

Moduł monitoringu wyładowań niezupełnych

Streszczenie. W ramach projektu realizowanego przez Mikronikę i Politechnikę Poznańską, współfinansowanego przez NCBiR, powstał moduł monitoringu wyładowań niezupełnych (wnz) w trybie on-line. W artykule omówiono jego strukturę oraz przyjęte zasady monitorowania wnz metodą UHF i HF. Przetworzono skonstruowane urządzenia pomiarowe i wyniki prób laboratoryjnych. Zaprezentowano także prace zmierzające do wykorzystania wykonanych urządzeń i oprogramowania w monitoringu rozdzielnic GIS.

Abstract. The on-line partial discharge (PD) monitoring module has been manufactured by Mikronika and Politechnika Poznańska in scope of a project co-financed by the NCBiR. The article discusses the module structure and the adopted rules of PD monitoring by the UHF and HF methods. The measuring devices and the results of laboratory tests are also presented. The works aiming the use of constructed structures and software in the monitoring of GIS substations are also showed. (**The partial discharge monitoring module**).

Słowa kluczowe: wyładowania niezupełne, monitoring on-line transformatora, metoda UHF, metoda HF.

Keywords: partial discharges, transformer on line monitoring, UHF method, HF method.

Monitorowanie wyładowań niezupełnych

Defekty powstające i rozwijające się w układach izolacyjnych urządzeń wysokonapięciowych z reguły generują wyładowania niezupełne (wnz). Parametry tych wyładowań są skorelowane ze stopniem degradacji urządzenia, a także z dynamiką rozwoju defektów. Doświadczenia eksploatacyjne wskazują, że wzrost intensywności wnz z reguły prowadzi do groźnej awarii urządzenia, a w przypadku transformatora energetycznego nawet do eksplozji i pożaru. Przeprowadzane systematyczne badania okresowe, w tym badania wnz metodą elektryczną, nie zapewniają pełnego bezpieczeństwa.

Z powyższych względów od wielu lat są rozwijane metody wykrywania defektów w układach izolacyjnych i śledzenia ich dynamiki za pomocą badań wnz metodami on-line. Jedynie ciągły monitoring pozwala wykryć wystarczająco wcześnie zagrożenie zbliżającej się awarii i umożliwia szybkie podjęcie właściwych decyzji. Wynika to przede wszystkim z oceny trendów zmian intensywności wyładowań i korelacji przekroczeń ustawionych wartości progowych dla intensywności wnz z innymi parametrami izolacji, takimi jak zawilgocenie izolacji papierowej, temperatura oleju, zawartość niektórych gazów palnych oraz ich wzajemne proporcje.

Na rynku dostępnych jest kilka komercyjnych systemów monitorowania wnz metodami on-line, przeznaczonych dla rozdzielnic GIS oraz transformatorów mocy. Bazują one na tak zwanej „metodzie akustycznej” lub „metodzie UHF” identyfikacji wnz. Dokładne omówienie wspomnianych metod można znaleźć w opublikowanym w zeszłym roku raporcie grupy roboczej CIGRE WG D1.29 [1].

W niniejszym opracowaniu nie będziemy szczegółowo analizować dysfunkcji dostępnych rozwiązań. Stwierdzimy jedynie, że wspomniane systemy opierają się na tylko jednej metodzie identyfikacji wnz, co utrudnia proces rozpoznawania wyładowań. Zastosowane w nich metody identyfikacji, a przede wszystkim przewodowe sposoby przesyłania sygnałów informujących o wnz, są wrażliwe na zakłócenia występujące na stacjach elektroenergetycznych. Oferowane systemy i urządzenia nie są zintegrowane lub ich integracja jest utrudniona, z systemami monitorowania pozostałych parametrów urządzeń pierwotnych, takich jak systemy monitorowania rozdzielnic GIS lub transformatorów mocy. Takie podejście nie umożliwia kompleksowej oceny stanu np. monitorowanego transformatora i uwzględnienia na przykład zapisów analizatora zawilgocenia i gazów rozpuszczonych w oleju, pracy układu chłodzenia, a także

sygnałów otrzymywanych z modułu monitorowania izolatorów przepustowych.

Problematyką badania wnz zajmuje się w naszym kraju szereg instytutów i ośrodków naukowych, między innymi na Politechnice Opolskiej, Wrocławskiej i Poznańskiej. W 2015 roku Zakład Wysokich Napięć Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej w konsorcjum z Mikroniką rozpoczął prace zmierzające do opracowania zintegrowanego, kompleksowego systemu monitorowania tych zjawisk w transformatorach mocy. Ideą przewodnią było opracowanie rozwiązania, które eliminowałoby dotychczasowe dysfunkcje dostępnych systemów. Projekt uzyskał dofinansowanie NCBiR i obecnie wszedł w końcowy etap realizacji.

Moduł monitoringu wyładowań niezupełnych możemy określić jako zespół urządzeń i oprogramowania, służący do akwizycji i analizy wnz na monitorowanym obiekcie.

W analizie wnz on-line należy uwzględniać dane z innych urządzeń monitorujących, na przykład z analizatorów zawilgocenia i zawartości gazów w oleju, informacje o zmianie pozycji przełącznika zaczepów, temperaturze uzwojeń, stanie izolatorów przepustowych oraz innych parametrach wpływających na powstawanie tych wyładowań. Stąd też moduł monitoringu wnz, omówiony w dalszej części niniejszego artykułu, został zintegrowany z systemem monitoringu on-line transformatora.

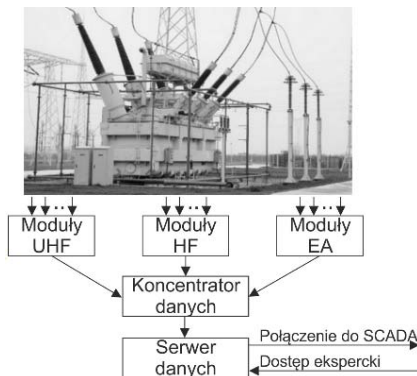
Struktura modułu monitoringu wnz

Zaprojektowany moduł monitoringu wnz może zbierać informacje o wyładowaniach za pomocą trzech metod akwizycji danych, czyli metody UHF, metody HF oraz metody akustycznej. Pozwala to nie tylko na lepszą zdolność wykrywania wnz ale także na tworzenie nowych algorytmów rozpoznawania rodzaju zaburzeń i identyfikacji ich źródła.

Poszczególne układy pomiarowe instaluje się na monitorowanym transformatorze jak pokazano na rysunku 1. Całkowicie zrezygnowano z jakiegokolwiek transmisji sygnałów analogowych, nawet na relatywnie niewielkie odległości. Układ pomiarowy umieszczono w jednym kompaktowym module wraz z odpowiednim czujnikiem lub anteną. Takie rozwiązanie zapewnia bardzo dużą odporność układu pomiarowego na wysokoenergetyczne zaburzenia elektromagnetyczne, emitowane w bardzo szerokim spektrum częstotliwości w środowisku stacji elektroenergetycznych, a w szczególności w bezpośrednim otoczeniu transformatora. Te zakłócenia stanowią istotny

problem identyfikacji i analizy on-line wnz utrudniając, a niekiedy wręcz tę analizę uniemożliwiając, z powodu wymagań odnośnie filtrowania i integracji sygnałów [2].

Skonstruowane moduły UHF to przetworniki pomiarowe zintegrowane z anteną UHF i układem transmisji światłowodowej, zainstalowane w kadzi transformatora w specjalnych oknach dielektrycznych. W modułach HF zamiast anteny UHF zainstalowano wysokoczuły przetwornik z dzielonym rdzeniem ferrytowym [3]. Przewidziano także instalację modułów pomiarowych wnz metodą akustyczną, wyposażonych w analogiczny interfejs komunikacyjny jak moduły UHF i moduły HF.



Rys.1. Struktura modułu monitorowania wyładowań niezupełnych (wnz)

Do transmisji danych z modułów pomiarowych opracowano protokół transmisji na bazie standardu IEC 61850-2-9, czyli tzw. „szyny procesowej”.

Dane z układów pomiarowych trafiają do koncentratora danych. W tym urządzeniu dane są przeformatowywane i wstępnie przetwarzane w zależności od trybu pracy modułu monitoringu wnz, który może pracować w trybie monitoringu wnz lub w trybie diagnostycznym wnz. Oba tryby pracy szerzej omówiono w dalszej treści niniejszego artykułu.

Serwer danych pobiera zagregowane dane z koncentratorów poprzez tak zwany „wirtualny koncentrator”. Struktura ta umożliwia dalsze agregacje danych oraz tworzenie funkcji logicznych wymaganych do wystawiania ostrzeżeń i ewentualnych alarmów, kierowanych do systemu dyspozytorskiego. W serwerze są zaimplementowane wszystkie algorytmy wnioskowania dotyczące wyładowań niezupełnych. Są one oparte o poszczególne wartości progowe parametrów i trendy ich zmian z uwzględnieniem korelacji z innymi monitorowanymi parametrami, dotyczącymi nie tylko wnz.

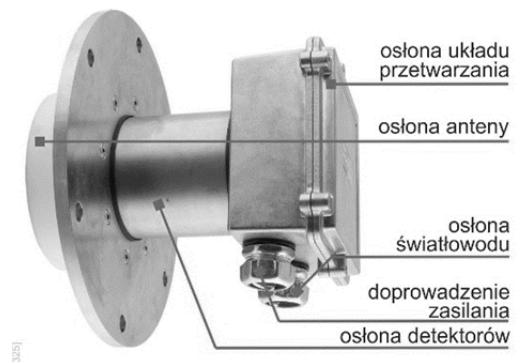
Serwer umożliwia zdalny dostęp ekspercki do systemu poprzez stronę www. W tym trybie możliwe jest tworzenie złożonych wykresów, tabel, statystyk wszystkich gromadzonych danych.

Urządzenia pomiarowe

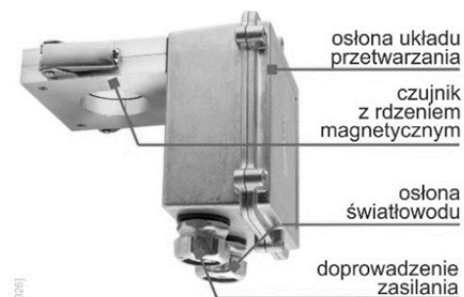
Do identyfikacji wnz metodą UHF opracowano przetwornik wnz o nazwie ISO-002-UHF przystosowany do instalacji w ceramicznych oknach rewizyjnych, instalowanych ostatnio w transformatorach mocy. Przetwornik, pokazany na rysunku 2, jest wyposażony w zintegrowaną antenę szerokopasmową o optymalnie dobranej czułości w zakresie od 300 do 1000 MHz. W korpusie osłony detektorów jest umiejscowiony zespół filtrów i integratorów dopasowujący sygnał antenowy do częstotliwości próbkowania 40 MS/s, z którą pracuje układ identyfikacji sygnału.

Identyfikacja wnz metodą HF jest wykonywana przy użyciu przetwornika pomiarowego o nazwie ISO-002-HF,

pokazany na rysunku 3, przeznaczony do instalacji na przewodzie zerowym transformatora. W tym rozwiązaniu zastosowano opracowany na Politechnice Poznańskiej szerokopasmowy, dzielony rdzeń magnetyczny o paśmie przenoszenia od 300 kHz do 15 MHz.



Rys.2. Przetwornik ISO-002-UHF do identyfikacji wnz metodą UHF



Rys.3. Przetwornik ISO-002-HF do identyfikacji wnz metodą HF

Czujnik HF również połączono konstrukcyjnie z integratorem sygnału wejściowego oraz zastosowano w nim próbkowanie o częstotliwości 40 MS/s.

Każdy moduł pomiarowy posiada niezależny, drugi kanał szybkiego próbkowania o częstotliwości 40 MS/s do zastosowań testowych oraz dodatkowy kanał pomiarowy próbkujący 4 MS/s, przeznaczony dla przebiegu napięcia odniesienia, na przykład z sondy bezprzewodowej. Przebieg tego napięcia, zmierzony synchronicznie z przebiegami wnz ułatwia późniejszą analizę danych oraz wykonywanie rozkładów amplitudowo-fazowych, czyli tak zwanych wykresów PRPD. Dodatkowe wejście pomiarowe można także wykorzystać do identyfikacji przebiegu napięcia z czujnika akustycznego wnz.

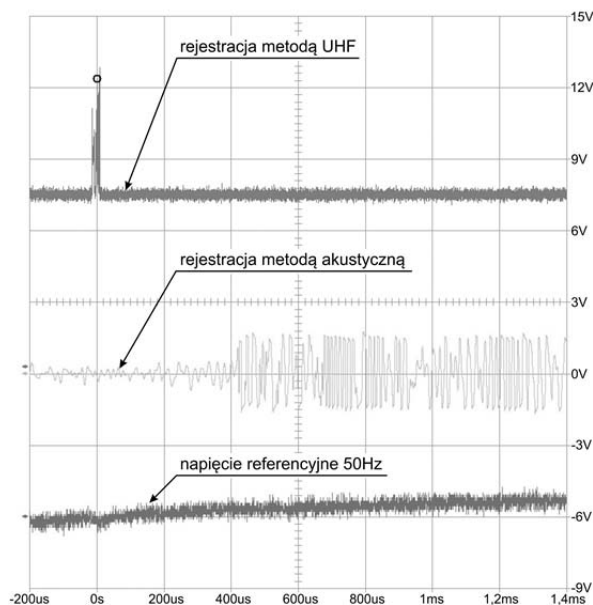
Moduły pomiarowe są wyposażone w wysokowydajne programowalne układy FPGA oraz podręczne pamięci operacyjne. Zaimplementowano w nich obsługę pomiarów oraz wstępną agregację danych niezbędną dla implementacji dwóch trybów pracy: trybu monitorowania i trybu diagnostycznego.

W trybie monitorowania, w układzie ISO-002 są także wykonane agregacje impulsów, pozwalające na wyznaczenie parametrów charakterystycznych wnz. W trybie diagnostycznym są jedynie przesyłane próbki, które są następnie analizowane poprzez oprogramowanie w koncentratorze danych i serwerze monitoringu. Takie podejście umożliwia bezstratne przesłanie danych z wybranego kanału i ich dalszą obróbkę w serwerze.

W trybie diagnostycznym minimalny czas grupowania danych pomiarowych wynosi okres sieci, czyli 20 ms. Rejestrowane impulsy wznz w metodzie UHF, HF oraz EA mają różne kształty i charakterystyki. Obwódni paczki impulsów UHF odpowiada kształtowi impulsu zarejestrowanego metodą EA, z tym, że czoło obwódni impulsów EA jest opóźnione w stosunku do odpowiadających jej impulsów UHF i HF.

Rejestracje impulsów wznz, wykonywane metodą EA mają najdłuższy czas trwania, który nie przekracza jednak 10 ms. Aby efektywnie wykonywać obliczenia, analizować korelacje pomiędzy sygnałami uzyskanymi w różnych metodach pomiarowych i także wykorzystać dane do lokalizacji uszkodzeń, wskazane jest, aby próbki przebiegów, które mają być przesłane do serwera w trybie diagnostycznym, były grupowane w ramach obejmujących pełen okres sieci. Dzięki temu możliwe jest także przesłanie do serwera paczek impulsów UHF i HF, które mają charakter oscylacji o zmiennym okresie i zmiennej amplitudzie.

Na rysunku 4 pokazano przykładowe impulsy wznz zarejestrowane za pomocą modułu ISO-002-UHF podczas prób na stanowisku badawczym w Laboratorium Wysokich Napięć Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej.



Rys.4. Impulsy wznz z układu ISO-002-UHF, zarejestrowane podczas prób na stanowisku badawczym w Laboratorium Wysokich Napięć Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej

Przebieg wyładowania zarejestrowany metodą UHF zestawiono z obrazem tego zaburzenia zarejestrowanym przez czujnik akustyczny (EA), podłączony do drugiego, synchronicznego kanału przetwornika ISO-002. Zobrazowano także fragment przebiegu napięcia referencyjnego 50 Hz, podanego na kanał próbkowania 4 MS/s. Widoczne jest charakterystyczne opóźnienie pomiędzy rejestracją metodą UHF, a metodą EA, wynikające z drogi jaką miał do przebycia sygnał akustyczny od miejsca generacji wyładowań do miejsca usytuowania czujnika EA.

W trybie monitoringu, w przetworniku ISO-002 są wykonywane operacje agregacji zmierzonych danych. W oparciu o otrzymane wyniki, wykonywana jest identyfikacja impulsu wznz. Służy do tego celu mechanizm progowo-przyrostowy, funkcjonujący w oparciu o definiowany próg dla narastania, dla opadania, szybkość zmiany i

maksymalny czas trwania impulsu; zakłada się, że impuls musi się skończyć w zadanym czasie.

Następnie do każdego wyznaczonego impulsu są przypisywane poniższe parametry:

- czas trwania, tj czas między progiem narastania, a progiem opadania,
- maksymalna amplituda,
- średnia amplituda,
- energia impulsu jako całka chwilowych wartości próbek amplitudy w czasie trwania impulsu.

W czasie 55,5µs dla UHF oraz HF oraz w czasie 1 sekundy dla EA są wyznaczane następujące parametry:

- liczba zidentyfikowanych impulsów wznz,
- maksymalna amplituda,
- średnia amplituda,
- maksymalna energia,
- średnia energia.

Czas 55,5 µs odpowiada z dobrym przybliżeniem kątowni 1° co znacznie ułatwia tworzenie rozkładów amplitudowo-fazowych z wyznaczonych parametrów. Zagregowane dane zawierające powyższe parametry w poszczególnych rekordach, obejmujących $T_p=55,5 \mu s$, są wysyłane w protokole sieciowym w każdym cyklu do koncentratora danych MPD-001

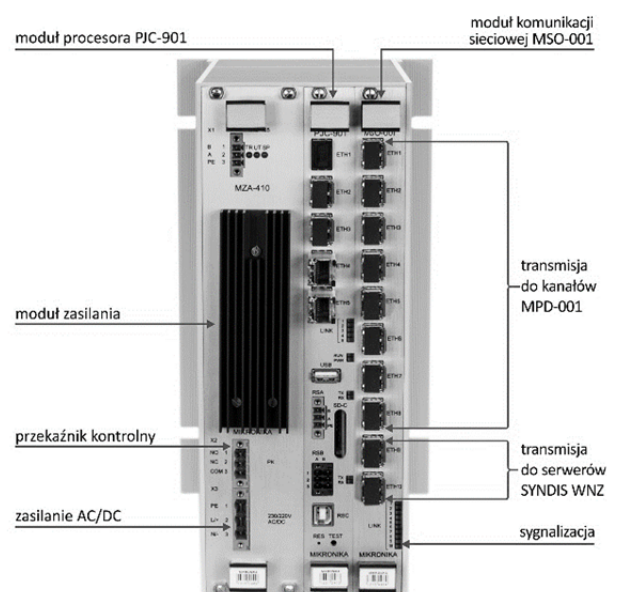
Koncentrator danych

Koncentrator danych, pokazany na rysunku 5, odbiera strumienie danych z modułów pomiarowych. Dane te są przesyłane wielomodowymi łączami światłowodowymi typu FX100 i protokołem transmisyjnym, opracowanym na bazie tzw. „szyny procesowej” wg standardu PN-EN 61850-9-2. Transmisja światłowodowa pomiędzy koncentratorem, a urządzeniem pomiarowym skutecznie ogranicza wpływ zakłóceń stacyjnych na pomiary wznz.

W trybie monitoringu w MPD-001 wyznaczane są następujące wielkości dla zidentyfikowanych zdarzeń wznz:

- liczba zidentyfikowanych zdarzeń w czasie 1 minuty/15 minut/ godziny
- naliczona energia w czasie 1 minuty, 15 minut, godziny

W MPD są przygotowane dane dla rozkładów PRPD. Gromadzone są agregacje 1 sekundowe z agregacji 50 µs dla liczby impulsów, maksymalnej energii, średniej energii, średniej amplitudy. Informacja o powyższych wielkościach jest wysyłana do serwera modułu wznz.



Rys.5. Koncentrator danych MPD-001

Serwer danych

W serwerze danych zaimplementowano moduły programowe, które realizują poszczególne funkcje związane z odbieraniem danych z koncentratorów, gromadzeniem wyników w bazie danych, obróbką i udostępnianiem wyników.

Jeden z tych modułów to tak zwany **wirtualny koncentrator danych**, który odbiera wstępnie zagregowane wielkości z koncentratorów MPD w trybie monitoringu i wykonuje ich dalsze agregacje. W trybie diagnostycznym poprzez tą strukturę przewidziany jest bezpośredni dostęp do transmitowanych próbek z wybranych kanałów akwizycji danych. Funkcjonalność ta umożliwia zgromadzenie próbek do prowadzenia dalszej analizy, wyświetlania on-line obrazów wyładowań, realizacji innych zastosowań badawczych.

W trybie monitoringu odbierane jest z koncentratora MPD-001 powiadomienie o zdarzeniu wnz, co wywołuje w serwerze zapis informacji o zdarzeniu wraz z liczbą zdarzeń, średnią energią, maksymalną amplitudą. Odczytywane są także dane 1-sekundowe dla rozkładów PRPD. Po zebraniu danych wykonywane są rozkłady PRPD, które są z kolei składowane wraz z informacją o zajściu zdarzenia.

Na podstawie zapisów w bazie danych, **moduł analityczny** wypracowuje poniższe informacje o przekroczeniach poziomów i trendów:

- wynik analizy w ostatnich 15 min w kanałach detekcji,
- status autodiagnostyki w kanałach detekcji,
- liczba zidentyfikowanych zdarzeń i ich klasyfikacja w czasie 15 min w poszczególnych kanałach,
- stan ostrzegawczy od liczby zdarzeń WNZ w ciągu 15 min oraz wartości progu detekcji w kanałach,
- stan alarmowy od liczby zdarzeń WNZ w ciągu 15 min oraz wartości progu detekcji w kanałach,
- stan ostrzegawczy oraz alarmowy od średniej gęstości, od średniego poziomu, od maksymalnego poziomu sygnału WNZ w ciągu 24 h oraz w ciągu 30 dni wraz z wartościami progów detekcji [% zakresu] we wszystkich kanałach detekcji.

Powyższe wielkości są udostępniane poprzez **moduł prezentacji** danych. Obecnie są opracowane algorytmy prezentacji wielkości odzwierciedlających aktywność wyładowań niepełnych dla systemu testowego, składającego się z dwóch przetworników ISO-002-UHF i jednego przetwornika ISO-002-HF oraz koncentratora MPD-001, prezentowane w oknie **Wyładowania niepełne** pokazanym na rysunku 6

Wyładowania niepełne

Wykresy standardowe

			TR1					
Transmisja z MPD-001			Poprawna					
Kanał			UHF1		UHF2		HF	
Status autodiagnostyki			Poprawny		Poprawny		Poprawny	
Wynik analizy WNZ w ciągu ostatnich 15 minut			Brak zdarzeń		Brak zdarzeń		Brak zdarzeń	
Poziom ostrzegania			Ostrz.	Alarm	Ostrz.	Alarm	Ostrz.	Alarm
Liczba zdarzeń WNZ w ciągu	15 minut	próg detekcji	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		wartość	0.0		0.0		0.0	
	24 godzin	próg detekcji	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		wartość	0.0		0.0		0.0	
Średnia gęstość sygnału WNZ w ciągu [% zakr.]	24 godzin	próg detekcji	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		wartość	0.0		0.0		0.0	
	30 dni	próg detekcji	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		wartość	0.0		0.0		0.0	
Średni poziom sygnału WNZ w ciągu [% zakr.]	24 godzin	próg detekcji	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		wartość	0.0		0.0		0.0	
	30 dni	próg detekcji	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		wartość	0.0		0.0		0.0	
Maksymalny poziom sygnału w ciągu [% zakr.]	24 godzin	próg detekcji	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		wartość	0.0		0.0		0.0	
	30 dni	próg detekcji	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		wartość	0.0		0.0		0.0	

Rys.6. Okno systemowe – **Wyładowania niepełne**

Można utworzyć wykresy z danych zgromadzonych w poszczególnych kanałach rejestracji dla wszystkich powyżej monitorowanych wielkości.

Funkcje **modułu raportowego** umożliwiają wykonanie kilku rodzajów raportów zbiorczych i raportów szczegółowych. Raport tematyczny z aktualnie wyświetlanego, tj. „bieżącego” okienka obrazuje on-line szczególnie interesujące dane, prezentowane w wybranym ekranie systemowym. Wydruk raportu jest przechowywany w określonej systemowo lokalizacji na serwerze.

Dla każdej jednostki jest możliwe wykonanie raportu konfigurowalnego z wszelkich danych objętych monitoringiem, w tym z danych dotyczących wyładowań niepełnych. Do raportu można załączyć tabele i wykresy. Można wykonać także raport z dziennika zdarzeń, w którym

zawarte są wszystkie informacje dotyczące sygnałów ostrzegawczych, alarmowych i awaryjnych, wypracowywanych przez moduł monitoringu.

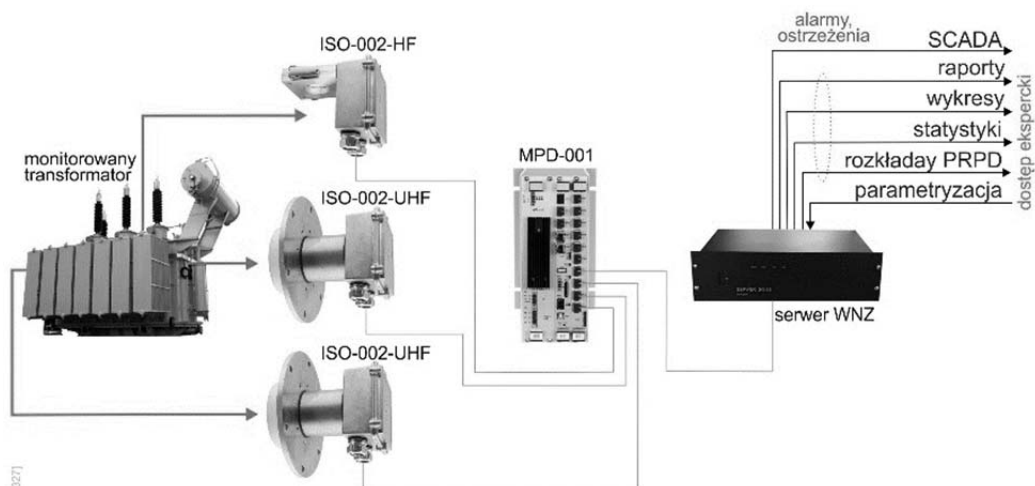
Moduł monitoringu wnz

W oparciu o skonstruowane urządzenia uruchomiono testowy moduł monitoringu wnz, przedstawiony na rysunku 7, składający się z dwóch przetworników pomiarowych ISO-002-UHF, jednego przetwornika ISO-002-HF, koncentratora MPD-001 oraz serwera SYNDIS-WNZ.

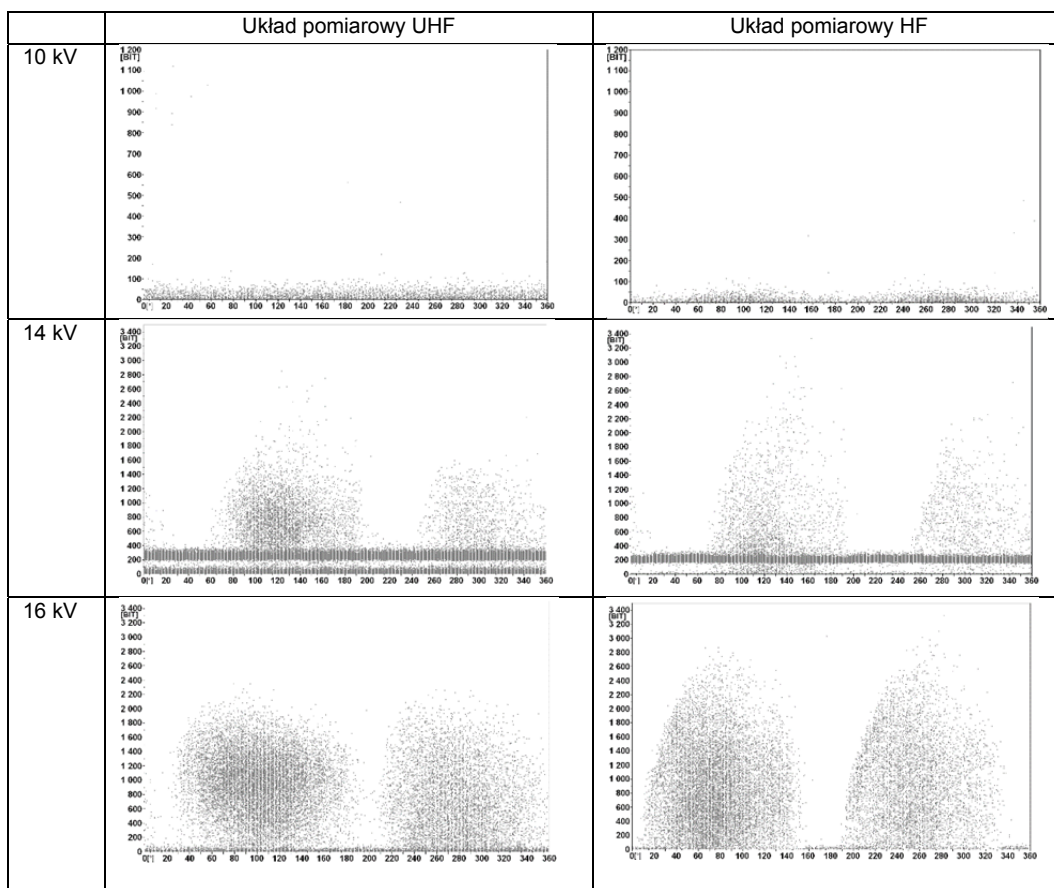
Wykonano testy modułu w Laboratorium Wysokich Napięć Instytutu Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej. Zarejestrowane rozkłady fazowe intensywności wyładowań w funkcji napięcia pokazuje rysunek 8

W rozkładach PRPD dla U_n kolejno 10 kV, 14 kV i 16 kV widać wyraźny wzrost intensywności wnz wraz ze wzrostem U_n . Jednocześnie w trakcie prób w warunkach laboratoryjnych większą czułość wykazywał przetwornik

ISO-002-HF, czyli egzemplarz wyposażony w czujnik HF niż przetwornik z anteną UHF.



Rys.7. Testowy moduł monitoringu wnz



Rys.8. Rozkłady PRPD obrazujące intensywność wyładowań otrzymane podczas testów laboratoryjnych modułu wyładowań niezupełnych

Dzięki pomocy dyrektora i pracowników fabryki EthosEnergy z Lublińca zostały także przeprowadzone w listopadzie 2017 roku testy układu pomiarowego modułu monitoringu w warunkach przemysłowych, podczas prób odbiorczych jednego z transformatorów. 330 MVA. Test

polegał na pomiarze wnz dwoma przetwornikami ISO-002-UHF, zainstalowanymi w ceramicznych oknach rewizyjnych, podczas prób napięciowych dla wartości napięć testowych 274 kV, 372 kV, 472 kV.

Integracja z systemem monitoringu transformatora

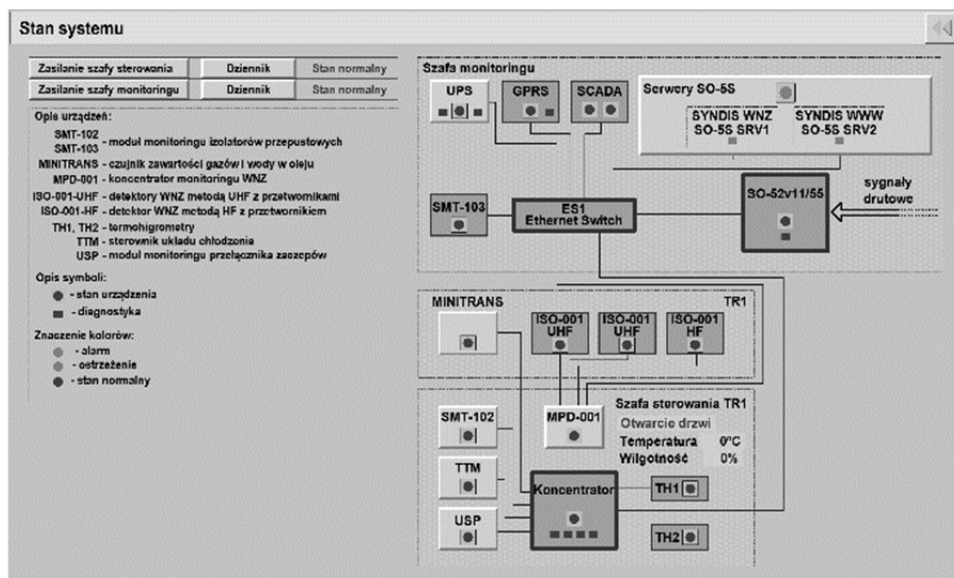
Kompleksowy system monitorowania stanu transformatora to system, w którym dane z modułu monitoringu wylądowań niezupełnych są uwzględniane w eksperckiej ocenie stanu transformatora. W odnośnych algorytmach wnioskowania łączone są informacje z różnorodnych modułów i urządzeń monitorujących takich jak analizatory zawartości wilgoci i gazów w oleju, sterowniki układu chłodzenia, moduły monitoringu przepustów, moduły monitoringu przełącznika zaczepów. W ramach realizowanego projektu opracowany moduł monitorowania wnz został zintegrowany ze stosowanym od kilku lat systemem monitoringu transformatora SYNDIS ES.

Testowy moduł akwizycji wnz metodą UHF jaki pokazano na rysunku 7, składający się z przetworników ISO-001-UHF nr 1 i nr 2 oraz modułu akwizycji wnz metodą HF czyli ISO-001-HF został zintegrowany z pozostałymi urządzeniami monitorującymi stan transformatora.

W oknie **Stan systemu** pokazanym na rysunku 9 jest pokazywany status działania i stan komunikacji z

poszczególnymi komponentami systemu SYNDIS ES. Na schemacie zobrazowane są także pozostałe urządzenia i moduły systemu takie jak analizator zawilgocenia i gazów, układ monitorowania izolatorów przepustowych, koncentrator sygnałów dwustanowych, sterownik układu chłodzenia, moduł monitoringu przełącznika zaczepów. W normalnym, poprawnym stanie odpowiednie znaczniki sygnalizacyjne pokazywane są w kolorze zielonym. Brak łączności z danym elementem lub jego nieoperatywność jest sygnalizowana kolorem błękitnym, a w przypadku stwierdzenia stanu ostrzegawczego pojawia się kolor żółty. Stan alarmowy sygnalizowany jest kolorem pomarańczowym.

Wersja testowa systemu jest gotowa do próbnej instalacji i dalszych testów obiektowych. Testy te są niezbędne przede wszystkim w celu weryfikacji algorytmów wnioskowania i oceny jakości monitorowania wylądowań niezupełnych w rzeczywistych warunkach stacyjnych.



Rys.9. Okno systemowe – **Stan systemu**

Monitorowanie wylądowań niezupełnych w rozdzielnicach GIS

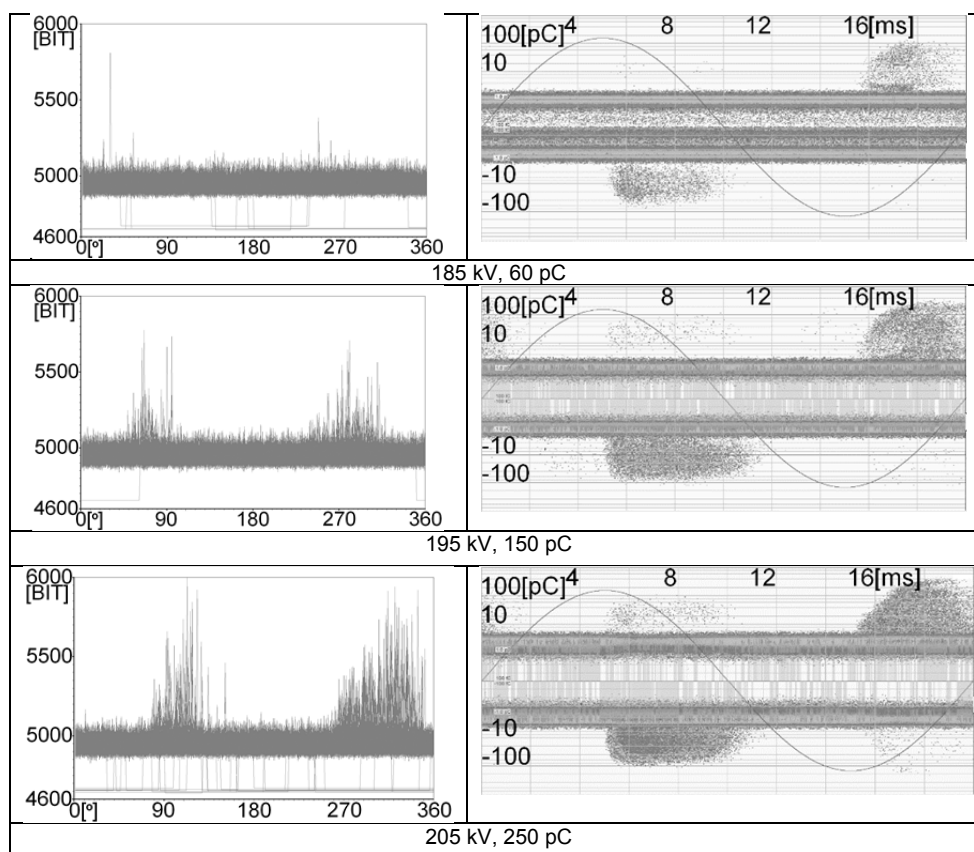
Przeprowadzono praktyczną ocenę przydatności opracowanych rozwiązań do monitorowania wnz w rozdzielnicach GIS posługując się skonstruowanymi przetwornikami pomiarowymi oraz opracowanym oprogramowaniem wizualizującym dane. Próby te wykonano dla rozdzielnic gazowej typu OPTIMA 145 produkcji Elektrobudowa Konin, w której zainstalowano niesprawny przedział izolacyjny, wykazujący podwyższony poziom wylądowań niezupełnych. Wykonano specjalizowaną antenę, którą zamocowano na osłonie bariery izolacyjnej przedziału gazowego i połączono z detektorem DUHF-001 produkcji Mikroniki, jak to pokazano na rysunku 10. Detektor przystosowano do odbioru sygnałów o częstotliwości powyżej 1 GHz, odpowiednio do typowej charakterystyki wnz w rozdzielnicach gazowych. Sygnał z detektora doprowadzono do przetwornika pomiarowego ISO-002-UHF, wykorzystywanego do testów wnz w transformatorach.

Wykonano serię pomiarów wnz za pomocą zadajnika firmy HighVolt dla kolejno zadawanych napięć: 180 kV, 185 kV, 190 kV, 195 kV, 200 kV, 205 kV, 210 kV. Każdorazowo wylądowania niezupełne rejestrowano w czasie 1 minuty za

pomocą referencyjnego układu pomiarowego firmy Omikron oraz urządzeń i oprogramowania Mikroniki. Uzyskane obrazy rejestrowanych intensywności wylądowań dla kilku wartości napięć prezentuje rysunek 11.



Rys.10. Sonda wnz z detektorem, zainstalowana na oknie dielektrycznym jednego z przedziałów izolacyjnych rozdzielnic gazowej OPTIMA 145



Rys.11. Obraz intensywności wz w testowanej rozdzielnicy GIS z sondy zainstalowanej na oknie dielektrycznym i w pomiarowym układzie referencyjnym HighVolt

Intensywność wz, rejestrowana poprzez układ referencyjny jest większa od rejestrowanej w układzie pomiarowym. Przyczyną takiego obrazu zjawisk może być to, że układ pomiarowy identyfikował wz poprzez sondę umieszczoną w oknie dielektrycznym, wykonanym w barierze izolacyjnej. Czujniki pomiarowe układu referencyjnego działają na zasadzie elektrycznej i są umieszczone w innych miejscach. Otrzymane wyniki są zatem nieporównywalne. Wzrost intensywności obserwowanych wyładowań i stały poziom szumów pozwala jedynie na stwierdzenie, że rejestrowane zjawiska w istocie zachodziły wewnątrz uszkodzonego przedziału izolacyjnego, a nie pochodziły np. od zakłóceń zewnętrznych.

Podsumowanie

W ramach wspólnego projektu, Mikronika wraz z Politechniką Poznańską skonstruowała moduł monitoringu wyładowań niepełnych z całkowicie światłowodową transmisją danych, o parametrach wystarczających do identyfikacji wyładowań niepełnych.

Dotychczas wykonane testy potwierdzają bardzo dobre właściwości pomiarowe i dużą odporność zintegrowanego układu pomiarowego z anteną i światłowodowym łączem komunikacyjnym na zakłócenia stacyjne.

Integracja modułu monitoringu wz z systemem monitoringu transformatora daje możliwość poprawy jakości identyfikacji wyładowań niepełnych, a z drugiej strony umożliwia tworzenie kompleksowych algorytmów wnioskowania o stanie monitorowanej jednostki.

Zastosowanie opracowanych rozwiązań dla monitorowania wz w GIS wymaga poprawy czułości i selektywności identyfikacji wz, zatem przewidywane są dalsze prace konstrukcyjne nad doбором układu antenowego i poprawy jakości filtracji sygnałów.

Artykuł „Moduł monitoringu wyładowań niepełnych” współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju ze środków Programu Badań Stosowanych w ramach projektu PBS3/A4/12/2015 pt „System monitoringu wyładowań niepełnych w transformatorze energetycznym oparty na wykorzystaniu metod EA, HF i UHF”.

Autorzy: mgr inż. Marek Andrzejewski, Mikronika, ul. Wykopy 2/4, 60-001 Poznań, E-mail: marek.andrzejewski@mikronika.com.pl; mgr inż. Wiesław Gil, Mikronika, E-mail: wieslaw.gil@mikronika.com.pl; mgr inż. Wiktor Masłowski, Mikronika, E-mail: wiktor.maslowski@mikronika.com.pl.

LITERATURA

- [1] CIGRE WG D1.29 Report Partial Discharges in Transformers, ISBN: 978-2-85873-3798-8, February 2017
- [2] Zydroń P., Roehrich J., Bonk M., Analiza czasowo-częstotliwościowa sygnałów rejestrowanych podczas wyładowań niepełnych, ISSN 0033-2097, R.92, *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 10/2016
- [3] Alvarez F., Garnacho F., Ortega J. et al., Application of HFCT and UHF Sensors in On-line Partial Discharge Measurements for Insulation Diagnosis of High Voltage Equipment, ISSN 1424-8220, *Sensors*, 2015