

Zbigniew Lechowski

UWAGI O POMIARACH PRĄDÓW TERMICZNIE STYMULOWANYCH
W BADANIACH WYLADOWAN NIEZUPEŁNYCH

1. Wstęp

W warstwowych układach izolacyjnych stosuje się często materiały posiadające zdolność absorbowania ładunków elektrycznych w lokalnych poziomach energetycznych /pułapkach/ w paśmie wzbronionym. Może w nich występować również zjawisko utrwalania polaryzacji orientacji. W następstwie elektrycznego, termicznego i mechanicznego oddziaływania na dielektryki wchodzące w skład układu może tworzyć się ładunek elektretowy. Badania ładunku pułapkowanego lub ładunku utrwalonej polaryzacji przynoszą szereg nowych informacji o własnościach dielektryków i konstruowanych z nich układów. Układwia to ocenę skutków różnych narażeń działających na układy izolacyjne. Szczególnie przydatna okazała się metoda pomiaru prądów termicznie stymulowanych /TSC/. Przedstawiono przykłady wykorzystania tego sposobu w przypadku badań układów izolacyjnych uzwojeń maszyn elektrycznych.

2. Badania ładunku implantowanego w następstwie wnz w warstwowym układzie izolacyjnym

W produkcji układów izolacyjnych nie można całkowicie uniknąć istnienia źródeł wnz, a także innych źródeł emisji elektronów. Emisja ta stanowi istotne, a w prawidłowo wykonanych układach jedyne, zagroże-

doc.dr inż.Zbigniew Lechowski - Instytut Energetyki Oddział w Poznaniu
Zakład Izolacji

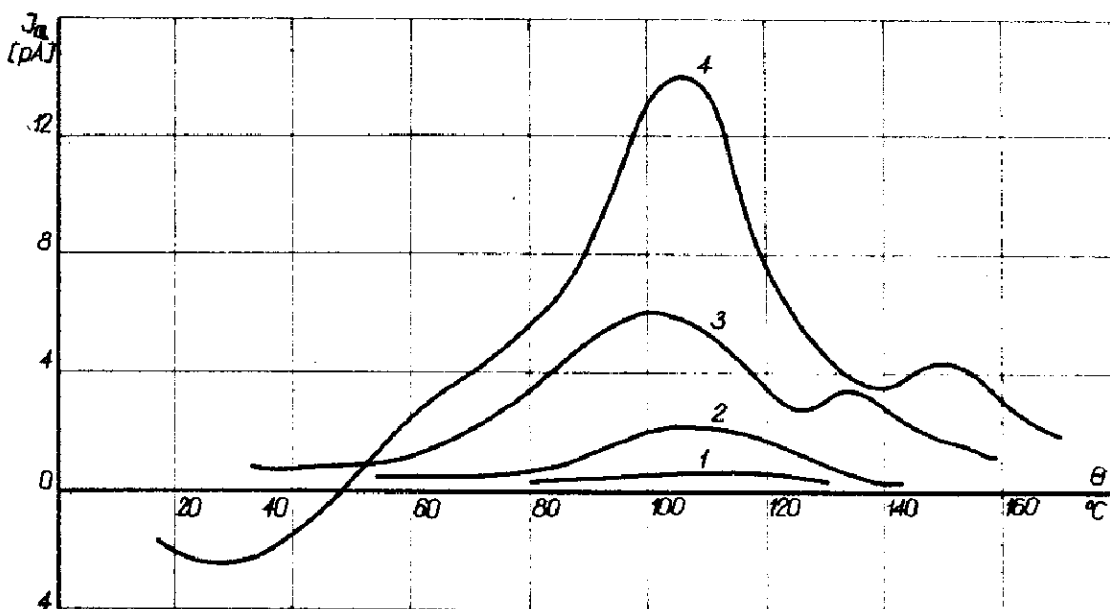
nie wynikające z działania pola elektrycznego. Emisja prowadzi bowiem do erozji lub wzrostu konduktancji dielektryków i w rezultacie jednego lub obu zjawisk do przebicia. O czasie do przebicia /długotrwałej wytrzymałości elektrycznej/ decydują wtedy: wielkość emisji, dynamika rozwoju erozji i obszarów o podwyższonej konduktancji.

W poszukiwaniu układów o nieziennej w czasie wytrzymałości elektrycznej ważne staje się opanowanie metod pomiarowych pozwalających na precyzyjne wyznaczenie natężenia pola, przy którym w układzie pojawia się emisja. Znaczące rezultaty można uzyskać, doskonaląc metody badania wnz. Wykrywa się wtedy i analizuje impulsy prądu pojawiające się w obwodzie pomiarowym w chwili zubożenia ładunku w źródle wnz.

Nawet przy bardzo dużych czułościach układów pomiarowych wyładowania o małych ładunkach nie są wykrywane. Ponadto przy pomocy tej metody nie można wykryć działania innych źródeł emisji, np. występującej w obszarze dużych natężeń pola, w pobliżu defektów o dużej przenikalności dielektrycznej /zimna emisja, wyładowania bezimpulsowe/.

W takim przypadku można posłużyć się pomiarem TSC. Zważywszy, że każda emisja, zmieniająca własności dielektryczne materiału prowadzi równocześnie do implantacji - pułapkowania ładunku, jego istnienie lub brak można uważać za ważne kryterium oceny badanego układu.

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki pomiaru TSC układu izolacyjnego składającego się z papieru mikowego, tkaniny szklanej i żywicy epoksydowej. Pomiary wykonano bezpośrednio po 15 minutach działania przemiennego pola elektrycznego o różnych natężeniach. Ładunek termicznie uaktywowany pojawia się już przy natężeniu pola 4 kV/mm a jego wartość rośnie z natężeniem pola.



Rys.1. Pomiar TSC warstwowego układu izolacyjnego papier mikowy żywica, epoksydowa - tkanina szklana wykonane w układzie kondensatora dwuwarstwowego.

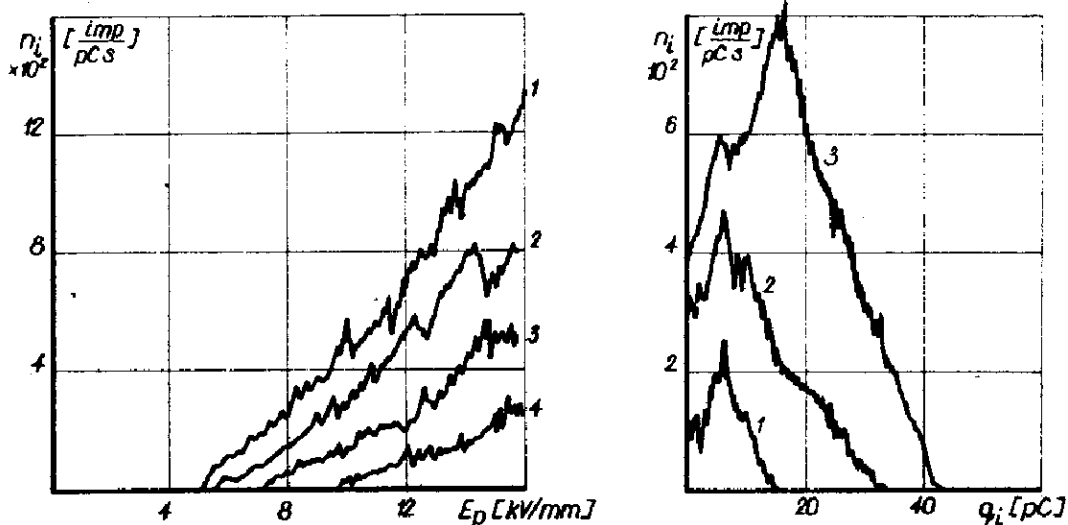
Prędkość narastania temperatury dQ/dt około $1^{\circ}\text{C}/\text{sec}$, pomiary po 15-tu minutach działania pola 1 - 4 kV/mm, 2 - 6 kV/mm, 3 - 8 kV/mm, 4 - 12 kV/mm.

Na rysunkach 2a i 2b przedstawiono wykonane dla tego układu analizy wnz [1]. Wynika z nich, że wnz są wykrywane przy natężeniach pola 6 kV/mm.

Skutki emisji ujawniające się przy natężeniach niższych od inicjujących wnz mogą być następstwem działania wnz o bardzo małych ładunkach lub emisji z innych źródeł.

Ekstrema prądu termicznie stymulowanego pojawiają się zawsze w tym samym, charakterystycznym dla badanego układu, przedziale temperatur. Przy wyższych natężeniach pola ekstremum pojawia się również przy niższych temperaturach.

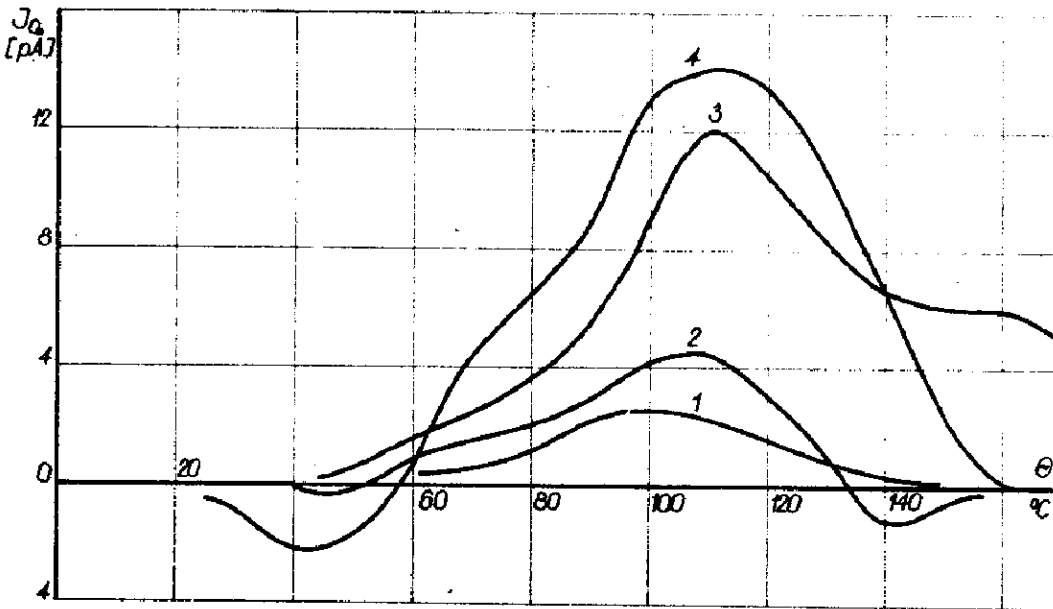
Określenie wartości implantowanego ładunku i jego przestrzennego rozkładu za pomocą pomiaru TSC jest, w przypadku wielu źródeł emisji o zróżnicowanych energiach, niemożliwe.



Rys.2. Analiza wnz w układzie warstwowym : a/ liczba impulsów n_i o ładunkach pozornych q_1 równych 1-10 pC i 2-15 pC i 3-20 pC w funkcji natężenia pola E_p b/ liczba impulsów n_i w funkcji wartości ładunku pozornego q_1 przy natężeniu pola E_p równym 1-6 kV/mm i 2-8 kV/mm 3-12 kV/mm

Analiza energii aktywacji pozwala jednak na ostrożne wnioskowanie o niektórych mechanizmach zjawisk. Na przykład pojawienie się ekstremum przy niskich temperaturach może przypuszczać, że obok pułapkowania ładunków mamy do czynienia z lokalnym wzrostem konduktancji indukowanym w obszarze emisji.

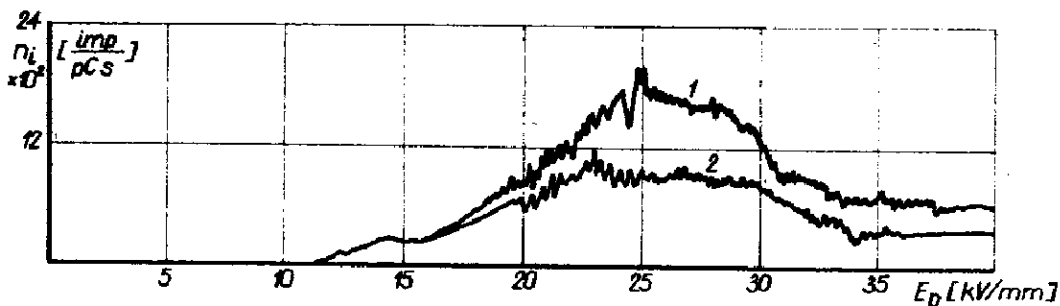
Na rysunku 3 przedstawiono rezultaty pomiarów TSC wykonanych po różnych czasach działania pola przemiennego o natężeniu 10 kV/mm. Jak widać, wielkość ładunku aktywowanego zależy od czasu działania pola elektrycznego. Można przypuszczać, że zjawisko to wiąże się ze zmianą obszarów objętych emisją w wyniku zmiany rozkładu natężeń pola w źródłach emisji. Następstwem takich zmian w źródłach wnz jest także zjawisko samowygaszania wyładowań niezupełnych.



Rys.3. Pomiary TSC układu izolacyjnego jak na rys. 1 po działaniu pola o natężeniu 10 kV/mm. Czas działania pola równy 1-5 min., 2-10 min. i 4-30 min.

3. Pomiary prądów termicznie stymulowanych w badaniach zjawisk przedprzebiegowych

W układach izolacyjnych uzwojeń maszyn elektrycznych przebiecie elektryczne nie zawsze poprzedzają zjawiska erozyjne [2] a w przypadku krótkotrwałego działania wysokich natężeń pola zjawiska takie nigdy nie są obserwowane [3]. Do takich wniosków można dojść rejestrując zmiany liczby impulsów n_i w określonym przedziale ładunków pozornych wnz.



Rys.4. Przebieg zmian liczby impulsów wnz o ładunku 50 pC w czasie narastania polem elektrycznym 0-40 kV/mm 50 Hz narastającym z szybkością 2 kV/mm.s/

Na rysunku 4 przedstawiono zarejestrowany zapis funkcji $n_1 / E /$ dla układu izolacji warstwowej o stosunkowo dużej zawartości fazy gazowej.

Ze wzrostem natężenia pola wartość n_1 rośnie, bowiem zwiększa się liczba impulsów w poszczególnych źródłach, a także pojawiają się nowe źródła o coraz wyższych napięciach zapłonu. Przy określonych wartościach natężenia pola przyrost liczby impulsów ustaje, a wartość n_1 ustala się na pewnym poziomie pomimo wzrostu natężenia pola. Z dalszym wzrostem natężenia pola liczba wyładowań maleje. Jeżeli w dalszej fazie naprężania układu wartość natężenia pola pozostanie niezmienna, to po pewnym czasie wystąpi przebicie układu nie poprzedzone znaczącymi zmianami wartości ładunku pozornego.

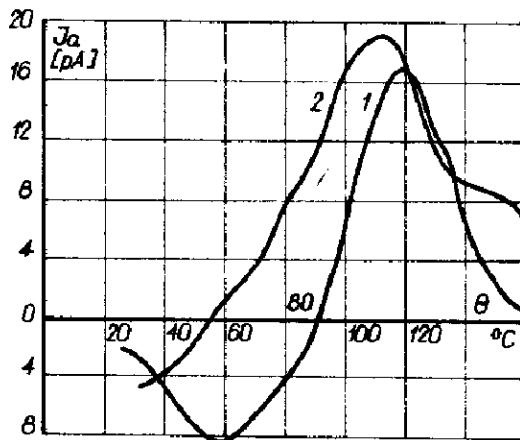
Przedstawione wyżej obserwacje pozwalają przypuszczać, że przebicie nie poprzedzają zjawiska erozji. Erozja dielektryku stałego musiałaby doprowadzić do zwiększenia zawartości fazy gazowej, co z kolei spowodowałoby wzrost ładunku pozornego wnz.

Wnioskuje się, że przebicie poprzedza intensywna emisja elektronów ze źródeł wyładowań, co powoduje wzrost konduktancji dielektryku stałego, zmniejszenie natężenia pola na źródłach wnz, zmalenie ładunku pozornego, a równocześnie powstanie warunków przebicia cieplnego.

Słuszność takiej interpretacji potwierdzają rezultaty badania prądów termicznie stymulowanych układów izolacyjnych, które uległy przebicciu. Na rysunku 5 przedstawiono wyniki pomiarów TSC wykonanych bezpośrednio po przebicciu. Okazuje się, że w wyniku emisji /przede wszystkim ze źródeł wnz/ miała miejsce implantacja - pułapkowanie ładunków o energii aktywacji osiąganey w temperaturze 80 - 150° oraz o małej energii aktywacji osiąganey w temperaturze 20 - 60°C.

Potwierdza to przypuszczenie, że w wyniku emisji ze źródeł wnz tworzy się w dielektryku stałym ładunek przestrzenny, a zarazem w obszarze emisji wzrasta konduktancja i powstają warunki przebicia cieplnego.

Pomiary TSC prowadzone w różnych czasach po działaniu naprężeń elektrycznych umożliwiają rozpoznanie trwałości zmian wywołanych działaniem wysokich natężeń pola, np. w czasie prób napięciowych. Okazuje się, że czas zaniku ładunku implantowanego może być bardzo długi. Wzrost konduktancji indukowany emisją ze źródeł wnz utrzymuje się również stosunkowo długo.



Rys.5. Pomiary TSC układu izolacyjnego jak na rys.1 po przebiciu elektrycznym przy natężeniu pola 1-30 kV/mm, 2-42 kV/mm. Pomiar bezpośrednio po przebiciu.

4. Wnioski

Pomiary prądów termicznie stymulowanych pozwalają dokładniej rozpoznać zjawiska zachodzące w układach izolacyjnych w wyniku działania pola elektrycznego. Możliwe staje się wykrywanie emisji z obszarów o dużych natężeniach pola również wtedy, gdy nie towarzyszą jej wyładowania impulsowe /wnz/. Rezultaty pomiarów TSC zwracają uwagę na znaczącą rolę zjawisk emisyjnych w mechanizmach przebicia, a zwłaszcza znaczenie indukowanego wzrostu emisji.

Literatura

1. Florkowska B., Lechowski Z., Włodek R. : Application of Partial Discharge Detection to the Quality Control of the Insulating Systems for High Voltage Rotating Machines. CIGRE 15-06.
2. Lechowski Z., Skowroński J. : Nowe spojrzenie na mechanizm przebicia wywołany wyładowaniami niezupełnymi w warstwowych układach izolacyjnych. Biuletyn Instytutu Energetyki nr 5, 1981.
3. Lechowski Z., Skowroński J. : Zjawiska poprzedzające przebicie warstwowych układów izolacyjnych przy krótkotrwałym działaniu silnego pola elektrycznego. Biuletyn Instytutu Energetyki nr 11, 1981.