

Piotr Paduch
Politechnika Opolska, Opole

PROTOTYP KALIBRATORA MIERNIKA WYŁADOWAŃ NIEZUPEŁNYCH

PARTIAL DISCHARGE CALIBRATOR PROTOTYPE

Streszczenie: W produkowanych dotychczas kalibratorach stosuje się najczęściej dwa impulsy na okres napięcia probierczego (100 do 120 impulsów na sekundę). Wartość ładunku przenieszonego przez impuls można określić rejestrując oscyloskopem impuls prądowy na rezystorze (zwykle 50 Ω). Można też zastosować układ całkujący i zmierzyć ładunek bezpośrednio. Widmo wyładowań impulsów kalibrujących powinno być porównywalne z widmem wyładowań niepełnych. W projekcie kalibrатора wykorzystano nowy sposób generacji impulsów z wykorzystaniem układu programowalnego. W ramach badań wykonano prototyp urządzenia. Przeprowadzono badania porównawcze z kalibratorami produkowanymi komercyjnie.

Abstract: In contemporary calibrators two pulses are most often used for the test voltage (100 – to 120 pulses per second). The value of the charge transferred by the pulse can be specified by registering the current pulse on the resistor using an oscilloscope (usually 50 Ω). An integrator can also be used and the charge can be measured directly. The calibrating pulses discharge spectrum should be comparable with the the partial discharge spectrum. An innovative way of generating pulses using a programmable logic array was used in the design of the proposed calibrator. A prototype was created. Comparative research was carried out with industry standard calibrators.

Słowa kluczowe: kalibrator wyładowań niepełnych, impulsy kalibrujące, ładunek

Keywords: partial discharge calibrators, generating pulses, charge

1. Wstęp

Zastosowanie analizy wyładowań niepełnych (wnz) do określenia stanu izolacji maszyn elektrycznych przynosi obecnie coraz lepsze efekty. Najbardziej istotna z ekonomicznego punktu widzenia jest metoda pomiaru bez zatrzymywania maszyny, czyli on-line. Coraz większego znaczenia nabierają dlatego pomiary wyładowań niepełnych przyrządami przenośnymi, czyli mobilnymi lub typu portable. Metody pomiaru charakteryzują się wysoką czułością detekcji. Możliwy jest również pomiar wielkości związanych z intensywnością wyładowań i korelacją z innymi zjawiskami (temperatura, wilgotność). Normy mówią jednak niewiele na temat pomiarów on-line wnz. W obowiązującej międzynarodowej normie IEC-60270 High-voltage test techniques – Partial discharge measurements Third edition 2000-12 [1] zapisano: “Terminologia, definicje, podstawowe układy i procedury badań zawarte w dokumencie i stosowane dotychczas w innych badaniach, mogą być nie wystarczające i konieczne będą specjalne procedury badawcze i pomiarowe, których nie uwzględniono w tej normie, a mogą być wymagane.”

Podstawowym celem pracy autora było zaprojektowanie i zbudowanie przyrządu pomiarowego do pomiaru wyładowań niepełnych w warunkach on-line. Dlatego w czasie projektowania wykorzystano podstawowe założenia i wymagania w/w normy mając na uwadze tryb pomiarów oraz wymagania co do kalibracji. Pojawiła się również potrzeba opracowania kalibratora wyładowań niepełnych, aby wyskalować przyrząd i ocenić uzyskiwane wyniki pomiarów. W ramach badań wykonano prototyp kalibratora, w którym zastosowano inną zasadę generowania krótkich impulsów nanosekundowych przy użyciu układu programowalnego CPLD (Complex Programmable Logic Device). Przeprowadzono również badania porównawcze opracowanego urządzenia z komercyjnymi wykonaniami kalibratorów.

2. Założenia projektu

Kalibrator powinien umożliwić generowanie impulsów ładunkowych unipolarnych o wartości zmienianej skokowo za pomocą przełącznika wielopozycyjnego, z sygnalizacją wybranej wartości oraz sygnalizację pracy. Zasilanie

akumulatorowe powinny zapewnić bezawaryjną pracę z możliwością ładowania baterii.

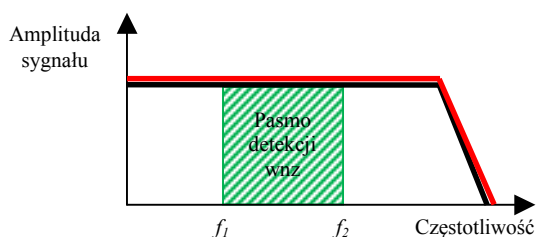
2.1. Wymagania dla impulsów skalujących według normy IEC-60270

W produkowanych obecnie kalibratorach stosuje się najczęściej dwa impulsy ładunkowe na okres napięcia probierczego (100 do 120 impulsów na sekundę). Wartość ładunku przenoszonoego przez impuls można określić rejestrując oscyloskopem impuls prądowy na rezystorze (zwykle 50 Ω). Całkując w czasie wartość prądu otrzymuje się wartość ładunku:

$$q = \int_{t_1}^{t_2} i(t)dt = \frac{1}{R_0} \int_{t_1}^{t_2} U(t)dt \quad (1)$$

- Ro - rezystancja obciążenia R
 I(t) - impuls prądu
 U(t) - napięcie na rezystorze

Można też zastosować układ całkujący i zmierzyć ładunek bezpośrednio. W projekcie przyjęto generowanie 100 impulsów na sekundę.



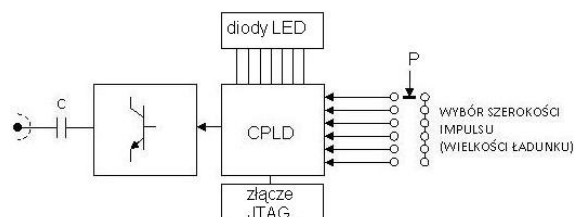
Rys. 1. Widma wyładowań niepełnych i impulsów kalibrujących względem pasma detekcji (f_1 i f_2 – częstotliwości graniczne widma detekcji)

Widmo wyładowań impulsów kalibrujących powinno być porównywalne z widmem wyładowań niepełnych. Impulsy wzn charakteryzują się szerokim pasmem generacji, co umożliwia detekcję przy zastosowaniu układów pasmowo-przepustowych [5]. Jest to klasyczna metoda pomiaru wzn, na której opiera się norma IEC-60270. Zaleca ona stosowanie obwodu detekcyjnego o górnej częstotliwości granicznej f_2 wielokrotnie niższej od częstotliwości granicznej widma wyładowań (500 kHz). Norma dotyczy zatem pomiarów w niskich zakresach częstotliwości. Przy wyższych częstotliwościach z zakresu VHF czy UHF, które są najbardziej interesujące z punktu widzenia maszyn wirujących, gdzie czasy trwania impulsów wzn są rzędu nanosekund, jedynym możliwym sposobem pomiaru jest wykorzystanie sond kondensatorowych i antenowych. Prawidłowe okre-

ślenie ładunku pozornego jest wówczas utrudnione, a normy dotyczące tego zakresu nie zostały jeszcze określone. Przyjęto, że górna częstotliwość graniczna f_2 jest równa 10 MHz i zbudowano prototyp układu umożliwiający wytworzenie impulsów zbliżonych parametrami do wyładowań występujących w rzeczywistych obiektach. Uzyskano ładunkowe impulsy o czasie narastania mniejszym niż $0,03/f_2$, czyli krótszym niż 3 ns (dla $f_2 = 10$ MHz).

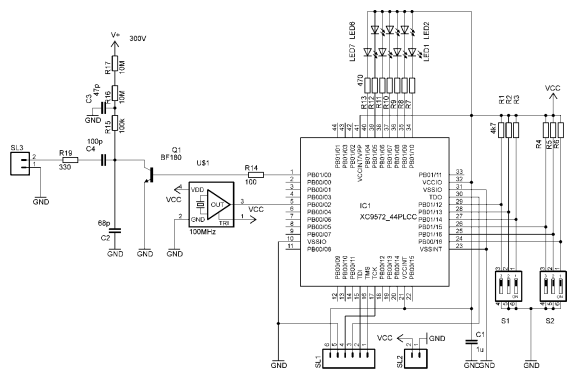
3. Projekt prototypu kalibratora

W projekcie wykorzystano wcześniej zbudowany generator impulsów nanosekundowych, w którym do generacji impulsów o wymaganej stromości zboczy wykorzystano układ CPLD - Complex Programmable Logic Device) XC9572. Układ zaprogramowano w taki sposób, aby uzyskać w prosty sposób funkcjonalność, którą według przyjętych założeń powinien spełniać kalibrator. Schemat blokowy urządzenia pokazano na rys.2



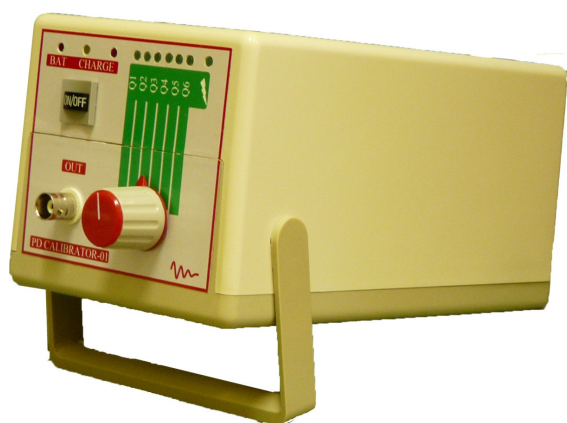
Rys. 2. Schemat blokowy kalibratora

Impulsy z układu CPLD (rys. 2) sterują pracą tranzystora w. cz., z kolektora impulsy kalibrujące przez kondensator podawane są na gniazdo BNC. Stanowią one sygnał wyjściowy urządzenia. Za pomocą przełącznika (rys. 2), S1 i S2 - (rys. 3) szerokości impulsu P możliwy jest wybór wartości generowanego ładunku. Diody LED (LED1÷LED7 na rys. 3) sygnalizują wybraną wartość ładunku, pracę układu oraz stan naładowania akumulatorów zasilających. Złącze JTAG (Joint Test Action Group – SL1 na rys. 3) umożliwia przeprogramowanie układu i zmianę parametrów impulsów sterujących zależnie od potrzeb. Tranzystor wyjściowy jest zasilany napięciem o wartości 300 V (napięcie V+ na rys. 3), którego dostarcza przetwornica zbudowana na bazie generatora samodławnego i prostownika, z której ładowany jest kondensator elektrolityczny 100 μF/400V. Impulsy z kolektora tranzystora wyjściowego podawane są przez rezystor i kondensator o znanych wartościach do testowanego układu (rys. 3 – elementy C2, C4, R19.)



Rys. 3. Schemat ideowy pierwszej wersji prototypu kalibratora

Stałe czasowe wymienionych powyżej elementów wyjściowych RC decydują o stromości zboczy impulsów kalibrujących, a w szczególności zboczy opadających oraz o ich amplitudzie. Kalibrator wyposażono ponadto w automatyczną ładowarkę akumulatorów. Zdjęcie prototypu kalibratora przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Prototyp kalibratora wyładowań niezupełnych (PDCALIBRATOR-01)

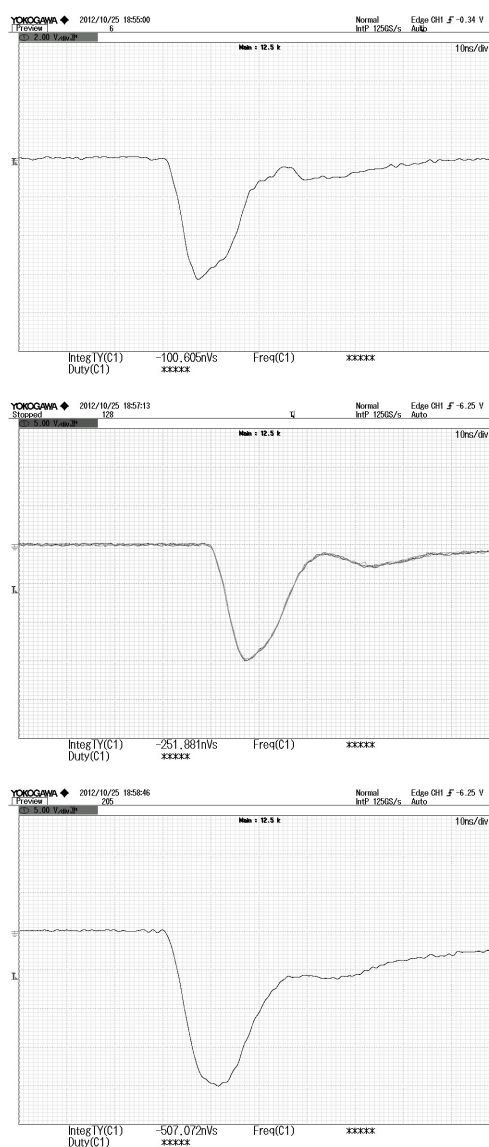
4. Test prototypu

W ramach prac przeprowadzono badanie prototypu kalibratora pod względem zgodności z wymogami normy IEC-60270 oraz badania porównawcze z kalibratorami, oferowanymi przez firmy zajmujące się profesjonalnie produkcją sprzętu do badań wyładowań niezupełnych [2], [7]. Rysunek nr 5 przedstawia zdjęcie kalibratora LDC-5/6. Urządzenie umożliwia wstrzykiwanie do obiektu badanego ładunków o wartościach 200÷20000 pC. Sygnały dostępne są na sześciu wyjściach (gniazda BNC na rys. 5).



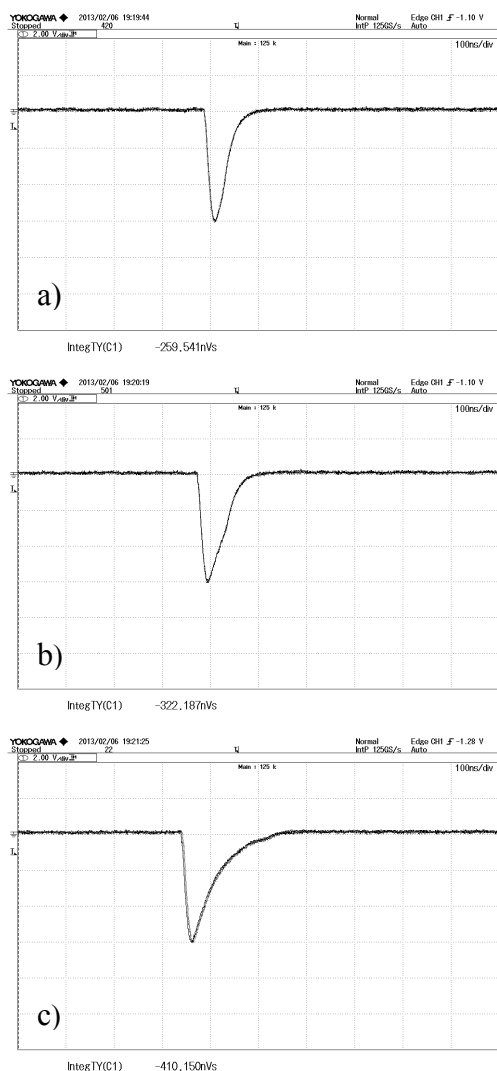
Rys. 5. Kalibrator LDC-5/S6 firmy LDIC

Przykłady oscylogramów wyjściowych, dla kilku wartości ładunku, otrzymanych z w/w kalibratora przedstawiono na rys. 6. Przebiegi zarejestrowano oscyloskopem YOKOGAWA DLM2034.



Rys. 6. Oscylogramy ładunków o wartościach kolejno 2000 pC, 5000 pC i 10000 pC na wyjściach kalibratora LDC-5 firmy LDIC

Na rys.7 przedstawiono przebiegi uzyskane w opracowanym prototypie kalibratora.



Rys. 7. Oscylogramy impulsów ładunkowych o wartościach a) 5000 pC, b) 6000 pC, c) 8000 pC na wyjściach prototypu kalibratora PD-01

Wartości ładunków podane na rysunkach przedstawiających oscylogramy impulsów kalibrujących zostały obliczone zgodnie ze wzorem (1) dla $R_0=50 \Omega$ i odpowiednich wartości z oscylogramu – $\text{IntegTY}(C1)$ [nVs] np. dla ostatniego oscylogramu z rysunku 7 wartość ładunku wynosiła:

$$410,150 \text{ nVs} \times \frac{1000}{50} = 8203 \text{ pC}$$

5. Podsumowanie

Zbudowany prototyp kalibratora do mobilnego analizatora wylądowań niezupełnych spełnia przyjęte założenia projektowe oraz wymagania

normy IEC-60270. Otrzymane w urządzeniu impulsy kalibrujące charakteryzują się zboczami narastającymi o czasie trwania <10 ns. Amplitudy impulsów są stałe. Zmienia się tylko czas ich trwania, czyli wartość ładunku. Upraszcza to sposób wyznaczania wartości ładunku (w prototypie-przełącznik) i eliminuje konieczność stosowania wielu gniazd wyjściowych. Zastosowanie w kalibratorze generatora impulsów zbudowanego na bazie układu programowalnego CPLD również znacznie rozszerza możliwości urządzenia pod względem przystosowania do różnych obiektów pomiarowych (możliwość przeprogramowania układu CPLD). Jak wynika z uzyskanych oscylogramów polaryzacja impulsów jest ujemna. Taki system przyjęto w większości produkowanych kalibratorów. Wynika to przede wszystkim z uproszczenia konstrukcji i nie ma znaczenia dla funkcjonalności urządzenia. Prototyp kalibratora będzie w dalszym ciągu ulegał modyfikacjom tak, żeby można go było stosować jako uzupełnienie powstającego mobilnego analizatora wnz.

6. Literatura

- [1]. IEC-60270: *High-Voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements*, ed.3 (2000-12).
- [2]. DobleLemke-Product *External calibration of standardized PD measuring circuit according to IEC 60270*.
- [3]. Szymaniec S. *Diagnostyka stanu izolacji uzwojeń i stanu łożysk silników indukcyjnych klatkowych w warunkach przemysłowej eksploatacji*. Studia i Monografie z. 193, Wydawnictwo Politechniki Opolskiej, Opole 2006.
- [4]. Szymaniec S. *Czujniki i przyrządy do pomiarów wylądowań niezupełnych maszyn elektrycznych*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 85/2010.
- [5]. Paduch P., Szymaniec S. *Czujniki do pomiaru wylądowań niezupełnych w uzwojeniach maszyn elektrycznych*. Artykuł konferencyjny KOMEL 2011.
- [6]. Florkowska B., Florkowski M., Włodek R., Zydrón P. *Mechanizmy, pomiary i analiza wylądowań niezupełnych w diagnostyce układów izolacyjnych wysokiego napięcia*, Wyd. IPPT PAN, Warszawa 2001 r.
- [7]. *Instrukcja obsługi analizatora wylądowań niezupełnych R500 oraz analizatora R2200*.

Autor

mgr inż. Piotr Paduch
Pracownik naukowo-techniczny Instytutu Układów Elektromechanicznych i Elektroniki Przemysłowej od 1994 roku.

