

# **Pomiary impedancji**

## **Pomiary RLC**

### **Część I**

1

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


**Plan:**

- 1. Wstęp. Modeli obiektów badanych RLC.**
- 2. Pomiar RLC metodą techniczną 1.**
- 3. Niepewność wyników pomiaru parametrów RLC metodą techniczną 1.**
- 4. Przykłady**


2

## 1. Wstęp. Modeli obiektów badanych

Podstawowe elementy pasywne obwodów elektrycznych:

**Rezystor** – rezystancja  $R$  (m  $\Omega$ ,  $\Omega$ , k $\Omega$ , M $\Omega$ ,...)   
- konduktancja  $G = 1/R$  (kS, S, mS,  $\mu$ S,...)

**Kondensator** - pojemność  $C$  (pF, nF,  $\mu$ F,...) 

**Cewka** – indukcyjność  $L$  ( $\mu$ H, mH, H) 

**Impedancja (na prądzie sinusoidalnym)**: stosunek wartości napięcia do wartości prądu

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = R + j \cdot X$$

**Admitancja (na prądzie sinusoidalnym)**: stosunek wartości prądu do wartości napięcia (odwrotć impedancji)

$$\dot{Y} = \frac{\dot{I}}{\dot{U}} = \frac{1}{\dot{Z}} = G + j \cdot B$$

3

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

## 1. Wstęp. Modeli obiektów badanych

**Moduł Impedancji (na prądzie sinusoidalnym)**: stosunek wartości skutecznej napięcia do wartości skutecznej prądu

$$Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X^2}$$

**Moduł Admittancji** : stosunek wartości prądu do wartości napięcia (odwrotć impedancji)

$$Y = \frac{I}{U} = \frac{1}{Z} = \sqrt{G^2 + B^2}$$

**Moduł impedancji** obiektu idealnego:

**Rezystora** –  $Z_R = R$

**Kondensatora** -  $Z_C = X_C = 1/\omega C = 1/(2\pi f C)$

**Cewki** -  $Z_L = X_L = \omega L = 2\pi f L$

**Moduł admittancji** obiektu idealnego:

**Rezystora** –  $Y_R = 1/R = G$  ( $G$  – konduktancja)

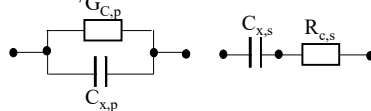
**Kondensatora** -  $Y_C = B = \omega C = 2\pi f C$  ( $B$  – susceptancja)

**Cewki** -  $Y_L = 1/X_L = Y_L = 1/\omega L = 1/2\pi f L$

4

## 1. Wstęp. Modeli obiektów badanych

Przy uproszczonych założeniach przy częstotliwościach do kilku dziesięć kiloherców obiekt pojemnościowy można przedstawić: układem zastępczym **równoległym** z części pojemnościowej  $C_x$  oraz przewodnościowej  $G_{c,p}$  lub układem zastępczym **szeregowym** z części pojemnościowej  $C_x$  rezystancyjnej  $R_{c,s}$



Admitancja pojemnościowego obiektu opisuje się wzorem

$$Y_{c,p} = G_{c,p} + j\omega C_{x,p} = G_{c,p} + j\omega \cdot C_{x,p}$$

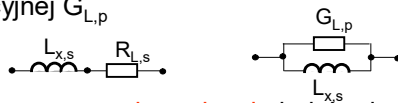
a impedancja układu zastępczego **szeregowego pojemnościowego** obiektu równa się

$$Z_{c,s} = R_{c,s} + j \cdot X_{c,s} = R_{c,s} + \frac{1}{j\omega \cdot C_{x,s}}$$

5

## 1. Wstęp. Modeli obiektów badanych

Przy uproszczonych założeniach przy częstotliwościach do kilku dziesięć kiloherców obiekt indukcyjny można przedstawić: układem zastępczym **szeregowym** z części indukcyjnej  $L_x$  oraz rezystancyjnej  $R_{L,s}$  lub układem **równoległym** zastępczym z części indukcyjnej  $L_x$  oraz konduktancyjnej  $G_{L,p}$



Dla układu **szeregowego impedancja** indukcyjnego obiektu opisuje się wzorem

$$Z_{L,s} = R_{L,s} + j \cdot X_{L,s} = R_{L,s} + j\omega \cdot L_{x,s}$$

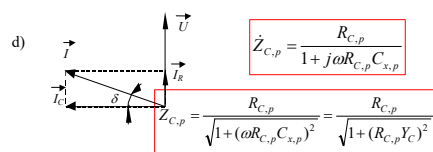
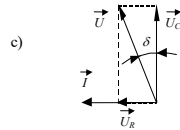
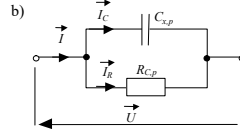
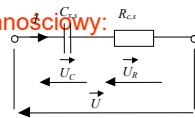
a admitancja układu **zastępczego równoległego** indukcyjnego obiektu równa się

$$Y_L = G_{L,p} + j\omega L_{x,p} = G_{L,p} + \frac{1}{j\omega \cdot L_{x,p}}$$

6

# 1. Wstęp. Modeli obiektów badanych

Obiekt pojemnościowy:



$$\dot{Z}_{C,s} = R_{C,s} + \frac{1}{j\omega C_s}$$

$$Z_{C,s} = \sqrt{R_{C,s}^2 + \frac{1}{(\omega C_s)^2}} = \sqrt{R_{C,s}^2 + X_C^2}$$

$$\dot{Z}_{C,p} = \frac{R_{C,p}}{1 + j\omega R_{C,p} C_{x,p}}$$

$$Z_{C,p} = \frac{R_{C,p}}{\sqrt{1 + (\omega R_{C,p} C_{x,p})^2}} = \frac{R_{C,p}}{\sqrt{1 + (R_{C,p} Y_C)^2}}$$

$$\dot{Y} = \frac{1}{R_{C,p}} + j\omega C_{x,p} = G_{C,p} + j\omega C_{x,p}$$

$$Y_{C,p} = \sqrt{G_{C,p}^2 + (\omega C_{x,p})^2} = \sqrt{G_{C,p}^2 + Y_C^2}$$

Stratność obiektu pojemnościowego

$$\operatorname{tg} \delta_s = \frac{U_{R,s}}{U_{C,s}} = \frac{R_{C,s}}{1/\omega C_{x,s}} = \omega R_{C,s} C_{x,s}$$

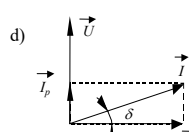
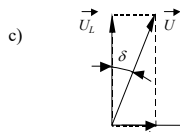
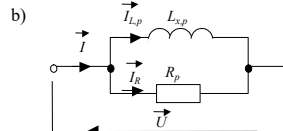
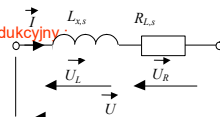
$$C_{x,p} = \frac{C_{x,s}}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta^2}$$

$$\operatorname{tg} \delta_p = \frac{I_C}{I_R} = \frac{U/R_{C,p}}{U\omega C_{x,p}} = \frac{1}{\omega R_{C,p} C_{x,p}}$$

7

# 1. Wstęp. Modeli obiektów badanych

Obiekt indukcyjny:



$$\dot{Z}_{L,s} = R_{L,s} + j\omega L_{x,s} \quad Z_{L,s} = \sqrt{R_{L,s}^2 + (\omega L_{x,s})^2}$$

$$\dot{Z}_{L,p} = \frac{1}{Y_{L,p}} = \frac{1}{\frac{1}{R_{L,p}} + \frac{1}{j\omega L_{x,p}}}$$

Dobroć obiektu indukcyjnego

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \frac{1}{U_R/U_L} = \frac{\omega L_{x,s}}{R_{L,s}}$$

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} = \frac{I_L}{I_R} = \frac{R_{L,p}}{\omega L_{x,p}}$$

$$L_{x,p} = L_{p,s} \left( 1 + \frac{1}{Q^2} \right)$$

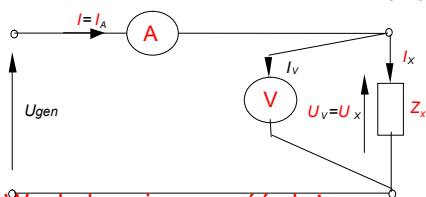
8

## 2.Pomiar impedancji metodą techniczną 1

**Metoda techniczna** : metoda amperomierza – woltomierza pomiaru modułu impedancji polega na oddzielnych pomiarach

- Prądu  $I$  – amperomierzem A
- Napięcia  $U$  – woltomierzem

Pomiary pośrednie  
poprawny pomiar napięcia



$$I_x \rightarrow I_A \quad U_x \rightarrow U_V$$

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

Względna niepewność złożona

$$u_{c,rel}(Z_x) = \sqrt{u_{rel}^2(U_V) + u_{rel}^2(I_A)} = \sqrt{\left(\frac{kl_V \cdot U_{nV}}{\sqrt{3} \cdot U_V}\right)^2 + \left(\frac{kl_A \cdot I_{nA}}{\sqrt{3} \cdot I_A}\right)^2}$$

Bezwzględna niepewność złożona

$$u_c(Z_x) = \frac{u_{c,rel}(Z_x)}{100\%} \cdot Z_x = \sqrt{\left(\frac{kl_V \cdot U_{nV}}{\sqrt{3} \cdot U_V}\right)^2 + \left(\frac{kl_A \cdot I_{nA}}{\sqrt{3} \cdot I_A}\right)^2} \cdot \frac{Z_x}{100\%}$$

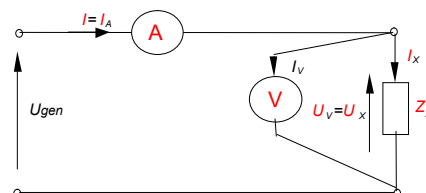
9

## 2.Pomiar impedancji metodą techniczną 1

**Metoda techniczna** : metoda amperomierza – woltomierza pomiaru modułu impedancji polega na oddzielnych pomiarach

- Prądu  $I$  – amperomierzem A
- Napięcia  $U$  – woltomierzem V

Pomiary pośrednie



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

Błąd metodyczny (spowodowany ograniczoną rezystancją woltomierza  $R_V \neq \infty$ , prąd przez woltomierz  $I_V \neq 0$ )

$$\delta_{met,R_V} = \frac{I_V}{I_x} 100\% = \frac{I_V}{I_A - I_V} 100\% \approx \frac{Z_x}{R_V}$$

$$R_V \gg Z_x$$

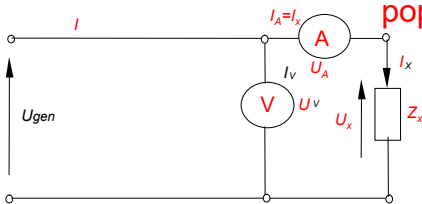
10

## 2.Pomiar impedancji metodą techniczną 1

**Metoda techniczna** : metoda amperomierza – woltomierza pomiaru modułu impedancji polega na oddzielnych pomiarach

- Prądu I – amperomierzem A
- Napięcia U – woltomierzem

Pomiary pośredni  
poprawny pomiar prądu



$$I_x \rightarrow I_A \quad U_x \rightarrow U_V$$

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

Względna niepewność złożona

$$u_{c,rel}(Z_x) = \sqrt{u_{rel}^2(U_V) + u_{rel}^2(I_A)} = \sqrt{\left(\frac{kl_V \cdot U_{nV}}{\sqrt{3} \cdot U_V}\right)^2 + \left(\frac{kl_A \cdot I_{nA}}{\sqrt{3} \cdot I_A}\right)^2}$$

Bezwzględna niepewność złożona

$$u_c(Z_x) = \frac{u_{c,rel}(Z_x)}{100\%} \cdot Z_x = \sqrt{\left(\frac{kl_V \cdot U_{nV}}{\sqrt{3} \cdot U_V}\right)^2 + \left(\frac{kl_A \cdot I_{nA}}{\sqrt{3} \cdot I_A}\right)^2} \cdot \frac{Z_x}{100\%}$$

11

## 2.Pomiar impedancji RLC metodą techniczną 1

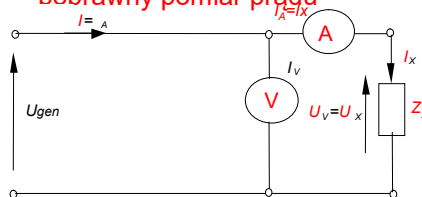
**Metoda techniczna 1** :

metoda amperomierza – woltomierza pomiaru modułu impedancji polega na oddzielnych pomiarach

- Prądu I – amperomierzem A
- Napięcia U – woltomierzem

Pomiary pośredni  
poprawny pomiar prądu

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



Błąd metodyczny (spowodowany ograniczoną rezystancją amperomierza  $R_A \neq 0$ , spadek napięcia na amperomierzu  $U_A \neq 0$ )

$$\delta_{met,R_A} = \frac{U_A}{U_x} \cdot 100\% \approx \frac{R_A}{Z_x} \cdot 100$$

$$Z_x \gg R_A$$

12

## 2. Pomiar impedancji RLC metodą techniczną 1

Dobór metody pośredniego pomiaru impedancji graniczną z minimalnym wpływem rezystancji wejściowej woltomierza i amperomierza jest w przybliżeniu podobny do wyboru metody podczas pomiaru rezystancji na paradye stałym:

- 1) Na podstawie znajomości rezystancji wejściowej woltomierza  $R_V$  oraz amperomierza  $R_A$  obliczmy tak zwaną wartość graniczną impedancji:

$$Z_{gr} \approx \sqrt{R_V R_A}$$

- 2) Znaną przybliżoną wartość impedancji  $Z_x$  (lub wyznaczoną ze wstępnego je pomiaru) porównujemy z wartością graniczną  $Z_{gr}$ :

Jeśli  $Z_x > Z_{gr}$ , wtedy wybieramy metodą poprawnego pomiaru prądu;  
Jeśli  $Z_x < Z_{gr}$ , wtedy wybieramy metodą poprawnego pomiaru napięcia.

13

## 2. Pomiar parametrów RLC metodą techniczną 1 Obliczenia:

$$Z_x = \sqrt{R_x^2 + X_x^2}$$

$$X_x = \sqrt{Z_x^2 - R_x^2}$$

$$X_{Lx} = \omega L_x; X_{Cx} = \frac{1}{\omega C_x}$$

$$L_x = \frac{X_{Lx}}{\omega} = \frac{X_{Lx}}{2\pi f}; C_x = \frac{1}{\omega X_{Cx}} = \frac{1}{2\pi f X_{Cx}}$$

$Z_x$  - moduł impedancji  
 $R_x$  - rezystancja  
 $X_x$  - sesupstancja (składowa urojona)

**Metoda techniczna :**  
Impedancja  $Z_x$ : prąd AC  
Amperomierz AC, woltomierz AC

Rezystancja  $R_x$  : prąd DC  
Amperomierz DC, woltomierz DC

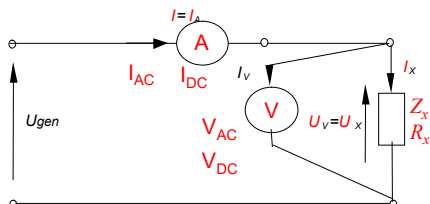
14

## 2. Pomiar parametrów RLC metodą techniczną 1

Pomiary pośrednie

Pomiar impedancji na prądzie przemiennym: AC  $Z_x = \frac{U_{x,AC}}{I_{x,AC}} \approx \frac{U_{V,AC}}{I_{A,AC}}$

or rezystancji na prądzie stałym: DC  $R_{x,DC} = \frac{U_{x,DC}}{I_{x,DC}} \approx \frac{U_{V,DC}}{I_{A,DC}}$



$$X_x = \sqrt{Z_x^2 - R_{x,DC}^2} \approx \sqrt{\frac{U_{V,AC}^2}{I_{A,AC}^2} - \frac{U_{V,DC}^2}{I_{A,DC}^2}}$$

$$L_x = \frac{X_{Lx}}{2\pi f}; C_x = \frac{1}{2\pi f \cdot X_{Cx}}$$

Do pomiaru częstotliwości  $f$  – miernik częstotliwości

15

## 3. Niepewność wyników pomiaru parametrów RLC metodą techniczną 1

Niepewność pomiaru parametrów RLC

Pomiar indukcyjności (pomiar rezystancji na prądzie stałym):

$$X_x = \sqrt{Z_x^2 - R_{x,DC}^2}$$

$$L_x = \frac{X_x}{\omega} = \frac{X_x}{2\pi \cdot f} = \frac{\sqrt{Z_x^2 - R_{x,DC}^2}}{2\pi \cdot f}$$

Względna niepewność złożona

$$u_{c,rel}(L_x) = \sqrt{u_{B,rel}^2(f) + \frac{Z_x^4 \cdot u_{B,rel}^2(Z_x) + R_{x,DC}^4 \cdot u_{B,rel}^2(R_{x,DC})}{X_x^4}}$$

Względne niepewności pomiaru rezystancji oraz impedancji

$$u_{c,rel}(R_{x,DC}) = \sqrt{u_{B,rel}^2(U_{V,DC}) + u_{B,rel}^2(I_{A,DC})}; u_{c,rel}(Z_x) = \sqrt{u_{B,rel}^2(U_{V,AC}) + u_{B,rel}^2(I_{A,AC})}$$

Względna niepewność pomiaru częstotliwości miernikiem analogowym

$$u_{B,rel}(f) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{kl_f \cdot f_n}{100\% \cdot f}$$

Bezwzględna niepewność złożona

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

16



### 3. Niepewność wyników pomiaru parametrów RLC metodą techniczną 1

Niepewność pomiaru parametrów RLC

Pomiar pojemności (pomiar rezystancji na prądzie stałym) :

$$X_x = \sqrt{Z_x^2 - R_{x,DC}^2}$$

$$C_x = \frac{1}{\omega X_{Cx}} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_{Cx}} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot \sqrt{Z_x^2 - R_{x,DC}^2}}$$

Względna niepewność złożona

$$u_{c,rel}(C_x) = \sqrt{u_{B,rel}^2(f) + \frac{Z_x^4 \cdot u_{B,rel}^2(Z_x) + R_{x,DC}^4 \cdot u_{B,rel}^2(R_{x,DC})}{X_x^4}}$$

Względne niepewności pomiaru rezystancji oraz impedancji

$$u_{c,rel}(R_{x,DC}) = \sqrt{u_{B,rel}^2(U_{V,DC}) + u_{B,rel}^2(I_{A,DC})}; \quad u_{c,rel}(Z_x) = \sqrt{u_{B,rel}^2(U_{V,AC}) + u_{B,rel}^2(I_{A,AC})}$$

Względna niepewność pomiaru częstotliwości miernikiem analogowym

$$u_{B,rel}(f) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{kl_f \cdot f_n}{100\% \cdot f}$$

Bezwzględna niepewność złożona

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

17

### 3. Niepewność wyników pomiaru parametrów RLC metodą techniczną 1

Niepewności wskazań mierników na prądzie stałym (Pomiar rezystancji):  
analogowych:

$$u_{B,rel}(U_{V,DC}) = \frac{kl_{V,DC} \cdot U_{nV,DC}}{\sqrt{3} \cdot U_{V,DC}}$$

$$u_{B,rel}(I_{A,DC}) = \frac{kl_{A,DC} \cdot I_{nA,DC}}{\sqrt{3} \cdot I_{A,DC}}$$

cyfrowych:

$$u_{B,rel}(U_{V,DC}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left( a_{V,DC} + b_{V,DC} \frac{U_{nV,DC}}{U_{V,DC}} \right); \quad u_B(I_{A,DC}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left( a_{A,DC} + b_{A,DC} \frac{I_{nA,DC}}{I_{A,DC}} \right)$$

Niepewności wskazań mierników na prądzie przemiennym (Pomiar impedancji):  
analogowych:

$$u_{B,rel}(U_{V,AC}) = \frac{kl_{V,AC} \cdot U_{nV,AC}}{\sqrt{3} \cdot U_{V,AC}}; \quad u_{B,rel}(I_{A,AC}) = \frac{kl_{A,AC} \cdot I_{nA,AC}}{\sqrt{3} \cdot I_{A,AC}}$$

cyfrowych:

$$u_{B,rel}(U_{V,AC}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left( a_{V,AC} + b_{V,DC} \frac{U_{nV,AC}}{U_{V,AC}} \right); \quad u_{B,rel}(I_{A,AC}) = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \left( a_{A,AC} + b_{A,DC} \frac{I_{nA,AC}}{I_{A,AC}} \right)$$

18

## 4. Przykłady pomiar parametrów RLC metodą techniczną 1

Przykład 1. Pomiary impedancji: Podczas pomiaru impedancji obiektu indukcyjnego wskazanie woltomierza  $U_V=121\text{ V}$ , wskazanie amperomierza  $I_A=3.45\text{ A}$ , rezystancja (układ zastępczy szeregowy)  $R_{ob}=20.5\ \Omega$ , częstotliwość  $f=50\text{ Hz}$ .

Wyznaczyć:

1. Impedancje obiektu  $Z_{ob}$ .
2. Indukcyjność obiektu  $L_{ob}$ .
3. Dobroć obiektu indukcyjnego  $Q_{ob}$ .

19

## 4. Przykłady pomiar parametrów RLC metodą techniczną 1

Przykład 1.

Rozwiązanie:

1) Impedancja obiektu  $Z_{ob} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{121\text{ V}}{3,45\text{ A}} \approx 35.072\ \Omega$

2) Indukcyjność obciążenia:  $L_{ob} = \frac{\sqrt{Z_{ob}^2 - R_{ob}^2}}{2\pi f} = \frac{\sqrt{35.072^2 - 20.5^2}\ \Omega}{2\pi \cdot 50\text{ Hz}} \approx 90.58\text{ mH}$

3) Dobroć obiektu:  $Q_{ob} = \frac{2\pi f L_{ob}}{R_{ob}} = \frac{2\pi \cdot 50\text{ Hz} \cdot 90.58\text{ mH}}{20.5\ \Omega} \approx 1.39$

20

## 4. Przykłady pomiar parametrów RLC metodą techniczną 1

**Przykład 2.** Pomiary impedancji: Podczas pomiaru impedancji obiektu pojemnościowego wskazanie woltomierza  $U_V=480\text{ V}$ , wskazanie amperomierza  $I_A=0.435\text{ A}$ , rezystancja (układ zastępczy równoległy)  $R_{ob}=12.5\text{ k}\Omega$ , częstotliwość  $f=50\text{ Hz}$ .

Wyznaczyć:

1. Admitancę obiektu  $Y_{ob}$ .
2. Pojemność obiektu  $C_{ob}$ .
3. Stratność obiektu pojemnościowego  $\text{tg}\delta$ .

21

## 4. Przykłady pomiar parametrów RLC metodą techniczną 1

**Przykład 2.**

Rozwiązanie:

1) Admitancja obiektu  $Y_{ob} = \frac{I_A}{U_V} = \frac{0.435\text{ A}}{480\text{ V}} \approx 9.063 \cdot 10^{-3}\text{ S}$

2) Pojemność obiektu

$$C_{ob} = \frac{\sqrt{Y_{ob}^2 - \frac{1}{R_{ob}^2}}}{2\pi f} = \frac{\sqrt{(9.063 \cdot 10^{-3})^2 - \frac{1}{12500^2}}}{2\pi \cdot 50\text{ Hz}} \approx 2.874 \cdot 10^{-6}\text{ F} = 2.874\text{ }\mu\text{F}$$

3) Stratność obiektu:

$$\text{tg}\delta_p = \frac{1}{R_{ob} \cdot 2\pi f C_{ob}} = \frac{1}{12500\Omega \cdot 2\pi 50\text{ Hz} \cdot 2.874 \cdot 10^{-6}\text{ F}} \approx 0.089$$

22

## 4. Przykłady pomiar parametrów RLC metodą techniczną 1

**Przykład 3. Pomiary impedancji:** Podczas pomiaru impedancji obiektu indukcyjnego wskazanie woltomierza  $U_V=225\text{ V}$  (zakres 300 V, klasa dokładności 1.0), wskazanie amperomierza  $I_A=3,45\text{ A}$  (zakres 5A, klasa 1.5)

Wyznaczyć:

- 1. Impedancje obiektu  $Z_{ob}$ .
- 2. Względne niepewności wskazań mierników.
- 3. Względna niepewność pomiaru impedancji obiektu.
- 4. Bezwzględną niepewność pomiaru impedancji obiektu.

23

## 4. Przykłady pomiar parametrów RLC metodą techniczną 1

**Przykład 3.**

Rozwiązanie:

1) Impedancja obiektu  $Z_{ob} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{225\text{ V}}{2,75\text{ A}} \approx 81,818\ \Omega$

2a) Względna niepewność pomiaru napięcia  $u_{B,rel}(U) = \frac{kI_V U_{nV}}{\sqrt{3}U_V} = \frac{1,0 \cdot 300\text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 225\text{ V}} \approx 0,770\%$

2b) Względna niepewność pomiaru prądu  $u_{B,rel}(I) = \frac{kI_A I_{nA}}{\sqrt{3}I_A} = \frac{1,5 \cdot 3\text{ A}}{\sqrt{3} \cdot 2,75\text{ V}} \approx 0,945\%$

3) Względna złożona niepewność pomiaru impedancji

$$u_{c,rel}(Z) = \sqrt{u_{B,rel}^2(U) + u_{B,rel}^2(I)} = \sqrt{0,770^2 + 0,945^2} = 1,219\%$$

4) Bezwzględna złożona niepewność pomiaru impedancji

$$u_{c,rel}(Z) = \frac{u_{c,rel}(Z) \cdot Z_{ob}}{100\%} = \frac{1,219\% \cdot 81,818\ \Omega}{100\%} \approx 0,997\ \Omega \approx 1,0\ \Omega$$

24

## 4. Przykłady pomiar parametrów RLC metodą techniczną 1

- **Przykład 4. Pomiary impedancji:** Podczas pomiaru indukcyjności odbiornika jednofazowego wartość częstotliwości 50.0 Hz (względna niepewność standardowa 0.15%) wskazanie woltomierza  $U_V=227.4\text{ V}$  (zakres 250 V, klasa dokładności 0.5), wskazanie amperomierza  $I_A=4.457\text{ A}$  (zakres 5A, klasa 0.5). Rezystancja na prądzie stałym jest znana:  $R_{ob}=25.45\ \Omega$  ze względną niepewnością standardową 0.25 %.
- **Wyznaczyć:**
  1. Impedancje obiektu  $Z_{ob}$ .
  2. Indukcyjność obiektu
  3. Względną złożoną niepewność pomiaru impedancji.
  4. Względna niepewność pomiaru indukcyjności obiektu.
  5. Bezwzględna niepewność pomiaru indukcyjności obiektu<sup>25</sup>

## 4. Przykłady pomiar parametrów RLC metodą techniczną 1

### Przykład 4.

Rozwiązanie:

1) Impedancja obiektu  $Z_{ob} = \frac{U_V}{I_A} = \frac{227.5\text{ V}}{4.457\text{ A}} \approx 51.043\ \Omega$

2a) Reaktancja obiektu  $X_{ob} = \sqrt{Z_{ob}^2 - R_{ob}^2} = \sqrt{51.043^2 - 25.45^2} \approx 44.246\ \Omega$

2b) Indukcyjność obciążenia:  $L_{ob} = \frac{X_{ob}}{2\pi f} = \frac{44.246}{2\pi \cdot 50} \approx 140.84\text{ mH}$

## 4. Przykłady pomiar parametrów RLC metodą techniczną 1

### Przykład 4.

Rozwiązanie:

3a) Względna niepewność pomiaru napięcia

$$u_{B,rel}(U) = \frac{kI_V U_{NI}}{\sqrt{3}U_V} = \frac{0,5 \cdot 250V}{\sqrt{3}227,5V} \approx 0,317\%$$

3b) Względna niepewność pomiaru prądu

$$u_{B,rel}(I) = \frac{kI_A I_{NA}}{\sqrt{3}I_A} = \frac{0,5 \cdot 5A}{\sqrt{3}4,457V} \approx 0,324\%$$

3c) Względna złożona niepewność pomiaru impedancji

$$u_{c,rel}(Z) = \sqrt{u_{B,rel}^2(U) + u_{B,rel}^2(I)} = \sqrt{0,317^2 + 0,324^2} = 0,453\%$$

4) Względna złożona niepewność pomiaru indukcyjności

$$u_{c,rel}(L) = \sqrt{u_{B,rel}^2(f) + \frac{Z_{ob}^4 u_{c,rel}^2(Z) + R_{ob}^4 u_{c,rel}^2(DR)}{X^4}} = \sqrt{0,15^2 + \frac{51,043^4 \cdot 0,453^2 + 25,45^4 \cdot 0,25^2}{44,246^4}} = 0,627\%$$

5) Bezwzględna złożona niepewność pomiaru indukcyjności

$$u_{c,rel}(L) = \frac{u_{c,rel}(L) \cdot L_{ob}}{100\%} = \frac{0,627\% \cdot 140,84mH}{100\%} \approx 0,88mH$$

27