

Barbara Florkowska, Andrzej Krzeczyński  
Jan Zalewski

BADANIA WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH W KONDENSATORACH ENERGETYCZNYCH  
Z NIECHLOROWANYM SYCIWEM BIODegradALNYM

1. Wstęp

W ostatnich latach opracowano i rozpoczęto produkcję syciw kondensatorowych niechlorowanych, biodegradalnych w celu wyeliminowania dotychczas szeroko stosowanych przez ok. 40 lat dwufenyli chlorowanych /PCB/, których zastosowanie obecnie ogranicza się w coraz większym stopniu, ze względu na ochronę środowiska naturalnego i możliwość kumulowania się PCB w tkankach żywych organizmów.

Dwufehyle chlorowane mają bardzo dobre własności dielektryczne, chemiczne i fizyczne, są przy tym niepalne względnie trudnopalne, a więc mają własności bardzo pożądane dla urządzeń energetycznych wysokiego napięcia takich, jak kondensatory i transformatory.

W trakcie poszukiwania nowych biodegradalnych syciw stwierdzono jednak, że nie można znaleźć ekonomicznych substytutów PCB, które dorównałyby funkcjonalnym wysokim własnościom PCB i byłyby niepalne. Ostatecznie zdecydowano się pójść na kompromis, dając pierwszeństwo własnościom funkcjonalnym, co jest szczególnie ważne dla kondensatorów energetycznych, pracujących przy bardzo wysokich napięzeniach elektrycznych, natomiast obniżono w porównaniu z PCB wymagania co do nie-

---

Dr inż. Barbara Florkowska - Instytutu Maszyn i Sterowania Układów  
Elektroenergetycznych AGH w Krakowie  
Mgr inż. Andrzej Krzeczyński, doc. dr Jan Zalewski - Zakłady Wytwórcze  
Aparatury Rozdzielczej im. Dymitrowa - Warszawa

palności, gdyż kondensatory zawierają małe ilości syciwa i wynikające stąd zagrożenie pożarowe jest znikomo małe [1] .

## 2. Wymagania stawiane syciwom kondensatorowym

Syciwa dla współczesnych kondensatorów energetycznych wysokiego napięcia /powyżej 400 V/ powinny mieć następujące podstawowe własności [2]: .

a/ powinny być możliwie polarne, o małej lepkości i niskim ciśnieniu par, niekryształizujące aż do  $-40^{\circ}\text{C}$ , chemicznie i cieplnie stabilne, niepowodujące nadmiernego pęcznienia folii polipropylenowej,

b/ muszą ulegać biodegradacji w środowisku naturalnym, nie powinny być toksyczne,

c/ w zakresie własności dielektrycznych, oprócz małej stratności, wysokiej wytrzymałości elektrycznej powinny wyróżniać się wysokim progiem wyładowań niezupełnych, szczególnie w niskich temperaturach; wyładowania niezupełne jeśli powstaną powinny szybko zgasnąć i być krótkotrwałe.

W kondensatorach z dielektrykiem papierowo-polipropylenowym pozostają zawsze ślady wody i dlatego do impregnacji tych kondensatorów użyte syciwo powinno odznaczać się dużą odpornością na hydrolizę. W wyniku hydrolizy powstają kwasy, które prowadzą do wzrostu przewodnictwa i pogorszenia własności dielektryków kondensatorowych.

Inną ważną własnością syciwa jest jego współpraca z impregnowaną folią polipropylenową. Dopuszczalne, ustalone pęcznienie folii polipropylenowej zanurzonej w syciwie o temperaturze  $100^{\circ}\text{C}$  nie może przekraczać 10-12 %. Ważna jest również zdolność zwilżania folii polipropylenowej, która powinna wynosić co najmniej  $10^{\circ}$ .

## 3. Niektóre wyniki badań wykonanych za granicą

Już od dawna panuje przekonanie, że podstawowym czynnikiem ograniczającym czas życia kondensatorów są wyładowania niezupełne /wnz/. Dlatego też do zasadniczych własności kondensatorów zaliczane są ich

charakterystyki jonizacyjne. Pomiaru wnz w ocenie konstrukcji i technologii wytwarzania kondensatorów odgrywają coraz większą rolę i stale są udoskonalane łącznie z przyspieszonymi metodami starzenia również udoskonalanymi.

Mandelcorn [1] badając kondensatory energetyczne wysokiego napięcia z dielektrykiem papierowo-polipropylenowym impregnowane nowymi różnymi niechlorowanymi syciwami wyznaczył charakterystyki napięcia początkowego wnz  $U_0$  w całym zakresie spodziewanych temperatur otoczenia. W zakresie ujemnych temperatur  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $-20^{\circ}\text{C}$ , zgodnie z tymi badaniami,  $U_0$  występuje nieco powyżej napięcia znamionowego  $U_n$  i wzrasta do  $2,5 U_n$  przy temperaturze  $80^{\circ}\text{C}$ . Te same kondensatory nasyczone PCB, badane w tych samych warunkach pomiarowych wykazały  $U_0$  podobne w temperaturze  $-40^{\circ}\text{C}$ , ale znacznie niższe, rzędu  $1,5 U_n$  w temperaturze  $80^{\circ}\text{C}$ .

Według pomiarów japońskich [3] charakterystyki  $U_0$  w funkcji temperatury dla w/w kondensatorów przebiegają podobnie. Mierzone napięcie gaśnięcia w zakresie temperatur dodatnich było wyższe niż dla kondensatorów ze syciwem PCB.

Prowadzone aktualnie badania we Włoszech [4] wykonywane są na modelach i pomiary wnz połączone są z przyspieszonym starzeniem impulsami według cyklu podanego w dokumencie IEC, TC 33 /Secretariat/ 81, przy czułości aparatury pomiarowej 10 do 12 pC. Wyniki ze wstępnych badań, zreferowanych na spotkaniu Grupy Roboczej CIGRE 15-05 w Cambridge Mass. w bieżącym roku potwierdzają dobre zachowanie się nowych dielektryków także w temperaturach ujemnych  $-25^{\circ}\text{C}$  przy  $1,1 U_n$ . Autorzy wprowadzają pojęcie wnz podstawowych i przejściowych /base ionization, transient ionization/. Jonizacja przejściowa, wywołana impulsami starzenia nie powoduje wzrostu jonizacji podstawowej rzędu kilkuset pC przy  $-25^{\circ}\text{C}$  i  $1,1 U_n$ .

Zachęćeni dobrymi wymikami laboratoryjnymi wielu producentów /np. General Electric, Westinghouse, Mc Graw Edison, Toshiba, ASEA/ prze-

szło całkowicie na stosowanie nowych syciw niechlorowanych biodegradowalnych o różnych nazwach fabrycznych, jak Wemcol, Dielektrol II i III, Nippon Oil S, BNC itp.

Dalszy rozwój techniki kondensatorowej [5] idzie w kierunku całkowitego wyeliminowania papieru /sączka/ z układu, obniżenia polarności syciwa i odpowiedniego przygotowania folii polipropylenowej oraz folii aluminiowej do impregnacji. Rozróżnia się folie polipropylenową gładką i zmatowaną /roughened or matted/. Podobnie, dla poprawienia procesu impregnacji folię aluminiową przygotowuje się przez wytworzenie na jej powierzchni przejściowo tekstury /memory patterend foil / na okres impregnacji. Mówi się o przełamaniu bariery technologicznej, która pozwoliła na stosowanie samej folii polipropylenowej i na dalsze podwyższenie napiężeń roboczych do 50 a nawet 60 V/ $\mu$ m.

#### 4. Program badań własnych

W programie badań własnych, w pierwszym etapie przyjęto wyznaczenie niektórych rozkładów empirycznych wyładowań niezupełnych w kondensatorach z dielektrykiem mieszanym papierowo-polipropylenowym, zaimpregnowanych nowymi syciwami niechlorowanymi, biodegradowalnymi o nazwie chemicznej neokaprylan benzylu BNC oraz tradycyjnymi PCB.

W drugim etapie przewiduje się wykonanie badań starzeniowych impulsami w połączeniu z pomiarem wyładowań.

Do badań przygotowano modele 1-zwijkowe z dielektrykiem papierowo-polipropylenowym o pojemności 0,25 do 0,26  $\mu$ F, odzwierciedlających konstrukcje i technologie kondensatorów serii CP. Modele zaimpregnowane syciwami o różnych nazwach fabrycznych oznaczono dla grupy PCB - literami A,B,C, następnie dla grupy BNC - syciwo P, oraz syciwo niechlorowane typu N. Porównanie niektórych własności zastosowanych dielektryków ciekłych przedstawiono w tabelicy 1. Badania przeprowadzono przy zastosowaniu 512-kanalowego analizatora amplitudy [6].

W przyjętym czasie analizy rejestrowano rozkłady empiryczne ładunków

Tablica 1

Porównanie własności niektórych zastosowanych dielektryków ciekłych

Nazwa własności	BNC	Syciwo	PCB
	N	P	A
1. gęstość w 20° C /g/cm <sup>3</sup> /	0,988	0,957	1,40-1,42
2. lepkość kinem. w 20° C /cSt/	6,5/30°C	6	92
3. temp.krzepnięcia /° C/	- 47,5	- 60*	- 15
4. temp.zapłonu	148	165**	-
5. tgδ w 100°C	0,01/80°C	0,02	0,05/90° C
6. przenikalność dielektryczna w 20° C	2,52/80°C	3,8	4,7/90° C

wyładowań w pamięci analizatora a następnie odtwarzano w sposób cyfrowy. Układ pomiarowy wykonany dla celów detekcji wyładowań w kondensatorach posiadał czułość 1 pC a rozkłady empiryczne ładunków wyznaczano przy szerokości kanału 0,6 pC.

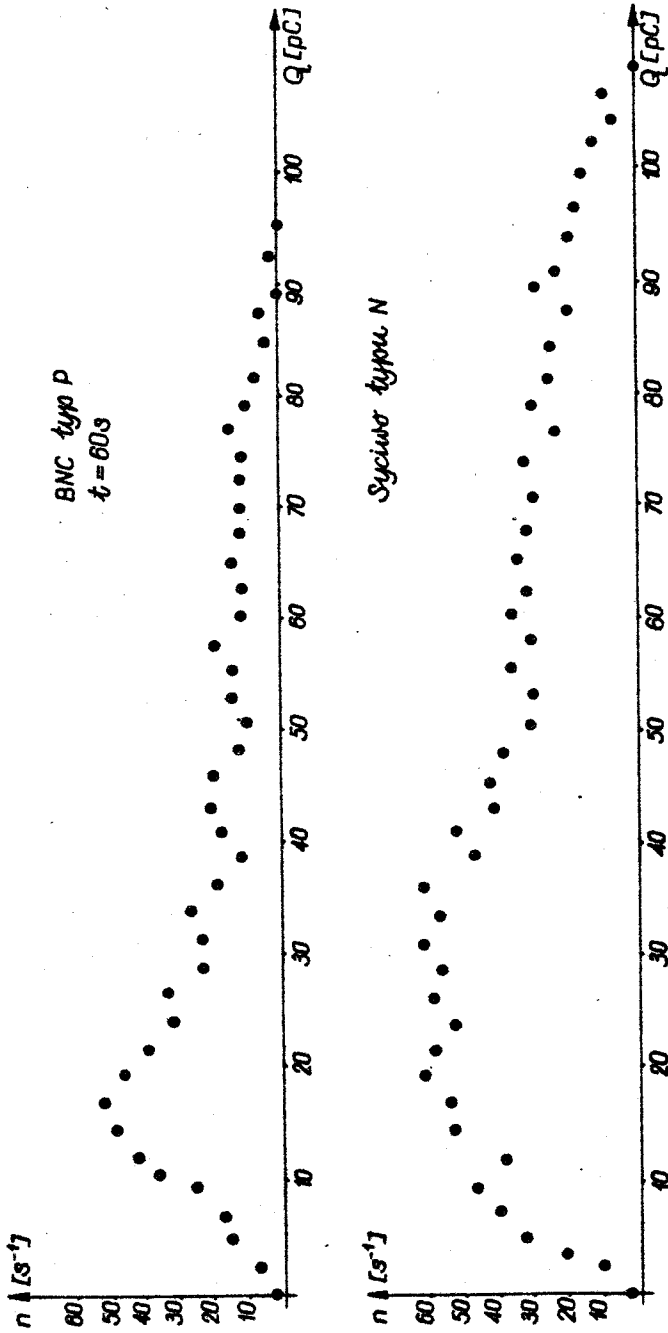
### 5. Wyniki badań

Przy napięciu znamionowym  $U_N$  nie stwierdza się wyładowań niezupełnych. Pojawianie się sporadycznych impulsów wyładowań o ładunku ponad 1 pC obserwuje się przy napięciu ok. 1,7-1,8  $U_N$ . Rozkłady empiryczne ładunków rejestrowano dla wszystkich grup kondensatorów przy napięciu probierczym 2  $U_N$  i po czasie  $t = 60$  s od chwili załączenia napięcia.

Dla kondensatorów z syciwem BNC i typu N przedstawiono je na rysunku 1, dla kondensatorów z syciwem PCB na rysunku 2.

Wyznaczone rozkłady empiryczne reprezentują w przybliżeniu ten sam typ funkcji. Występuje w nim lokalne maksimum dla wyładowań o ładunku

\* wg. ASTM-D97, \*\* wg. ASTM-D92



Rys.1. Rozkłady empiryczne wyładowań w kondensatorach z syciwem BNC oraz nbechlorowanym typu N

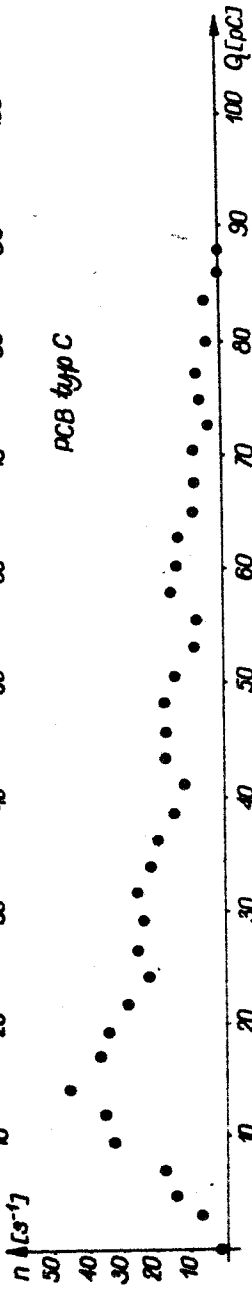
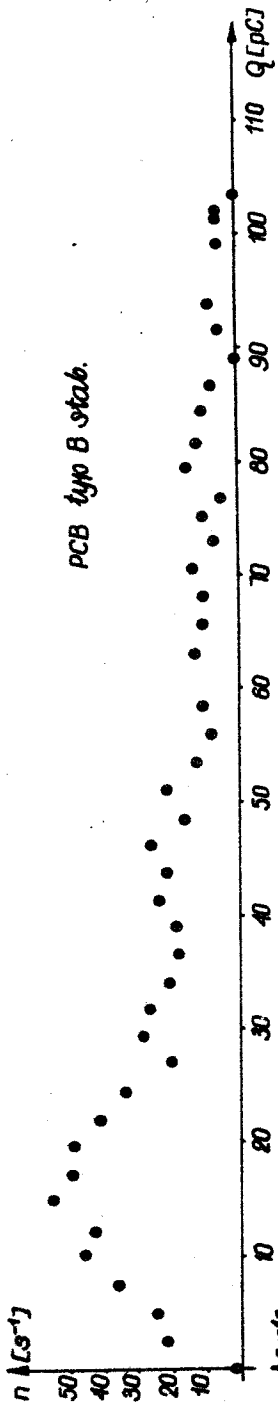
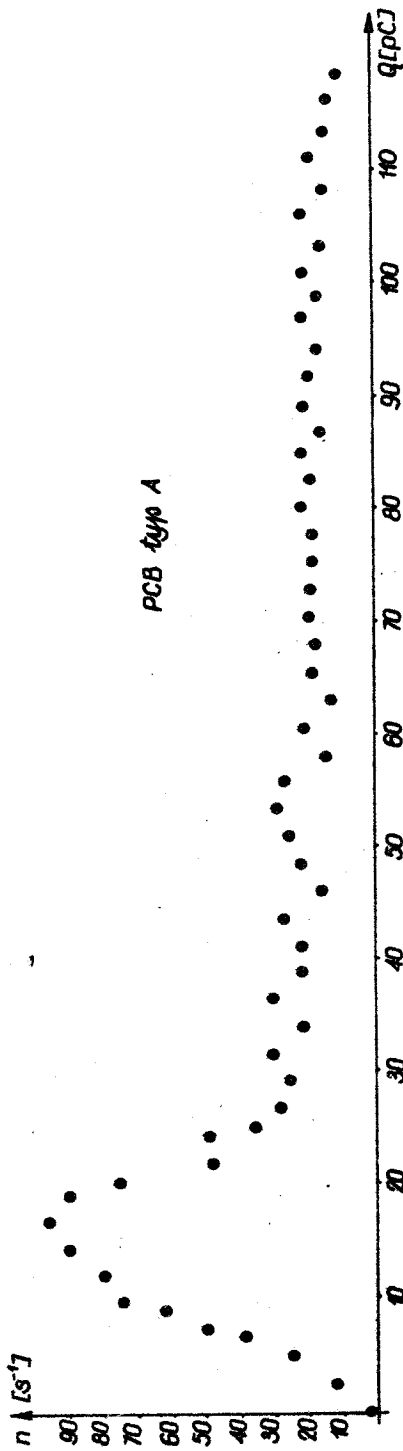


Fig. 2. Results of empirical measurements in the laboratory of systems PCB type A, B i C

ok. 20 pC, a w przypadku syciwa typu BNC-N o ładunku 20 do 35 pC, których częstota powtarzania wynosi  $50 \text{ s}^{-1}$  oraz znaczna część płaska o ładunku do 100 pC i mniejszej częstotliwości.

Rozkłady empiryczne przedstawiają zatem zbiór wyładowań o charakterze stochastycznym, występujących przeciętnie co kilka okresów.

#### 6. Zakończenie

1/ Zastosowanie nowego rodzaju syciwa do kondensatorów z dielektrykiem mieszanym nie zmieniło w istotnym stopniu stanu układu izolacyjnego pod względem wyładowań niezupełnych.

2/ Stwierdzone różnice intensywności wyładowań niezupełnych w poszczególnych grupach kondensatorów mogą mieć związek z różną zdolnością zwilżania folii polipropylenowej przez różne dielektryki ciekłe.

3/ Dla pełnej oceny roli wyładowań niezupełnych trzeba przeprowadzić próby starzeniowe z uwzględnieniem przepięć oraz wpływu temperatury.

#### LITERATURA

1. Mandelcorn L. i inni: High Voltage Power Capacitor Dielectrics Recent Developments. CIGRE, WG 15-05/79.
2. Jay M.: Neo-kaprylan benzylu, niechlorowany dielektryk ciekły dla kondensatorów wysokiego napięcia. CIGRE WG 15-05/77.
3. Nippon Oil Co., Ltd, Technical Bulletin H13-08-76B Nisseki Condenser Oil S /Diaryalkane/. Publikacja fabryczna.
4. Zanobetti D., Zanarini V.: On the Different Characteristics of Partial Discharges in Mixed Paper-Polypropylene Dielectrics Impregnated with Various New Fluids.
5. Frank D. Price: Non PCB Capacitors Technology Trends. CIGRE WG 15-05 79.
6. Florkowska B., Gacek R., Włodek R.: Technika rejestracji wyładowań niezupełnych za pomocą analizatorów wielokanałowych. Symp. "Problemy



wyładowań niezpełnych w układach elektroizolacyjnych" Zakopane,  
czerwiec 1975.

7. Florkowska B., Zalewski J.: Application of Multichannel Analyzers for Assessment of the Capacitor Drying Process. CIGRE, 15-05/77-13.

#### Summary

#### PARTIAL DISCHARGE INVESTIGATIONS IN POWER CAPACITORS WITH NONCHLORINATED BIODEGRADABLE IMPREGNANT

The comparison of partial discharges intensity in capacitors impregnated with different dielectric liquids is presented. For the partial discharges measurements the technique of multichannel analyzer was applicated.