

WITOLD PAPUŻYŃSKI

Katedra Wysckich Napięć

ZJAWISKO MALENIA INTENSYWNOŚCI PROCESÓW  
JONIZACYJNYCH W CZASIE

Streszczenie. Autor będąc na stażu w ZSRR prowadził modelowe badania zjawisk jonizacyjnych w izolacji kondensatorów impulsowych. Układy pomiarowe oraz metodyka pomiarów sprawdzane były, ze względu na znaczne ułatwienie badań, na modelach kondensatorów podda nych działaniu napięcia 50 Hz.

W trakcie tych badań, zostało wykry te nowe zjawisko dotychczas niezbadane, a mianowicie pewne osłabienie intensywności procesów jonizacyjnych w czasie.

W artykule omawia się zaobserwowane zjawisko, dokonana jest również wstępna ocena strony fizycznej zjawiska w oparciu o przeprowadzone pomiary.

## WPROWADZENIE

Stosowane obecnie metody badania zjawisk jonizacyjnych polegają na wykrywaniu drgań wielkiej częstotliwości, nakładających się na krzywą prądu płynącego przez kondensator, a powstających pod wpływem wyładowań niezupełnych, zachodzących w pęcherzykach gazu, zawartych w izolacji kondensatora.

Drgania wielkiej częstotliwości, powstające pod wpływem jonizacji, mogą być obserwowane na ekranie oscylografu katodowego włączonego w przekątną zrównoważonego mostka Scheringa, w którego gałęzi wysokonapięciowej włączony jest badany kondensator [L1]. Napięcie przyłożone do mostka musi być dostatecznie wysokie, aby wywołać procesy jonizacyjne w badanym kondensatorze.

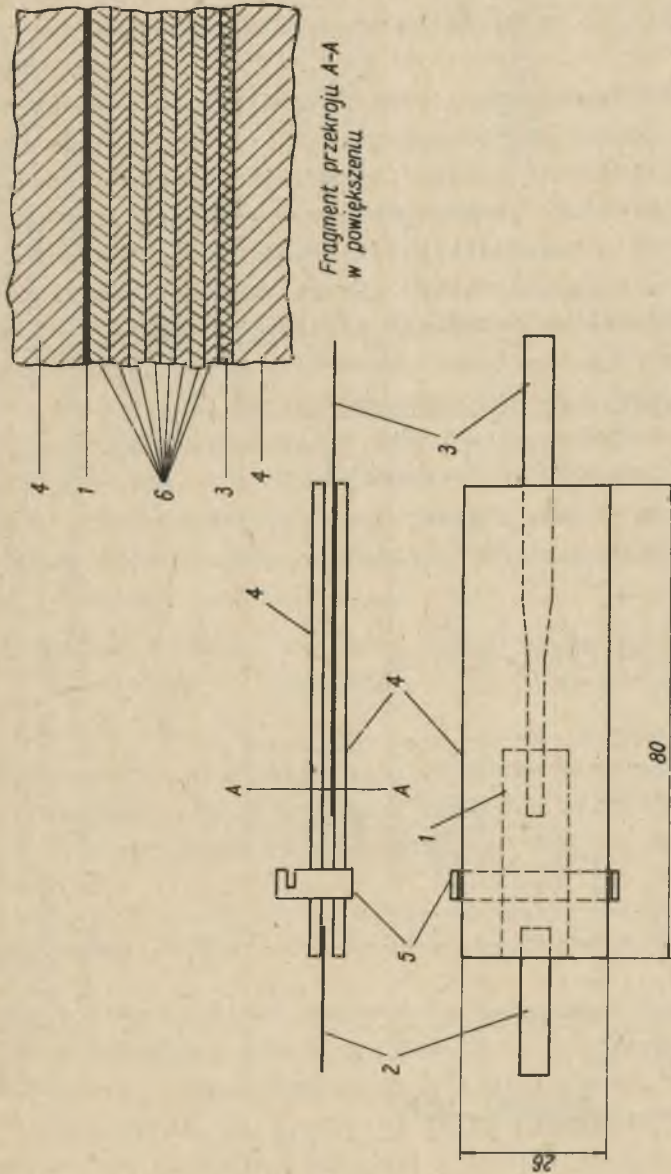
Drgania wielkiej częstotliwości mogą być również rejestrowane za pomocą miernika poziomu sygnałów wielkiej częstotliwości, włączonego równoległe do filtra dolnoprzepustowego, umieszczonego w przewodzie uziemniającym badanego kondensatora [L. 2]. Omawiane metody wykrywają zjawiską jonizacyjną "próg jonizacji" w nowo wykonanych kondensatorach, o grubości izolacji  $80\mu$ , przy natężeniach pola około  $50 \text{ V}/\mu$  [L. 3].

W eksploatacji, mimo że stosowane naprężenia robocze są znacznie niższe od naprężeń jonizacji, stwierdza się przypadki uszkodzeń kondensatorów, identycznych z uszkodzeniami wywołanymi przez zjawiska jonizacyjne [L. 4]. Fakty takie dały podstawę do wnioskowania, że zjawiska jonizacyjne mogą mieć miejsce również poniżej obecnie wykrywanego "progu jonizacji" jedynie czułości stosowanych metod pomiarowych były niedostateczne.

#### METODA BADAŃ

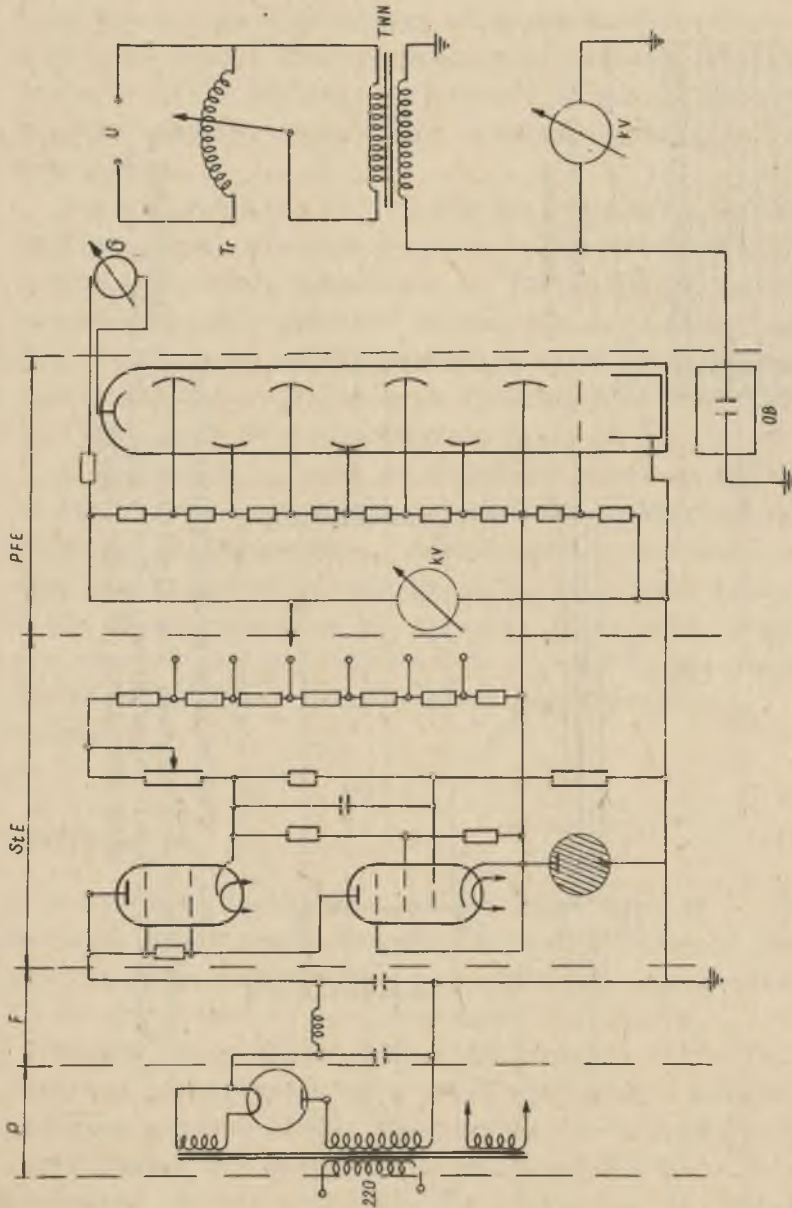
W Moskiewskim Instytucie Energetycznym została rozpracowana metodyka badań procesów jonizacyjnych w izolacji uwarstwionej, umożliwiająca wykrywanie jonizacji przy naprężeniach rzędu  $35-40 \text{ V}/\mu$ . Jest to metodyka badań modelowych.

Badany model kondensatora, przyłączony do źródła wysokiego napięcia, obserwowany jest przez mikroskop o maksymalnym powiększeniu 600-krotnym. Rozwój procesów jonizacyjnych jest tu rejestrowany w postaci zmian intensywności światlenia badanego modelu. Modele kondensatorów wykonywane są zgodnie z rys. 1. Pomiędzy dwie płytki szklane (mikroskopowe szkiełka przedmiotowe) wkłada się kilka warstw bibułki kondensatorowej (najczęściej  $8 \times 10 \mu$ ). Jedną okładziną kondensatora jest pasek folii



Rys. 1. Konstrukcja modelu kondensatora

- 1 - przezroczysta okładzina, 2 - elektroda z folii aluminiowej,
- 3 - okładzina z folii aluminiowej, 4 - płytki szklane, 5 - u-
- kład mocujący, 6 - dielektryk



Rys.2. Układ do modelowych badań świecenia kondensatorów

P - przestawnik, F - filtr, StE - stabilizator napięcia, G - galwanometr, Tr - transformator regulacyjny, OB - obiekt badany, PFE - przełącznik fotoelektryczny, U - źródło stabilizowanego napięcia, TWN - transformator wysokiego napięcia, kv - kilowoltomierz

aluminiowej (3). Druga okładzina (1) wykonana jest w postaci przezroczystej warstewki metalu naniesionej na stronę wewnętrzną jednej z płytek szklanych. Okładzina ta jest poprzez elektrodę (2) uziemiona. Po ściśnięciu płytek zaciskami, modele poddaje się obróbce termiczno-próżniowej, a następnie zalewa się olejem.

Metoda ta, ze względu na swój subiektywny charakter oceny intensywności zjawisk jonizacyjnych, nie dawała możliwości porównywania wyników. Przy współudziale autora została rozpracowana modyfikacja dotychczasowej metody. Modyfikacja polegała na zastosowaniu powielacza fotoelektrycznego jako rejestratora światlenia badanych modeli. Wprowadzenie powielacza o czułości 1000 A/Lumen pozwoliło nie tylko zwiększyć jak się okazało czułość układu, wykrywalny próg jonizacji około  $10-12 \text{ V}/\mu$ , ale co ważniejsze, dzięki wprowadzeniu mierników w obwodzie powielacza, umożliwiło obiektywną ocenę intensywności obserwowanego zjawiska.

Rys. 2 przedstawia schemat zmodyfikowanej metody pomiarowej.

Pomiar intensywności wyładowań jonizacyjnych dokonywany był dwoma metodami:

- 1) pomiar średniej wartości prądu anodowego powielacza. Jako miernik stosowany był galwanometr o czułości  $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ A}$ ,
- 2) rejestracja liczby impulsów prądu w obwodzie anodowym powielacza. Do rejestracji impulsów stosowany był radziecki elektronowy przelicznik typ "PSS 100 10".

## WYNIKI BADAŃ

Zaobserwowane zjawisko malenia intensywności światlenia w czasie ma następujący przebieg. Jeżeli do nowo wykonanego modelu kondensatora, włączonego do układu pomiarowego zgodnie z rys.2 przyłożymy określone napięcie, to na włączonym mierniku (galwanometrze lub liczniku) zarejestruje się pewną wartość będącą w określonej skali miarą intensywności światlenia, a jednocześnie i intensywności wyładowań jonizacyjnych na modelu. Istota

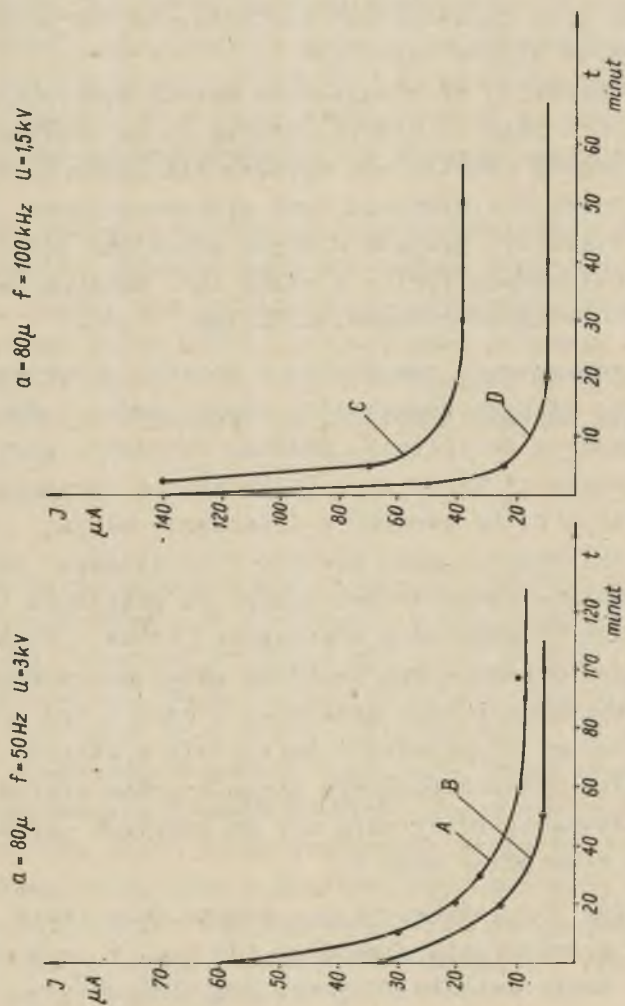
zjawiska polega na tym, że rejestrowana wartość np. prądu zaczyna maleć i dochodzi po czasie około 60 minut (przy 50 Hz) do pewnej dolnej granicy. Rys. 3 przedstawia  $I_p = f(t)_{u = \text{const}}$ . Charakterystykę  $I_p = f(t)$  określającą zmiany intensywności światlenia w funkcji czasu można nazwać "krzywą światlenia". Przy ponownym zdejmowaniu "krzywej światlenia", nawet po kilku dniowej przerwie, nie stwierdza się już zmian intensywności światlenia. Wartość prądu utrzymuje się praktycznie na dolnej granicy uzyskanej w czasie pierwszego zdejmowania "krzywej światlenia".

Za pomocą pomiarów kontrolnych stwierdzono, że omawiane zjawisko nie jest wywołane ani przez powielacz ani przez układ zasilający. Stwierdzono również, że malenie intensywności światlenia występuje w szerokim zakresie częstotliwości przyłożonego napięcia. Badania przeprowadzono w granicach od 50 Hz do 3 MHz. Analizując zjawisko malenia intensywności światlenia w czasie oraz czynniki które by mogły wpływać na to zjawisko, za najbardziej prawdopodobne uznał autor cztery następujące czynniki:

- 1) powstawanie barier z wosku "X" w pobliżu ostrych krawędzi okładzin,
- 2) boczniujące działanie mostków półprzewodzących w obszarze największych natężeń pola,
- 3) wzrost wytrzymałości elektrycznej oleju w pobliżu krawędzi okładzin np. na skutek wyrzucenia drobnych pęcherzyków gazu z obszaru o dużych natężeniach pola,
- 4) efekt elektropolerowania krawędzi okładzin wywołany bardzo wielkimi natężeniami pola na drobnych nierównościach (ostrzach) okładzin.

Dla wykazania które z przedstawionych założeń jest słuszne przeprowadzono następujące badania:

a) Dla modelu kondensatora o grubości izolacji ( $a = 80 \mu$ ) zdjęto charakterystykę światlenia przy 50 Hz i natężeniu pola  $37,5 \text{ V}/\mu$  oraz czasu  $t = 8$  godzin. Po upływie ośmiu godzin poddano bibułkę kondensatora próbie na wykrycie wosku "X". Bi-



Rys. 3. Krzywe światlenia  $I_p = f(t)$   $u = \text{const}$

bułkę kondensatorową, przylegającą bezpośrednio do świecącej okładziny, po umyciu w benzynie celem usunięcia oleju i po zabarwieniu włókien roztworem funksyny, poddano dokładnym oględzinom [L. 5]. Ani bezpośrednio oględziny barwionych próbek ani oględziny przy zastosowaniu powiększenia 500-krotnego, nie pozwoliły wykryć śladów wosku "X".

Należy podkreślić, że zastosowana metoda wykrywania wosku "X" nie wyklucza jego istnienia. Wynika to ze znikomych ilości wosku, jaki mógłby powstać pod wpływem tak słabych wyładowań, jak równie trudności wykrycia tych mikroskopijnych barier na tle włókien celulozy, grubość których odpowiada mniej więcej grubości spodziewanych barier z wosku "X". Maksymalna wysokość bariery mogła osiągnąć grubość okładziny  $\sim 10 \mu$ .

b) Celem zniszczenia ewentualnych mostków półprzewodzących, oraz uzyskania silnego zagazowania oleju, model kondensatora po zdjęciu krzywej świetlenia, poddano działaniu napięcia wywołującego jonizację krytyczną. Kilka sekund jonizacji krytycznej, wywołującej silne gazowanie i burzenie oleju, wystarcza dla zniszczenia ewentualnych mostków oraz silnego zagazowania oleju (wypełnienia pęcherzykami gazu). Po przejściu takiej próby, a następnie 16 godzinach odpoczynku (czasu dostatecznego dla rozpuszczenia powstałych pęcherzy gazu) model kondensatora poddano ponownemu działaniu napięcia, w czasie tej próby nie stwierdzono zmian intensywności świetlenia w czasie.

Na podstawie przeprowadzonego badania można stwierdzić, że zmiany intensywności świetlenia nie są wywołane czynnikami wymienionymi w punktach 2 oraz 3.

c) W modelu, dla którego zdjęto krzywą świetlenia dokonano poprzecznego przesunięcia okładziny (3) rys. 1 o około 1 mm. Przesunięcie takie zostało dokonane pod mikroskopem, bez rozbierania i wyjmowania modelu kondensatora z oleju. Model taki poddany ponownemu działaniu napięcia, nie wykazuje istotnych zmian intensywności świetlenia. Wynika stąd wniosek, że zjawisko malenia intensywności świetlenia związane jest z okładziną a nie warunkami panującymi w jej bezpośrednim sąsiedztwie, np. bariery z wosku "X".



Celem ostatecznego potwierdzenia tego wniosku okładziny które już przeszły okres "starzenia" tj. dla których zdjęto krzywą światlenia, zostały użyte dla montażu nowego modelu. Modele kondensatorów, do budowy których zastosowano okładziny (3) rys. 1 już "starzone", nie wykazały malenia intensywności światlenia. Wyniki badań pozwalają wnioskować, że omawiane zjawisko malenia intensywności światlenia związane jest z elektropolerowaniem mikro ostrzy występujących na krawędziach elektrod (3) rys. 1.

Z punktu widzenia energetycznego wyjaśnienia takie wydaje się być możliwe, mimo że moce powodujące elektropolerowanie są minimalne, jeżeli się uwzględni, że zjawiska elektroerozyjne skoncentrowane są na mikro ostrzach niewidocznych nawet przy powiększeniach 500-600-krotnych. Ze względu na brak odpowiedniego mikroskopu większych powiększeń nie można było uzyskać.

#### WNIOSKI

Ze względu na ograniczony czas stażu jak również pewną marginesowość zaobserwowanego zjawiska w stosunku do rozpracowywanej tematyki, zjawisko to mogło być przez autora zbadane na razie dość pobieżnie. Mając jednak na uwadze duże znaczenie najdrobniejszych nawet szczegółów, dotyczących niewyjaśnionego jeszcze w zupełności zjawiska jonizacji, autor uważał za celowe zasygnalizowanie o samym zjawisku jak i o pierwszych wynikach. Niewielka ilość przeprowadzonych pomiarów, nie może zapewnić pełnej słuszności przedstawionych wniosków niemniej z omawianego zjawiska i z przeprowadzonych badań, można wysunąć pewne wnioski nadające się do praktycznego wykorzystania w technice budowy kondensatorów.

Bezpośrednie obserwacje, poprzez mikroskop, modeli kondensatorów, włączonych na pełne napięcie robocze, pozwalały zaobserwować, co prawda krótkotrwałe ale dość intensywne wyładowania rozchodzące się z krawędzi okładziny (3) rys. 1. Wyładowanie takie, szczególnie dla kondensatorów pracujących przy wysokich natężeniach pola, mogą być szkodliwe, powodując drobne lokalne uszkodzenia przylegającej izolacji, ułatwiając w

ten sposób ewentualne przebicie izolacji w przyszłości. Zastosowanie "starzenia" kondensatorów, bezpośrednio po zmontowaniu, zapobiegając powstawaniu szkodliwych wyładowań na krawędzi okładzin, może wpłynąć na wzrost wytrzymałości, a być może również na przedłużenie czasu życia kondensatora. Ustalenie warunków "starzenia" wymaga jeszcze dalszych badań. Na razie jest oczywiste, że z uwagi na wykładniczy charakter "krzywej świetlenia", starzenie, które musi być przeprowadzone przy natężeniach pola niższych od natężeń roboczych, w przypadku przyjęcia zbyt niskich natężeń, może trwać zbyt długo.

Rękopis złożono w redakcji w listopadzie 1963 r.

#### LITERATURA

- [1] Neumann H., Smolka I.: Der Einfluss der Glimmfestigkeit auf die Bemessung des Kondensatordielektrikums. *Elektric*, Nr 6 1959.
- [2] Schwarz H.: Hochfrequenz - Messverfahren bei der Hochspannungsprüfung von Freileitungsisolatoren VEB Verlag Technik, 1953.
- [3] Renne W.T.: Elektrisches Kondensatory Gosenergoizdat, 1959.
- [4] Held W., Kunze R.: Glimmentladungen und Lebensdauer von Starkstromkondensatoren ETZ. A, Nr 11, 1961.
- [5] Gorodeckij S.: Ispytanije kabielej s propitanoj bumažnoj izolaczej Gosenergoizdat 1950.

## ЯВЛЕНИЕ УМЕНЬШЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПО ВРЕМЕНИ

## Р е з ю м е

Автором во время стажа в СССР были проведены модельные испытания ионизационных явлений в изоляции импульсных конденсаторов. Измерительные системы и методика измерений проверялись (ввиду значительного облегчения исследований) на моделях конденсаторов, подвергнутых действию напряжения 50 Гц.

Во время этих исследований обнаружено новое явление, пока не испытанное, а именно, некоторое ослабление интенсивности ионизационных процессов по времени.

В статье рассматривается замеченное явление. Дана также предварительная оценка явления на основании проведенных измерений.

## UNUSUAL REDUCTION OF THE INTENSITY OF THE IONISATION PROCESSES WITH TIME

## S u m m a r y

While the author was working in the USSR he continued model testings of Ionisation phenomena in the isolation of pulse capacitors. Measuring systems and methods of measurement were controlled (for facilitation of the testing) on models of capacitors under the action of the 50 c.p.s. voltage. During these investigations a new phenomenon was detected which so far has not been investigated. This phenomenon the form of a slight weakening of the intensity of the ionisation processes with time. This work discusses the observed phenomenon, and the elementary evaluation of the physical part of the phenomenon, based on the out measurements undertaken.