

Paweł KURTASZ, Przemysław WITKOWSKI, Tomasz BOCZAR
POLITECHNIKA OPOLSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI
INSTYTUT ELEKTROENERGETYKI

Analiza wyników pomiarów diagnostycznych transformatora elektroenergetycznego uzyskanych metodą emisji akustycznej

Mgr inż. Paweł KURTASZ

Student studiów doktoranckich w dyscyplinie elektrotechniki prowadzonych na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechniki Opolskiej. Zainteresowania naukowe obejmują fizyczne aspekty zjawisk, występujących w urządzeniach energetycznych w zakresach najwyższych napięć.



e-mail: pawelkurtasz@gmail.com

Mgr inż. Przemysław WITKOWSKI

Student studiów doktoranckich w dyscyplinie elektrotechniki prowadzonych na Wydziale Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechniki Opolskiej. Zainteresowania naukowe obejmują fizyczne aspekty zjawisk, występujących w urządzeniach energetycznych, zwłaszcza w zakresach średnich i wysokich napięć.



e-mail: przemo1982@poczta.fm

Dr hab. inż. Tomasz BOCZAR

Prodziekan Wydziału Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Kierownik Zakładu Wysokich Napięć. Autor ponad 180 publikacji z zakresu wykorzystania metod nieniszczących w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych.



e-mail: t.boczar@po.opole.pl

Streszczenie

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań diagnostycznych układu izolacyjnego transformatora energetycznego z wykorzystaniem metody emisji akustycznej (EA), które przeprowadzono podczas jego normalnej eksploatacji w warunkach przemysłowych. Przedstawiono rezultaty analizy czasowej, częstotliwościowej, czasowo-częstotliwościowej i korelacyjnej zarejestrowanych sygnałów EA. Zostały wyznaczone i poddane analizie kolejno: przebieg czasowy (rys. 2), widma amplitudowe (rys. 3, 4, 5), spektrogram obliczony z wykorzystaniem krótkoczasowej transformaty Fouriera STFT (rys. 6) oraz funkcja autokowariancji (rys. 7). Badania diagnostyczne zostały przeprowadzone z uwagi na wysoki stan zagazowania oleju elektroizolacyjnego, na który wskazywały wyniki wykonanych dwukrotnie badań chromatograficznych. Ponadto badany transformator dwa razy, w krótkim okresie czasu został automatycznie wyłączony w wyniku zadziałania kolejno zabezpieczenia gazowo – przepływowego oraz zabezpieczenia różnicowo – prądowego. Dlatego istniało uzasadnione podejrzenie, że w kadzi analizowanego transformatora mogą występować wylądowania niepełne (WZN) o znaczącym poziomie i intensywności. Przeprowadzono analizę zarejestrowanych sygnałów akustycznych, której wyniki wskazują na brak obecności typowych form WZN wewnątrz kadzi badanego transformatora. Jednakże charakter zarejestrowanych sygnałów akustycznych wskazuje na to, że ich źródłem jest zjawisko fizyczne. Jednocześnie wykazano, że nie są one typowymi sygnałami zakłóceniami generowanymi przez aparaturę pomiarową, pracujący transformator i otoczenie.

Słowa kluczowe: metoda emisji akustycznej, wylądowania niepełne, olej elektroizolacyjny, transformator elektroenergetyczny.

Analysis of diagnostic measurement results of an electric power transformer obtained by the acoustic emission method

Abstract

The paper presents the results of diagnostic investigations of an electric power transformer insulation system using the acoustic emission (AE) method. The investigations were carried out during the regular operation of the transformer under industrial conditions. The results of the time, frequency, time-frequency and correlative analyses of the AE signals registered are given. The waveform (Fig. 2), amplitude spectra (Figs. 3, 4, 5),

the spectrogram calculated by using a short-time Fourier transform STFT (Fig. 6) and the autocovariance function (Fig. 7) were determined and analysed. The diagnostic tests were performed because of a bad physio-chemical condition of the electroinsulation oil shown by the results of the repeated chromatographic investigations. Moreover, the transformer under study was, in a short period of time, automatically switched off twice – by the gas – flow protection and then by the differential – current protection. Therefore it was justified to suspect that partial discharges (PDs) of a significant level and intensity might occur in the tub of the transformer analysed. The analysis of the acoustic signals registered was carried out, the results of which showed the lack of typical PD forms inside the tub of the transformer under study. However, the character of the acoustic signals registered indicated that their source was a physical phenomenon. At the same time it was proved that they were not typical interfering signals generated by a working transformer or environment.

Keywords: acoustic emission method, partial discharges.

1. Wprowadzenie

W artykule przedstawiono wyniki pomiarów przeprowadzonych z wykorzystaniem metody emisji akustycznej (EA), wykonanych w warunkach przemysłowych na transformatorze elektroenergetycznym o mocy znamionowej 25 MV·A i przekładni 110/15 kV/kV. Badany transformator został wyprodukowany w 1982 roku przez firmę ELTA i od tej pory nieprzerwanie jest eksploatowany. W 2007 roku został przeprowadzony przegląd przełącznika zacze- pów, z którym związane było opróżnienie kadzi transformatora, a następnie jej ponowne wypełnienie tym samym olejem elektroizolacyjnym. W przeciągu tygodnia od jego ponownego uruchomienia nastąpiło awaryjne wyłączenie, którego powodem było zadziałanie zabezpieczenia gazowo – przepływowego (14 czerwca 2007 roku). Zostały wówczas pobrane próbki oleju elektroizolacyjnego, które poddano badaniom chromatograficznym, które wykonano w laboratorium firmy Nynas. Na podstawie uzyskanych wyników określono stan oleju jako wymagający uwagi (tablica 1). Kolejne badania chromatograficzne wykonano 11 października 2007 roku, wówczas stan oleju określono jako krytyczny. Dlatego podjęto decyzję o jego odgazowaniu. Transformator został po- wtórnie uruchomiony i pracował nieprzerwanie do dnia 15 lipca 2008 roku, kiedy nastąpiła kolejna awaria, której przyczyną było zadziałanie jego zabezpieczenia różnicowo - prądowego. Bezpo- średnie przyczyny zadziałania tego zabezpieczenia nie zostały przez służbę diagnostyczne spółki dystrybucyjnej jednoznacznie określone.

Bazując na dostępnych informacjach związanych z historią eks- ploatacji i stanem technicznym transformatora podjęto decyzję o przeprowadzeniu badań diagnostycznych jego układu izolacyj- nego z zastosowaniem metody EA. Badania wykonano podczas jego normalnej pracy, przy obciążeniu równym ok. 50 % mocy znamionowej.

Tab. 1. Wyniki badań chromatograficznych diagnozowanego transformatora
 Tab. 1. Results of chromatographic investigations of the transformer diagnosed

Data poboru próbki:			2008-07-15	2007-10-11	2007-10-11	2007-06-14			
Numer próbki:			P1003792-00	P1003075-00	P1003074-00	P1002827-00			
Punkt poboru próbki:			Top	Conservator	MAIN TANK, top	Top			
Badania	Metoda	Jedn.							
Informacje									
Diagnostyka DGA			Wymaga uwagi	Krytyczny	Krytyczny	Wymaga uwagi			
Zalecenia			Monitorować	-----	-----	-----			
Wykonane czynności			Odgazowany						
Obciążenie		%	0						
Temperatura oleju		°c	30			50			
Analiza DGA									
Wodór	IEC 60567	ppm	100	0.044	99	6.9	203	18	34
Metan	IEC 60567	ppm	278	-0.82	46	2.4	57	3.6	23
Etan	IEC 60567	ppm	5.7	-0.60	19	0.0	19	0.0	19
Eten	IEC 60567	ppm	389	-3.3	111	7.5	88	5.1	40
Acetylen	IEC 60567	ppm	78.06	-7.9	252	20	181	12	68
Propan	IEC 60567	ppm	3	-1.0	25		24		
Propen	IEC 60567	ppm	19	0.27	13		13		
Tlenek węgla	IEC 60567	ppm	364	4.0	277	-44	519	-18	691
Dwutlenek węgla	IEC 60567	ppm	1520	23	1018	-72	1089	-65	1699
Tlen	IEC 60567	ppm	389	-890	20042	1800	8929	650	2837
Azot	IEC 60567	ppm	43231	-2000	86837	1500	84334	1200	72700
Suma gazów		%	4.6	-0.28	10.9	0.33	9.5	0.18	7.8
CH ₄ /H ₂	IEC 60599		0.3	0.0	0.5	-0.013	0.3	-0.038	0.7
C ₂ H ₄ /C ₂ H ₆	IEC 60599		6.8	0.044	5.8	0.39	4.6	0.27	2.1
C ₂ H ₂ /C ₂ H ₄	IEC 60599		2.0	-0.013	2.3	0.063	2.1	0.042	1.7
C ₂ H ₂ /H ₂	IEC 60599		0.8	-4.076	2.5	0.053	0.9	-0.11	2.0
C ₀ 2/C ₀ O	IEC 60599		4.2	0.021	3.7	0.13	2.1	-0.038	2.5
O ₂ /N ₂	IEC 60599		0.01	0.0	0.23	0.019	0.11	0.006	0.04
1-buten	IEC 60597	ppm			94		94		
cis i trans 2-buten	IEC 60567	ppm			48		49		
Izobutan	IEC 60567	ppm			0		0		
Butan	IEC 60567	ppm			0		0		

2. Charakterystyka zastosowanego układu pomiarowego

W celu zdiagnozowania stanu układu izolacyjnego rozpatrywanego transformatora, przy wykorzystaniu metody akustycznej, zastosowano standardowy układ pomiarowy wykorzystywany w metodzie akustycznej, składający się z trzech niezależnych torów. Podczas pomiarów wykorzystano trzy szerokopasmowe, piezoelektryczne przetworniki stykowe typu WDAH17 firmy Physical Acoustics Corporation (PAC), trzy wzmacniacze sygnałów EA Dema firmy EA System, czterokanałową kartę pomiarową Acquitek CH 3160 firmy Acquitek oraz komputer przemysłowy. Podczas pomiarów częstotliwość próbkowania wynosiła 2,56 MHz. Szczegółową charakterystykę zastosowanego układu pomiarowego, wykorzystanych zależności matematycznych i procedur obliczeniowych, parametrów metrologicznych oraz metod analizy i przetwarzania sygnałów przedstawiono m. in. w pracach [1-4].

3. Wyniki pomiarów przy wykorzystaniu metody EA

Przetworniki pomiarowe umieszczono w miejscach, które były dostępne ze względu na geometrię, konstrukcję i budowę kadzi diagnozowanego transformatora. Badane obszary zostały przedstawione, w odniesieniu do jednej strony transformatora, na rys. 1.

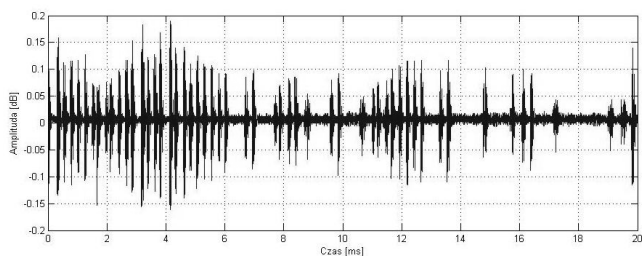
Ze względu na symetryczną konstrukcję radiatorów urządzenia, przetworniki pomiarowe rozmieszczono w sposób analogiczny po drugiej stronie kadzi badanego transformatora.

Poddając analizie wyniki przeprowadzonych rejestracji, stwierdzono podwyższony poziom sygnałów EA dla punktów pomiarowych usytuowanych wzdłuż osi symetrii przełącznika zacze- pów. Należy podkreślić, że podobne rezultaty uzyskano po obu stronach diagnozowanego transformatora. Amplituda zarejestrowanych sygnałów EA zdecydowanie przewyższała poziom szumów własnych generowanych pracą urządzenia oraz przez otoczenie (rys. 2).



Rys. 1. Widok badanego transformatora
 Fig. 1. Overall view of the transformer under study

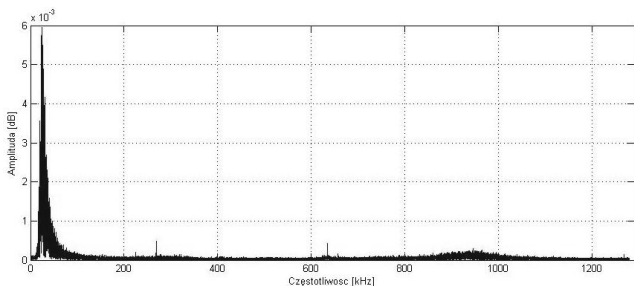
Na rys. 2 przedstawiono przykładowy przebieg czasowy zarejestrowanych sygnałów EA, który wyznaczono dla jednego okresu napięcia zasilającego. W przypadku występowania wylądowań niezupełnych (WNZ) w przebiegach czasowych widoczne są charakterystyczne serie pików o stosunkowo dużej amplitudzie, które powtarzają się cyklicznie i występują w danym półokresie lub w sposób powtarzalny dla dodatniej i ujemnej polaryzacji napięcia zasilającego [5-6]. W przedstawionym na rys. 2 przebiegu nie są widoczne tego typu zależności. Częstość występowania pików jest przypadkowa i nie jest uzależniona o częstotliwości napięcia zasilającego. Przedstawiony przebieg jest charakterystyczny dla większości rejestracji wykonanych w ramach przeprowadzonych pomiarów diagnostycznych.



Rys. 2. Wybrany przebieg czasowy zarejestrowanego sygnału EA w jednym okresie napięcia zasilającego

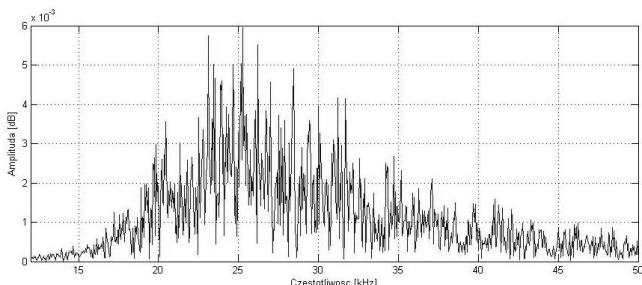
Fig. 2. Selected waveform of the AE signal registered

Na rys. 3 przedstawiono widmo amplitudowe sygnałów EA zobrazowanych na rys. 2. W obliczonym przebiegu widoczne są dwa wyraźne ekstrema jedno w zakresie (15 – 45) kHz oraz drugie w przedziale (850 – 1100) kHz, jednakże o prawie 20-krotnie mniejszej amplitudzie. W celu przeprowadzenia dokładniejszej analizy częstotliwościowej na rys. 4 i 5 zilustrowano widma amplitudowe, które przedstawiono oddzielnie dla wyznaczonych wyżej zakresów dominujących częstotliwości.



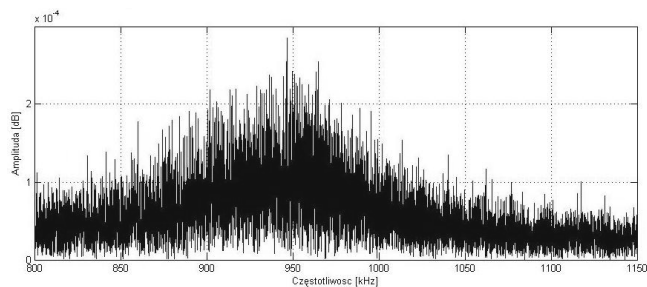
Rys. 3. Widmo amplitudowe zarejestrowanych sygnałów EA

Fig. 3. Amplitude spectrum of the AE signals registered



Rys. 4. Widmo amplitudowe zarejestrowanych sygnałów EA w zakresie pierwszego ekstremum lokalnego (15 – 45) kHz

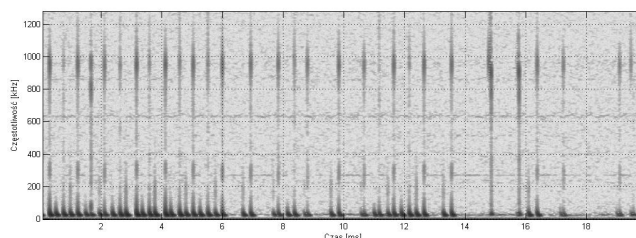
Fig. 4. Amplitude spectrum of the AE signals registered in the range of the first relative extremum (15 – 45) kHz



Rys. 5. Widmo amplitudowe zarejestrowanych sygnałów EA w zakresie drugiego ekstremum lokalnego (850 – 1100) kHz

Fig. 5. Amplitude spectrum of the AE signals registered in the range of the first relative extremum (850 – 1100) kHz

Istotne było również stwierdzenie czy częstotliwości dominujące, występują w całym analizowanym przebiegu czasowym zarejestrowanego sygnału EA. W tym celu przeprowadzono analizę czasowo-częstotliwościową wyznaczając spektrogram, który obliczono przy zastosowaniu krótkoczasowej transformaty Fouriera STFT (rys. 6).



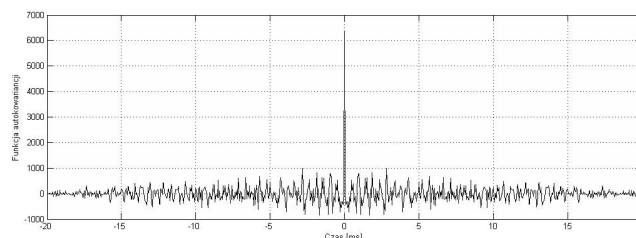
Rys. 6. Spektrogram STFT obliczony dla zarejestrowanych sygnałów EA

Fig. 6. Spectrograph STFT determined for the AE signals registered

Przedstawione na rys. 6 obrazy czasowo-częstotliwościowe wyznaczone dla zarejestrowanych sygnałów EA występują w zróżnicowanych odstępach czasowych i nie mają charakteru ciągłego typowego dla szumów pochodzących na przykład od zakłóceń sprzętowych. Największa amplituda sygnału występuje w paśmie do 50 kHz, widoczne są także struktury czasowo-częstotliwościowe w zakresie (850 – 1100) kHz.

Takie zakresy pasm dominujących częstotliwości w widmie nie zostały określone dla podstawowych form WNZ, jakie zamodelowano w warunkach laboratoryjnych, a które przedstawiono m. in. w pracach [1-4]. Potwierdza to przypuszczenie braku powiązań zarejestrowanych sygnałów EA z typowymi formami WNZ, które mogą występować w izolacji papierowo-olejowej.

Dodatkowo, aby określić charakter czasowy zarejestrowanych sygnałów EA oraz w celu rozpoznania towarzyszących pomiarom szumów i zakłóceń zastosowano funkcję autokowariancji. Zarejestrowane sygnały EA podzielono na 10 tysięcy fragmentów, każdy po 256 próbek, które podczas analizy były traktowane jako pojedyncze zmienne losowe.



Rys. 7. Przebieg funkcji autokowariancji wyznaczony dla zarejestrowanych sygnałów EA

Fig. 7. Autocovariance function determined for the AE signals registered

W przedstawionym na rys. 7 przebiegu funkcji autokowariancji widoczny jest dla zerowego przesunięcia czasowego pik o stosunkowo dużej amplitudzie świadczący o dużym udziale w zarejestrowanym sygnale składowej stochastycznej. Ponadto dla przesunięć czasowych mniejszych niż 10 ms widoczne są składowe okresowe o zmniejszającej w sposób wykładniczy amplitudzie wraz ze wzrostem opóźnienia. Widoczny jest więc dualny charakter sygnału EA, w którym występują zarówno składowe stochastyczne jak i deterministyczne. Można więc wyeliminować, jako źródło zarejestrowanych sygnałów EA, szum sprzętowy, lub inny o charakterze zakłóceń. Potwierdza to fakt, że zarejestrowany sygnał EA emitowany jest w wyniku procesu fizycznego, który ma miejsce w kadzi badanego transformatora.

4. Wnioski z przeprowadzonych pomiarów

Uwzględniając fakt nietypowej lokalizacji drań w kadzi transformatora, jej złożony kształt oraz silne drgania ścian o częstotliwości 50 Hz, należy również wziąć pod uwagę możliwość pochodzenia zarejestrowanego sygnału z superpozycjonowania składowej 50 Hz. Dodatkowo mając na uwadze złożoność oraz nieliniowy charakter obszaru generacji i drogi propagacji sygnałów EA, wydaje się być to możliwe. Istotne są również z punktu widzenia analizowanych zjawisk występujące w kadzi badanego transformatora interferencje powstających i rozchodzących się w różnych ośrodkach fal mechanicznych.

W pozostałych punktach kadzi, w których wykonywano pomiary diagnostyczne transformatora nie zarejestrowano sygnałów EA, których amplituda przewyższała poziom rejestrowanych szumów.

W ocenie autorów artykułu istnieje konieczność sprawdzenia szczelności przełącznika zaczepów transformatora, ponieważ

wyciek przepracowanego oleju z przełącznika bezpośrednio do kadzi może spowodować przekłamanie wyników badania chromatograficznego oleju i w konsekwencji przyczynić się do błędnej oceny diagnostycznej układu izolacyjnego.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę jako projekt badawczy nr 0304/R/2/T02/06/01.

5. Literatura

- [1] T. Boczar : Identification of a specific type of partial discharges form acoustic emission frequency spectra, IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 11, No. 3, 2001, pp. 598-606.
- [2] T. Boczar : Identification of fundamental forms of partial discharges based of the results of frequency analysis of their acoustic emission, J. Acoustic Emission Vol. 17, No. 3-4, 1999, pp. S7-S12.
- [3] T. Boczar, S. Borucki, A. Cichoń, M. Lorenc: Time-frequency analysis of the AE signal generated by PDs onbushing and stand-off insulators", Quarterly Archive of Acoustics (Supplement), Vol. 31, No. 4, Warszawa 2006 r., pp. 325-334.
- [4] T. Boczar, D. Zmarzły : Application of wavelet analysis to acoustic emission pulses generated by partial discharges", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., Vol. 11, pp. 433-449, 2004.
- [5] J. Skubis: Wybrane zagadnienia z techniki i diagnostyki wysokonapięciowej, Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, Opole, 1998.
- [6] J. Skubis: Emisja akustyczna w badaniach izolacji urządzeń elektroenergetycznych, PAN IPPT, Of. Wyd. PO, Opole 1998.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Cennik publikacji reklam w miesięczniku naukowo-technicznym PAK

REKLAMA	w skali odcieni szarości [ceny netto]	kolor [ceny netto]
I okładka (212(s) x 213(w) mm)	-	1 800,00
II okładka (212x301 mm)	-	1 600,00
III okładka (212x301 mm)	-	1 500,00
IV okładka (212x301 mm)	-	1 700,00
1 strona (200x297 mm)	900,00	1 100,00
½ strony (200x145mm) - pozioma	500,00	700,00

Reklamę należy przygotować zgodnie z obowiązującymi wytycznymi znajdującymi się na stronie internetowej: www.pak.info.pl