

2.22 — akustyczne metody badania
materiałów i układów
mechanicznych

J. Skubis, T. Wiśniewska
F. Rejmund

POMIARY WYBRANYCH PARAMETRÓW
EMISJI AKUSTYCZNEJ EMITOWANEJ
PRZEZ WYLADOWANIA ELEKTRYCZNE

15/1990

P. 269



WARSZAWA 1990

<http://rcin.org.pl>

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 17 lutego 1989 r.



56738



Na prawach rękopisu

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN

Nakład 130 egz. Ark.wyd. 1,8 Ark.druk. 2,25

Oddano do drukarni w kwietniu 1990 r.

Nr zamówienia 159/90

Warszawska Drukarnia Naukowa, Warszawa,

ul. Śniadeckich 8

<http://rcin.org.pl>

Docc. dr hab. inż. Jerzy Skubis
Mgrgr. inż. Teresa Wiśniewska
Instytut Elektrotechniki WSI w Opolu
Dr r. Feliks Rejmund - IPPT PAN

POMIARY WYBRANYCH PARAMETRÓW EMISJI AKUSTYCZNEJ EMITOWANEJ PRZEZ WYŁADOWANIA ELEKTRYCZNE

Streszczenie

W pracy przedstawiono możliwość pomiaru parametrów emisji akustycznej emitowanej przez wyładowania niezupełne. Zaprezentowano układ do symulowania powierzchniowych wyładowań niezupełnych i sposób cyfrowej rejestracji związanych z nimi sygnałów akustycznych. Przedstawiono sposób numerycznego opracowania zarejestrowanych wyników, z wykorzystaniem 16-bitowego komputera. Przytoczono wyniki pomiarów sumy, gęstości i parametru A_{rms} zdarzeń sygnałów akustycznych od wyładowań symulowanych w laboratorium. W ramach pracy przeprowadzono ocenę wyładowań niezupełnych metodą akustyczną w 10 transformatorach dużej mocy zainstalowanych w elektrowni. W transformatorach, w których stwierdzono wyładowania zmierzono sumę i gęstość emisji akustycznej przy różnych parametrach układu pomiarowego. We wnioskach określono zależność między akustycznymi parametrami sygnałów a intensywnością wyładowań, oceniono przydatność dla metody akustycznej układu DEMA-20, sformułowano kierunki badań dla doskonalenia akustycznej metody oceny wyładowań niezupełnych.

1. WPROWADZENIE

Niniejsza praca stanowi kontynuację prac nad akustyczną metodą oceny wyładowań niezupełnych (wnz), realizowanych przez Instytut Elektrotechniki Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Opolu w latach 1985, 86, 87 [5, 6, 7]. W wykonanych do tej pory pracach przedstawiono stan opracowania metody na świecie i w kraju, scharakteryzowano układy pomiarowe, określono amplitudowe widmo

sygnałów, określono stochastyczne parametry sygnałów i opracowano sposób ich pomiaru. Podano także pierwsze wyniki technicznego zastosowania akustycznej metody oceny wnz, występujących w układach w krajowym systemie. Określono również kierunki prac poznawczych nad metodą akustyczną w najbliższych latach.

W oparciu o sprawozdanie z prac wykonanych w roku ubiegłym [6] postanowiono, że w pierwszej kolejności należy opracować dwa zagadnienia dotyczące metody akustycznej. Pierwsze dotyczy przygotowania sposobu numerycznej obróbki sygnałów akustycznych od wnz. Przewidywanym rezultatem opracowania tego zagadnienia jest wdrożenie obróbki rejestrowanych sygnałów komputera. Drugie zagadnienie wybrane do realizacji dotyczy pomiarów różnych wielkości charakteryzujących emisję akustyczną od wnz. W szczególności chodzi o wykonanie pomiarów sumy i gęstości emisji akustycznej, sumy i gęstości zdarzeń sygnałów, wartości A_{RMS} oraz wartości średniej i średniokwadratowej. Oprócz wymienionych wyżej zagadnień, w ramach niniejszej pracy sprawdzono przydatność prototypu układu DEMA-20 do pomiarów parametrów emisji akustycznej, generowanej przez wnz [8]. Równoległe z pracami poznawczymi, prowadzonymi nad metodą akustyczną, realizowane są w Wyższej Szkole Inżynierskiej w Opolu prace nad wdrożeniem metody do technicznej diagnostyki urządzeń elektroenergetycznych. Prace te obejmują głównie budowę przewoźnego laboratorium diagnostycznego dla potrzeb metody akustycznej i ocenę wnz metodą akustyczną w różnych urządzeniach elektroenergetycznych, zainstalowanych w krajowym systemie elektroenergetycznym.

Za literaturą przedmiotu wprowadza się w niniejszej pracy dwa skróty:

- wyładowania niezupełne - wnz,
- emisja akustyczna - ea.

2. CEL I ZAKRES PRACY

Ogólnym celem pracy jest opracowanie fizycznych zagadnień związanych z akustyczną metodą oceny wnz. Celem szczegółowym

jest opracowanie numerycznego sposobu obróbki sygnałów i wykonanie pomiarów podstawowych parametrów ea generowanej przez wnz. Praca obejmuje następujące zagadnienia szczegółowe:

- opracowanie numerycznego sposobu obróbki wyników,
- wykonanie pomiarów sumy i gęstości ea,
- wykonanie pomiarów sumy i gęstości zdarzeń sygnałów,
- wykonanie pomiarów wartości A_{RMS} ,
- obliczenie wartości średniej i średniokwadratowej sygnałów,
- fizyczną interpretację uzyskanych wyników,
- ocenę wnz metodą akustyczną w 10 transformatorach dużej mocy zainstalowanych w eksploatacji,
- ocenę przydatności dla metody akustycznej układu DEMA-20.

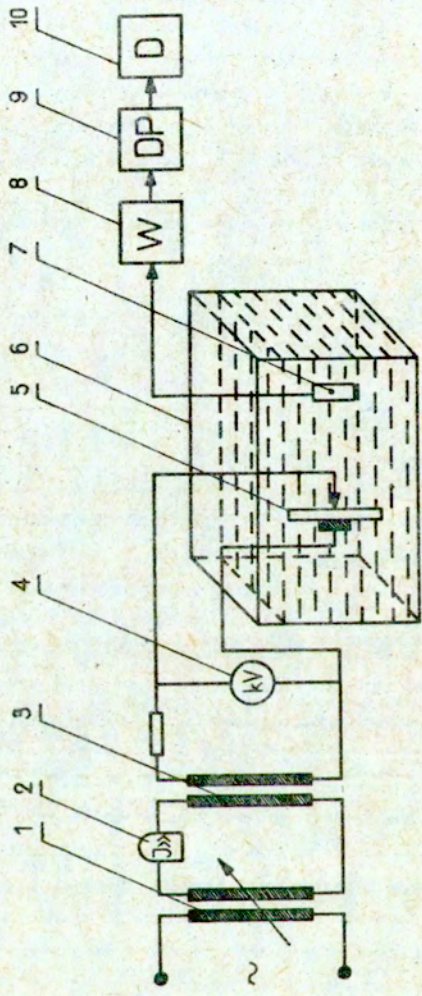
3. POMIAR SUMY I GĘSTOŚCI ZDARZEŃ ORAZ WARTOŚCI A_{RMS} EMISJI AKUSTYCZNEJ EMITOWANEJ PRZEZ WYŁADOWANIA SYMULOWANE W LABORATORIUM

3.1. Układ pomiarowy.

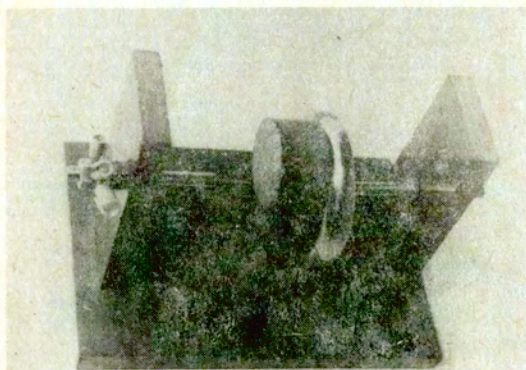
Dla wykonania zaplanowanych pomiarów zbudowano w laboratorium specjalny układ do symulacji wnz. W typowym układzie wysokiego napięcia podłączono iskiernik ostrze-krążek preszpanu-płyta, zanurzony w zbiorniku wypełnionym olejem transformatorowym. Schemat układu, w którym wykonywano pomiary przedstawiono na rys. 1. Na rys. 2 przedstawiono widok najważniejszego elementu układu - iskiernika symulującego wnz. W iskierniku, po doprowadzeniu napięcia między igłę a miedzianą płytę, występowały wnz po powierzchni preszpanowego krążka. Ślady po wnz występujących w wykonanym iskierniku przedstawiono na rys. 2 b.

Sygnały akustyczne związane z wnz odbierano przetwornikiem stykowym, mikrofonowym o szerokim paśmie częstotliwości:

$\Delta f = 0 + 90$ kHz. Czułość zastosowanego przetwornika wynosiła $2 \mu V/Pa$. Przetwornik pomiarowy był klejony do zewnętrznej ścianki modelu kadzi transformatora. Sygnał z przetwornika przez przedwzmacniacz był kierowany do układu DEMA-20 (rys. 3).



Rys. 1. Ogólny schemat układu wysokiego napięcia symulującego wnz.
1 - autotransformator, 2 - zabezpieczenie układu, 3 - transformator
wysokiego napięcia, 4 - woltomierz elektrostatyczny, 5 - iskiernik,
6 - zbiornik wypełniony olejem, 7 - przetwornik, 8 - wzmacniacz,
9 - dyskryminator progowy, 10 - przelicznik impulsów.



a)



b)

Pys. 2. Iskiernik ostrze - krążek preszpanu - płyta, w którym symulowano wnz.

a) Widok ogólny.

b) Widok wewnętrznej powierzchni preszpanowego krążka ze śladami powierzchniowych wnz.



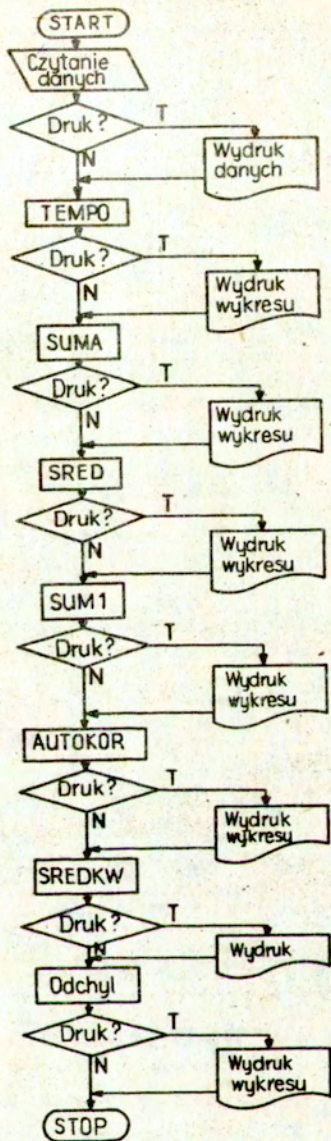
Rys. 3. Ogólny widok układu DEMA-20.

3.2. Sposób numerycznego opracowania wyników.

Program OPPO do opracowania wyników pomiarów uzyskiwanych z DEMA-20 napisany został w języku Turbo Pascal wersja 3 na komputer klasy IBM. Wyniki pomiarów zostały umieszczone na dyskietce 5,25" w postaci zbiorów tekstowych.

Program OPPO składa się z następujących podprogramów, które mogą być wykonywane w zależności od potrzeb (rys. 4):

- 1 - TEMPO - wykreśla wartości gęstości zdarzeń w funkcji czasu w postaci słupków histogramu,
- 2 - SUMA - oblicza i wykreśla sumę zdarzeń w funkcji czasu dla zadanego napięcia lub progu dyskryminacji,
- 3 - SRED - oblicza i wykreśla średnią zdarzeń w funkcji napięcia lub progu dyskryminacji,
- 4 - SUM1 - oblicza i wykreśla średnią zdarzeń w funkcji napięcia lub progu dyskryminacji dla dowolnych, z góry zadanych przedziałów czasowych np. 5 μ s, 10 μ s,...
- 5 - AUTOKOR - oblicza i wykreśla funkcję autokorelacji dla danego pomiaru,
- 6 - SREDKW - oblicza wartość średniokwadratową dla danego pomiaru,



Rys. 4. Ogólny schemat blokowy programu OPPO.

7 - ODCHYL - oblicza (w procentach) i wykreśla odchylenie każdej wartości pomiaru od średniej z całego pomiaru.

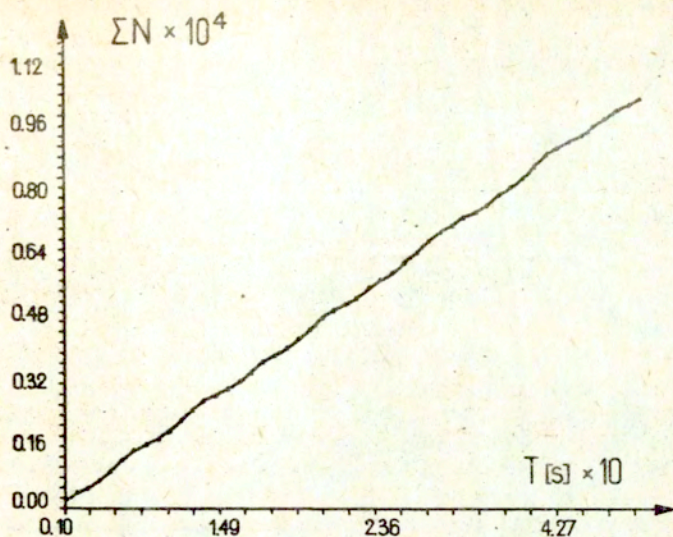
Skala na wykresach w podprogramach 2 + 5 i 7 dobierana jest automatycznie. Program ma możliwość zmiany skali na osi Y na skalę logarytmiczną. Program kreśli wykresy na monitorze i może je drukować na drukarce w różnych wielkościach, w zależności od potrzeb.

Program OPPO wykorzystuje funkcje graficzne napisane w języku Turbo Pascal wersja 3, zawarte w pakiecie Turbo-Graphix. Pochodzące z tego pakietu programy: Typedef.sys, Graphix.sys, Kernel.sys, Windows.sys, Axis.hgh, Hatch.hgh, Histogram.hgh, Polygon.hgh zostały skompilowane jako nakładki w programie. W celu zwiększenia ilości punktów wykreślanych na wykresie, zmieniono wartość MaxPlotGlb w pliku Typedef.sys na 300.

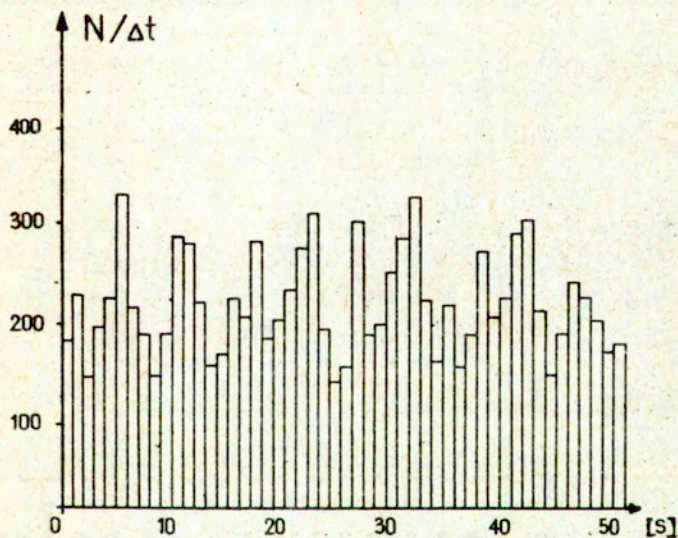
3.3. Wyniki pomiarów sumy i gęstości zdarzeń emisji akustycznej.

W pierwszej rzędzie wykonano pomiary sumy i gęstości zdarzeń ea generowanej przez wnz. Pomiary wykonano w układzie opisanym w rozdziale 3.1. Sygnały rejestrowano przy wzmocnieniu 48 dB, przy progu dyskryminacji $PD = 0,2$ V, stałej kształtowania sygnałów $\tau = 1250$ μ s i w interwale czasowym $\Delta t = 1$ s. Przy tak dobranych parametrah układu pomiarowego zmierzono sumę i gęstość zdarzeń emisji akustycznej od wnz w zakresie napięć od U_z do U_p . Napięcie zapłonu U_z stosowanego iskiernika, mierzone przetwornikiem stykowym, wynosiło 21 kV, napięcie przebicia $U_p = 30$ kV. Pomiary wykonywano w ciągu 50 sekund dla każdego poziomu napięcia, zmienianego skokowo co 1 kV. Sygnały rejestrowano na drukarce, a następnie poddawano obróbce numerycznej, według opracowanego programu (punkt 3.2).

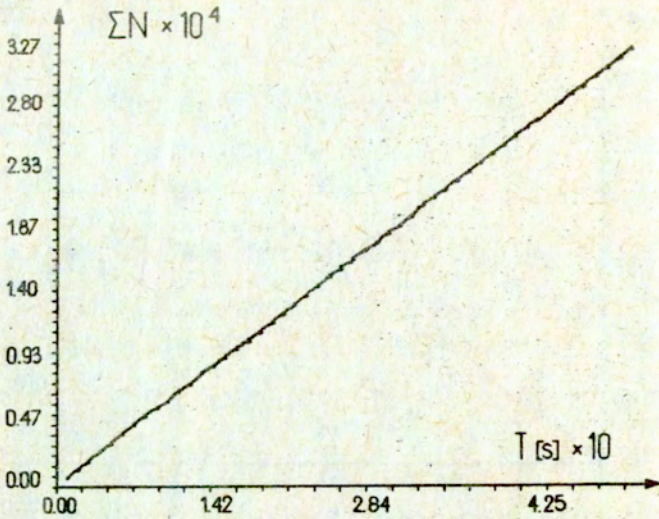
Pełne zestawienie uzyskanych wyników przedstawiono w pracy [8]. Na rys. 5 + 10 przedstawiono sumę i gęstość zdarzeń sygnałów ea emitowanej przy trzech wybranych napięciach symulacji wnz: 21 kV, 25 kV, 30 kV. Zależność sumy średniej gęstości zdarzeń ea emitowanej przez wnz od wartości napięcia zasilającego układ przedstawiono na rys. 11 i 12.



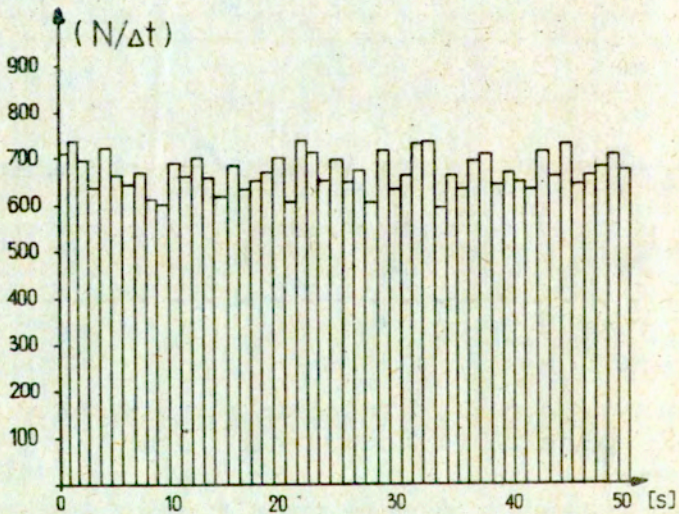
Rys. 5. Suma zdarzeń ea emitowanej przez wnz przy napięciu 21 kV.



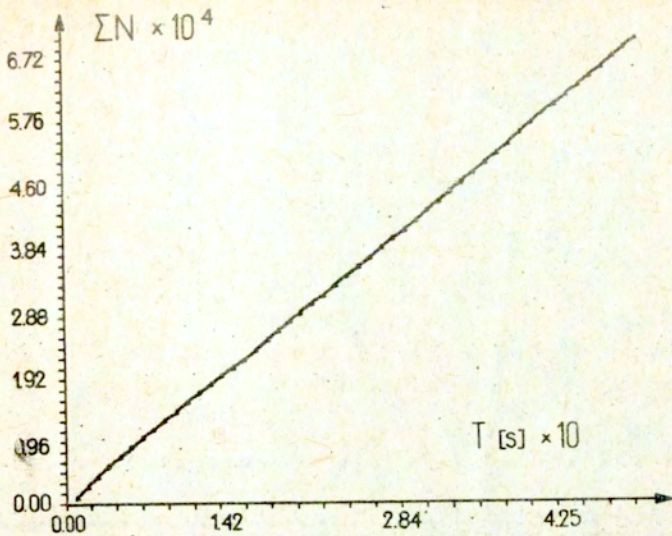
Rys. 6. Gęstość zdarzeń ea emitowanej przez wnz przy napięciu 21 kV.



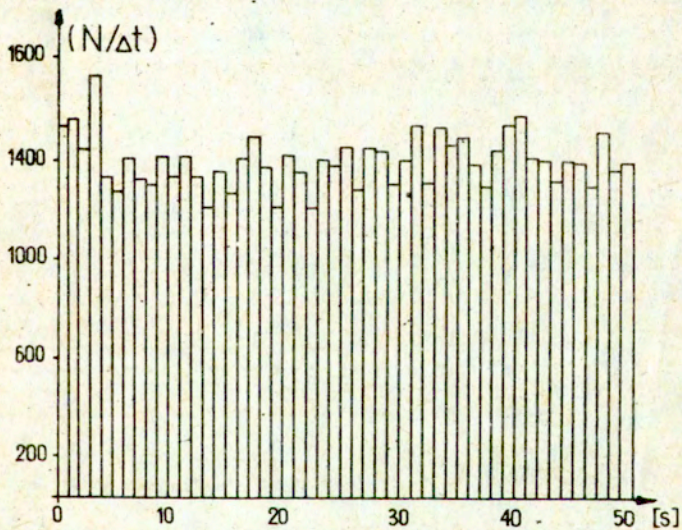
Rys. 7. Suma zdarzeń ea emitowanej przez wnz przy napięciu 25 kV.



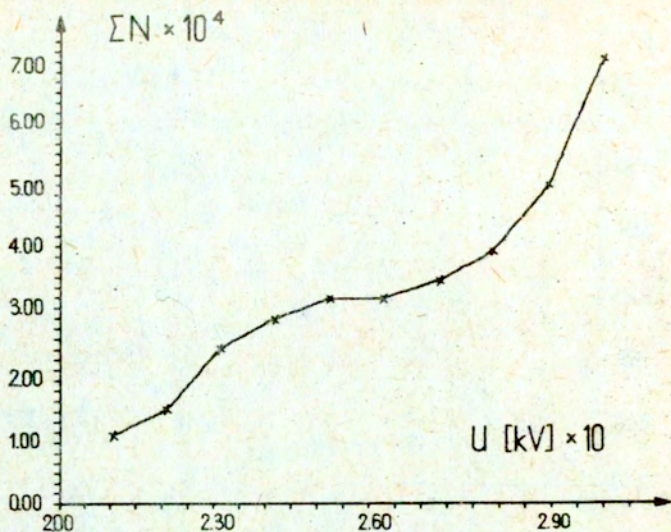
Rys. 8. Gęstość zdarzeń ea emitowanej przez wnz przy napięciu 25 kV.



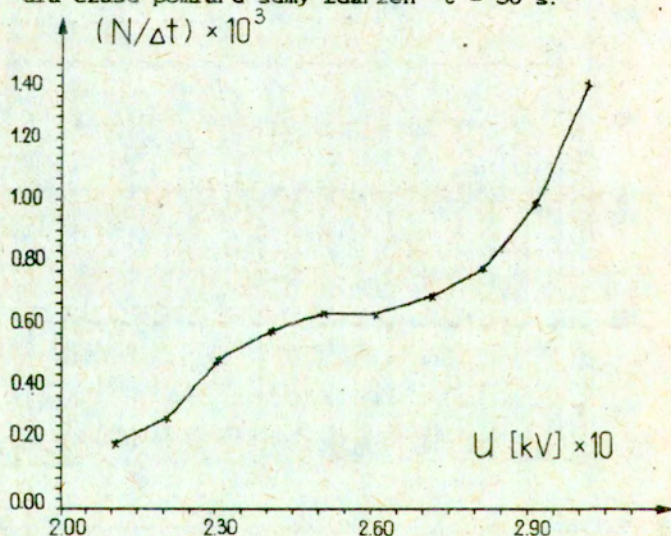
Rys. 9. Suma zdarzeń ea emitowanej przez wnz przy napięciu 30 kV.



Rys. 10. Gęstość zdarzeń ea emitowanej przez wnz przy napięciu 30 kV.



Rys. 11. Zależność sumy zdarzeń ea emitowanej przez wnz od wartości napięcia zasilającego układ. Wykres wykonano dla czasu pomiaru sumy zdarzeń $t = 50$ s.



Rys. 12. Zależność średniej gęstości zdarzeń ea emitowanej przez wnz od wartości napięcia zasilającego układ. Wartości średnie gęstości zdarzeń obliczono jako wartość średnią z 50 pomiarów.

3.4. Wyniki pomiarów wartości A_{RMS} .

W następnym etapie badań przeprowadzono pomiary wartości skutecznej A_{RMS} sygnału ea. Pomiary takie umożliwia układ DEMA-20 [4]. Przetwornik wartości skutecznej sygnału ea jest dołączony do wyjścia wzmacniacza tego układu. Przetwornik ten umożliwia określenie mocy chwilowej sygnału ea, zgodnie ze wzorem (1):

$$P(t) = k \frac{U_{RMS}^2}{R_{ve}} \frac{1}{A^2} \quad (1)$$

gdzie:

- $P(t)$ - moc chwilowa sygnału ea,
- U_{RMS} - wartość chwilowa napięcia na wyjściu przetwornika wartości skutecznej,
- R_{ve} - oporność wejściowa przedwzmacniacza,
- k - współczynnik przetwarzania energii mechanicznej na energię elektryczną w przetworniku piezoelektrycznym,
- A - całkowite wzmocnienie toru pomiarowego.

Przetwornik wartości skutecznej, w który wyposażony jest układ DEMA-20 został zbudowany w oparciu o szerokopasmowe, monolityczne układy mnożące MC 1495. Na wyjściu "RMS OUT" przetwornik ten wytwarza napięcie według wzoru (2):

$$A_{RMS} = \frac{1}{T} \int_0^T \left[U_a^2(t) \right] dt \quad (2)$$

gdzie:

- A_{RMS} - wartość skuteczna sygnału ea,
- $U_a(t)$ - chwilowe napięcie mierzonego sygnału ea,
- T - czas uśredniania.

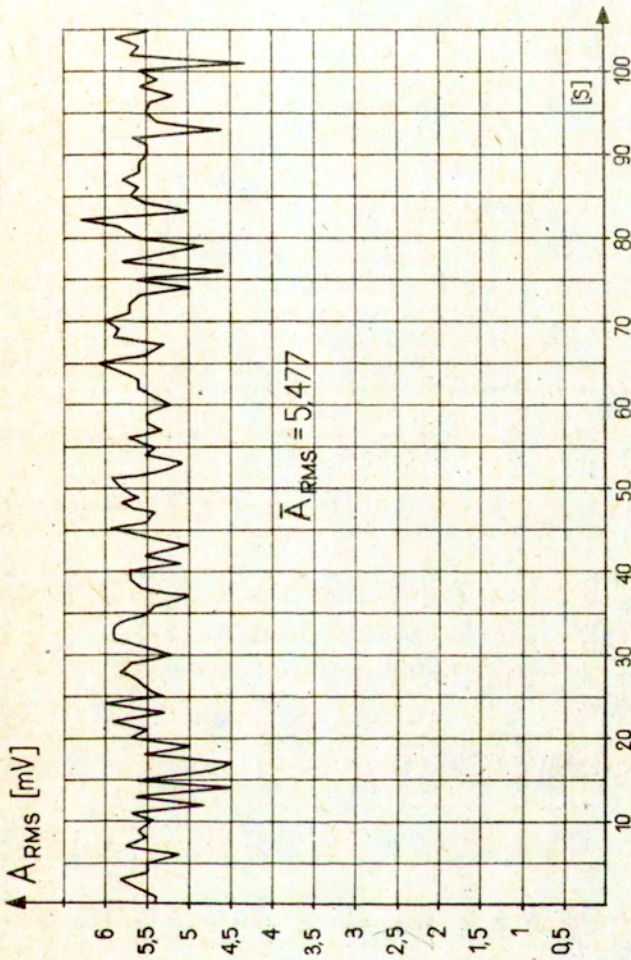
Pomiary wykonano przy symulacji wnz w takim samym układzie i przy takich samych parametrach aparatury, jak przy pomiarach sumy i gęstości zdarzeń (punkt 3.3). Sygnał wyjściowy A_{RMS} z DEMA-20 rejestrowano albo na drukarce ERD-103 albo bezpośrednio na rejestratorze X-Y. Pomiary wartości A_{RMS} wykonano w zakresie napięć od 24,5 kV do 30 kV. Przykładowe przebiegi wartości A_{RMS} przy napięciach symulacji wnz 25 kV i 30 kV zarejestrowane na rejestratorze X-Y, przedstawiono na rys. 13 i 14. Na rys. 15 przedstawiono zależność wartości A_{RMS} od napięcia symulacji wnz wykreślona na podstawie wartości zarejestrowanych na drukarce.

3.5. Ocena przydatności dla metody akustycznej układu DEMA-20.

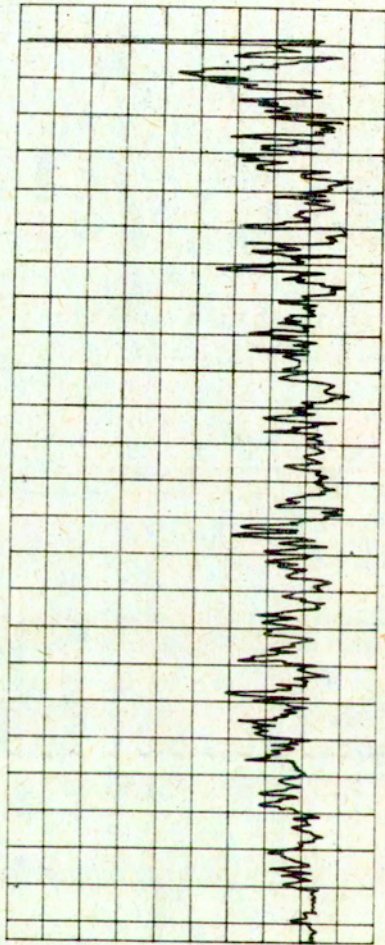
Na podstawie przeprowadzonych badań i uzyskanych wyników, można określić przydatność dla akustycznej metody oceny wnz układu DEMA-20.

Zalety układu DEMA-20 w stosunku do poprzednio stosowanego układu DEMA-10, są wyraźnie widoczne. Szczegółowe dane techniczne układu DEMA-20, opis jego konstrukcji i możliwości pomiarowych zawiera opracowanie [4]. Z punktu widzenia metrologicznych potrzeb akustycznej metody pomiaru i lokalizacji wnz, najważniejsze są następujące możliwości pomiarowe układu DEMA-20:

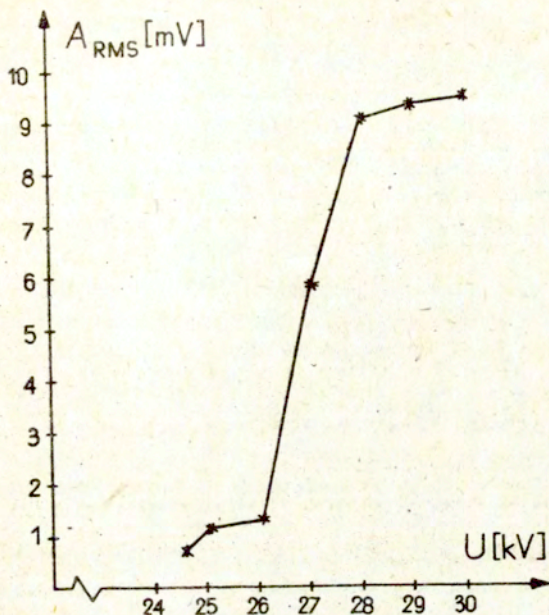
- a) Pomiar wartości skutecznej sygnału ea A_{RMS} . W kraju nie było do tej pory przyrządu, który umożliwiłby bezpośredni pomiar tego parametru. Biorąc pod uwagę podstawowe znaczenie parametru A_{RMS} dla charakterystyki sygnałów ea od wnz, możliwość pomiaru tego parametru stanowi główną zaletę układu DEMA-20.
- b) Pomiar zdarzeń ea od wnz dla trzech czasów całkowania sygnałów: 50 μs , 260 μs i 1200 μs . Możliwość pomiarów zdarzeń ea stwarza warunki nowego podejścia do interpretacji sygnałów, uwzględniającego w większym stopniu fizyczny charakter zjawiska.



Rys. 13. Przebieg chwilowej wartości skutecznej Amas sygnałów akustycznych emitowanych przez wz przy napięciu $U = 25 \text{ kV}$, $X = 1 \text{ s/cm}$, $Y = 2 \text{ mV/cm}$.



Rys. 14. Przebieg chwilowej wartości skutecznej Amas sygnałów akustycznych emitowanych przez wz przy napięciu $U = 30$ kV. $X = 2$ s/cm, $Y = 2$ mV/cm.



Rys. 15. Zależność średniej chwilowej wartości skutecznej A_{RMS} sygnałów akustycznych emitowanych przez wnz od napięcia generacji wyładowań.

- c) Pasmo pomiarowe układu DEMA-20 jest szerokie: do 2 MHz, a czułość około 2-krotnie wyższa w stosunku do układów dotychczas stosowanych. Dla pomiarów ea od wnz szczególnie istotna jest podwyższona czułość układu DEMA-20.
- d) Założona przy konstrukcji urządzenia możliwość automatyzacji procesu rejestracji opracowania danych pomiarowych, z wykorzystaniem 8 lub 16-bitowego komputera, stwarza przy pomiarach ea od wnz możliwość wprowadzenia do opisu sygnałów złożonych funkcji stochastycznych, np funkcji autokorelacji sygnałów, funkcji gęstości prawdopodobieństwa i innych. Zastosowanie do opisu sygnałów tych złożonych funkcji może przyczynić się do określenia lepszej korelacji między mierzonymi wnz a przewidywanym czasem zużycia izolacji.

Wymienione powyżej metrologiczne możliwości układu DEMA-20, zostały sprawdzone podczas zrealizowanych pomiarów. Pozytywne wyniki zastosowania układu DEMA-20 dla potrzeb akustycznej metody oceny wnz, uzyskane w ramach niniejszej pracy, stanowią podstawę do zakupu tego układu przez WSI w Opolu dla wyposażenia Laboratorium Diagnostycznego.

4. POMIARY WYBRANYCH PARAMETRÓW EMISJI AKUSTYCZNEJ OD WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH WYSTĘPUJĄCYCH W TRANSFORMATORACH DUŻEJ MOCY

4.1 Charakterystyka mierzonych transformatorów, stosowanej metodyki i aparatury pomiarowej.

W ubiegłych latach rozpoczęto techniczne stosowanie metody akustycznej [6]. Zastosowania objęły przede wszystkim transformatory dużej mocy, zainstalowane w elektrowniach i stacjach elektroenergetycznych, a i w mniejszym zakresie przepusty transformatorowe, kondensatory energetyczne i przekładniki wysokiego napięcia. W ramach niniejszej pracy podjęto próbę określenia parametrów e_a generowanej przez wnz występujące w transformatorach dużej mocy, zainstalowanych w elektrowni. W tym celu wybrano do badań 10 transformatorów różnych typów, zainstalowanych w Elektrowni Łaziska. Parametry techniczne wybranych do badań transformatorów przedstawiono w tabelicy 1.

W wybranych do badań transformatorach, przeprowadzono metodą akustyczną detekcję, lokalizację i ocenę intensywności wnz. Do detekcji wnz zastosowano układ pomiarowy, złożony z przetwornika stykowego, wzmacniacza liniowego, filtra środkowo-przepustowego i oscyloskopu. Przetwornik pomiarowy przemieszczano po kadzi od strony wyprowadzenia dolnego i górnego napięcia. Z obu stron kadzi przetwornik umieszczono w co najmniej 15 punktach w każdej z faz i na różnych wysokościach. Uzyskano w ten sposób siatkę pomiarową, w węzłach której znajdował się przetwornik. W przypadku stwierdzenia wnz, w układzie cyfrowej obróbki sygnałów rejestrowano gęstość i sumę e_a od wnz. Układ cyfrowy obróbki i rejestracji sygnałów stanowił

przyrząd DEMA-10, współpracujący z drukarką ERD-103. Sygnały rejestrowano co 1 sekundę przy minimalnym progu dyskryminacji ($CP = 0,2 V$), maksymalnym wzmocnieniu układu ($W = 1920$) i stałej kształtowania sygnałów $\tau = 4 \mu s$. Zarejestrowane w ten sposób sygnały ea od wnz poddawano w laboratorium procesowi numerycznej obróbki, w przygotowanym wcześniej programie (rozdz. 3.2).

4.2. Wyniki detekcji, lokalizacji i pomiarów wyładowań niezpełnych w 10 transformatorach dużej mocy podczas ich eksploatacji.

Szczegółowe wyniki oceny wnz metodą akustyczną w 10 transformatorach dużej mocy zainstalowanych w Elektrowni Łaziska przedstawiono w pracy [8]. W grupie 10 zmierzonych transformatorów, wewnętrzne wnz stwierdzono w izolacji 2 transformatorów: TO-1 (tabl. 1, lp. 8) i TZ-12 (tabl. 1 lp. 7). Wyniki oceny wnz występujących w tych dwóch transformatorach przedstawiono w tablicach 2 + 5.

W transformatorze TO-1 (tabl. 4 i 5) wnz występują zarówno od strony wyprowadzenia górnego jak i dolnego napięcia. Od strony wyprowadzenia górnego napięcia wewnętrzne wnz występują między fazami A i B, w dolnej i środkowej części kadzi. Od strony wyprowadzenia dolnego napięcia, wewnętrzne wnz występują między fazami A i B w środkowej części kadzi. Intensywność wnz występujących w tym transformatorze jest niewielka, ich maksymalne amplitudy nie przekraczają 30 mV. Wyładowania występujące w transformatorze TO-1 są jeszcze niegroźne dla jego układu izolacyjnego. Podobnie niegroźny charakter mają wnz wykryte w transformatorze TZ-12 (tabl. 2 i 3). Wyładowania w tym transformatorze występują od strony wyprowadzenia górnego napięcia, w górnej części kadzi. Intensywność stwierdzonych wyładowań jest niska, a obszar występowania ograniczony.

4.3. Wyniki pomiarów sumy i gęstości emisji akustycznej.

W transformatorach TO-1 i TZ-12, w których wykryto wewnętrzne wnz, zarejestrowano sumę i gęstość ea, generowanej

WYNIKI POMIARÓW

wyładowań niezupełnych metodą emisji akustycznej

w transformatorze TZ - 12

Producent: Elta

Typ: TRD-20000/20

Nr fabryczny: -

Rok produkcji: 1971

Moc: 20/10/10 MVA

Przekładnia: 15750/6300/630

Rodzaj chłodzenia: ON-FN

Data pomiarów: 1998-04-06

Tablica 2

Wyniki pomiarów od strony GN.

Wy- sokość kadzi	Oś fazy		Wnz wewnętrzne [mV]					Zewnętrzne wyła- dowania ulotowe [mV]		
	A	A-B	B	B-C	C	A	B	C		
Góra	0	0	brak dos- tępu	0	40	140	brak dos- tępu	140		
Środek	0	0	0	0	0	160	180	140		
Dół	0	0	0	0	0	160	120	120		

Tablica 3

Wyniki pomiarów od strony DN.

Wy- sokość kadzi	Oś fazy		Wnz wewnętrzne [mV]					Zewnętrzne wyła- dowania ulotowe [mV]		
	A	A-B	B	B-C	C	A	B	C		
Góra	0	0	brak dos- tępu	0	0	140	brak dos- tępu	160		
Środek	0	0	0	0	0	160	120	140		
Dół	0	0	0	0	0	160	140	140		

WYNIKI POMIARÓW

wyładowań niezupełnych metodą emisji akustycznej

w transformatorze TO - 1

Producent: Brown-Boveri

Typ: TUKKW

Nr fabryczny: 68164

Rok produkcji: 1959

Moc: 15 MVA

Przekładnia: 60000/6300

Rodzaj chłodzenia: ON-FN

Data pomiarów: 1988-04-06

Tablica 4

Wyniki pomiarów od strony GN.

Wy- sokość kadzi	Oś fazy		Wnz wewnętrzne [mV]					Zewnętrzne wyła- dowania ulotowe [mV]		
	A	A-B	B	B-C	C	A	B	C		
Góra	0	0	0	0	0	200	200	200		
Środek	0	30	0	0	0	200	180	180		
Dół	0	20	0	0	0	180	200	180		

Tablica 5

Wyniki pomiarów od strony DN.

Wy- sokość kadzi	Oś fazy		Wnz wewnętrzne [mV]					Zewnętrzne wyła- dowania ulotowe [mV]		
	A	A-B	B	B-C	C	A	B	C		
Góra	0	0	0	0	0	220	200	220		
Środek	0	20	0	0	0	180	200	180		
Dół	0	0	0	0	0	180	200	180		

Tablica 1

Parametry techniczne transformatorów zainstalowanych w Elektrowni Łaziska, wybranych do badań metodą akustyczną.

Lp	Typ transformatora	Rok produkcji	Nr fabryczny	Moc [kVA]	Producent	Rodzaj chłodzenia	Miejsce zainst. w El. Łaziska
1	TF-150000/125	1984	110282	150000	Elta	OF-AF	TB-1
2	RT ^x -160000/110	1986	18460	160000	Elta	OK-W	TB-2
3	TW-240000/220	1970	118750	240000	Elta	OF-WF	TB-10
4	TW-240000/220	1971	121229	240000	Elta	OF-WF	TB-12
5	TRDT-20000/20	1970	222780	20000	Elta	ON-AF	TZ-10
6	TRDT-20000/20	1971	-	20000	Elta	ON-AF	TZ-11
7	TRDT-20000/20	1971	-	20000	Elta	ON-FN	TZ-12
8	TUWKW-60000/110	1959	68164	15000	Brown-Boveri	OW	TO-1
9	TUWFa-60000/110	1959	29311	15000	Brown-Boveri	OW	TO-2
10	TUWFa-60000/110	1959	66166	15000	Brown-Boveri	OW	TO-3

przez te wnz. Pomiary wykonano układem DEMA-10, współpracującym z drukarką ERD-103. Do wykrywania i pomiarów e_a generowanej przez wnz zastosowano stykowy przetwornik piezoelektryczny o paśmie 0 + 90 kHz i czułości $2\mu V/Pa$. Przetwornik ten był magnetycznie mocowany do oczyszczonej powierzchni kadzi badanego transformatora. Wyniki pomiarów, zarejestrowane na drukarce ERD-103 w formie wydruków poddano w laboratorium procesowi numerycznej obróbki, zgodnie z opracowanym wcześniej programem (rozdz. 3.2). Wyniki sumy i gęstości e_a generowanej przez wnz występujące w transformatorach TO-1 i TZ-12, przedstawiono na rys. 16 + 23. Dla numerycznej obróbki sygnałów zarejestrowano po 300 punktów, dla każdego zamocowania przetwornika. Czas uśredniania sygnałów przyjęto w pomiarach $t = 1$ s.

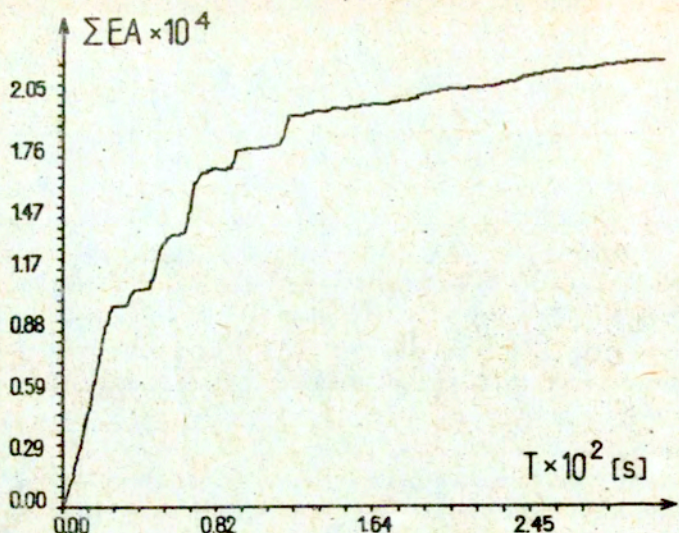
4.4. Wyniki obliczeń wartości średniej i średniokwadratowej sygnałów.

Sygnały od wewnętrznych wnz występujących w transformatorach TO-1 i TZ-12, poddano także opracowaniu numerycznemu, według programów opisanych w pracy [6]. Teoretyczną podbudowę wykonanych obliczeń i szczegóły o przyjętych założeniach odnośnie sygnałów, dla potrzeb ich obróbki numerycznej, zawierają między innymi prace [1, 2, 3]. Ograniczono się do obliczenia dwóch wskaźników: wartości średniej sygnałów μ_x i wartości średniokwadratowej ψ_x . Obliczenia wymienionych wskaźników przeprowadzono w laboratorium informatyki na komputerze klasy IBM. Uzyskane wyniki zestawiono w tabelicy 6. Interpretację wyników przedstawionych w tabelicy, przedstawiono w rozdziale 4.5.

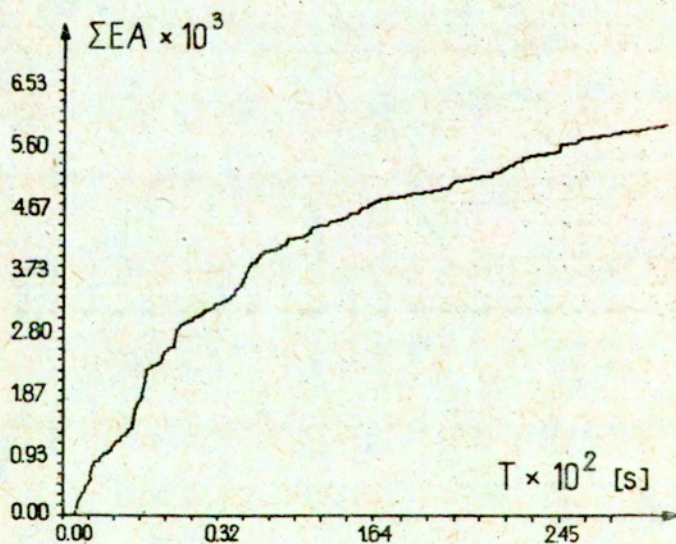
Tablica 6

Wyniki obliczeń wartości średniej i średniokwadratowej sygnałów akustycznych od wnz, występujących w transformatorach dużej mocy

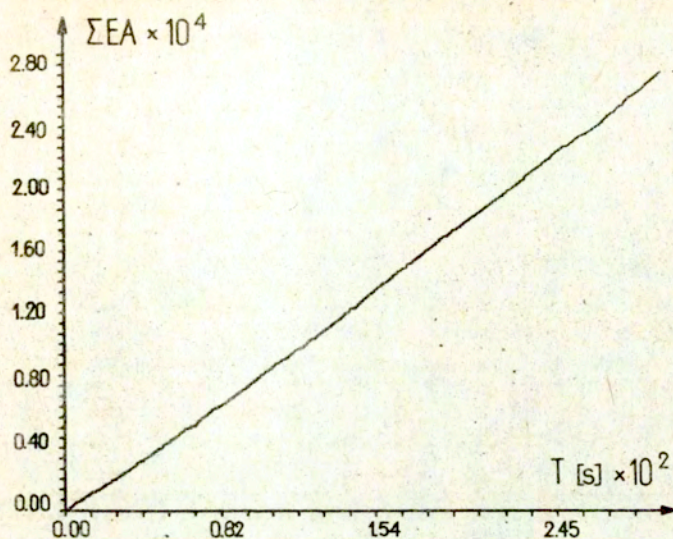
Lp.	Miejsce występowania wnz	Wartość średnia $[\mu_x]$	Wartość średniokwadratowa $[\psi_x]$	Uwagi
1	Transformator TZ-12	68,9	21343,4	Sygnał zarejestrowany przy progu dyskryminacji PD = 0,20 V
2	Transformator TZ-12	19,3	1134,9	Sygnał zarejestrowany przy progu dyskryminacji PD = 0,30 V
3	Transformator TO-1	93,1	8867,3	Sygnał zarejestrowany przy progu dyskryminacji PD = 0,14V
4	Transformator TO-1	8,0	80,5	Sygnał zarejestrowany przy progu dyskryminacji PD = 0,16 V



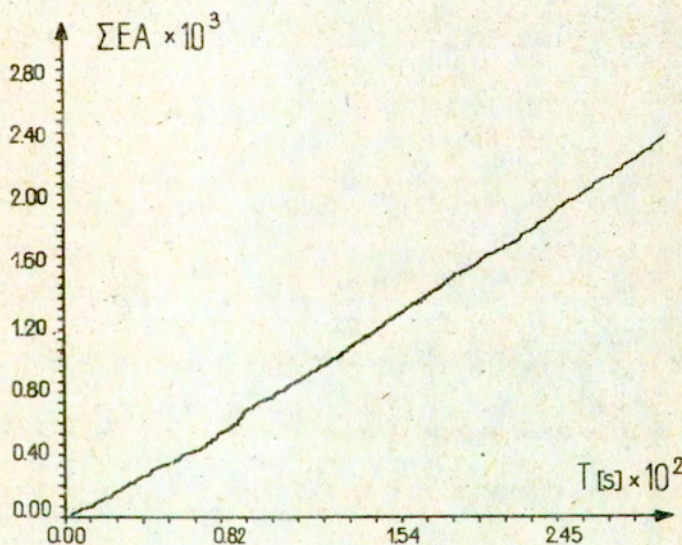
Rys. 16. Suma ea generowanej przez wnz występujące w transformatorze TRDT - 20000/20 (TZ-12). Próg dyskryminacji PD = 0,2 V.



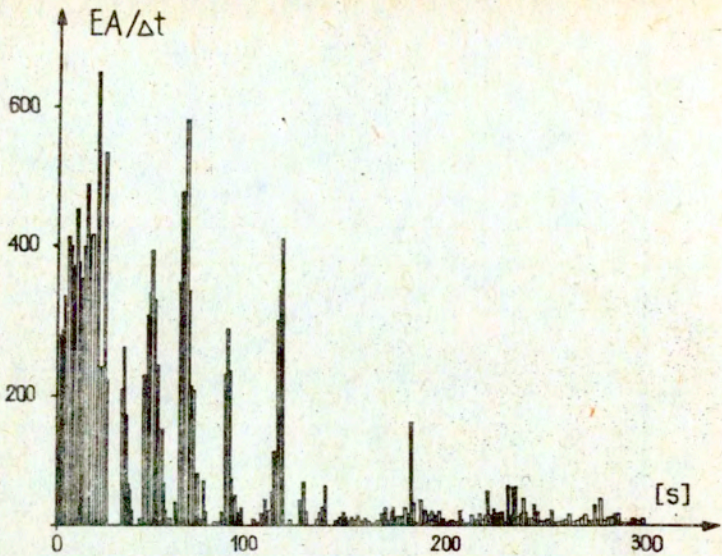
Rys. 17. Suma ea generowanej przez wnz występujące w transformatorze TRDT - 20000/20 (TZ-12). Próg dyskryminacji PD = 0,3 V.



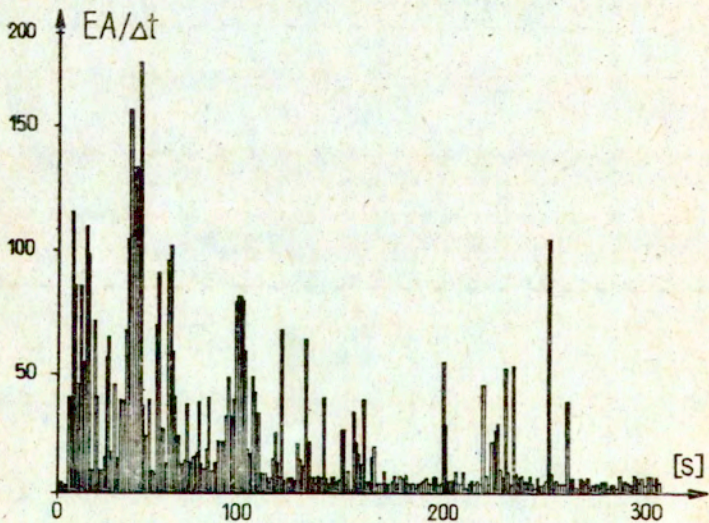
Rys. 18. Suma ea generowanej przez wnz występujące w transformatorze TUWkW - 60000/110 (TO-1). Próg dyskryminacji PD = 0,14 V.



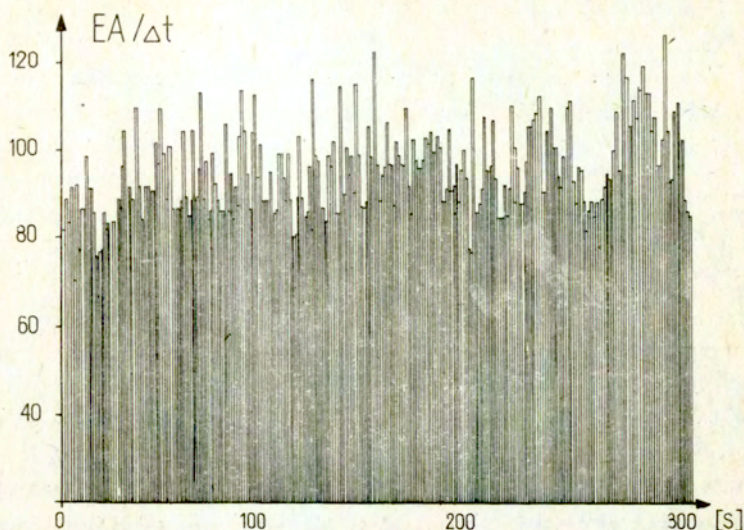
Rys. 19. Suma ea generowanej przez wnz występujące w transformatorze TUWkW - 60000/110 (TO-1). Próg dyskryminacji PD = 0,16 V.



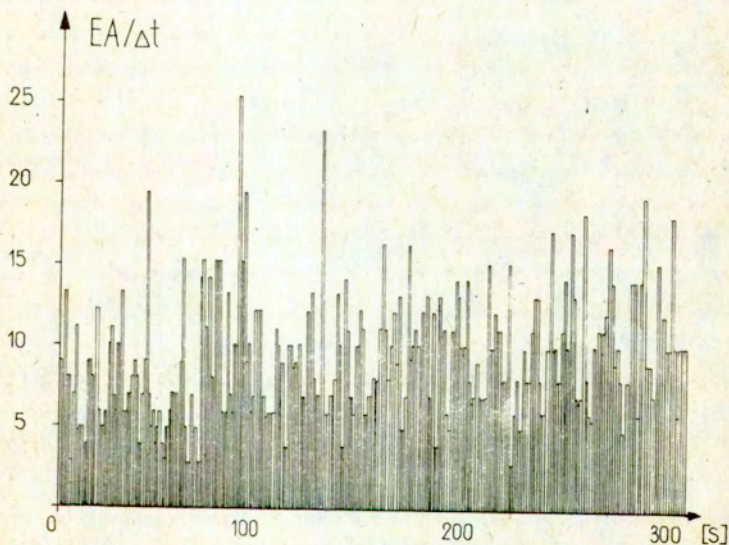
Rys. 20. Gęstość ea generowanej przez wnz występujące w transformatorze TRDT - 20000/20 (TZ-12). Próg dyskryminacji PD = 0,2 V.



Rys. 21. Gęstość ea generowanej przez wnz występujące w transformatorze TRDT - 20000/20 (TZ-12). Próg dyskryminacji PD = 0,3 V.



Rys. 22. Gęstość ea generowanej przez wnz występujące w transformatorze TUWkW - 60000/110 (TO-1). Próg dyskryminacji $PD = 0,14$ V.



Rys. 23. Gęstość ea generowanej przez wnz występujące w transformatorze TUWkW - 60000/110 (TO-1). Próg dyskryminacji $PD = 0,16$ V.

4.5. Interpretacja wyników.

Analiza przebiegów zarejestrowanych podczas pomiarów umożliwia fizyczną interpretację uzyskanych rezultatów. przebiegi sumy e_a generowanej przez wnz, występujące w transformatorach dużej mocy podczas ich eksploatacji (rys. 16 + 19), są w zasadzie zgodne z przewidywaniami. Dotyczy to szczególnie transformatora TUWkW-60000/110 (rys. 18 i 19), w którym suma e_a od wnz narasta liniowo. W przypadku transformatora TRDT-20000/20 suma e_a także narasta (rys. 16 i 17), ale tempo przyrostu jest nierównomierne. Widać to szczególnie wyraźnie dla przebiegu sygnału zarejestrowanego przy progu dyskryminacji $PD = 0,2$ V (rys. 16). Trudno jednak jest ocenić, na ile ta nierównomierność jest typowa dla całego procesu - jako typowe należy raczej przyjąć liniowe przebiegi z rys. 18 i 19. Opisany przebieg sumy e_a sygnałów, zarejestrowany w warunkach rzeczywistych, znajduje swoje potwierdzenie na rys. 20 + 23, przedstawiających gęstość sygnałów Równomierna gęstość e_a w transformatorze TUWkW-60000/110 odpowiada liniowemu przebiegowi sumy e_a w tym transformatorze (rys. 22 i 23), natomiast nierównomierność sumy e_a transformatora TRDT-20000/20, w przypadku gęstości e_a jest jeszcze bardziej uwidoczniona (rys. 21 i 22). Na podstawie przeanalizowanych przebiegów, można stwierdzić, że dla oceny równomierności przebiegu całego procesu generacji wnz, wskaźnikiem bardziej czułym jest gęstość e_a .

Pomiary sumy i gęstości zdarzeń e_a oraz wartości A_{RMS} sygnałów akustycznych, emitowanych przez wnz symulowane w laboratorium, oprócz możliwości określenia pomiarowej przydatności układu DEMA-20, umożliwiają interpretację fizycznej strony badanego zjawiska. Suma zdarzeń e_a emitowanej przez wnz przy różnych napięciach (rys. 5, 7 i 9) narasta liniowo, niezależnie od poziomu napięcia. Charakter przebiegu jest w każdym przypadku taki sam, a zmianie ulega jedynie liczba rejestrowanych impulsów: od 1×10^4 do 7×10^4 . Z przebiegów przedstawionych na rys. 5, 7 i 9 widać, że suma zdarzeń sygnałów akustycznych od wnz, podobnie jak i suma samej e_a , jest wskaźnikiem mało czułym i nie

podaje istotnej informacji o mierzonym procesie. Analiza przebiegów gęstości zdarzeń sygnałów akustycznych (rys. 8, 9 i 10) wskazuje, że parametr ten podaje uśrednioną informację o procesie wnz. Gęstość zdarzeń jest parametrem bardziej czułym niż suma zdarzeń, ale mniej czułym niż gęstość ea. Zależność sumy i gęstości zdarzeń ea, emitowanej przez wnz od wartości napięcia probierczego (rys. 11 i 12), wykazuje oczekiwaną monotoniczność, nie jest to jednak wzrost liniowy. Większa dynamika zjawiska występuje przy napięciach poprzedzających przebicie i w mniejszym stopniu po przekroczeniu napięcia początkowego. Weryfikacja stwierdzonego przebiegu na większej liczbie badanych modeli, a zwłaszcza obiektów rzeczywistych, może mieć istotne znaczenie dla interpretacji wyników uzyskiwanych metodą akustyczną.

Jednoznaczny wzrost wartości w funkcji napięcia generacji wnz, wykazuje parametr A_{RMS} (rys. 15). Wzrost chwilowej wartości skutecznej sygnałów jest silniejszy bezpośrednio przed przebicciem układu i na pograniczu napięcia początkowego wnz. Zmiany chwilowej wartości skutecznej A_{RMS} sygnałów akustycznych, emitowanych przez wnz w funkcji napięcia probierczego, a zatem i w funkcji intensywności, są jednoznaczne i bardzo wyraźne. Rozrzut mierzonej wartości A_{RMS} w funkcji czasu jest jednak dość znaczny, ale maleje ze wzrostem napięcia generacji wnz (rys. 13 i 14). Porównanie różnych wskaźników, charakteryzujących ea prowadzi do wniosku, że właśnie parametr A_{RMS} najlepiej opisuje proces generacji wnz. W związku z tym planuje się po zakupie układu DEMA-20, dalsze pomiary wskaźnika A_{RMS} , przy różnych źródłach wyładowań.

Wyniki obliczeń wartości średniej i średniokwadratowej sygnałów ea, przedstawione w tabelicy 6, także zawierają informacje o charakterze zjawiska. Ich zaletą jest fakt, że charakteryzują proces jedną wartością, co ułatwia ilościowy opis zjawiska. Przy tym sposobie opisu sygnału gubi się jednak informacje o dynamice procesu. W związku z tym wydaje się celowe posługiwanie się równocześnie obydwoma grupami wskaźników. W oparciu o wyniki przedstawione w tabelicy 6, trudno jest sformułować pewne wnioski, odnośnie ilościowego opisu procesu generacji wnz

poprzez wartość średnią i średniokwadratową sygnałów. Widać wyraźnie, że zwiększenie progu dyskryminacji sygnałów powoduje zdecydowane obniżenie się wartości średniej i średniokwadratowej. Dla powiązania wartości tych parametrów ze stanem izolacji, należy przeprowadzić większą liczbę pomiarów i obliczeń dla wnz symulowanych w różnych układach modelowych.

5. WNIOSKI

- 1) Przedstawione w pracy wyniki pomiarów sumy, gęstości ea , sumy i gęstości zdarzeń oraz chwilowej wartości skutecznej A_{RMS} sygnałów akustycznych, generowanych przez wnz, charakteryzują akustyczne zjawiska, zachodzące w wysokonapięciowych układach izolacyjnych. Przedstawione w pracy charakterystyki wymienionych parametrów, były do tej pory nieznane. Uzyskane rezultaty świadczą, że istnieje zależność między sumą i gęstością ea , sumą i gęstością zdarzeń, a napięciem generacji wnz.
- 2) Przygotowany w ramach pracy program OPPO umożliwia komputerowe opracowanie wyników, uzyskiwanych metodą akustyczną. Podprogramy graficzne zawarte w programie OPPO, pozwalają na wydruki sumy i gęstości ea , sumy i gęstości zdarzeń i ciągłej rejestracji parametru A_{RMS} . W ramach programu obliczana jest także wartość średnia, średniokwadratowa i funkcja autokorelacji rejestrowanych sygnałów akustycznych.
- 3) Układ DEMA-20 może być z powodzeniem stosowany dla potrzeb metody akustycznej. Z punktu widzenia metrologicznych potrzeb tej metody najważniejsze są następujące parametry układu DEMA-20:
 - możliwość pomiaru parametru A_{RMS} ,
 - możliwość pomiaru zdarzeń ea dla różnych czasów całkowania sygnałów,
 - podwyższona czułość przyrządu,
 - możliwość współpracy z komputerem.

Uwzględniając powyższe zalety układu DEMA-20, złożono z WSI w Opolu zamówienie do Zakładu Unipan, na zakup tego układu dla potrzeb akustycznej metody oceny wnz.

- 4) Przedstawione w pracy wyniki oceny wnz metodą akustyczną w 10 transformatorach dużej mocy, zainstalowanych w Elektrowni Łaziska, potwierdzają techniczną przydatność opracowanej metodyki, aparatury, sposobu rejestracji i komputerowej obróbki uzyskiwanych rezultatów.
- 5) Dalsze prace nad akustyczną metodą oceny wnz należy skoncentrować na następujących jej aspektach:
 - badaniach fizycznych mechanizmów generacji i propagacji sygnałów, z wykorzystaniem numerycznej techniki obróbki sygnałów,
 - poszukiwaniach optymalnej miary wnz mierzonych metodą akustyczną,
 - wdrożeniu do technicznych zastosowań metody akustycznej układu DEMA-20.

LITERATURA

- [1] BENDAT J. S., PIERSOL A. G.: "Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych." PWN, Warszawa, 1976.
- [2] GRZYBOWSKI R.: "Pomiary funkcji korelacyjnych." Sympozjum Inst. Mat. i Maszyn El. Pol. Sl., Wisła, 1974.
- [3] HAGEL R.: "Miernictwo dynamiczne." PWN, Warszawa, 1975.
- [4] RANACHOWSKI J. i zespół: "Aparatura do pomiarów emisji akustycznej w elementach betonowych i do zastosowań w chemii. Układ DEMA-20." Praca IPPT PAN, CPRB 12.2, temat nr 64, 1987.
- [5] SKUBIS J. i zespół: "Badanie izolacji transformatorów metodą emisji akustycznej." Raport WSI w Opolu nr NB-34/85, 1985.
- [6] SKUBIS J. i zespół: "Analiza parametrów emisji akustycznej generowanej przez wyładowania niezupełne." Raport WSI w Opolu nr NB-91/86 et. II, 1987.

- [7] SKUBIS J. i zespół: "Ocena wylądowań niezupełnych metoda emisji akustycznej." Raport WSI w Opolu nr NB-91/86 et. I, 1986.
- [8] SKUBIS J., WIŚNIEWSKA T.: "Pomiary emisji akustycznej od wylądowań niezupełnych w układach izolacyjnych w raz z przygotowaniem numerycznego sposobu opracowania wyników." Raport WSI w Opolu nr NB-91/88 et. III, 1988.

SPIS TREŚCI

	str.
1. WPROWADZENIE	3
2. CEL I ZAKRES PRACY	4
3. POMIARY SUMY I GĘSTOŚCI ZDARZEŃ ORAZ WARTOŚCI ARMS EMISJI AKUSTYCZNEJ EMITOWANEJ PRZEZ WYŁADOWANIA SYMU- LOWANE W LABORATORIUM	5
3.1. Układ pomiarowy	5
3.2. Sposób numerycznego opracowania wyników	6
3.3. Wyniki pomiarów sumy i gęstości zdarzeń emisji akustycznej	10
3.4. Wyniki pomiarów wartości ARMS	15
3.5. Ocena przydatności dla metody akustycznej układu DEMA-20	16
4. POMIARY WYBRANYCH PARAMETRÓW EMISJI AKUSTYCZNEJ OD WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH WYSTĘPUJĄCYCH W TRANSFORMATO- RACH DUŻEJ MOCY	20
4.1. Charakterystyka mierzonych transformatorów, sto- sowanej metodyki i aparatury pomiarowej.....	20
4.2. Wyniki detekcji, lokalizacji i pomiarów wyłado- wań niezpełnych w 10 transformatorach dużej mo- cy podczas ich eksploatacji	21
4.3. Wyniki pomiarów sumy i gęstości emisji akustycz- nej	21
4.4. Wyniki obliczeń wartości średniej i średniokwad- ratowej	25
4.5. Interpretacja wyników	30
5. WNIOSKI	32
6. LITERATURA	33



56738