

Piotr Paduch
Politechnika Opolska, Opole

ZASTOSOWANIE PROGRAMOWALNEGO UKŁADU LOGICZNEGO DO GENERACJI SZYBKICH IMPULSÓW KALIBRUJĄCYCH

THE USE OF PROGRAMMABLE LOGIC FOR THE GENERATION OF HIGH-SPEED CALIBRATION PULSE

Streszczenie: Przyrządy pomiarowe wymagają okresowej kalibracji. W wielu urządzeniach konieczna jest również kalibracja toru pomiarowego. Działania te zapewniają dokładność i wiarygodność wyników pomiaru. Podstawowe założenia dotyczące kalibracji zgodnie z normą IEC-60270 dotyczą niskich zakresów częstotliwości, natomiast nie mówią nic o wyższych częstotliwościach z zakresu VHF czy UHF. Zakresy te są najbardziej interesujące z punktu widzenia diagnostyki maszyn wirujących, gdzie występują czasy trwania impulsów wyładowań niepełnych (wnz) rzędu nanosekund. Prawidłowe określenie ładunku pozornego w tym zakresie jest utrudnione. Projekt układu umożliwiającego wytworzenie impulsów zbliżonych parametrami do impulsów wyładowań niepełnych występujących w rzeczywistych obiektach, gdzie wyładowania występują w paśmie od 500 kHz do 10 MHz, a nawet powyżej, co jest tematem niniejszego artykułu.

Abstract: Every measuring instrument requires calibration. Calibration of the measurement chain is also essential. These activities will ensure the accuracy and credibility of the measurement. The basic premise concerning the calibration according to the IEC-60270 standard covers only the low frequency range, with no mention of higher frequencies from the VHF or UHF range, which are the most interesting from the perspective of the rotating machines where the duration of the partial discharge pulses is as short as a few nanoseconds. The correct measurement of the apparent charge is hindered. The subject of this article is the design of a system enabling generation of pulses with parameters similar to the discharge occurring in actual objects where the discharge band is above 500 kHz to 10 MHz or even more.

Słowa kluczowe: kalibrator, maszyny elektryczne, izolacja, diagnostyka, wyładowania niepełne (wnz)
Keywords: electrical machines, calibration, diagnostics, partial discharge (PD)

1. Wstęp

Współczesne badania izolacji w maszynach elektrycznych, w coraz większym stopniu, opierają się na analizie zjawiska wyładowań niepełnych. Na jej podstawie można z dużym prawdopodobieństwem określić stan izolacji uzwojeń w maszynie. Możliwe jest zatem wprowadzenie środków zaradczych, które mogą wydłużyć bezawaryjną pracę maszyny.

Do detekcji wyładowań niepełnych stosuje się mierniki lub całe systemy pomiarowe. Każdy przyrząd pomiarowy wymaga okresowej kalibracji. Konieczna jest również kalibracja całego toru pomiarowego. Działania te zapewniają dokładność pomiarów i wiarygodność uzyskanych wyników.

2. Wymagania dla impulsów kalibrujących

Do kalibracji mierników wyładowań bardzo przydatne są tzw. kalibratory wyładowań niepełnych. Urządzenie takie powinno umożliwić wygenerowanie impulsu ładunkowego uni-

polarnego lub bipolarnego. W spotykanych dotychczas kalibratorach generuje się najczęściej dwa impulsy na okres napięcia probierczego, co daje 100 do 120 impulsów na sekundę.

Wymagania dla impulsów skalujących określa norma IEC-60270 [3]. Dotyczy ona jednak tylko pomiarów do górnej granicy częstotliwości wyładowań równej 500 kHz. Dla wyższych częstotliwości (powyżej 500 kHz) czas narastania impulsów kalibrujących powinien spełniać następujące wymagania:

$$t_r \leq 0,03/f_h,$$

gdzie:

f_h – górna częstotliwość graniczna układu detekcji,

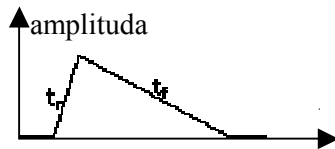
a czas opadania

$$t_f > 1/f_l,$$

gdzie f_l – dolna częstotliwość graniczna układu detekcji.

Należy zatem w pierwszej kolejności opracować układ umożliwiający wytworzenie impul-

sów zbliżonych parametrami do wyładowań występujących w rzeczywistych obiektach, w paśmie wyładowań od 500 kHz do 10 MHz i powyżej tego zakresu. Zgodnie z zaleceniami normy należy uzyskać ładunkowe impulsy o czasie narastania t_r mniejszym niż $0,03/f_h$ czyli 3 ns (dla $f_h = 10$ MHz). Teoretyczny kształt takich impulsów przedstawiono na rys. 1.

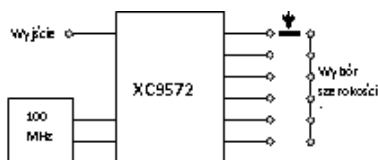


Rys. 1. Impuls o jednej biegunowości zgodnie z normą IEC-60270 (rysunek poglądowy)

3. Projekt generatora impulsów

W istniejących na rynku kalibratorach np. LDC-5 firmy LDIC, do wytwarzania impulsów wykorzystuje się układ generatora wyzwalanego diakiem. Przy projektowaniu generatora impulsów kierowano się zaleceniami określonymi w normie IEC-60270 [3]. Zastosowano jednak nowy sposób wytwarzania impulsów ładunkowych. Do tego celu wykorzystano generator krótkich impulsów nanosekundowych, który zbudowano na bazie układu CPLD (Complex Programmable Logic Device) XC9572 (Xilinx) [2]. Układ XC9572 zawiera 72 programowalne komórki i może pracować przy częstotliwości do 125 MHz. Działa już przy napięciu zasilania 3,3 V. Może być zatem zasilany z baterii akumulatorów, zgodnie z przyjętym założeniem w projekcie.

Macierz zaprogramowano w taki sposób, że możliwe jest uzyskanie na wyjściu impulsów o różnym czasie trwania, w zależności od ustawień przełącznika. O wartości ładunku elektrycznego decyduje w tym przypadku przede wszystkim szerokość impulsu. Upraszcza to znacznie konstrukcję układu (rys. 2).



Rys. 2. Schemat blokowy generatora kalibratora miernika wyładowań nieuzupelnionych

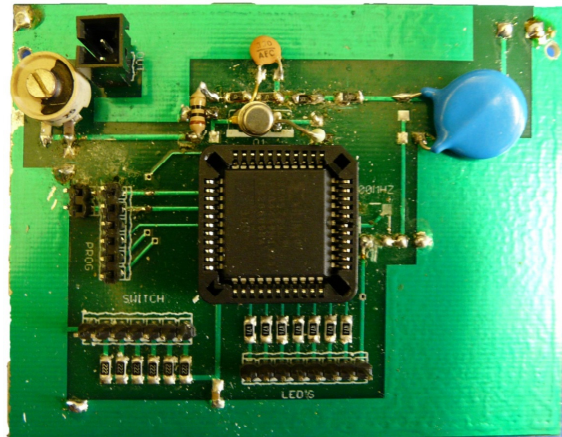
Impulsy synchronizujące dostarcza w opracowanym układzie generator kwarcowy 100 MHz.

Struktura układu została opisana w języku VHDL [1]. Projekt wykonano w środowisku ISE WebPACK.

W realizowanej pracy wykorzystano 97% struktury zastosowanego układu CPLD. Szczegółowe zużycie struktury przedstawiono poniżej: makro-komórki 49/72 - czyli 69 %, rejestry 29/72 - czyli 41 %, porty 15/34 - czyli 45 % oraz wejścia bloków funkcyjnych 110/216 - czyli 51 %.

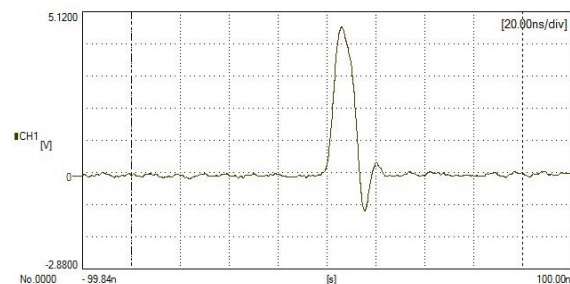
4. Wykonanie prototypu

Dla układu XC9572 zaprojektowano płytkę drukowaną przystosowaną do pracy przy wysokich częstotliwościach, ponieważ w urządzeniu został użyty generator kwarcowy 100 MHz. Zdjęcie wykonanego modułu przedstawia rysunek 3.

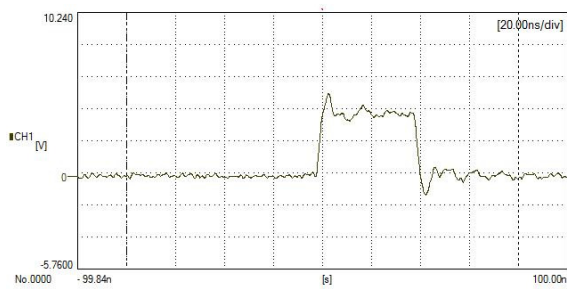


Rys. 3. Zdjęcie prototypu generatora

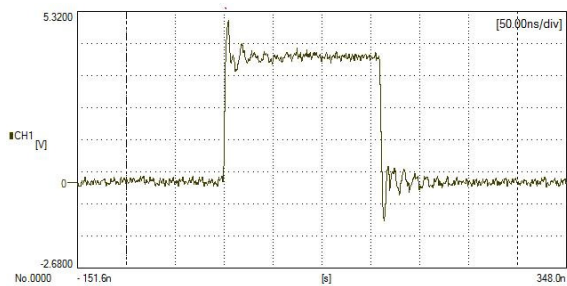
W opracowanym module zadbano o odpowiednie prowadzenie ścieżek zasilających do generatora kwarcowego. Wyniki badań generatora zarejestrowano oscyloskopem YOKO-GAWA DLM2034 pracującym w paśmie do 300 MHz. Zmierzone impulsy wyjściowe o trzech różnych szerokościach przedstawiono na rys. 4÷6.



Rys. 4. Impuls wyjściowy generatora o szerokości 15 ns i czasie narastania $t_r = 4$ ns



Rys. 5. Impuls wyjściowy generatora o szerokości 40 ns i czasie narastania $t_r = 4$ ns



Rys. 6. Impuls wyjściowy generatora o szerokości 210 ns i czasie narastania $t_r = 4$ ns

Z uzyskanych oscylogramów wynika, że kształt impulsów zależy od czasu ich trwania. Dotyczy to najbardziej impulsu najkrótszego o czasie trwania 15 ns. We wszystkich badanych przypadkach czasy narastania impulsów były zgodne z wymaganiami normy IEC-60270 [3] i wynoszą 3 do 4 ns. Jest to najważniejszy parametr z punktu widzenia przytaczanej normy. Działania w zakresie kształtowania zboczy narastających i opadających, impulsów wyjściowych z gotowego urządzenia, stanowią osobne zagadnienie ważne przy projektowaniu kalibratora impulsów wyładowań niezupełnych.

5. Podsumowanie

Opracowany układ generuje 100 impulsów na sekundę z powtarzalnością gwarantowaną przez generator kwarcowy 100 MHz. Ma możliwość sześciokrotnej zmiany szerokości impulsów. Zakres zmian można zmieniać w zależności od potrzeb. Generowane impulsy spełniają wymogi normy IEC-60270 [3] dotyczącej parametrów impulsów skalujących kalibratorów. Pełna ocena przydatności opracowanego układu będzie możliwa po zbudowaniu pełnego prototypu kalibratora i wykonaniu testów.

6. Literatura

[1]. Kalisz J.: *Język VHDL w praktyce*. WKŁ, Warszawa 2002.

[2]. Notka aplikacyjna *XC9500XL* Xilinx. (<http://www.xilinx.com>).

[3]. IEC-60270: *High-Voltage Test Techniques – Partial Discharge Measurements*, ed.3 (2000-12)

[4]. DobleLemke-Product *External calibration of standardized PD measuring circuit according to IEC 60270*.

Autor

mgr inż. Piotr Paduch

Pracownik naukowo-techniczny Instytutu Układów Elektromechanicznych i Elektroniki Przemysłowej od 1994 roku.