

Łukasz NAGI*
Michał KOZIOŁ*

ANALIZA PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO GENEROWANEGO PRZEZ WNZ ZA POMOCĄ ŚRODOWISKA MATLAB

W artykule opisano metodę badawczą, skonstruowaną aparaturę oraz stworzone oprogramowanie do badania promieniowania jonizującego. Przedstawiono również wyniki eksperymentu oraz poddano je analizie. Uzyskane dane pozwoliły na sformułowanie wniosków, iż badane zjawisko fizyczne jest istotnym składnikiem bilansu energetycznego wyładowań elektrycznych natomiast nie zawsze jest jednoznaczne i wymaga dalszych badań. Znaczny wpływ na wyniki mają takie czynniki jak odległość detektora od źródła promieniowania, różnica potencjałów na elektrodach czy też środowisko, w jakim przeprowadzono eksperyment. Analiza wyników była możliwa dzięki stworzeniu dedykowanego oprogramowania do akwizycji i obróbki danych z eksperymentu.

SŁOWA KLUCZOWE: wyładowania niezupełne, MATLAB, promieniowanie jonizujące

1. WSTĘP

Obecnie w diagnostyce wysokonapięciowych układów izolacyjnych transformatorów elektroenergetycznych wykorzystuje się kilka metod diagnostycznych, które umożliwiają dokonanie oceny wyładowań niezupełnych (WNZ) zarówno na podstawie wyników pomiarów on-line, jak również off-line. W tym zakresie wykorzystywane są przede wszystkim następujące trzy podstawowe metody badawcze: elektryczna, chromatografii gazowej i emisji akustycznej. Należy podkreślić, że prowadzone są nadal intensywne prace rozwojowe przez liczne ośrodki naukowe i badawcze zmierzające do ich rozwoju i doskonalenia [1-4]. Natomiast badania, których wyniki prezentowane są w niniejszym artykule dotyczą określenia możliwości i zakresu zastosowania do oceny WNZ zjawiska generacji promieniowania wysokoenergetycznego. Promieniowanie rentgenowskie do badań nad wyładowaniami niezupełnymi otrzymuje się w prosty sposób w laboratorium. Jedną z możliwości jest wykorzystanie generatora Marxa. Wytwarzane są iskry o potencjale 1 MV między elektrodami o odległości od 10 cm do 140 cm. Proporcjonalnie mniejszy układ iskierników i transfor-

* Politechnika Opolska.

matora zasilającego generuje promieniowanie o niższych wartościach energii [5, 6]. Można wykorzystać również transformator Tesli lub układ iskierników ze zwykłym transformatorem o napięciu 60 kV. W zależności od użytych elektrod wyniki nieznacznie się różnią.

2. BUDOWA UKŁADU BADAWCZEGO

2.1. Wprowadzenie

Do generacji i pomiarów promieniowania wysokoenergetycznego zaprojektowano system, który składa się z trzech układów:

- układ do generacji wyładowań elektrycznych,
- układ do sterowania pulpitem pomiarowym,
- układ do pomiaru promieniowania wysokoenergetycznego.

Układ do generacji wyładowań elektrycznych stanowią:

- zestawy iskierników,
- transformator wysokonapięciowy,
- dzielnik napięcia,
- pulpit sterowniczy.

Urządzenia te były dostępne w Laboratorium Wysokich Napięć w Instytucie Elektroenergetyki i Energii Odnawialnej Politechniki Opolskiej.

2.2. Ogólny opis działania systemu badawczego

Podstawowym obiektem w stworzonym stanowisku badawczym jest układ do generacji wyładowań niezupełnych i zupełnych składający się z iskiernika/zestawu iskierników zasilanych z transformatora wysokonapięciowego. Transformator zasilany i sterowany jest z pulpitu sterowniczego sprzężonego z komputerem przy użyciu bezprzewodowego sterownika z łączem Xbee (łącze radiowe).

Iskiernik generuje promieniowanie wysokoenergetyczne, które zamieniane jest na promieniowanie widzialne w kryształach scyntylacyjnych. Fotopowielacz zamienia widzialne promieniowanie optyczne na napięciowe szpilki scyntylacyjne, które są następnie wzmacniane oraz filtrowane we wzmacniaczu scyntylatora. Sygnał ten jest podawany do światłowodowego układu akwizycji danych opartego na mikrokontrolerze PIC32, przetworniku 16-bitowym oraz ponownie w postaci optycznej (cyfrowej) transmitowany do komputera. Równocześnie z pomiarem sygnału scyntylacyjnego mierzone jest napięcie na transformatorze (po stronie wtórnej) przy użyciu dzielnika rezystancyjnego. Do pomiaru wykorzystano kartę pomiarową opartą na procesorze PIC32 synchronizowaną łączem światłowodowym z układem scyntylacyjnym. Sygnały pomiarowe są przekazy-

wane do komputera PC. Do przetwarzania i obróbki danych wykorzystano środowisko MATLAB.

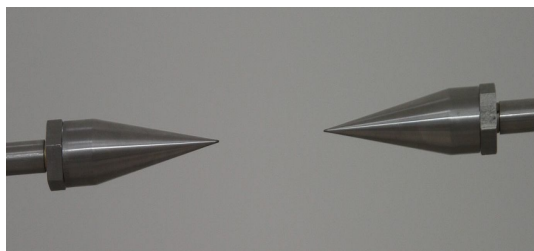
Do wytworzenia promieniowa wysokoenergetycznego zastosowano układ iskierników pomiarowych zasilanych z transformatora wysokonapięciowego.

2.3. Iskierniki pomiarowe

Jako iskierników użyto następujących układów:

- układ ostrze-ostrze,
- układ ostrze-płyta,
- układ sfera-sfera ϕ 20,
- układ sfera-sfera ϕ 50,
- układ do generowania wyładowań ślizgowych,
- układ ostrze-ostrze zanurzony w oleju.

Przykładowy układ iskierników użytych do badań został przedstawiony na rysunku 2.1. Jest to układ od badań wyładowań zupełnych i niezupełnych w powietrzu typu ostrze-ostrze.



Rys. 2.1. Przykładowe iskierniki pomiarowe użyte do badań w układach ostrze-ostrze

2.4. Transformator wysokonapięciowy

Użyty w badaniach transformator był na wyposażeniu laboratorium TWN Politechniki Opolskiej. Jego parametry zostały przedstawione na rys. 2.2.

Dzielnik napięcia użyty w badaniach również był dostępny w laboratorium TWN. Jego parametry zostały przedstawione na rys 2.3.

2.5. Pulpit sterowniczy

Użyty w badaniach pulpit sterowniczy firmy ZWARpol model PS10-250 został dodatkowo wyposażony w system bezprzewodowej komunikacji z komputerem. Zwiększyło to dokładność badań oraz pozwoliło zsynchronizować urządzenia pomiarowe (do detekcji scyntylacji oraz pomiarów napięcia i natężenia).

nia prądu w momencie trwania badania jak i przebicia układu). Szczegółowy opis układu sterowania pulpitem znajduje się w rozdziale 3.

TRANSFORMATOR PROBIERCZY TYP TP10-120		
NF	470	ROK 2013
Moc znamionowa ciągła	10	kVA
Napięcie pierwotne	250	V
Napięcie wtórne	120	kV
Moc dorywcza 15-min.	12	kVA
Napięcie probiercze 50Hz	144	kV
Masa	250	kg
Made in Poland www.zwarpol.com		

Rys. 2.2. Parametry transformatora wysokonapięciowego

DZIELNIK NAPIĘCIA TYPU DNR-150		
NF	465	ROK 2013
Napięcie pierwotne	150	kV
Napięcie wtórne	150	V
Przekładnia	1:1000	-
Pojemność	-	pF
Rezystancja	1000	MΩ
Masa	45	kg
Made in Poland www.zwarpol.com		

Rys 2.3. Parametry dzielnika wysokonapięciowego

3. BEZPRZEWODOWY UKŁAD DO STEROWANIA PULPITEM POMIAROWYM

W budowie urządzenia do zdalnego sterowania pulpitem pomiarowym wykorzystano moduł XBee. Moduł ten pozwala na stworzenie bezprzewodowej sieci komunikacyjnej. Zastosowany w konstrukcji model to XBee Pro serii 1 przedstawiony na rysunku 3.1.

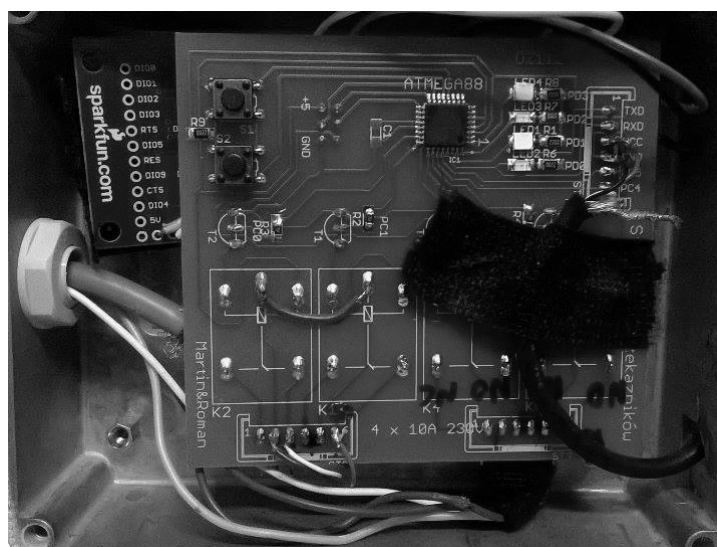
Użyty moduł do bezprzewodowej transmisji o zasięgu 1,6 km, o prędkości przesyłania sygnału 250 kbps, pracuje z częstotliwością 2,4 GHz. Używa protokołu 802.15.4. Moduły w wersji Pro charakteryzują się większą mocą, a co za tym idzie większym zasięgiem w porównaniu do wersji podstawowej. Do badań laboratoryjnych są to wystarczające parametry, ponieważ układ ten odpowiedzialny jest za sterowanie przyrządami pomiarowym nie zaś za sam pomiar. Można jeszcze zwiększyć zasięg pracy używając modułów XBee poprzez wybór wersji pracującej z częstotliwością 900 MHz. W ten sposób można go zwiększyć nawet do 25 km. W zastosowanej wersji użyto anteny u.FL Antenna, która jest

konektorem podłączonym do modułu. Dzięki temu można było wyprowadzić antenę poza obudowę, w której znajdują się układy scalone.



Rys. 3.1. Zastosowany moduł XBee Pro

Urządzenie do sterowania pulpitem składające się z modułu XBee oraz z układu scalonego zostało zamknięte w metalowej obudowie, z której wyprowadzono przewody zasilające cały układ, przewody do sterowania pulpitem oraz antenę modułu XBee. Wnętrze urządzenia pokazano na rysunku 3.2.



Rys. 3.2. Układ scalony sterujący pulpitem wyposażony w XBee Pro serii 1

Całość została zaprogramowana i sterowana była za pomocą komputera.

W celu sprawnej obsługi urządzeń skonstruowanych do pomiarów stworzono oprogramowanie obsługujące elektronikę oraz same urządzenia pomiarowe. Kod oprogramowania został napisany w środowisku MATLAB oraz został częściowy przedstawiony w artykule.

```
#####
##### Program do obsługi przetwornika LTC1864
#####
##### Procesor PIC32MZ1024ECH064 512kB
#####
##### Program pobiera dane z przetwornika z predkoscia 200kHz #####
##### i nastepnie wysyla paczke po swiatlowodzie z duza predkoscia#####
#####
//Przetwornik LTC1864
//RD2 PIN50 DOUT (input) SDO PD(4)
//RD4 PIN52 CS (output) CONV PD(16)
//RD1 PIN49 CLK (output) SCK PD(2)

#include <xc.h>

//PROCESOR ustawiony na 128 MHz ok. 50 mA, 3.3 V

volatile int pomiar=0;
#define MAX_N 200000
volatile long N=1000; //razem probek
unsigned char memory[2*MAX_N]; //pamiec danych

volatile long indeks=0;

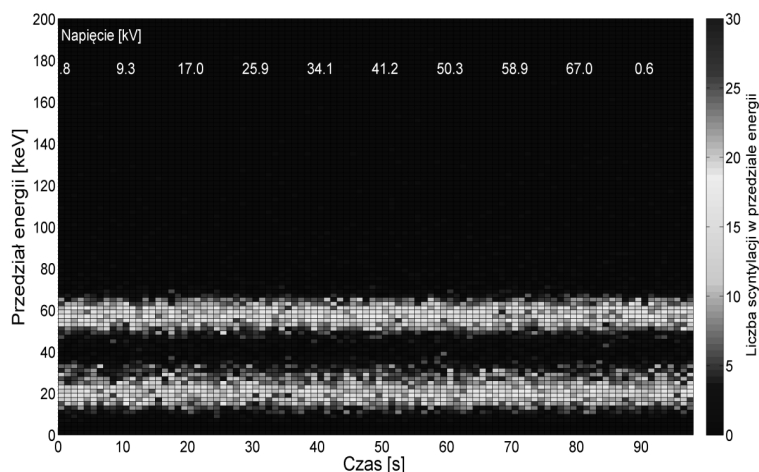
##### DEVCFG012 #####
#pragma config DEBUG = OFF
#pragma config JTAGEN = OFF
#pragma config TRCEN = OFF
#pragma config BOOTISA = MIPS32
#pragma config FECCCON = OFF_UNLOCKED
#pragma config FSLEEP = OFF
#pragma config DBGPER = PG_ALL
#pragma config EJTAGBEN = NORMAL
#pragma config CP = OFF
#pragma config FPLLLODIV = DIV_4
#pragma config FPLLICLK = PLL_FRC
#pragma config FPLLMULT = MUL_128
```

```
#pragma config FNOSC = SPLL
#pragma config DMTINTV = WIN_127_128
#pragma config FSOSCEN = OFF
#pragma config IESO = OFF
#pragma config POSCMOD = EC
#pragma config OSCIOFNC = OFF
#pragma config FCKSM = CSDCMD
#pragma config WDTPS = PS1048576
#pragma config WDTSPGM = STOP
#pragma config FWDTEN = OFF
#pragma config WINDIS = NORMAL
#pragma config FWDTWINSZ = WINSZ_25
#pragma config DMTCNT = DMT31
#pragma config FDMTEN = OFF
#pragma config ICESEL = ICS_PGx2
#pragma config IOL1WAY = OFF
#pragma config PMDL1WAY = OFF
#define b14 16384
#define b15 32768
```

4. SPOSÓB PRZEPROWADZENIA BADAŃ

Układ pomiarowy składał się z zestawu iskierników, umieszczonych w powietrzu o ciśnieniu atmosferycznym, zasilanego wysokim napięciem z transformatora oraz detektora scyntylicyjnego umieszczonego przy elektrodzie ujemnej lub też w pewnej odległości od tej elektrody. Badania zaczęto od kalibracji detektora za pomocą źródła promieniowania, jakim w tym przypadku był ameryk ²⁴¹Am. Następnie przeprowadzono pomiar spektrum energetycznego ameryku w pobliżu pola elektrycznego generowanego przez wyładowania ślizgowe. Odległość detektora od źródła wyładowań wynosiła 30 cm, natomiast ameryk znajdował się pomiędzy detektorem a elektrodą dodatnią w bliskiej odległości od detektora. Zarejestrowane spektrum przedstawiono na rysunku 4.1.

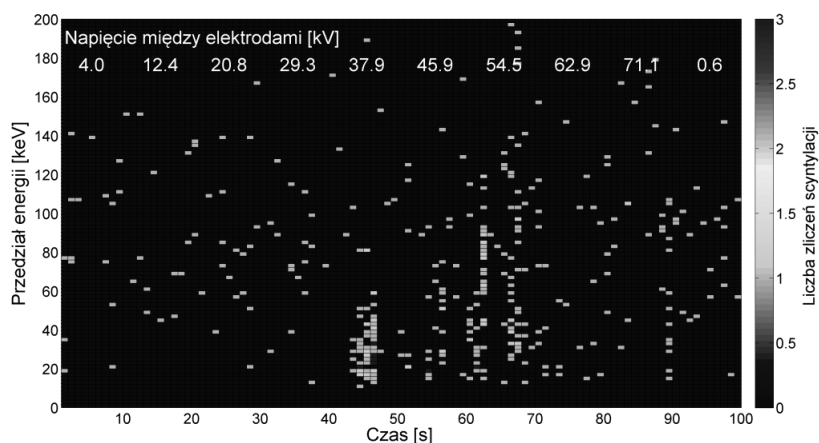
Badania w powietrzu wykonane zostały dla 3 układów generujących WNZ: układ ostrze-ostrze dla odległości między elektrodami od 20 mm do 214 mm zwiększanych o 20 mm dla każdego następnego pomiaru (ostatni pomiar o 14 mm); układ sfera-sfera (średnica kul 50 mm) dla odległości między elektrodami od 20 mm do 200 mm zwiększane co 20 mm dla każdego następnego pomiaru oraz dla układu generującego wyładowania ślizgowe gdzie izolatorem pomiędzy elektrodami była płyta szklana o grubości 3 mm. Badania z wyładowaniami ślizgowymi były przeprowadzone dla 3 różnych odległości detektora od źródła WNZ oraz dla 3 różnych odległości elektrody dodatniej od płyty szklanej (dla każdej odległości detektora od źródła WNZ).



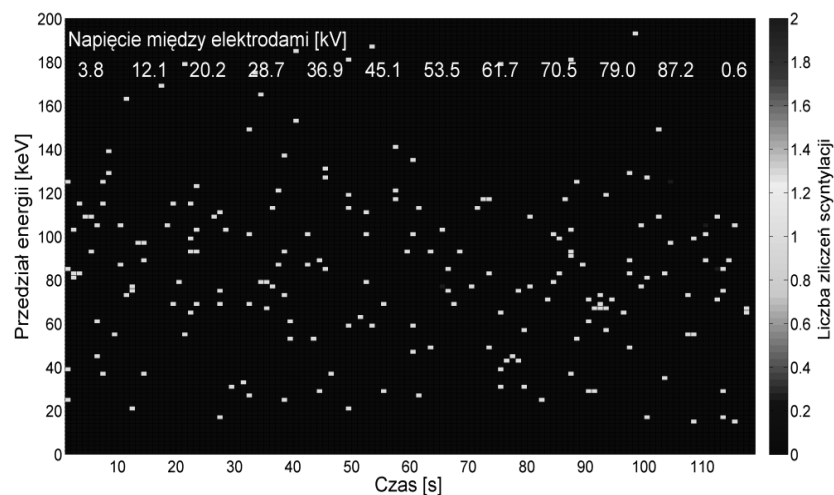
Rys. 4.1. Spektrogram energii ameryku w pobliżu wyładowań elektrycznych

5. POMIARY W POWIETRZU

Pomimo dużej czułości detektora nie zarejestrowano zmiany widma energetycznego ośrodka zarówno dla układu sfera-sfera, układu ostrze-ostrze czy układu do generowania wyładowań ślizgowych. Przedstawione na rysunku 5.1 spektrum, na którym widać zaburzenia mogą być spowodowane lokalnymi przebiciami w ośrodku. Natomiast większość rejestrowanych zjawisk i ich widma spektralne przedstawiały się jak na rysunku 5.2.



Rys. 5.1. Spektrogram energii WNZ w układzie ostrze-ostrze dla odległości między elektrodami: 200 mm. Ośrodkiem w którym zarejestrowano spektrum było powietrze o ciśnieniu atmosferycznym



Rys. 5.2. Spektrum energetyczne WNZ w układzie ostrze-ostrze dla odległości między elektrodami 80 mm

6. WNIOSKI

Część wyników przedstawionych na rysunkach 5.1 i 5.2 uzyskanych w badaniach wykonanych w powietrzu sugeruje, że być może w zjawisku występuje niskoenergetyczne promieniowanie hamowania na tyle jednak słabe, że trudno jest je zarejestrować umieszczając detektor przy elektrodzie ujemnej. Niskoenergetyczne promieniowanie ma krótki zasięg, jednak zarejestrowane dane mogły być efektem zaburzeń pola elektromagnetycznego co mogło spowodować większy zasięg cząsteczek. Innym możliwym wytłumaczeniem uzyskanych wyników w układzie ostrze-ostrze w powietrzu jest przeskok iskry między elektrodami. Nie jest to całkowite przebicie układu, ale energia wyzwolona podczas przeskoku iskry mogła zjonizować cząsteczki powietrza w bliskiej odległości detektora. Planuje się podjęcie dalszych prób badawczych np. poprzez zmianę niektórych ustawień układu lub wymianę poszczególnych modułów badawczych mających inne zakresy pracy. Zmiany te mogą pozwolić na zbadanie zjawiska w bliskich do dotychczasowych obszarach energetycznych.

*Prace były współfinansowane ze środków
Narodowego Centrum Nauki w ramach programu PRELUDIUM
projekt nr: 2014/15/N/ST8/03680*

LITERATURA

- [1] Zmarzły D., "Streaming Electrification Current Density Distribution inside Pipes Assuming Overcharged Boundary Layer", IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul, Vol. 16 Issue: 2 (2009) pp. 372-376.
- [2] Boczar T., Zmarzły D., "The application of correlation analysis to acoustic emission pulses generated by partial discharges", Materials Evaluation, Vol. 62 (2004), pp. 935-942.
- [3] Wotzka D., Cichoń A. and Boczar T., "Modeling and Experimental Verification of Ultrasound Transmission in Electro Insulation Oil", Archives of Acoustics Vol. 37, no. 1 (2012), pp. 19-22.
- [4] Borucki S., Cichoń A., "The influence of the power transformer load on vibroacoustic signal analysis results", Przegląd Elektrotechniczny Vol. 86 (2010), pp. 45-47.
- [5] Dwyer R., Saleh Z., Rassoul H.K., Concha D., Rahman M., Cooray C., Jerauld J., Uman M.A., Rakov A., "A study of X-ray emission from laboratory sparks in air at atmospheric pressure", J.Geophys. Res. 113 (2008), D23207.
- [6] Zmarzły D., Nagi Ł., Borucki S., Boczar T., Analysis of Ionizing Radiation Generated by Partial Discharges, Acta Physica Polonica A, 125(2014), Issue.6, pp.1377-1379.

ANALYSIS OF IONISING RADIATION GENERATED BY PARTIAL DISCHARGES USING MATLAB

The article describes the research method, constructed equipment and created software for testing of ionizing radiation. It also presents the results of the experiment that were subjected to analysis. The data obtained allowed to draw the conclusion that studied physical phenomenon is an important component of the energy balance of electrical discharges while it is not always explicit and requires further study. A significant impact on the results to such factors as the distance of the detector from the radiation source, the potential difference at the electrodes or the environment in which the experiment was conducted. Analysis of the results was made possible by the creation of dedicated software for acquisition and processing of the data from the experiment.

(Received: 31. 01. 2016, revised: 4. 03. 2016)