

Mariusz Sztolcman<sup>1</sup>, Krzysztof Walczak<sup>1</sup>

## PORÓWNANIE PARAMETRÓW KSZTAŁTU IMPULSÓW WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH GENEROWANYCH W RÓŻNYCH DIELEKTRYKACH

**Streszczenie:** W pracy przedstawiona została analiza parametrów czasowych oscylogramów wyładowań niezupełnych w dielektryku stałym, ciekłym i gazowym przy napięciu stałym i przemiennym. Stwierdzono dużą powtarzalność kształtu impulsów prądowych w powietrzu i polietylenie natomiast w oleju występowały znaczne rozrzuty. Parametry czasowe impulsów prądowych wyładowań niezupełnych można wykorzystać w procedurze rozpoznawania defektów.

**Słowa kluczowe:** wyładowania niezupełne, rozpoznawanie defektów, cyfrowe techniki pomiarowe

### Wstęp

Prezentowany artykuł stanowi część szerszej zakrojonych prac związanych z procedurą rozpoznawania defektów układów izolacyjnych.

Szczególnie wyrafinowane metody diagnostyczne i techniki rozpoznawania defektów są proponowane dla bardzo drogiej układów izolacyjnych, na przykład transformatorów wielkiej mocy, głowic wysokonapięciowych, przekładników. Wagi dodaje fakt, że bardzo drogie wysokonapięciowe urządzenia – w krajach europejskich, USA i Kanadzie – osiągnęły wiek czasem znacznie przekraczający projektowany okres życia technicznego. W tej sytuacji kładzie się wielki nacisk na diagnostykę, aby móc odsunąć w czasie planowaną wymianę jednostki, przy jednoczesnym zmniejszeniu ryzyka awarii.

Izolacja z biegiem lat ulega degradacji w całej swojej objętości, ale do awarii doprowadzają punktowe defekty. Każdy defekt generuje specyficzne wyładowania niezupełne, których analiza pozwala – z mniejszą lub większą trafnością – rozpoznać przyczynę. Dotychczas rozpoznawanie defektów było oparte na analizie rozkładów statystycznych częstotliwościowo – amplitudowych ładunku przeniesionego przez impuls prądowy wyładowań niezupełnych oraz rozkładów częstotliwościowo – fazowych wyładowań [1, 2]. W pewnych sytuacjach rozpoznawanie defektów nie jest satysfakcjonujące. Nie wynika to z ułomności warsztatu, ale z podobieństwa wielu parametrów statystycznych opisujących różne defekty.

<sup>1</sup> Politechnika Poznańska, Instytut Elektroenergetyki

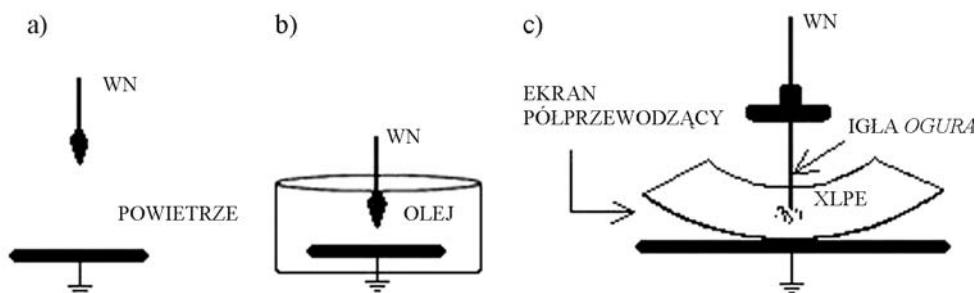
Perspektywicznym celem jest zwiększenie prawdopodobieństwa rozpoznawania defektów przez dodanie do statystycznego opisu defektu, zwanego „odciskiem palca” (*finger print*), parametrów czasowych impulsów prądowych wyładowań niezupełnych.

Czas trwania impulsu i jego kształt jest wielkością niezwykle powtarzalną i specyficzną dla danego typu defektu. Stąd nasza nadzieja, że parametr ten w wystarczającym stopniu będzie różnicował defekty. Czas trwania impulsów prądowych w różnych układach mieści się w bardzo szerokich granicach od 1 ns do 1000 ns. Planowane jest stworzenie atlasu impulsów prądowych towarzyszących wyładowaniom niezupełnym występującym w typowych układach izolacyjnych.

## 2. Eksperyment

### 2.1 Obiekty badań

Ośrodkami badań były powietrze, olej i polietylen, które reprezentują trzy stany skupienia. Powietrze badane było w układzie ostrze – płyta uziemiona (rys. 1a). Elektroda wysokonapięciową była igła typu *Ogura* o promieniu krzywizny  $5\ \mu\text{m}$ . Odstęp międzyelektrodowy wynosił 7,5 cm.



**Rys. 1.** Badane obiekty; powietrze w układzie elektrod ostrze-płyta uziemiona (a), olej transformatorowy w układzie elektrod ostrze-płyta uziemiona (b), próbka polietylenowa z wprowadzoną wysokonapięciową elektrodą igłową (c)

Drugim obiektem był olej transformatorowy, badany w tym samym układzie elektrod co powietrze, ale o odstępie między elektrodami równym 0,7 cm (rys. 2b).

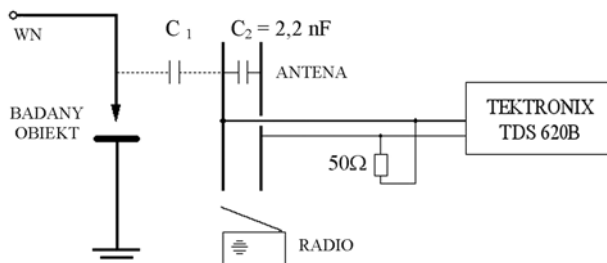
Próbkę polietylenu usieciowanego uzyskano z izolacji kabla energetycznego na napięcie znamionowe 15 kV (rys. 3c). W próbkę wbito igłę o promieniu krzywizny  $5\ \mu\text{m}$ . Odległość od wierzchołka igły do ekranu półprzewodzącego wynosiła 4 mm. Próbkę poddano starzeniu napięciem 30 kV do momentu powstania drobnych kanalików widocznych gołym okiem. Tak przygotowane próbki umieszczano w układzie elektrod pomiarowych.

### 2.2. Układ pomiarowy i metodyka badań

Badanie wyładowań ulotowych w powietrzu oraz wyładowań niezupełnych w oleju i polietylenie wymagało zastosowania różnych układów pomiarowych.

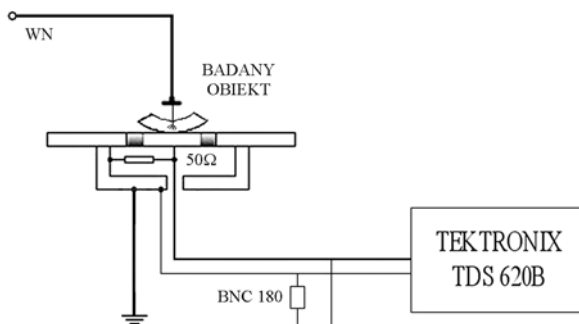
Wyładowania ulotowe w powietrzu mierzono w układzie przedstawionym na rysunku 2. W tym przypadku użyto sondę antenową nie połączoną metalicznie z obiektem badań. Sonda

antenowa składa się z dwóch dysków o średnicy 20 cm, między które wlutowano kondensatory o łącznej pojemności  $C_2$ .  $C_1$  to pojemność między układem pomiarowym a sondą antenową. Sonda oddalona była od obiektu o 30 cm. Radio o zasilaniu bateryjnym sygnalizowało pojawianie się wyładowań niezupełnych



Rys. 2. Układ pomiarowy z sondą antenową do badania kształtów impulsów wyładowań niezupełnych w powietrzu

Wyładowania niezupełne w polietylenie i oleju mierzono w układzie pokazanym na rysunku 3 [3, 4]. Elektroda pomiarowa ma kształt dysku o średnicy 3 cm. Uziemiona elektroda pierścieniowa była odizolowana od elektrody pomiarowej za pomocą teflonu. W celu zabezpieczenia oscyloskopu przed przepięciami zastosowano zabezpieczenie przeciwprzepięciowe BNC 180 firmy CITEL. Użyto oscyloskop cyfrowy Tektronix TDS 620B o paśmie przenoszenia 500 MHz i częstotliwości próbkowania 2,5 GS/s.



Rys. 3. Schemat sprzężenia układu pomiarowego z impedancją pomiarową

W celu analizy kształtu impulsów oscyloskop rejestrował cztery wybrane parametry: wartość szczytową, szerokość impulsu, czas narastania i czas opadania impulsu. Interpretacja wymienionych parametrów jest przedstawiona na rysunku 4.

## 2.2. Wyniki pomiarów i ich interpretacja

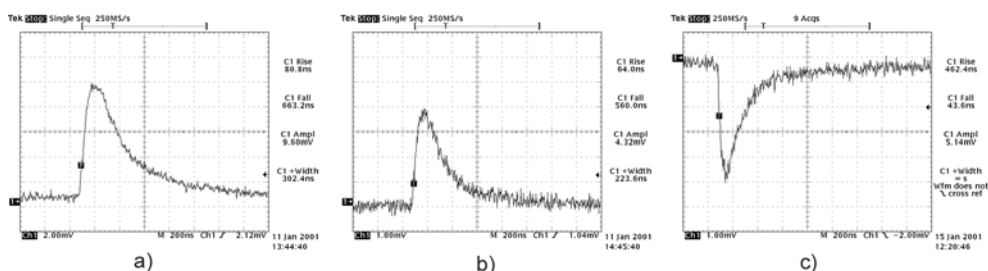
Wyładowania niezupełne generowane w powietrzu badane były przy napięciu przemien-  
nym oraz stałym obydwóch biegunowości. Przykładowe oscylogramy przedstawiono na ry-  
sunku 5. Napięcie pojawiania się wyładowań niezupełnych oraz ich intensywność zależą od

biegunowości elektrody ostrzowej. Wyładowania niezupełne wywołują zakłócenia radioelektryczne. Chwilę pojawienia się zakłóceń przyjęto za napięcie początkowe wyładowań niezupełnych. Dla napięcia przemiennego było to 14 kV, stałego biegunowości dodatniej 25 kV, a ujemnej 13 kV. Napięcie pojawiania się wyładowań niezupełnych przy ostrzu ujemnym jest dużo mniejsze niż w przypadku ostrza dodatniego. Jest to skutkiem działania ładunku przestrzennego dodatniego. Ale można też stwierdzić, że impulsy prądowe wyładowań przy ostrzu ujemnym mają znacznie mniejszą wartość szczytową. Wybrane oscylogramy na rys. 5b i 5c mają porównywalne wartości szczytowe i kształty. Ale należy zwrócić uwagę, że napięcie biegunowości dodatniej wynosiło 29 kV, a ujemnej aż 48 kV.



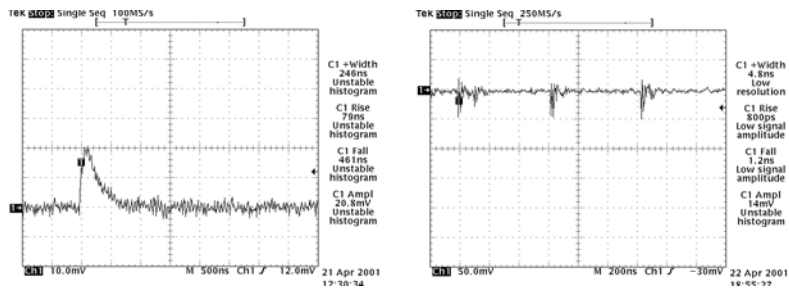
Rys. 4. Parametry charakteryzujące kształt impulsu prądowego

Impulsy prądowe wyładowań niezupełnych w oleju przy napięciu przemiennym (rys. 6a) mają kształt bardzo podobny do impulsów wyładowań niezupełnych w powietrzu. Jest to zrozumiałe, ponieważ zgodnie z teorią kawitacyjną przebicia dielektryków ciekłych (*cavity theory*), wokół ostrza tworzy się w pierwszej fazie pęcherz gazowy, a potem następuje rozwój wyładowania tak jak w gazie.



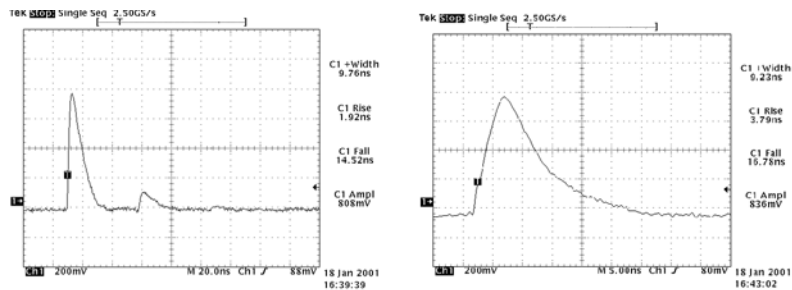
Rys. 5. Przykładowe przebiegi impulsów wyładowań niezupełnych w powietrzu; napięcie przemiennie 25 kV (a), napięcie stałe 29 kV biegunowości dodatniej (b), napięcie stałe 48 kV biegunowości ujemnej (c)

Przy odpowiednio dużym napięciu impulsy wyładowań w oleju powtarzają się w regularnych odstępach, około 600 ns. Jest to związane prawdopodobnie z tworzeniem mostka. Efekt ten szczególnie wyekspozował się przy napięciu stałym biegunowości ujemnej, co pokazano na rysunku 6b.



Rys. 6. Przykładowe przebiegi impulsów wyładowań niepełnych w oleju; napięcie przemiennie 8 kV (a), napięcie stałe 23 kV biegunowości ujemnej (b)

Wyładowania niepełne w polietylenie towarzyszą procesowi rozrastania drzewa. Wybrany impuls prądowy przy napięciu przemiennym przedstawiono na rysunku 7. Charakterystyczną cechą tych impulsów jest bardzo mały czas trwania, około 40 razy mniejszy niż impulsów wyładowań w powietrzu. Przy napięciu stałym o wartości do 20,5 kV nie zarejestrowano wyładowań niepełnych w badanej próbce polietylenu.



Rys. 7. Przykładowe przebiegi impulsów wyładowań niepełnych generowanych w polietylenie z wierzchołka białej igły; napięcie przemiennie 6 kV

W tabelicy 1 zebrano dla porównania podstawowe parametry kształtu impulsów prądowych wyładowań niepełnych dla trzech badanych obiektów.

Badane obiekty	Rodzaj napięcia	Czas narastania [ns]	Czas opadania [ns]	Szerokość [ns]	Czas trwania [ns]
	AC	80,8	663,2	302,4	880,0
	DC+	64,0	560,0	223,6	700,0
	DC-	43,6	462,4	184,0	548,0
	AC	100,0	500,0	260,0	680,0
	AC	1,92	14,52	9,76	20,0

### 3. Wnioski

Parametry czasowe impulsów prądowych są typowe dla wyładowań niezupełnych występujących w wybranych modelowych układach izolacyjnych.

Impulsy prądowe wyładowań niezupełnych w powietrzu charakteryzują się bardzo dużą powtarzalnością kształtu. Ich czas trwania jest stosunkowo duży i wynosi około 600 - 800 ns. Przy napięciu przemiennym i stałym obu biegunowości kształt impulsów jest taki sam, a ich parametry czasowe tylko nieznacznie się różnią.

Wyładowania w oleju bardzo zależą od stanu czystości oleju i zawartości wody. Rejestrowane przebiegi impulsów wykazywały niestety małą powtarzalność kształtu przy niezmiennych warunkach pomiarowych. W oleju niezanieczyszczonym impulsy prądowe miały parametry czasowe takie jak w powietrzu, co można wytłumaczyć kawitacyjną teorią mechanizmu przebicia. Zanieczyszczenie i zawilgocenie oleju powoduje rozwój różnorodnych impulsów prądowych. Dlatego dla potrzeb identyfikacji defektów trzeba będzie wykonać bardzo dużą liczbę wzorcowych oscylogramów wyładowań niezupełnych w dielektrykach ciekłych.

Wyładowania niezupełne w polietylenie charakteryzują się dużą powtarzalnością. Ich szczególną cechą jest bardzo krótki czas trwania wynoszący około 20 ns.

Znaczne różnice kształtu impulsów prądowych wyładowań niezupełnych w badanych ośrodkach izolacyjnych pozwalają mieć nadzieję, że parametry czasowe impulsów będą mogły być wykorzystane w technice rozpoznawania defektów.

### Literatura

- [1] **Florkowski M.:** *Distortion of partial discharge images caused by high voltage harmonics*, 10<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering, Montreal, 1997, Vol. 4, pp. 95-98
- [2] **Kreuger F. H., Gulski e., Krivda A.:** *Classification of Partial Discharges*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Isulation, December 1993, Vol. 28, No 6
- [3] **Densley J., Kalicki T., Nadolny Z.:** *Characteristics of PD pulses in electrical trees and interfaces in extruded cables*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Isulation, February 2001, Vol. 8, No 1, pp. 48 - 57
- [4] **Wetzer J. M., Pemen A. J. M., van der Laan P. C. T.:** *Experimental study of the mechanism of partial discharges in voids in polyethylene*, 7<sup>th</sup> International Symposium on High Voltage Engineering, Dresden, 1991, ref. 71.02, pp. 13-16

#### COMPARISON OF SHAPE PARAMETERS OF PARTIAL DISCHARGE PULSES GENERATED IN DIFFERENT DIELECTRICS

The article presents an oscillogram analysis of partial discharges in dielectrics: solid, liquid, and gaseous at direct and alternating voltage. The authors found large repeatability of the current pulse shape in air and polyethylene, whereas there were substantial dispersions in oil. Time parameters of current pulses can be used in the procedure of defect recognition.