

Andrzej CICHON¹, Paweł BERGER², Sebastian BORUCKI¹

¹ POLITECHNIKA OPOLSKA, INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI, ul. Prószkowska 76, Budynek 2, 45-578 Opole

² TURBOCARE POLAND S.A., ul. Powstańców Śląskich 85, 42-701 Lubliniec

Analiza porównawcza wyników badań w zakresie oceny stopnia zużycia styków PPZ metodą akustyczną i oscylograficzną

Dr hab. inż. Andrzej CICHON

Profesor nadzwyczajny Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Pracownik Katedry Wysokich Napięć. Autor blisko 130 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: a.cichon@po.opole.pl

Dr hab. inż. Sebastian BORUCKI

Pracownik Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Opolskiej. Autor ponad 135 publikacji z zakresu wykorzystania nowoczesnych metod pomiarowych w diagnostyce urządzeń elektrycznych i wysokonapięciowych układów izolacyjnych. Zainteresowania: technika wysokich napięć, diagnostyka urządzeń elektroenergetycznych przy wykorzystaniu metod nieniszczących (m.in. metody emisji akustycznej, metody wibroakustycznej, pomiarów skorygowanego poziomu ciśnienia akustycznego).



e-mail: s.borucki@po.opole.pl

Mgr inż. Paweł BERGER

Absolwent Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Od 2010 roku pracownik działu rozwoju TurboCare Poland S.A. w Lublińcu. Obszar zainteresowań obejmuje zagadnienia obliczeniowe oraz eksploatacyjne maszyn i urządzeń elektrycznych dużych mocy.



e-mail: pawel.berger@turbocare.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki prac naukowo – badawczych związanych z diagnostyką podobciążeniowych przełączników zaczepek (PPZ). Badania wykonano w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem modelu fizycznego PPZ typu VEL 110, umieszczonego w kadzi wypełnionej olejem izolacyjnym. Sygnały emisji akustycznej rejestrowano szerokopasmowym przetwornikiem piezoelektrycznym przymocowanym do zewnętrznej części kadzi. Zarejestrowane sygnały poddano analizie w dziedzinie czasowej. Wyniki pomiarów metodą oscylograficzną przedstawiono w postaci przebiegów prądowych i wyznaczając wartości czasów własnych. Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono analizę porównawczą wyników uzyskanych za pomocą obu metod pomiarowych.

Słowa kluczowe: podobciążeniowe przełączniki zaczepek (PPZ), diagnostyka transformatorów elektroenergetycznych, metoda emisji akustycznej.

Comparison analysis of research results on determining level of OLTC contact deterioration using acoustic and oscillographic methods of diagnostics

Abstract

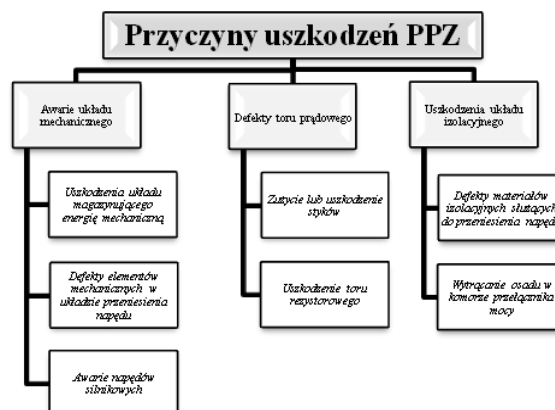
This paper presents results of scientific research on diagnostic methods for on load tap changers (OLTC). Measurements were made in laboratory conditions with use of a physical model of the VEL 110 OLTC placed in a tank filled with insulating oil. Acoustic emission signals were recorded with use of a R15a wide band piezoelectric transducer which was fixed to the tank of the model. These signals were analyzed in the time domain, which resulted in calculation of the signal envelope and its characteristic times. The results of the oscillographic measurements are presented in the form of current diagrams and the calculated OLTC characteristic times. Basing on the obtained results of the oscillographic and acoustic measurements, a comparison analysis of both diagnostic methods was performed. The research data presented in this paper proves that detection of OLTC contact deterioration is possible by using both oscillographic and acoustic methods of diagnostics.

Keywords: on load tap changer (OLTC), electric power transformer diagnostics, acoustic emission method.

1. Wstęp

Transformatory energetyczne stanowią grupę urządzeń o kluczowym znaczeniu dla systemu przesyłowo – rozdzielczego. W większości przypadków są one wyposażone są podobciążeniowe przełączniki zaczepek (PPZ), które umożliwiają wykonywanie czynności regulacyjnych. Biorąc pod uwagę statystykę uszkodzeń transformatora PPZ stanowią jedną z najczęściej występujących awarii. Problematyka szeroko pojętej eksploatacji transformatorów energetycznych stanowi przedmiot zainteresowania wielu ośrodków badawczych [7, 8, 11]. Do tej pory rozwijane były przede wszystkim metody oceny stanu technicznego wykonywane w sposób off – line. Coraz częściej w eksploatacji transformatorów spotyka się problemy związane z wyłączeniami transformatorów do badań. Z tego powodu podejmowane są prace zmierzające do opracowania metod pozwalających na prowadzenie diagnostyki bez konieczności wyłączenia transformatora spod napięcia.

Przyczyny uszkodzeń PPZ można podzielić na trzy podstawowe grupy: awarie układu mechanicznego, w głównej mierze związane z układem przeniesienia napędu, uszkodzenia głównego toru prądowego spowodowane zużyciem lub uszkodzeniem styków i problemy układu izolacyjnego [1, 3, 4, 6, 10]. Na rys. 1 przedstawiono podstawowe przyczyny uszkodzeń PPZ.



Rys. 1. Przyczyny uszkodzeń PPZ.

Fig. 1. Main causes of OLTC failures

Obecnie prace trwają nad kilkoma metodami pozwalającymi na prowadzenie ciągłej diagnostyki stanu technicznego PPZ. Wśród nich można wymienić analizę DGA, pomiar momentu obrotowego na wale napędowym oraz analizę emisji akustycznej [2].

W czasie pracy PPZ jest źródłem emisji akustycznej (EA). Ze względu na charakterystyczną oraz powtarzalną strukturę EA, sygnały te mogą posłużyć do oceny stanu technicznego PPZ [2].

W artykule przedstawiono analizę porównawczą wyników prac naukowo – badawczych związanych z diagnostyką PPZ metodą oscylograficzną i akustyczną.

2. Charakterystyka badanego modelu PPZ

Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych z wykorzystaniem modelu PPZ o konstrukcji z osobnym wybierakiem i przełącznikiem mocy typu VEL – 110. Celem ograniczenia wysokości układu zmniejszono długość wybieraka do sześciu zaczepek. Na zewnętrznej części kadzi znajdują się wyprowadzenia styków umożliwiając wykonywanie badań podczas przepływu prądu. Badany model PPZ umieszczono w kadzi wypełnionej olejem izolacyjnym. Dodatkowo układ wyposażono w napęd umożliwiający automatyczne przełączanie poszczególnych zaczepek. Przełączenia można dokonywać pomiędzy dwoma dowolnymi, sąsiednimi, zaczepekami.

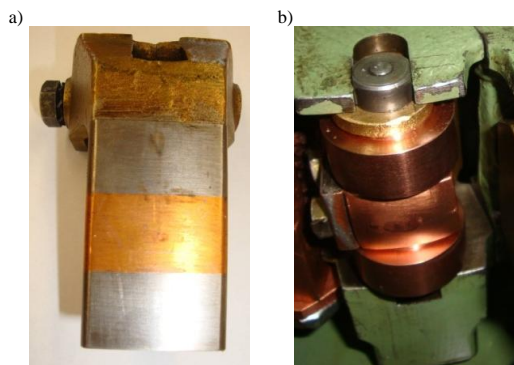
Na rys. 2 przedstawiono widok ogólny stanowiska pomiarowego.



Rys. 2. Widok ogólny stanowiska pomiarowego
Fig. 2. Overall view of the laboratory setup

3. Metodologia wykonywania badań

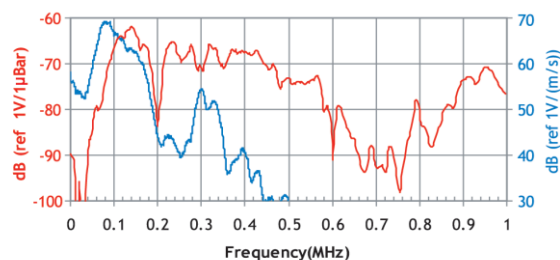
W celu określenia wpływu stopnia zużycia styków głównych przełącznika mocy na parametry diagnostyczne wyznaczone za pomocą metody EA i oscylograficznej zamodelowano defekty polegające na zmianie grubości styków głównych. Regulację grubości wykonywano za pomocą podkładek dopasowanych do kształtu styków. Regulację grubości styków wykonano za pomocą podkładek o grubościach: 1, 2, 3 mm. Na rys. 3. przedstawiono widok styków wykorzystanych w układzie.



Rys. 3. Widok styków głównych wykorzystanych do badań: a) styk stały, b) styk ruchomy
Fig. 3. View of OLTC main contacts used for measurements a) fixed contact b) moving contact

Pomiary prowadzono w układzie beznapięciowym wykonując jednocześnie pomiary obiema metodami w pełnym zakresie przełączeń PPZ.

Układ pomiarowy do badań metodą EA wyposażono w szerokopasmowy przetwornik stykowy R15 α . Charakteryzował się on pasmem przenoszenia w zakresie 50-400 kHz. Czulość przetwornika wynosiła 69 dB. Na rys. 4 przedstawiono charakterystykę przenoszenia zastosowanego przetwornika.



Rys. 4. Charakterystyka przenoszenia przetwornika [9]
Fig. 4. Frequency characteristic of R15 α transducer [9]

Przetwornik przymocowano do kadzi za pomocą specjalnego uchwyty magnetycznego zapewniającego odpowiednią siłę docisku oraz stabilność położenia. Rejestrowany za pomocą przetwornika sygnał EA poddano wzmocnieniu w układzie przedwzmacniacza typu 2/4/6 preamplifier firmy PAC. Z przedwzmacniacza mierzone sygnały podłączono do układu wzmacniającego poddając je wzmocnieniu o wartości 20 dB.

Rejestrację sygnałów prowadzono przy pomocy komputera wyposażonego w czterokanałową kartę pomiarową Acquiretek CH-3160. Sygnały rejestrowano z częstotliwością 500 kHz.

Zarejestrowane przebiegi EA poddano analizie przy pomocy programu Noesis firmy Envirocoustics. Użyte oprogramowanie stanowi zaawansowane narzędzie przeznaczone do przetwarzania sygnałów akustycznych w dziedzinie czasu, częstotliwości i czasowo – częstotliwościowej [5].

Do badań oscylograficznych wykorzystano przyrząd do pomiarów podstawowych parametrów transformatora MT-3, produkcji Energo - Complex.

Ogólnie przyjętym sposobem szczegółowej interpretacji wyników pomiarowych w badaniach oscylograficznych jest porównanie czasów własnych odczytanych z przebiegów prądów przełączania, z parametrami znamionowymi danego typu PPZ.

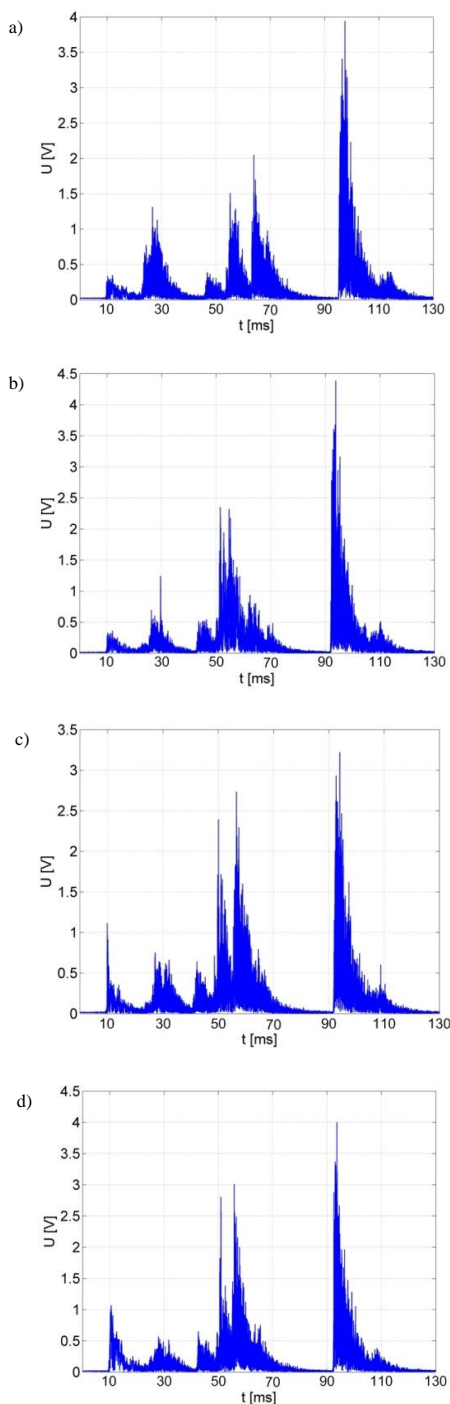
Zazwyczaj wyznaczane są trzy czasy własne:

- t_1 - od chwili otwarcia pierwszego styku głównego do chwili zamknięcia drugiego styku rezystancyjnego,
- t_2 - od chwili zamknięcia drugiego styku rezystancyjnego do chwili otwarcia pierwszego styku rezystancyjnego,
- t_c - całkowity czas przełączania tj. od momentu otwarcia pierwszego styku głównego do zamknięcia drugiego styku głównego [6].

Na podstawie różnic wyznaczonych między czasami charakterystycznymi poszczególnych faz, możliwe jest przeprowadzenie oceny niejednoczesności działania styków przełącznika mocy. Natomiast porównanie wyznaczonych z przebiegu oscylograficznego wartości czasów charakterystycznych: t_1 , t_2 i t_c z wartościami znamionowymi, stanowi podstawę do analizy stopnia zużycia styków przełącznika mocy.

4. Wyniki badań akustycznych

Analizę wyników pomiarowych przeprowadzono w dziedzinie czasowej za pomocą wyznaczenia obwiedni sygnałów i wartości czasów charakterystycznych. Sposób wyznaczania czasów charakterystycznych przedstawiono w pracach [2]. Na rys. 3 przedstawiono obwiednie sygnałów EA generowanych w układach o różnej grubości styków głównych przełącznika mocy.



Rys. 5. Obwiednie sygnałów EA generowanych przez PPZ z różnymi grubościami styków głównych przełącznika mocy
Fig. 5. Envelopes of acoustic emission signals generated by OLTC power switch with different main contact thicknesses

Sygnal EA generowany przez badany PPZ charakteryzuje się pięcioma charakterystycznymi zdarzeniami akustycznymi. Porównując przebiegi obwiedni sygnałów EA przedstawionych na rys. 5 można zauważyć, że wraz ze zmianą grubości zmienia się kształt obwiedni poszczególnych zdarzeń akustycznych. W celu wymiernego zobrazowania zmian czasowych w badanych sygnałach wyznaczono tzw. czasy charakterystyczne z poszczególnych przebiegów. Wartości czasów charakterystycznych przedstawiono w tabeli 1.

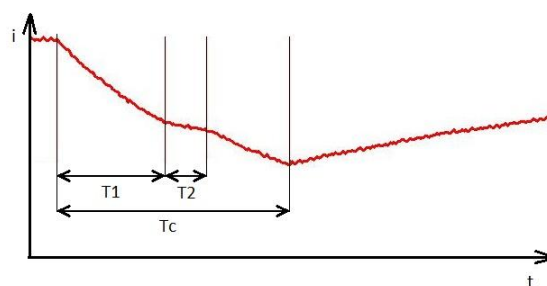
Wraz ze wzrostem grubości styków obserwuje się skrócenie czasów $T1$ i Tc oraz wzrost wartości czasów $T2$. W badanym układzie czas $T1$ zmieniał się w przedziale (28,4 – 21,4) ms, czas $T2$ – (40,5 – 42,7) ms, natomiast czas Tc zmieniał się w zakresie od 68,9 ms dla styków o najmniejszej grubości do 62,1ms dla styków o największej grubości.

Tab. 1. Wartości czasów charakterystycznych wyznaczonych dla sygnałów EA generowanych przez PPZ w układach o różnej grubości styków
Tab. 1. Values of the characteristic times calculated for AE signals generated by the OLTC in setups with different main contact thicknesses

Zwiększenie grubości styków, mm	Czasy charakterystyczne, ms		
	$T1$	$T2$	Tc
0	28,4	40,5	68,9
1	24,8	41,3	66,1
2	22,5	42,1	64,6
3	21,4	42,7	62,1

5. Wyniki badań oscylograficznych

Badania oscylograficzne przeprowadzono w tych samych warunkach pomiarowych jak pomiary wykonane metodą EA. Na rys. 6 przedstawiono przykładowy przebieg prądu łączeniowego PPZ z zaznaczonymi czasami własnymi.



Rys. 6. Przebieg prądu łączeniowego wraz z czasami własnymi badanego PPZ
Fig. 6. The switching current and characteristic times of the examined OLTC

Czasy własne zarejestrowano dla wszystkich stanów pracy badanego PPZ, które przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Wartości czasów własnych PPZ w układach o różnej grubości styków
Tab. 2. Values of the OLTC characteristic times in setups with different main contact thicknesses

Zwiększenie grubości styków, mm	Czasy charakterystyczne, ms		
	$t1$	$t2$	t_c
0	18,1	9,9	41,7
1	14,6	8,0	33,6
2	10,8	7,8	28,0
3	9,2	7,2	24,3

Analizując wyniki przedstawione w tabeli 2 można zauważyć, że wraz ze wzrostem grubości styków przełącznika mocy maleją wartości wszystkich czasów własnych. Największym zakresem zmian charakteryzuje się czas t_c , który przyjmuje wartości z przedziału (41,7 – 24,3) ms. Zmiany czasu $t1$ wahają się w granicach od 18,1 ms dla styków o najmniejszej grubości do 9,2 dla styków o największej grubości. Najmniejszym zmianom ulegały wartości czasu $t1$.

6. Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań wskazują na możliwość detekcji zużycia styków przełącznika mocy zarówno za pomocą metody oscylograficznej jak i akustycznej. Większe zmiany parametrów czasowych zaobserwowano dla metody oscylograficznej.

Zmiany wartości czasów charakterystycznych wyznaczonych z przebiegów sygnałów akustycznych mają bardziej subtelny charakter. Główną zaletą metody EA jest możliwość budowy na jej podstawie systemu diagnostyki PPZ działającego on-line. Metoda ta jednak posiada swoje ograniczenia, z których najważniejsze polega na tym, że rejestrowany sygnał EA generowany jest

przez pracę styków wszystkich faz jednocześnie. Uniemożliwia to wskazanie konkretnej fazy, w której powstało uszkodzenie. Dlatego metoda ta winna być stosowana jako ważne uzupełnienie istniejących metod diagnostycznych, a w szczególności metody oscylograficznej i jako wstępny wskaźnik występowania awarii.

Praca finansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu LIDER.



7. Literatura

- [1] Cichoń A.: Diagnostyka podobciążeniowych przełączników zacsepów z zastosowaniem metody emisji akustycznej, Przegląd Elektrotechniczny, Nr 11b, 2010, s. 198–201.
- [2] Cichoń A.: Nowa metoda diagnostyki stanu technicznego podobciążeniowych przełączników zacsepów, Studia i Monografie, Wyd. Pol. Op., z. 259, Opole, 2011.
- [3] Cichoń A., Borucki S., Boczar T.: Diagnostyka niejednoczesności działania styków podobciążeniowego przełącznika zacsepów metodą emisji akustycznej, Materiały Konferencyjne, 57 Otwarte Seminarium z Akustyki 2010 Gliwice, pp. 41–44.
- [4] Cichoń A., Frącz P., Lorenc M.: Analiza czasowo-częstotliwościowa sygnałów emisji akustycznej generowanych przez podobciążeniowy przełącznik zacsepów o konstrukcji z osobnym wybierakiem i przełącznikiem mocy, Pomiary Automatyka Kontrola, 2011, nr 04, str. 360-363.
- [5] NOESIS, Advanced Acoustic Emission Data Analysis Pattern Recognition & Neural Networks Software, Envirocoustics, Manual Rev.6, 2010.
- [6] Praca zbiorowa pod redakcją R. Malewskiego: Transformatory w Eksploatacji, wydawnictwo Energo-Complex, tom 1, Piekary Śląskie, 2005r.
- [7] Rivas E., Burgos J.C., Garcia-Prada J.C.: Condition Assessment of Power OLTC by Vibration Analysis Using Wavelet Transform, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.24, no.2, 2009.
- [8] Rivas E., Burgos J.C., Garcia-Prada J.C.: Vibration Analysis Using Envelope Wavelet for Detecting Faults In the OLTC Tap Selector, IEEE Transactions on Power Delivery, vol.25, no.3, 2010.
- [9] Specyfikacja techniczna, R15α General Purpose, 150 kHz Resonant Frequency Acoustic Sensor, Mistras, 2010.
- [10] Szrot M., Płowucha J., Subocz J., Borucki S., Cichoń A.: Ekonomiczne aspekty eksploatacji transformatorów z wykorzystaniem systemu TrafoGrade, PAK vol. 55, nr 1/2009, s. 65-68.
- [11] Ziang X., Gockenbach E.: Asset-Management of Transformers Based on Condition Monitoring and Standard Diagnosis, IEEE Electrical Insulation Magazine, 2008, vol.24 no.4, p.26-40.

otrzymano / received: 30.11.2012

przyjęto do druku / accepted: 02.01.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Regionalne Seminarya / Szkolenia dla Służb Utrzymania Ruchu

www.energoelektronika.pl WORTAL BRANŻOWY

28.03.2013 - Stalowa Wola

18.04.2013 - Wałbrzych

23.05.2013 - Rzeszów

20.06.2013 - Trójmiasto

10.10.2013 - Bydgoszcz

04.12.2013 - Warszawa

Jezeli jesteś zainteresowany uczestnictwem w Seminarium, zaprezentowaniem produktu lub nowego rozwiązania napisz do nas: marketing@energoelektronika.pl tel. (+48) 22 70 35 291

Partnerzy:

Ilość miejsc ograniczona