

Jerzy Wodziński

O KORELACJI POMIĘDZY WARTOŚCIAMI INTENSYWNOŚCI
WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH A SZYBKOŚCIĄ DEGRADACJI
IZOLACJI PAPIEROWO-OLEJOWEJ

1. Wstęp

Zagadnienie oceny szybkości starzenia izolacji pod wpływem wyładowań niezupełnych jest bardziej skomplikowane w przypadku dielektryku papierowo-olejowego niż w przypadku dielektryków syntetycznych. Wynika to z faktu, że izolacja ta posiada dwa same w sobie złożone składniki tzn. olej izolacyjny oraz celulozę, których podatność na oddziaływanie wyładowań elektrycznych jest różna. Dodatkowym czynnikiem utrudniającym badania jest duża dynamika zmian wewnętrznej struktury makroskopowej próbek. Pod wpływem pola elektrycznego olej przemieszcza się w różnych obszarach próbki. Pociąga to zmianę w intensywności wyładowań, a czasami np. w przypadku układu jak na rys.2, utrudnia dostęp wyładowaniom do próbki.

Z wyżej podanych względów badania odporności takiego układu izolacyjnego na wyładowania niezupełne są kłopotliwe i czasochłonne, a także wymagają bardzo ostrożnego wnioskowania.

W Instytucie Transformatorów, Maszyn i Aparatów Elektrycznych

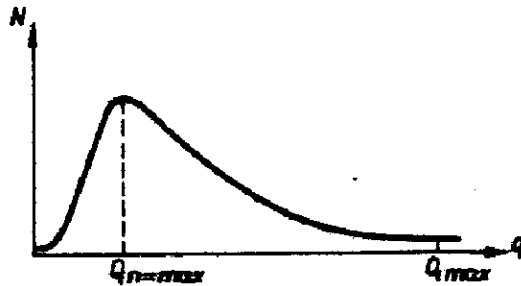
Dr inż. Jerzy Wodziński

Politechnika Łódzka

Instytut Transformatorów, Maszyn

i Aparatów Elektrycznych

Politechniki Łódzkiej przeprowadzono wstępne rozszpanie nad wzajemną zależnością: czasu życia izolacji papierowo-olejowej od różnych parametrów związanych z intensywnością wyładowań niezupełnych. Badania dotyczyły: maksymalnej wartości ładunku pozornego $/Q_{max}/$, wartości ładunku odpowiadającego największej częstotliwości $/Q_{n-max}/$ /rys.1/, zintegrowanego ładunku pozornego $\int ndq$ /rys.1/ i ilości wydzielonego wodoru.



Rys.1. Zależność liczby wyładowań $/n/$ niezupełnych od ładunku pozornego $/q/$

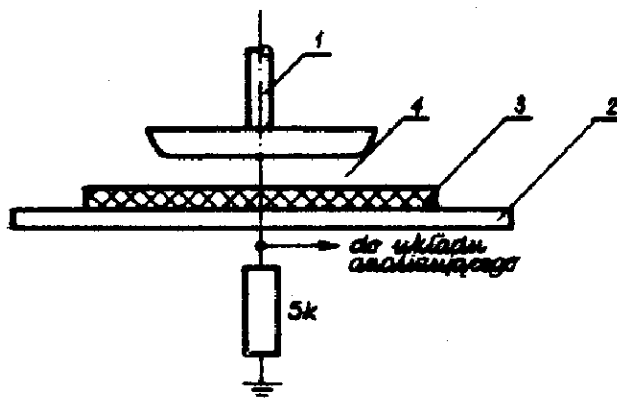
$\int ndq$ - pole pod krzywą $n=f(q)$.

2. Metodyka badań

Badania czasu życia przeprowadzono w układzie elektrod płaskich /rys.2/. Elektrody próbne wraz z badaną próbką izolacji umieszczone były w hermetycznej komórze zaopatrzonej w dwa króćce pozwalające na pobieranie próbek gazów wydzielanych w procesie starzenia. Próbki użyte do badań składały się z 5 warstw papieru o grubości 60 μm każda nasyczonego olejem. Technologia przygotowania próbek była identyczna z technologią suszenia i impregnowania układu izolacyjnego

transformatora.

Przed umieszczeniem próbki w komórce usuwano nadmiar oleju z powierzchni próbki. Podczas badania próbki znajdowały się w atmosferze azotu, który był jednocześnie gazem nośnym chromatografu. Pomiar ilości wodoru przeprowadzano po półgodzinnych okresach ekspozycji badanych próbek na działanie wyładowań niespełnych w zamkniętej komórce, uprzednio przedmuchanej azotem dla usunięcia gazowych produktów rozkładu izolacji.



Rys.2. Układ elektrod probierczych

- 1 - elektroda górna /Cu, \varnothing 20 mm/
- 2 - elektroda dolna /mosiądz \varnothing 60 mm/
- 3 - badana próbka
- 4 - szczelina gazowa o grubości 0,8 mm.

Widmo impulsów zdejmowano przy pomocy analizatora amplitudy i przelicznika impulsów. Zmianę intensywności wyładowań niespełnych uzyskiwano poprzez zmianę napięcia probierczego, przy pozostałych parametrach układu niezmiennych /szczelina gazowa, grubość badanej próbki/. Ze względu na dużą czasochłonność prób ograniczono liczbę próbek w serii do 5. Pomiar intensywności wyładowań niespełnych przy krótkich czasach życia /do kilku godzin/ przeprowadzano co 15-60 min, przy dłuższych - co ok. 3 godz.

Jako wypadkową krzywą $n=f/q/$ dla badanej próbki przyjęto średnią ważoną obliczaną dla danej wartości ładunku pozornego q_1 ze wzoru:

$$n_1 = \frac{\sum_{j=1}^k n_{1j} \cdot \Delta t_j}{t_z} \quad /1/$$

gdzie: n_{1j} - liczba impulsów odpowiadająca ładunkowi q_1 pomierzona po czasie t_j mierzonym od początku badania próbki,
 t_z - czas życia próbki.

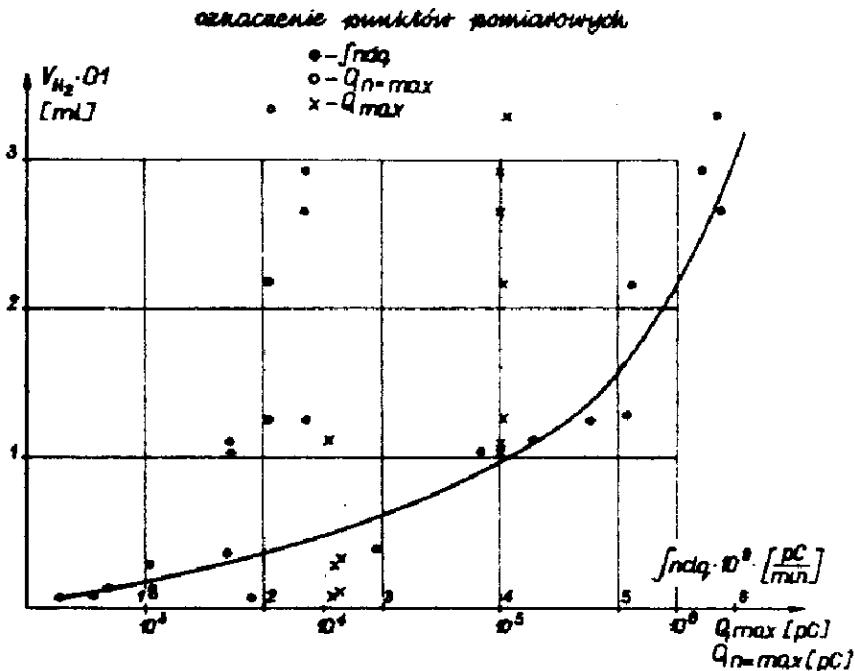
$$\Delta t_j = \frac{t_{j+1} - t_{j-1}}{2}$$

Z otrzymanej doświadczalnie krzywej $n=f/q/$ określono zgodnie z rys.1 interesujące nas parametry. Jako wartość ładunku maksymalnego przyjmowano wartość ładunku odpowiadającego przynajmniej 10 impulsom uzyskanym w czasie 30-sekundowego pomiaru.

Wyniki opracowano statystycznie zakładając, że czas życia izolacji podlega rozkładowi Weibulla [3]. Jako wynik przyjmowano medianę z jej przedziałem ufności. Wyznaczenie bowiem wartości oczekiwanej i jej przedziału ufności jest dość kłopotliwe ze względu na konieczność stosowania metody kolejnych przybliżeń. Łatwiej określić jest medianę $Me/x/$ i jej przedział ufności w siatce rozkładu Weibulla. Uproszczenie to jest o tyle uzasadnione, że zachodzi związek $Mo/x/ < Me/x/ < E/x/$. [$Mo/x/$ - wartość modalna, $E/x/$ - wartość oczekiwana]. Prosta regresji w siatce Weibulla wyznaczono z danych doświadczalnych stosując metodę najmniejszych kwadratów, a z niej określano medianę dla wartości dystrybuanty $F/x/ = 0,5$ i przedział ufności w granicach $0,5 - \beta/2$; $0,5 + \beta/2$ przy założonym poziomie ufności $\beta = 70\%$ [3].

3. Wyniki pomiarów

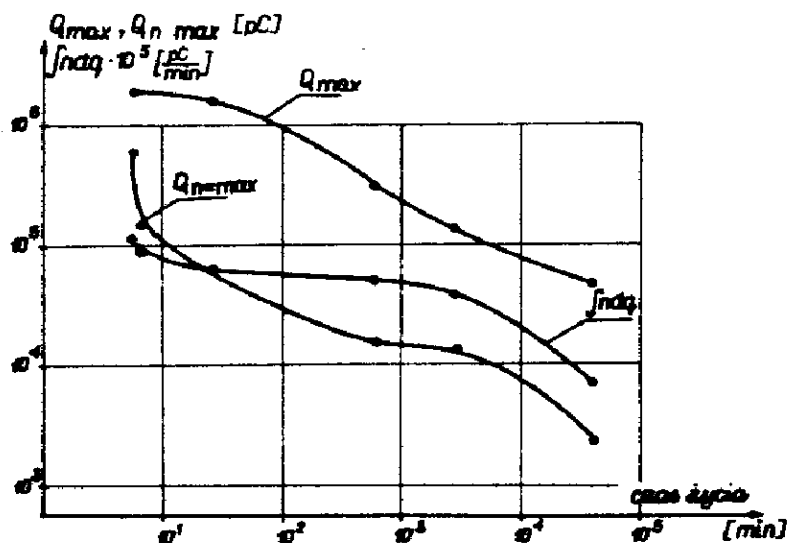
Wyniki pomiarów podano na rys.3,4 i 5.



Rys.3. Zależność ilości wydzielanego wodoru V_{H_2} od $\int ndq$, Q_{max} , Q_{n-max} .

W celu wstępnego rozpoznania efektywności parametrów związanych z wyładowaniami niezupełnymi przyjęto jako wskaźnik oceny szybkości degradacji próbek izolacji papierowo-olejowej intensywność wydzielania się wodoru jako produktu tej degradacji.

Parametr ten ma niewątpliwie bezpośredni związek fizyczny z szybkością przebiegu procesu starzenia. Wystąpienie więc korelacji z którąkolwiek wielkością związaną z wyładowaniami niezupełnymi mogłoby wskazywać na podobną zależność z czasem życia. Wyniki badań ilustruje rys.3. Można zauważyć, że tylko punkty pomiarowe odpowiadające wielkości $\int ndq$ układają się wzdłuż krzywej przypominającej krzywą wykładniczą.

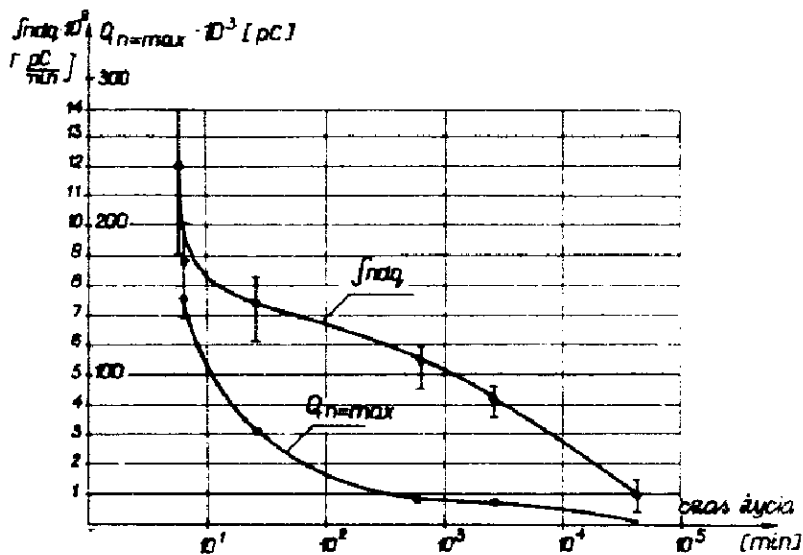


Rys.4. Wykresy zależności czasu życia próbek od Q_{\max} , $Q_{n-\max}$ i $\int ndq$.

Punkty odpowiadające ładunkowi maksymalnemu i ładunkowi $Q_{n-\max}$ tworzą nieregularny zbiór.

Potwierdzają ten fakt rysunki nr 4 i 5. Wynika z nich, że w interesującym nas długotrwałym czasie starzenia próbek występuje wyraźny związek między $\int ndq$ a czasem życia. Zależności te pomiędzy Q_{\max} i $Q_{n-\max}$ nie mają charakteru zdecydowanego i wydaje się, że będą mało przydatne do określenia szybkości starzenia się izolacji papierowo-olejowej. Natomiast widać wyraźną zależność krótkotrwałej wytrzymałości próbek od wymienionych wielkości. Wydaje się to w pewnym sensie uzasadnione.

Długotrwałe destrukcyjne działanie wyładowań niesupełnych stosunkowo licznych, ale o niezbyt dużym ładunku posobnym może być efektywniejsze niż np. nielicznych, ale o znacznie większej amplitudzie.



Rys.5. Wykresy zależności czasu życia próbek od $Q_{n=\max}$ i $\int ndq$

Czułym wskaźnikiem przebiegania procesu degradacji jest ilość wydzielonego wodoru. Praktycznie jednak może on spełniać tylko rolę pomocniczą w badaniach na próbkach izolacji papierowo-olejowej. Detekcja tego wskaźnika w praktycznych układach izolacyjnych np. w transformatorach jest niemożliwa ze względu na znikome ilości gazu wydzielającego się w procesie degradacji w stosunku do objętości oleju wypełniającego kadź.

4. Wnioski

Intensywność wyładowań niezupełnych opartą o największy ładunek pozorny $/Q_{\max}/$ nie można uznać za dostatecznie dobry wskaźnik określający szybkość degradacji izolacji papierowo-olejowej, a zatem i prognozujący czas życia tej izolacji w zakresie długich czasów. Wydaje się, że może on być użyty do tego celu tylko wspólnie ze wskaźnikiem,

który uwzględni destrukcyjne działanie całego widma impulsów. Za taki wskaźnik można uznać ndq . Wskaźnik Q_{max} stanowiłby o doraźnym niebezpieczeństwie uszkodzenia izolacji, a wskaźnik ndq o długotrwałym niszczyielskim działaniu wyładowań niezupełnych.

Literatura

1. Izeki N., Kurahashi A., Matsuura K. - Behaviour of oil corona and damage of transformer insulation. IEEE Trans. Power Appar. and Syst. 1971, 90, No 5, s. 2230.
2. Szczepański Z i inni - Badanie zależności pomiędzy intensywnością wyładowań niezupełnych a szybkością degradacji izolacji papierowo-olejowej. Opracowanie dla IEL Q/L, 1973.
3. Dobroszewski R. - Próba ustalenia nowej metody przyspieszonego badania odporności folii elektroizolacyjnych na wyładowania niezupełne. Rozprawa doktorska, Poznań, 1970.
4. Szczepański Z. - Wyładowania niezupełne w izolacji urządzeń elektrycznych. WNT, Warszawa, 1973.
5. Renne W.T., Soja G.P., Tkaczenko W.A. - K woprosu ob opredielenii stoikosti elektrokartona k powierchnostnym razriadam.
6. Tanasescu F. - Efekty wyładowań niezupełnych w izolacji transformatorów. The Second Conference on Electricity, Bukareszt, 1969.
7. Sienkiewicz E., Sztern H. - Obnarużenie czasticznych razriadow w obrazoch masliannoj izolacji z pomoszczju chromatograficzeskowo analiza. Elektrotechnika 1974, No 4, s. 58.
8. Kapłan D.A., Kucziński D.S. - Issledowania swjazanyje z opriedieleniem razruszajuszczewo wozdejstwija zawodskich wysokowolnych ispytanij, w tom czisle ispytanij komutacjonnyimi impulsami. Opracowanie KWN Leningradzkiego Politechnicznego Instytutu, 1970.