

Michał KACZMAREK, Ryszard NOWICZ

POLITECHNIKA ŁÓDZKA, KATEDRA ELEKTROTECHNIKI OGÓLNEJ I PRZEKŁADNIKÓW

Analiza pracy przekładników napięciowych podczas pomiaru napięć odkształconych

Mgr inż. Michał KACZMAREK

Doktorant w Katedrze Elektrotechniki Ogólnej i Przekładników Politechniki Łódzkiej. Działalność naukowa dotyczy głównie transferu zakłóceń przewodzonych i promieniowanych przez przekładniki napięciowe i prądowe oraz zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej w elektrotechnice.



e-mail: mprii@wpk.p.lodz.pl

Prof. dr hab. inż. Ryszard NOWICZ

Kierownik Katedry Elektrotechniki Ogólnej i Przekładników Politechniki Łódzkiej. Zainteresowania naukowe obejmują problematykę przekładnikową i dotyczą konstrukcji badań oraz eksploatacji przekładników prądowych, napięciowych i kombinowanych a ostatnio niekonwencjonalnych.



e-mail: s-k23-1@adm.p.lodz.pl

Streszczenie

W ocenie jakości energii elektrycznej ogromne znaczenie mają cechy metrologiczne przekładnika, czyli wartości jego błędów napięciowego i kąтового [1]. W artykule zostały przedstawione zastosowane metody pomiarowe oraz wyniki przeprowadzonych analiz umożliwiające określenie dokładności przekładników napięciowych podczas pomiaru napięć odkształconych. Stwierdzono, że podczas takich pomiarów następuje pogorszenie właściwości metrologicznych przekładników napięciowych, co prowadzi do zmniejszenia ich dokładności przy ocenie jakości energii elektrycznej.

Słowa kluczowe: przekładnik napięciowy, błąd napięciowy, błąd kątowy, jakość energii, napięcie odkształcone.

Measurements of non-sinusoidal voltages with a voltage transformer**Abstract**

Metrological properties of a measuring transformer such as a voltage error and phase displacement are of significant importance in assessment of electric power quality both in steady and transient state [1]. In the paper the method and results of laboratory investigations of the voltage transformer accuracy during measurements of non-sinusoidal voltages are presented. The laboratory tests based on two medium-voltage transformer models and a voltage transformer of type UDZ 24 produced by ABB company were carried out in the measuring circuit shown in Fig. 1. The measurements were taken in the full range of supply voltages and loads of the secondary winding of the voltage transformers in accordance with the standard for determining the accuracy of the inductive voltage transformers [4]. The voltage error and phase displacement of the voltage transformer determined for measurements of non-sinusoidal voltages, shown in Figs. 2 – 5, were compared with the corresponding errors measured for sinusoidal voltages (presented in Table 1). The influence of the conductive disturbances on the voltage transformer errors was determined as the differences between these values. The results of the laboratory investigations show that the metrological properties of a voltage transformer were worse when it was used for measurements of non-sinusoidal voltages. The increase in errors results in the decrease in the accuracy of the power quality determination. In some cases this worsening of the metrological properties causes the decrease in the voltage transformer accuracy class [4].

Keywords: voltage transformer, voltage error, phase displacement, power quality, non-sinusoidal voltage.

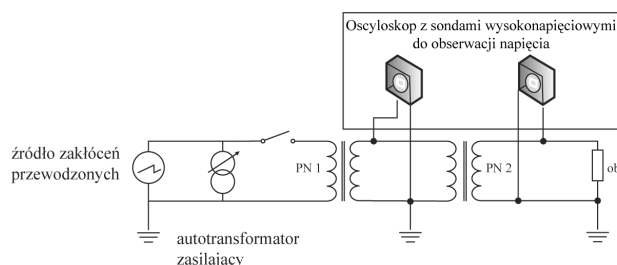
1. Wstęp

Analiza pracy przekładników napięciowych podczas pomiaru napięć odkształconych o częstotliwościach napięcia zakłócającego do 10 kHz wymaga zastosowania rozszerzonego schematu zastępczego uwzględniającego pojemności własne uzwojeń przekładnika oraz pojemności międzyuzwojeniowe. Warunki pracy układu uzwojeń i obwodu magnetycznego przekładników podczas pomiaru napięć odkształconych w systemie elektroenergetycznym ulegają zmianie i zmieniają się również właściwości metrologiczne

przekładników napięciowych. Zjawisko to jest spowodowane zarówno pojemnościami uzwojeń jak i zmianą parametrów obwodu magnetycznego przekładnika napięciowego wywołaną przez wyższe harmoniczne mierzonego napięcia pochodzące od sygnałów zakłócających. Ponadto, zmianie mogą ulegać także parametry elektryczne przekładnika napięciowego odwzorowywane na schemacie zastępczym poprzez reakcje rozproszenia uzwojeń przekładnika [2, 3]. Istotę postawionego problemu stanowi fakt, że tego rodzaju zakłócenia mogą powodować powstawanie dodatkowych błędów pomiarowych przekładnika napięciowego, który również w takich warunkach powinien spełniać odpowiednie wymagania normy związane z jego klasą dokładności [4].

2. Stanowisko pomiarowe, warunki i obiekty badań

Badania laboratoryjne zostały wykonane w oparciu o stanowisko pomiarowe przedstawione za pomocą uproszczonego schematu na rysunku 1.



Rys. 1. Uproszczonego schemat stanowiska pomiarowego
Fig. 1. Simplified diagram of the measuring circuit

Strona pierwotna badanego przekładnika napięciowego (PN 2) została zasilona poprzez przekładnik napięciowy wzorcowy (PN 1) i autotransformator umożliwiający regulację napięcia pierwotnego. Do generacji zakłóceń powodujących odkształcenie tego napięcia zastosowano generator sinusoidalnego napięcia przemiennego o regulowanej częstotliwości podłączony równolegle do strony pierwotnej badanego przekładnika napięciowego za pomocą transformatora. Do obserwacji i rejestracji napięć po stronie pierwotnej i wtórnej badanego przekładnika napięciowego zastosowano oscyloskop cyfrowy z sondami wysokonapięciowymi i możliwością przesłania zapisanych próbek do komputera. Przeprowadzone analizy FFT zarejestrowanych próbek napięcia pierwotnego i wtórnego umożliwiły określenie błędu napięciowego i kąтового badanych przekładników napięciowych dla częstotliwości 50 Hz przy odkształconym przebiegu napięć przez wyższe harmoniczne sygnału zakłócającego. Do badań wykorzystano wykonane dwa modele przekładników napięciowych o dwóch

uzwojeniach wtórnych oraz przekładnik typu UZ 24 produkcji ABB. Przekładnia wszystkich trzech badanych przekładników napięciowych wynosiła 2000 V / 100 V. Model II charakteryzuje się nadmiernie zwiększoną grubością izolacji między uzwojeniem wtórnym a rdzeniem oraz uzwojeniem pierwotnym i wtórnym, czyli zwiększoną rezystancją i reaktancją rozproszenia uzwojeń oraz pojemnościami uzwojeń. Model I, ze względu na mniejsze grubości izolacji, cechuje się małymi wartościami parametrów R, X oraz C uzwojeń. Impedancje uzwojeń modelu I wynoszą odpowiednio: uzwojenia pierwotnego (przeliczona na stronę wtórną) 0,71 Ω , pierwszego uzwojenia wtórnego 0,56 Ω oraz drugiego uzwojenia wtórnego 0,61 Ω . Model II charakteryzuje się większymi impedancjami uzwojeń, które wynoszą: uzwojenia pierwotnego 1,02 Ω (po przeliczeniu na stronę wtórną), pierwszego uzwojenia wtórnego 0,68 Ω oraz drugiego uzwojenia wtórnego 0,74 Ω . Przeprowadzone badania laboratoryjne zostały ograniczone do przypadku, gdy obciążone było tylko pierwsze uzwojenie wtórne badanych modeli przekładników napięciowych. Modele przekładników zostały zaprojektowane na obciążenie znamionowe po 25 VA dla każdego uzwojenia wtórnego, natomiast przekładnik typu UZ 24 ma moc znamionową 100 VA pojedynczego uzwojenia wtórnego i klasę dokładności 0,5.

3. Wyniki badań laboratoryjnych

Punktem wyjścia dla przeprowadzonych badań laboratoryjnych było wyznaczenie (zgodnie z [4]) błędów badanych przekładników przy transferze sinusoidalnych, nieodkształconych napięć. W tym celu został wykorzystany układ mostkowy AIT do wyznaczania błędów napięciowego i kątownego przekładników napięciowych oraz napięciowy przekładnik wzorcowy typu PNW/0,2-2. Wyniki badań dokładności modeli przekładników napięciowych przy obciążonym pierwszym uzwojeniu wtórnym zostały przedstawione w tabeli 1.

Tab. 1. Wyniki badań dokładności badanych modeli przekładników napięciowych
Tab. 1. Results of error measurements of the tested voltage transformer models

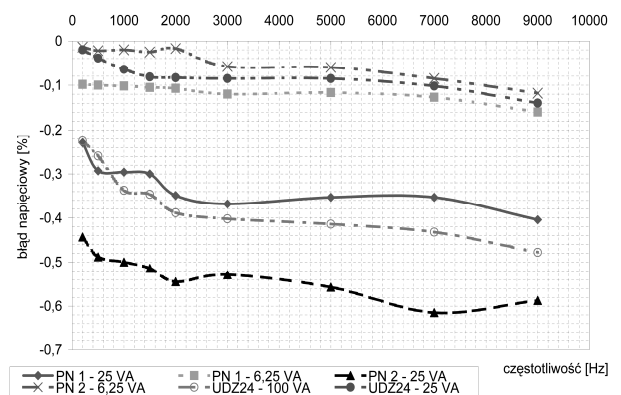
		Model I / Model II				Data: 28.04.2008
moc	błędy	U1/U1n				
		120%	100%	80%	40%	
25 VA	ΔU [%]	-0,1 / -0,23	-0,094 / -0,22	-0,092 / -0,22	-0,087 / -0,22	
$\cos\varphi = 0,8$	δU [min]	5,7 / 4,4	5,8 / 4,5	5,9 / 4,6	6,0 / 4,7	
6,25 VA	ΔU [%]	0,125 / 0,024	0,127 / 0,022	0,129 / 0,021	0,131 / 0,018	
$\cos\varphi = 0,8$	δU [min]	3,1 / 2,4	3,2 / 2,4	3,3 / 2,3	3,4 / 2,2	

Wyniki badań przedstawione w tabeli 1 potwierdzają, że badane modele przekładników napięciowych spełniają wymagania normy dotyczącej dokładności indukcyjnych przekładników napięciowych dla klasy 0,5 [4].

Następnie wyznaczono błędy przekładników w warunkach odkształconego sygnału pierwotnego spowodowanego napięciem zakłócającym o różnej częstotliwości o wartości 5% przyłożonego napięcia zasilającego. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 2.

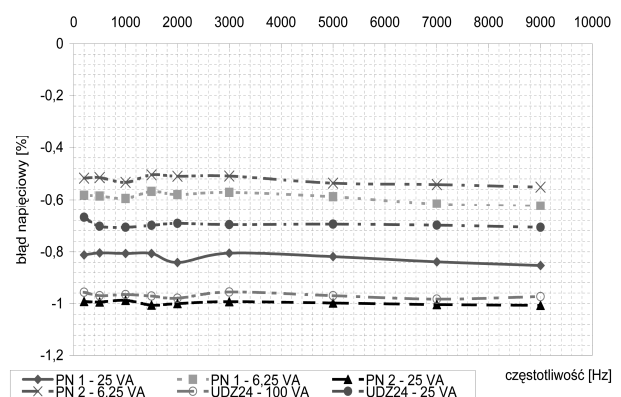
Napięcie zakłócające powoduje wzrost błędu napięciowego wszystkich badanych przekładników napięciowych. W przypadku, gdy obciążenie uzwojenia wtórnego przekładników napięciowych wynosiło 25% mocy znamionowej, wartość błędu napięciowego modelu I przekładnika napięciowego wzrasta o 0,23%, modelu II

o 0,1%, natomiast przekładnika napięciowego typu UZ 24 o 0,3% względem wartości tego błędu przy napięciu sinusoidalnym tzn. bez napięcia zakłócającego. Jeżeli uzwojenie wtórne przekładników obciążone jest mocą znamionową, to napięcie zakłócające o tej samej wartości powoduje wzrost błędu napięciowego modelu I przekładnika napięciowego o 0,26%, modelu II o 0,45%, natomiast przekładnika UZ 24 o 0,2%. W przypadku modelu II przekładnika napięciowego obciążonego mocą znamionową wzrost błędu napięciowego wywołany napięciem zakłócenia o częstotliwości powyżej 1500 Hz jest tak duży, że przekładnik ten nie spełnia wymagań klasy dokładności 0,5.



Rys. 2. Zmiany błędu napięciowego w funkcji częstotliwości napięcia zakłócającego przy 40% znamionowego napięcia pierwotnego
Fig. 2. Voltage error as a function of the disturbance voltage frequency for 40% of the rated primary voltage

W kolejnej fazie przeprowadzonych badań laboratoryjnych napięcie zasilające badanych przekładników napięciowych zwiększono do 120% napięcia znamionowego. Wyniki pomiarów dla tego przypadku przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Zmiany błędu napięciowego w funkcji częstotliwości napięcia zakłócającego przy 120% znamionowego napięcia pierwotnego
Fig. 3. Voltage error as a function of the disturbance voltage frequency for 120% of the rated primary voltage

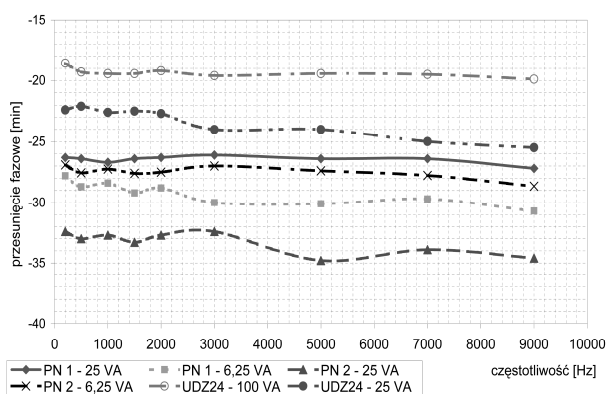
Wzrost napięcia zasilającego przekładnik napięciowy przy wprost proporcjonalnym wzroście napięcia zakłócającego spowodował zwiększenie wpływu tych zakłóceń i tym samym zwiększenie błędu napięciowego przekładników napięciowych. W przypadku, gdy obciążenie uzwojenia wtórnego wynosiło 25% wartości znamionowej, błąd napięciowy modelu I przekładnika wzrósł o 0,7%, modelu II o 0,55%, natomiast przekładnika typu UZ 24 o 0,65%. Zwiększenie obciążenia uzwojenia wtórnego do wartości znamionowej spowodowało dalszy wzrost wpływu napięcia zakłócającego na wartość błędu napięciowego badanych modeli przekładników napięciowych. W tym przypadku, błąd napięciowy modelu I przekład-

nika wzrósł o 0,72%, modelu II o 0,77%, natomiast przekładnika UDZ 24 jedynie o 0,52%.

Przy 120% napięcia znamionowego wszystkie badane przekładniki napięciowe nie spełniają wymagania dotyczącego dopuszczalnej wartości błędu napięciowego dla klasy dokładności 0,5.

Wpływ napięcia zakłócającego na wartość błędu napięciowego jest najmniejszy dla modelu II przekładnika napięciowego i obciążenia o wartości 25% mocy znamionowej jego uzwojenia wtórne. Gdy uzwojenie wtórne jest obciążone mocą znamionową i napięcie strony pierwotnej przekładników napięciowych wynosiło 40% wartości znamionowej, najmniejszy wpływ na wartość błędu napięciowego odnotowano dla modelu I przekładnika, natomiast w przypadku wzrostu tego napięcia do 120% napięcia znamionowego najmniejszy wzrost błędu napięciowego zaobserwowano dla przekładnika napięciowego typu UDZ 24.

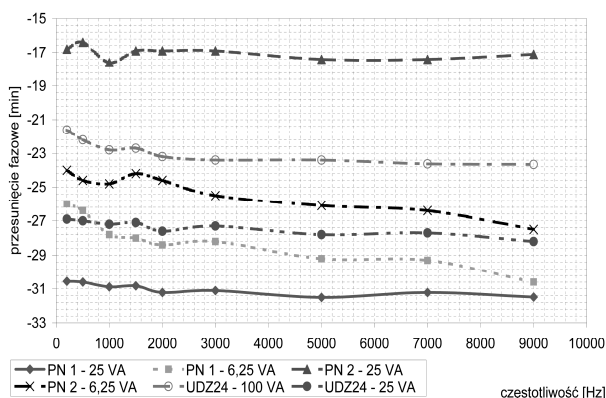
Zmianę błędu kąowego, dla przypadku analogicznego do przedstawionego na rysunku 2, przedstawia rysunek 4.



Rys. 4. Zmiany błędu kąowego w funkcji częstotliwości napięcia zakłócającego przy 40% znamionowego napięcia pierwotnego

Fig. 4. Phase displacement as a function of the disturbance voltage frequency for 40% of the rated primary voltage

Napięcie zakłócające powoduje istotny wzrost błędu kąowego przekładników napięciowych i przekroczenie (z wyjątkiem przekładnika typu UDZ 24 obciążonego mocą znamionową) wartości dopuszczalnych [4]. Największy wzrost błędu kąowego (-39 min.) został zaobserwowany dla modelu II obciążonego mocą znamionową, natomiast najmniejszy (-18 min.) dla przekładnika napięciowego typu UDZ 24.



Rys. 5. Zmiany błędu kąowego w funkcji częstotliwości napięcia zakłócającego przy 120% znamionowego napięcia pierwotnego

Fig. 5. Phase displacement as a function of the disturbance voltage frequency for 120% of the rated primary voltage

Wyniki pomiarów błędów kąowych przy zwiększonym napięciu zasilającym do 120% wartości znamionowej przedstawiono na rysunku 5.

Przy zwiększaniu napięcia zasilającego badanych przekładników napięciowych do 120% wartości znamionowej największy wzrost błędu kąowego (-37 min.) został zaobserwowany dla modelu I przekładnika napięciowego obciążonego mocą znamionową, natomiast najmniejszy (-21 min.) dla modelu II przekładnika przy tej samej mocy. Ponadto, wzrost napięcia zasilającego, przy znamionowym obciążeniu przekładnika, powoduje zwiększenie wpływu napięcia zakłócającego na wartość błędu kąowego w przypadku modelu I przekładnika napięciowego oraz przekładnika typu UDZ 24, natomiast dla modelu II rezultat jest odwrotny. Jeżeli uzwojenie wtórne przekładników napięciowych jest obciążone tylko mocą o wartości 25% mocy znamionowej, wówczas zmiana napięcia zasilającego nie powoduje widocznej zmiany wpływu napięcia zakłócającego na wartości błędów kąowych badanych przekładników.

4. Podsumowanie

Wyższe harmoniczne napięcia pochodzące od sygnałów zakłócających w obwodzie pierwotnym powodują wzrost wartości błędów napięciowego i kąowego przekładników napięciowych. W przypadku zwiększenia napięcia zasilającego przekładnik napięciowy, przy wprost proporcjonalnym wzroście napięcia zakłócającego, występuje zwiększenie wpływu zakłóceń na wartość błędu napięciowego przekładników. Ponadto, wpływ ten zależy także od obciążenia przekładnika. Stopień oddziaływania sinusoidalnych zakłóceń przewodzonych na wartość błędu napięciowego jest uzależniony również od konstrukcji przekładnika tzn. odległości między uzwojeniami i odległości uzwojeń od rdzenia, które wpływają na pojemność międzyuzwojeniową i pojemności własne uzwojeń.

Ogólnie należy stwierdzić, że podczas pomiaru napięć odkształconych następuje pogorszenie właściwości metrologicznych przekładników napięciowych, co powoduje zmniejszenie ich dokładności przy ocenie jakości energii elektrycznej. W niektórych przypadkach to pogorszenie właściwości metrologicznych może być tak istotne, że przekładnik traci przypisywaną mu klasę dokładności.

5. Literatura

- [1] M. Kaczmarek, A. Szczepny: Voltage transformer operation in connection with the power quality, Proceedings of the XIV International Congress on Electricity applications in modern world - UIE'08, Kraków 2008.
- [2] M. Kaczmarek: Wpływ zmian napięcia i obciążenia na reaktancje rozproszenia uzwojeń przekładnika napięciowego, ZN PŁ Elektryka, Łódź 2007, nr 112, s. 59-68.
- [3] M. Kaczmarek: Zastosowanie metody cewki pomocniczej do wyznaczenia reaktancji rozproszenia uzwojeń przekładników napięciowych, Podstawowe problemy metrologii. Prace Komisji Metrologii Oddziału PAN w Katowicach, Seria: Konferencje Nr 12, Katowice 2008, s. 165-174.
- [4] Przekładniki napięciowe indukcyjne PN-EN 60044-2, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2001.

Artykuł recenzowany