



Stefan Wolny*

MODERNIZACJA UKŁADU Z TARCZĄ WIRUJĄCĄ DO BADAŃ NAD ELEKTRYZACJĄ STATYCZNĄ CIECZY DIELEKTRYCZNYCH

Streszczenie: Referat dotyczy problematyki szeroko pojętych zagrożeń układów izolacyjnych transformatorów wysokonapięciowych dużych mocy, na skutek występowania w nich zjawiska elektryzowania się oleju izolacyjnego podczas przepływu. Przedstawia badania profilaktyczne elektryzacji próbki świeżego oleju izolacyjnego i czystej chemicznie mieszaniny alkoholu etylowego i heksanu w układzie tarczy wirującej, przy różnych stopniach chropowatości powierzchni użytych tarcz. Dowodzi iż zastosowanie podwójnego układu wirujących tarcz, wpływa nie tylko korzystnie na rejestrowany prąd elektryzacji, poprawiając jego mierzalność, lecz również stabilizuje układ pod względem odporności na zakłócenia zewnętrzne oraz podnosi powtarzalność i odtwarzalność otrzymywanych pomiarów.

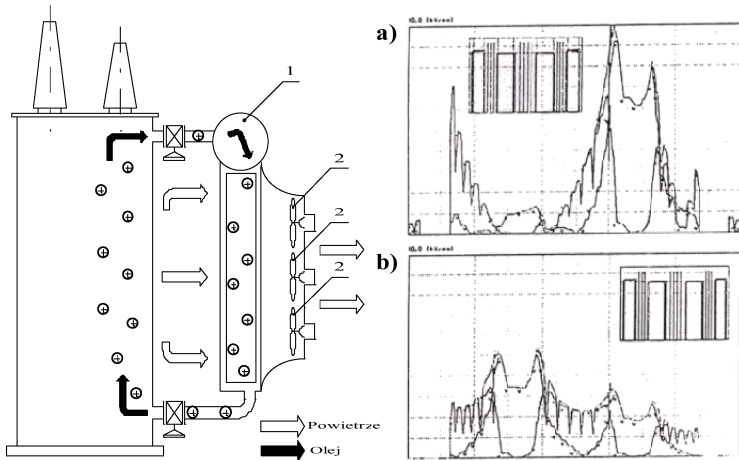
Słowa kluczowe: elektryzacja, olej izolacyjny, transformator

1. Wstęp

Zjawisko elektryzowania się cieczy o właściwościach dielektrycznych występuje podczas wymuszonego ruchu ośrodka ciekłego względem fazy stałej. Podstawy fizyczne zachodzących wówczas procesów bazują na rozrywaniu warstwy podwójnej ładunku elektrycznego, jaka tworzona jest na skutek sił adsorpcji jonów w obrębie styku tych dwu ośrodków [1, 2]. Wprowadzane nadmiarowe ładunki elektryczne do objętości cieczy, powodują jej elektryzację. Naelektryzowany strumień cieczy dielektrycznej niesie ze sobą różnego typu zagrożenia. Z punktu widzenia energetyki najistotniejszym jest zagrożenie układu izolacyjnego transformatorów dużych mocy, gdzie celem skutecznego odprowadzania ciepła stosuje się wymuszony obieg oleju izolacyjnego [3].

* Politechnika Opolska, ul. Sosnkowskiego 31, 45-233 Opole

Wówczas to, unoszone strumieniem oleju nadmiarowe ładunki elektryczne, osadzają się na izolacji stałej pracującego transformatora, powodując tym samym powstawanie silnych pól elektrycznych. Pola te z kolei nakładają się na pola przemienne transformatora, inicjując rozwój wyładowań niezupełnych, co prowadzić może w skrajnej postaci do wystąpienia wyładowania zupełnego i uszkodzenia układu izolacyjnego transformatora [4]. Sytuację taką w przypadku transformatora z wymuszonym obiegiem oleju i sztucznym przewietrzaniem, przedstawia rysunek 1. Przedstawione na rysunku 1a i 1b rozkłady pola elektrycznego zostały wyznaczone dla rzeczywistego autotransformatora o górnym napięciu 400 kV, w którym założono generację ładunków elektrostatycznych w oleju o gęstości objętościowej $q_0 = 1200 \mu\text{C}/\text{m}^3$ [5].



Rys. 1. Transformator z zewnętrznym wymuszonym obiegiem oleju i sztucznym przewietrzaniem: 1 – obiegowa pompa oleju, 2 – układ wentylatorów; a) sumaryczny rozkład pola elektrycznego, b) rozkład pochodzący tylko od pola przemienneho [5]

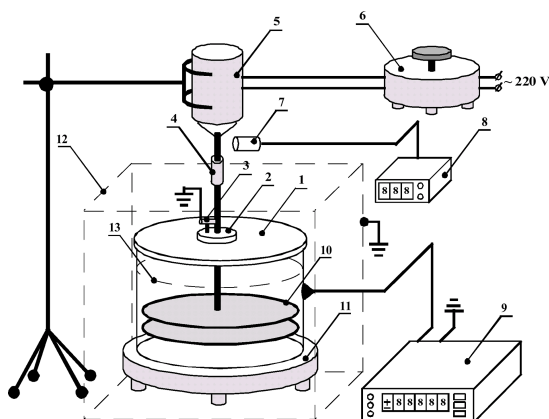
Wykresy uwidaczniają znaczące wzrosty natężenia sumarycznego pola elektrycznego w oknie rdzenia transformatora, w górnym obszarze układu uzwojeń.

Poważne skutki ekonomiczne awarii dużych jednostek transformatorowych, powodujących przestoje bloków energetycznych, dezorganizację przesyłu energii przez główne węzły w systemie oraz konieczność dokonywania rozbudowanych napraw uszkodzonych jednostek, stymulują rozwój badań nad elektryzacją statyczną olejów izolacyjnych [6]. Badania prowadzone na Politechnice Opolskiej w celu obserwacji zachodzących zjawisk, jak i odpowiedniej profilaktyki w tym zakresie, obejmowały między innymi prace nad układem z tarczą wirującą, jako rozwiązaniu zalecanym między innymi przez CIGRE [7]. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie propozycji modernizacji istniejącego rozwiązania, aby rejestrowane w układzie wyniki cechowały się odpowiednio większą powtarzalnością i odtwarzalnością. Do wykonania testów elektryzacji użyto oleju izolacyjnego świeżego, oraz czystej chemicznie mieszaniny bezwodnego alkoholu etylowego i heksanu jako cieczy charakteryzującej się wysoką

podatnością na elektryzację i odtwarzalnością tej właściwości. W referacie przedstawiono wyniki badań uzyskane w zmodernizowanym układzie z podwójną tarczą.

2. Układ pomiarowy

Układ w jakim dokonywane były pomiary prądu elektryzacji przedstawia rysunek 2. Proces generowania nadmiarowych ładunków elektrycznych, powodujących elektryzowanie się testowanej cieczy, następuje na skutek rozrywania warstwy podwójnej ładunku na powierzchni tarcz (10) podczas ich wirowania. Unoszone siłami odśrodkowymi ładunki, trafiają na powierzchnię wewnętrzną odizolowanego naczynia pomiarowego (1), skąd ich wpływ do ziemi rejestrowany jest za pomocą elektrometru (9).



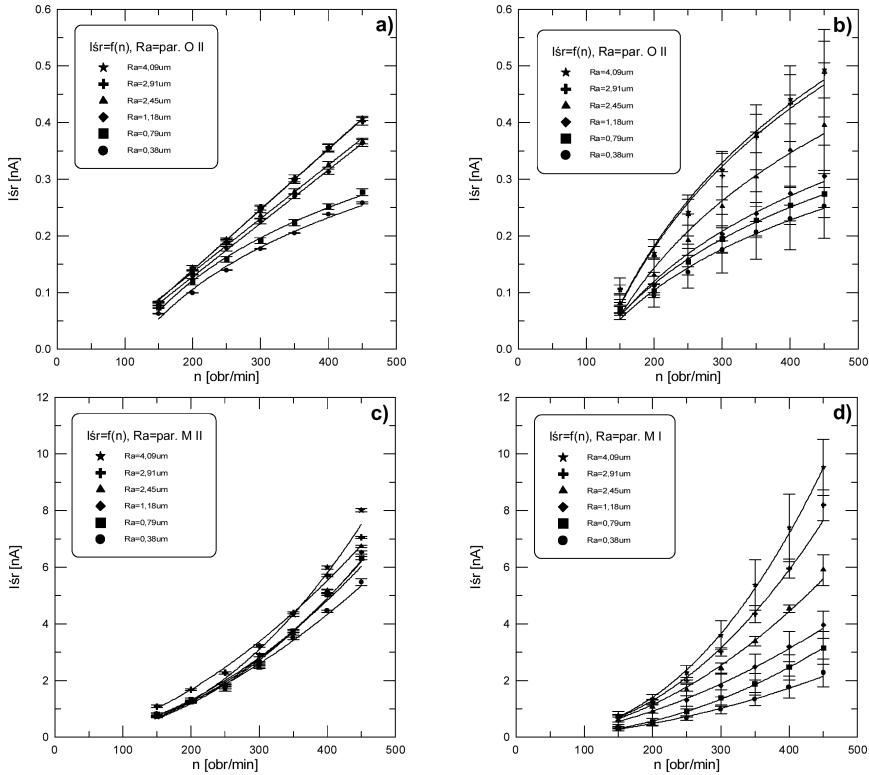
Rys. 2. Układ do badań elektryzacji cieczy dielektrycznych z podwójną tarczą wirującą: 1 - naczynie, 2 - izolator pokrywy, 3 - szczotka uziemiająca, 4 - sprężło izolujące, 5 - silnik, 6 - regulator napięcia, 7 - czujnik, 8 - miernik prędkości obrotowej, 9 - elektrometr cyfrowy, 10 - tarcze, 11 - podstawka izolacyjna, 12 - klatka Faradaya, 13 - poziom cieczy

Całość układu pomiarowego od wpływu zewnętrznych pól elektrostatycznych chroni uziemiona klatka Faradaya (12). Układ posiadał możliwość regulacji (6) i kontroli (8) prędkości obrotowej tarcz, jak również zmianę zestawu podwójnego tarcz na pojedynczy w celu dokonania porównań.

3. Wyniki badań

Charakterystyki opisujące zależność rejestrowanego prądu od prędkości wirowania tarcz podczas elektryzacji oleju izolacyjnego świeżego i 5% mieszaniny bezwodnego alkoholu etylowego w heksanie, przedstawione są na rysunku 3. Parametrem, który ulegał zmianie była chropowatość tarcz. Określa ją współczynnik R_a definiowany jako średnia geometryczna pięciu najniższych wgłębień i pięciu najwyższych wzniesień od

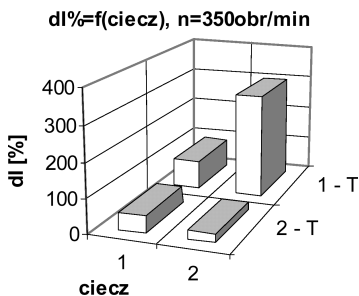
linii profilu na drodze odcinka elementarnego. Zauważyć można, iż zarówno w przypadku elektryzowania oleju izolacyjnego, jak i mieszaniny w układzie podwójnym wpływ stopnia chropowatości użytych tarcz jest mniejszy niż ma to miejsce w układzie pojedynczym. Tak więc, zastosowanie dwu tarcz zmniejszyło wrażliwość układu na zakłócenia pomiaru w postaci zmiennej chropowatości powierzchni tarcz. Wniosek ten potwierdza rysunek 4 przedstawiający maksymalną procentową zmianę prądu elektryzacji oleju i mieszaniny dla wybranej prędkości wirowania $n = 350$ obr/min. Zmiana ta definiowana jest jako procentowy wzrost prądu przy najmniejszym i największym współczynniku chropowatości.



Rys. 3. Wpływ chropowatości tarcz na charakterystyki elektryzacji oleju izolacyjnego świeżego (a, b) oraz mieszaniny (c, d) w układzie podwójnym (a, c) i pojedynczym (b, d)

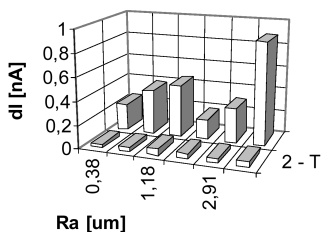
Kolejnym atutem przemawiającym na korzyść rozwiązania dwutarczowego jest fakt, iż wyznaczone wartości przedziałów ufności dla poziomu istotności $\alpha = 5\%$ z wyników elektryzacji oleju i mieszaniny, są zdecydowanie niższe (rzędu wielkości) dla układu dwutarczowego, co przedstawia rysunek 5.

Z punktu widzenia dalszego opracowywania wyników badań elektryzacji cieczy dielektrycznych celem jest, aby współczynnik tendencji do elektryzacji utrzymywał się na stałym poziomie, niezależnie od warunków hydrodynamicznych układu.

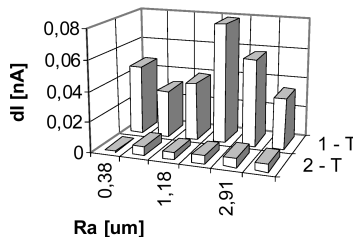


Rys. 4. Procentowa zmiana prądu elektryzacji oleju izolacyjnego (1) i mieszanki (2): 1-T – układ jednotarczowy, 2-T – układ dwutarczowy

$dl=f(Ra)$, $n=350\text{obr/min}$, mieszanka



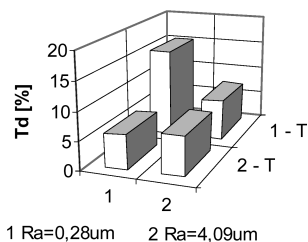
$dl=f(Ra)$, $n=350\text{obr/min}$, olej



Rys. 5. Wartości przedziałów ufności prądu elektryzacji oleju izolacyjnego i mieszanki w układzie jednotarczowym (1-T) i dwutarczowym (2-T)

Współczynnik ten liczony jest jako procentowy stosunek prądu elektryzacji testowanej cieczy, tutaj oleju izolacyjnego, do cieczy wzorcującej, tu mieszanki alkoholu i heksanu. Istotnie zwiększoną stabilność tego współczynnika, obliczonego dla tarcz o najmniejszej i największej chropowatości powierzchni, otrzymuje układ dwutarczowy, co przedstawia rysunek 6.

$Td=f(\text{ciecz})$, $n=350\text{obr/min}$



Rys. 6. Współczynnik tendencji do elektryzacji oleju izolacyjnego wyznaczony w układzie dwutarczowym (2-T) i jednotarczowym (1-T)

4. Wnioski

Proponowany układ dwutarczowy okazał się być lepszym od dotychczas stosowanego rozwiązania jednotarczowego. Dowodzą tego przeprowadzone testy elektryzacji oleju izolacyjnego świeżego jak i czystej chemicznie mieszaniny alkoholu etylowego bezwodnego i heksanu. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, iż dzięki podwójnemu układowi tarcz, rejestrowane wartości prądu elektryzacji cechują się o rząd mniejszym rozrzutem wyników. Przyczyn takiej właściwości można upatrywać w automatycznym uśrednianiu otrzymanywanych wyników, dzięki zastosowaniu dwóch wirujących tarcz. Ponadto modernizacja istniejących układów badawczych nie ponosi za sobą dużych nakładów finansowych i może być w prosty sposób dokonana w każdym laboratorium zajmującym się tym zagadnieniem.

Literatura

- [1] **Felici N. J.:** *A tentative explanation of the voltage-current characteristic of dielectric liquids.* J. Electrostatics. 12, 1982, 165
- [2] **Sonntag H.:** *Koloidy.* PWN, Warszawa 1982
- [3] **Crofts D. W.:** *The static electrification phenomena in power transformer.* IEEE Transaction on Dielectrics and EI. Vol. 23, No. 1, 1988, 137–146
- [4] **Łukaniszyn M., Kędzia J.:** *Electrostatics field in the parallelepiped tank generated by a space charge.* Archives of Electrical Engineering. Vol. XLV, No 1, 1996, 13–21
- [5] **Kozłowski I.:** *Elektryzacja statyczna transformatorów. Badanie zjawisk fizycznych i symulacja komputerowa wpływu ładunków na rozkład pola.* Seminarium Sekcji Wielkich Mocy Komitetu Elektrotechniki PAN i Politechniki Lubelskiej. Lublin 1995, 36–48
- [6] **Tanguy A.:** *Electrostatics phenomena in transformers.* CIGRE 1992 Discussion Meeting Summary. Joint Session 15/12, Paris, Electra, Vol 144, October 1992
- [7] **Praxl G., Lemesch G.:** *Measurement of ECT with the CIGRE Test Cell status report.* CIGRE S.C. 12 Colloquium Meeting JWG 12/15.13, Madrid, Spain, 1993

MODERNIZATION OF SPINNING DISK SYSTEM TO RESEARCH STATIC ELECTRIFICATION OF LIQUID DIELECTRIC

Some results of electrification of fresh insulating oil and hexan-ethanol mixture are presented. The process takes place in a single and double spinning disk system. Advantages of the double disk system have been proved.