

Piotr Paduch, Sławomir Szymaniec  
Politechnika Opolska, Opole

## APARATUROWE ASPEKTY POMIARU WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH MASZYN ELEKTRYCZNYCH - CZĘŚĆ II

### EQUIPMENT ASPECTS OF ELECTRIC MACHINE DIAGNOSTICS BASED ON A PD - PART II

**Streszczenie:** Pracy maszyn elektrycznych towarzyszą wyładowania niepełne. Charakter *wnz* jest bardzo złożony. W miarę upływu czasu eksploatacji maszyn, obserwuje się zmianę intensywności *wnz* przy charakterystycznych rozkładach fazowo-rozdzielczych. Diagnostykę można prowadzić w oparciu o wszystkie dostępne czujniki *wnz*. Proponowane przez autora własne rozwiązania czujników i przyrządów do pomiarów *wnz* w maszynach elektrycznych w warunkach przemysłowych sprawdziły się. Wyniki pomiarów *wnz* silników zależą od: stanu ich izolacji, obciążenia silnika, temperatury uzwojeń, wilgotności, poziomu zakłóceń zewnętrznych oraz od charakterystyki czujników *wnz* i aparatury analizującej *wnz*.

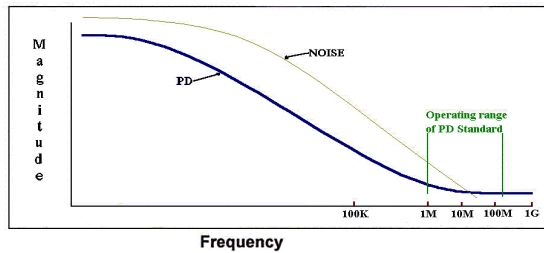
**Abstract:** Operation of electric machines is accompanied by partial discharges. Partial discharges have a very complex nature. Together with progressing use of machines, there is a change in the intensity of partial discharges with typical phase-resolved distributions. The diagnostics can be carried out using available partial charge detectors. The author's solutions regarding detectors and devices for measurements of partial discharges in electric machines in industrial conditions have proved to be successful. Results of measurements of partial discharges in motors depend on: the condition of their insulation, motor load, temperature of windings, humidity, level of external interference, and characteristics of partial discharge detectors and partial discharge analysing devices.

**Słowa kluczowe:** diagnostyka izolacji uzwojeń wysokonapięciowych maszyn elektrycznych

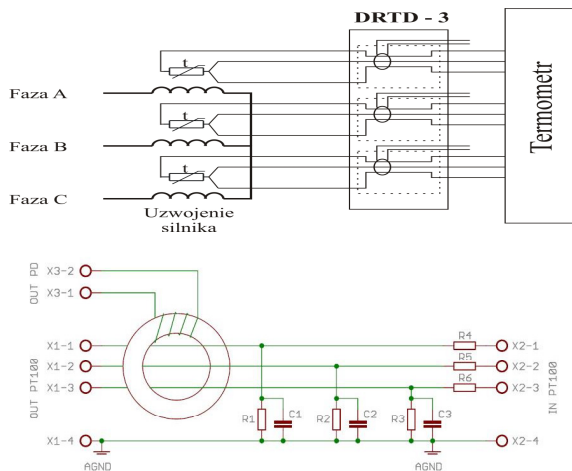
**Keywords:** insulation diagnostics of the high voltage electric machines

**2. RTD (Resistance Temperature Detector)** [1, 3÷5, 8, 9, 11, 12, 18, 24, 25]. RTD to najczęściej stosowane czujniki termorezystorowe w maszynach elektrycznych, które oprócz swojej podstawowej funkcji, mogą pełnić również rolę anten do detekcji wyładowań niepełnych. Koszt stosowanych w maszynach elektrycznych termorezystorów waha się w granicach od kilku do kilkudziesięciu złotych, wyjątkowo kilkaset złotych. Konfigurację anten przy pomiarach *wnz* w silnikach, wg [24, 25] należy poprzedzić wyborem zakresu pomiaru *wnz* ze względu na wpływ zakłóceń przemysłowych oraz ustaleniem zakresu spodziewanych częstotliwości *wnz*, który zapewni możliwie najniższy poziom zakłóceń i szumów. Z długoletnich badań przemysłowych, jakie prowadziła firma ADWEL wynika, że najkorzystniejszym zakresem częstotliwości jest zakres od 1÷150 MHz (PDA PREMIUM) [1]. Podobne badania przeprowadzone przez VIBROCENTER ograniczyły ten zakres do 20 MHz [18] - rys. 2.1.1. Detekcja wyładowań niepełnych odbywa się w układzie jak na rys. 2.1.2: i 2.1.3.

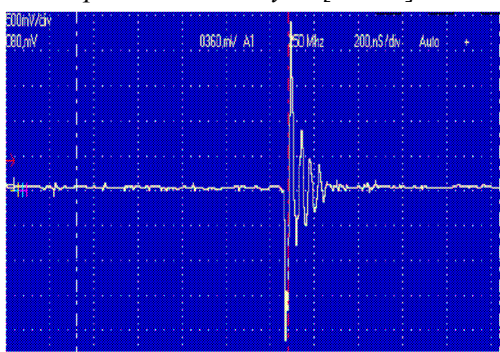
Do detekcji impulsów *wnz* wykorzystano rdzeń toroidalny typu RTP ze sproszkowanego żelaza pracujący w paśmie do 200 MHz, zwykle oznaczony kolorem czarnym lub czerwono czarnym, o wysokiej stabilności temperaturowej parametrów magnetycznych, często wykorzystywany w obwodach o dużej dobroci, na którym nawinięto uzwojenie pomiarowe. Przeprowadzone próby i zbudowane prototypy urządzenia z wykorzystaniem innego typu rdzeni nie przyniosły oczekiwanych wyników. Tak wykonany czujnik *wnz* pozwala na jednoczesny pomiar temperatury i *wnz*. Termorezystor w roli anteny umożliwia pomiar *wnz* przy pełnej izolacji, a sygnał indukuje się w uzwojeniu pomiarowym nawiniętym na rdzeniu toroidalnym. W warunkach pomiarowych jest możliwe podłączenie czujników Pt100, zarówno dwuprzewodowych jak i trójprzewodowych. Znajdujące się na płytce filtry (elementy *R1* do *R6* i *C1* do *C3*) zapewniają bezzakłóceniowy monitoring temperatury. Przeprowadzone testy wykazały pełną przydatność tak wykonanego czujnika do monitoringu wyładowań niepełnych. Koszt wykonanego czujnika stacjonarnego wynosi 50÷120 złotych.



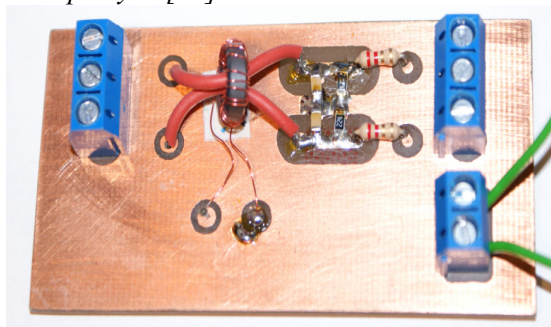
Rys. 2.1.1. Widmo wzn (PD) maszyn elektrycznych w czasie ich eksploatacji oraz widmo zakłóceń wg firmy ADWEL [1]



Rys. 2.1.2 Termorezystory Pt-100 w silniku wraz z zespołami antenowymi [12, 18]



Rys. 2.1.3. Schemat układu czujnika wyładowań niezupełnych [12]



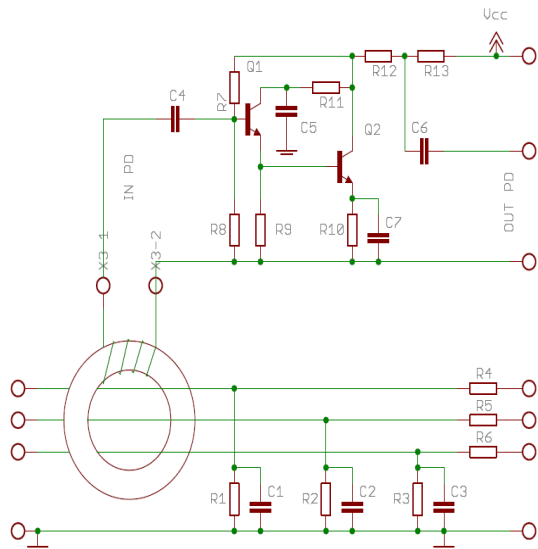
Rys. 2.1.4. Przykład oscylogramu napięcia z anteny na bazie czujnika Pt100 (pomiaru wzn silnika w Cementowni ODRA) i fotografia wykonanego prototypu [12]

### 3. Prototyp aktywnego czujnika typu RTD do wyładowań niezupełnych

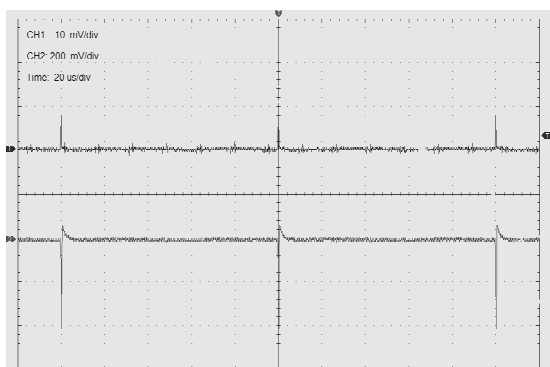
Kierując się głównie potrzebami przemysłu i energetyki krajowej, podjęto zadanie budowy niskokosztowego aktywnego czujnika typu RTD do pomiaru wyładowań niezupełnych.

#### 3.1. Schemat ideowy, budowa, zasada działania

W mobilnych analizatorach wyładowań niezupełnych do ich właściwej detekcji, wymagana jest amplituda impulsów na poziomie minimum kilkudziesięciu mV. Przy założeniu, że jako jedno ze źródeł sygnału wykorzystywane będą termorezystory typu PT100 wchodzące w skład tzw. czujników antenowych (anteny), należy uwzględnić, że amplituda sygnału wyjściowego z takich czujników może okazać się zbyt mała. Rozwiązaniem problemu zbyt małej amplitudy sygnału pomiarowego może być czujnik aktywny RTD z wbudowanym wzmacniaczem wstępnym [12]. Rys. 3.1.1 przedstawia schemat ideowy proponowanego czujnika aktywnego wzn z przedwzmacniaczem tranzystorowym. W obwodzie wejściowym wzmacniacza zastosowano wtórnik emiterowy. Takie rozwiązanie stosowane jest m.in. w sondach scyntylacyjnych, np. w sondzie SSU-70 produkcji ZZUJ „Polon”. Z wyjścia wtórnika impulsy podawane są na stopień wzmacniający wykonany na bazie tranzystora *nnp* w układzie OE. Wyjście wzmacniacza obciążono obustronnie dopasowaną linią przekazującą sygnał. W układzie zastosowano przewód trzyżyłowy wykorzystując go do zasilania układu przedwzmacniacza napięciem 12 V i wyprowadzenia sygnału wyjściowego. Separację sygnału użytecznego od obwodu zasilania zapewniają elementy *R13* i *C6*. Na rys.3.1.2 przedstawiono oscylogramy impulsów na wejściu (CH1) i wyjściu (CH2) przedwzmacniacza zainstalowanego w czujniku RTD [12]. Jako źródło impulsów wejściowych zastosowano generator arbitralny DG4062, który umożliwia generację impulsów o regulowanej szerokości do częstotliwości 60 MHz. Amplituda impulsów wejściowych wynosiła 10 mV. Na wyjściu przedwzmacniacza otrzymano odwrócone impulsy o amplitudzie dochodzącej do 400 mV. Jest to poziom sygnału użytecznego zapewniający możliwość dobrej współpracy ze sprzętem pomiarowym [166, 168].



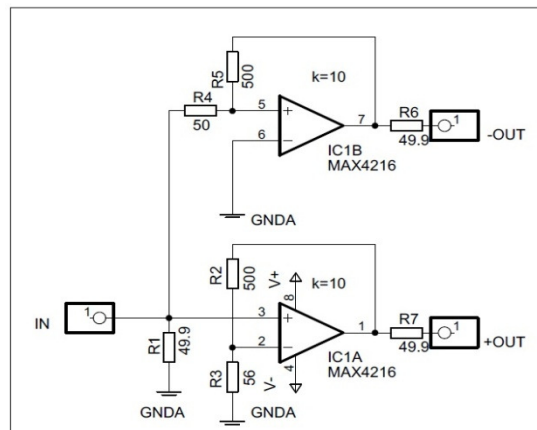
Rys. 3.1.1. Schemat aktywnego czujnika ze wzmacniaczem wstępnym na bazie tranzystorów dyskretnych [12]



Rys. 3.1.2. Oscylogramy impulsów wejściowych (CH1) i wyjściowych przedwzmacniacza [12]

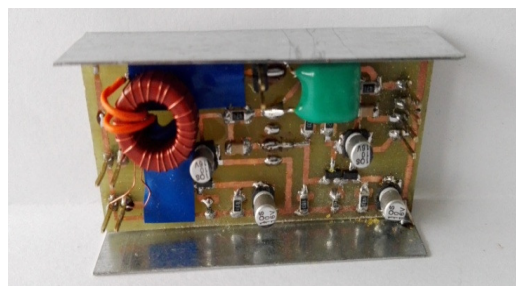
Dodatkowo opracowano wzmacniacz końcowy, aby uzyskać sygnał o amplitudzie umożliwiającej współpracę z modułem mikroprocesorowym. Zapewnia to pomiar częstotliwości powtarzania  $n$  wnz. Sygnał wyjściowy układu z rys. 3.1.3 może być wykorzystany do sterowania szybkiego licznika częstotliwości. Należy zwrócić jednak uwagę na możliwe do popełnienia błędy pomiaru, wynikające z dużej czułości licznika oraz innych zakłóceń, w tym szumów wzmacniacza. Wskazana jest zatem kontrola mierzonych impulsów na oscyloskopie. Moduł końcowy wzmacniacza zaprojektowano wykorzystując podwójny wzmacniacz operacyjny MAX4216 pracujący do częstotliwości 300 MHz, tzw. „Rail-to-Rail”. Rys. 3.1.3 przedstawia schemat ideowy wykonanego wzmacniacza końcowego [12]. Wzmacniacz zawiera dwa tory: odwracający i nieodwracający. Dzięki temu otrzymano dwa przebiegi.

o takiej samej amplitudzie, lecz o przeciwnej polaryzacji.



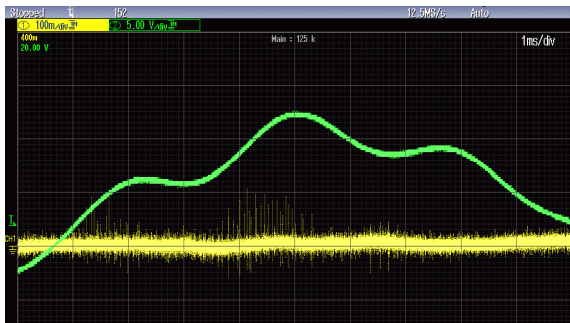
Rys. 3.1.3. Schemat ideowy wzmacniacza końcowego [12]

Taka konfiguracja wzmacniacza umożliwia wybór polaryzacji impulsów potrzebny do dalszej obróbki sygnału na wejściach przetwornika pomiarowego. Rys. 3.1.4. przedstawia fotografię wykonanego prototypu aktywnego czujnika RTD. Rys. 3.1.5. to zarejestrowany przebieg przykładowego wyładowania. Za jego wadę można uznać konieczność stosowania zasilania, ale w przyrządach i analizatorach wnz zawsze istnieje możliwość skorzystania z dodatkowo wyprowadzonego napięcia lub można zasilać czujnik z własnego zasilacza DC. Przydatność i skuteczność czujników typu RTD została wielokrotnie przez autorów sprawdzona

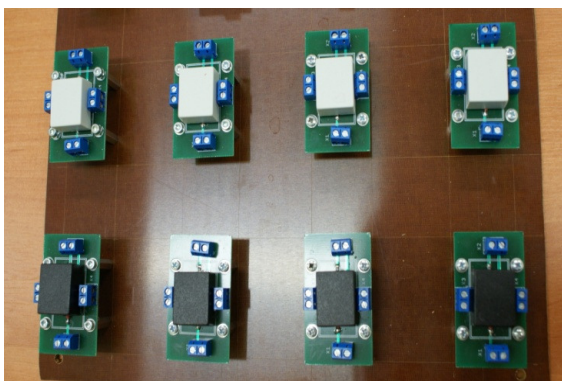


Rys. 3.1.4. Prototyp aktywnego czujnika RTD [12]

podczas badań przeprowadzonych w ramach kontroli stanu izolacji silnika napędowego młyna cementu w Cementowni ODRA. W wyniku doświadczeń przemysłowych opracowano zestaw czujników pomiarowych RTD o dwu wyjściach (rys. 3.1.6. i rys.3.1.8).

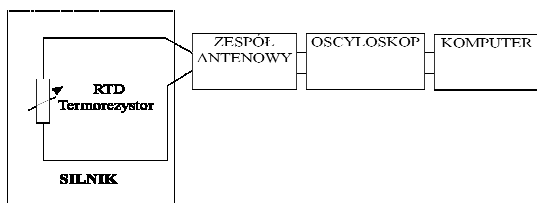


Rys. 3.1.5. Przykładowy pomiar wnz

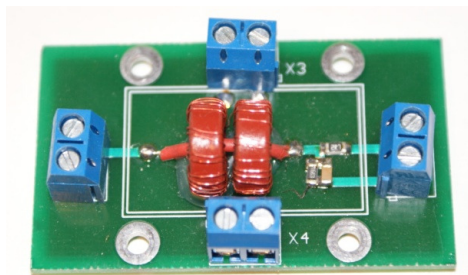


Rys. 3.1.6. Zestaw czujników RTD o dwu wyjściach [12]

Dwuwyjściowy czujnik umożliwia jednocześnie, niezależne wykorzystanie tego samego sygnału do pomiarów za pomocą różnych analizatorów stacjonarnego i mobilnego. Skuteczność czujników RTD sprawdzana była w układzie pomiarowym jak na rys. 3.1.7. Przykładowe

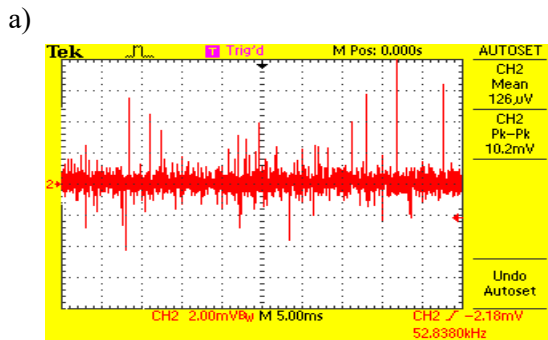


Rys. 3.1.7. Układ do pomiarów wnz silników przy użyciu RTD [24, 25]

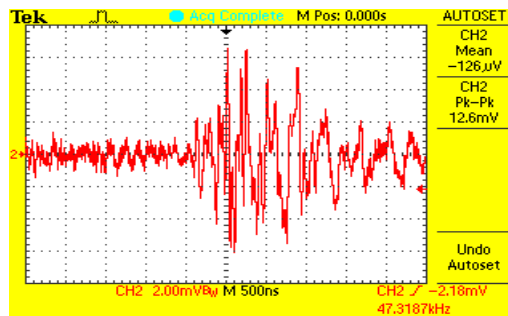


Rys. 3.1.8. Czujnik RTD o dwu wyjściach (X3,X4) [12]

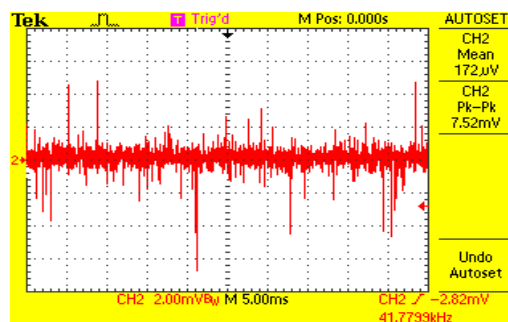
pomiary z wykorzystaniem czujników RTD ilustrują rysunki 3.1.9 a, b, c, d [24, 25].



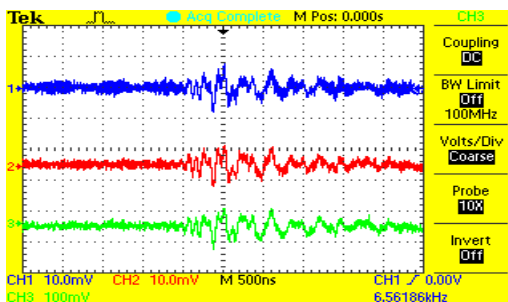
a)



b)



c)



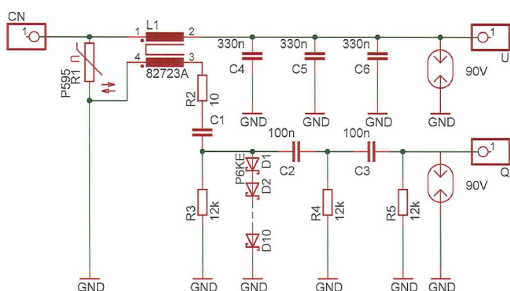
d)

Rys. 3.1.9. Pomiary wnz dla przykładowego silnika WN, oscylogramy napięć: a) i b) pomiary czujnikiem własnym (dla różnych skal czasu), c) pomiar RTD, dla innej chwili czasowej, d) pomiar RTD - wykres górny, pomiar czujnikiem własnym – wykresy środkowy i dolny, dla tej samej chwili czasowej [24, 25]

#### 4. Impedancja pomiarowa

Na kształt impulsu prądowego wyładowania mogą wpływać elementy układu pomiarowego.

Ideąlem byłoby odtworzenie kształtu impulsu czasowego, co pozwoliłoby zidentyfikować przebieg fizyczny procesu wyładowania i określić prawdopodobną wadę lub uszkodzenie izolacji w obiekcie. W rzeczywistości przebieg jest odkształcony i przy pomiarach rutynowych wartości impulsów prądowych są zwykle całkowane. Oceny wyładowań dokonuje się na podstawie ładunków pozornych. Dlatego w procesie pomiarowym bardzo istotny jest właściwy dobór impedancji pomiarowej, która ma duży wpływ na rozdzielczość amplitudową i czasową całego pomiaru [12].



Rys. 4.1.1. Schemat ideowy prototypowej impedancji pomiarowej wykonanej dla EthosEnergy Poland S.A. w Lublińcu [12]

Dla EthosEnergy Poland S.A. w Lublińcu wykonano przy współpracy z dr inż. Wojciechem Kandorą impedancję pomiarową, której schemat przedstawiono na rys. 4.1.1. [12]. Pasma przenoszenia impedancji, którą przedstawia schemat, jest zgodne z wymaganiami normy IEC60270, która proponuje, aby mieściło się ono poniżej 20dB wartości maksymalnej pasma pomiarowego [12]. Wejście układu jest dopasowane do pojemności sprzęgającej 1nF i napięcia  $U=60kV$ . Urządzenie posiada wbudowany filtr środkowoprzepustowy (20dB – C1-C3, R2-R5) i zabezpieczenia przeciwprzebieciowe (D1-D10, iskrownik 90V) oraz obwód pomiaru wysokiego napięcia ( $U_{wyj}=50V_{rms}$ ) [168].

Rys. 4.1.2. przedstawia wykonaną impedancję pomiarową [12]. Sygnał *wnz* wyprowadzono z gniazda typu BNC (PD), podobnie jak sygnał mierzonego napięcia (U). Do podłączenia kondensatora służą zaciski bananowe o oznaczeniach  $C_N$  i GND jak na rysunku 4.1.2.



Rys. 4.1.2. Moduł wykonanej impedancji pomiarowej [168]

Moduł impedancji nie ustępuje firmowym fabrycznym impedancjom, które na co dzień są używane w EthosEnergy Poland S.A. w Lublińcu. Autor [12] testował je podczas serwisowania.

## 5. Uniwersalny zestaw aparaturowy do pomiarów *wnz* silników własnej konstrukcji

W trakcie badań własnych opracowano uniwersalny zestaw aparaturowy do pomiarów *wnz* silników przemysłowych – rys. 5.1.1, którego zasadniczym elementem była cyfrowa



Rys. 5.1.1. Przenośny zestaw aparaturowy do pomiarów *wnz* silników [24, 25]

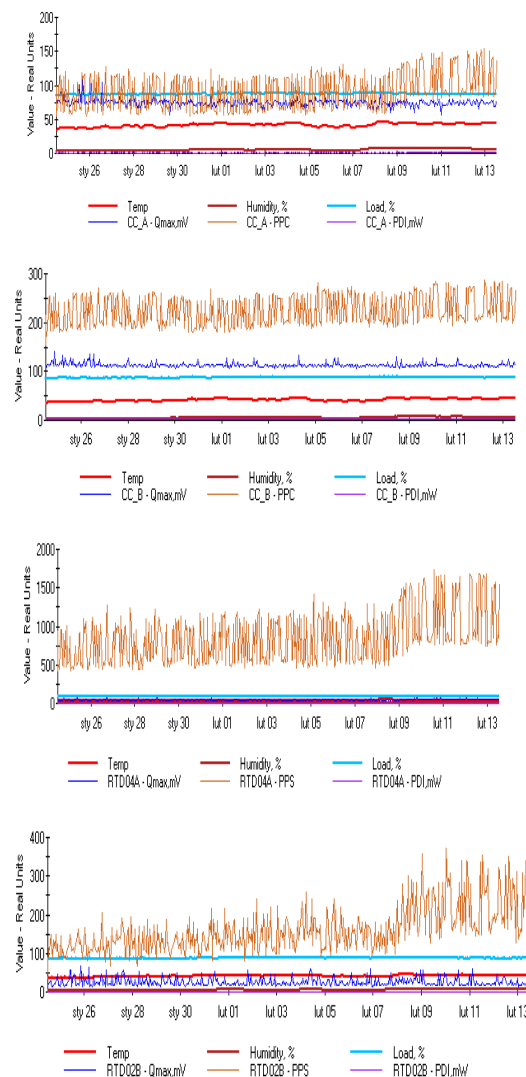
karta oscyloskopowa DSO2904 i analizator *wnz* R500. Opracowany zestaw aparaturowy może być wykorzystany jako przenośny mobilny lub stacjonarny.

Czujnikami *wnz* są: 3 kondensatory sprzęgające bezindukcyjne, bezwyładowaniowe w opcji 300 pF konstrukcji dr inż. Wojciecha Kandory [10], 6 aktywnych czujników typu RTD własnej konstrukcji. Mogą być podłączone równocześnie dalsze czujniki np.: 3 cewki Rogowskiego, czujniki HFCT, RFCT, SSC [24, 25]. Prąd silnika jest mierzony dodatkową cewką Rogowskiego (niskoczęstotliwościową).

Równocześnie mierzona jest temperatura uzwojeń silnika oraz wilgotność względna. Pomiaru mogą być wykonywane w dowolnej opcji czasowej poczynając od okresu co 5 sekund. Wielkościami mierzonymi są:  $n$ ,  $q$ ,  $\varphi$ ,  $Q_m$ ,  $PDI$ ,  $NQN+$ ,  $NQN-$ . Oprogramowanie umożliwia wizualizację wyników w opcji: wartości maksymalne, uśrednione, minutowe, godzinowe, dobowe, tygodniowe, za różne czasookresy pracy, w jednostkach bezwzględnych i względnych. Istnieje możliwość liczenia współczynników korelacji. Podstawową jednostką dla  $Q_m$  są mV i V. Jeżeli toru pomiarowe są wcześniej wykalibrowane (przypadek bardzo rzadki) wtedy  $Q_m$  można wyrażać w jednostkach ładunku. Ograniczenie wpływu zakłóceń jest podobne jak w systemach do oceny stanu izolacji generatorów i hydrogeneratorów PDA [24, 25]. Układ pomiarowy ma tzw. „kanał szumowy”. Istnieje możliwość dodatkowego wykorzystania kanału szumowego co umożliwia ustawienia wartości progowych poziomu sygnału uznanego za użyteczny [24, 25]. Urządzenie posiada możliwość podania na układ przekaźnikowo – stycznikowy informacji o przekroczeniu progów alarmowych dla  $Q_m$ ,  $PDI$  i trendu.. Przykładowe wyniki pomiarów wykonanych przez autorów w jednej z cementowni przedstawiono na rys. 5.1.2. Był to monitoring stanu izolacji silnika z pomiarami wykonywanymi co godzinę. Pomiaru  $wnz$  wykonywane były przy użyciu 3 kondensatorów pomiarowych 300 pF – CC\_A, CC\_B i CC\_C, podpiętych do zacisków fazowych silnika: U, V, W oraz przy użyciu 6-ciu termorezystorów – RTD01A, RTD04A, RTD02B, RTD05B, RTD03C i RTD06C z czego 3 znajdowały się od strony napędowej, dalsze 3 od strony przeciwnapędowej, po 2 termorezystory na fazę U(A), V(B), i W(C). Równocześnie mierzony był prąd stojana, temperatura uzwojeń stojana oraz wilgotność względna.

Z analizy wyników pomiarów  $wnz$  badanego silnika wynikają następujące wnioski ogólne:

- Analiza fazowa-rozdzielcza  $wnz$  wykazuje stan zrównowazenia  $wnz$  o polaryzacji ujemnej i dodatniej z lokalnymi przewagami polaryzacji dodatniej, oznacza to występowanie punktów generacji  $wnz$  w środku izolacji oraz w okolicach czoł.



Rys. 5.1.2. Silnik o mocy 1,4 MW, 6 kV, izol. F, napędu o znaczeniu krytycznym, pomiar  $wnz$  przy użyciu kondensatorów i RTD, wykresy:  $Q_{max}$ , częstotliwości  $wnz$  – (PPS), PDI, temperatury, wilgotności i obciążenia silnika dla trybu dziennego

- W okresie miesięcznym nie stwierdzono wyraźnej zależności intensywności  $wnz$  od temperatury, wilgotności względnej i obciążenia silnika.
- Ogólnie stan izolacji silnika 1,4 MW, 6 kV, izol. F, napędu o znaczeniu krytycznym na podstawie wyników pomiarów  $wnz$  nie budzi zastrzeżeń.

Wnioski z badań diagnostycznych przekazano właścicielowi silnika.

### Wnioski końcowe

W zespole prof. dr hab. inż Sławomira Szymańca od roku 2000 trwają prace nad opraco-

waniem metodyki pomiarów *wnz*, dla potrzeb krajowego przemysłu i energetyki, nad własnymi rozwiązaniami czujników do pomiarów *wnz*, nad konstrukcją sond pomiarowych oraz aparatury pomiarowej, w tym nad opracowaniem analizatorów mobilnych *wnz*. Opracowano i wykonano między innymi zespoły antenowe. Czujniki do pomiaru temperatury w silnikach typu termorezystory RTD np. Pt100 wyposażone w zespoły antenowe własnej konstrukcji stają się anteną służącą do pomiarów *wnz* w zakresie  $1 \div 20$  MHz. Zespół antenowy umożliwia przeniesienie sygnału w.cz. z termorezystorów do układu pomiarowego *wnz*. W zespoły antenowe można wyposażyć dowolne RTD znajdujące się w silniku, jak również zamontować według potrzeb dodatkowe RTD w przestrzeniach czoł uzwojeń silników i wyposażyć je we wspomniane zespoły antenowe. Zespół antenowy umożliwia podłączenie RTD o dowolnej konfiguracji (2, 3, 4 druty), zapewnia również bezpieczeństwo mierzącemu i chroni aparaturę pomiarową przed ewentualnym uszkodzeniem przez galwaniczne oddzielenie stojana od układu pomiarowego.

Opracowano również i wykonano bardzo prosty oraz tani czujnik *wnz* typu antena pętlowa. Antenę tworzy; długi przewód ( $L \gg d$ ,  $L$ -długość,  $d$ -średnica przewodu) poprowadzony wokół czoł uzwojeń silnika na elemencie wspornikowym, pierścieniu mocującym, itp. Jest to najprostsza antena odbiorcza w MHz-

## Literatura

- [1]. ADWEL: *PD monitoring*. Nota Aplikacyjna 2003.
- [2]. Andrzejewski K., Tułodziecka E.: *Analiza intensywności wyladowań niezupełnych prototypowego układu izolacyjnego VPI stojana hydrogeneratora 200MW 15,75 kV*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 64/2002.
- [3]. Bertenshaw D., Sasic M.: *On-line Partial Discharge Monitoring on MV motors-Casestudies on Improved Sensitivity Couplers*. Nota Aplikacyjna firmy ADWEL International Canada, 2002.
- [4]. Blokhintsev, M. Golovkov, A. Golubev, C. Kane: *Field Experiences on the Measurement of Partial Discharges on Rotating Equipment*, IEEE PES'98, February 1-5, Tampa.
- [5]. DIMRUS: *Analizator R2200, nota aplikacyjna, dokumentacja 2011*.
- [6]. Florkowska B, Florkowski M., Włodek R., Zydrón P.: *Mechanizmy, pomiary i analiza wyladowań niezupełnych w diagnostyce układów izolacyjnych wysokiego napięcia*. Wyd. IPPT PAN, Warszawa 2001.

owym zakresie częstotliwości, dobrana eksperymentalnie, wyposażona we wspomniany już zespół antenowy własnej konstrukcji [24, 25]. Szczegóły konstrukcji czujników antenowych stacjonarnych i mobilnych w oparciu o termorezystory RTD – Pt100 w wersji biernej i aktywnej przedstawiono w pracy doktorskiej dr inż. Piotra Paducha [12]. Opracowane konstrukcje są niskokosztowe, co przedstawia tabela.1:

Tabela 1. Przybliżony koszt wykonanych czujników

Typ czujnika	Koszt w złotych
czujniki <i>wnz</i> antenowe stacjonarne typu RTD pasywne	120
czujniki <i>wnz</i> antenowe stacjonarne typu RTD aktywne	160
czujniki <i>wnz</i> antenowe stacjonarne typu antena pętlowa	160
czujniki <i>wnz</i> antenowe mobilne typu RTD	140

Na podstawie przeprowadzanych przez autorów badań przemysłowych można stwierdzić, że czujniki typu RTD, pasywne i aktywne skutecznie umożliwiają detekcję wyladowań i mogą być alternatywą dla sprzęgaczy pojemnościowych pod warunkiem, że w obiekcie mierzonym zostały zainstalowane czujniki temperatury Pt100 lub anteny pętlowe.

- [7]. Flisowski Z., *Technika wysokich napięć*, Wydawnictwa Naukowo- Techniczne, Warszawa 1988.
- [8]. Golubev A, Paoletti G.: *Partial Discharge Theory and Technologies related to Medium Voltage Electrical Equipment*. 2000 IEEE. Reprinted, with permission, from Paper 99-25 presented at the IAS 34<sup>th</sup> Annual Meeting, Oct 3-7, '99, Phoenix, AZ.
- [9]. Gulski E.: *Diagnostowanie wyladowań niezupełnych w urządzeniach wysokiego napięcia w eksploatacji*. Wyd. Polit. Warszawskiej, Warszawa 2003.
- [10]. Kandora W.: *Diagnostyka off-line izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych wykonanych w technologii Resin – Rich*. Rozprawa doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechnika Opolska, Opole, 2012.
- [11]. Kandora W., Szymaniec S.: *Badania i diagnostyka off-line izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych wykonanych w technologii Resin-Rich*. Oficyna. Wydawnicza. PO, Opole 2016, Studia i Monografie, Politechnika Opolska z. 439.
- [12]. Paduch P.: *Aparaturowe aspekty diagnostyki izolacji uzwojeń maszyn elektrycznych*. Rozprawa

- doktorska, Wydział Elektrotechniki, Automatyki i Informatyki, Politechnika Opolska, Opole, 2017.
- [13]. Paoletti G., Golubev A.: *Partial Discharge Theory and Applications to Electrical Equipment, Diagnostics*. Cutler-Hammer Engineering Services 2001.
- [14]. *PD diagnostics – its history and future, PD Workshop*, Alexandria, Virginia, December 3&4 2001
- [15]. Plutecki Z.: *Analiza wpływu mikroklimatu na emisję wylądowań niezupełnych maszyn elektrycznych w warunkach przemysłowej eksploatacji*. Studia i Monografie z.325. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2012.
- [16]. Plutecki Z., Szymaniec S.: *An analysis of the influence of microclimate on partial discharge emissions of electric machines in the conditions of industrial operation – own research*. Archives of Electrical Engineering, No 4, 2013., pp.629-648.
- [17]. PN-EN 60270. *Wysokonapięciowa technika probiercza. Pomiaru wylądowań niezupełnych*.
- [18]. Русов В.А.: *Измерение частотных разрядов в изоляции высоковольтного оборудования*. Издательство УрГУПС 620034, г. Екатеринбург 2011.
- [19]. Russwurm D.: *On-Site Partial Discharge Monitoring Using the differentia Lemke Probe LDP-5 and its accessories*. HV Testing, Monitoring and Diagnostics Workshop 2000.
- [20]. Rux L.M., Bertenshaw D.R.: *Assessing the condition of rotating machines stator winding insulation using the ramped direct high-voltage method*. INSUCON 2002, 18-20 June 2002, Berlin.
- [21]. Sasic M., Bertenshaw D.: *On-line Partial Discharge Monitoring on MV Motors –Case Studies on Improved Sensitivity Couplers and Interpretation Methods*, SDEMPED, ITALY 1-3 Sept. 2001 pp.1-5.
- [22]. Sasic M.: *Partial discharge measurement on rotating machines*. 9th National Congress of Electric Rotating Machinery September 29 to October 2, 1999, Veracruz, Mexico.
- [23]. Stone G.C., Boulter E.A., Culbert I., Dhirani H.: *Electrical insulation for rotating machines*. IEEE PRESS series on Power Engineering, USA, 2004.
- [24]. Szymaniec S.: *Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń i stanu łożysk silników indukcyjnych klatkowych w warunkach przemysłowej eksploatacji*. Studia i Monografie z. 193, Wyd. Politech. Opolskiej, Opole 2006.
- [25]. Szymaniec S.: *Badania, eksploatacja i diagnostyka zespołów maszynowych z silnikami indukcyjnymi klatkowymi*. Wyd. Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej 2013, Opole, Studia i Monografie, zeszyt 333.
- [26]. Tettex Information 310: *Technika pomiaru wylądowań niezupełnych*.
- [27]. Tettex Information 311: *Pomiary wylądowań niezupełnych. Problemy i możliwości ich rozwiązania z pomocą uniwersalnego systemu pomiarowego*.
- [28]. Tettex Instruments: *Ultrasonic partial discharge detector 925*.
- [29]. Tettex Instruments: *True Digital Partial Discharge Analysing System*.
- [30]. Tułodziecka E., Andrzejewski K.: *Komputerowa diagnostyka izolacji maszyn elektrycznych wysokiego napięcia metodą pomiaru wylądowań niezupełnych*. Wyd. BOBRME, Katowice 1995, Maszyny Elektryczne-Zeszyty Problemowe Komel nr 50, str. 65 – 73.
- [31]. Tułodziecka E., Andrzejewski K.: *Wykrywanie stanów przedawaryjnych izolacji uzwojeń stojanów generatorów metodą bezpośredniego pomiaru wylądowań niezupełnych w układzie off-line*. Wyd. BOBRME, Katowice 1996, Maszyny Elektryczne-Zeszyty Problemowe, nr 52, str. 56-63.
- [32]. Zubelik P., Nadaczný K., Andrzejewski K., Zajaczek M.: *System oceny układów izolacyjnych hydro - i turbogeneratorów dużej mocy najnowszymi metodami, głównie przez pomiary i analizę wylądowań niezupełnych*. Instytut Energetyki - Zakład Izolacji, Poznań 2006.
- [33]. Zydroń P.: *Zastosowanie analizy czasowej i częstotliwościowej do badania wylądowań niezupełnych w układach izolacyjnych wysokiego napięcia*. Rozprawa doktorska, AGH Kraków, 2001.

### Autorzy

prof. dr hab. inż. Sławomir Szymaniec  
Politechnika Opolska. Wydział Elektrotechniki,  
Automatyki i Informatyki Katedra Elektrowni  
i Systemów Pomiarowych.  
dr inż. Piotr Paduch  
Politechnika Opolska. Wydział Elektrotechniki,  
Automatyki i Informatyki  
45-758 Opole ul. Prószkowska 76, bud. 1  
s.szymaniec@po.opole.pl