

**Pomiary mocy
w sieciach jednofazowych
Część I
Zasady, watomierze, wyniki i
niepewność pomiaru**

1

**Cel: Zapoznać się z podstawowymi metodami pomiaru
mocy w sieciach jednofazowych**

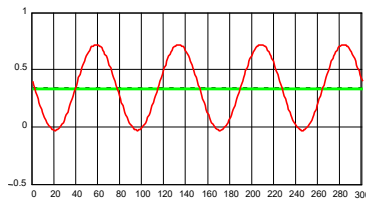
- 1. Parametry mocy**
- 2. Pomiar mocy w obwodzie stałoprądowym
metoda amperomierza i woltomierza**
- 3. Analogowy elektrodynamiczny watomierz**
- 4. Schematy pomiaru mocy**
- 5. Przykłady**

2

1. Parametry mocy

- **moc czynna** sygnału – jest wartością **średnią** w ciągu **okresu T** wartości **chwilowej** $p(t)=u(t)i(t)$

$$P = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u(t)i(t)dt$$



3

1. Parametry mocy dla sygnałów sinusoidalnych

- **moc czynna** średnia sygnału

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R = \frac{U^2}{G} \quad (W);$$

- **moc bierna** średnia sygnału

$$Q = UI \sin \varphi = I^2 X = \frac{U^2}{Y} \quad (VAR);$$

- **moc pozorną** średnia sygnału

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (B \cdot A),$$

4

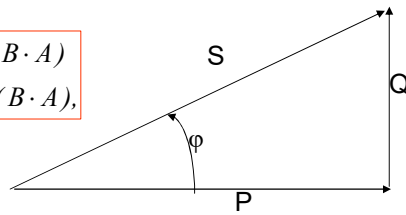
1. Parametry mocy dla sygnałów sinusoidalnych

– moc **pozorna** średnia sygnału

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (B \cdot A),$$

$$S = UI = I^2 Z \quad (B \cdot A)$$

$$S = UI = U^2 Y \quad (B \cdot A),$$



$$S = UI = \frac{U^2}{Z} \quad (B \cdot A)$$

$$S = UI = \frac{I^2}{Y} \quad (B \cdot A),$$

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

$$Y = \frac{1}{Z}$$

5

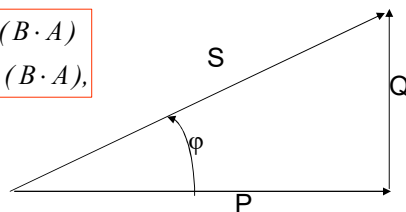
1. Parametry mocy dla sygnałów sinusoidalnych

– moc **pozorna** średnia sygnału

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (B \cdot A),$$

$$S = UI = I^2 Z \quad (B \cdot A)$$

$$S = UI = U^2 Y \quad (B \cdot A),$$



$$S = UI = \frac{U^2}{Z} \quad (B \cdot A)$$

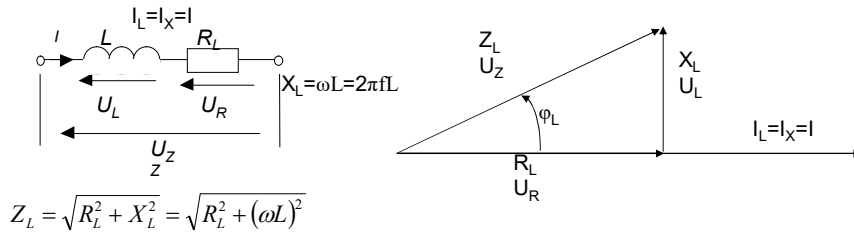
$$S = UI = \frac{I^2}{Y} \quad (B \cdot A),$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}};$$

$$\frac{Q}{P} = \operatorname{tg} \varphi.$$

6

1. Parametry mocy Obiekt indukcyjny



$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} = \sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2}$$

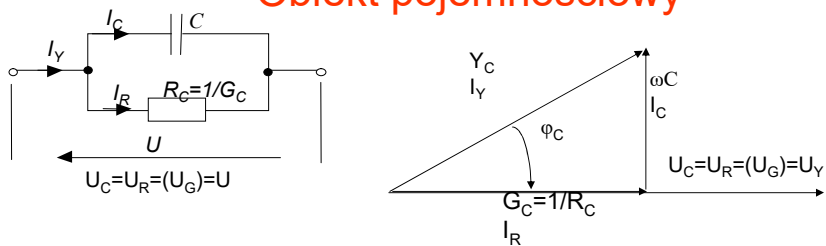
Moc czynna $P_L = I^2 R_L$

Moc bierna $Q_L = I^2 X_L = I^2 \omega L$

Moc pozorna $S_L = \sqrt{P_L^2 + Q_L^2} = I^2 Z_L = I^2 \sqrt{R_L^2 + (\omega L)^2}$

7

1. Parametry mocy Obiekt pojemnościowy



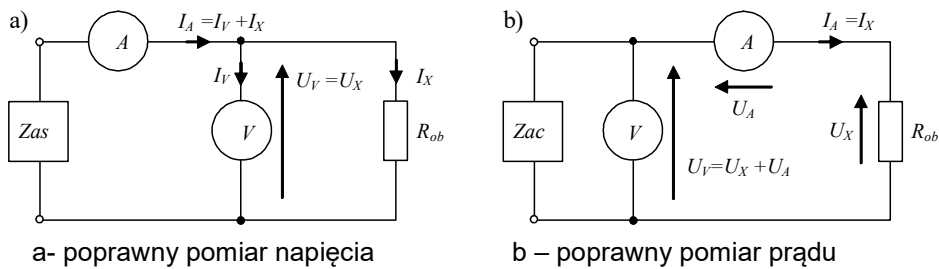
Moc czynna $P_C = U^2 G_C$

Moc bierna $Q_C = U^2 X_C = U^2 \omega C$

Moc pozorna $S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2} = U^2 Y_C = U^2 \sqrt{G_C^2 + (\omega C)^2}$

8

2. Pomiar mocy w obwodzie stałoprądowym metoda amperomierza i woltomierza



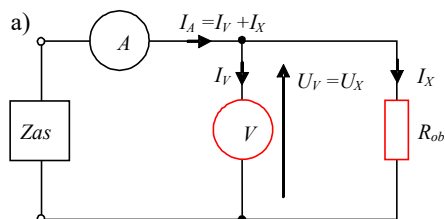
a- poprawny pomiar napięcia

b – poprawny pomiar prądu

$$P_{ob} = I_X U_X = P_X$$

9

Pomiar mocy w obwodzie stałoprądowym metoda amperomierza i woltomierza



a- poprawny pomiar napięcia

$$P_{ob} = I_X U_X = P_X,$$

Wartość zmierzona

$$P = I_A U_V = (I_X + I_V) U_V = I_X U_X + I_V U_V = P_X + P_V$$

Błąd metody

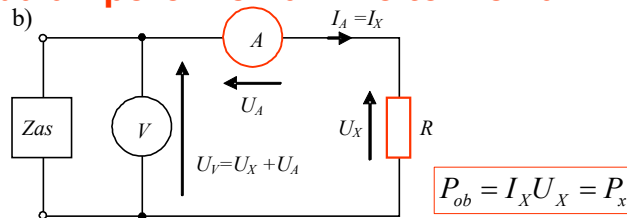
Wartość skorygowana

$$\delta_{met,V} = \frac{P - P_X}{P_X} \cdot 100\% = \frac{P_V}{P_X} \cdot 100\%$$

$$P_X = P - P_V = I_A U_V - \frac{U_V^2}{R_V},$$

10

2. Pomiar mocy w obwodzie stałoprądowym metoda amperomierza i woltomierza



b – poprawny pomiar prądu

Wartość zmierzona

$$P = I_A U_V = I_A (U_X + U_A) = I_X U_X + I_A R_A = P_X + P_A$$

Błąd metody

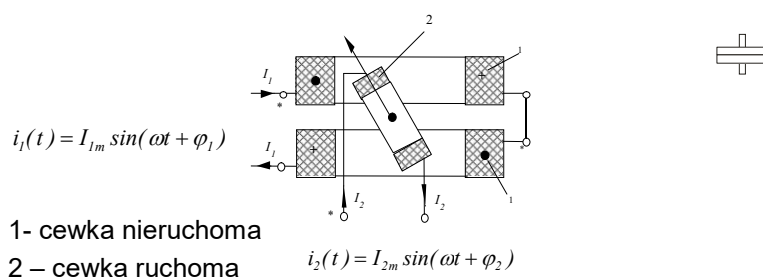
$$\delta_{met.A} = \frac{P - P_X}{P_X} \cdot 100\% = \frac{P_A}{P_X} \cdot 100\%$$

Wartość skorygowana

$$P_X = P - P_A = I_A U_V - I_A^2 R_A$$

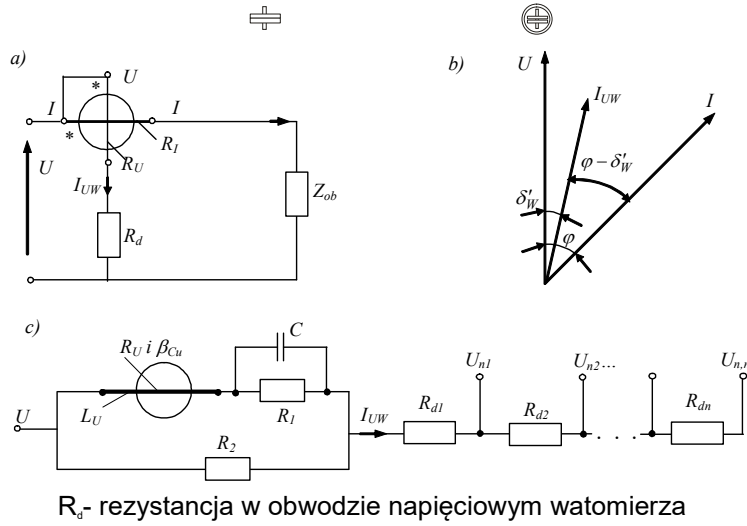
11

3. Watomierz z przetwornikiem elektrodynamicznym (ED) i ferrodynamicznym (FD)



12

3. Watomierz elektrodynamyczny (ED)



13

3. Watomierz elektrodynamyczny (ED)

Watomierze ferrodynamiczne LW-1 oraz elektrodynamiczne LD-4



14

3. Watomierz elektrodynamiczny (ED) \oplus \oplus

Watomierze ferrodynamiczne LW-1



15

3. Watomierz elektrodynamiczny (ED) \oplus \oplus

Watomierze elektrodynamiczne LD-4



16

3. Watomierz elektrodynamiczny (ED)

Watomierze ferrodynamiczne LW-1

Watomierze ferrodynamiczne typu LW-1 przeznaczone są do pomiaru mocy prądu stałego oraz mocy czynnej prądu przemiennego, jednofazowego o częstotliwości od 15 Hz do 200Hz.

Stosując dodatkowy przybór pomiarowy typu OD-41, można dokonywać pomiarów mocy w sieciach trójfazowych, trójprzewodowych w układzie sztucznego zera.

Watomierze te są powszechnie używane w laboratoriach przemysłowych i naukowych, pracowniach dydaktycznych, stacjach prób i punktach serwisowych.

17

3. Watomierz elektrodynamiczny (ED)

Dane techniczne

Klasa dokładności dla prądów stałych i przemiennych:	0,5;
Ilość wykonań:	5;
Długość podziałki:	110 mm;
Znamionowy współczynnik mocy:	$\cos \varphi = 1$;
Zakres napięcia:	(0,8 ... <u>1</u> ... 1,5)Un;
Zakres prądu	(0...1...1,3) In;
Zakres częstotliwości:	15 ... <u>50</u> ...200 Hz;
Napięcie probiercze izolacji:	2 kV;
Wymiary gabarytowe (sz.x dł.x wys.):	155 x 210 x 85 mm;
Masa ok.:	1500 g.

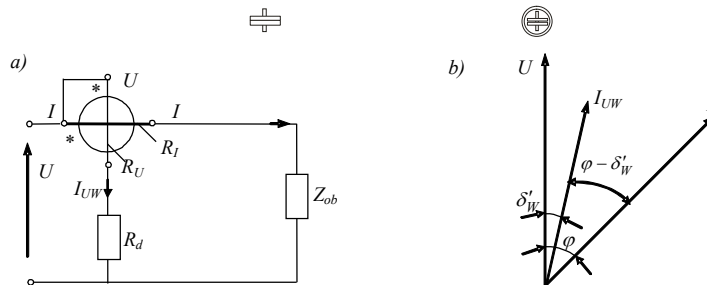
18

3. Watomierz elektrodynamiczny (ED) \oplus \ominus



19

3. Watomierz elektrodynamiczny (ED) \oplus \ominus



$$\alpha = \frac{1}{W} \frac{dM_{1,2}}{d\alpha} I I_{UW} \cos(\varphi - \delta'_W)$$

$$\frac{dM_{1,2}}{d\alpha} = \text{const}$$

$$I_{UW} = \frac{U \cos \delta'_W}{R_{UW}}$$

$$\alpha = S_p UI \cos \varphi$$

$$\alpha = S_p UI \cos(\varphi - \delta'_W) \cos \delta'_W$$

20

3. Watomierz elektrodynamiczny

Zakresy prądowe:

10; 20; 25; 50; 100 mA; 0,2; 0,25; 0,5; 1; 2; 2,5; 5; 10 A ,

Zakresy napięciowe

30; 75; 150; 300; 450; 600 V .

Prąd w cewce napięciowej przy zakresowym napięciu: 3; 5 mA

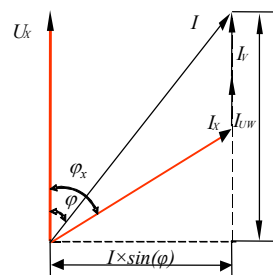
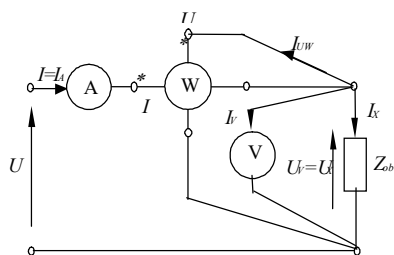
Nominalny cos 0,1; 1

Nominalny zakres częstotliwości 45...65 Hz,

roboczy – do 500...10000 Hz.

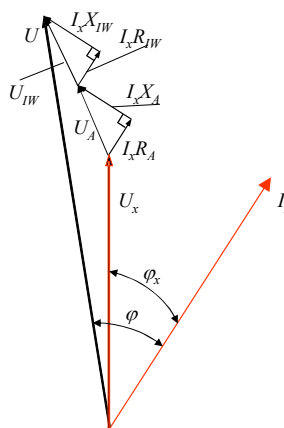
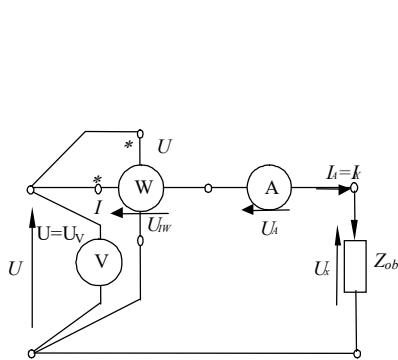
21

4. Pomiar mocy watomierzem w obwodzie 1-fazowym (poprawny pomiar napięcia)



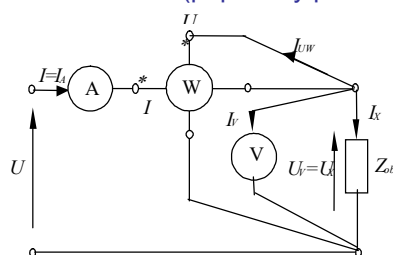
22

4. Pomiar mocy watomierzem (poprawny pomiar prądu)



23

3. Pomiar mocy watomierzem (poprawny pomiar napięcia)



Wskazanie watomierza

$$P_W = P_X + P_V + P_{UW} = P_X + P_{Miern.}$$

P_V - zużywana moc woltmierzem oraz

P_{UW} - zużywana moc cewką napięciową watomierza

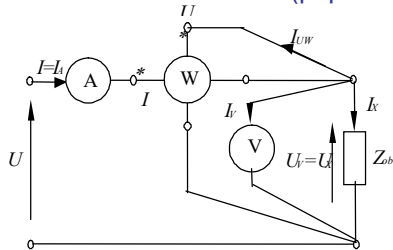
$$P_V = \frac{U_V^2}{R_V}, P_{UW} = \frac{U_V^2}{R_{UW}}, R_V = \frac{U_{nV}}{I_{nV}}, R_{UW} = \frac{U_{nW}}{I_{nUW}}$$

I_{nV} prąd zakresowy przez cewkę woltmierza

I_{nUW} prąd zakresowy przez cewkę napięciową watomierza

24

3. Pomiar mocy watomierzem (poprawny pomiar napięcia)



Wskazanie watomierza

$$P_W = P_X + P_V + P_{UW} = P_X + P_{miern.}$$

Skorygowany wynik pomiaru mocy

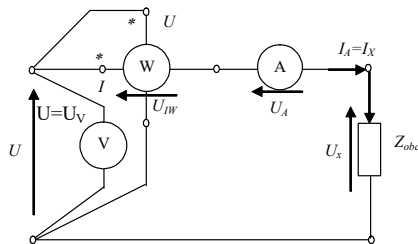
$$P_X = P_W - P_{miern.} = P_W - P_V - P_{UW}$$

Błąd systematyczny pomiaru mocy przy braku korygowania wpływu mocy zużywanej miernikami

$$\delta_{MU} = \frac{P_{miern.}}{P_X} \cdot 100\% = \frac{P_V + P_{UW}}{P_X} \cdot 100\%$$

25

3. Pomiar mocy watomierzem (poprawny pomiar prądu)



Wskazanie watomierza

$$P_W = P_X + P_A + P_{IW} = P_X + P_{miern.}$$

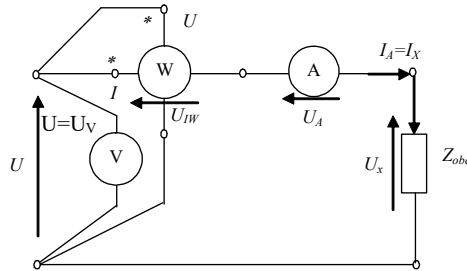
P_A – moc zużywana amperomierzem,
 P_{IW} – moc zużywana cewką prądową watomierza

$$P_A = I_A^2 R_A, \quad P_{IW} = I_A^2 R_{IW}$$

26

3. Pomiar mocy watomierzem

(poprawny pomiar prądu)



Skorygowana moc

$$P_X = P_W - P_{miern} = P_W - P_A - P_{IW}$$

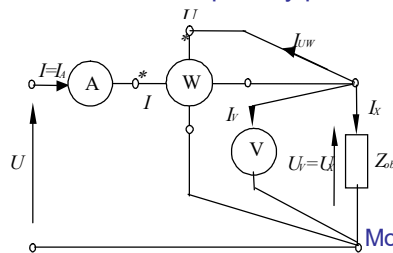
Błąd systematyczny pomiaru mocy przy braku korygowania wpływu mocy zużywanej miernikami

$$\delta_{MI} = \frac{P_{miern}}{P_X} \cdot 100\% = \frac{P_A + P_{IW}}{P_X} \cdot 100\%$$

27

3. Pomiar mocy watomierzem

(poprawny pomiar napięcia)



Stała podziałki watomierza

$$C_W = \frac{P_{nW}}{n_{nW(\max)}} = \frac{U_{nW} I_{nW} \cos \varphi_{nW}}{n_{nW}}$$

n_{nW} - maksymalne wskazanie watomierza

Moc wskazywana watomierzem

$$P_W = C_W n_W$$

n_W - odczyt watomierza

Niepewność standardowa wskazania watomierza

$$u_B(P_W) = \frac{kl_W}{\sqrt{3}} \frac{P_{nW}}{100\%},$$

Względna niepewność standardowa wskazania watomierza

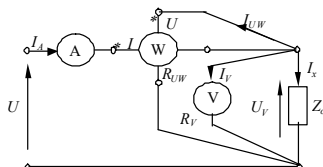
$$u_{B,rel}(P_W) = \frac{kl_W}{\sqrt{3}} \cdot \frac{P_{nW}}{P_W} = \frac{kl_W}{\sqrt{3}} \cdot \frac{n_{nW}}{n_W},$$

28

5. Przykłady

Pomiary mocy 1F. Przykład 1.

Moc odbiornika jednofazowego mierzona watomierzem z parametrami: zakresy napięciowy $U_{nW}=75\text{ V}$, prądowy $I_{nW}=10\text{ A}$; znamionowa liczba działek $n_{nW}=150\text{ dz}$, nominalny $\cos \varphi_{nW}=1$, wskazanie watomierza $n_W=67\text{ dz}$. Do kontroli napięcia na odbiorniku wykorzystuje się woltomierz, którego wskazanie $U_V=62,5\text{ V}$ oraz amperomierz, którego wskazanie $I_A=7,25\text{ A}$. Według wskazania mierników (watomierza, woltomierza i amperomierza) **wyznaczyć**:



1. Zużywaną odbiornikiem moc czynną P.
2. Moc pozorną S.
3. Moc bierną Q.

Rozwiązanie:

$$1) \text{ Wyznaczamy stałą podziałki watomierza: } c_W = \frac{U_{nW} \cdot I_{nW} \cdot \cos \varphi_{nW}}{n_W} = \frac{75\text{ V} \cdot 10\text{ A} \cdot 1}{150\text{ dz}} = 5\text{ W/dz}$$

2) Wyznaczamy moc czynną (według wskazania watomierza):

$$P = P_W = c_W \cdot n_W = 5 \frac{\text{W}}{\text{dz}} \cdot 67\text{ dz} = 335\text{ W}$$

3) Wyznaczamy moc pozorną (według wskazań woltomierza i amperomierza):

$$S = U_V \cdot I_A = 62,5\text{ V} \cdot 7,25\text{ A} = 453,125\text{ V} \cdot \text{A}$$

4) Wyznaczamy moc bierną (według mocy pozornej i czynnej):

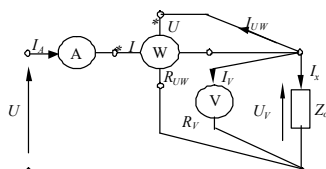
$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{453,125^2 - 335^2} \approx 305,12\text{ Var}$$

29

5. Przykłady

Pomiary mocy 1F. Przykład 2.

Moc odbiornika jednofazowego mierzona watomierzem z parametrami: zakresy napięciowy $U_{nW}=300\text{ V}$, prądowy $I_{nW}=5\text{ A}$; znamionowa liczba działek $n_{nW}=150\text{ dz}$, nominalny $\cos \varphi_{nW}=1$, wskazanie watomierza $n_W=123,5\text{ dz}$, klasa dokładności watomierza $k_{lW}=0,5$.



Wyznaczyć:

1. Zużywaną odbiornikiem moc czynną.
2. Względna standardową niepewność wskazania watomierza
3. Bezwzględna standardową niepewność wskazania watomierza

Rozwiązanie:

$$1) \text{ Wyznaczamy stałą podziałki watomierza: } c_W = \frac{U_{nW} \cdot I_{nW} \cdot \cos \varphi_{nW}}{n_W} = \frac{300\text{ V} \cdot 5\text{ A} \cdot 1}{150\text{ dz}} = 10\text{ W/dz}$$

2) Wyznaczamy moc czynną (według wskazania watomierza):

$$P = P_W = c_W \cdot n_W = 10 \frac{\text{W}}{\text{dz}} \cdot 123,5\text{ dz} = 1235\text{ W}$$

3) Wyznaczamy względną standardową niepewność wskazania watomierza:

$$u_{B,rel}(P_W) = \frac{k_{lW}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{n_{nW}}{n_W} = \frac{0,5\%}{\sqrt{3}} \cdot \frac{150\text{ dz}}{123,5\text{ dz}} = 0,351\%$$

4) Wyznaczamy bezwzględną standardową niepewność wskazania watomierza:

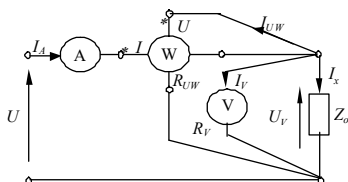
$$u_B(P_W) = \frac{u_{B,rel}(P_W)}{100\%} \cdot \frac{P_W}{100\%} = \frac{0,351\%}{100\%} \cdot 1235\text{ W} = 4,33\text{ W}$$

30

5. Przykłady

Pomiary mocy 1F. Przykład 3.

Moc odbiornika jednofazowego mierzona watomierzem z parametrami: zakresy napięciowy $U_{nW}=150\text{ V}$, prąd w cewce napięciowej przy zakresowym napięciu: 5 mA , prądowy $I_{nW}=2.5\text{ A}$; znamionowa liczba działek $n_{nW}=75\text{ dz}$, nominalny $\cos\varphi_{nW}=1$, wskazanie watomierza $n_W=57.5\text{ dz}$. Do kontroli napięcia na odbiorniku wykorzystuje się woltomierz, którego wskazanie $U_V=122,5\text{ V}$ (zakres 150 V) z prądem pełnego wychylenia $I_{nV}=10\text{ mA}$, oraz amperomierz, którego wskazanie $I_A=1.55\text{ A}$. Według wskazania mierników (watomierza, woltomierza i amperomierza) **wyznaczyć**:



1. Zużywaną moc według wskazania watomierza.
2. Moc zużywana miernikami P_{miern} .
3. Skorygowaną moc zużywaną odbiornikiem.
3. Względny błąd systematyczny przy braku korekcji mocy.

31

5. Przykłady

Pomiary mocy 1F. Przykład 3 (kontynuacja)

Rozwiązanie:

$$1) \text{ Wyznaczamy stałą podziałki watomierza: } c_W = \frac{U_{nW} \cdot I_{nW} \cdot \cos\varphi_{nW}}{n_W} = \frac{150V \cdot 2.5A \cdot 1}{75dz} = 5W/dz$$

2) Wyznaczamy moc czynną (według wskazania watomierza):

$$P = P_W = c_W \cdot n_w = 5 \frac{W}{dz} \cdot 57.5 dz = 287.5 W$$

$$3) \text{ Wyznaczamy rezystancję cewki napięciowej watomierza: } R_{UW} = \frac{U_{nW}}{I_{nW}} = \frac{150V}{5mA} = 30\text{ k}\Omega,$$

4) Wyznaczamy moc zużywaną cewką napięciową watomierza

$$P_{UW} = \frac{U_V^2}{R_{UW}} = \frac{122.5^2 V^2}{30 \cdot 10^3 \Omega} \approx 0.500 W$$

$$5) \text{ Wyznaczamy rezystancję cewki woltomierza } R_V = \frac{U_{nV}}{I_{nV}} = \frac{150V}{10mA} = 15\text{ k}\Omega,$$

6) Wyznaczamy moc zużywaną cewką woltomierza

$$P_V = \frac{U_V^2}{R_V} = \frac{122.5^2 V^2}{15 \cdot 10^3 \Omega} \approx 1.00 W$$

7) Wyznaczamy moc zużywaną miernikami P_{miern}

$$P_{miern} = P_{UW} + P_V = 0.500 W + 1.00 W = 1.500 W$$

8) Wyznaczamy skorygowaną moc zużywaną odbiornikiem.

$$P_{skor} = P - P_{miern} = 287.5 W + 1.5 W = 286.0 W$$

9) Wyznaczamy względny błąd systematyczny przy braku korekcji mocy.

$$\delta_{p,sys} = \frac{P_{miern}}{P} \cdot 100\% = \frac{1.5 W}{286.0 W} \cdot 100\% = 0.525\%$$

32