

## STANOWISKO DO POMIARÓW PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW OBWODU TRÓJFAZOWEGO

Ariel DZWONKOWSKI<sup>1</sup>, Ryszard ROSKOSZ<sup>2</sup>, Ryszard WEPA<sup>3</sup>

- |   |                   |                                     |
|---|-------------------|-------------------------------------|
| 1. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk<br>tel: 058 347 1778 | fax: 058 347 1726 | e-mail: a.dzwonkowski@ely.pg.gda.pl |
| 2. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk<br>tel: 058 347 2845 | fax: 058 347 1726 | e-mail: rroskosz@ely.pg.gda.pl      |
| 3. Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk<br>tel: 058 347 2845 | fax: 058 347 1726 | e-mail: rwepa@ely.pg.gda.pl         |

**Streszczenie:** W referacie przedstawione zostanie stanowisko laboratoryjne do pomiaru podstawowych parametrów obwodu trójfazowego. Stanowisko jest wyposażone w różnorodne przetworniki i analizator sieci. Zastosowane mierniki i przetworniki pomiarowe są produkcji firmy LUMEL. Klasa dokładności tych przyrządów wynosi 0,5. Są one przeznaczone do pomiarów zarówno sygnałów sinusoidalnych jak i niesinusoidalnych.

Zastosowane w stanowisku obciążenie pomiarowe (rezystancyjno-indukcyjne) umożliwia nastawę obciążenia zarówno symetrycznego jak i niesymetrycznego.

Omawiane stanowisko umożliwia prezentację różnych problemów związanych z pomiarami parametrów sieci elektroenergetycznej trójfazowej uatrakcyjniając tym samym proces dydaktyczny. Można bowiem przedstawić wszystkie układy do pomiaru mocy czynnej i biernej w układach trójfazowych.

Opis i działanie stanowiska zilustrowano wynikami przeprowadzonych pomiarów, zestawionych w tabeli.

**Słowa kluczowe:** parametry obwodu trójfazowego, przetworniki pomiarowe, stanowisko laboratoryjne.

### 1. WSTĘP

Do najczęściej mierzonych wielkości, zarówno w przemyśle, jak i w gospodarstwach domowych, należą moc oraz energia elektryczna.

W referacie przedstawione jest stanowisko laboratoryjne do pomiaru podstawowych wielkości w sieci elektroenergetycznej trójfazowej trójprzewodowej i czteroprzewodowej [1]. Omówiono w nim również przetworniki pomiarowe i mierniki, zainstalowane na stanowisku laboratoryjnym. Zasada realizacji i działania stanowiska omówiona jest na podstawie pomiaru mocy, prądów i napięć w każdej z faz. Pomiary zostały wykonane przy różnych wartościach obciążenia rezystancyjnego, indukcyjnego i rezystancyjno – indukcyjnego w układzie symetrycznym i niesymetrycznym. Pomierzone wartości poszczególnych wielkości z wykorzystaniem różnorodnych przetworników pomiarowych, zainstalowanych na

stanowisku laboratoryjnym, porównywano z odczytami wartości wielkości mierzonych z przyrządów wzorcowych.

Mierzone, przez przyrząd wzorcowy, parametry obwodu trójfazowego, przysyłane są do komputera za pośrednictwem standardowego interfejsu szeregowego RS-232. Do wizualizacji odczytanych danych służy program WizPar, który wyświetla na ekranie monitora wyniki pomiarów w formie tabel i wykresów. Ponadto program umożliwia rejestrację zdarzeń w formie listy oraz wydruk raportów w formie wykresów.

Omówione stanowisko umożliwia przedstawienie wszystkich możliwych układów do pomiaru mocy czynnej i biernej, jak również zapoznanie się z zasadami programowania przetworników i mierników oraz weryfikację wprowadzonego do pamięci urządzeń programu, uatrakcyjniając tym samym proces dydaktyczny.

### 2. STANOWISKO DO POMIARU PODSTAWOWYCH PARAMETRÓW OBWODU TRÓJFAZOWEGO

Prezentowane stanowisko laboratoryjne [2] służy do pomiarów wartości podstawowych wielkości w sieciach elektroenergetycznych, takich jak napięcia, prądy, moce czynne i bierne przy danych wartościach parametrów obciążenia. Stanowisko jest wyposażone w różnorodne przetworniki i analizatory sieci. Standardowe sygnały elektryczne z wyjść przetworników podawane są na wejścia programowalnych mierników cyfrowych, których zadaniem jest wyświetlanie mierzonych wielkości z uwzględnieniem odpowiedniej jednostki. Zastosowane zostały mierniki i przetworniki pomiarowe produkcji firmy LUMEL. Klasa dokładności przyrządów pomiarowych wynosi 0,5. Są one przeznaczone do pomiarów zarówno sygnałów sinusoidalnych jak i niesinusoidalnych w obwodach jedno- lub trójfazowych prądu przemiennego. Pomiar realizowany jest poprzez przetworzenie mocy na znormalizowany sygnał prądowy bądź napięciowy.

Przetworniki takie przeznaczone są do pracy w warunkach przemysłowych. Poglądowy schemat połączeń przetworników przedstawiony jest na rysunku 1.

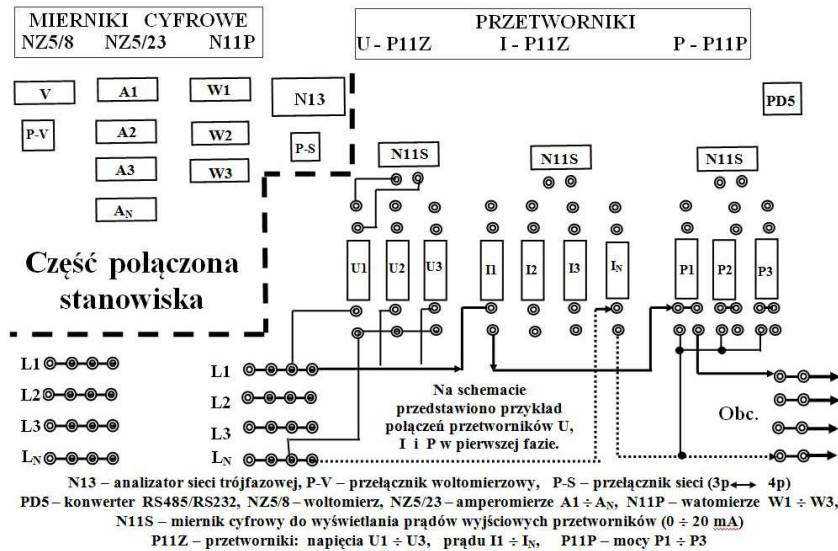
Dodatkowo stanowisko laboratoryjne umożliwia transmisję otrzymanych wyników pomiarów z miernika parametrów sieci do komputera za pośrednictwem interfejsu RS-232.

Omawiane stanowisko pozwala na wykonanie pomiarów prądów, napięć i mocy w poszczególnych fazach dla obciążenia rezystancyjnego, indukcyjnego i rezystancyjno – indukcyjnego. Maksymalny prąd obciążenia na stanowisku wynosi 5 A.

### 3. PRZETWORNIKI POMIAROWE I MIERNIKI

#### 3.1. Przetwornik P11Z

Pierwszym z zastosowanych na stanowisku laboratoryjnym przetworników jest przetwornik P11Z. Sygnał wejściowy przetwornika poprzez przekładnik pomiarowy (prądowy w przypadku przetwornika prądowego i napięciowy w przypadku przetwornika napięciowego) podawany jest na przetwornik, który zamienia te sygnały wejściowe na proporcjonalny do ich wartości sygnał przemiennie – napięciowy. Specjalny układ prostownika realizuje funkcje przetwarzania wartości



Rys. 1. Poglądowy schemat połączeń przetworników pomiarowych LUMEL wraz z oznaczeniem zacisków

Obciążenie rezystancyjne składa się z trzech szeregowo połączonych rezystorów, które można przełączać, aby uzyskać jeden z trzech stopni obciążenia. Założono, że prądy dla trzech kolejnych stopni obciążenia wynoszą odpowiednio: 1 A, 3 A, 5 A. Rezystory mają wartości rezystancji:  $R_1=153 \Omega$ ,  $R_2=31 \Omega$ ,  $R_3=46 \Omega$ .

Do budowy rezystorów dobrano drut oporowy Kanthal D o rezystywności  $1,3 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$  nawinięty na izolacyjną tuleję wykonaną z porcelany o średnicy zewnętrznej 4 cm i długości 30 cm

Podobnie jak obciążenie rezystancyjne, obciążenie indukcyjne reguluje się poprzez trójstopniowy przełącznik. Dla kolejnych stopni założono wartość prądu oraz kąt przesunięcia fazowego:

- dla stopnia pierwszego 1A przy  $\varphi = 30^\circ$ ,
- dla stopnia drugiego 3A przy  $\varphi = 60^\circ$ ,
- dla stopnia trzeciego 5A przy  $\varphi = 80^\circ$ .

Aby otrzymać powyższe wartości prądów oraz kąty przesunięcia fazowego zaprojektowano wielowarstwową cewkę powietrzną z odczepami, do których połączone są rezystory dodatkowe. Zadaniem rezystorów dodatkowych jest uzyskanie odpowiedniego przesunięcia fazowego, przy zadanych wartościach prądu.

Zaprojektowaną cewkę wykonano z miedzianego drutu nawojowego typu DNA o przekroju  $1,5 \text{ mm}^2$ . Uzwojenie nawinięte jest na karkas wykonany z włókna szklano – epoksydowego o długości 30 cm oraz średnicy zewnętrznej 5 cm

skutecznej napięcia przemiennego na napięcie stałe. Na wyjściu znajduje się układ, który przetwarza otrzymane napięcie stałe na standardowy sygnał wyjściowy (0...20 mA). Przetworniki P11Z są przeznaczone do ciągłego przetwarzania wartości skutecznej napięcia lub prądu przemiennego bez składowej stałej na standardowy sygnał stałonapięciowy lub stałoprądowy. Sygnał wyjściowy przetwornika jest galwanicznie izolowany od sygnału wejściowego i napięcia zasilającego.

#### 3.2. Przetworniki P11P

Przetworniki P11P przeznaczone są do ciągłego przetwarzania mocy czynnej i biernej prądu przemiennego na standardowy sygnał prądowy lub napięciowy. Obwody wejściowe, wyjściowe i zasilania są oddzielone galwanicznie (separacja transformatorowa). Zakres częstotliwości przetwarzania umożliwia poprawny pomiar mocy przy odkształconych prądach i napięciach (do 25-tej harmonicznej). Zasilacz impulsowy zapewnia pracę przetwornika w szerokim zakresie wartości i częstotliwości napięcia zasilającego. Pomiar jest realizowany przez analogowy układ mnożący z modulacją TDM.

#### 3.3. Miernik N11S

Miernik tablicowy N11S przeznaczony jest do pomiaru napięcia i prądu stałego, rezystancji, temperatury i innych wielkości przetworzonych na sygnał elektryczny. Daną wielkość pomiarową i zakres programuje się za

pomocą programatora, który umożliwia przeliczanie mierzonej wielkości na dowolną wielkość w oparciu o indywidualną liniową charakterystykę. Dodatkowo można zaprogramować sygnalizację przekroczenia zakresu pomiarowego, przekroczenie nastawionych wartości alarmowych, szybkości powtarzania pomiaru, rozdzielczości wskazań, itd. Na stanowisku pomiarowym miernik zaprogramowany został do wyświetlania sygnału wyjściowego z przetworników P11Z i P11P.

### 3.4. Miernik tablicowy NZ5

Cyfrowe mierniki tablicowe NZ5 przeznaczone są do pomiaru napięcia i prądu przemiennego. Mierzą rzeczywistą wartość skuteczną (True RMS) ze składową stałą. Mierniki posiadają układ autozerowania.

### 3.5. Miernik N11P

Miernik tablicowy N11P mierzy parametry sieci jednofazowej: napięcia i prądu przemiennego, mocy czynnej, biernej i pozornej, współczynnika mocy  $\cos\phi$ ,  $\tan\phi$ , częstotliwości, energii czynnej i biernej. Na stanowisku pomiarowym miernik zaprogramowany został do pomiaru mocy czynnej.

Wartość każdej z mierzonych wielkości może być przesłana do systemu nadrzędnego interfejsem szeregowym RS-485. Do podłączenia miernika z komputerem zastosowano konwerter RS485/RS232 typu PD 1.

## 4. BADANIA LABORAOTRYJNE

Układ pomiarowy stanowiska zasilany jest bezpośrednio z sieci trójfazowej, czteroprzewodowej niskiego napięcia. Przetworniki pomiarowe przetwarzają moc na znormalizowany sygnał prądowy bądź napięciowy.

Zmiana wartości obciążenia realizowana jest poprzez trójstopniowe przełączniki, regulujące wartość rezystancji oraz reaktancji indukcyjnej w każdej fazie. Pomiary mocy czynnej, prądu oraz napięcia są realizowane w każdej fazie w układzie bezpośrednim poprzez przetworniki przemysłowe. Obwody wyjściowe przetworników są połączone z dowolnie programowalnymi miernikami cyfrowymi, wyskalowanymi bezpośrednio w jednostkach wielkości mierzonej. Dodatkowo podstawowe wielkości w sieci elektroenergetycznej mierzone są przez mierniki wzorcowe i analizator sieci.

Tablica 1. Wyniki pomiarów mocy czynnej oraz błędów pomiaru dla stanowiska laboratoryjnego z przetwornikami pomiarowymi

Lp	Faza L1				Faza L2				Faza L3			
	PW	P	$\Delta P$	$\delta P$	PW	P	$\Delta P$	$\delta P$	PW	$\Delta P$	P	$\delta P$
	[W]	[W]	[W]	[%]	[W]	[W]	[W]	[%]	[W]	[W]	[W]	[%]
1	115	115	0,0	0,00	113,6	115	1,4	1,23	114,4	115	0,6	0,52
2	190	191	1,0	0,53	191,5	191	-0,5	0,26	191,9	191	-0,9	0,47
3	55	56	1,0	1,81	79,5	79	-0,5	0,63	46,6	46	-0,6	1,28
4	45	46	1,0	2,22	45,6	46	0,4	0,88	45,7	46	0,3	0,65
5	47	48	1,0	2,12	113,8	115	1,2	1,05	224,0	225	1,0	0,45
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

### 3.6. Przetwornik pomiarowy P13P

Analogowy przetwornik pomiarowy typu P13P przetwarza moc czynną w układzie trójfazowym na standardowy sygnał stałoprądowy lub stałonapięciowy. Sygnał wyjściowy przetwornika jest izolowany galwanicznie od sygnału wejściowego oraz zasilania.

### 3.7. Miernik parametrów sieci N13

Miernik parametrów sieci typu N13 przeznaczony jest do pomiaru parametrów sieci energetycznych trójfazowych trzy- lub czteroprzewodowych, w układach symetrycznych i niesymetrycznych z jednoczesnym wyświetleniem mierzonych wielkości, cyfrową transmisją ich wartości i przetwarzaniem na standardowy sygnał analogowy. Miernik, zapewniając pomiar wartości skutecznej napięcia i prądu, mocy czynnej, biernej i pozornej, współczynników mocy, częstotliwości, mocy czynnych średnich np. 15-to minutowych, umożliwia kontrolę mocy maksymalnej oraz sterowanie i optymalizację działania urządzeń elektroenergetycznych i instalacji przemysłowych.

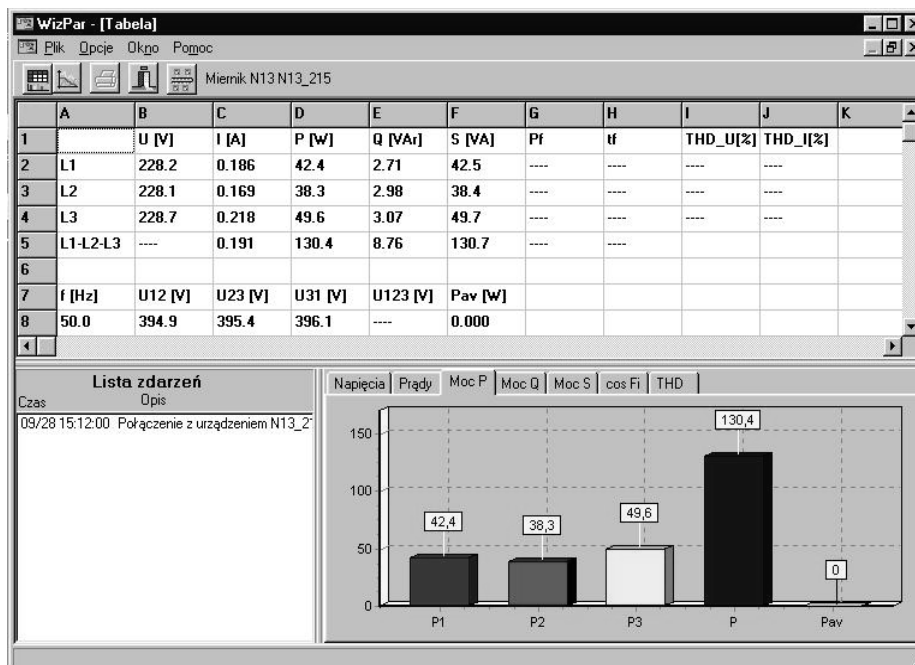
Pomiary zostały wykonane dla różnych obciążeń, zarówno rezystancyjnych, indukcyjnych jak i rezystancyjno – indukcyjnych (mieszanych) w układzie symetrycznym oraz niesymetrycznym. W każdym przypadku dokonywany był pomiar prądów fazowych poprzez badane przetworniki prądu, a wynik pomiaru był porównywany z odczytem z wzorcowego amperomierza (rolę tę pełniły mierniki NZ5). W tablicy 1 przedstawione są przykładowe wyniki pomiarów [3], przy czym wzorcowym przyrządem do pomiarów mocy czynnej był miernik cyfrowy N11P, a badanym przetwornikiem – P11P. Równolegle dokonywano pomiaru napięć fazowych przetwornikiem P11Z, a wzorcowym woltomierzem był miernik cyfrowy NZ5. Do obsługi miernika N13 i przetwornika P13 wykorzystano program WizPar [4]. Przykładowe okno programu przedstawione jest na rysunku 2.

Aplikacja ta umożliwia wizualizację odczytanych wyników pomiarów i następnie przedstawianie ich w formie tabel, wykresów (również w formie trendu) i słupków (prezentacja graficzna). Ponadto program

umożliwia rejestrację zdarzeń w formie listy oraz wydruk raportów w postaci wykresów. W przygotowaniu jest program komputerowy, tworzony w środowisku programowania LabVIEW, przeznaczony do komunikacji

z analizatorem sieci poprzez interfejs szeregowy. Zadaniem tej aplikacji będzie analiza i archiwizacja otrzymanych wyników pomiarów. Wynikają one z klasy dokładności użytych przyrządów pomiarowych.

Stanowisko laboratoryjne może być wykorzystywane do celów dydaktycznych gdyż umożliwia zapoznanie studentów z zasadami programowania przetworników przemysłowych



Rys. 2. Przykładowe okno programu „WizPar”

## 5. PODSUMOWANIE

Omówiony układ pomiarowy pozwala na szybkie i wygodne wykonywanie pomiarów oraz kontrolę wartości podstawowych wielkości w sieci elektroenergetycznej.

W skład stanowiska, oprócz mierników i przetworników przemysłowych, wchodzi mierniki wzorcowe oraz analizator sieci, umożliwiające przesyłanie zmierzonych danych do komputera. Pozwala to porównać wyniki pomiarów wielkości otrzymanych z przyrządów wzorcowych z wynikami otrzymanymi z badanych przetworników.

Wyniki porównań są zadowalające, jednak błędy w niektórych przypadkach przekraczały wartość 1%.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Dzwonkowski A., Roskosz R., Wepa R.: Komputerowe stanowisko do pomiaru podstawowych wielkości w obwodach trójfazowych, Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Nr 21, Gdańsk 2005, s. 77-86, ISSN 1425-5766.
2. Wepa R.: Przetworniki pomiarowe do pomiarów parametrów sieci trójfazowej. Instr. ćwic. lab. KME. Gdańsk 2005.
3. Redłowski Ł.: Stanowisko do pomiaru mocy w układach trójfazowych, Pr. dypl. inż., Politechnika Gdańska, Gdańsk 2007.
4. Lubuskie Zakłady Aparatów Elektrycznych LUMEL S.A. – instrukcje obsługi mierników, przetworników oraz programu WizPar.

## LABORATORY STAND FOR MEASUREMENT THE BASIC PARAMETERS OF THREE-PHASE NETWORK

The paper presents laboratory stand use for measurement the basic electrical parameters of three-phase network. The stand is equipped in different meters, industrial converters and network analyzer. All used meters and converters are produced by LUMEL Company. Accuracy class of those instruments is 0,5. They can operate in network with sinusoidal and non-sinusoidal signals. The measurements load, used on the stand, enables to adjust the symmetric and asymmetric load. The laboratory stand can be used to demonstrate different problems, connected with measurement basic parameters of three-phase network. The stand also can be used in didactical process – it is possible to preset all schematic diagrams, used in three-phase systems, for measurement active and reactive power. Description and operation of the laboratory stand is illustrated by obtained measurement results, presented in the table.