

Ryszard Gacek

WSPÓLZALEŻNOŚĆ INTENSYWNOŚCI WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH NA
GRANICY FAZ I WŁASNOŚCI GAZOWYCH MINERALNYCH CIECZY
DIELEKTRYCZNYCH

1. Wstęp

Jedną z głównych przyczyn mających wpływ na niezawodną pracę układu izolacyjnego, zawierającego jako jeden ze składników ciecz dielektryczną mineralną w zakresie silnych pól elektrycznych, są zjawiska wyładowań niezupełnych. Zjawiska te powstać mogą w obszarach, w których istnieją warunki do jonizacji gazu lub cieczy; mogą to być wyładowania na granicy faz: fazy gazowej - najczęściej powietrza i fazy ciekłej - cieczy dielektrycznej mineralnej lub syntetycznej, lub też w samej fazie gazowej lub ciekłej. Niezależnie od rodzaju środowiska, w którym przebiegają wyładowania, zjawisku towarzyszy wydzielanie lub pochłanianie gazów. Skutki tego procesu zależą w dużym stopniu od rodzaju cieczy dielektrycznej - w przypadku cieczy dielektrycznych mineralnych od ich składu węglowodorowego, a głównie od średniej liczby atomów węgla w pierścieniach aromatycznych, napięcia, temperatury, własności fizykochemicznych fazy gazowej.

W literaturze znane są dobrze zależności zmian objętości /lub ciśnienia/ wydzielonego /lub pochłoniętego/ gazu w czasie dla różnych mineralnych cieczy dielektrycznych i różnych warunków badań, brak jest natomiast powiązania tych przebiegów jako skutków z intensywnością wyładowań jako przyczyną.

Dr inż. Ryszard Gacek - Instytut Maszyn i Sterowania Układów Elektroenergetycznych AGH w Krakowie

2. Oddziaływanie wyładowań w fazie gazowej na fazę ciekłą

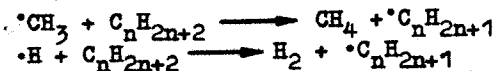
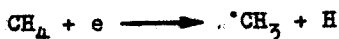
Oddziaływanie wyładowań przebiegających w fazie gazowej na fazę ciekłą związane jest z wystąpieniem wielu zmian fizycznych, fizykochemicznych i chemicznych. Źródłem tych wszystkich zmian jest przekazywanie energii niesionej w wyładowaniu elektronom i atomom fazy ciekłej, w wyniku czego powstają wolne elektrony, zjonizowane atomy i cząsteczki oraz wzbudzone atomy i cząsteczki.

Pierwotne produkty działania wyładowań odznaczają się dużą aktywnością i dlatego po pierwszym stadium działania wyładowań następuje drugie - chemiczne, w czasie którego wytworzone w pierwszym stadium cząsteczki reagują z sobą oraz z atomami i cząsteczkami ośrodka, a czas jego trwania zależy od składu, temperatury i ciśnienia fazy gazowej.

Ponieważ energia jaką otrzymuje cząsteczka jest większa niż energia wiązania chemicznego może nastąpić jej rozpad na tzw. wolne rodniki tj. pozbawione ładunków fragmenty cząsteczek z niemającymi pary elektronami, a więc posiadającymi wolne wartościowości. Wolne rodniki jako jednostki chemiczne odznaczające się dużą aktywnością odgrywają istotną rolę w reakcjach wtórnych. Okres życia wolnych rodników podobnie jak wolnych jonów i wzbudzonych cząsteczek jest bardzo krótki. Reakcje wolnych rodników zasadniczo nie zależą od sposobu ich powstawania, a w przypadku gdy posiadają nadmiar energii mogą wchodzić w reakcje, które normalnie nie są możliwe ze względu na zbyt wysoką energię aktywacji.

Najważniejsze typy reakcji wolnych rodników to: polimeryzacja, tworzenie się nadtlenuków, różnego rodzaju działania redukujące, łączenie się wolnych rodników, przyłączanie się w miejsce podwójnego wiązania itp.

W przypadku mineralnej cieczy dielektrycznej łańcuch przebiegających reakcji może mieć następujący przebieg:



Powstające w ten sposób nowe molekuly CH_4 i H_2 poddane działaniu elektronów powodują powstanie nowych rodników, które powodować mogą rozłożenie podstawowych węglowodorów. Z drugiej zaś strony rodniki i względnie wysokomolekularne węglowodory oddziałują jeden z drugim wg.

reakcji:



mogą być punktami powstawania w oleju nienasyconych węglowodorów.

W szczególności tego rodzaju proces jest przyczyną powstawania grup z wodorem i nasyconymi węglowodorami wg. wzoru:



Tak więc skutek oddziaływania wyładowań na granicy faz w zamkniętej objętości przestrzeni gazowa wypełniona będzie w 85 - 93 % wodorem, resztę zaś stanowi metan, etan, etylen i acetylen.

3. Przedmiot i metoda badań

Badania przeprowadzono na mineralnym oleju izolacyjnym o następującym składzie węglowodorowym:

- średni procent atomów węgla w pierścieniach aromatycznych

$$C_A = 12,99 \%,$$

- średni procent atomów węgla w pierścieniach naftenowych

$$C_N = 31,77 \%,$$

- średni procent atomów węgla w pierścieniach parafinowych

$$C_P = 55,24 \%.$$

Do badań zastosowano zmodyfikowany reaktor Siemens'a, w którym wyładowania przebiegały na granicy faz: mineralny olej izolacyjny - powietrze.

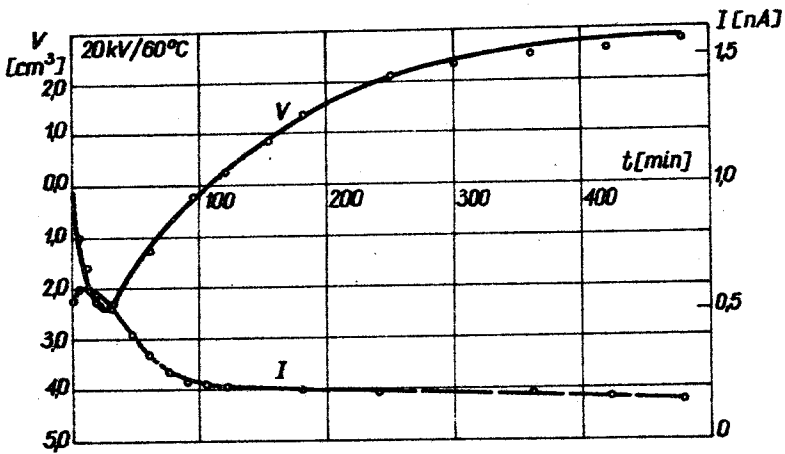
Pomiaru zmian ciśnienia w reaktorze dokonywano przy pomocy manometru U-rurkowego wypełnionego olejem mineralnym.

Do pomiaru intensywności wyładowań zastosowano metodę analizy amplitudowej. Badania przeprowadzono przy napięciu przemiennym o wartości 15,0, 17,5, 20,0 kV, w temperaturze 30, 40 i 60°C.

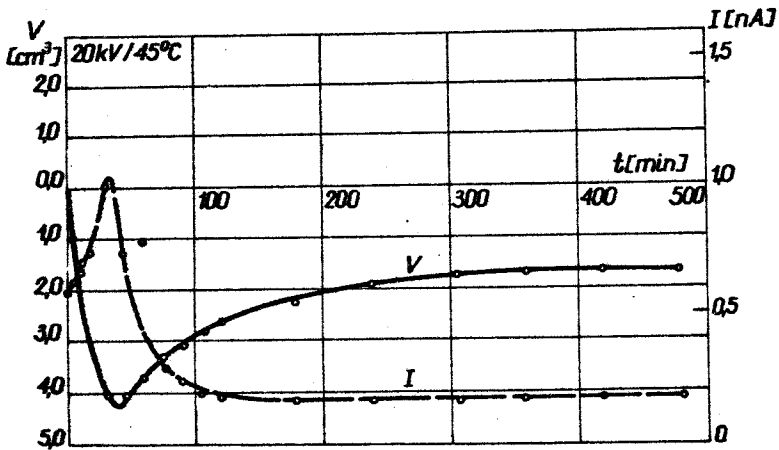
4. Wyniki badań

W wyniku oddziaływania wyładowań niezupełnych w fazie gazowej na fazę ciekłą otrzymujemy zależność zmian ciśnienia lub objętości fazy gazowej od czasu działania wyładowań. W rezultacie pomiaru wyładowań niezupełnych na granicy faz metodą analizy amplitudowej otrzymujemy szereg wielkości charakterystycznych z tym, że na podstawie dotychczasowych badań do poszukiwania współzależności wybrano średni prąd wyładowań niezupełnych.

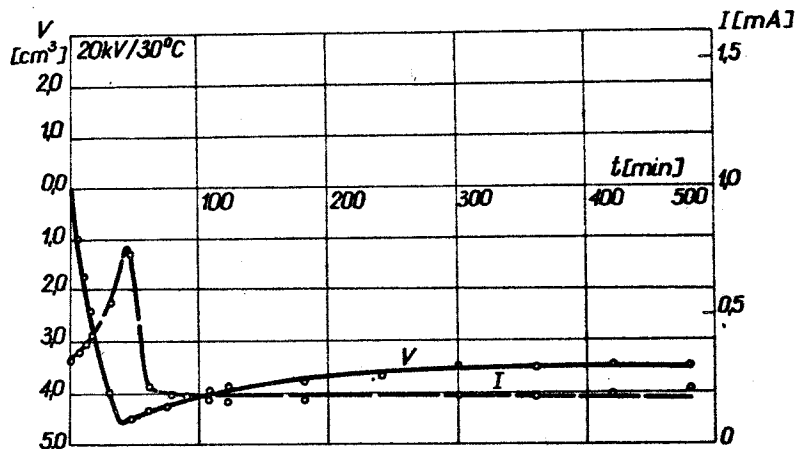
Na rysunku 1 przedstawiono przykładowe zależności zmian objętości



a



b



C

Rys.1. Zależność zmian objętości fazy gazowej-V i średniego prądu wyładowań niezupełnych- I od czasu ich działania dla mineralnego oleju izolacyjnego, $C_A = 12,99\%$
 a/ $U=20\text{ kV}, 60^\circ\text{C}$ b/ $U=20\text{ kV}, 45^\circ\text{C}$ c/ $U=20\text{ kV}, 30^\circ\text{C}$

fazy gazowej i średniego prądu wyładowań niezupełnych od czasu ich działania dla mineralnego oleju izolacyjnego. Na podstawie przedstawionych zależności $V = f(t)$ wyróżnić można niezależnie od warunków badań /temperatury, napięcia, składu węglowodorowego/ dwa charakterystyczne obszary:

- pierwszy, w którym następuje zmniejszenie ciśnienia w reaktorze jest charakterystyczny dla badań w atmosferze powietrza. Pod koniec tego okresu cała przestrzeń gazowa nad fazą ciekłą wypełniona jest wodorem,

- drugi, charakterystyczny dla badań w atmosferze wodoru, w którym z badanej cieczy dielektrycznej następuje wydzielenie gazów.

Czas do momentu przewrotu jak i odpowiadająca mu wartość objętości pochłoniętego gazu uzależniona jest od warunków i rodzaju badanej cieczy dielektrycznej.

Z punktu widzenia własności gazowych cieczy dielektrycznych i wpływu

wyładowań niezupełnych na niezawodną pracę układów izolacyjnych interesujący jest obszar drugi tj. od momentu przewrotu. Przyjmując w momencie przewrotu nowy układ współrzędnych V^* , t^* otrzymujemy zależność $V^* = f/t^*$ opisaną równaniem:

$$V^* = a/1 - \exp(-bt^*) /$$

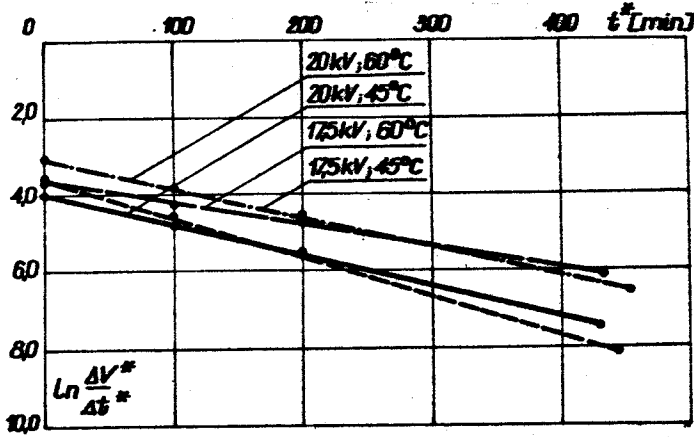
W tabelicy I podano wartości współczynników a i b dla różnych warunków w których prowadzono badania.

Tabela I

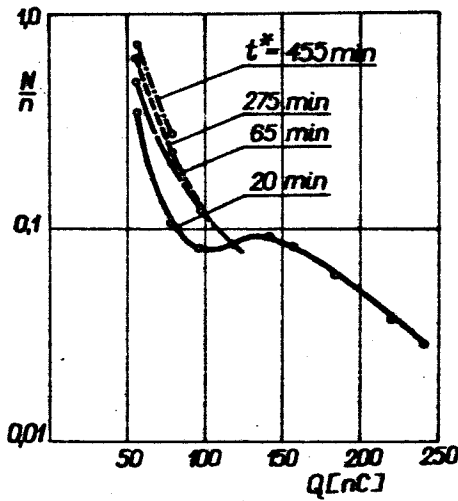
U [kV]	17,5	20,0
45	$2,27/1 - \exp(-0,0082 t^*) //$	$2,64/1 - \exp(-0,0101 t^*) //$
60	$4,32/1 - \exp(-0,0056 t^*) //$	$5,61/1 - \exp(-0,0079 t^*) //$

Z zależności /1/ uzyskać można liniową zależność $\ln \frac{\Delta V^*}{\Delta t^*} = f/t^*$ /rys.2/. Uzyskane metodą analizy amplitudowej rozkłady empiryczne wyładowań niezupełnych i obliczone funkcje gęstości rozkładów świadczą o zmniejszaniu się całkowitej liczby wyładowań /np.w temperaturze 60°C i przy napięciu 20 kV, odpowiednio dla czasów $t^* = 0$ min i $t^* = 450$ min/ z 3300 s^{-1} do około 350 s^{-1} , zmniejszaniu się maksymalnego ładunku pozornego wyładowań z 250 nC do 78 nC, wzroście udziału wyładowań o najmniejszym ładunku z 0,36 do 0,73 oraz odpowiednim wzroście wyładowań o danym ładunku, /rys.3/.

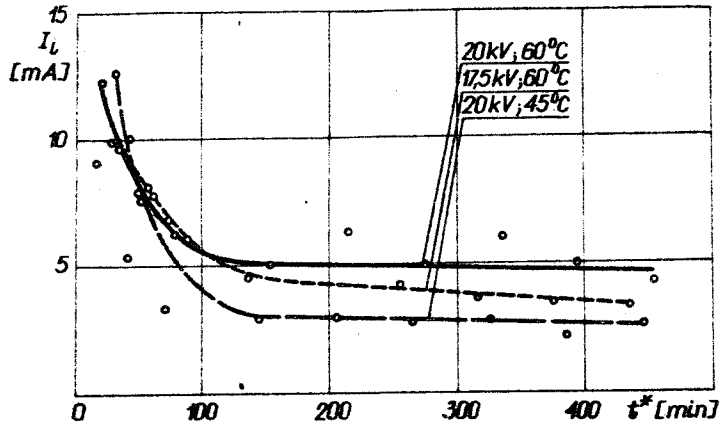
Sredni prąd wyładowań niezupełnych uzyskany drogą obliczeń z zależności $n_i = f/Q_i$ otrzymanej metodą analizy amplitudowej, składa się z szeregu udziałów cząstkowych prądów o różnych ładunkach pozornych wyładowań. Na rysunku 4 przedstawiono zależność zmian wartości średniego prądu wyładowań niezupełnych odpowiadającego największemu ładunkowi pozornemu wyładowań od momentu przewrotu do końca badań. Wzrost napięcia powoduje wzrost średniego prądu wyładowań niezupełnych odpowiadającego największemu ładunkowi, podobnie oddziałuje wzrost temperatury,



Rys.2. Zależność $\ln \frac{\Delta V^*}{\Delta t^*} = f/t^*$ dla mineralnego oleju izolacyjnego



Rys.3. Funkcja gęstości rozkładu ładunków dla oleju mineralnego przy napięciu 20 kV i w temperaturze 60°C.



Rys.4. Zależność średniego prądu wyładowań niezupełnych odpowiadającego największemu ładunkowi pozornemu wyładowań w danej chwili

przy czym istotne różnice występują dopiero po upływie stukilkudziesięciu minut badania.

5. Wnioski

Przedstawione przykładowe wyniki badań współzależności intensywności wyładowań na granicy faz i własności gazowych mineralnych cieczy dielektrycznych pozwalają na wyciągnięcie kilku istotnych wniosków:

- przedstawiona metoda badań pozwala na określenie momentu przewrotu tj. w układzie $V = f/t$ momentu wydzielania gazu, jednakże wydaje się, że ze względu na działanie wyładowań na układ izolacyjny ważniejszy jest moment, w którym następuje zmniejszenie maksymalnego ładunku pozornego wyładowań. Momenty te są przeważnie względem siebie przesunięte,

- dla każdej mineralnej cieczy dielektrycznej istnieje graniczna temperatura i napięcie /wzajemnie między sobą powiązane/ po przekroczeniu których następuje wydzielanie gazów,

- dla wszystkich przebadanych cieczy w szerokim zakresie napięć, temperatury, składu węglowodorowego istnieją graniczne wartości ładunków pozornych wyładowań /inaczej energii/ występujące do momentu przewrotu i po jego przekroczeniu, co związane jest z własnościami fizykochemicznymi fazy gazowej i badanej cieczy.

LITERATURA

1. Basseches H. and McLean D.A.: Gassing of liquid dielectrics under electric stress. *Ind. Eng. Chem.* 47, No 9, 1955, p.1782-1794.
2. Blodgett R.B., Barlett S.C.: Parameters predicting gassing of oils under electric stress. *Tr. AIEE-PAS* 1961, vol.80, nr 8.
3. Moraru D., Popesco C., Stoica M., Tanasesco F.: Detection of degradation produced by partial discharges in paper - oil insulation. *CIGRE* 1970, Paris Rep. 15-05.
4. Reynolds E.H., Black R.M.: Evaluation of dielectric fluids by gassing cell tests. *Proc. IEE*, 1972, vol. 119, nr 4.
5. Sloat T.K., Johnson J.L., Sommerman G.M.: Gas evolution from transformer oil under high voltage stress. *Tr. AIEE-PAS* 1967, vol.86, nr3.
6. Varsavskij D.S., Kalantar N.G., Glazunov V.I.: Ispytanije kondensatornich masjel na gazostoikost. *Elektrotehnika ZSRR*, 40, nr 1, str.49-51, 1969.
7. Wilpute R.: Contribution to the study of evolution of gas in insulating liquides and solids under the action of electric stress. *CIGRE* 1970, Rep. 15-03.

Summary

THE CORRELATION OF THE INTENSITY OF PARTIAL DISCHARGES ON THE INTERFACE AND THE GASSING PROPERTIES OF MINERAL DIELECTRIC LIQUIDS

The results of the investigations of the influence of voltage and temperature on the correlation of partial discharge intensity on the air/oil interface are given.

It was found the existence of characteristic groups of charges related to the physical and chemical properties of the gas and liquids