

LABORATORIUM METROLOGII

ĆWICZENIE 6

Pomiary mocy elektrycznej

Gliwice, luty 2011 r.

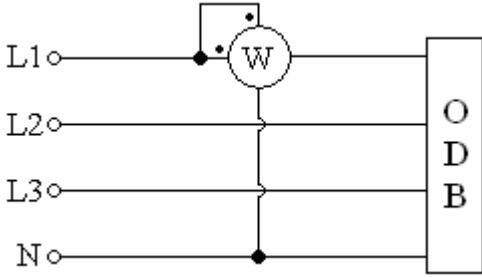
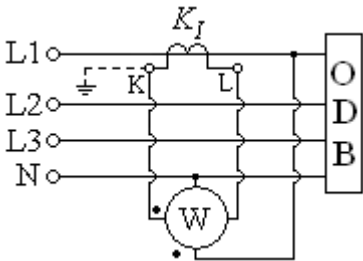
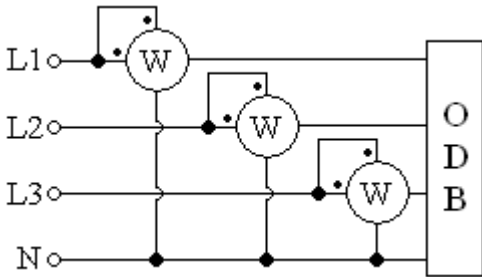
1. CEL ĆWICZENIA

Ćwiczenie umożliwia zapoznanie się z typowymi metodami pomiaru mocy i energii w sieciach 3-fazowych w układach bezpośrednich i pośrednich, w tym z wykorzystaniem przekładników prądowych i napięciowych. Głównym celem ćwiczenia to nabycie umiejętności doboru układu pomiarowego w zależności od rodzaju sieci i typu obciążenia oraz oszacowanie błędów pomiaru i niepewności w każdym z tych układów.

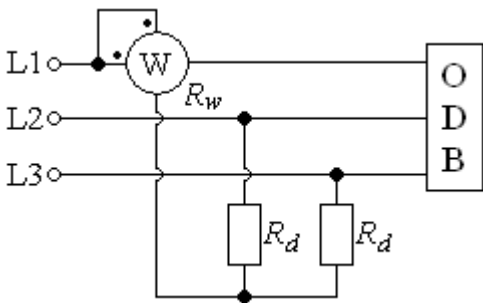
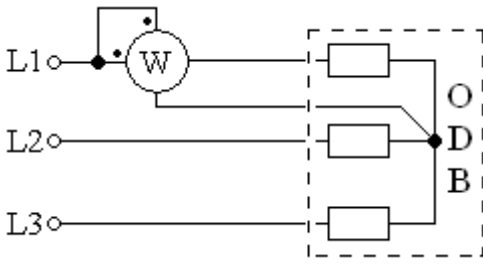
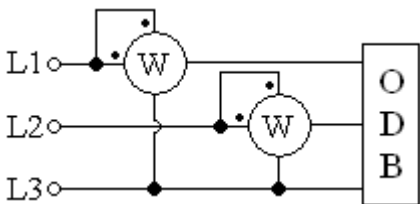
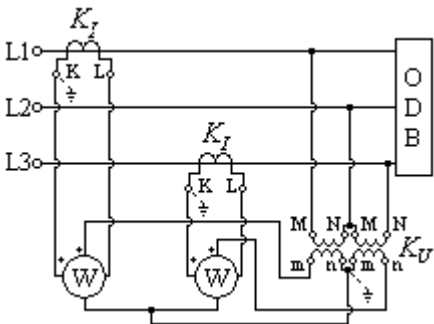
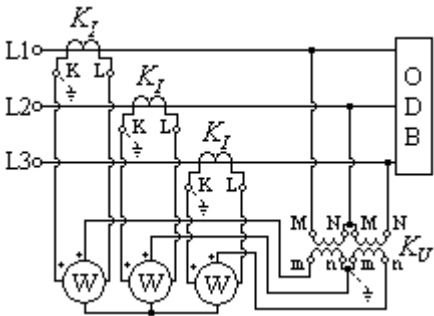
2. WPROWADZENIE

W układzie sieci 4-przewodowej i 3-przewodowej istnieją różne możliwości zestawienia układów pomiarowych zależności od obciążenia. W tablicach 2.1 - 2.3 zestawiono układy pomiarowe oraz podstawowe zależności do wyznaczenia mocy pobieranej przez odbiornik.

Tablica 2.1. Pomiar mocy czynnej odbiornika trójfazowego w sieci 4-przewodowej

Rodzaj układu	Układ połączeń	Podstawowe zależności
Układ pomiaru bezpośredniego za pomocą jednego watomierza (przy obciążeniu symetrycznym)		$P_O = 3 \cdot P_W$
Układ pomiaru półpośredniego za pomocą jednego watomierza (przy obciążeniu symetrycznym)		$P_O = 3 \cdot K_I \cdot P_W$
Układ pomiaru bezpośredniego za pomocą trzech watomierzy		$P_O = P_{W1} + P_{W2} + P_{W3}$

Tablica 2.2. Pomiar mocy czynnej odbiornika trójfazowego w sieci 3-przewodowej

Rodzaj układu	Układ połączeń	Podstawowe zależności
Układ pomiaru bezpośredniego za pomocą jednego watomierza przy niedostępnym punkcie neutralnym (przy obciążeniu symetrycznym)		$P_O = 3 \cdot P_W$
Układ pomiaru bezpośredniego za pomocą jednego watomierza przy dostępnym punkcie neutralnym (przy obciążeniu symetrycznym)		$P_O = 3 \cdot P_W$
Układ pomiaru bezpośredniego za pomocą dwóch watomierzy – tzw. układ Arona		$P_1 = U_{13} \cdot I_1 \cdot \cos \alpha$ $P_2 = U_{23} \cdot I_2 \cdot \cos \beta$ $P_O = P_{W1} + P_{W2}$
Układ pomiaru pośredniego za pomocą dwóch watomierzy – tzw. układ Arona		$P_O = K_I \cdot K_U \cdot (P_{W1} + P_{W2})$ $P_{W1} = U_{13} \cdot I_1 \cdot \cos \alpha$ $P_{W2} = U_{31} \cdot I_3 \cdot \cos \beta$
Układ pomiaru pośredniego za pomocą trzech watomierzy		$P_O = K_I \cdot K_U \cdot (P_{W1} + P_{W2} + P_{W3})$

Tablica 2.3. Pomiar mocy bierniej odbiornika trójfazowego w sieci 4 i 3-przewodowej

Rodzaj układu	Układ połączeń	Podstawowe zależności
Układ pomiaru bezpośredniego za pomocą jednego watomierza (przy obciążeniu symetrycznym)		$Q_W = \frac{P_W}{\sqrt{3}}$ $Q_O = 3 \cdot Q_W = 3 \cdot \frac{P_W}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \cdot P_W$
Układ pomiaru bezpośredniego za pomocą dwóch watomierzy – tzw. układ Arona		$Q_O = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (P_{W1} + P_{W2})$
Układ pomiaru bezpośredniego za pomocą dwóch watomierzy z dodatkową rezystancją		$Q_{W1} = U_{23} \cdot I_1 \cdot \sin \alpha$ $Q_{W2} = U_{12} \cdot I_3 \cdot \sin \beta$ $Q_O = Q_{W1} + Q_{W2}$ lub $Q_O = \sqrt{3} \cdot (P_{W1} + P_{W2})$
Układ pomiaru bezpośredniego za pomocą trzech watomierzy		$Q_O = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot (P_{W1} + P_{W2} + P_{W3})$
Układ pomiaru pośredniego za pomocą dwóch watomierzy z dodatkową rezystancją		$Q_O = \sqrt{3} \cdot K_I \cdot K_U \cdot (P_{W1} + P_{W2})$

Wyznaczanie błędów i niepewności pomiarów mocy

Na podstawie poniższych wzorów wyznacza się niepewność bezwzględną miernika firmy LUMEL typu N10 $u(P_{N10})$ i watomierzy $u(P_W)$ oraz niepewności względne $u_{rel}(P_{N10})$ i $u_{rel}(P_W)$.

$$u(P_{N10}) = \frac{\Delta P_{N10}}{\sqrt{3}}, \quad (2.1)$$

gdzie:

- ΔP_{N10} – błąd graniczny miernika N10, $\Delta P_{N10} = (kl \cdot P_{N10} + \alpha_{zakr} \cdot zakres) / 100\%$,
- kl – klasa miernika firmy LUMEL typu N10, $kl = 0,5 \%$,
- α_{zakr} – błąd zakresu pomiarowego, $\alpha_{zakr} = 0,2 \%$,
- $zakres$ – zakres pomiarowy, $zakres = 1999,9 \text{ W}$,

$$u(P_{N10}) = \frac{kl \cdot P_{N10} + \alpha_{zakr} \cdot zakres}{\sqrt{3}}, \quad (2.2)$$

$$u(P_{N10\Sigma}) = \sqrt{[u(P_{N10L1})]^2 + [u(P_{N10L2})]^2 + [u(P_{N10L3})]^2}, \quad (2.3)$$

gdzie:

- $u(P_{N10\Sigma})$ – niepewność bezwzględna całkowita pomiaru mocy,

$$u_{rel}(P_{N10\Sigma}) = \frac{u(P_{N10\Sigma})}{P_{N10\Sigma}} \cdot 100\% - \text{niepewność względna całkowita pomiaru mocy.}$$

Analogicznie wyznaczono niepewności bezwzględne i względne dla pomiaru mocy przy pomocy watomierzy W.

$$u(P_W) = \frac{\Delta P_W}{\sqrt{3}}, \quad (2.4)$$

gdzie:

- ΔP_W – błąd graniczny miernika N10, $\Delta P_W = kl \cdot zakres / 100\%$,
- kl – klasa watomierza, $kl = 0,5 \%$,
- $zakres$ - zakres pomiarowy, $zakres = 2000 \text{ W}$,

$$u(P_W) = \frac{kl \cdot zakres}{\sqrt{3} \cdot 100\%}, \quad (2.5)$$

$$u(P_{W\Sigma}) = \sqrt{[u(P_{WL1})]^2 + [u(P_{WL2})]^2 + [u(P_{WL3})]^2}, \quad (2.6)$$

gdzie:

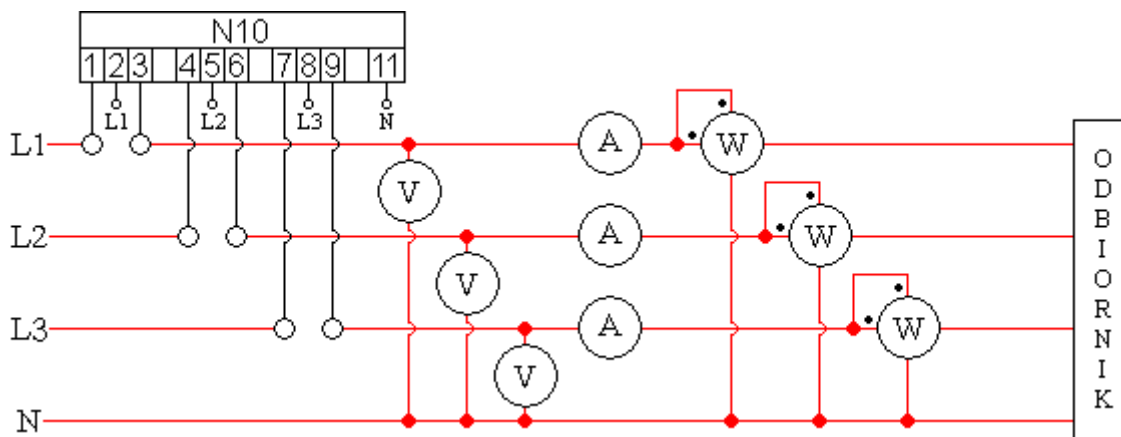
- $u(P_{W\Sigma})$ – niepewność bezwzględna całkowita pomiaru mocy $P_{W\Sigma}$,

$$u_{rel}(P_{W\Sigma}) = \frac{u(P_{W\Sigma})}{P_{W\Sigma}} \cdot 100\% - \text{niepewność względna całkowita pomiaru mocy } P_{W\Sigma}.$$

Ostatecznie, błąd względny δ pomiaru mocy P_W dokonanej za pomocą watomierza W wyznacza się ze wzoru:

3.1. Pomiar mocy trójfazowej w układzie czteroprzewodowym

Pomiary należy dokonać w układzie czteroprzewodowym przy obciążeniu symetrycznym i niesymetrycznym. Schematy układów pomiarowych przedstawiono na rys. 3.1 - 3.3. Na rysunkach tych (rys. 3.1 - 3.3), zaznaczono kolorem czarnym na stałe połączone obwody napięciowe i prądowe, które są umieszczone wewnątrz stanowiska dydaktycznego do pomiarów mocy i energii elektrycznej. Obwody napięciowe są połączone w topologii gwiazdy. Natomiast obwody ukazane kolorem czerwonym przedstawiają konfigurację połączeń, jaką należy wykonać, w celu realizacji programu ćwiczenia.

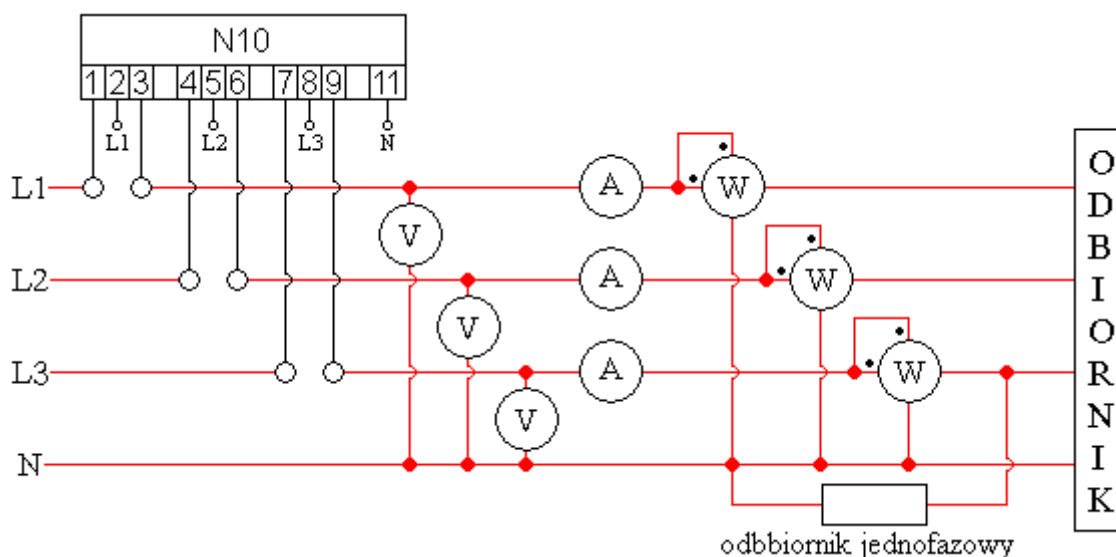


Rys. 3.1. Schemat elektryczny układu pomiarowego do pomiaru mocy czynnej w układzie czteroprzewodowym przy obciążeniu symetrycznym, N10- przetwornik cyfrowy firmy LUMEL, ODBIORNIK- silnik elektryczny typu Szle24b, 2,2 kW, 3 x 380V, 5,1 A, $\cos\varphi = 0,8$, $n = 1410$ obr/min napędzający prądnicę typu P2b-b-4546, 1,5kW, 230V, 6,5A, $n = 1450$ ob/min, wzbudzenie własne $I_w = 0,4$ A, nastawnik prądu wzbudzenia $I_{max} = 0,96$ A

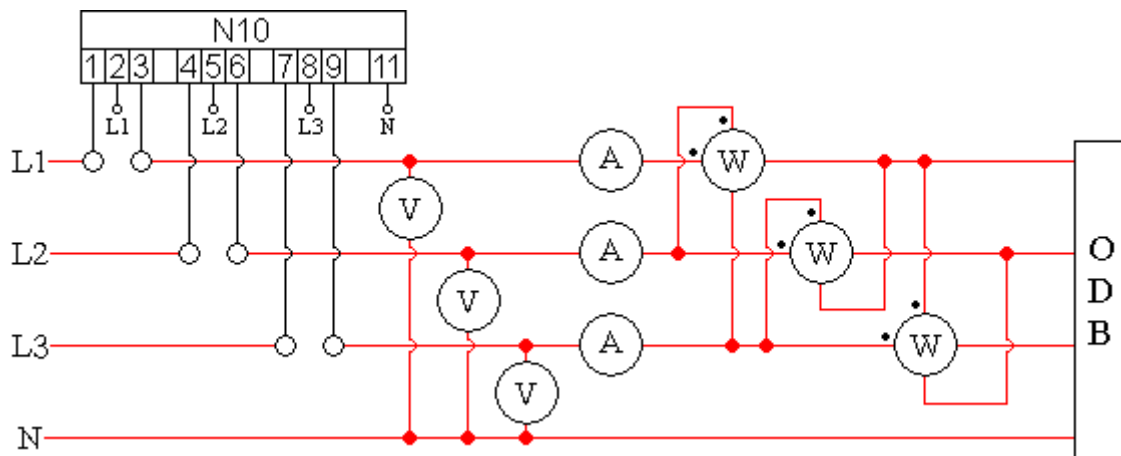
Podstawowe dane znamionowe przetwornika cyfrowego N10 zestawiono w tablicy 3.1.

Tablica 3.1 Zakresy pomiarowe i błędy podstawowe miernika N10

Wielkość mierzona	Zakres pomiarowy	Błąd podstawowy
Napięcie U_i	400 V	$\pm(0,2\%w.m.+0,1\%zak.)$
Prąd I_i	5 A	$\pm(0,2\%w.m.+0,1\%zak.)$
Moc czynna P_i Moc czynna średnia P_{AV} Energia czynna E_{nP} , E_{nPs}	0,0...(-)1999,9 VA(VAh)	$\pm(0,5\%w.m.+0,2\%zak.)$
Moc bierna Q_i Energia bierna E_{nbz}	0,0...(-)1999,9 VA(VAh)	$\pm(0,5\%w.m.+0,2\%zak.)$
Moc pozorna S_i Energia pozorna E_{nS} , E_{nSz}	0,0...(-)1999,9 VA(VAh)	$\pm(0,5\%w.m.+0,2\%zak.)$
Współczynnik mocy czynnej Pf_i	-1...0...1	$\pm 1\%w.m. \pm 2c$
Współczynnik $\cos\varphi_i$ (stosunek mocy biernej do czynnej)	-99...0...99,99	$\pm 1\%w.m. \pm 2c$
Częstotliwość f	15...5000 Hz	$\pm 0,5\%w.m.$
THD_U , THD_I Harmoniczne	0,2...200%	$\pm 5\%w.m. \pm 2c$
Uwagi: $i = 1,2,3$ $Pf_i = \cos\varphi$ w.m. – wielkość zmierzona, zak. – zakres pomiarowy, c – najmniej znacząca cyfra, THD – całkowity współczynnik odkształcenia harmonicznego napięcia lub prądu		



Rys. 3.2. Schemat elektryczny układu pomiarowego do pomiaru mocy czynnej w układzie czteroprzewodowym przy obciążeniu niesymetrycznym (tutaj np. fazy L3)



Rys. 3.3. Schemat elektryczny układu pomiarowego do pomiaru mocy biernej w układzie czteroprzewodowym przy obciążeniu symetrycznym

Regulacja mocy pobieranej przez odbiornik w układach pomiarowych przedstawionych na rys.3.1-3.3 odbywa się za pomocą elektronicznego układu sterowania wzбудzeniem prądnicy sterowanego potencjometrem (rys.3.4).



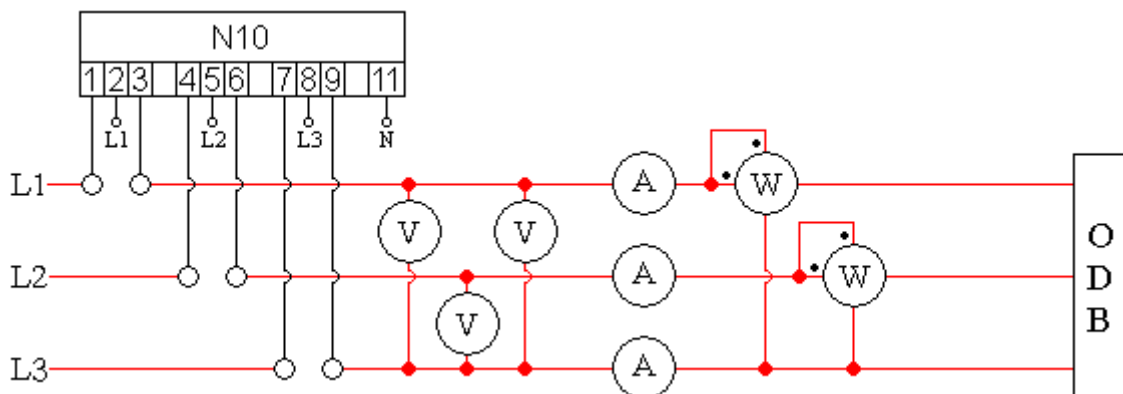
Rys. 3.4. Widok płyty czołowej układu sterowania wzbudzeniem prądnicy

W ćwiczeniu należy:

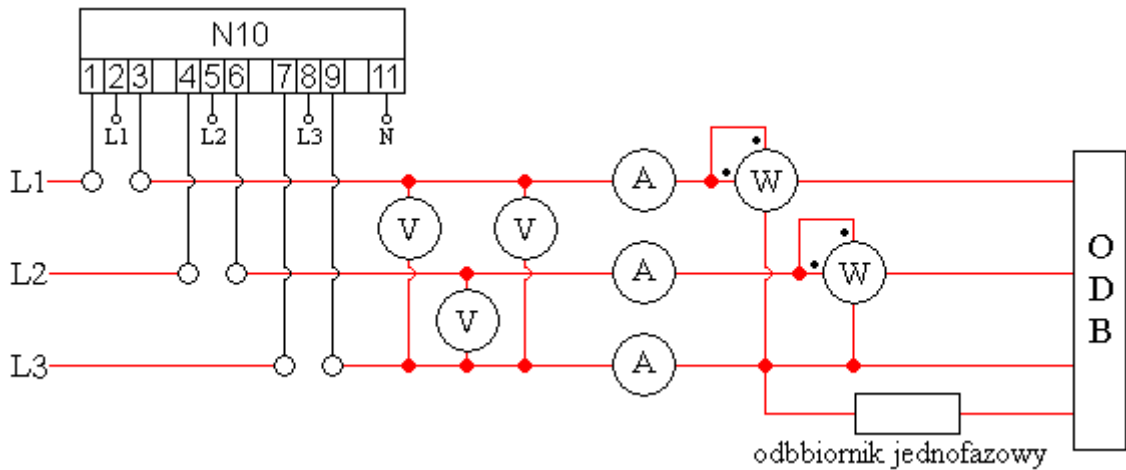
- zestawić układ pomiarowy wg schematu z rys.3.1., 3.2. i 3.3.,
- zapisać w protokole wskazania zastosowanych w układzie pomiarowym przyrządów analogowych takich jak: watomierze (waromierze), woltomierze, amperomierze, itp.,
- zapisać w protokole wskazania przetwornika cyfrowego N10,

- podać cel ćwiczenia,
- podać układy pomiarowe zestawione podczas ćwiczenia,
- zamieścić wykaz zastosowanych przyrządów pomiarowych z opisem ich parametrów pomiarowych,
- podać wzory zastosowane do obliczeń mocy (czynnej, biernej, pozornej) dla każdej fazy i mocy całkowitej,
- podać wzory zastosowane do obliczeń błędów, niepewności (bezwzględnej i względnej) wskazań zastosowanych przyrządów pomiarowych i wyniki tych obliczeń (w formie tabelarycznej),
- zamieścić przebiegi zmian czasowych wielkości mierzonych mocy $P(t)$ i współczynnika mocy $\cos\varphi(t)$ (ewentualnie innych wielkości mierzonych, takich jak: prądy, napięcia, harmoniczne napięć lub prądów, itp.),
- przedstawić wnioski dotyczące otrzymanych wyników pomiarów, obliczeń błędów, niepewności (bezwzględnej i względnej) wskazań zastosowanych przyrządów pomiarowych i przebiegów zmian czasowych wielkości mierzonych.

Na rys. 3.5. i 3.6. przedstawiono schematy układów pomiarowych jakie należy zestawić w sieci trójfazowej 3-przewodowej przy obciążeniu symetrycznym i niesymetrycznym.



Rys. 3.5. Schemat elektryczny układu pomiarowego do pomiaru mocy czynnej w układzie trójprzewodowym przy obciążeniu symetrycznym



Rys. 3.6. Schemat elektryczny układu pomiarowego do pomiaru mocy czynnej w układzie trójprzewodowym przy obciążeniu niesymetrycznym

Ćwiczenie należy wykonać analogicznie jak to opisano w pkt. 3.1. instrukcji.

4. OBSŁUGA ANALIZATORA PARAMETRÓW SIECI N10

Po przyciśnięciu klawisza ENTER ($\leftarrow$) następuje zmiana stron wyświetlanych wielkości pomiarowych.

Strona 1: pomiar napięć fazowych L1, L2, L3 oraz średnie napięcie trójfazowe,

Strona 2: pomiar napięć międzyfazowych pomiar napięć międzyfazowych oraz średnie napięcie międzyfazowe,

Strona 3: pomiar prądów fazowych oraz średni prąd trójfazowy,

Strona 4: pomiar mocy czynnej na poszczególnych fazach oraz łączna moc czynna,

Strona 5: pomiar mocy biernej na poszczególnych fazach oraz łączna moc bierna,

Strona 6: pomiar mocy pozornej na poszczególnych fazach oraz łączna moc pozornej,

Strona 7: pomiar współczynnika mocy $\cos\varphi$ na poszczególnych fazach oraz łączny współczynnik mocy $\cos\varphi$,

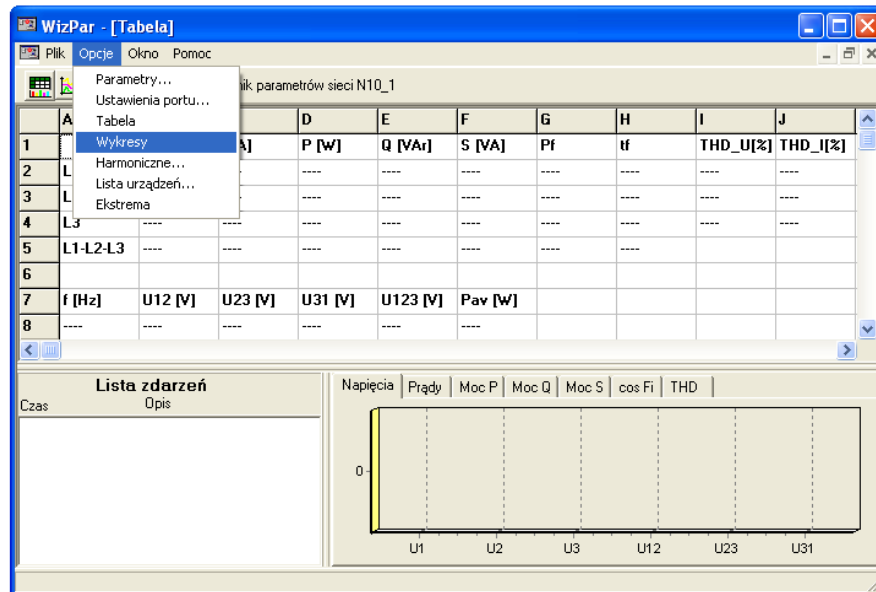
Strona 8: pomiar współczynnika $t\phi = Q/P$ na poszczególnych fazach oraz łączny współczynnik $t\phi$,

Obsługa programu WizPar

Program WizPar umieszczony jest w folderze PPQ na pulpicie laptopa połączanego z analizatorem parametrów sieci trójfazowej typu N10 za pomocą interfejsu USB (Zakładka: *Opcje / Ustawienia portu / port COM4, prędkość 9600 bit/s, typ łącza: konwerter PD1, ustawienia: 1-ASCII 8N1 – 8 bitów danych, brak bitu parzystości, 1 bit stopu*).

W celu ściągnięcia tabeli wyników pomiarów, przebiegów czasowych wybranych parametrów należy wejść do zakładki: *Opcje / Tabela* lub *Opcje / Wykresy* lub *Opcje / Harmoniczne* lub *Opcje / Ekstrema* i zarejestrować przebieg operacją *Print Screen*.

Na rys.4.1 zamieszczono przykładowy widok okna programu WizPar przy wyborze zakładki *Opcje / Wykresy*.



Rys.4.1. Przykładowy widok okna programu WizPar przy wyborze zakładki *Opcje / Wykresy*

5. PYTANIA KONTROLNE

1. Podać schemat układu pomiarowego do pomiaru mocy czynnej w obwodzie 3-fazowym 4 (3)-przewodowym.
2. Podać schemat układu pomiarowego do pomiaru mocy biernej w obwodzie 3-fazowym 3-przewodowym.
3. Przedstawić wady i zalety układu Arona w przypadku odbiornika o małym współczynniku mocy $\cos \varphi$.
4. Dlaczego w elektroenergetycznych pomiarach mocy przy napięciu 3 x 400 V częściej stosuje się układ tylko z przekładnikami prądowymi?
5. Wyjaśnić wpływ błędów przekładników na dokładność pomiarów mocy czynnej w wersji trójprzewodowej.

6. LITERATURA

1. Kuśmierek Z.: Pomiary mocy i energii w układach elektroenergetycznych, WNT, Warszawa, 1994.
2. Miernik parametrów sieci typu N10 firmy LUMEL, www.lumel.com.pl
3. Bolikowski J., Czarnecki L., Miłek M.: Pomiary wartości skutecznej i mocy w obwodach o przebiegach niesinusoidalnych, PWN, Warszawa, 1990.
4. Tumański S. Technika pomiarowa, WNT, Warszawa, 2007.
5. Parchański J.: Miernictwo elektryczne i elektroniczne, WSiP, Warszawa, 2008.
6. Marcyniuk A., Pasecki E., Pluciński M., Szadkowski B.: Podstawy metrologii elektrycznej, WNT, Warszawa, 1984.