ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1998
Seria: ELEKTRYKA z. 162 Nr kol. 1395

Jan SZMYTKIEWICZ
Politechnika Zielonogórska

CYFROWA ADIUSTACJA KALIBRATORA UNIWERSALNEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiony został sposób realizacji cyfrowej adiustacji kalibratora uniwersalnego napięć i prądów stałych i przemiennych typu C101. Polega na zastąpieniu analogowych elementów regulacyjnych, wyznaczanymi w procesie wzorcowania, współczynnikami poprawki, które są zapamiętywane w części cyfrowej kalibratora.

DIGITAL CALIBRATION

Summary. The method of digital calibration of DC/AC voltage and current multifunction calibrator of type C101 is described in the paper. This method consists in replacement of analog trimmers by correction coefficients determined during the process of calibration and then stored in memory of the calibrator digital part.

1. WSTĘP

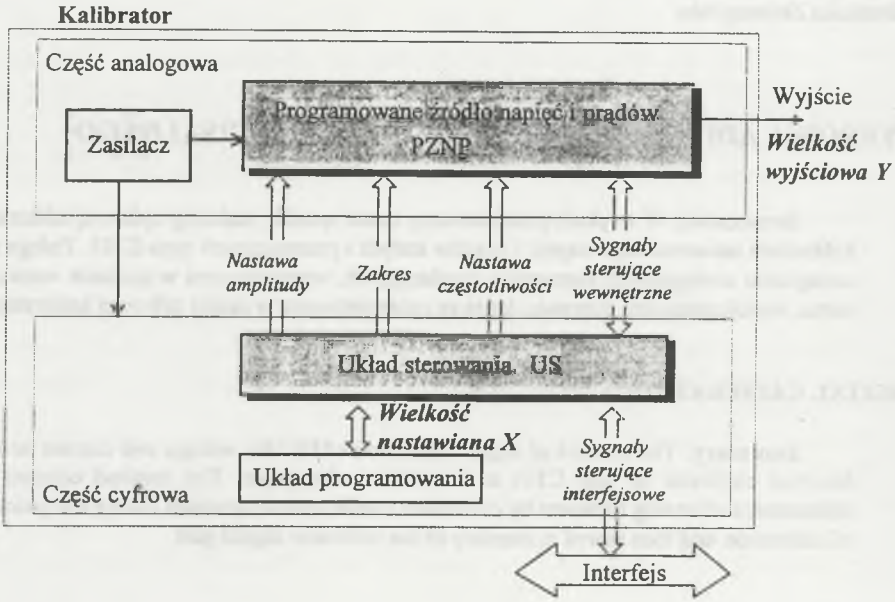
Kalibratory uniwersalne napięcia i prądu są szerokozakresowymi programowanymi źródłami napięć i prądów stałych i przemiennych. Kalibrator uniwersalny typu C101 umożliwia nastawianie i wytwarzanie napięć w zakresie 1 mV ÷ 1000 V i prądów w zakresie 10 μA ÷ 20 A zarówno stałych, jak i przemiennych w paśmie częstotliwości 40 Hz ÷ 5 kHz.

Każdy kalibrator w procesie produkcji przechodzi etap adiustacji. Adiustacja w całości lub w ograniczonym zakresie może być również wymagana w czasie eksploatacji. Ponieważ kalibrator uniwersalny jest przyrządem pomiarowym wielozakresowym, proces adiustacji jest pracochłonny i wymaga wysoko kwalifikowanego personelu do jego realizacji.

W kalibratorze uniwersalnym typu C101 część cyfrowa kalibratora zrealizowana jest w oparciu o mikroprocesorowy układ sterowania. Pozwala to na zrealizowanie cyfrowej adiustacji.

Na rys.1 przedstawiony został model kalibratora uniwersalnego, w którym wyróżniono część analogową i część cyfrową [1]. Część cyfrowa składa się z układu sterowania wraz z układem programowania i interfejsem. Układ programowania umożliwia zadawanie wartości

wielkości nastawianej X reprezentowanej parametrami takimi, jak amplituda i częstotliwość. Na wyjściu kalibratora wytwarzana jest wielkość wyjściowa Y reprezentowana również parametrami takimi, jak amplituda i częstotliwość.



Rys.1. Model kalibratora
Fig.1. Model of the calibrator

Związek funkcjonalny między wielkością nastawioną a wielkością wyjściową opisuje znamionowa charakterystyka przetwarzania, która dla kalibratora C101 jest liniowa i przyjmuje postać

$$Y_N = X. \tag{1}$$

Rzeczywista charakterystyka przetwarzania kalibratora jest przypadkową funkcją czasu, zależy od zmiany czynników zewnętrznych i zmiany obciążenia wyjścia oraz obarczona jest błędem systematycznym od adiustacji i dana jest wzorem

$$Y_R = (\delta_M Y + 1)X + \Delta_A Y, \tag{2}$$

gdzie:

$\Delta_A Y$ — składowa addytywna błędu odniesienia do wyjścia,

$\delta_M Y$ — składowa multiplikatywna błędu odniesiona do wyjścia.

Zatem proces adiustacji ma za zadanie możliwie skuteczne zredukowanie wartości składników $\delta_M Y$ i $\Delta_A Y$ wynikających ze zmiany wielkości wpływających.

2. ZAKRES CYFROWEJ ADIUSTACJI

W tablicy 1 zestawione zostały wybrane parametry metrologiczne kalibratora uniwersalnego, które mają znaczący wpływ na jego dokładność. Każda z tych charakterystyk może zostać objęta procesem cyfrowej adiustacji. W kalibratorze C101 cyfrową adiustacją objęto charakterystykę przetwarzania i charakterystykę częstotliwościową, ponieważ:

- cyfrowe wzorcowanie można zrealizować na drodze programowej bez rozbudowy części elektronicznej (np. charakterystyka temperaturowa wymaga pomiaru temperatury otoczenia, a charakterystyka obciążeniowa — pomiaru prądu obciążenia lub spadku napięcia na obciążeniu),
- decydują o wartość błędu podstawowego, który jest głównym błędem kalibratora,
- pozwalają na wyeliminowanie analogowych elementów regulacyjnych.

Tablica 1

Charakterystyki metrologiczne kalibratora możliwe do objęcia procesem cyfrowej adiustacji

Rodzaj charakterystyki	**Efekt cyfrowej adiustacji**	**Wartość błędu definiowana w normie zakładowej [2] dla zakresu 1 V**
Charakterystyka przetwarzania (wartość wielkości wyjściowej w funkcji nastawy)	Wyeliminowanie analogowych elementów regulacyjnych i zmniejszenie wartości błędu adiustacji przez zwiększenie liczby punktów, w których jest ona realizowana	Błąd podstawowy dla zakresu DC ± 0,02% nastawy ± 0,004% zakresu
Charakterystyka częstotliwościowa (dla zakresów przemiennych wartość wielkości wyjściowej w funkcji nastawy częstotliwości)	Zmniejszenie wartości błędu podstawowego dla zakresów sygnałów przemiennych	Nie specyfikowany (zawarty w wartości błędu podstawowego, który jest typowo 2÷5 razy większy niż dla zakresów DC)

Rodzaj charakterystyki	Efekt cyfrowej adiustacji	Wartość błędu definiowana w normie zakładowej [2] dla zakresu 1 V
Charakterystyka temperaturowa (wartość wielkości wyjściowej w funkcji temperatury	Zmniejszenie wartości błędu dodatkowego spowodowanego zmianą temperatury otoczenia	Błąd dodatkowy ± 0,1 wartości błędu podstawowego na 1°C
Charakterystyka obciążeniowa (wartość wielkości wyjściowej w funkcji rezystancji obciążenia)	Zmniejszenie wartości błędu dodatkowego spowodowanego zmianą rezystancji obciążenia	Błąd dodatkowy dla zakresu DC ± 0,003% zakresu
Charakterystyka zasilania (wartość wielkości wyjściowej w funkcji napięcia sieci zasilającej)	Zmniejszenie wartości błędu podstawowego	Nie specyfikowany (zawarty w wartości błędu podstawowego)

3. ALGORYTM WYZNACZANIA WSPÓŁCZYNNIKÓW POPRAWKI

Cyfrowa adiustacja składa się z dwóch etapów: wzorcowania i automatycznej cyfrowej korekcji nastawy. W etapie wzorcowania wyznaczane są poprawki dla wybranej wartości wielkości wyjściowej z wykorzystaniem zewnętrznych wzorców [3]. Wyznaczane poprawki wykorzystane są do obliczenia i zapamiętania w części cyfrowej kalibratora współczynników korekcji. W etapie korekcji nastawy, w trakcie eksploatacji kalibratora, na podstawie zapamiętanych współczynników automatycznie korygowana jest w układzie sterowania US wartość wprowadzonej nastawy, a tym samym korygowana jest wartość wielkości wyjściowej generowanej na zaciskach wyjściowych.

Skorygowana wartość nastawy X_K powinna być tak dobrana, aby rzeczywista wartość Y_R wielkości wyjściowej dla dowolnej nastawy odtwarzała znamionową charakterystykę przetwarzania, tzn. aby spełniona została poniższa zależność:

$$Y_R = X_K. \tag{3}$$

Na podstawie wzorów (1) i (2) wartość X_K można wyznaczyć z równania:

$$X_K = (\delta_M Y + 1)\, X + \Delta_A Y. \tag{4}$$

Współczynniki $\delta_M Y$ i $\Delta_A Y$ w równaniu (4) są wyznaczane w pierwszym etapie cyfrowej adiustacji. Do ich wyznaczenia potrzebne jest rozwiązanie układu równań. Dane do jego rozwiązania można uzyskać dwoma sposobami:

- pierwszy, polegający na zapamiętaniu wprowadzonej nastawy oraz zmierzeniu i wprowadzeniu do części cyfrowej rzeczywistej wartości wielkości wyjściowej dla tej nastawy,
- drugi, polegający na zapamiętaniu w części cyfrowej wprowadzonej nastawy oraz tak zmodyfikowanej nastawy, aby wartość wielkości wyjściowej była równa wartości znamionowej dla wprowadzonej nastawy.

Do realizacji wybrany został sposób drugi, ponieważ:

- w procesie wyznaczania poprawki umożliwia wykorzystanie funkcji programowych kalibratora [4],
- pomiary z wykorzystaniem zewnętrznych wzorców realizowane są zawsze dla tych samych punktów pomiarowych, co stwarza możliwości zwiększenia dokładności wzorcowania,
- w systemie pomiarowym można wykorzystać wskaźnik zera [5].

Zgodnie z wybranym sposobem współczynniki $\delta_M Y$ i $\Delta_A Y$ są wyznaczane na podstawie następującego układu równań:

$$\begin{aligned} Y_O &= (\delta_M Y + 1) X_1 + \Delta_A Y, \\ Y_M &= (\delta_M Y + 1) X_2 + \Delta_A Y, \end{aligned} \tag{5}$$

gdzie:

Y_O i Y_M — wartości wielkości wyjściowej, dla których realizowane będzie wzorcowanie (punkty wzorcowania),

X_1 i Z_2 — nastawy, które są tak zmodyfikowanymi wprowadzonymi z klawiatury nastawami X_O i X_M, aby wynik pomiaru był równy odpowiednio Y_O i Y_M.

Rozwiązując powyższy układ równań oraz na podstawie równania (1) podstawiając $X_M = Y_M$ i $X_O = Y_O$, można wyznaczyć współczynniki $\delta_M Y$ i $\Delta_A Y$

$$\begin{aligned} \delta_M Y + 1 &= \frac{X_M - X_O}{X_2 - X_1}, \\ \Delta_A Y &= X_O - X_1 \frac{X_M - X_O}{X_2 - X_1}. \end{aligned} \tag{6}$$

Współczynniki są obliczane i zapamiętywane w części cyfrowej kalibratora. Na etapie korekcji, na podstawie obliczonych według wzoru (6) współczynników poprawki, wyznaczana jest skorygowana wartość nastawy wg wzoru (4).

Zasadę wyznaczania współczynników poprawki i korekcji nastawy zilustrowano na rys.2, gdzie przyjęto następujące oznaczenia:

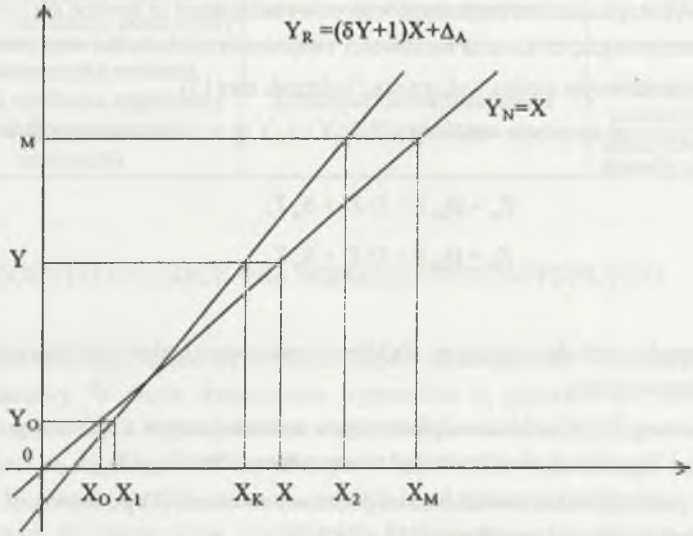
Y_O i Y_M — wartości wielkości wyjściowej wybrane jako punkty pomiarowe, w których zrealizowane będzie wzorcowanie,

X_O i X_M — wartości nastaw odpowiadające wartościom wielkości wyjściowej Y_O i Y_M według znamionowej charakterystyki przetwarzania,

X_1 i X_2 — wartości nastaw odpowiadające wartościom wielkości wyjściowej Y_O i Y_M według rzeczywistej charakterystyki przetwarzania,

X i Y — dowolna wprowadzona wartość nastawy i odpowiadająca jej wartość wielkości wyjściowej według znamionowej charakterystyki przetwarzania,

X_K — przeliczona na etapie korekcji wartość wprowadzonej nastawy X.



Rys.2. Nominalna Y_N i przykładowa rzeczywista Y_R charakterystyka przetwarzania kalibratora
Fig.2. Nominal Y_N and real (exemplary) Y_R transform characteristics of the calibrator

4. SPOSÓB REALIZACJI CYFROWEJ ADIUSTACJI

W kalibratorze C101 przyjęto, że adiustacji podlegać będzie charakterystyka przetwarzania dla każdego zakresu napięć i prądów stałych oraz dla każdego zakresu napięć i prądów przemiennych dla czterech nastaw częstotliwości.

Pierwszy etap cyfrowej adiustacji obejmujący wyznaczenie współczynników poprawki rozpoczyna się po podaniu hasła dostępu. Podanie prawidłowego hasła uaktywnia procedurę programowej obsługi cyfrowej adiustacji. Zasada obsługi kalibratora nie zmienia się. Po wybraniu zakresu kalibratora, dla którego będzie realizowana adiustacja, wprowadzana jest nastawa

(np. X_O) odpowiadająca pierwszemu punktowi pomiarowemu. Przy wykorzystaniu funkcji modyfikacji nastawy [1], [4] wprowadzana jest nastawa (X_1), dla której wartość wielkości wyjściowej na zaciskach wyjściowych kalibratora odpowiada wartości znamionowej. Następnie wprowadzana jest nastawa (X_M) oraz wyznaczana jest nastawa (X_2). W momencie uzyskania kompletu czterech nastaw (X_O, X_M, X_1, X_2) układ mikroprocesorowy automatycznie oblicza współczynniki poprawki i zapisuje je w pamięci nieulotnej. Procedura ta może zostać powtórzona dla tego samego lub nowego zakresu lub w dowolnym momencie zostać przerwana.

5. PODSUMOWANIE

Najważniejszymi parametrami kalibratora są jego dokładność i stabilność. Analogowe elementy regulacyjne wpływają ujemnie na oba wymienione parametry, dlatego w kalibratorze uniwersalnym typu C101 zastosowana została metoda cyfrowej adiustacji. Polega ona na zastąpieniu potencjometrów przez odpowiedni algorytm pracy mikroprocesorowego układu cyfrowego.

Zastosowanie w kalibratorze cyfrowej adiustacji pozwala poprawić jego parametry dwiema drogami:

- przez eliminację zawodnych oraz niestabilnych w czasie i przy zmianach temperatury analogowych potencjometrów,
- przez zwiększenie liczby punktów pomiarowych, w których realizowany jest ten proces.

LITERATURA

1. Olencki A., Szmytkiewicz J., Urbański K.: Kalibratory napięć i prądów - część cyfrowa. Rozprawy Elektrotechniczne, 34, z.1, s.261-267, 1988.
2. Olencki A.: Kalibrator napięć i prądów stałych i przemiennych typu C101. Norma Zakładowa ZN-95/CALMET-012, 1995.
3. Szmytkiewicz J.: Parametry metrologiczne kalibratorów uniwersalnych. XXIX Międzyuczelniana Konferencja Metrologów, Materiały konferencyjne, Nałęczów 1997.
4. Szmytkiewicz J.: Mikroprocesorowa klawiatura uniwersalnego kalibratora napięć i prądów. IX Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Zastosowanie mikroprocesorów w automatyce i pomiarach", Materiały konferencyjne PIE, s. 193-198, Warszawa 1994.
5. DATRON Electronic Limited: 4000 Autocal Standard Seminar Notes. England 1981.

Recenzent: Dr hab. inż. Tadeusz Skubis

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 kwietnia 1998 r.

Abstract

The multifunction calibrator is presented in Fig.1. The analog and digital parts of the calibrator are specially marked out in this diagram. The digital part consists of a programmable circuit which allows for entering setting value X. The value of Y is generated at the calibrator output. The ideal dependence between Y and X is described by equation (1) and the real characteristics are given by relation (2).

Setting values of X and influence quantities for which digital calibration is realised are discussed in the second part of the paper. The amplitude and frequency of the setting values have been chosen after circuit analysis. The algorithm of digital calibration is described in parts 3 and 4. It consist in determining the coefficients $\delta_M Y$ and $\Delta_A Y$ according to equation (6) and then the setting value X_K from relation (4). The idea of this algorithm is presented in Fig.2.

Advantages of replacement of potentiometers (analog memory) by the algorithm of digital calibration (digital memory) are presented at the end of the paper.