

doi:10.15199/48.2016.10.02

## Wielomodułowy system monitoringu wyładowań niepełnych oparty na metodach EA, HF i UHF

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono koncepcję wielomodułowego systemu monitoringu wyładowań niepełnych w wysokonapięciowych urządzeniach elektroenergetycznych wykorzystującego metody pomiaru sygnału emisji akustycznej (EA) oraz sygnału wysokiej (HF) i ultra wysokiej częstotliwości (UHF). Przedstawiono zagadnienia związane z projektowaniem i wykonaniem uniwersalnych układów do pomiaru, detekcji i akwizycji sygnałów pochodzących od wyładowań niepełnych.

**Abstract.** The paper presents the concept of a multi-module system for partial discharge monitoring in high voltage electrical equipment using acoustic emission (EA), high frequency (HF) and ultra high frequency (UHF) methods. There was presented issues related to the design and implementation of the universal systems for measurement, detection and acquisition of PD signals. (**Multi-module system for partial discharge monitoring using AE, HF and UHF methods**).

**Słowa kluczowe:** wyładowania niepełne (wnz), monitoring wnz, niekonwencjonalne metody detekcji wnz.

**Keywords:** partial discharge (PD), PD online monitoring, unconventional PD detection methods.

### Wstęp

Ponad 40-letnie doświadczenia w zakresie stosowania pomiarów wyładowań niepełnych (wnz) w diagnostyce urządzeń elektroenergetycznych potwierdziły ich wysoką wiarygodność i znaczenie dla prawidłowej oceny stanu technicznego izolacji wysokonapięciowej [1-2]. Obecne wyzwania w tej dziedzinie nauki skoncentrowane są na opracowaniu metod i skonstruowaniu aparatury, która umożliwi monitorowanie aktywności wnz w trybie on-line, w miejscu zainstalowania danego urządzenia. Możliwości takie dają tzw. niekonwencjonalne metody detekcji wnz, których działanie opiera się na śledzeniu różnego rodzaju zjawisk fizycznych świadczących w pośredni sposób o aktywności wnz. Wśród metod powszechnie uznawanych za najbardziej aplikacyjne należy wymienić metody pomiaru sygnału emisji akustycznej (EA), wysokiej i bardzo wysokiej (HF/VHF) lub ultra wysokiej częstotliwości (UHF) [3]. Przyjmuje się, że z wykorzystaniem wymienionych wyżej metod możliwy jest monitoring wnz w urządzeniach elektroenergetycznych typu kabel, transformator i rozdzielnica (GIS). Oczywiście, ze względu na specyfikę tych urządzeń, poszczególne metody będą w większym lub mniejszym stopniu nadawały się do tego zastosowania. Dla przykładu, metodę UHF z powodzeniem stosuje się w GIS-ach oraz transformatorach, metodę HF/VHF w kablach a metodę EA głównie w transformatorach. Poglądowo przedstawiono to na rysunku 1.

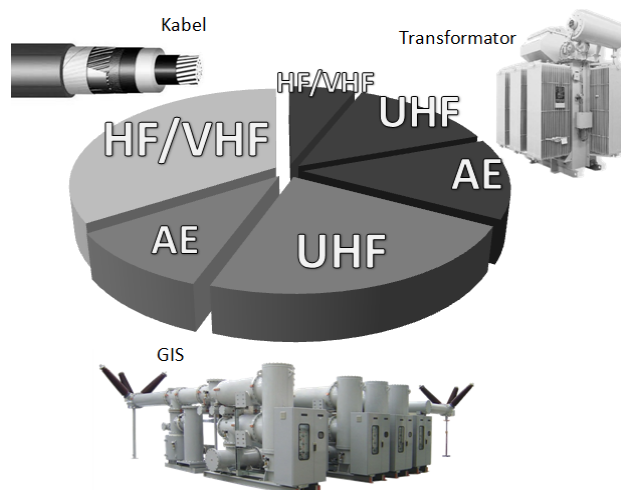
Każda z wymienionych metod niekonwencjonalnych posiada wady i zalety i trudno by było wskazać wśród nich metodę uniwersalną. W związku z tym warto rozważyć możliwość zbudowania systemu, który pozwoliłby na łączenie wymienionych wyżej metod w jeden system.

Wielomodułowy system pomiaru wnz z pewnością posiada wiele zalet, do których przede wszystkim należą:

- możliwość wyboru metody w zależności od obiektu,
- możliwość wykorzystania dwóch metod łącznie (np. EA i UHF do lokalizacji),
- możliwość eliminowania błędnych wskazań (metody bazują na innych zjawiskach a sygnały propagują się inną drogą i są podatne na inne zakłócenia),
- możliwość generowania parametrów łącznych pochodzących z dwóch różnych metod (pomocne w procedurze identyfikacji defektów).

Teoretycznie taki hybrydowy system można zbudować na bazie dostępnej obecnie na rynku aparatury, ale koszt takiego połączonego urządzenia byłby z pewnością nieprzekraczalną barierą do szerokiego jego

upowszechnienia. Wydaje się więc, że z ekonomicznego i naukowego punktu widzenia uzasadnione jest zbudowanie układu, w którym sygnały z poszczególnych detektorów będą zbierane i przetwarzane za pomocą jednego uniwersalnego modułu.

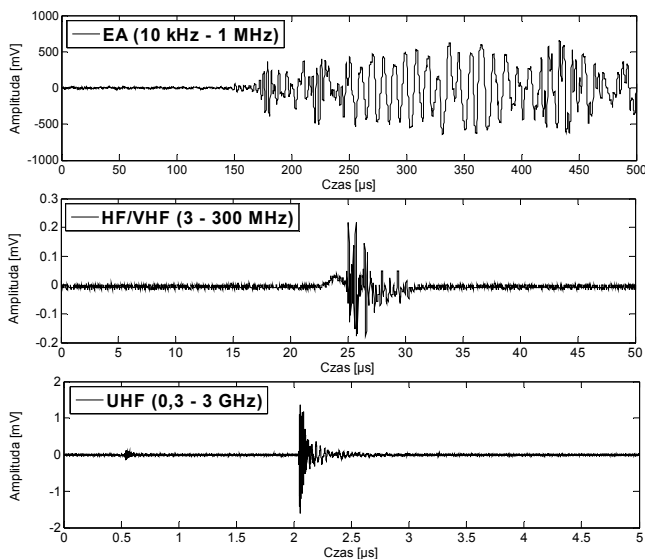


Rys.1. Możliwości zastosowania poszczególnych metod monitoringu wnz do oceny stanu technicznego różnych urządzeń elektroenergetycznych

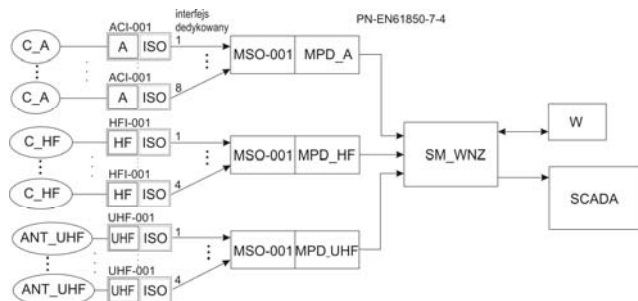
Ze względu na parametry sygnałów rejestrowanych w danej metodzie, opracowanie uniwersalnego systemu monitoringu wnz stanowi duże wyzwanie, ponieważ:

- częstotliwości sygnałów pomiarowych w poszczególnych metodach znacznie się od siebie różnią (rys. 2),
- amplitudy sygnałów rejestrowanych przez czujniki w poszczególnych metodach mogą także znacznie się różnić (od kilku miliwoltów do kilkunastu woltów),
- różne jest także rozmieszczenie tych czujników, w związku z tym często monitorują one odrębne części układu izolacyjnego.

Wydaje się jednak, że idąc w pewnych kwestiach na kompromis np., rezygnując z pełnej akwizycji niektórych sygnałów na rzecz detekcji zdarzeń, co wydaje się być bardziej istotne z punktu widzenia monitoringu wnz oraz biorąc pod uwagę kryterium ekonomiczne, wydaje się możliwe stworzenie systemu, który spełniać będzie postawione wyżej wymagania, czemu poświęcony jest niniejszy artykuł.



Rys.2. Porównanie przebiegów czasowych sygnałów pochodzących od wyładowań niepełnych zarejestrowanych różnymi metodami (EA, HF/VHF, UHF)



#### Przyjęte oznaczenia

- C\_A** – przetworniki emisji akustycznej, umieszczone w obudowie odpornej na ekstremalne warunki atmosferyczne, współpracujące z układem kondycjonującym sygnały EA; mocowane na kadzi monitorowanej jednostki za pomocą uchwytów magnetycznych
- A** – układ kondycjonujący i przetwarzający sygnały emisji akustycznej
- ISO** – interfejs optyczny wielomodowy w standardzie FX10
- ACI-001** – przetwornik pomiarowy zawierający układ „A” oraz interfejs optyczny ISO, zintegrowany w tej samej obudowie
- C\_HF** – przekładniki prądowe wysokiej częstotliwości.
- HF** – układ kondycjonujący i przetwarzający sygnały wysokiej częstotliwości
- HFI-001** – przetwornik pomiarowy zawierający układ „HF” oraz interfejs optyczny ISO, zintegrowany w tej samej obudowie
- ANT\_UHF** – anteny UHF do detekcji wyładowań niepełnych
- UHF** – układ kondycjonujący i przetwarzający sygnały ultra wysokiej częstotliwości
- UHF-001** – przetwornik pomiarowy zawierający układ UHF oraz interfejs optyczny ISO
- MSO-001** – karta interfejsów optycznych
- MPD\_A** – moduł przetwarzania danych uzyskanych metodą emisji akustycznej
- MPD\_HF** – moduł przetwarzania danych uzyskanych metodą HF
- MPD\_UHF** – moduł przetwarzania danych uzyskanych metodą UHF
- SM\_WNZ** – serwer danych
- SCADA** – nadrzędny, stacyjny system monitoringu (np. SYNDIS)

Rys.3. Schemat ideowy wielomodułowego systemu monitoringu wnz

#### Koncepcja wielomodułowego systemu monitoringu wnz

Jak już wspomniano w poprzednim rozdziale, zaprojektowany system monitoringu wyładowań niepełnych będzie łączył w sobie trzy metody detekcji wnz, tj. metodę emisji akustycznej (EA), metodę wysokiej

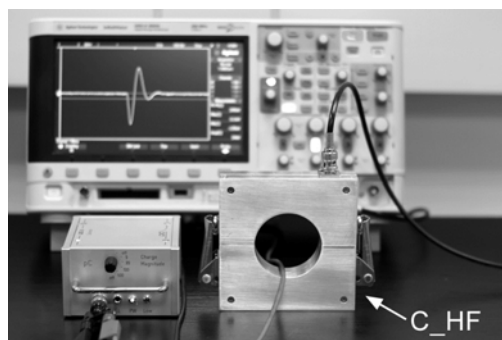
częstotliwości (HF) oraz metodę ultra wysokiej częstotliwości (UHF). Schemat ideowy struktury wielomodułowego systemu pomiaru wnz pokazano na rysunku 3.

Poszczególne układy będą rejestrowały sygnały pochodzące od wnz za pomocą odpowiednich detektorów (przetworników EA, przekładników prądowych wysokiej częstotliwości oraz anten UHF). Przewidziano, że system będzie wyposażony w 8 kanałów dla metody EA oraz po cztery kanały dla metod HF i UHF, co pozwoli w pełni monitorować nawet tak duży obiekt jak transformator energetyczny. Sygnał analogowy z detektorów będzie przetwarzany przez układy kondycjonujące i rejestrujące, które będą dostosowane konstrukcyjnie i funkcjonalnie do wspomnianych technik pomiarowych. Zadaniem układu kondycjonującego sygnał będzie takie dostosowanie jego parametrów poprzez wzmocnienie, filtrację sygnału, konwersję pasma przenoszenia i dobór zakresu pomiarowego, aby w poszczególnych torach pomiarowych można było zastosować zunifikowany układ przetwarzania sygnału na postać cyfrową. Układy rejestrujące będą realizowały funkcje związane z akwizycją i analizą sygnału. Zunifikowany moduł cyfrowy MSO, pozwalający na przesył rejestracji z poszczególnych kanałów, pozwoli z kolei na eliminację zakłóceń, które stanowią istotny problem dla wielu rozległych systemów monitoringu. Moduły MPD według przyjętych założeń będą przysyłać zagregowane dane do serwera SM\_WNZ poprzez szybkie łącza światłowodowe typu FX1000 oraz będą posiadały istotną możliwość wystawiania ostrzeżeń w protokole PN-EN 61850 do systemów sterowania i nadzoru, dotyczących stanu aktywności wnz. Serwer SM\_WNZ będzie zbierał informacje, ostrzeżenia, alarmy i zagregowane dane dotyczące aktywności wnz nawet z kilku monitorowanych urządzeń. Ten system informatycznego nadzoru powstanie na bazie sprawdzonego oprogramowania SYNDIS ES, które monitoruje obecnie pracę kilkudziesięciu transformatorów stacyjnych dużej mocy w Polsce [4].

#### Osiągnięcia w zakresie prac rozwojowych nad wielomodułowym systemem monitoringu wnz

##### Detektory wyładowań niepełnych

W przypadku modułu HF rolę detektorów wyładowań niepełnych pełnią przekładniki prądowe wysokich częstotliwości. Zastosowanie dzielonego rdzenia ferrytowego (Mn-Zn lub Ni-Zn) pozwala na ich szybki i bezproblemowy montaż na przewodzie uziemiającym punkt gwiazdowy uzwojenia transformatora. Przy odpowiednich modyfikacjach możliwa jest również instalacja na zacisku pomiarowym izolatora przepustowego. Na rysunku 4 przedstawiono prototypowy, szerokopasmowy detektor wnz przystosowany do pracy w szerokim zakresie częstotliwości (od 300 kHz do 15 MHz).

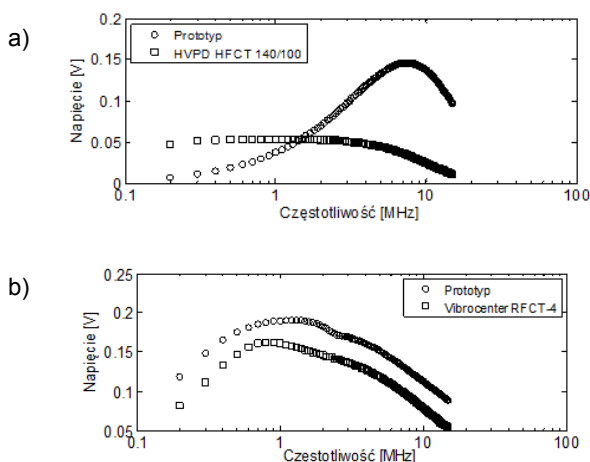


Rys.4. Zdjęcie prototypowego, szerokopasmowego detektora C\_HF (300 kHz - 15 MHz) wykonane podczas jego kalibracji

Proces projektowania przekładników prądowych w.cz. składał się z następujących etapów: (a) dobór materiału magnetycznego rdzenia dla detektora przeznaczanego do pracy w paśmie średnich częstotliwości (od 300 kHz do 3 MHz); analizie poddano m.in. takie parametry jak: względna przenikalność magnetyczna, rezystywność, współczynnik strat dielektrycznych, indukcja nasycenia i indukcja resztkowa, (b) dobór materiału magnetycznego rdzenia dla detektora przeznaczanego do pracy w paśmie wysokich częstotliwości (do 30 MHz), (c) dobór geometrii rdzenia, (d) opracowanie technologii obróbki mechanicznej rdzenia (m.in. w celu wykonania szczeliny powietrznej), (e) dobór odpowiedniego przewodu (licy w.cz.) na wykonanie uzwojenia wtórnego, (f) dobór materiału izolacyjnego licy wysokiej częstotliwości, (g) dobór liczby zwojów uzwojenia wtórnego, (h) dobór i sposób mocowania złącza sygnałowego, (i) opracowanie koncepcji ekranowania od zewnętrznych zakłóceń elektrycznych, (j) wykonanie prototypowych przekładników prądowych w.cz., (k) zaprojektowanie, zestawienie i oprogramowanie stanowiska laboratoryjnego do testowania prototypowych przekładników w.cz., (l) porównanie prototypów z układami komercyjnymi, (m) przeprowadzenie testów w układzie ze sztucznym (kalibrator wnz) i rzeczywistym źródłem wyładowań niezupełnych.

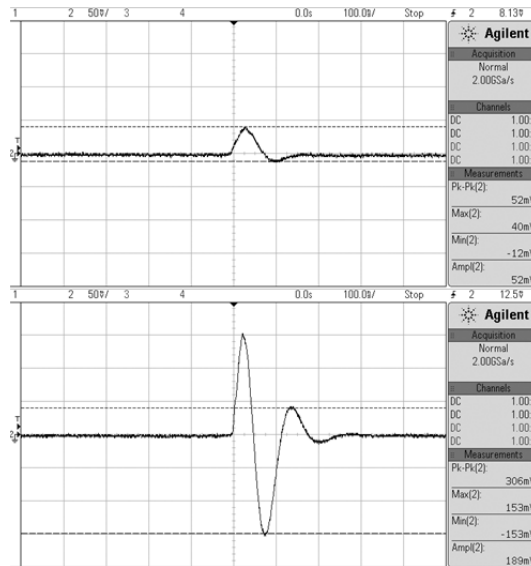
Autorzy założyli, że projektowane detektory  $C_{HF}$  powinny charakteryzować się lepszymi (lub co najmniej tak samo dobrymi) parametrami jak układy komercyjne dostępne na rynku. Najważniejsze parametry (pasmo przenoszenia, czułość detekcji wnz) zbudowanych prototypów były następnie porównywane z popularnymi przedstawicielami przekładników komercyjnych. W tym celu wykorzystano przekładnik typu RFCT-4 (Vibrocenter) o wysokiej czułości oraz popularny, szerokopasmowy przekładnik typu HFCT 140/100 produkcji HVPD.

Badania porównawcze prototypowego przekładnika prądowego z rdzeniem wykonanym z ferrytu niklowo-cynkowego (pasmo przenoszenia od 300 kHz do 50 MHz) z jego komercyjnym odpowiednikiem (HVPD HFCT 140/100) wykazały, że charakteryzuje się on prawie 3-krotnie wyższą czułością (rys. 5a). Analogiczne badania porównawcze przeprowadzono dla prototypów z rdzeniem wykonanym z ferrytu manganowo-cynkowego, których częstotliwość rezonansowa nie przekraczała 3 MHz. Porównując z komercyjnymi odpowiednikami (Vibrocenter RFCT-4), w najlepszym wypadku udało się uzyskać ok. 15% wzrost czułości (rys. 5b).

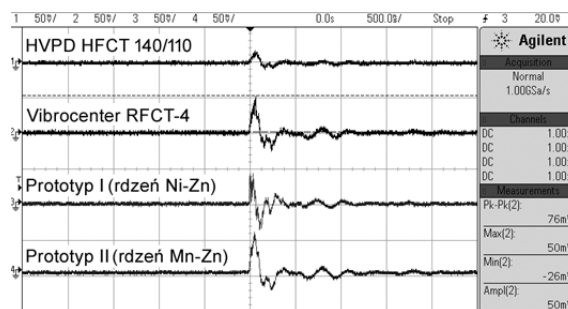


Rys.5. Charakterystyki przenoszenia: a) prototypowego przekładnika z rdzeniem Ni-Zn i komercyjnego odpowiednika typu HFCT 140/110, b) prototypowego przekładnika z rdzeniem Mn-Zn i komercyjnego odpowiednika typu RFCT-4

Badania porównawcze prototypowych i komercyjnych przekładników prądowych wysokiej częstotliwości wykonano również przy użyciu standardowego (zgodnego z normą PN-EN 60270) kalibratora impulsów wzorcowych oraz w laboratorium wysokich napięć, gdzie w układach modelowych izolacji papierowo-olejowej generowano wyładowania niezupełne. Wyniki badań potwierdziły, że opracowane prototypy charakteryzują się wysoką czułością detekcji wnz (rys. 6 i 7).



Rys.6. Charakterystyki impulsowe stanowiące odpowiedź na impuls o ładunku 500 pC generowany przez standardowy kalibrator wyładowań niezupełnych, które uzyskano dla przekładnika prądowego: (a) HVPD HFCT 140-100, (b) prototypu z rdzeniem ferrytowym Ni-Zn



Rys.7. Wybrane przebiegi czasowe impulsów wyładowań niezupełnych zarejestrowane przez komercyjne i prototypowe przekładniki prądowe w.cz. w układzie modelowym izolacji papierowo-olejowej, w którym generowano wnz powierzchniowe

W ramach przeprowadzonych prac badawczo-rozwojowych, których przebieg szczegółowo opisano w [9] zaprojektowano, wykonano i przetestowano wersje produkcyjne stykowych przetworników piezoelektrycznych, które będą pełniły funkcję detektorów modułu emisji akustycznej. Aktualnie finalizowane są prace, których celem jest opracowanie anten UHF przystosowanych do instalacji w zaworze spustowym oleju i oknie dielektrycznym kadzi transformatora. Przyjęte przez autorów metody projektowania i optymalizacji anten UHF do detekcji wnz opisano m.in w [10].

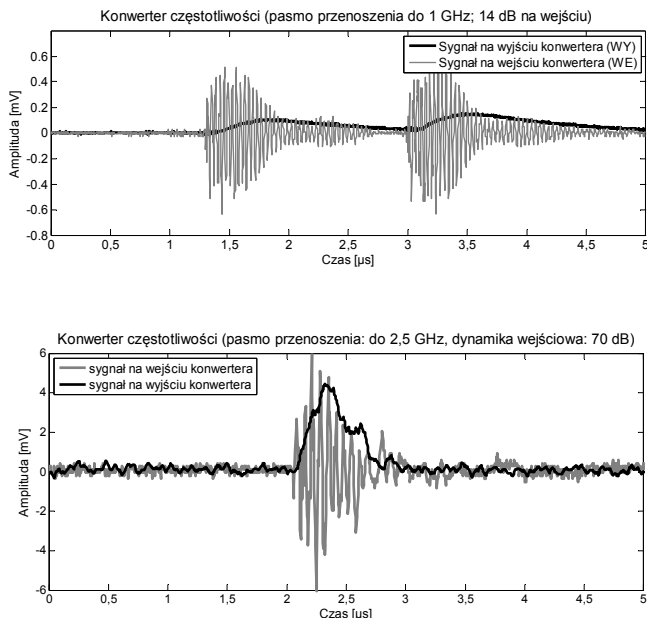
#### Układy kondycjonujące i przetwarzające sygnały

Doświadczenia zespołu w zakresie wdrażania systemów pomiaru wnz z wykorzystaniem metody HF i EA (*PDTracker* [5-6]) pokazały, że pomiar i akwizycja sygnałów o częstotliwości rzędu dziesiątek MHz nie stanowi obecnie

problemu technicznego i nie wiąże się z dużymi nakładami finansowymi. Tory pomiaru sygnału EA i HF wymagają oczywiście opracowania odpowiednich filtrów, wzmacniaczy i modułów kondycjonowania, aby poprawić parametry sygnałów, które ze względu na gabaryty monitorowanego obiektu mogą być mocno wytłumione, ale nie jest to zadanie szczególnie trudne. W testach prototypowych układów wzmacniaczy udało się uzyskać regulowane wzmocnienie na poziomie 20-60 dB dla sygnału EA oraz 15-20 dB dla sygnału HF.

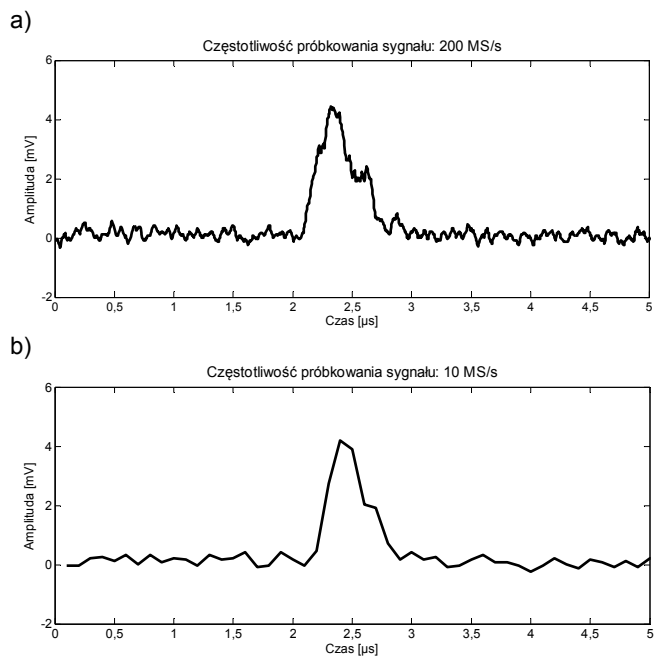
Znacznie poważniejszym problemem do rozwiązania jest z pewnością obsługa modułów UHF, ponieważ założeniem systemu jest, aby również ten tor pomiarowy był obsługiwany z wykorzystaniem tych samych przetworników A/C, co w metodach EA i HF. Wydaje się, że jedynym sposobem na to, aby sygnał UHF był próbkowany z mniejszą częstotliwością, jest jego przekształcenie w dziedzinie częstotliwości. Wiąże się to oczywiście z utratą pewnych informacji, ale w systemach monitoringu ważniejsza jest wiarygodna detekcja i ocena intensywności wzn niż wierne odwzwierciedlenie przebiegów czasowych. Realizację tego zadania zdecydowano się uzyskać z wykorzystaniem układu konwertera częstotliwości.

Aby przeprowadzić tego typu przekształcenie sygnału pomiarowego należy zastosować układ bazujący na wzmacniaczach operacyjnych o odpowiednich parametrach, szczególnie w zakresie szybkości działania i pasma częstotliwości. Na rysunku 8 pokazano dla porównania efekt działania układu bazującego na przetworniku 1 GHz, charakteryzującego się niewielką dynamiką na wejściu (14 dB), oraz szybkiego układu pracującego w paśmie do 2,5 GHz i z dużą dynamiką (70 dB). Jak można zauważyć, w przypadku pierwszego układu, sygnał po przejściu przez konwerter jest nie tylko przesunięty w fazie, ale również wyraźnie mniejsza jest jego amplituda. W przypadku drugiego prototypowego układu, sygnał po przejściu przez konwerter jest minimalnie opóźniony w czasie, a jego amplituda jest tylko nieznacznie zmniejszona w stosunku do sygnału oryginalnego.



Rys.8. Porównanie działania dwóch prototypowych konwerterów częstotliwości

Tak przekonwertowany sygnał analogowy można próbkować na poziomie 10 MS/s, przy zachowaniu charakteru rejestrowanego sygnału (rys. 9), co wydaje się rezultatem w pełni satysfakcjonującym.



Rys.9. Porównanie przebiegu impulsu napięciowego wzn po konwersji częstotliwości zarejestrowanego z częstotliwością próbkowania: a) 200 MS/s, b) 10 MS/s

### Moduł komunikacji

Jak już wcześniej wspomniano, tworzony system będzie wyposażony w moduły komunikacyjne oparte o transmisję światłowodową. Za takim rozwiązaniem przemawia wiele argumentów. Po pierwsze układ może transmitować dane na większe odległości bez obawy o utratę jakości sygnału. Po drugie sygnał cyfrowy nie jest tak narażony na zakłócenia jak sygnały analogowe (szczególnie, gdy urządzenia pomiarowe pracują w obrębie stacji elektroenergetycznej wysokiego napięcia). I wreszcie po trzecie system taki jest systemem uniwersalnym, każdy tor pomiarowy niezależnie od zastosowanej metody w niewielkiej odległości za detektorem i układem kondycjonowania i przetwarzania sygnału będzie identyczny.

Na rysunku 10 pokazano gotowy prototyp układu, którego zadaniem jest akwizycja i przekształcenie sygnału analogowego na postać cyfrową. Prototyp przeszedł pomyślnie testy symulacyjne i w najbliższym czasie, wraz z pozostałymi modułami, zostanie poddany badaniom w układach rzeczywistych.



Rys.10. Moduł komunikacji światłowodowej

### Moduł przetwarzania danych

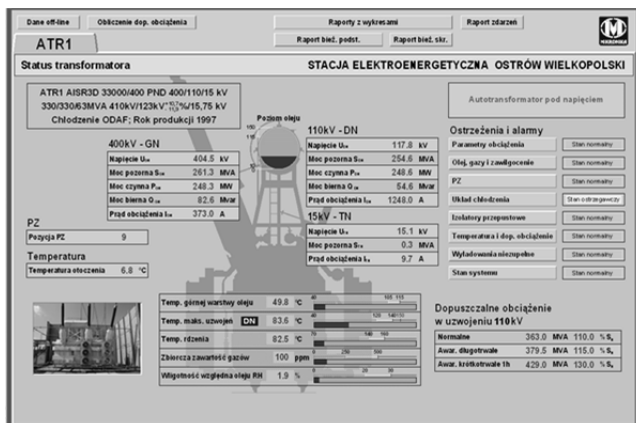
Zadaniem modułu MPD będzie odbiór danych przekazanych strumieniowo w postaci cyfrowej z modułu komunikacji MSO oraz wstępna analiza danych. Struktura sprzętowa układu będzie uniwersalna niezależnie od zastosowanej na wejściu metody pomiarowej, a różnice będą wynikały z działania oprogramowania, które sygnał pomiarowy będzie przetwarzało. Analiza sygnału

realizowana przez moduł będzie obejmowała wyznaczanie podstawowych parametrów sygnału (wartość maksymalna i średnia amplitudy oraz energii sygnału, liczba zdarzeń w określonym przedziale czasu). Uzyskane wyniki będą wprost pozwalały na podstawową ocenę aktywności (dynamiki zmian, trendów itp.) wg sprawdzonych algorytmów zaimplementowanych w urządzeniu *PDtracker* (algorytmy zostały dokładnie opisane w [7]). Pakiety przetworzonych danych pomiarowych, które urządzenie przekazuje do systemu nadrzędnego, będą przygotowane w taki sposób, aby możliwa była ich dalsza zaawansowana analiza, w tym np. przeprowadzenie procedur identyfikacji lub lokalizacji defektów.

### Serwer danych

Moduł serwera danych będzie oparty o zaawansowany i przetestowany na wielu jednostkach system monitoringu transformatora energetycznego SYNDIS ES firmy Mikronika (rys. 11). System ten pozwala na zaawansowaną akwizycję danych pomiarowych oraz zdarzeń towarzyszących pracy urządzeń rejestrujących (błędy, uszkodzenia, przekroczenia zakresów itd.). Posiada on wbudowane mechanizmy archiwizacji danych, prezentacji wykresów i raportowania, które mogą być konfigurowane przez użytkownika. Równoczesna obsługa kilku modułów MPD a nawet systemów monitoringu pozwala na prowadzenie również analiz korelacyjnych i zaawansowane wnioskowanie, co wpływa zarówno na wiarygodność uzyskiwanych wyników jak i jednoznaczność generowanych ostrzeżeń i alarmów.

System pozwala również na zdalny dostęp z terminala lokalnego, przy zachowaniu oczywiście wszystkich zasad cyberbezpieczeństwa.



Rys.11. Ekran główny programu SYNDIS ES – monitoring transformatora energetycznego

Warto nadmienić, że system SYNDIS ES został już gruntownie przetestowany, pod kątem współpracy z systemem monitoringu wzn *PDtracker*, na jednej ze stacji elektroenergetycznej należącej do polskiego operatora sieci przesyłowej. Testy wdrożeniowe trwały ponad rok [8].

### Podsumowanie

Dotychczasowe prace prowadzone w obszarze projektowania i prototypowania wykazały, że istnieje możliwość stworzenia wielomodułowego uniwersalnego systemu monitoringu wylądowań niepełnych z wykorzystaniem trzech znacząco różnych metod pomiarowych: EA, HF i UHF.

System taki wymaga specjalnej obróbki rejestrowanego sygnału, szczególnie w odniesieniu do metody UHF. Jak

pokazały badania testowe, zadanie to z powodzeniem może zrealizować konwerter częstotliwości zbudowany na bazie szybkich wzmacniaczy operacyjnych, który sprowadza sygnał wysokiej częstotliwości do poziomu pozwalającego na jego akwizycję ze znacznie obniżoną częstością próbkowania. Modułowa koncepcja systemu do monitorowania wzn pozwala na stworzenie bardzo uniwersalnego i elastycznego urządzenia o dużych możliwościach aplikacyjnych oraz przy minimalnych nakładach finansowych. Zastosowanie zaawansowanych rozwiązań z zakresu komunikacji światłowodowej oraz elektroniki zapewnia wysoką czułość i odporność na zakłócenia torów pomiarowych. Wszystkie wymienione wyżej zalety systemu zostaną w najbliższym czasie zweryfikowane w układzie zbliżonym do rzeczywistego układu izolacyjnego transformatora energetycznego.

*Prace zostały sfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju ze środków Programu Badań Stosowanych w ramach projektu PBS3/A4/12/2015 pt. "System monitoringu wylądowań niepełnych w transformatorze energetycznym oparty na wykorzystaniu metod EA, HF i UHF".*

**Autorzy:** dr inż. Krzysztof Walczak, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [krzysztof.walczak@put.poznan.pl](mailto:krzysztof.walczak@put.poznan.pl); dr inż. Wojciech Sikorski, Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań, E-mail: [wojciech.sikorski@put.poznan.pl](mailto:wojciech.sikorski@put.poznan.pl); mgr inż. Wiesław Gil, Mikronika, 60-001 Poznań, Wykopy 2/4, E-mail: [wieslawg@mikronika.com.pl](mailto:wieslawg@mikronika.com.pl)

### LITERATURA

- [1] Ward B.H., A Survey of New Techniques in Insulation Monitoring of Power Transformers, *IEEE Electrical Insulation Magazine*, Vol. 17, No 3, 2001, 16-23.
- [2] IEC 60270, Partial Discharge Measurements, March 2001.
- [3] Gulski E., Strehl T., Muhr M., Tenbohlen S., Meijer S., Judd M.D., Bodega R., Lemke E., Jongen R.A., Coenen S., Larzelere B., Hanai M., Agoris P., Guidelines for Unconventional Partial Discharge Measurements, *Brochure No 444, CIGRE WG D1.33*, 2010.
- [4] Andrzejewski M., Gil W., Sobocki R., Eksploatacja wdrożonych systemów online monitoringu transformatorów, *Międzynarodowa Konferencja Transformator'2011*, 1-3 czerwca 2011, Toruń, art. 2.2
- [5] Walczak K., Sikorski W., Siodła K., Andrzejewski M., Gil W., Online Condition Monitoring and Expert System for Power Transformers, *Advanced Research Workshop on transformers, Santiago de Compostella, Spain, August 2010*, 433-438.
- [6] Sikorski W., Walczak K., Andrzejewski M., Gil W., Doświadczenia z rocznej eksploatacji systemu monitoringu wylądowań niepełnych w transformatorze sieciowym dużej mocy, *Międzynarodowa Konferencja Transformator'2013*, 5-7 czerwca 2013, Gdańsk, art. 9
- [7] Sikorski W., Walczak K., Analiza trendu parametrów wylądowań niepełnych realizowana przez system monitoringu transformatorów energetycznych PDtracker, *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol 2014, Nr 10, 168-171
- [8] Sikorski W., Walczak K., PDtracker – system monitoringu wylądowań niepełnych w transformatorze energetycznym, *Przegląd Elektrotechniczny*, Vol 2014, Nr 10, 45-49
- [9] Sikorski W., Ultraczułe przetworniki emisji akustycznej przeznaczone do monitoringu wylądowań niepełnych, artykuł przekazany do druku w *Przeglądzie Elektrotechnicznym*
- [10] Szymczak C., Projektowanie i optymalizacja anteny UHF do monitoringu wylądowań niepełnych w transformatorze energetycznym, artykuł przekazany do druku w *Przeglądzie Elektrotechnicznym*