

Bartosz JAKUBSKI

UNIwersytet Zielonogórski, Instytut Informatyki i Elektroniki

Wielofazowy generator przebiegów poliharmonicznych

Mgr inż. Bartosz JAKUBSKI

Urodzony w 1979 roku. Ukończył kierunek Elektrotechnika w ramach Zintegrowanych Studiów Uniwersytetu Zielonogórskiego i Fachhochschule Giessen-Friedberg w Niemczech w 2003 roku. Od 2004 jest asystentem w Instytucie Informatyki i Elektroniki na Uniwersytecie Zielonogórskim. Interesuje się cyfrowym przetwarzaniem sygnałów i zastosowaniami procesorów sygnałowych.



e-mail: B.Jakubski@iie.uz.zgora.pl

Streszczenie

W artykule zaprezentowano strukturę trójfazowego kalibratora mocy ze wskazaniem miejsca i roli generatora wielofazowego i wpływu jego parametrów na parametry kalibratora mocy. Opisano struktury wielofazowego generatora analogowego i cyfrowego. Następnie przedstawiono strukturę i podstawowe parametry wielofazowego generatora cyfrowego zaprojektowanego do kalibratora mocy C300 oraz ujawniono związek pomiędzy rozdzielczością nastaw kąta fazowego a zniekształceniami przebiegu wyjściowego generatora.

Słowa kluczowe: kalibrator mocy, generator wielofazowy, zakres dynamiczny.

Multiphase polyharmonic signal generator

Abstract

In this paper was described structure of three-phase power calibrator with paying attention to multiphase generator. Generator parameters that influence on power calibrator properties was shown. Structure of analog and digital multiphase generator was described. Then was shown structure of multiphase generator that was designed for power calibrator C300 and harmonic distortion dependence on angle resolution.

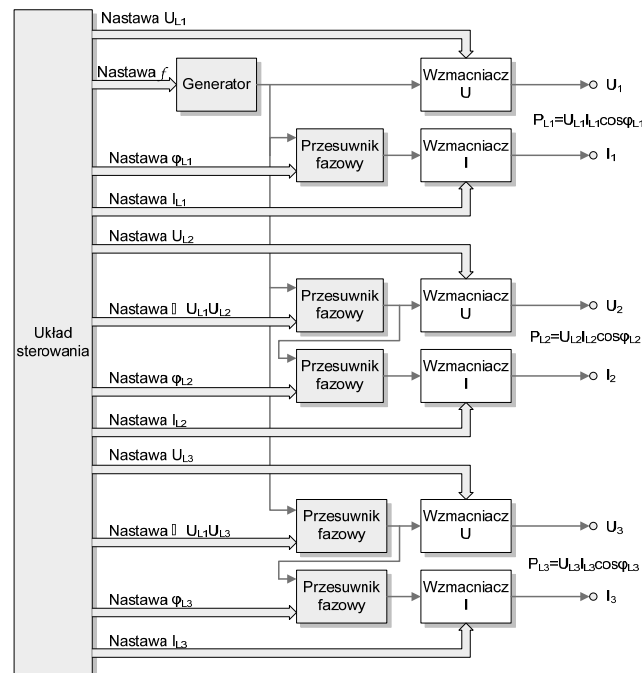
Keywords: power calibrator, multiphase generator, dynamic range.

1. Wstęp

Wszystkie urządzenia pomiarowe wymagają w procesie produkcji adjustacji oraz okresowych kontroli, w celu sprawdzenia parametrów metrologicznych. Dotyczy to również mierników mocy, liczników energii i przetworników mocy. Producenci tych urządzeń pomiarowych zwykle specyfikują parametry metrologiczne dla sygnałów sinusoidalnych. Jednak szeroko stosowane w energoelektronice urządzenia impulsowe przyczyniają się do wprowadzania do sieci energetycznej zakłóceń, które wpływają na wskazania przyrządów pomiarowych. Do sprawdzania przyrządów pomiarowych mocy, również w obecności zakłóceń sygnałów mierzonych, służą kalibratory mocy. Najnowsze zaawansowane technicznie kalibratory mocy pozwalają na zaprogramowanie kształtu przebiegów wyjściowych za pomocą harmonicznych dla każdego prądu i napięcia indywidualnie. Przykładem takiego urządzenia jest trójfazowy kalibrator mocy C300 firmy Calmet z Zielonej Góry. W artykule zaprezentowano strukturę i charakterystyczne parametry generatora wielofazowego, który został opracowany do zastosowania w kalibratorze C300.

2. Struktura kalibratora mocy

Na rys. 1 została przedstawiona uproszczona struktura kalibratora mocy. Na zaprezentowanym schemacie blokowym celowo nie uwzględniono sprzężeń zwrotnych.



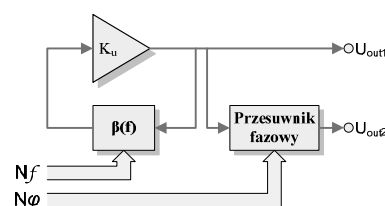
Rys. 1. Uproszczona struktura trójfazowego kalibratora mocy
Fig. 1. Simplified structure of three-phase power calibrator

W skład zaprezentowanej struktury wchodzi układ sterowania, który odpowiedzialny jest za realizację wprowadzonych nastaw, generator sygnału, przesuwники kąta fazowego oraz wzmacniacze napięciowe i prądowe o regulowanym wzmocnieniu. Sygnał z generatora podawany jest na wzmacniacz napięciowy i prądowy w każdej z faz bezpośrednio, bądź też przez przesuwnik kąta fazowego. Z tego względu parametry generatora, takie jak:

- zakres generowanych częstotliwości,
 - rozdzielczość częstotliwości,
 - zniekształcenia THD,
 - możliwość programowania kształtu przebiegów,
- wpływają na parametry kalibratora mocy. Generator sygnału i przesuwники fazowe są najczęściej zamknięte w jednej strukturze stanowiąc generator wielofazowy, charakteryzujący się dodatkowymi parametrami, takimi jak:
- zakres nastaw kątów,
 - rozdzielczość nastaw kątów,
- które również przenoszą się na właściwości kalibratora.

3. Podział generatorów

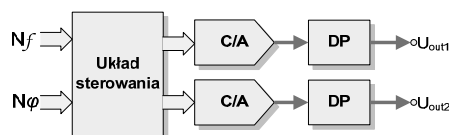
Generator wielofazowy może być zrealizowany zarówno z wykorzystaniem techniki analogowej, jak i cyfrowej. Struktura analogowego wielofazowego generatora przebiegów sinusoidalnych przedstawiona jest na rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy wielofazowego generatora analogowego
Fig. 2. Block scheme of multiphase analog generator

Generator przebiegów sinusoidalnych realizuje się poprzez objęcie wzmacniacza o wzmocnieniu K_U dodatnią pętlą sprzężenia β . Zwiększenie wyjść następuje poprzez dodanie przesuwników kąta fazowego. Istotną cechą generatorów analogowych, która ma znaczenie w takich urządzeniach jak kalibratory, są niskie zniekształcenia THD generowanych przebiegów.

Struktura cyfrowego wielofazowego generatora została pokazana na rys. 3 [4, 5, 6]. W pamięci układu sterowania zapisana jest cyfrowa reprezentacja przebiegu w postaci wartości próbek, które są sekwencyjnie wpisywane do rejestrów wejściowych przetworników C/A i następnie konwertowane na postać analogową. Istotną zaletą takiego generatora jest naturalna możliwość generowania przebiegów poliharmonicznych. Z tego względu, że w sieci energetycznej w coraz większym zakresie występują przebiegi odkształcone, stosowanie generatorów cyfrowych w kalibratorach mocy znajduje swoje uzasadnienie.

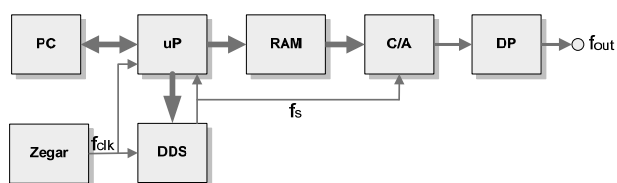


Rys. 3. Schemat blokowy wielofazowego generatora cyfrowego
Fig. 3. Block scheme of multiphase digital generator

4. Struktura generatora cyfrowego

Na rys. 4 pokazano przykładową strukturę generatora cyfrowego zbudowanego w oparciu o mikroprocesor [6], w skład której wchodzi następujące bloki:

- komputer PC
- generator częstotliwości zegarowej f_{clk} ,
- układ bezpośredniej syntezy cyfrowej DDS,
- mikroprocesor sygnałowy μP ,
- pamięć RAM,
- przetwornik cyfrowo-analogowy C/A,
- filtr dolnoprzepustowy DP.



Rys. 4. Schemat blokowy generatora cyfrowego
Fig. 4. Block scheme of digital generator

W układzie DDS syntezowana jest częstotliwość f_s , z którą jest próbkowany sygnał wyjściowy generatora cyfrowego. Mikroprocesor w takt częstotliwości próbkowania f_s adresuje pamięć RAM. Zawartość komórki pamięci zaadresowanej przez procesor przepisywana jest do przetwornika C/A, który dokonuje konwersji reprezentacji binarnej wartości próbki na wartość analogową. Filtr dolnoprzepustowy wygładza przebieg wyjściowy generatora. Nastawy generatora można wprowadzać za pomocą komputera PC, wyposażonego w odpowiednią aplikację. Częstotliwość wyjściową f_{out} ustala się na podstawie wzoru:

$$f_{out} = \frac{f_s}{N} \quad (1)$$

gdzie:

- f_s – częstotliwość próbkowania sygnału wyjściowego,
- N – liczba próbek przypadająca na okres przebiegu.

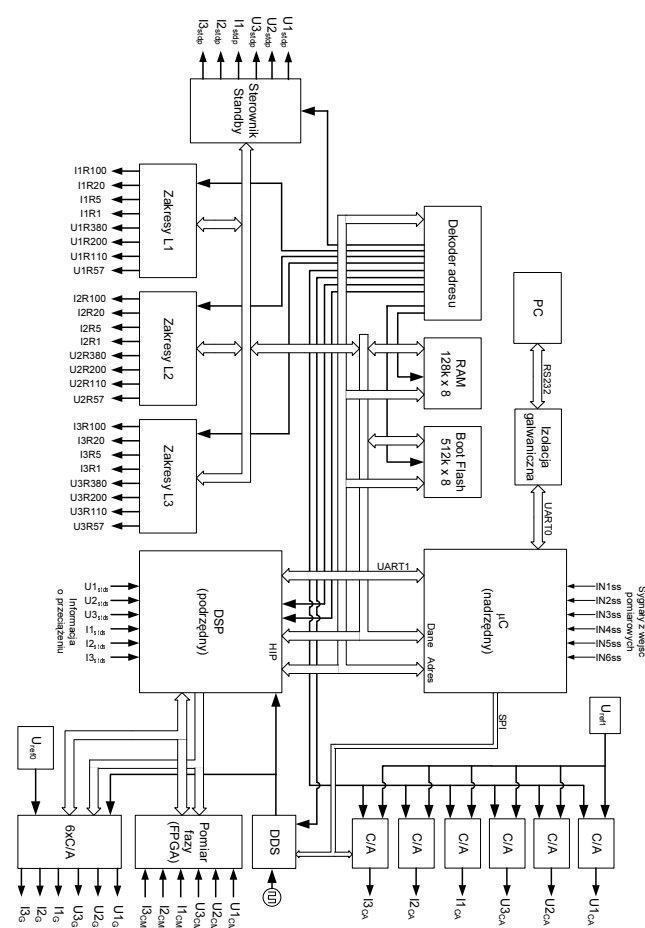
Rozdzielczość nastawy kąta fazowego określa wzór:

$$R\varphi = \frac{2\pi}{N} \quad (2)$$

Ze wzoru (2) można wnioskować, że do uzyskania dużej rozdzielczości nastawy kąta fazowego konieczna jest odpowiednio duża liczba próbek zapisanych w pamięci generatora cyfrowego. Zaletą rozwiązania z rys. 4 jest stała liczba próbek na okres generowanego przebiegu bez względu na ustawioną częstotliwość wyjściową.

5. Wielokanałowy generator cyfrowy C300

Na rys. 5 pokazano strukturę blokową generatora wielokanałowego zastosowanego w kalibratorze mocy C300.



Rys. 5. Schemat blokowy wielokanałowego generatora C300
Fig. 5. Block scheme of multiphase digital generator C300

Przy pracy nad pokazaną strukturą oparto się na schemacie blokowym generatora z rys. 4. Ze względu na dużą liczbę funkcji realizowanych przez układ sterowania zastosowano w nim dwa procesory. Procesor nadrzędny odpowiedzialny jest za inicjalizację całego systemu po włączeniu zasilania, komunikację z komputerem PC, realizację wprowadzonych nastaw oraz obsługę wejść pomiarowych. Zadaniem procesora podrzędnego jest generacja przebiegów i regulacja kątów przesunięć fazowych. Pomiar kątów realizowany jest przez układ FPGA. Do generacji przebiegów zastosowano 13-bitowy wielokanałowy scalony przetwornik C/A, odznaczający się doskonałymi parametrami, takimi jak liniowość i zakłócenia szpilkowe. W tabeli 1 pokazano podstawowe parametry generatora C300. Dodatkowo generator wyposażono w wejścia pomiarowe, które umożliwiają zliczanie impulsów z fotogłówki, pomiar czasu, pomiar napięcia stałego i zmiennego w zakresie od 10V do 250V, pomiar prądów w zakresie od 20mA do 5A. Do generatora została opracowana aplikacja sterująca na komputer PC, która umożliwia zadawanie nastaw, jak i również odczyt informacji z wejść pomiarowych.

Tab. 1. Parametry generatora C300
Tab. 1. Parameters of C300 generator

Parametr	Wartość
Zakres f [Hz]	45 - 400
Rf [Hz]	0,001
Δf [Hz]	$\pm 0,01$
Zakres φ [°]	± 360
$R\varphi$ [°]	0,1
$\Delta\varphi$ [°]	$\pm 0,5$
THD [%]	$< 0,1$
Programowanie kształtu	do 20-tej harmonicznej

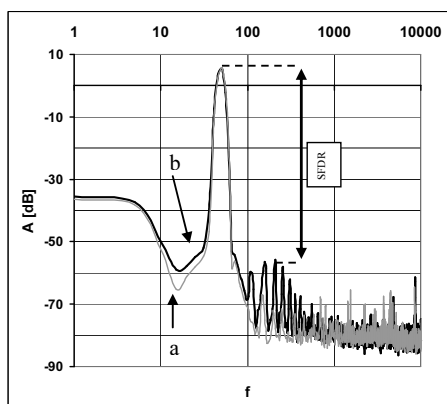
6. Wpływ liczby próbek N na zakres dynamiczny przetwornika C/A

W idealnym przetworniku cyfrowo-analogowym zakres zmian dynamicznych, określanych jako stosunek sygnału użytecznego do szumu wyraża się wzorem (3):

$$\frac{S}{N} = (6,02n + 1,76) \text{ dB} \quad (3)$$

gdzie n jest szerokością przetwarzanego słowa.

Wszystkie wartości wyliczone ze wzoru (3) są czysto teoretyczne i w rzeczywistych rozwiązaniach przetworników nieosiągalne ze względu na nieliniowość przetwarzania, zakłócenia szpilkowe, zakłócenia wywołane sygnałami cyfrowymi, szumy własne przetwornika. Dodatkowo zakres dynamiczny zawęża się dla dużych częstotliwości próbkowania, które należy stosować w generatorach o budowie jak na rys. 4 w celu uzyskania dużych rozdzielczości kąta fazowego. Spadek stosunku S/N oznacza wzrost zawartości harmonicznych w sygnale wyjściowym. Stosunek S/N jest również często określany jako zakres dynamiczny. Parametr SFDR (*spurious free dynamic range*) określa zakresu dynamicznego bez zniekształceń i mierzy się go przy maksymalnym sygnale wejściowym podawanym do konwertera. Stosunek amplitudy sygnału wyjściowego do największej składowej zniekształceń wyznacza maksymalny zakres bez zniekształceń. Sytuację tą zobrazowano na rys. 6, który przedstawia widmo częstotliwościowe sygnału wyjściowego generatora C300 o częstotliwości 50Hz, lecz różnej liczbie próbek na okres.



Rys. 5. Widmo częstotliwościowe wyjściowych przebiegów generatora C300 dla różnych liczb próbek na okres:

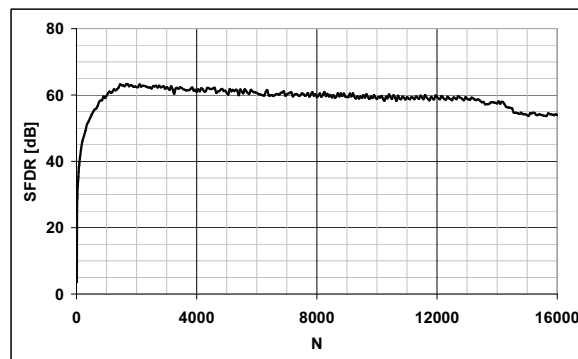
- a) $f_{\text{out}} = 50\text{Hz}$, $N = 2500$,
b) $f_{\text{out}} = 50\text{Hz}$, $N = 7200$

Fig. 5. Frequency spectrum of output signal of C300 generator for different samples number per period:

- a) $f_{\text{out}} = 50\text{Hz}$, $N = 2500$,
b) $f_{\text{out}} = 50\text{Hz}$, $N = 7200$

Na rys. 6 widać również znaczny wzrost składowych niskoczęstotliwościowych w przebiegu wyjściowym generatora przy wzroście liczby próbek na okres.

Zmierzoną zależność zakresu dynamicznego bez zniekształceń (SFDR) od liczby próbek na okres sygnału wyjściowego generatora C300 pokazano na rys. 7.



Rys. 6. Zależność współczynnika SFDR od liczby próbek na okres generowanego przebiegu

Fig. 6. Parameter SFDR depends on number of samples

7. Podsumowanie

W skład trójfazowych kalibratorów mocy wchodzi generator wielofazowy, które mogą być wykonane w technice analogowej lub cyfrowej. Istotną cechą generatorów analogowych jest niska zawartość harmonicznych w generowanych przebiegach. Realizacja analogowego generatora przebiegów poliharmonicznych niestety znacznie komplikuje i zwiększa złożoność układu generatora. Dlatego coraz częściej wybierane są cyfrowe rozwiązania generatorów, jednak w porównaniu do generatorów analogowych charakteryzują się one większymi zniekształceniami przebiegu wyjściowego, które dodatkowo silnie zależą od liczby próbek przypadającej na okres przebiegu. Do uzyskania dużej rozdzielczości nastaw kąta fazowego konieczne jest zapisanie w pamięci generatora odpowiednio dużej liczby próbek przebiegu oraz zastosowanie przetwornika cyfrowo-analogowego o stosownej liczbie bitów przetwarzanego słowa. Wydawałoby się, że zwiększenie liczby próbek przypadającej na okres powinno poprawić poziom zniekształceń przebiegu wyjściowego generatora. Jak widać na rys. 7 jest to prawda, lecz do pewnej granicy, której przekroczenie objawia się wzrostem niskoczęstotliwościowych harmonicznych w przebiegu wyjściowym (rys. 6). Należy zwrócić uwagę, że wszelkie niedoskonałości przetworników C/A, mogą jednak utrudnić lub nawet uniemożliwić uzyskanie założonej rozdzielczości nastaw kąta nawet przy dużej liczbie próbek na okres.

8. Literatura

- [1] Rudy von de Plassche: Scalane przetworniki analogowe-cyfrowe i cyfrowo-analogowe, WKŁ, 2001.
- [2] Kaczmarek J., Kulesza W.: Koncepcja budowy trójfazowego kalibratora napięć i prądów przemiennych, PAK 7-8/2002, str. 45-48.
- [3] Wesołowski P.: Programmable polyphase AC generator system, Politechnika Zielonogorska, 1996.
- [4] Jakubski B., Wiszniewski J.: Model cyfrowego generatora sygnałów sinusoidalnych, Uniwersytet Zielonogorski, Zielona Góra 2003.
- [5] Jakubski B., Wiszniewski J.: Wielokanałowy generator sygnałów programowalnych, Elektronika Praktyczna, 6/2005, str.10-16, 7/2005, str.33-36.
- [6] A. Kluger: Dwusygnałowy, programowalny generator funkcyjny, XXXI-sza Międzyuczelniana Konferencja Metrologów, materiały konferencyjne str. 291, Białystok 1999.
- [7] Cooper H.: Why complicate frequency synthesis?, Electronic Design, July 1974.