

Deskrytory sygnałów emisji akustycznej generowanych przez nowy podobciążeniowy przełącznik zacze­pów zainstalowany w transformatorze elektroenergetycznym

Streszczenie. W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki analizy sygnałów emisji akustycznej generowanej przez pracujący podobciążeniowy przełącznik zacze­pów (PPZ) transformatora energetycznego. Przedstawiono charakterystyczne cechy sygnałów rejestrowanych różnymi czujnikami pomiarowymi oraz omówiono możliwości zastosowania prezentowanej metody do diagnostyki PPZ w warunkach przemysłowych.

Abstract. This paper presents results of analysis of acoustic emission (AE) generated by operating power transformers on-load tap changer (OLTC). Characteristic features of AE signals recorded by different types of sensors are described. Possible applications of discussed method to diagnose technical condition of OLTC in industrial conditions are presented. ("Finger print" of acoustic emission signals generated by power transformers on-load tap changer).

Słowa kluczowe: transformator energetyczny, diagnostyka, podobciążeniowy przełącznik zacze­pów, emisja akustyczna.
Keywords: power transformer, diagnostics, on-load tap changer, acoustic emission.

doi:10.12915/pe.2014.01.49

Diagnostyka PPZ

Jedną z metod diagnostyki PPZ są oględziny urządzenia. Operacja ta, wymaga wyłączenia transformatora oraz otwarcia kadzi, a w niektórych przypadkach wyjęcia mechanizmu z kadzi. Zastosowanie w diagnostyce PPZ znajdują również metody nie wymagające otwierania kadzi transformatora. Można do nich zaliczyć oscylograficzny pomiar prądu płynącego przez przełącznik [1, 2] oraz pomiar rezystancji dynamicznej podczas procesu przełomczania [3, 4]. Niemniej jednak, przeprowadzenie pomiarów wymaga wyłączenia transformatora spod napięcia.

Prowadzenie czynności diagnostycznych jest możliwe w warunkach obciążenia transformatora. Taka możliwość powstaje w wyniku zastosowania metod analizy DGA oleju w komorze PPZ, pomiaru mocy pobieranej przez silnik napędowy (lub momentu napędowego na wale) oraz pomiaru sygnałów emisji akustycznej (EA) generowanej przez pracujący przełącznik zacze­pów [2, 5]. Ze względu na łatwość aplikacji oraz szybkość uzyskiwania wyników na szczególną uwagę zasługuje ocena stanu technicznego PPZ na podstawie zarejestrowanej EA.

Metodyka badań emisji akustycznej

Sygnały EA rejestrowane są za pomocą specjalistycznych przetworników, umieszczanych na powierzchni kadzi lub w jej wnętrzu. Zarejestrowany sygnał EA, po odpowiednim przetworzeniu, może posłużyć do oceny stanu technicznego PPZ. Analiza zarejestrowanego sygnału prowadzona jest za pomocą narzędzi matematycznych [5-7].

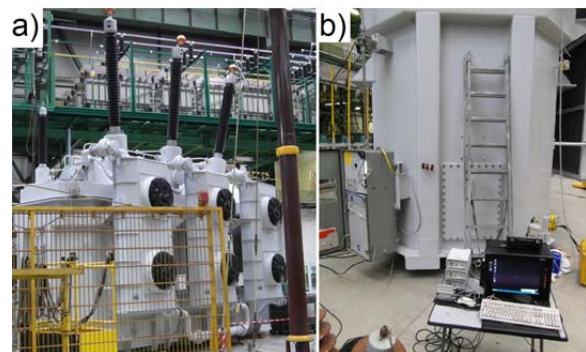
Wynikiem procesu przetwarzania sygnałów EA są informacje w dziedzinach czasu oraz częstotliwości [5, 7]. Na podstawie uzyskanych wyników można ocenić czy badany PPZ wykazuje cechy zużycia i czy należy przeprowadzić dalsze czynności diagnostyczne lub naprawcze.

Przeprowadzenie diagnostyki jest w znacznym stopniu ułatwione w sytuacji, gdy dostępny jest tzw. „fingerprint” (z ang., odcisk palca), czyli informacja o sygnałach EA generowanych przez urządzenie nowe lub po gruntownym remoncie. Pozyskane w ten sposób dane stają się sygnałem referencyjnym który charakteryzuje PPZ w dobrym stanie technicznym [2].

„Odcisk palca” PPZ

W celu uzyskania danych niezbędnych do stworzenia „odcisku palca” PPZ przeprowadzono serię pomiarów w warunkach stacji prób transformatorów firmy TurboCare

Poland S.A. w Lublińcu. Obiektem badań był PPZ typu VRDIII firmy Maschinenfabrik Reinhausen zamontowany w nowo wyprodukowanym transformatorze blokowym typu TOBNRLa o mocy 290 MVA i przekładni napięciowej 400/15,75 kV (rys.1a) [8].



Rys.1. Transformator TOBNRLa 290000/400 na stacji prób (a) oraz widok stanowiska pomiarowego (b)

Stanowisko badawcze (rys.1b) zbudowano na bazie specjalistycznej aparatury udostępnionej przez Politechnikę Opolską.

Pomiary prowadzono w warunkach zbliżonych do laboratoryjnych, co pozwoliło na ograniczenie zakłóceń oraz obserwację sygnałów EA w różnych warunkach zasilania transformatora. Przeprowadzono pomiar w następujących stanach pracy:

- stan beznapięciowy,
- bieg jałowy transformatora,
- obciążenie transformatora.

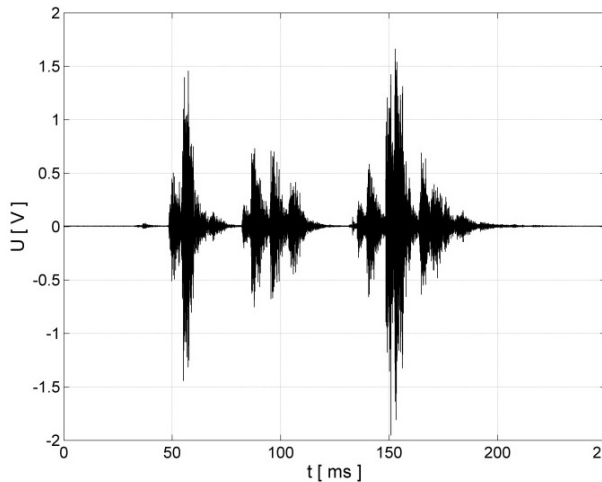
Celem tak przeprowadzonego cyklu badawczego było zobrazowanie wpływu różnych stanów zasilania transformatora na uzyskiwane wyniki.

Wyniki pomiarów w stanie beznapięciowym

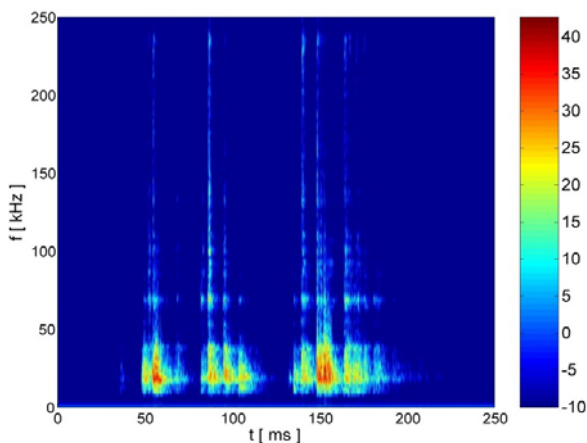
Zarejestrowany sygnał składa się z serii następujących po sobie zdarzeń akustycznych (rys.2). Zdarzenia akustyczne różnią się pomiędzy sobą wartością maksymalną oraz czasem trwania. Źródłami rejestrowanych sygnałów EA jest wybierak oraz przełącznik mocy PPZ.

Do niezwykle przydatnych narzędzi analizy sygnałów akustycznych należą transformaty w dziedzinie częstotliwości. Na rysunku 3 przedstawiono obraz

transformacji STFT sygnału akustycznego. Jej wynikiem jest rozkład widma mocy na płaszczyźnie czas-częstotliwości. Zarejestrowany sygnał EA analizowano w zakresie od 10 do 250 kHz z dobrze widocznym pasmem tłumienia w okolicy 50 kHz. W obserwowanym przebiegu można rozróżnić kolejne zdarzenia akustyczne o zmiennej intensywności. Podobnie jak w sygnale oryginalnym (rys.2) można zauważyć dwa dominujące zdarzenia akustyczne, w okolicy 50 oraz 150 ms.



Rys. 2. Wynik pomiaru w stanie beznapięciowym



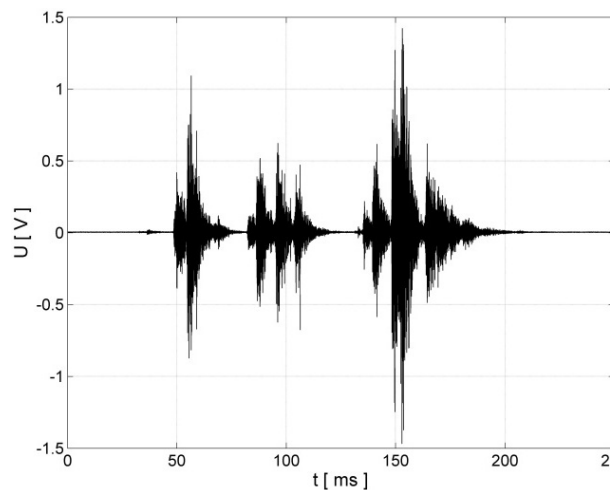
Rys. 3. Transformata STFT sygnału zarejestrowanego w stanie beznapięciowym

Wyniki pomiarów na biegu jałowym transformatora

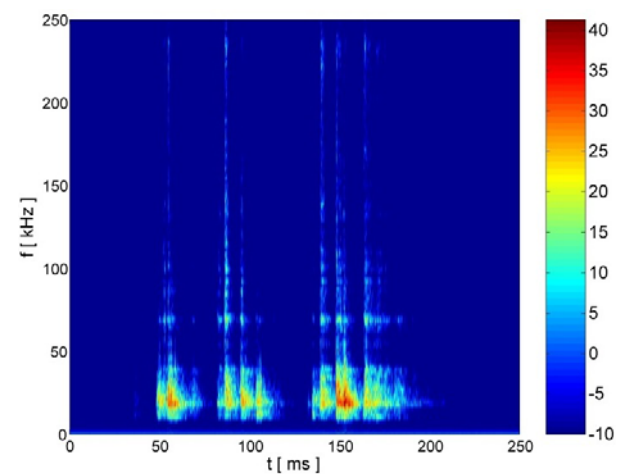
Drugim z badanych stanów pracy transformatora był bieg jałowy. Pomiary przeprowadzono analogicznie do tych w stanie beznapięciowym.

Zarejestrowany sygnał w dziedzinie czasu (rys.4) ma zbliżony przebieg do sygnału obserwowanego w stanie beznapięciowym (rys.2). W sygnale nie pojawiają się nowe zdarzenia akustyczne a nieznaczne różnice w obserwowanych przebiegach (głównie amplituda) mają charakter losowy

Rozkład widma gęstości mocy (rys.5) w stanie biegu jałowego jest zbliżony do rozkładu widma w stanie beznapięciowym (rys.3). W obu przypadkach można stwierdzić tą samą zarejestrowaną liczbę zdarzeń akustycznych. Obserwowane stany pracy nie różnią się pomiędzy sobą zasadniczo ze względu na brak istotnych zmian w zjawiskach fizycznych występujących wewnątrz transformatora – w stanie jałowym nie płyną prądy odpowiedzialne za generację łuku elektrycznego, czyli głównego, obok zjawisk mechanicznych, źródła sygnałów EA.



Rys. 4. Wyniki pomiarów w stanie biegu jałowego



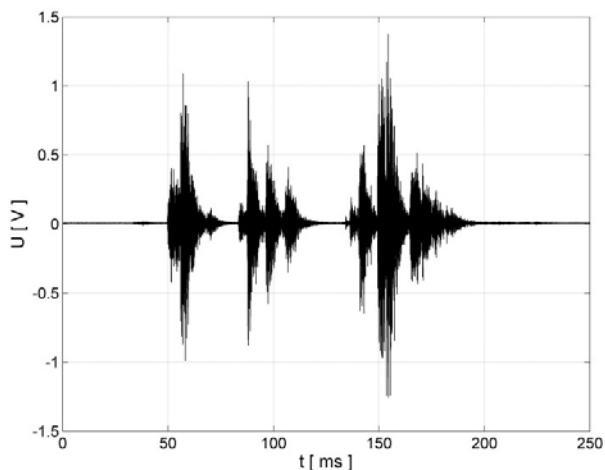
Rys. 5. Transformata STFT sygnału zarejestrowanego w stanie biegu jałowego

Wyniki pomiarów podczas obciążenia transformatora

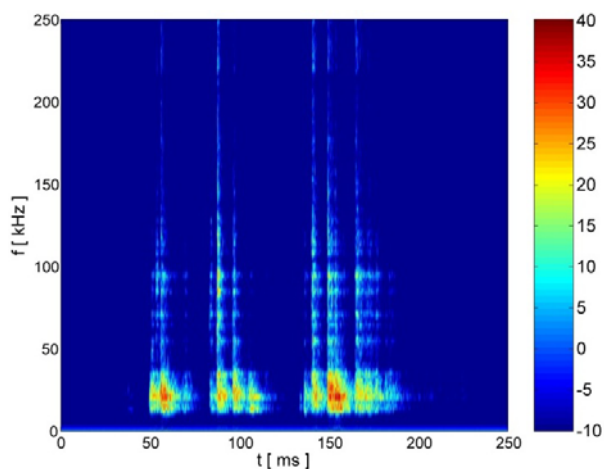
Niniejszy rozdział zawiera informacje zebrane w trakcie obciążenia transformatora które są szczególnie istotne ze względu na fakt, że proponowana metoda diagnostyki należy do metod on-line. Podczas pomiarów transformator obciążono około 25% prądu znamionowego.

Przebieg czasowy zarejestrowanego sygnału (rys.6) nie różni się znacząco od przebiegu w stanie beznapięciowym (rys.2). Następujące po sobie zdarzenia akustyczne mają podobny charakter, a całkowity czas przebiegu nie ulega znaczącej zmianie.

Zasilenie transformatora prądem o znacznej wartości powoduje generację łuku elektrycznego w komorze PPZ podczas procesu łączeniowego. Takie zjawisko jest naturalnym przejawem procesu przerywania obwodu prądowego i ulega nasileniu wraz z eksploatacją. Spowodowane jest to zużyciem styków roboczych oraz degradacją oleju w komorze PPZ w dalszym etapie eksploatacji. Jak można zauważyć (rys.7), wystąpieniu łuku elektrycznego towarzyszy wzmożona generacja EA w paśmie częstotliwości od około 50 do 150 kHz. W paśmie częstotliwości od około 10 do 50 kHz, czyli paśmie w którym obserwujemy głównie EA od zjawisk mechanicznych w PPZ, nie obserwuje się zmian w stosunku do pomiarów w stanie beznapięciowym (rys.3).



Rys. 6. Wynik pomiaru w stanie obciążenia



Rys. 7. Transformata STFT sygnału zarejestrowanego w stanie obciążenia

Podsumowanie

Przeprowadzony cykl pomiarów pozwolił zobrazować wpływ różnych stanów zasilania transformatora na rejestrowane sygnały EA od PPZ co jest niezwykle pomocną informacją przy przygotowywaniu „odcisków palca” dla nowych i regenerowanych PPZ.

Dobór przetwornika do pomiarów powinien być uwarunkowany jego wystarczającą czułością zarówno w

paśmie częstotliwości niskich (EA od zdarzeń mechanicznych) jak i wysokich (EA od zdarzeń elektrycznych).

Przedstawiono wybrane narzędzie matematyczne przydatne do analizy sygnałów EA oraz możliwości jego zastosowania. Uzyskiwane wyniki sugerują dużą przydatność narzędzi operujących w dziedzinie częstotliwości, oraz ograniczoną przydatność narzędzi operujących w dziedzinie czasu.

Zaprezentowane wyniki oraz ich analiza potwierdzają możliwości zastosowania metody EA do przygotowania „odcisku palca” PPZ. Zarejestrowane sygnały pozwoliły scharakteryzować PPZ pod kątem generowanych sygnałów akustycznych od zdarzeń mechanicznych i elektrycznych. Posiadane informacje pozwolą na wykrycie zużycia podzespołów PPZ.

LITERATURA

- [1] Cichoń A., Berger P., Borucki S., Analiza porównawcza wyników badań w zakresie oceny stopnia zużycia styków PPZ metodą akustyczną i oscylograficzną, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 02, 2013, 152 - 155
- [2] Ramowa instrukcja eksploatacji transformatorów, Energopomiar Elektryka, Gliwice, 2012
- [3] Erbrink J., Smit J.J., Gulski E., Leich R., Experimental model for diagnosing on-load tap changer contact aging with dynamic resistance measurements, *20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, CIRED, 2009, 1 - 17
- [4] Erbrink J., Gulski E., Smit J.J., Seitz P., Leich R., Experimental model of aging mechanisms of on-load tap changer contacts, *International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis*, 2008, 247 - 250
- [5] Cichoń A., Nowa metoda diagnostyki stanu technicznego podobciążeniowych przełączników zaczepów, *Studia i Monografie*, Wyd. Pol. Op., z. 259, Opole, 2011
- [6] de Almeida L., Fontana M., Wegelin F.A., Ferreira L., A New Approach for Condition Assessment of On-Load Tap-Changers using Discrete Wavelet Transform, *IEEE Proc., Instrumentation and Measurement Technology Conference*, 2005, Vol.1, 653 – 656
- [7] Cichoń A., Frącz P., Lorenc M., Analiza czasowo-częstotliwościowa sygnałów emisji akustycznej generowanych przez podobciążeniowy przełącznik zaczepów o konstrukcji z osobnym wybierakiem i przełącznikiem mocy, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 2011, nr 04, 360 - 363
- [8] Transformator TOBNRLa 290000/400, Dokumentacja techniczna TurboCare Poland S.A.

Autorzy: dr hab. inż. Andrzej Cichoń, Politechnika Opolska, Instytut Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej, 45-758 Opole, ul. Próżkowska 76, A.Cichon@po.opole.pl; mgr inż. Paweł Berger, TurboCare Poland S.A., 42-701 Lubliniec, ul. Powstańców Śląskich 85, Pawel.Berger@turbocare.pl