

Próba oceny właściwości eksploatacyjnych przekładników prądowych w oparciu o obrazy fazowo-rozdzielcze z pomiaru wnz

Abstract: *The results of the partial discharge measurements performed for current transformers having the same ratings but the different operating frequencies are presented in this paper. The measurement procedures and obtained phase-resolved pictures are briefly characterized.*

Keywords: current transformers, partial discharges, apparent charge

Wprowadzenie

Pomiar wyładowań niepełnych (wnz) jest źródłem istotnych informacji o jakości danego urządzenia elektroenergetycznego, a ściślej mówiąc o jakości jego izolacji [1-3]. Na podstawie pomiaru wnz można wnioskować o przydatności pracującego urządzenia do dalszej eksploatacji odnosząc wyniki pomiaru wartości maksymalnej ładunku pozornego zmierzonego przy określonym napięciu probierczym do granicznej wartości określonej w normach przedmiotowych lub obserwując obrazy fazowo-rozdzielcze zarejestrowane podczas wykonywania pomiarów [3, 4]. Dla każdego z urządzeń (np. transformatora czy przekładnika napięciowego lub prądowego) w normach przedmiotowych określona jest dokładnie procedura, według której należy przeprowadzić pomiar, a także napięcia probiercze [2, 5, 6].

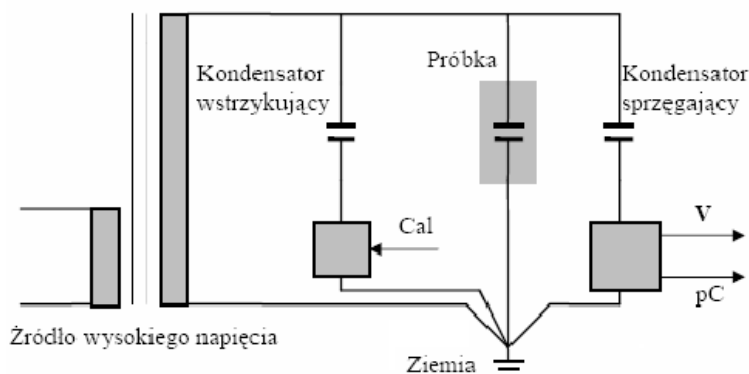
Obecnie do pomiaru wyładowań niepełnych metodą elektryczną stosuje się nowoczesne urządzenia umożliwiające nie tylko określenie wartości maksymalnej mierzonego ładunku pozornego, ale także, z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi analizy danych zebranych podczas pomiarów, pozwalające na rejestrację obrazów fazowo-rozdzielczych, które są pomocne przy ocenie zjawisk fizycznych zachodzących w izolacji urządzenia i dają możliwość określenia miejsca występowania wyładowań niepełnych. Obrazy fazowo-rozdzielcze pozwalają więc bezpośrednio, przy uwzględnieniu doświadczenia personelu wykonującego pomiary, ocenić właściwości eksploatacyjne badanego urządzenia [1, 4, 7].

Układ pomiarowy

Pomiar wyładowań niepełnych został zrealizowany w układzie przedstawionym na Rysunku 1. Jest to typowy układ zalecany zarówno przez normę ogólną [2], jak i przedmiotową normę dotyczącą przekładników prądowych [6].

Istotnymi elementami układu są kondensatory: wstrzykujący i sprzęgający, które podczas opisywanych pomiarów były sprzężone z cyfrowym detektorem wyładowań niepełnych Hipotronics DDX 7000 i wraz z układem zasilania i regulacji napięcia, umożliwiły wykonywanie pomiarów w zakresie napięciowym od setek V do 125 kV. Aparatura pomiarowa, która jest częścią składową specjalistycznego laboratorium mieszczącego się w Zakładzie Wysokich Napięć Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej pozwala na badanie poziomu intensywności wyładowań niepełnych na dwa sposoby. W pierwszym rejestrowany jest najpowszechniej stosowany w praktyce

inżynierskiej wskaźnik intensywności wyładowań niezupełnych, a mianowicie ładunek pozorny. Zgodnie z normą IEC 60270 ładunek ten (q) definiuje się jako ładunek, który doprowadzony nagle między zaciski badanego obiektu zmieniłby skokowo napięcie na tych zaciskach o tę samą wartość, co same wyładowania. Maksymalny ładunek pozorny wyładowań (q_{max}) to analogicznie największy powtarzalny ładunek wyładowań występujący podczas wykonywania pomiaru [2].



Rys. 1. Podstawowy schemat układu pomiarowego do pomiaru wyładowań niezupełnych:
Cal - sygnał sterujący procesem kalibracji, V, pC - sygnały napięcia i ładunku pozornego zbierane przez detektor cyfrowy

Drugi sposób pomiaru bazuje na wykorzystaniu funkcji pogłębionej analizy danych zebranych w trakcie pomiarów zaimplementowanej w oprogramowaniu urządzenia DDX 7000, która umożliwia rejestrację tzw. obrazów czasowo-rozdzielczych dających znacznie szersze możliwości oceny właściwości eksploatacyjnych urządzenia i jego izolacji niż sam pomiar intensywności oparty o rejestrację tylko maksymalnego ładunku pozornego [3, 7].

Ważnym zagadnieniem, które ma duże znaczenie dla prowadzenia pomiarów wyładowań niezupełnych w sposób prawidłowy są zakłócenia. Dotyczy to szczególnie przypadków, gdy wymagana jest duża czułość pomiarów rzędu pojedynczych pC. W celu ograniczenia zakłóceń stosuje się specjalne zabiegi, do których należą:

- eliminacja zakłóceń leżących poza badanym układem przez zastosowanie odpowiednich ekranów wyrównujących rozkład pola elektrycznego, co zapobiega ulotowi,
- eliminacja zakłóceń mających swe źródło w obwodzie zasilającym przez stosowanie specjalnych transformatorów probierczych, których napięcie probiercze jest znacznie niższe niż napięcie początkowe wyładowań niezupełnych,
- staranne wykonanie połączeń pomiędzy elementami układu pomiarowego oraz uziemień w układzie probierczym,
- separacja układu probierczego specjalnym filtrem dolnoprzepustowym,
- blokowanie filtrami dolnoprzepustowymi obwodów zasilających mierniki i inne przyrządy stosowane w czasie pomiaru,
- eliminacja zakłóceń przez rejestrację mierzonych wielkości leżących powyżej poziomu szumów, np. powyżej 60% ich spodziewanej wartości [4, 5, 7].

Wszystkie przedstawione wyżej zabiegi zastosowane zostały w układzie pomiarowym wykorzystanym do pomiaru wzn przewodników prądowych, przez co tło układu zmierzone na poziomie 50 kV, bez obiektu badanego wyniosło około 2 pC.

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

Wspomnianym we wstępie ważnym aspektem związanym z pomiarem intensywności wnz metodą elektryczną jest skalowanie układu pomiarowego. Z tego też względu każdy przyrząd pomiarowy, stosowany do pomiaru ładunku pozornego wnz, jest wyposażony w specjalny układ kalibrujący. Zadaniem kalibracji jest wyznaczenie dla różnych zakresów pomiarowych relacji pomiędzy ładunkiem pozornym a wskazaniem miernika czy oscylografu. Kalibracja polega na podaniu ładunków o znanej wartości, w postaci impulsów prądowych o odpowiednio krótkim czasie, z układu skalującego dołączonego równolegle do badanego obiektu. Do skalowania wykorzystuje się specjalne kondensatory współpracujące z systemem pomiarowym, które umożliwiają wykonanie tzw. kalibracji bezpośredniej wykonywanej pod napięciem, co jest korzystne ze względu na brak różnic w układzie pomiarowym w trakcie kalibracji jak i podczas pomiarów, i wpływa na skuteczność kalibracji lub specjalnie projektowane do tego celu zasilane bateryjnie przenośne przyrządy zawierające generator impulsów prostokątnych o bardzo stromych zboczach i kondensator o niewielkiej pojemności lub zestaw kondensatorów. Ta opcja jest skuteczna szczególnie podczas pomiarów wykonywanych w warunkach przemysłowych, gdzie kalibracja bezpośrednia jest niemożliwa chociażby ze względu na duże wymiary kondensatorów i brak dostatecznej przestrzeni na pole probiercze [1, 3, 4].

Pomiar wnz w przekładnikach prądowych

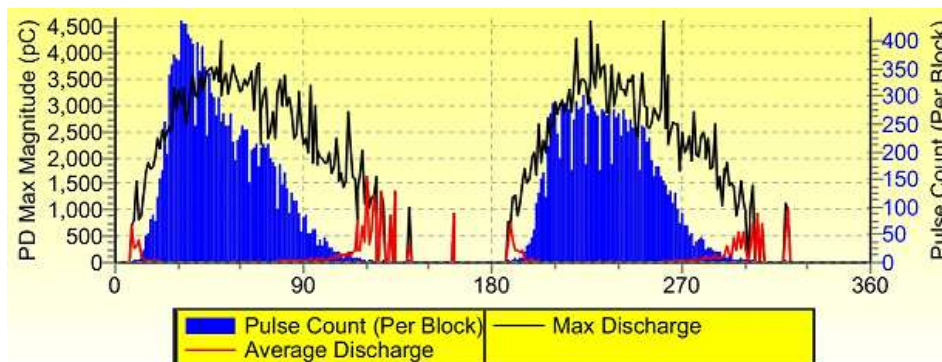
Pomiar wyładowań niepełnych wykonany został dla dwóch seryjnie produkowanych przekładników prądowych klasy 0.5 o przekładni prądowej 5 / 5A, z jednym uzwojeniem wtórnym, o mocy znamionowej 10 VA. Pierwszym z przekładników był przekładnik szerokopasmowy przeznaczony do transformacji sinusoidalnych prądów o częstotliwości od 50 Hz do 300 Hz. Drugim zaś klasyczny przekładnik do transformacji prądów o częstotliwości 50 Hz. Dla obu przekładników wykonano wcześniej szereg pomiarów ich właściwości metrologicznych [8, 9]. Pomiar wyładowań niepełnych przeprowadzono zgodnie z zaleceniami norm [2, 6] przy wykorzystaniu, jak wcześniej wspomniano, nowoczesnego narzędzia pomiarowego Hipotronics DDX 7000 należącego do Zakładu Wysokich Napięć Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej. Przed rozpoczęciem pomiarów wykonano kalibrację układu stosując zasadę kalibracji bezpośredniej pod napięciem z użyciem specjalnego kondensatora wstrzykującego Hipotronics CIC 300/DDX. Pomierzony po kalibracji poziom tła, jak wspomniano wyżej, wyniósł około 2 pC, co było zgodne z wymaganiami norm co do czułości, która powinna wynosić 5 pC.

Istotą pomiarów było porównanie otrzymanych obrazów fazowo-rozdzielczych pomiędzy klasycznym przekładnikiem, a przekładnikiem szerokopasmowym, który coraz częściej pojawiają się na rynku urządzeń pomiarowych. Napięcia probiercze, przy których wykonano pomiary określono na podstawie norm przedmiotowych i doświadczeń własnych [1, 3]. Były to napięcia: 0,8 napięcia probierczego o częstotliwości sieciowej tj. 2.4 kV oraz 1,2 najwyższego napięcia roboczego (U_m) tj. 0.86 kV. Należy jednak zaznaczyć, że badane przekładniki, zgodnie z normą [6] nie podlegają próbie wyładowań niepełnych ze względu na zbyt niskie napięcie pracy ($U_m = 0.72$ kV), na które zostały zaprojektowane (wymagania dotyczące wyładowań niepełnych stosuje się bowiem do przekładników o U_m nie mniejszym niż 7.2 kV). Dlatego też wykonane pomiary należy traktować tylko jako pomiary typu porównawczego, a nie diagnostycznego.

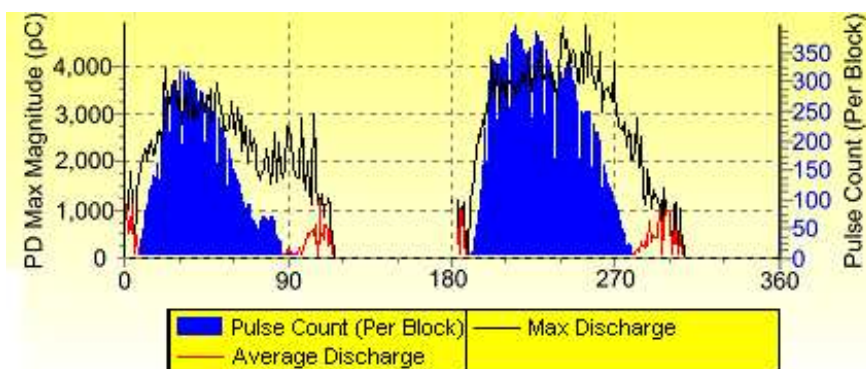
Wyniki pomiarów

We obu przypadkach, przy napięciu probierczym wnz równym 0,8 napięcia probierczego częstotliwości sieciowej (2.4 kV), zapalały się wyładowania niepełne o wartości maksymalnej ładunku pozornego na poziomie 4500 pC. Wyładowania te gasły

jednak od razu, gdy napięcie obniżono do poziomu 1,2 Um, gdzie rejestrowano tylko ładunek pozorny na poziomie tła (pojedyncze pC). Porównania dokonano więc dla obrazów fazowo-rozdzielczych odpowiadających napięciu 2.4 kV, które to obrazy przedstawione zostały poniżej na Rysunku 2.



a)



b)

Rys. 2. Obrazy fazowo-rozdzielcze z pomiarów wnz zarejestrowane przy napięciu 2.4 kV:
a) dla przekładnika 50Hz, b) dla przekładnika szerokopasmowego.

Podsumowanie

Zestaw pomiarowy wykorzystany do rejestracji obrazów fazowo-rozdzielczych zdjętych w czasie pomiaru wyładowań niezupełnych sprawdził się doskonale w sytuacji niskich wartości napięcia probierczego. Zmierzony poziom tła tj. 2 pC dowodzi, że układ może być skutecznie stosowany do pomiarów wyładowań niezupełnych dowolnych urządzeń izolacją wysokonapięciową wymagających dużej czułości pomiaru. Narzędzie pomiarowo-diagnostyczne w postaci cyfrowe miernika DDX 7000, w połączeniu z doświadczeniem wykwalifikowanej kadry naukowej, stwarza realne szanse na uzyskanie wiarygodnych wyników pomiarów oraz profesjonalną ich analizę.

Badane właściwości eksploatacyjne przekładników prądowych różniących się częstotliwością pracy wydają się niezależne od tej częstotliwości, choć zaznaczyć trzeba, że określono je na podstawie podobnych wartości zmierzonego maksymalnego ładunku pozornego przy napięciu probierczym 2.4 kV i niemal identycznych obrazów fazowo-rozdzielczych zarejestrowanych przy tym napięciu.

VII Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2012

Dla napięcia probierczego równego 1.2 maksymalnego napięcia roboczego w obu przypadkach wartość maksymalnego ładunku pozornego była na poziomie tła (poniżej określonej w normach wartości 20 pC) tzn., że po zapaleniu wyładowań gasły one natychmiast gdy napięcie zostało obniżone.

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach grantu NN511315640.

Literatura

1. Rózga P., Sikorski L., Doświadczenia z pomiarów wyładowań niezupełnych w warunkach przemysłowych z użyciem cyfrowego detektora DDX 7000, Przegląd Elektrotechniczny, nr 11b, 2010, s. 268-270.
2. IEC 60270 "High Voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements".
3. Rozga P., Problem of partial discharges measurement in selected electrical devices with the usage of DDX 7000 instrument, Proceedings of XXI International Conference „Electromagnetic Disturbances”, Białystok, 28-30.09.2011, pp. 226-230.
4. Florkowska B. i inni: Mechanizmy, pomiary i analiza wyładowań niezupełnych w diagnostyce układów izolacyjnych wysokiego napięcia, Polska Akademia Nauk, Warszawa 2001.
5. IEEE Std. C57.113-1991 "IEEE Guide for Partial Discharge Measurement in Liquid-Filled Power Transformers and Shunt Reactors".
6. PN-EN 60044-1 "Przekładniki – Przekładniki prądowe".
7. DDX 7000 User's Guide, Hipotronics Inc.
8. Kaczmarek M., Badanie charakterystyk transformacji indukcyjnego przekładnika prądowego z rdzeniem toroidalnym Ni80Fe20 dla sinusoidalnych prądów o częstotliwościach 50 Hz - 20 kHz, Przegląd Elektrotechniczny, nr 11, 2011, s. 1-4.
9. Kaczmarek M., Wyznaczanie współczynnika zawartości harmonicznych w prądzie przy wykorzystaniu pomiarów prądów po stronie pierwotnej i wtórnej przekładnika, Przegląd Elektrotechniczny, nr 11, 2010, s. 237 – 240.

Autorzy: dr inż. Paweł Rózga, Instytut Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej, ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, e-mail: pawel.rozga@p.lodz.pl; dr inż. Michał Kaczmarek, Instytut Elektroenergetyki Politechniki Łódzkiej, ul. Stefanowskiego 18/22, 90-924 Łódź, e-mail: michal.kaczmarek@p.lodz.pl;