

Jerzy Skubis

DETEKCJA WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH METODĄ ELEKTRYCZNĄ
AKUSTYCZNĄ I CHROMATOGRAFICZNĄ

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach dużo uwagi poświęca się rozwijaniu nieelektrycznych metod detekcji i pomiaru wyładowań niezupelnych /wnz/. Szczególnie wiele prac dotyczy dwóch metod pomiarowych : metody analizy chromatograficznej gazów wydzielonych z oleju transformatorowego [1,4,9] i akustycznej metody detekcji wnz [5,7,8].

Chromatograficzna metoda oceny stanu izolacji transformatorów mocy jest stosowana w kraju z dobrym skutkiem od 1972 roku. Aktualnie jest to jedyna metoda, która umożliwia określenie zagrożenia izolacji transformatorów mocy pracujących w eksploatacji.

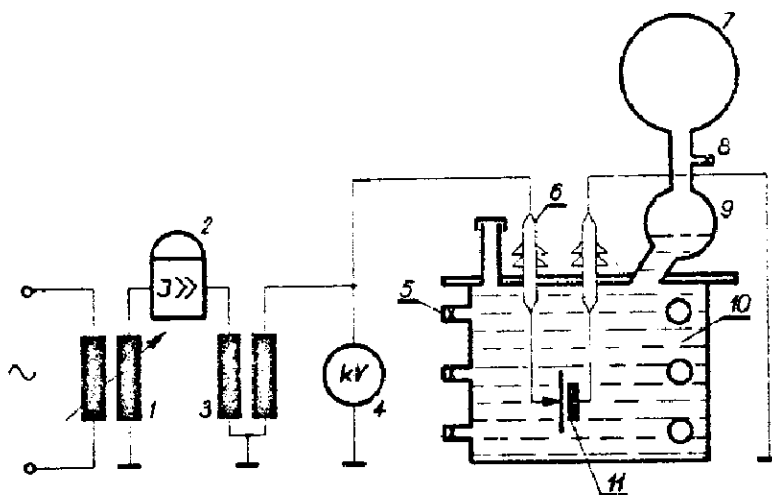
Akustyczna metoda detekcji wnz jest obecnie wdrażana do diagnostyki izolacji transformatorów i przepustów transformatorowych. Stosowana w kraju aparatura pozwala także na przybliżone lokalizowanie obszaru występowania wnz [10, 11].

Z technicznego punktu widzenia podstawowe znaczenie ma znajomość czułości wykrywania wnz różnymi metodami. Szczególnie dla interpretacji wyników uzyskiwanych w akustycznej metodzie detekcji wnz ważna jest znajomość jej czułości w stosunku do czułości metody elektrycznej i metody chromatograficznej. Określenie tych zależności jest przedmiotem tego referatu.

dr inż. Jerzy Skubis - Wyższa Szkoła Inżynierska w Opolu.

2. Układy pomiarowe

Dla przeprowadzenia badań wykonano model izolacji papierowo-olejowej. Schemat modelu i układu zasilającego przedstawiono na rysunku 1.

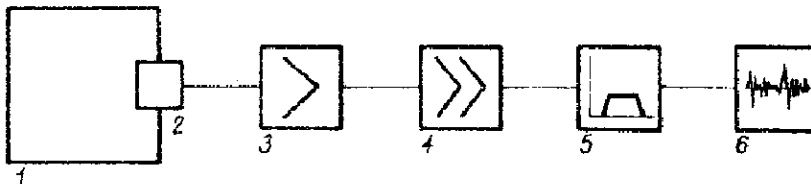


Rys.1. Schemat układu do symulacji wnz w izolacji papierowo-olejowej :
 1 - autotransformator, 2 - przekaźnik nadprądowy, 3 - transformator wysokiego napięcia, 4 - woltomierz elektrostatyczny, 5 - krany do pobierania próbek oleju, 6 - izolatory przepustowe, 7 - balonik na gaz, 8 - kran do pobierania próbki gazu, 9 - konserwator, 10 - olej transformatorowy, 11 - iskiernik z przegrodą preszpanową.

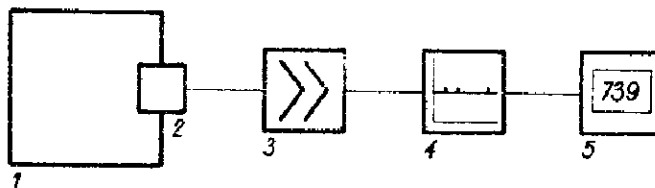
Model wykonano w ten sposób, aby istniała możliwość ciągłej detekcji wnz metodą elektryczną i akustyczną, a równocześnie, aby można było pobierać próbki oleju z modelu i próbki gazu z konserwatora do badań chromatograficznych. Dla symulowania wnz wykonano dwa różne iskierniki (11). W iskierniku z elektrodą pojedynczą między dwoma elektrodami płaskimi o różnych średnicach umieszczono 7 warstw preszpanu nasyczonego olejem. Wnz występowały po powierzchni preszpanu. Napięcie przebicia tego iskiernika wynosiło 56 kV. Dla uzyskania wnz o większej intensywności wykonano drugi iskiernik typu ostrze wielokrotne - płyta, z przegrodą preszpanową i szklaną ($d_{pr} = 2 \text{ mm}$, $d_{sz} = 3 \text{ mm}$). Iskierniki montowano w modelu wypełnionym olejem transformatorowym (10) i zasilano z transformatora wysokiego napięcia (3). Na wypadek przebicia przegrody układ zabezpieczono przekaźnikiem nadprądowym (2). Wysokie napięcie na iskiernikach mierzono woltomierzem elektrostatycznym (4).

Do pomiarów ładunku pozornego wnz zastosowano przyrząd M113 (2). Miernik ten umożliwia pomiary ładunku pozornego i sumarycznego wnz w zakresie od 1 pC do 2 μ C, z czułością $s < 0,05$ pC. Pomiar ładunku pozornego wnz wykonano w układzie z równolegle wkładanym kondensatorem sprzęgającym i impedancją pomiarową szeregowo połączoną z ichtornikiem generującym wnz [3,6].

Do detekcji i rejestracji sygnałów akustycznych od wnz symulowanych w wykonanym modelu, zastosowano dwa różne układy pomiarowe /rys.2 i 3/.



Rys.2. Schemat układu do pomiarów sygnałów akustycznych od wnz. 1 - model izolacji papierowo-olejowej, 2 - przetwornik piezoelektryczny, 3 - przedwzmacniacz, 4 - wzmacniacz, 5 - filtr środkowo-przepustowy, 6 - oscyloskop z pamięcią.



Rys.3. Schemat toru pomiarowego zbudowanego z paneli "Standard" ; 1 - model izolacji papierowo-olejowej, 2 - przetwornik piezoelektryczny, 3 - wzmacniacz WL-21, 4 - dyskryminator progowy DP-21, 5 - licznik impulsów P-41.

Do odbioru sygnałów akustycznych stosowano przetworniki piezoelektryczne (2) dwóch typów : stykowy, mikrofonowy przetwornik IPFF i stykowy, rezonansowy przetwornik Brüela-Kjaera, typ 4332. Sygnały z przetwornika wstępnie wzmacniano na przedwzmacniaczu (3). Dla właściwego wzmocnienia sygnału zastosowano wzmacniacz o wzmocnieniu $M=300$ i progu $10 \mu V$ (4). W celu wyeliminowania zakłóceń akustycznych zastosowano w układzie filtr środkowo-przepustowy (5) o paśmie przepuszczania $\Delta f = 20 - 100$ kHz. Do rejestracji sygnałów wykorzystano oscyloskop z pamięcią (6).

Drugi tor pomiarowy zbudowano z paneli typu "Standard" (rys. 3).

Sygnały z przetwornika (2) wzmacniano wzmacniaczem typu WL-21.

Maksymalny współczynnik wzmocnienia tego wzmacniacza wynosi $W = 640$. Wzmocniony i uformowany sygnał podawano na dyskryminator progowy DP-21 (4). Z dyskryminatora impulsy cyfrowe przekazywano na przelicznik P-51 (5). Maksymalny czas zliczania tego przelicznika wynosi 1000 minut. Wszystkie trzy panele zasilano ze standardowych zasilaczy ZWN-41 i ZWN-21.

Wykonany układ modelowy (rys. 1) umożliwia pełną kontrolę produktów rozkładu oleju, powstających w wyniku działania wnz. Dla pobierania z dowolnego poziomu próbek oleju do badań chromatograficznych, na bocznych ściankach modelu wbudowano krany (5). Wlew oleju do modelu zamknięto gumowym balonikiem gazowym (7). Między konserwatorem (9) i balonikiem wbudowano zawór (8) dla pobierania do analizy chromatograficznej próbek gazu z konserwatora. W ten sposób kontrolowano zarówno skład oraz ilość gazów rozpuszczonych w oleju, jak również skład oraz ilość gazów uchodzących ewentualnie z oleju do konserwatora. Próbkę oleju i gazu do badań chromatograficznych pobierano zgodnie z wymaganiami technicznymi [9].

3. Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów wnz metodą elektryczną, akustyczną i analizy chromatograficznej przedstawiono w tabelach 1 i 2 oraz na rysunkach 4 i 5. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowe oscylogramy sygnałów akustycznych od wnz, a na rysunku 5 wyniki ciągłej rejestracji sygnałów akustycznych za pomocą toru "Standard". Przedstawione wyniki uzyskano przy zastosowaniu stykowego przetwornika mikrofonowego IPPT, o czułości $5 \mu\text{V/P}$, magnetycznie mocowanego do ścianki modelu

Uzyskane rezultaty pozwalają na porównanie czułości metod pomiarowych, stosowanych do pomiarów wnz. Ogólnie można stwierdzić, że czułość akustycznej metody jest wyższa niż czułość oceny wnz na podstawie wyników analizy chromatograficznej. Metodą akustyczną są wykrywalne wyładowania o ładunku pozornym mniejszym od 100 pC. Wyładowania o ładunku pozornym około 300 pC są wykrywalne metodą akustyczną bardzo dobrze: maksymalne amplitudy rejestrowanych sygnałów wynoszą około 0,5 V. Istnienie tych wnz można stwierdzić również metodą chromatograficzną, ale jej wyniki sugerują, że szkodliwość tych wnz jest niewielka. Wyraźnie szkodliwe działające dla badanej izolacji mają wnz o ładunku pozornym większym od 1000 pC. Analiza chromatograficzna jednoznacznie ujawnia ich istnienie.

Tabela 1

Zestawienie wyników pomiarów wnz różnymi metodami

Lp.	Typ iskiernika	Jednostka	Iskiernik z elektrodą pojedynczą		Iskiernik z elektrodą wielokrotną	
1	Wartość napięcia na iskierniku	kV	13	18	18	23
2	Czas działania wnz	h	1003	782	1008	1008
3	Ładunek pozorny symulowanych wnz	pC	100	130	340	1260
4	Maksymalna amplituda sygnałów akustycznych do wnz	V	0,1	0,2	0,5	2
5	Ch-ka wyników analiz chromatograficznych oleju	-	nieznaczące ilości H_2	śladowe ilości: H_2 , CH_4 , C_2H_2 , CO	występują następujące związki: H_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_2H_6 , C_2H_4	tab. 2
6	Ch-ka wyników analiz chromatograficznych gazu z konserwatora	-	brak śladów działania wnz	praktycznie brak śladów działania wnz	śladowe ilości: H_2 , CH_4 , C_2H_2 , CO	tab. 2

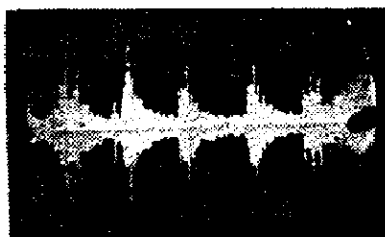
Amplitudy sygnałów akustycznych od tych wyładowań wynoszą około 2 V. Po 1008 godzinach działania wnz o ładunku pozornym 1260 pC, w badanej próbce oleju występują praktycznie wszystkie węglowodory (tab. 2). W wynikach z tabeli 2 zwraca uwagę stosunkowo mała zawartość tlenu węgla, co wskazuje, że wyładowania mają miejsce przede wszystkim w oleju. Istnienie wnz o ładunku pozornym 1260 pC jest także widoczne w wynikach analiz chromatograficznych gazu pobieranego z konserwatora.

Analiza przebiegu przedstawionego na rys. 5 wskazuje, że rozrzut wyników jest większy od 100% i uzyskana krzywa nie ma własności monotonicznych. Wobec długotrwałości procesów starzeniowych zachodzących w izolacji, przyjęty jednak czas pomiarów (241 godzin) może być niewystarczający dla uchwycenia kierunku zmian rejestrowanej wielkości.

Tabela 2

Wyniki analiz chromatograficznych próbek oleju i gazu pobranych z modelu, po różnym czasie oddziaływania wzn. Wyładowania symulowano na iskierniku z elektrodą wielokrotną, przy napięciu $U = 23 \text{ kV}$

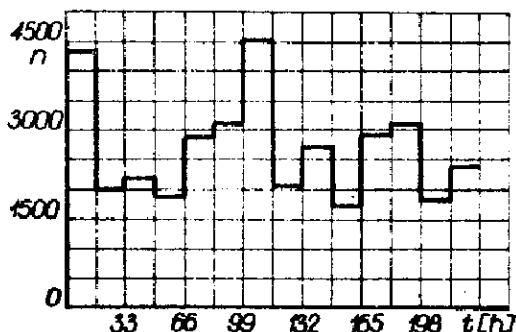
Lp.	Oznaczenie próbki	Czas stężenia	Ilość gazów w % objętości	Jednostki	H_2	CO	CO_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2	C_3H_8	C_3H_6	C_4H_{10}	C_4H_8
1	Pr. oleju	-	7,7	ppm	270	śląd	308	54	31	31	46	-	-	-	-
	Pr. gazu	-	-	%	0,07	śląd	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Pr. oleju	48	8,3	ppm	274	śląd	332	91	16	33	-	śląd	-	-	-
	Pr. gazu	-	-	%	0,06	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Pr. oleju	192	8,0	ppm	552	śląd	320	248	56	40	72	śląd	-	-	-
	Pr. gazu	-	-	%	0,20	-	0,05	śląd	-	-	-	-	-	-	-
4	Pr. oleju	384	8,4	ppm	638	śląd	546	445	134	59	84	25	śląd	7	-
	Pr. gazu	-	-	%	0,42	-	0,10	0,05	-	-	-	-	-	-	-
5	Pr. oleju	552	7,8	ppm	905	śląd	507	562	164	179	140	16	47	-	-
	Pr. gazu	-	-	%	0,80	-	0,10	0,06	-	-	-	-	-	-	-
6	Pr. oleju	720	8,1	ppm	778	śląd	591	680	259	89	146	41	24	śląd	-
	Pr. gazu	-	-	%	0,58	-	0,08	0,10	-	-	-	-	-	-	-
7	Pr. oleju	888	8,6	ppm	963	śląd	671	834	301	129	301	43	26	9	-
	Pr. gazu	-	-	%	0,66	-	0,20	0,14	-	-	-	-	-	-	-
8	Pr. oleju	1008	7,7	ppm	1502	śląd	578	824	285	123	308	38	15	śląd	-
	Pr. gazu	-	-	%	0,46	-	0,05	0,13	śląd	-	-	-	-	-	-



a/ $X = 10 \text{ ms/dz}$ $Y = 0,02 \text{ V/dz}$
 $U = 13 \text{ kV}$

b/ $X = 5 \text{ ms/dz}$ $Y = 0,5 \text{ V/dz}$
 $U = 23 \text{ kV}$

Rys.4. Oscylogramy sygnałów akustycznych od wnz



Rys.5. Liczba dodatnich impulsów sygnałów akustycznych od wnz, zliczanych w sposób ciągły. Wzmocnienie sygnału $W = 640$, poziom dyskryminacji $D = 1,2 \text{ V}$, czas jednego pomiaru $t = 16,5 \text{ godziny}$

4. Wnioski

1. W izolacji papierowo-olejowej, metodą akustyczną, można wykrywać wnz o ładunku pozornym około 100 pC. Analiza chromatograficzna oleju poddanego działaniu takich wyładowań nie wykazuje ich istnienia. Metodą analizy chromatograficznej można z dobrym skutkiem wykrywać wyładowania o ładunku pozornym rzędu 1000 pC. Dla wykrywania wnz występujących w oleju po powierzchni przszpanu, akustyczna metoda detekcji jest więc wyraźnie czulsza od oceny wnz na podstawie wyników analizy chromatograficznej.

2. Istnienie oraz intensywność wnz w izolacji papierowo-olejowej można stwierdzić wcześniej w oparciu o wyniki analizy chromatograficznej oleju niż w oparciu o wyniki analizy chromatograficznej gazu pobranego z konserwatora.

3. Akustyczny tor pomiarowy, zestawiony z typowych paneli "Standard", dobrze nadaje się w warunkach laboratoryjnych do rejestracji i analizy sygnałów akustycznych od wnz.

4. Dla określania intensywności wnz mierzonych metodą akustyczną można się posługiwać maksymalną amplitudą rejestrowanego sygnału akustycznego. Istnieje również możliwość określania intensywności wnz liczbą impulsów akustycznych powyżej przyjętego progu dyskryminacji, jednakże korelacja tego wskaźnika z fizycznym stanem izolacji wymaga dalszych badań.

Literatura

1. Galand J., Thibault M., Latour-Słowikowska H. : Zastosowanie chromatografii gazowej w badaniach diagnostycznych izolacji urządzeń elektrycznych. Przeg. Elektrotech. nr 11, 1979, s. 461 - 466.
2. Instrukcja aparatury MUT 8 : Bedienungsanweisung Teilentladungsmesgerät MUT 8. Drezno 1981.
3. Kreuger J.F.H. : Discharge detection in high voltage equipment. Heywood Book, Londyn 1964.
4. Müller R., Schliesing H., Soldner K. : Die Beurteilung des Betriebszustandes von Transformatoren durch Gasanalyse. Elektrizitätswirtschaft nr 11, 1977, s. 345 - 349.
5. Once M., Yamaguchi K., Kishi T. : Acoustic emission characteristics during growth of electrical tree in a plastic insulating material. VI Międzynarodowe Sympozjum Emisji Akustycznej, 31.X. - 3.XI.1982, Susano, Japonia, s. 345 - 355.
6. PN-70/E-04066 : Wyładowania niezupełne w izolacji przy napięciu przemianym. Metody badań.
7. Skubis J. : Analiza przydatności i dobór przetwornika mechano-elektrycznego do odbioru sygnałów akustycznych od wyładowań niezupełnych w izolacji transformatorów olejowych dużej mocy. Pr. dokt., Pol. Śląska w Gliwicach, 1981.
8. Skubis J. : Piezoelectric reflecting transducer for partial discharge acoustic signals. J. Phys.E. : Sci. Instrum., nr 10, 1982, s. 1022 - 1026.
9. Szuta J. : Diagnostyka techniczna transformatorów na podstawie analizy chromatograficznej gazów wydzielonych z oleju. Energetyka nr 7/8, 1978, s. 257 - 260.
10. Szuta J. : Detekcja i lokalizacja rozwijających się uszkodzeń elektrycznych w transformatorach metodą badań emisji akustycznej wyładowań niezupełnych. Energetyka nr 8, 1978, s. 336 - 340.

11. Szuta J., Skubis J. : Detekcja i lokalizacja wyładowań niezupełnych w izolacji transformatorów, kabli i przekładników wysokiego napięcia. Prace ZPBE Energopomiar Gliwice, Etap I - V, 1976 - 1980.