



Tomasz Kalicki\*, Hubert Morańda\*, Hanna Mościcka-Grzesiak\*,  
Waldemar Ziomek\*

## DIAGNOSTYKA UKŁADU IZOLACYJNEGO KOMORY GASZENIOWEJ WYŁĄCZNIKA PRÓŻNIOWEGO Z WYKORZYSTANIEM ANALIZY WIELKOŚCI CHARAKTERYZUJĄCYCH STAN PRZEDWYŁADOWCZY

**Streszczenie:** Celem niniejszej pracy była identyfikacja defektów, które mogą wystąpić w komorze gaszeniowej wyłącznika próżniowego. Cztery różne jakościowo defekty zostały opisane za pomocą statystycznych parametrów charakteryzujących rozkłady częstościowe ładunku wyładowań niezupełnych. Identyfikację defektów w rzeczywistej komorze przeprowadzono przy użyciu komputerowego programu rozpoznawania defektów.

**Słowa kluczowe:** wyładowania niezupełne, identyfikacja defektów

### 1. Wprowadzenie

Diagnostyka i monitoring wysokonapięciowych urządzeń elektrycznych są bardzo aktualnym zagadnieniem. Wprowadzenie cyfrowych urządzeń pomiaru, rejestracji i analizy stanu układu izolacyjnego pozwala na znacznie skuteczniejsze, niż kiedyś, postawienie diagnozy i wykrywanie defektów badanego urządzenia [1, 2, 3].

Defekty układu izolacyjnego z reguły są źródłem wyładowań niezupełnych. Wyładowania niezupełne są generalnie zjawiskiem niepożądanym, ponieważ są przyczyną występowania przyspieszonego procesu starzenia izolacji urządzeń energetycznych, są źródłem zakłóceń radioelektrycznych i hałasu, ale z drugiej strony ich dokładne rozpoznanie może być bardzo pomocne w diagnozowaniu stanu układu izolacyjnego.

---

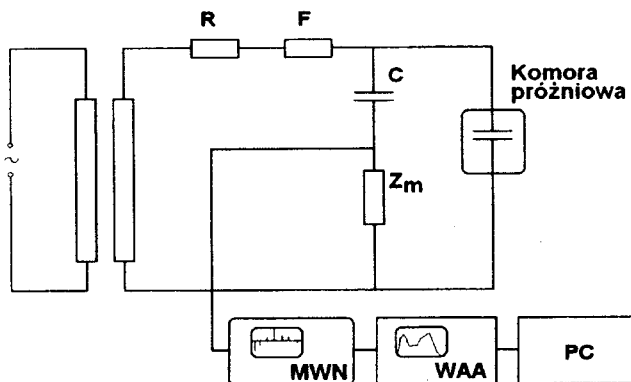
\* Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki, ul. Piotrowo 3a, 60-965 Poznań

Wprowadzenie cyfrowej techniki pomiarowej umożliwiło znaczący postęp w zakresie pomiarów wyładowań niezupełnych i zjawisk im towarzyszących, dzięki możliwości zbierania, zapamiętywania i komputerowo wspomaganego analizowania danych pomiarowych [4, 5, 6].

Badanym obiektem w niniejszej pracy jest próżniowa komora gaszeniowa wysokonapięciowego wyłącznika. Obiekt ten był przez nas badany wielostronnie, ale głównym aspektem było powiązanie wytrzymałości elektrycznej komory (przy otwartych stykach) z parametrami opisującymi mikrowyładowania [7, 8, 9]. Pod pojęciem mikrowyładowań przyjęto rozumieć wyładowania niezupełne specyficzne dla układów o izolacji próżniowej, tzn. mikrowyładowania w przerwie próżniowej lub po powierzchni dielektryku w próżni.

## 2. Układ pomiarowy

Pomiary przeprowadzono używając układ przedstawiony na rysunku 1. Impulsy prądowe wyładowań niezupełnych w badanym obiekcie powodują pojawianie się impulsów napięciowych na impedancji pomiarowej  $Z_m$ . W mierniku wyładowań niezupełnych (MWN) następuje elektroniczne formowanie impulsów napięciowych w taki sposób, że ich amplituda jest proporcjonalna do ładunku wyładowań niezupełnych. Impulsy te są następnie wprowadzane, poprzez konwerter analogowo-cyfrowy, na wejście wielokanałowego analizatora amplitudy (WAA). W wielokanałowym analizatorze amplitudy impulsy są sortowane według wartości amplitudy i zliczane w poszczególnych kanałach. Wielokanałowy analizator amplitudy tworzy charakterystyki częstościowo-amplitudowe mierzonych impulsów wyładowań niezupełnych. Analizator pozwala na wyprowadzenie wyników pomiarów, poprzez złącze szeregowe, do pamięci współpracującego mikrokomputera (PC). Przed każdą serią pomiarową skalowano analizator przypisując kolejnym kanałom wartość ładunku.



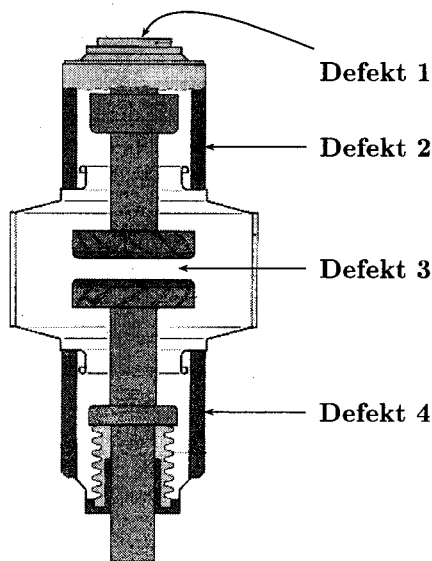
Rys. 1. Układ do pomiaru wyładowań niezupełnych i wielokanałowej analizy amplitudowej

### 3. Obiekty badań i procedura pomiarowa

Obiektem badań jest komora gaszeniowa wyłącznika próżniowego o napięciu 12 kV, prądzie 1250 A i znamionowej odległości styków 12 mm. W badaniach wykorzystano kilka komór, które były w różny sposób przygotowywane przez wytwórcę oraz przeszły różne cykle badań. W pierwszej kolejności zdefiniowano cztery najbardziej prawdopodobne defekty, a mianowicie:

- ulot z przewodu zasilającego komorę (defekt 1),
- wyladowania niezupełne zabrudzeniowe na zewnętrznej powierzchni izolatora ceramicznego (defekt 2),
- mikrowyladowania między stykami w komorze gaszeniowej (defekt 3),
- mikrowyladowania powodowane odpylaniem cząstek metalicznych z wewnętrznej powierzchni osłony izolacyjnej (defekt 4).

Wymienione defekty w różnym stopniu zagrażają układowi izolacyjnemu komory gaszeniowej oraz różny jest stopień trudności likwidowania tych defektów lub ograniczania ich aktywności. Na rysunku 2 przedstawiono uproszczony przekrój komory gaszeniowej z zaznaczonymi obszarami występowania czterech defektów.



**Rys. 2.** Przekrój komory gaszeniowej z zaznaczonymi obszarami występowania czterech defektów

### 4. Wyniki badań

Badania składały się z dwóch zasadniczych etapów. W pierwszym etapie tak dobierano i przygotowywano komory, aby aktywny był tylko jeden defekt. Dla każdego

defektu zdejmowano rozkłady częstościowe ładunku przy różnych warunkach napięciowych i czasowych działania napięcia. Każdy defekt został możliwie bogato opisany, a uzyskane rozkłady częstościowe ładunku zostały wprowadzone do komputerowej bazy danych.

Na rysunku 3 przedstawiono reprezentatywne rozkłady częstościowe ładunku przenoszonego przez mikrowyładowania generowane przez cztery badane defekty. Widzimy, że każdy defekt charakteryzuje się zupełnie różnym, specyficznym rozkładem ładunku. Rozkłady różnią się ładunkiem maksymalnym, a szczególnie liczbą impulsów. Liczba impulsów była do tego stopnia różna, że należało dla niej przyjąć skalę logarymiczną. W tabeli 1 porównano kilka wielkości opisujących rozkłady częstościowe ładunku mikrowyładowań generowanych przez defekty 1-4.

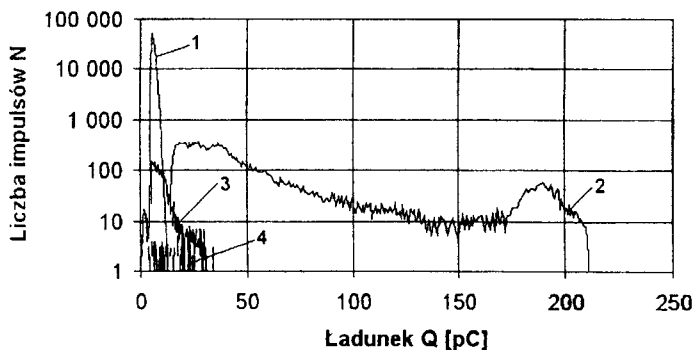
W drugim etapie prac użyto komory gaszeniowej, które przeszły różnorodne badania napięciowe i łączeniowe, tak że można było się spodziewać typowych defektów wewnątrz komór (defekty 3 i 4). Dodatkowo, w różnych kombinacjach, zamodelowywano sztucznie wyladowania ulotowe z ostrza oraz wyladowania powierzchniowe zabrudzeniowe na zewnętrznej powierzchni osłony izolacyjnej. W ten sposób obiekty badań miały 2, 3 lub 4 defekty. Wcześniej przeprowadzone badania pozwoliły wytypować wartość napięcia pomiarowego, przy której kilka defektów jednocześnie wykazywało aktywność.

Głównym celem drugiej części badań było rozpoznawanie defektów przy użyciu programu komputerowego identyfikacji defektów [10]. Do bazy danych programu został wprowadzony pełny statystyczny opis czterech wybranych defektów. Parametry wzorcowego defektu zostały określone na podstawie kilkunastu rozkładów częstościowo-amplitudowych ładunku. Rozpoznawanie defektów w obiekcie o wysokim stopniu złożoności stanu zdefektowania polegało na porównaniu rozkładu częstościowego ładunku wyladowań niezpełnych tego obiektu z charakterystyką wzorcowych defektów, zawartą w bazie danych.

Przykładowo wybrana komora o wysokim stopniu zdefektowania była kondycjonowana łukowo u wytwórcy, kondycjonowana napięciowo przeskokami i kilka razy była użyta w operacjach łączeniowych ( $\sim 30$  kA), a następnie była magazynowana w stanie beznapięciowym przez okres około roku. Dodatkowo na górnym wieku komory umieszczono ostrze. Tak więc można było się spodziewać typowych defektów wewnętrznych, to znaczy defektu 3 i defektu 4 oraz ulotu na zewnątrz (defekt 1). W tabeli 2 przedstawiono efekt rozpoznania defektów przez program komputerowy.

**Tabela 1.** Wybrane wielkości charakteryzujące rozkłady częstościowe ładunku mikrowyładowań

Numer defektu	N	$\sum Q$ [nC]	$Q_{\max}$ [pC]	MODA [pc]
1	500 000	2 700	23	5,5
2	21 000	1 200	211	27;190
3	4 000	38	37	7
4	200	2,6	50	brak



Rys. 3. Przykładowe rozkłady częstościowe ładunku dla defektów 1-4; napięcie 18 kV; czas zliczania impulsów 60 s

Z hipotezy końcowej wynika, że istnieje prawdopodobieństwo 74% wystąpienia defektu 3, 64% defektu 1 i 54% defektu 4. Najmniejsze prawdopodobieństwo równe 34% odpowiada defektowi 2, który rzeczywiście nie powinien być rozpoznany, gdyż osłona izolacyjna była czysta i nie należało się spodziewać wyładowań powierzchniowych zabrudzeniowych.

W przypadku różnych innych kombinacji defektów w komorze gaszeniowej rozpoznanie ich przez program było zawsze zadowalające.

Tabela 2. Hipoteza końcowa rozpoznawania defektów

	Defect 1	Defect 2	Defect 3	Defect 4
Sum Q	5%	9%	18%	3%
Min Q	28%	8%	19%	24%
Max Q	88%	16%	62%	59%
Range	86%	17%	53%	21%
PulseNum N	4%	6%	16%	1%
Mode Q	36%	23%	30%	35%
Average Qav	73%	13%	35%	31%
Std. Dev.ss	34%	7%	31%	27%
Voltage[kV]	100%	100%	100%	100%
Lo Quartile	85%	22%	39%	46%
Up Quartile	68%	11%	22%	21%
Intq. Range	36%	6%	15%	21%
Median	76%	16%	27%	25%
Skewness	37%	23%	30%	33%
SkewnessSt	23%	10%	30%	20%
Kurtosis	23%	30%	29%	49%
KurtSt	33%	38%	29%	49%
HYPOTHESIS	4%	36%	74%	3%

## 5. Podsumowanie i wnioski

Celem pracy było rozpoznawanie defektów w próżniowej komorze gaszeniowej przy wykorzystaniu komputerowego programu identyfikacji defektów.

Stworzono obszerną bazę danych dotyczącą czterech możliwych defektów występujących w komorach gaszeniowych. Porównywanie parametrów statystycznych opisujących rozkład częstościowo-amplitudowy ładunku przenoszonego przez impulsy prądowe generowane w komorze o nieznanym stanie z parametrami statystycznymi zawartymi w bazie danych, a opisującymi każdy defekt działający osobno, dało zadowalające rezultaty. Defekty występujące w komorze z całą pewnością, ponieważ były sztucznie zamodelowane, były zwykle „rozpoznawane przez program” z bardzo dużym prawdopodobieństwem wynoszącym około 80%. Defekty wewnętrzne o dużym prawdopodobieństwie istnienia były rozpoznawane z dużym prawdopodobieństwem wynoszącym 60–70%.

## Literatura

- [1] **Gulski E.**: *Computer-aided Recognition of Partial Discharges using Statistical Tools*, PhD Thesis, Delft University Press, 1991
- [2] **Malewski R.**: *Metody cyfrowe pomiarów i diagnozowania w technice wysokich napięć*, Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, Elektryka z. 99, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992
- [3] **Ziomek W.**: *Digitally aided recognition of partial discharges in insulating materials and systems as a diagnostic tool*, Int. Conference on Condition and Breakdown in Solid Dielectrics, Leicester, U. K., July 1995
- [4] **Gulski E., Kreuger F. H.**: *Computer-aided Recognition of Discharges Patterns*, IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol. 27, pp. 82–92, 1992
- [5] **Gulski E.**: *Digital Analysis of Partial Discharges*, IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol. 2, No. 5, pp. 822–837, Oct. 1992
- [6] **Backburn T. R., Li Z. Z., Phung B. T.**: *Investigation of partial discharges in SF<sub>6</sub> using a computer-based data acquisition system*, IEEE Trans. on Electr. Insul., Vol. 27, No. 3, pp. 661–668, June 1992
- [7] **Ziomek W., Mościcka-Grzesiak H.**: *Statistical relations of breakdown voltage and the parameters characterising pre-discharge phenomena at a short vacuum gap*, in Conf. Record IEEE Int. Symp. Elec. Insul., pp. 225–228, 1990
- [8] **Ziomek W., Mościcka-Grzesiak H.**: *Relation of Breakdown Voltage and Prebreakdown Microdischarge Parameters in Vacuum*, IEEE Trans. on EI., Vol. 28, pp. 481–487, 1993
- [9] **Mościcka-Grzesiak H., Ziomek W., Siodła K.**: *Estimation of Properties of Contact Materials Used in Vacuum Interrupters Based on Investigations of the Microdischarge Phenomenon*, IEEE Trans. on Components, Packing, and Manufacturing Technology – Part A, Vol. 18, No. 2, pp. 344–347, 1995
- [10] **Ziomek W.**: *Program identyfikacji defektów przy wykorzystaniu parametrów statystycznych wyładowań niezupełnych*, Zadanie 2, KBN – PB 0351/P4/94/06

IDENTIFICATION OF DEFECTS IN AN EXTINGUISHING CHAMBER OF A VACUUM  
INTERRUPTER USING STATISTICAL ANALYSIS OF THE PARAMETERS CHARACTERISING  
PREBREAKDOWN STATE

The purpose of the presented investigations was identification of defects which could occur in the extinguishing chamber of the vacuum interrupter. Four different kinds of defects were described using statistic parameters of frequency-amplitude charge distribution of partial discharges. The identification of defects in a real vacuum chamber was carried out using a defects recognition computer program.