

Wojciech Kandora  
TurboCare Poland S.A., Lubliniec

## PRZEKŁADNIKI PRĄDOWE CZĘSTOTLIWOŚCI RADIOWYCH JAKO CZUJNIKI DO POMIARU WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH

### RADIO FREQUENCY CURRENT TRANSFORMERS AS A SENSORS FOR PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENT

**Abstract:** The paper present information about construction and parameters of the radio frequency current transformers (RFCT). Paper contain laboratory study of partial discharge measurement on turbo-generator bars with a voids. Measurements were performed with use coupling capacitor and RFCT installed in different places of test system.

#### 1. Wstęp

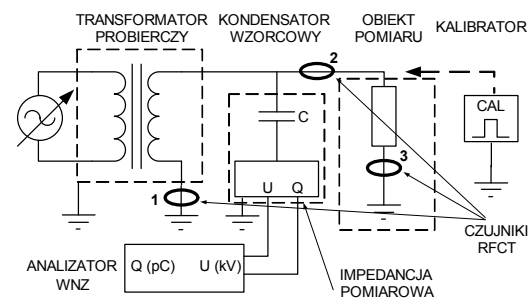
Wyładowania niezupełne (WNZ) są wyładowaniami występującymi wewnątrz układu izolacyjnego, które tylko częściowo zwierają izolację między przewodnikami, które mogą być przyległe lub nie do przewodnika. Natomiast długotrwałe działanie wyładowań niezupełnych prowadzi poprzez mikro- i makroskopowe zmiany w strukturze układów do wyładowania zupełnego czyli przebicia izolacji. W ostatnich latach można zaobserwować dynamiczny rozwój metod diagnostyki izolacji maszyn bazujących na analizie WNZ. Wspomagane komputerowo metody pozwalają nie tylko ocenić poprawność wykonania izolacji, ale również określić rodzaj i miejsce występowania defektu. Wyładowaniom niezupełnym towarzyszą:

- impulsy prądowe i związana z tym emisja fal elektromagnetycznych,
- przemiany chemiczne,
- udarowe odkształcenia sprężyste oraz związana z tym emisja fal akustycznych,
- emisja promieniowania świetlnego,
- lokalny wzrost temperatury w obszarze WNZ.

W zakładach remontowych maszyn elektrycznych obok standardowo wykonywanych testów izolacji głównej diagnostyka WNZ stała się podstawową metodą oceny jakości izolacji. Diagnostyka prętów uzwojenia stojana generatora metodą WNZ na etapie produkcji opiera się na analizie impulsów prądowych powstałych na skutek cyklicznych wyładowań wewnątrz lub też na powierzchni izolacji.

#### 2. Układ pomiarowy do badania prętów uzwojenia generatorów

Pomiary off-line WNZ prętów uzwojenia stojana generatora wykonywane są w układzie jak na rysunku 1. Źródłem wysokiego napięcia jest transformator probierczy 0,5/100kV. Celem minimalizacji zakłóceń na wejściu transformatora zainstalowano laboratoryjny filtr WCz. oraz odseparowano układ od uziemienia zakładowego. Obiektem badań są uzwojenia wysokonapięciowych maszyn elektrycznych wykonanych w technologii Resin-Rich na napięcia powyżej 6kV.



Rys. 1. Układ do prób pomiaru WNZ off-line

Na pomiary WNZ składają się dwa podstawowe testy:

- rutynowy, w którym określa się napięcie zapłonu oraz napięci gaśnięcia WNZ. Test jest wykonywany w zakresie napięcia 0 - 2Un gdzie Un - napięcie znamionowe maszyny.
- analityczny wykonywany przy stałej wartości napięcia 1Un, 1,5Un lub innym, w którym określa się parametry WNZ oraz przyczyny ich występowania.

Sygnaly WNZ rejestrowane i analizowane są cyfrowym miernikiem WNZ wykonującym pomiar zgodnie z normą IEC 60270. Standar-

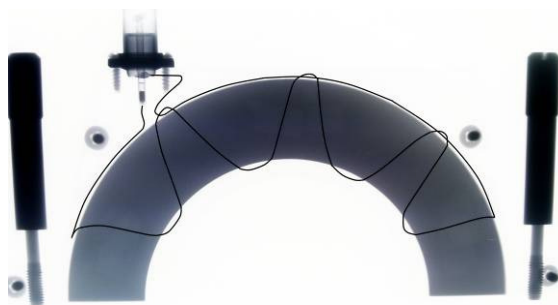
dowo elementem sprzęgającym jest kondensator wzorcowy podłączony jak na rys.1. wraz z impedancją pomiarową. W takim układzie bezpośrednio dokonuje się pomiaru ładunku oraz napięcia. Pomiaru WNZ można dokonać z zadowalającą dokładnością przy użyciu przekładników prądowych częstotliwości radiowych (RFCT).

### 3. Przekładniki prądowe częstotliwości radiowych (RFCT)

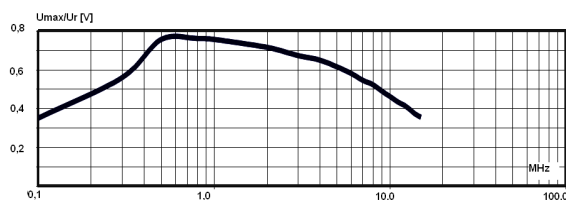
Czujniki RFCT (Rys. 2) wykonane są najczęściej jako przekładniki z dzielonym rdzeniem ferrytowym. Na rdzeniu nawinięta jest niewielka ilość zwoi. Rys. 3 przedstawia negatyw zdjęcia rentgenowskiego połowy czujnika RFCT-4. Istotną cechą czujników RFCT jest ich pasmo przenoszenia odpowiadające pasmu WNZ (Rys. 4)



Rys. 2. Sposoby wykonania czujników RFCT



Rys. 3. Negatyw zdjęcia rentgenowskiego czujnika RFCT-4



Rys. 4. Charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa czujnika RFCT-1

Typowe pasmo przenoszenia czujników zawiera się z zakresie 0,1 – 15MHz co pokrywa zakres pomiaru zalecany przez normę IEC 60270. Przekładnik musi zostać zainstalowany jak najbliżej źródła WNZ – na wyprowadzeniu maszyny od strony wysokiego bądź niskiego napięcia, lub też podczas pomiarów laboratoryjnych na przewodzie uziemiającym badany obiekt. Typowe napięcie pracy czujników RFCT to 1000V AC, zainstalowanie czujnika po stronie wyprowadzeń w silnikach na napięcie 6kV i wyższe, wymaga zastosowania tulei izolacyjnych.

### 4. Badania laboratoryjne

Impulsy prądowe będące skutkiem WNZ indukują w czujniku RFCT proporcjonalne impulsy napięciowe. Czułość sygnału (w zależności od zastosowanego czujnika) wynosi od 60 – 80% czułości kondensatora wzorcowego o pojemności  $C=1nF$ . Czułość można zwiększyć poprzez nawinięcie kilku zwoi. Sygnał z czujnika może być podpięty wprost do analizatora WNZ, wymagany jest jednak dodatkowy sygnał z dzielnika napięciowego, który umożliwi analizę amplitudowo – fazową WNZ. Celem określenia zależności czułości czujnika od miejsca jego zainstalowania wykonano pomiar szumu oraz ładunku wzorcowego o wartości  $Q=10nC$  (w układzie, jak na Rys. 1) kondensatorem wzorcowym oraz RFCT umieszczonym kolejno w punkcie zerowym transformatora próbierczego (1), po stronie wysokiego napięcia próbki (2) oraz na przewodzie uziemiającym próbkę (3).

Tab. 1. Zmierzony ładunek wzorcowy oraz szum w zależności lokalizacji czujnika RFCT

	Ładunek Q	Poziom szumów
Kondensator	10000pC	320pC
RFCT lokalizacja 1	5100pC	3700pC
RFCT lokalizacja 2	8600pC	340pC
RFCT lokalizacja 3	8500pC	340pC

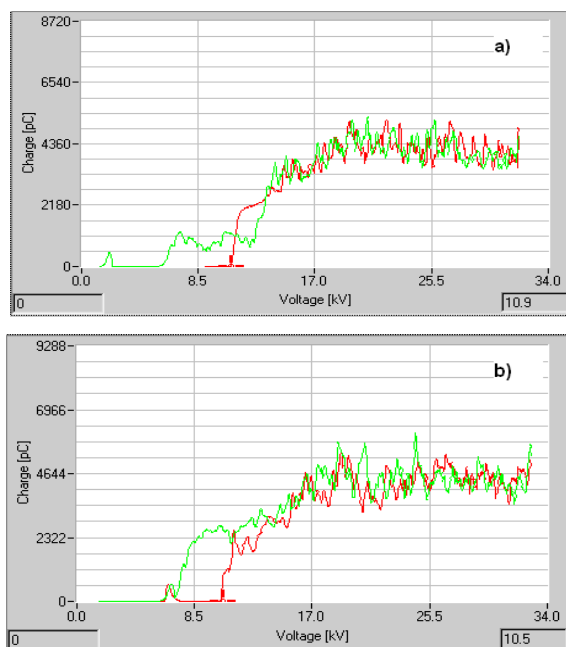
Wyniki zestawione w tabeli 1. wskazują na bardzo dobrą czułość oraz niskie szumy czujnika zainstalowanego na przewodzie zasilającym bądź uziemiającym próbkę. Czujnik zainstalowany w punkcie zerowym transformatora próbierczego posiada zbyt duże szumy w stosunku do ładunku kalibracyjnego.

Wykonano pomiary pręta uzwojenia stojana hydrogeneratora z wadami izolacji. Test analityczny i rutynowy wykonano przy pomocy

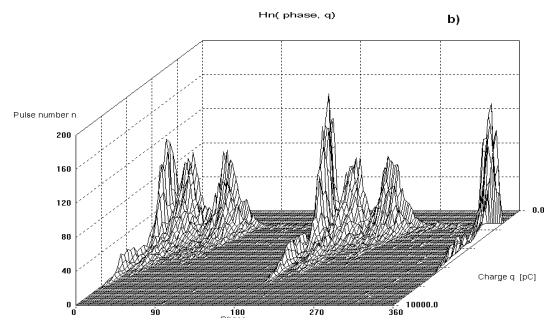
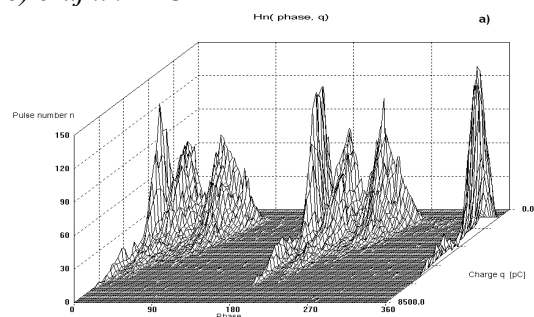
czujnika pojemnościowego oraz RFCT. Ze względu na wysokie napięcie próby, pomiaru dokonano wyłącznie dla czujnika zainstalowanego na przewodzie uziemiającym. Wyniki liczbowe zestawiono w Tabeli 2.

Tab. 2. Zestawienie podstawowych parametrów WNZ otrzymanych podczas badania próbki czujnikiem pojemnościowym oraz RFCT

	Kondensator	RFCT
Napięcie zapłonu	10,9 kV	10,5 kV
Napięcie gaszenia	6,0 kV	6,4 kV
Ładunek pozorny max.	5,3 nC	5,6 nC
Ładunek $Q_{10}$	2,3 nC	2,5 nC
Wskaźnik D	4462 nC <sup>2</sup> /s	5964 nC <sup>2</sup> /s



Rys. 5. Krzywe  $Q-V$  a) czujnik pojemnościowy b) czujnik RFCT



Rys. 6. Rozkłady amplitudowo fazowe a) czujnik pojemnościowy b) czujnik RFCT

Wyniki liczbowe oraz rozkłady amplitudowo fazowe przedstawione na Rys. 5 i 6 wskazują na bardzo dobrą skuteczność pomiaru WNZ czujnikami RFCT.

## 5. Wnioski

Wykazano, że czujniki RFCT mogą być stosowane zamiennie z kondensatorami do pomiaru WNZ. Niewątpliwą zaletą jest rozmiar i łatwość instalowania, co ma istotne znaczenie w metodach pomiaru WNZ on-line, gdyż cewki z dzielonym rdzeniem można nakładać na przewód pomiarowy bez konieczności demontażu osprzętu. Czujniki RFCT cechuje prostota wykonania (Rys. 3), a co za tym idzie niska cena w porównaniu ze sprzęgaczami pojemnościowymi. Do wad można zaliczyć niskie napięcie robocze oraz konieczność pomiaru wysokiego napięcia dodatkowym przyrządem. Podczas pomiarów off-line w warunkach przemysłowych, gdzie obiekt badany (generator lub silnik) jest na stałe połączony z uziemieniem zakładowym nie ma możliwości pomiaru WNZ czujnikiem RFCT zainstalowanym w przewodzie uziemiającym pomiędzy transformatorem probierczym a obiektem. W tym przypadku, prąd zawierający sygnały pochodzące od WNZ tylko częściowo przepływa przez przewód uziemiający transformator probierczy.

## 6. Literatura

- [1]. Florkowska B, Florkowski M., Włodek R., Zydróń P.: *Mechanizmy, pomiary i analiza wylądowań niezupełnych w diagnostyce układów izolacyjnych wysokiego napięcia*. Wyd. IPPT PAN.
- [2]. Yonghong C., Chen Yu, Liu Tong.: *Study of On-line Monitoring Method of Partial Discharge for Power Transformers Based on RFCT and Microstrip Antenna*. State Key Lab. of Electrical Insulation and Power Equipment, Xi'an Jiaotong University China.

[3]. Lemke E.: *Guide for partial discharge measurement in compliance to IEC 60270 Std.* CIGRE technical brochure WG D1.33 Dec. 2008.

[4]. Szymaniec S.: *Czujniki i przyrządy do pomiarów wyladowań niezupelnych maszyn elektrycznych.* Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 85/2010.

[5]. Golubev A., Gabe. P.: *Partial Discharge Theory and applications to electrical equipment.* Cutler Hammer Seminary.

### **Autor**

Wojciech Kandora, TurboCare Poland S.A.

[www.turboCare.pl](http://www.turboCare.pl)

[wojciech.kandora@turboCare.pl](mailto:wojciech.kandora@turboCare.pl)