ±1
10kHz	0,795pF	1,591pF	15,91nF	159,1pF	1,591nF	15,91nF	159,1nF	1,591μF
	1,591pF	15,91pF	159,1pF	1,591nF	15,91nF	159,1nF	1,591μF	15,91μF
	5% ±1	2% ±1	0,5% ±1	0,2% ±1	0,1% ±1	0,2% ±1	0,5% ±1	1% ±1
100kHz	—	0,159pF	1,591pF	15,91pF	159,1pF	1,591nF	15,91nF	1,591μF
	—	1,591pF	15,91pF	159,1pF	1,591nF	15,91nF	1,591μF	15,91μF
	—	5% ±1	2% ±1	1% ±1	0,4% ±1	1% ±1	2% ±1	5% ±1
200kHz	—	0,079pF	0,795pF	7,957pF	79,57pF	795,7pF	7,957nF	79,57nF
	—	0,795pF	7,957pF	79,57pF	795,7pF	7,957nF	79,57nF	7,957μF
	—	5% ±1	2% ±1	1% ±1	0,4% ±1	1% ±1	2% ±1	5% ±1

32

6. Parametry metrologiczne miernika impedancji LCR typu MT4090

• Pomiary indukcyjności Tabela 2-L

100Hz	31,83kH ±	15,91kH ±	1591H ±	159,1H ±	15,91H ±	1,591H ±	159,1mH ±	15,91mH ±	1,591μH ±
	2% ±1 ●	1% ±1	0,5% ±1	0,2% ±1	0,1% ±1	0,2% ±1	0,5% ±1	1% ±1 ●	
120Hz	26,52kH ±	13,26kH ±	1326H ±	132,6H ±	13,26H ±	1,326H ±	132,6mH ±	13,26mH ±	1,326μH ±
	2% ±1 ●	1% ±1	0,5% ±1	0,2% ±1	0,1% ±1	0,2% ±1	0,5% ±1	1% ±1 ●	
1kHz	3,183kH ±	1,591kH ±	159,1H ±	15,91H ±	1,591H ±	159,1mH ±	15,91mH ±	1,591μH ±	
	2% ±1 ●	1% ±1	0,5% ±1	0,2% ±1	0,1% ±1	0,2% ±1	0,5% ±1	1% ±1 ●	
10kHz	318,3H ±	159,1H ±	15,91H ±	1,591H ±	159,1mH ±	15,91mH ±	1,591μH ±	15,91μH ±	
	5% ±1 ●	2% ±1	0,5% ±1	0,2% ±1	0,1% ±1	0,2% ±1	0,5% ±1	1% ±1 ●	
100kHz	31,83H ±	15,91H ±	1,591H ±	159,1mH ±	15,91mH ±	1,591μH ±	15,91μH ±	0,159μH ±	
	—	5% ±1	2% ±1	1% ±1	0,4% ±1	1% ±1	2% ±1	5% ±1	
200kHz	15,91H ±	7,957H ±	795,7mH ±	79,57mH ±	7,957mH ±	795,7μH ±	79,57μH ±	0,795μH ±	
	—	5% ±1	2% ±1	1% ±1	0,4% ±1	1% ±1	2% ±1	5% ±1	

33

6. Parametry metrologiczne miernika impedancji LCR typu MT4090

• Pomiary współczynnika i kąta stratności Tabela 3-D

•

Dokładność pomiaru współczynnika stratności (D):

Zx	20M - 10M (Ω)	10M - 1M (Ω)	1M - 100k (Ω)	100k - 10k (Ω)	10k - 1k (Ω)	1k - 100 (Ω)	100 - 1 (Ω)	1 - 0,1 (Ω)
100Hz	± 0,020 ●	± 0,010	± 0,005	± 0,002	± 0,002	± 0,002	± 0,005	± 0,010 ●
120Hz								
1kHz								
10kHz	± 0,050 ●	± 0,020						
100kHz	—	± 0,050	± 0,020	± 0,010	± 0,004	± 0,010	± 0,020	± 0,050
200kHz	—							

Dokładność pomiaru kąta stratności (θ):

Zx	20M - 10M (Ω)	10M - 1M (Ω)	1M - 100k (Ω)	100k - 10k (Ω)	10k - 1k (Ω)	1k - 100 (Ω)	100 - 1 (Ω)	1 - 0,1 (Ω)
100Hz	± 1,046 ●	± 0,523	± 0,261	± 0,105	± 0,105	± 0,105	± 0,261	± 0,523 ●
120Hz								
1kHz								
10kHz	± 2,615 ●	± 1,046						
100kHz	—	± 2,615	± 1,046	± 0,409	± 0,209	± 0,409	± 1,046	± 2,615
200kHz	—							

34

7. Niepewność pomiaru LCR mostkiem typu MT4090

Niepewność standardowa wyników pomiaru mostkiem impedancji (**Z**), indukcyjności (**L**) oraz pojemności (**C**) wyznaczana jest według wzoru:

$$u_B(M) = \frac{WMBD \cdot M_x + c \cdot WCNZ}{100\% \sqrt{3}}$$

- gdzie **WMBD** – względny maksymalny błąd dopuszczalny w procentach od wartości zmierzonej **M_x** (wskazanie miernika), a **c** – jest liczbą wartości cyfry najmniej znaczącej (**WCNZ**). Podane są w odpowiednich tabeli .
- Względna niepewność standardowa wyników pomiaru mostkiem) wyznaczana jest według wzoru:

$$u_{B,rel}(M) = \frac{WMBD + \frac{c \cdot WCNZ}{M_x} 100\%}{\sqrt{3}}$$

35

7. Niepewność pomiaru LCR mostkiem typu MT4090

Niepewność pomiaru dobroci (**Q_x**) cewki

Ponieważ dobroć jest odwrotnością stratności $Q_x = \frac{1}{D_x}$

Dlatego niepewność pomiaru dobroci

$$u_B(Q) = \frac{u_B(D)}{D_x^2} = Q_x^2 u_B(D) = Q_x^2 \frac{MBD(D)}{\sqrt{3}}$$

gdzie MBD(D_x) jest maksymalnym błędem dopuszczalnym stratności dla zadanej częstotliwości oraz impedancji obiektu mierzonego.

36

7. Niepewność pomiaru LCR mostkiem typu MT4090

Niepewność standardowa wyników pomiaru mostkiem stratności (**Dx**) oraz dobroci (**Qx**).

Niepewność pomiaru stratności (**Dx**) kondensatora wyznaczana jest z **Tabeli 3-D** poprzez przeliczenie pojemności **Cx** w wartość impedancji na mierzonej częstotliwości, gdy zmierzona stratność (**Dx**) kondensatora jest **mniejsza lub równa 0.1**:

$$u_B(D) = \frac{MBD(Dx)}{\sqrt{3}}$$

gdzie **MBD(Dx)** jest **maksymalnym błędem dopuszczalnym stratności** dla zadanej częstotliwości oraz impedancji kondensatora.

Gdy spełniony jest warunek **Dx > 0.1**, należy wartość niepewności pomnożyć przez współczynnik **(1+Dx)**.

37

8. Pomiary mostkiem. Przykłady

- **Przykład 4.** Podczas pomiaru pojemności kondensatora na częstotliwości 200 kHz wskazanie miernika $Mx=Cx = 37.82 \text{ pF}$. Wyznaczyć:

- 1) bezwzględną niepewność wyniku pomiaru pojemności.
- 2) względną niepewność wyniku pomiaru pojemności.

- **Rozwiązanie:**

- 1) Według zadanej częstotliwości (200 kHz) oraz wyniku **37.82 pF** parametry niepewności znajdziemy w ostatnim wierszu oraz 4 kolumnie (zakres 7.957 pF ÷ 79.57 pF): **WMBD=±1%**, **c=1**. Tj.
- 2) Bezwzględna niepewność standardowa wyniku pomiaru pojemności:

$$u_B C = \frac{\frac{1\% \cdot 37.82 \text{ pF}}{100\%} + 1 \cdot 0.01 \text{ pF}}{\sqrt{3}} = 0.224 \text{ pF}$$

- 3) Względna niepewność standardowa wyniku pomiaru pojemności:

$$u_{B,rel}(C) = \frac{1\% + \frac{1 \cdot 0.01 \text{ pF}}{37.82 \text{ pF}} \cdot 100\%}{\sqrt{3}} = 0.593 \%$$

38

8. Pomiary mostkiem. Przykłady

- **Przykład 5.** Na częstotliwości 10 kHz mierzona pojemność, uzyskano wyniki: $C_x = 56.78$ nF; stratność $D_x = 0.024$. Wyznaczyć:

- 1) bezwzględną niepewność standardową wyniku pomiaru stratności:

Rozwiązanie:

- 1) Impedancja kondensatora

$$Z_c = X_c = \frac{1}{2\pi f C_x} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 56.78 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 280.3 \Omega$$

- 2) Według tabeli 3-D dla $f=10$ kHz oraz $Z_c=280.3 \Omega$ z 6-ej kolumny i 2-go wiersza **MBD(Dx)=±0.002**.

- 3) Bezwzględna niepewność standardową wyniku pomiaru stratności:

$$u_b(D_x) = \frac{0.002}{\sqrt{3}} = 0.00115$$

39

8. Pomiary mostkiem. Przykłady

- **Przykład 6.** Podczas pomiaru indukcyjności na częstotliwości 1 kHz wskazanie miernika $M_x=L_x = 25.35$ mH. Wyznaczyć:

- 1) bezwzględną niepewność wyniku pomiaru indukcyjności.
- 2) względną niepewność wyniku pomiaru indukcyjności.

Rozwiązanie:

- 1) Według zadanej częstotliwości (1 kHz) oraz wyniku (25.35 mH) parametry niepewności znajdziemy w 3-m wierszu oraz 7 kolumnie (zakres 15.91 mH ÷ 159.1 μH): **WMBD=±0.5%, c=1**. Tj.

- 2) Bezwzględna niepewność standardowa wyniku pomiaru indukcyjności:

$$u_b(L) = \frac{\frac{0.5\% \cdot 25.35 \text{ mH}}{100\%} + 1 \cdot 0.01 \text{ mH}}{\sqrt{3}} = 0.0790 \text{ mH}$$

- 3) Względna niepewność standardowa wyniku pomiaru indukcyjności:

$$u_{b,rel}(L) = \frac{0.5\% + \frac{1 \cdot 0.01 \text{ mH}}{25.35 \text{ mH}} \cdot 100\%}{\sqrt{3}} = 0.311\%$$

40

8. Pomiar mostkiem. Przykłady

Przykład 7. Na częstotliwości 1 kHz mierzona indukcyjność, uzyskano wyniki: $L_x = 122.3 \text{ mH}$; dobroć $Q_x = 30$. Wyznaczyć:

- 1) bezwzględna niepewność standardową wyniku pomiaru dobroci:

Rozwiązanie:

- 1) Impedancja indukcyjnościowa:

$$Z_L = X_L = 2\pi f L_x = 2\pi \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 122.3 \cdot 10^{-3} \text{ H} = 768.4 \Omega$$

- 2) Według tabeli 3-D dla $f=1 \text{ kHz}$ oraz $Z_L=768.4 \Omega$ z 6-ej kolumny i 2-go wiersza $MBD(Dx)=\pm 0.002$.

- 3) Bezwzględna niepewność standardową wyniku pomiaru dobroci:

$$u_B(Dx) = 30^2 \frac{0.002}{\sqrt{3}} \approx 1.04$$