

SYSTEM ODTWARZANIA MODULOWANYCH SYGNAŁÓW NAPIĘCIA I PRĄDU STAŁEGO I PRZEMIENNEGO

Jan Szmytkiewicz

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiony został system złożony z uniwersalnego kalibratora i komputera przeznaczony do odtwarzania sygnałów modulowanych amplitudowo napięcia i prądu stałego i przemiennego. System pozwala użytkownikowi wybierać rodzaj i parametry modulacji. W celu określenia dopuszczalnej częstotliwości modulacji przeprowadzono analizę właściwości dynamicznych na przykładzie modelu kalibratora dla zakresów napięć przemiennych.

SYSTEM FOR GENERATING MODULATING SIGNAL OF DIRECT AND ALTERNATING CURRENT

ABSTRACT

The system of multifunction calibrator and computer is presented in this paper. This system is designed for generating modulating signal of direct or alternating current and voltage. The user can to choose the kind and parameter of modulation from computer keyboard by run of special program. In paper is discussed dynamic property of multifunction calibrator alternating current range.

1. WSTĘP

Wszystkie narzędzia pomiarowe napięcia i prądu stałego i przemiennego należy adiustować i sprawdzać w procesie produkcji, a następnie okresowo sprawdzać w czasie eksploatacji. Oprócz statycznej kontroli parametrów dokładnościowych zachodzi potrzeba kontroli urządzeń sygnałami zmiennymi w czasie.

Kontrola poprawności działania regulatorów obejmuje sprawdzenie histerezy oraz poprawności działania algorytmu sterowania przy przekroczeniu wartości nastawionej w górę lub w dół. Kontrola cyfrowych mierników, regulatorów i rejestratorów obejmuje sprawdzenie

poprawności pracy układu automatycznej zmiany zakresu pomiarowego. Kontrola mierników parametrów jakości energii elektrycznej wymaga odtwarzania zapadów i zaników napięcia oraz wahań napięcia. Szczególnym rodzajem mierników parametrów sieci elektrycznej są mierniki migotania napięcia nazywane za literaturą angielskojęzyczną flickermetrami.

Na podstawie przeglądu właściwości funkcjonalnych, przede wszystkim tzw. kalibratorów sygnałów przemysłowych [1,2], określony został minimalny zestaw rodzajów modulacji sygnałów napięcia i prądu stałego i przemiennego, które powinien odtwarzać kalibrator. Są to następujące funkcje modulujące:

- liniowa,
- schodkowa,
- prostokątna.

Uzyskanie źródła, które z jednej strony spełnia funkcję wzorca, a z drugiej umożliwia generowanie przebiegów określonych powyżej możliwe jest z zastosowaniem uniwersalnego kalibratora typu C101. Umożliwia on wytwarzanie w szerokim zakresie napięć i prądów zarówno stałych jak i przemiennych. W uniwersalnym kalibratorze typu C101 [3] uzyskanie na zaciskach wyjściowych modulowanych sygnałów jest możliwe dwoma drogami:

- przez zaimplementowanie funkcji generowania przebiegów w części cyfrowej kalibratora,
- zbudowanie systemu pomiarowego złożonego z uniwersalnego kalibratora i komputera.

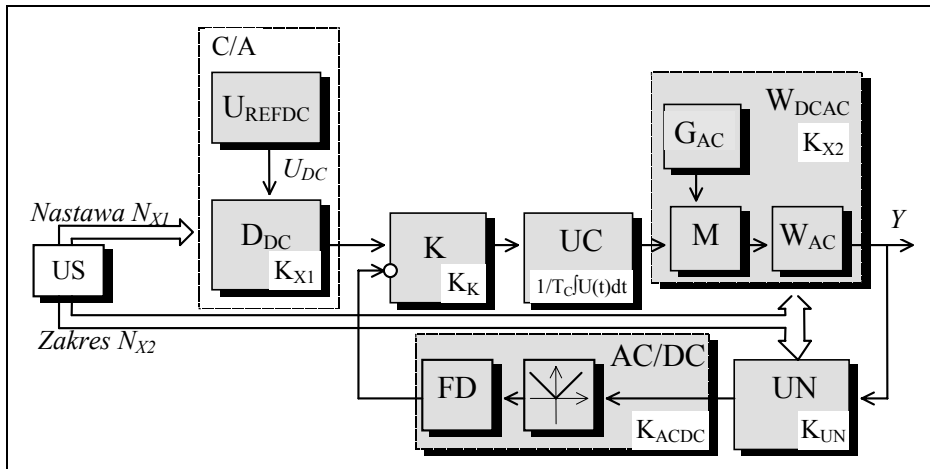
Pierwsze rozwiązanie stosowane jest w kalibratorach napięć i prądów stałych przeznaczonych przede wszystkim do sprawdzania układów automatyki [1,2]. Rozwiązanie drugie ma następujące zalety:

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

W celu uzyskania przebiegów o dużych częstotliwościach modulacji sygnałów wymagany 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.

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 średniej wyprostowanej 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 na stałe w przypadku kalibratora napięć i prądów przemiennych. Astatyczna charakterystyka regulacji uzyskiwana jest dzięki zastosowaniu układu całkującego o stałej całkowania równej T_C .



Rys.1 Zamknięta struktura śledząca (nadążna) astatyczna kalibratora napięć przemiennych.

Uniwersalny kalibrator, 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 ,

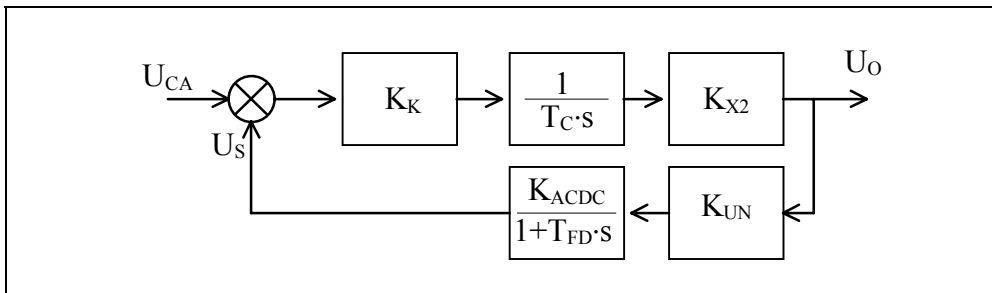
T_C - stała czasowa układu całkującego UC,

K_{X2} - współczynnik wzmocnienia wzmacniacza W_{DCAC} ,

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

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

K_{UN} - współczynnik przetwarzania układu normalizującego UN.



Rys.2. Kalibrator napięć przemiennych jako układ automatycznej regulacji

Transmitancja układu zamkniętego wg rys.2, przy zastosowaniu komparatora o jednostkowym współczynniku wzmocnienia [4] i linowym zakresie pracy pozostałych bloków, ma następującą postać:

$$G_L(s) = \frac{K_K \cdot K_{X2} \cdot \frac{1}{T_C \cdot s}}{1 + K_K \cdot K_{X2} \cdot K_{UN} \cdot K_{ACDC} \cdot \frac{1}{T_C \cdot s} \cdot \frac{1}{1 + T_{FD} \cdot s}} = \frac{\frac{K_K \cdot K_{X2}}{T_C} \cdot s + \frac{K_K \cdot K_{X2}}{T_C \cdot T_{FD}}}{s^2 + \frac{1}{T_{FD}} \cdot s + \frac{K_K \cdot K_{X2} \cdot K_{UN} \cdot K_{ACDC}}{T_C \cdot T_{FD}}} \quad (1)$$

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 pełno-okresowego prostowania, o poziomie THD decyduje poziom drugiej harmonicznej sygnału wyjściowego. Druga i pozostałe parzyste harmoniczne filtrowane są w układzie przetwornika AC/DC i szeregowo połączonego z nim układu całkującego UC. Współczynnik przetwarzania takiego filtru dla drugiej harmonicznej, przy jednostkowym współczynniku K_{ACDC} , dany jest wzorem:

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

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

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 przemienna 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.

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

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

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

$$T_C = 4 \cdot T_{FD} \cdot K_K \cdot K_{X2} \cdot K_{UN} \cdot K_{ACDC} = 4 \cdot T_{FD} \cdot 1 \cdot 2 \cdot 0,1 \cdot 1 = 0,8 \cdot T_{FD} \quad (5)$$

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 przybliżony czas trwania procesu przejściowego [5], jako odpowiedź na skokową zmianę nastawy, opisany 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: δ - błąd ustalania napięcia wyjściowego.

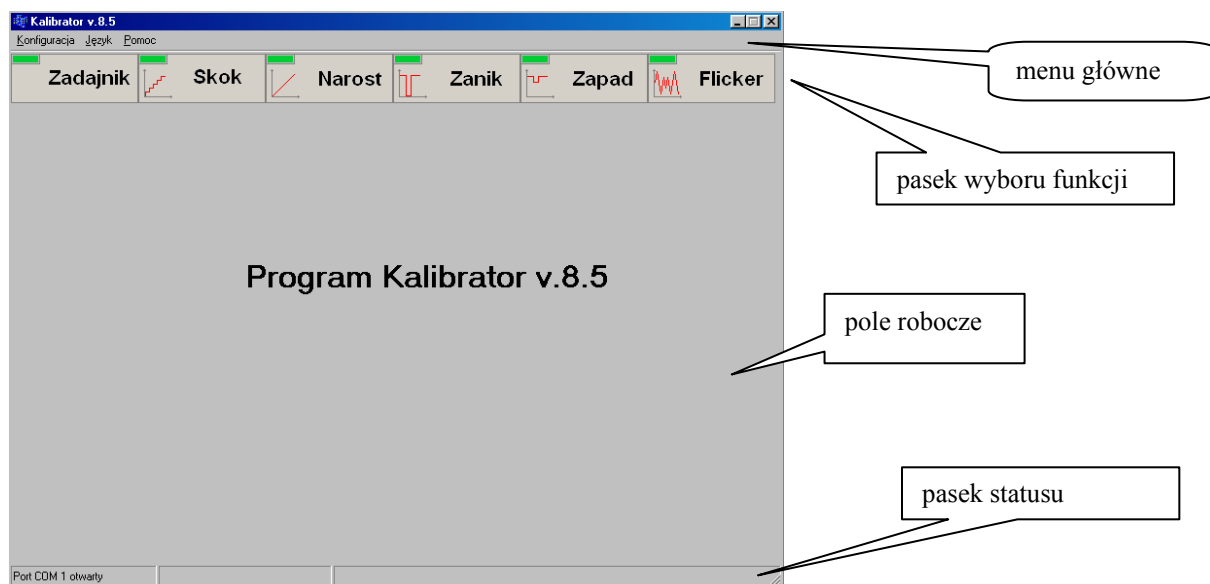
Przyjmując błąd ustalania napięcia wyjściowego $\delta=0,1\%$ oraz podstawiając do wzoru (6) rzeczywiste wartości wzmocnień otrzymujemy przybliżony czas trwania procesu przejściowego dla sygnałów przemiennych:

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

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 uniwersalnym kalibratorem tak, aby wykorzystując jego właściwości dynamiczne uzyskać określone we wstępie rodzaje modulacji sygnałów wyjściowych kalibratora.



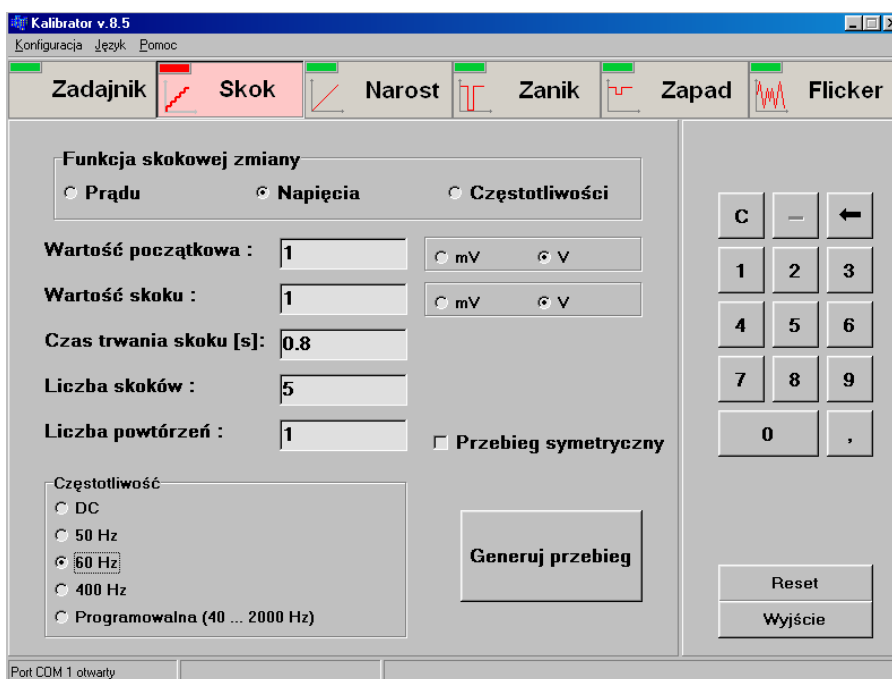
Rys.3 Widok okna głównego programu po uruchomieniu aplikacji

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 na wybór jednej z sześciu zakładek: „zadajnik” - praca statyczna kalibratora, „skok” i „narost” - generowanie sygnału narostu skokowego lub ciągłego, „zanik”, „zapad” i „flicker” - symulowanie zaników, zapadów i dawki wahań (flickera),
- 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.

Wybranie jednej z zakładek w pasku wyboru funkcji otwiera okno robocze. Widok okna po wybraniu zakładki „skok” przedstawiono na rys.4. W oknie tym można wybrać:

- rodzaj modulacji – modulacja amplitudy napięcia, prądu lub modulacja częstotliwości napięcia, prądu przemiennego,
- parametry modulacji – w omawianym przypadku – wartość początkowa amplitudy napięcia, wartość skoku amplitudy napięcia, czas trwania jednego skoku, liczba skoków oraz liczba i sposób powtórzeń,
- start procesu modulacji.



Rys.4 Widok okna programu po wybraniu zakładki "skok".

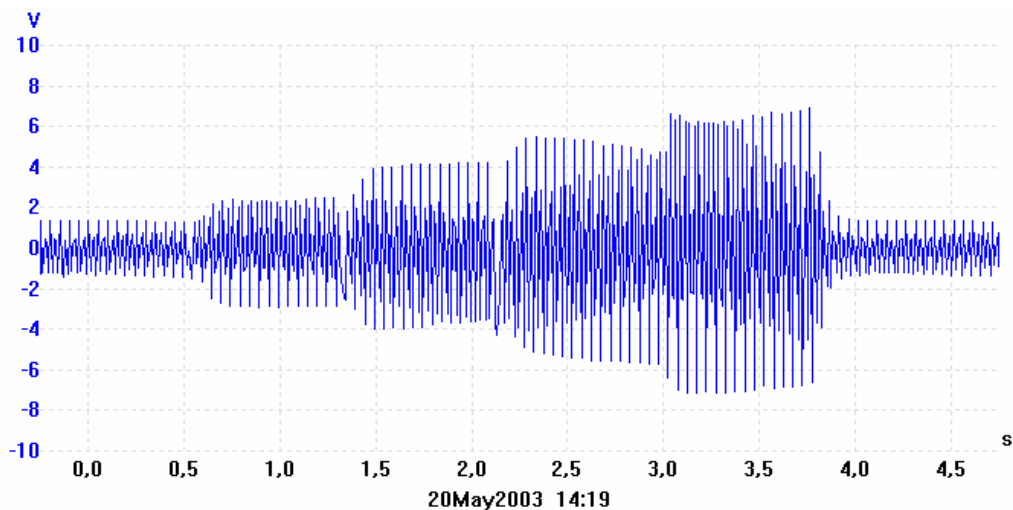
Programowanie parametrów w oknie roboczym może być realizowane z klawiatury komputera i/lub manipulatore "myszką" wykorzystując klawiaturę programową w prawej części okna. Po wybraniu przycisku "generuj przebieg" otwiera się okno, przedstawione na rys.5, ilustrujące kształt i postęp procesu odtwarzania modulowanego sygnału. Uruchomiony proces można w każdej chwili przerwać przyciskiem "przerwij transmisję".

Zarówno w oknie przedstawionym na rys.3 jak i na rys.4 aktywne są dwa przyciski programowe: "reset" przerywający proces generacji modulowanego przebiegu i przełączający kalibrator w stan jak po załączeniu zasilania oraz "wyjście", który oprócz realizacji funkcji "reset", zamyka działanie aplikacji w komputerze.



Rys.5 Widok okna programu po uruchomieniu modulacji.

Jednocześnie z naciśnięciem przycisku „generuj przebieg” rozpoczyna się transmisja do kalibratora wyliczonych w programie nastaw i na zaciskach kalibratora generowany jest zaprogramowany przebieg. Na rys.6 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 częstotliwości 60Hz i parametrach modulacji przedstawionych na rys.4.



Rys.5 Wartość wielkości wyjściowej generowana na zaciskach wyjściowych kalibratora.

3.POSUMOWANIE

Potrzeba sprawdzania przyrządów pomiarowych sygnałem modulowanym 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 dwa czynniki: właściwości dynamiczne kalibratora i szybkość transmisji przez łącze szeregowe kalibrator – komputer. Drugi czynnik jest stosunkowo prosty do poprawy, natomiast poprawa właściwości dynamicznych wchodzi w sprzeczność z wymaganą dużą czystością generowanej wartości wielkości wyjściowej.

Jedną z możliwości zwiększenia częstotliwości modulacji jest wprowadzenie dodatkowego układu modulacji na wyjściu kalibratora nie objętego pętlą sprzężenia zwrotnego i przy przyjęciu znacznie mniejszych wymagań parametrów dokładnościowych dla sygnału modulowanego.

LITERATURA

1. Calibrator Fluke 701/702. Users manual.
2. Calibrator MicroCal 1000. Instruction manual.
3. Szmytkiewicz J., Urbański K.: *Parametry metrologiczne kalibratorów uniwersalnych*. XXIX MKM '97, Nałęczów 09.1997, Materiały konferencyjne Tom 2, str. 537-542.
4. Olencki A., Szmytkiewicz J.: *Optimalizacja dynamiki procesu przejściowego źródła napięć i prądów stałych i przemiennych*. Pomiary Automatyka Kontrola, nr7, 1996.
5. Szmytkiewicz J.: *Analiza możliwości poprawy parametrów metrologicznych uniwersalnego kalibratora napięć i prądów stałych i przemiennych*. Praca Doktorska, Zielona Góra 2000.