

Paweł RÓZGA¹

BADANIE ROZWOJU WYŁADOWAŃ ELEKTRYCZNYCH W OLEJU TRANSFORMATOROWYM Z UŻYCIEM METOD FOTOOPTYCZNYCH

W referacie przedstawiono wyniki wstępnych badań nad rozwojem wyładowań elektrycznych w oleju transformatorowym z użyciem metod fotooptycznych zastosowanych w laboratoryjnych układach eksperymentalnych. Wyniki przytoczono w postaci zdjęć wyładowań i odpowiadających im oscylogramów światła emitowanego podczas ich rozwoju uzyskanych dla układu elektrod gołych igła-płyt.

1 WPROWADZENIE

Analiza mechanizmów rozwoju wyładowań elektrycznych w dielektrykach ciekłych możliwa jest dzięki rejestracji szeregu parametrów je charakteryzujących np. napięcia inicjacji, prędkości propagacji, prądu, ładunku oraz dzięki obserwacji ich rozwoju czasowo-przestrzennego (fotografia cieniowa, obraz smugowy). Liczba metod, jakie w celu rejestracji tych parametrów oraz obserwacji rozwoju wyładowań można zastosować, jest bardzo duża. Wśród nich znaczące miejsce zajmują metody fotooptyczne. W prezentowanych układach eksperymentalnych wykorzystano dwie z nich. Metody cieniowej użyto przy rejestracji fotografii wyładowań, a w układzie z fotopowielaczem możliwa stała się rejestracja przebiegów czasowych światła emitowanego podczas ich rozwoju.

2 UKŁADY POMIAROWE

2.1 Rejestracja fotograficzna wyładowań

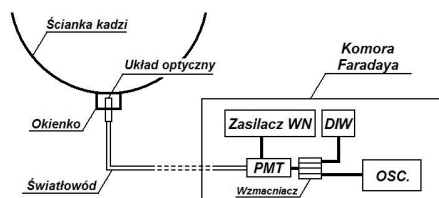
Metoda cieniowa, użyta w układzie rejestracji fotograficznej wyładowań, daje możliwość otrzymania zdjęcia wyładowania o wysokiej rozdzielczości przestrzennej, które charakteryzuje się bogactwem szczegółów w postaci uwidocznionych pojedynczych rozgałęzień kanałów wyładowczych rozwijających się w cieczy dielektrycznej. Jakość fotografii zależna jest od czasu ekspozycji, który szczególnie do

¹ Politechnika Łódzka, Instytut Elektroenergetyki, 90-924 Łódź, ul. Stefanowskiego 18/22, tel. (042) 631-26-80, e-mail: rozgapaw@p.lodz.pl

rejestracji szybkich wyładowań o prędkościach propagacji do kilkudziesięciu km/s, powinien być rzędu nanosekund. Tak krótki czas gwarantuje jedynie laser impulsowy, który umożliwia wygenerowanie krótkiego błysku gigantycznego o dużej energii. W układzie rejestracji fotograficznej wyładowania źródłem takiego impulsu świetlnego ($t=10$ ns i $E=20$ mJ) stał się laser impulsowy o komutacji dobroci (Nd:YAG) emitujący promieniowanie o $\lambda=1064$ nm. Ze względu na to, że światło podczerwone byłoby trudne do wykorzystania przy wykonywaniu fotografii, w układzie z kryształem KDP i polaryzatorem Wollastona wyselekcjonowano drugą harmoniczną podstawowej długości fali o $\lambda=532$ nm. Taka rozszerzona do średnicy 45 mm wiązka światła zielonego wykorzystana została w układzie jako lampa błyskowa. Szczegółowo budowę i zasadę działania tego układu opisano w pracy [3].

2.2 Rejestracja światła emitowanego podczas rozwoju wyładowania z użyciem fotopowielacza

Światło generowane przez wyładowanie rozwijające się w oleju ulega w dużej mierze rozproszeniu oraz jest przez ten olej pochłaniane. Z tego względu wymagane jest w celu detekcji tego światła użycie przyrządu o dużej czułości i wzmocnieniu sygnału przy jednoczesnym niewielkim poziomie szumów. Jedynym detektorem spełniającym powyższe warunki jest fotopowielacz. W prezentowanym układzie użyto fotopowielacza Hamamatsu R1925 posiadającego wrażliwość widmową 300-850 nm. W jej zakresie zawiera się widmo emisyjne kanałów wyładowczych rozwijających się w oleju transformatorowym określone za pomocą badań spektroskopowych na 400-700 nm [1]. Na rys. 1 pokazany został schematycznie ten układ eksperymentalny.



Rys.1. Układ do pomiaru światła emitowanego podczas wyładowania: DIW – detektor inicjacji wyładowania, PMT – fotopowielacz, OSC – oscyloskop cyfrowy.

Podczas wyładowania, impulsy świetlne przezeń generowane, są zbierane przez układ optyczny umieszczony w bocznym okienku kadzi i następnie światłowodem transmitowane do komory Faradaya, gdzie podlegają detekcji przez fotopowielacz. Sygnał wyjściowy z fotopowielacza po wzmocnieniu zostaje zarejestrowany na ekranie oscyloskopu w formie przebiegu czasowego.

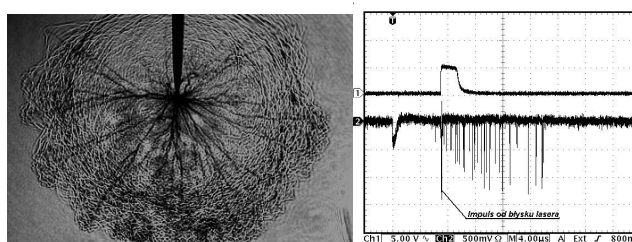
2.3 Detekcja inicjacji wyładowania

Prawidłowe działanie przedstawionych układów eksperymentalnych uzyskane jest dzięki synchronizacji czasowej zadziałania poszczególnych urządzeń względem chwili inicjacji wyładowania. Detekcja inicjacji odbywa się w układzie z fotopowielaczem, którego sygnał wyjściowy jest nie tylko rejestrowany w formie przebiegu przez

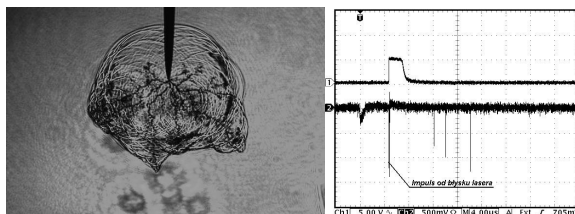
oscilloskop, ale także podawany na wejście komparatora DIW (Rys.2), dając informację o początku wyładowania. Jako chwilę inicjacji przyjęto pierwszy impuls świetlny pochodzący od rozwijających się w oleju kanałów wyładowczych. Ponieważ sygnał wyjściowy z fotopowielacza ma biegunowość ujemną, a detektor reaguje na sygnał biegunowości dodatniej, przed detektorem umieszczono jeszcze transformator impulsowy zmieniający biegunowość impulsu o czasie odpowiedzi poniżej 1 ns. Jego zastosowanie było możliwe tylko pod warunkiem, że wnoszone przez niego do układu detekcji opóźnienie będzie pomijalne w stosunku do opóźnienia samego detektora. A to, pomierzone z użyciem oscyloskopu, jako różnica między sygnałem wyjściowym z detektora a impulsem z fotopowielacza informującym o początku wyładowania, wyniosło ok. 200 ns. Chwila detekcji jest o tyle ważna, że to właśnie względem niej ustalany jest moment wykonania fotografii, czyli moment wygenerowania przez laser impulsu gigantycznego.

3 WARUNKI PROBIERCZE I WYNIKI BADAŃ

Wstępne badania weryfikujące działanie układów eksperymentalnych wykorzystujących metody fotooptyczne wykonano w układzie elektrod igła-izolowana płyta w oleju transformatorowym przy długości przerwy 20 mm. Źródłem napięcia był generator udarów napięciowych Marxa wytwarzający udar 1,2/50 μ s. Napięcie, przy którym wykonano pomiary było teoretycznym napięciem początkowym wyładowań dla danych warunków probierczych pomierzonym metodą schodkową ($U_0 = 104$ kV). Fotografie wykonywano w różnych chwilach czasowych od momentu inicjacji (t_w), mierząc również czas do inicjacji (t_{di}). Równocześnie rejestrowane były oscylogramy światła emitowanego podczas wyładowania, na których zaznaczony został także moment błysku lasera informujący o chwili wykonania fotografii. Pomierzony na podstawie oscylogramów czas będący różnicą między pierwszym impulsem świetlnym wyładowania, a chwilą błysku lasera pokrywał się z czasem trwania wyładowania mierzonym za pomocą czasomierza cyfrowego. Podobnie czas mierzony od wyzwolenia podstawy czasu oscyloskopu do pierwszego impulsu świetlnego pokrywał się z mierzonym za pomocą czasomierza czasem do inicjacji. Na rys. 3 i 4 przedstawione zostały przykładowe wyniki badań w postaci fotografii wyładowań obu biegunowości oraz odpowiadające im oscylogramy światła.



Rys.3. Wyładowanie z dodatniego ostrza przy $U_0 = 104$ kV i oscylogram światła emitowanego podczas jego rozwoju, $t_{di} = 0,8$ μ s, $t_w = 6,2$ μ s.



Rys.4. Wyladowanie z ujemnego ostrza przy $U_0 = 104 \text{ kV}$ i oscylogram światła emitowanego podczas jego rozwoju $t_{di} = 0,6 \text{ }\mu\text{s}$, $t_w = 4,1 \text{ }\mu\text{s}$.

4 PODSUMOWANIE

Wyniki badań uzyskane z użyciem metod fotooptycznych zaprezentowanych w niniejszej pracy pokrywają się z punktu widzenia kształtu tworów wyladowczych, a także przebiegów emitowanego światła z publikowanymi w literaturze wynikami prac badawczych wykonanych w zbliżonych warunkach probierczych [2]. Potwierdza to poprawność przyjętych metod otwierając jednocześnie drogę do przeprowadzenia szczegółowych badań nad mechanizmami rozwoju wyladowań elektrycznych w oleju transformatorowym w układzie elektrod izolowanych, co stanowić ma główny nurt badań autora.

5 LITERATURA

1. Barman P., Kroll S., Sunesson A.: *Spectroscopic measurement of streamers in dielectric liquids*. 9th International Symposium on High Voltage Engineering, Austria, Graz, pp. 1936-1 - 1936-4, 1995.
2. Beroual A. i inni: *Propagation and Structure of Streamers in Liquid Dielectrics*. IEEE Electrical Insulation Magazine, vol 14, no. 2, pp. 6-17, 1998.
3. Różga P.: *Laboratorium do badania rozwoju wyladowań elektrycznych w oleju transformatorowym w układzie izolowanych elektrod*, Materiały konferencyjne IX Międzynarodowe Warsztaty Doktoranckie OWD, Wisła 2007, str. 287-292.

INVESTIGATION OF ELECTRICAL DISCHARGES DEVELOPMENT IN TRANSFORMER OIL USING PHOTO-OPTICAL METHODS

Preliminary results of investigations on electrical discharge development in transformer oil using photo-optical methods are presented in this paper. The photographs of discharges were taken out together with time resolved pattern of the light emitted by their channels.