

Jan SZMYTKIEWICZ, Krzysztof URBAŃSKI
 UNIwersytet ZIELONOGÓRSKI, INSTYTUT INFORMATYKI I ELEKTRONIKI

System testowania mierników migotania światła

Dr inż. Jan SZMYTKIEWICZ

Adiunkt w Instytucie Informatyki i Elektroniki, a wcześniej pracownik działu rozwoju zakładów Lumel, Imel i Calmet. Jest współautorem kilkunastu wdrożeń do produkcji kalibratorów uniwersalnych napięć i prądów stałych i przemiennych (ang. multifunction calibrator), kalibratorów sygnałów przemysłowych, termoelektrycznych, termorezystancyjnych oraz kalibratorów mocy jedno i trójfazowych. Szczególnym obszarem zainteresowań jest cyfrowa adiustacja przyrządów pomiarowych.

e-mail: J.Szmytkiewicz@iie.uz.zgora.pl



Dr inż. Krzysztof URBAŃSKI

Autor ukończył Wyższą Szkołę Inżynierską w Zielonej Górze - Wydział Automatyki i Metrologii. Praca doktorska dotyczyła budowy wielofazowych kalibratorów mocy. Zainteresowania skupiają się na konstruowaniu urządzeń do analizy i rejestracji parametrów jakości energii elektrycznej i budowie źródeł sygnałów (kalibratorów) odtwarzających te parametry.

e-mail: K.Urbanski@iie.uz.zgora.pl



Streszczenie

W artykule przedstawiony został system złożony z kalibratora uniwersalnego i komputera umożliwiający sprawdzanie mierników migotania światła. W komputerze uruchamiane jest przygotowane oprogramowanie, które pozwala użytkownikowi programować parametry modulacji sygnału wyjściowego kalibratora. W celu określenia dopuszczalnej częstotliwości modulacji przeprowadzono analizę właściwości dynamicznych kalibratora dla zakresów napięć przemiennych.

Słowa kluczowe: kalibrator napięć i prądów stałych i przemiennych, system pomiarowy, właściwości dynamiczne, miernik migotania światła.

The system for testing of flickermeter

Abstract

In article is presented a measurement system which consists of a multifunction calibrator and a computer. This system is assigned to checking the power quality meters by modulating the alternating output signal. In the computer is used the special application. When the application is running, a user can set the parameters of modulation and choose the form of modulation. In the paper are discussed the dynamic parameters of multifunction calibrator, because only calibrator with short time of setting the output signal is useful.

Keywords: multifunction calibrator, measurement system, dynamic characteristic, flickermeter.

1. Wprowadzenie

Wprowadzenie europejskiej normy określającej parametry jakości energii elektrycznej [1, 2] wymusiło opracowanie nowej grupy przyrządów pomiarowych tzw. mierników jakości energii. Przykładem takiego przyrządu jest miernik NSQ400 [2]. Jedną z funkcji pomiarowych mierników jakości energii jest pomiar współczynnika migotania światła. Na podstawie badań naukowych wyznaczono zależność między migotaniem światła a tętnieniami napięcia sieciowego zasilającego żarówkę. Stąd sygnałem pomiarowym dla mierników migotania jest napięcie przemiennie o wartości skutecznej i częstotliwości zależnej od parametrów użytkowych w danym kraju.

Mierniki migotania światła podobnie jak inne narzędzia pomiarowe napięcia i prądu stałego i przemiennego należy adiustować i sprawdzać w procesie produkcji a następnie okresowo sprawdzać w czasie eksploatacji. Do sprawdzania i adiustacji mierników migotania światła potrzebne jest źródło napięcia przemiennego sinusoidalnego do 300V i częstotliwości 45Hz-75Hz z możliwością modulacji sygnałem prostokątnym o częstotliwości od 0,05Hz do 35Hz. Mierniki migotania światła nie są dużą ilościowo grupą przyrządów pomiarowych dlatego opracowanie dedykowanych źródeł sygnału dla potrzeb ich testowania nie ma uzasadnienia ekonomicznego. W związku z tym przeanalizowano możliwości wykorzystania kalibratora uniwersalnego do testowania mierników migotania światła, a nawet w szerszym kontekście mierników jakości energii.

Kalibrator uniwersalny umożliwia wytwarzanie w szerokim zakresie napięć i prądów zarówno stałych jak i przemiennych. Predysponuje go to więc do testowania i sprawdzania szerokiej gamy elektrycznych przyrządów pomiarowych. Przykładem kalibratora uniwersalnego produkcji krajowej jest kalibrator typu C101 [3]. Kalibrator uniwersalny typu C101 przeznaczony jest jednak tylko do pracy statycznej.

Przystosowanie kalibratora do generowania sygnałów zmiennych w czasie można zrealizować dwoma sposobami:

- zaimplementowanie funkcji generowania przebiegów w części cyfrowej kalibratora,
- opracowanie systemu pomiarowego złożonego z kalibratora i komputera wykorzystując możliwość sterowania sygnałem wyjściowym kalibratora poprzez magistralę interfejsową.

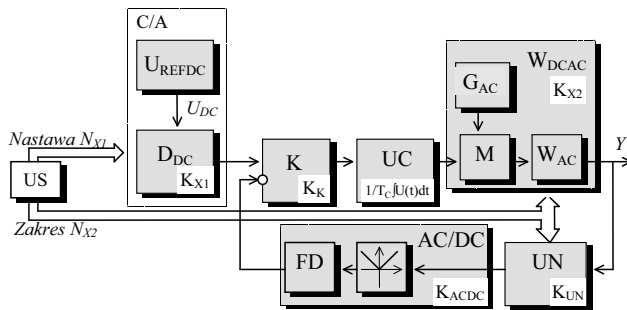
Pierwsze rozwiązanie stosowane jest w kalibratorach napięć i prądów stałych przeznaczonych przede wszystkim do sprawdzania układów automatyki i nie jest spotykane, ze względów ekonomicznych w kalibratorach uniwersalnych. Rozwiązanie drugie ma następujące zalety:

- umożliwia wykorzystanie już opracowanej struktury kalibratora uniwersalnego bez znaczących modyfikacji,
- zastosowanie komputera pozwala na stworzenie graficznego, intuicyjnego i prostego w obsłudze środowiska sterowania kalibratorem.

W celu uzyskania przebiegów o dużych szybkościach zmian sygnałów potrzebny jest kalibrator o krótkim czasie odpowiedzi. Czas odpowiedzi, definiowany jest jako przedział czasu od momentu zmiany nastawy do momentu, od którego wartość wielkości wyjściowej różni się od wartości ustalonej nie więcej niż granice dopuszczalnego błędu podstawowego (lub roboczego).

2. Analiza właściwości dynamicznych kalibratora

Struktura kalibratora dla zakresów napięć przemiennych została przedstawiona na rys. 1. Napięcie wyjściowe przetwornika C/A, reprezentujące nastawę, porównywane jest z napięciem stałym sprzężenia zwrotnego proporcjonalnym do wartości sygnału wyjściowego. Wynik porównania całkowany jest za pomocą układu całkującego UC o stałej czasowej T_C i steruje wzmacniaczem wyjściowym kalibratora. Tor sprzężenia zwrotnego zawiera układ normalizujący UN oraz dodatkowo przetwornik AC/DC napięcia przemiennego. Poprzez zastosowanie układu całkującego uzyskiwana jest astatyczna charakterystyka regulacji. Oznacza to, że bloki znajdujące się za układem całkującym a zaciskami wyjściowymi kalibratora nie mają wpływu na parametry dokładnościowe generowanego sygnału. Stanowi to podstawową zaletę zastosowania układu z astatyczną charakterystyką regulacji. Szczególnie, że konstrukcja wzmacniacza mocy W_{DAC} musi zapewnić uzyskiwanie w szerokim zakresie napięć i prądów stałych i przemiennych oraz możliwość uzyskania na zaciskach wyjściowych prądu obciążenia dla zakresów napięciowych i napięcia na rezystancji obciążenia dla zakresów prądowych.



Rys. 1. Zamknięta struktura śledząca astatyczna kalibratora C101
Fig. 1. The closed, astatic, tracking structure of calibrator C101

Kalibrator uniwersalny, którego struktura została przedstawiona na rys. 1 został przedstawiony na rys.2 jako układ automatycznej regulacji, gdzie:

U_{CA} - napięcie przetwornika C/A reprezentujące nastawioną wartość wielkości wyjściowej,

K_K - współczynnik wzmocnienia komparatora K,

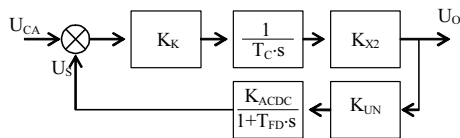
T_C - stała czasowa układu całkującego UC,

K_{X2} - współczynnik wzmocnienia wzmacniacza W_{DCAC} dla funkcji opisującej,

K_{ACDC} - współczynnik przetwarzania przetwornika AC/DC dla funkcji opisującej,

K_{UN} - współczynnik przetwarzania układu normalizującego UN.

T_{FD} - stała czasowa filtra dolnoprzepustowego przetwornika AC/DC,



Rys. 2. Kalibrator napięć przemiennych jako układ automatycznej regulacji
Fig. 2. The alternating voltage calibrator as system of automatic control

Transmitancja układu zamkniętego wg rys. 2, przy zastosowaniu komparatora o jednostkowym współczynniku wzmocnienia, ma następującą postać:

$$G_L(s) = \frac{K_K \cdot K_{X2} \cdot \frac{1}{T_C \cdot s}}{1 + K_K \cdot K_{X2} \cdot K_{UN} \cdot K_{ACDC} \cdot \frac{1}{T_C \cdot s} \cdot \frac{1}{1 + T_{FD} \cdot s}} \quad (1)$$

Uzyskanie małej wartości całkowitego współczynnika zniekształceń THD przemiennych napięć i prądów wyjściowych kalibratora wymaga zastosowania wzmacniacza wyjściowego W_{DCAC} o małym współczynniku zniekształceń oraz wypracowania odpowiedniej jakości napięcia U_C sterującego wzmacniacz. W przypadku stosowania w przetworniku AC/DC pełnookresowego prostowania, o poziomie THD decyduje poziom drugiej harmonicznej sygnału wyjściowego. Druga i pozostałe parzyste harmoniczne filtrowane są w układzie filtra FD i szeregowo połączonego z nim układu całkującego UC. Współczynnik przetwarzania takiego filtra, dla drugiej harmonicznej dany jest wzorem:

$$K_{2f} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2 \cdot T_C^2} \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T_{FD}^2}} \approx \frac{1}{\omega^2 \cdot T_C \cdot T_{FD}} \quad (2)$$

Jeżeli o poziomie THD decyduje poziom drugiej harmonicznej, to ze wzoru (2) otrzymujemy następujący warunek czystości sygnału sterującego:

$$T_{FD} \cdot T_C \geq \frac{0,64}{f^2 \cdot THD_{DOP}} \quad (3)$$

gdzie: THD_{DOP} - wartość dopuszczalna całkowitego współczynnika zniekształceń THD wyrażona w procentach.

W przypadku niespełnienia warunku (3), składowa zmienna napięcia wyjściowego układu całkującego UC jest zbyt duża, co przejawia się szczególnie dla najniższych częstotliwości stabilizowanych sygnałów wyjściowych kalibratora. Składowa przemienne napięcia wyjściowego układu całkującego, w której dominuje druga harmoniczna, przez modulator i wzmacniacz wyjściowy przenosi się na wyjście kalibratora. Zatem konsekwencją niespełnienia warunku (3) jest przekroczenie dopuszczalnej wartości współczynnika zniekształceń THD przez nadmierny wzrost poziomu drugiej harmonicznej, co jest możliwe głównie dla najniższych częstotliwości.

Do obliczeń wartości stałych czasowych układu całkującego T_C i stałej czasowej filtra T_{FD} przyjęto dolną wartość częstotliwości $f=50\text{Hz}$ i $THD_{DOP}=0,1\%$. Ze wzoru (3) obliczono wymagany iloczyn stałych czasowych:

$$T_{FD} \cdot T_C \geq \frac{0,64}{f^2 \cdot THD_{DOP}} = \frac{0,64}{50\text{Hz} \cdot 50\text{Hz} \cdot 0,1} = 0,0026\text{s}^2 \quad (4)$$

gdzie: δ - błąd ustalania napięcia wyjściowego.

Ze wzoru (1) można wyznaczyć warunek zapewnienia krytycznego charakteru procesu przejściowego:

$$T_C = 4 \cdot T_{FD} \cdot K_K \cdot K_{X2} \cdot K_{UN} \cdot K_{ACDC} \quad (5)$$

Rozwiązując układ równań (4) i (5) dla rzeczywistych wartości wzmocnień poszczególnych bloków otrzymujemy wymagane wartości stałych czasowych $T_C=0,046\text{s}$ i $T_{FD}=0,057\text{s}$.

Ze wzoru (1) i przy warunku (5) można wyznaczyć czas trwania procesu przejściowego jako odpowiedź na skokową zmianę nastawy opisaną wzorem:

$$t_o \approx \frac{T_C}{2 \cdot K_{X2} \cdot K_{UN} \cdot K_{ACDC}} \cdot \ln \frac{4}{\delta} \quad (6)$$

gdzie: $\omega = 2 \cdot \pi \cdot 2f$, f – częstotliwość sygnału wyjściowego.

Przyjmując błąd ustalania napięcia wyjściowego $\delta=0,1\%$ oraz podstawiając do wzoru (6) rzeczywiste wartości wzmocnień otrzymujemy przybliżony czas trwania procesu przejściowego dla sygnałów przemiennych:

$$t_o \approx \frac{0,046\text{s}}{2 \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 1} \cdot \ln \frac{4}{0,001} \approx 0,95\text{s} \quad (7)$$

Wyznaczony czas trwania procesu przejściowego określa potencjalne możliwości zastosowania kalibratora do generowania sygnałów zmiennych w czasie.

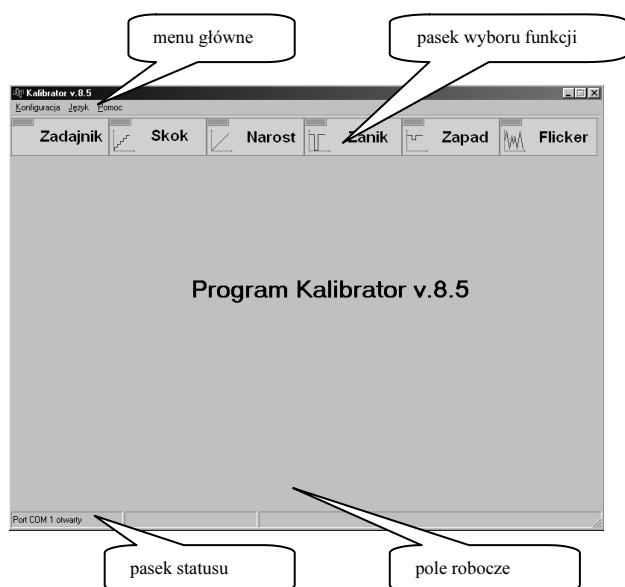
3. Opis aplikacji

Przygotowana aplikacja dla komputera typu IBM PC umożliwia sterowanie kalibratorem uniwersalnym tak aby wykorzystując jego właściwości dynamiczne uzyskać określone we wstępie rodzaje modulacji sygnałów wyjściowych kalibratora.

Okno główne programu przedstawione zostało na rys. 3. Zawiera ono cztery pola:

- menu główne które umożliwia między innymi konfigurowanie programu np. wybór portu transmisji szeregowej oraz wybór języka komunikatów w programie,
- pasek wyboru funkcji pozwalający po wybraniu jednej z zakładki: pracy statycznej kalibratora lub generowanie sygnału narostu ciągłego lub skokowego, symulowanie zapadów lub zaników sygnału oraz wytwarzanie sygnału przemiennego modulowanego,
- pole robocze, w którym po wybraniu zakładki z paska wyboru funkcji, można programować parametry przebiegu oraz uruchamiać i zatrzymywać generowanie wybranego przebiegu,

- pasek statusu, w którym wyświetlane są komunikaty o bieżącym stanie programu.



Rys. 3. Widok okna głównego programu po uruchomieniu aplikacji
Fig. 3. View of main window after the program was run

Wybranie jednej z zakładek w pasku roboczym otwiera okno robocze. Widok okna po wybraniu zakładki Flicker przedstawiono na rys. 4. W oknie tym można wybrać:

- rodzaj sygnału, który będzie modulowany – amplituda napięcia lub prądu lub częstotliwość,
- parametry modulacji – w omawianym przypadku – wartość i czas trwania jednego skoku oraz liczbę skoków, liczbę i sposób powtórzeń,
- uruchomić proces modulacji.

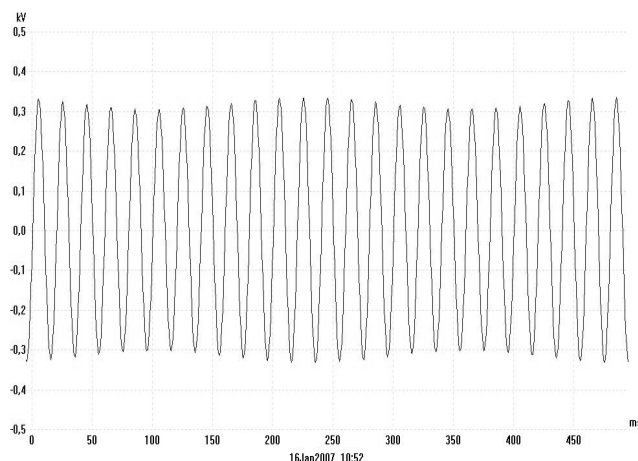
Programowanie parametrów w oknie roboczym może być realizowane z klawiatury komputera i/lub manipulatorem "myszką" wykorzystując klawiaturę programową w prawej części okna.



Rys. 4. Widok okna programu po wybraniu zakładki "Flicker"
Fig. 4. View of program window after the "Flicker" function was chosen

Jednocześnie rozpoczyna się transmisja, wyliczonych w programie nastaw, do kalibratora i na jego zaciskach generowany jest zaprogramowany przebieg.

Na rys. 5 przedstawiono, zarejestrowany przy pomocy oscyloskopu cyfrowego, przebieg wartości sygnału wyjściowego generowanego na zaciskach wyjściowych kalibratora. Przedstawiony na rysunku przebieg ilustruje modulację sygnału napięciowego przemiennego o wartości skutecznej 230V i częstotliwości 50Hz i parametrach modulacji przedstawionym na rys. 4.



Rys. 5. Wartość wielkości wyjściowej generowana na zaciskach wyjściowych kalibratora
Fig. 5. The output setting value generated at the output of calibrator

4. Podsumowanie

Potrzeba sprawdzania przyrządów pomiarowych sygnałem zmiennym w czasie była powodem opracowania systemu złożonego z kalibratora i komputera. Do sterowania opracowanym systemem służy przygotowany program, który pozwala użytkownikowi na wybór parametrów modulacji wartości wielkości wyjściowej kalibratora.

Częstotliwość modulacji ograniczają właściwości dynamiczne kalibratora i szybkość transmisji przez łącze szeregowo kalibrator – komputer. Drugi czynnik jest stosunkowo prosty do poprawy, natomiast poprawa właściwości dynamicznych wchodzi w sprzeczność z wymaganą dużą czystością generowanej wartości wielkości wyjściowej.

Inną możliwością zwiększenia częstotliwości modulacji jest wprowadzenie dodatkowego układu modulacji na wyjściu kalibratora nie objętego pętlą sprzężenia zwrotnego i przy przyjęciu znacznie mniejszych wymagań parametrów dokładnościowych.

5. Literatura

- [1] PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach rozdzielczych, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, 2002.
- [2] IEC 61000-4-15 Testing and measurement techniques – Flickermeter – functional and design specifications, IEC, Geneva 2003.
- [3] K. Urbański Pomiary i rejestracja asymetrii napięcia w obwodach trójfazowych Pomiary Automatyka Kontrola .- 2006, nr 6, s. 100–102.
- [4] A.Olencki, J.Szymkiewicz Analiza możliwości poprawy parametrów metrologicznych uniwersalnego kalibratora napięć i prądów stałych i przemiennych Metrologia Wspomagana Komputerowo - MWK '99: IV Szkoła-Konferencja. Rynia k/Warszawy, 1999.