

Metody cyfrowej adiustacji kalibratora uniwersalnego

Jan Szmytkiewicz

**Instytut Informatyki i Elektroniki, Uniwersytet Zielonogórski
65-246 Zielona Góra, ul. Podgórna 50**

e-mail: j.szmytkiewicz@iie.uz.zgora.pl

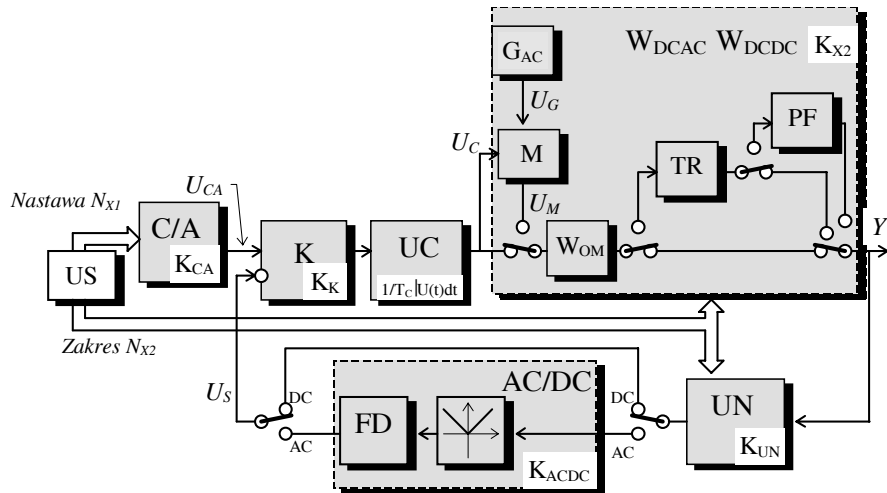
STRESZCZENIE

Kalibrator uniwersalny jest wzorcowym źródłem napięć i prądów stałych i przemiennych. Parametry dokładnościowe mają decydujące znaczenie dla zakresu jego stosowania, stąd stałe dążenie do ich poprawy. W artykule dokonano przeglądu i podziału stosowanych metod poprawy parametrów dokładnościowych. Szczególną uwagę zwrócono na metody cyfrowe jako najbardziej perspektywiczne i ekonomiczne oraz przedstawiono opracowany przez autora sposób cyfrowej adiustacji kalibratora uniwersalnego.

1. WPROWADZENIE

Wszystkie narzędzia pomiarowe napięcia i prądu stałego i przemiennego należy adiustować i sprawdzać w procesie produkcji, a następnie okresowo sprawdzać w czasie eksploatacji, co wymaga stosowania wzorcowych narzędzi pomiarowych o odpowiednich parametrach metrologicznych. Jednym z takich wzorcowych narzędzi pomiarowych są kalibratory uniwersalne napięcia i prądu, stałego i przemiennego. Przykładem takiego przyrządu jest kalibrator uniwersalny typu C101, który umożliwia nastawianie i wytwarzanie napięć w zakresie 1mV – 1000V i prądów w zakresie 10μA – 20A zarówno stałych jak i przemiennych w paśmie częstotliwości 40Hz – 2kHz.

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



Rys. 1. Zamknięta struktura śledząca astatyczna kalibratora napięć i prądów stałych i przemiennych z porównaniem sygnałów stałoprądowych

Znamionowe równania przetwarzania (1) opisujące funkcjonalne związki między wielkością wyjściową ma następującą postać:

$$Y = U_{DC} \cdot \frac{K_{X1}}{K_{UN} \cdot K_{ACDC}} \quad (1)$$

Rzeczywista charakterystyka przetwarzania $Y_R=f(X)$ kalibratora jest przypadkową funkcją czasu, zależy od zmiany czynników zewnętrznych i zmiany obciążenia wyjścia oraz obarczona jest błędem systematycznym adiustacji. Różnica między rzeczywistą i znamionową charakterystyką przetwarzania stanowi o błędzie bezwzględnym ΔY lub względnym δY wartości wielkości wyjściowej kalibratora. Równania błędu względnego dla zakresów sygnałów przemiennych ma postać:

$$\delta Y = \delta U_{DC} + \delta K_{X1} - \delta K_{UN} - \delta K_{ACDC} + \frac{\Delta U_D + \Delta U_K - \Delta U_{UN} \cdot K_{ACDC} - \Delta U_{ACDC} + \Delta U_{UC} / K_K}{U_{DC} \cdot K_{X1}} \quad (2)$$

W poszczególnych składowych równania błędu (2) można wyróżnić dwa składniki: składnik stały wynikający z tolerancji stosowanych elementów i jednocześnie niezależny od czasu i czynników wpływających oraz składnik zmienny zależny od czasu lub czynników wpływających. Składniki stałe równań błędu mogą być skorygowane w procesie adiustacji kalibratora.

2. Metody poprawy parametrów dokładnościowych

Parametry dokładnościowe mają podstawowe znaczenie w przypadku stosowania kalibratora jako wzorca, co jest głównym przeznaczeniem kalibratorów. Część parametrów dokładnościowych zależy od przedziału czasowego zmian wartości wielkości wyjściowej. Należą do nich: błąd podstawowy nazywanym czasem rekalkibracji równym typowo 12-cie miesięcy, dryft krótkoczasowy, PARD określany jako wartość skuteczna składowej zmiennej dla zakresów napięć i prądów stałych, całkowity współczynnik zniekształceń THD dla zakresów napięć i prądów przemiennych. Wśród tych parametrów najważniejsze znaczenie ma dopuszczalny błąd podstawowy. Pozostałe parametry dokładnościowe nie zależą od przedziału czasowego zmian wartości wielkości wyjściowej. Do parametrów tych można zaliczyć błędy dodatkowe powodowane zmianą wielkości lub czynników wpływających takich, jak temperatura otoczenia, obciążalność wyjścia, częstotliwość sygnałów wyjściowych czy reaktancja obciążenia, oraz błąd liniowości charakterystyki przetwarzania. Dominujące znaczenie w tej grupie parametrów ma błąd dodatkowy spowodowany zmianą temperatury otoczenia.

Można wyróżnić dwie grupy metod polepszenia parametrów metrologicznych kalibratora uniwersalnego: metody strukturalno-algorytmiczne i metody konstrukcyjno-technologiczne. Metody strukturalno-algorytmiczne polegają na wprowadzeniu do struktury i algorytmu pracy kalibratora nadmiarowości strukturalnej, czasowej, algorytmicznej lub programowej pozwalającej poprawić wybrane, najbardziej istotne dla danego zastosowania, parametry kalibratora przy możliwie małym pogorszeniu innych charakterystyk kalibratora. Stosowane w kalibratorach metody konstrukcyjno-technologiczne polegają na:

- zastosowaniu wysokiej jakości (dokładnych, stabilnych i niskoszumowych) elementów i materiałów,
- dokładnym dopracowaniu konstrukcji i doskonaleniu technologii produkcji,
- stosowaniu środków ochronnych przed wielkościami i czynnikami wpływającymi np. przez stosowanie skrętek przewodów, termostatów, ekranowania, stabilizację napięć zasilania.

Część autorów [1] zajmujących się zagadnieniami poprawy parametrów metrologicznych przyrządów pomiarowych przez zastosowanie metod strukturalno-algorytmicznych stwierdza wyczerpanie możliwości metod konstrukcyjno-technologicznych.

W grupie metod strukturalno-algorytmicznych można wyróżnić metody statystycznej minimalizacji i metody korekcji skutków oddziaływania wielkości wpływających. Metody statystycznej minimalizacji pozwalają redukować wpływ błędów przypadkowych, które nie mają decydującego wpływu na dokładność kalibratora.

Natomiast metody korekcji skutków oddziaływania wielkości wpływającej wymagają wprowadzenia pewnej nadmiarowości układowej lub czasowej [2]. W zależności od udziału części cyfrowej kalibratora w procesie realizacji strukturalnych metod automatycznej korekcji, można je podzielić na metody:

- analogowe, w których nadmiarowość realizowana jest bez udziału części cyfrowej,
- cyfrowe, w których w procesie korekcji uczestniczy część cyfrowa.

Metody cyfrowej korekcji w odniesieniu do kalibratorów, posiadają następujące zalety:

- ułatwioną realizację ze względu na stosunkowo prostą realizację nadmiarowości programowej w części cyfrowej kalibratora,
- uniwersalność, która pozwala zastosować opracowane metody w kalibratorach różnych typów,
- niewysoki wzrost jednostkowej ceny kalibratora.

Cyfrowe strukturalne metody korekcji błędów, ze względu na rodzaj zastosowanych wzorców, można podzielić na:

- metody wykorzystujące zewnętrzne wzorce, nazywane dalej cyfrową adiustacją (metody te bywają też nazywane autowzorcowaniem),
- metody wykorzystujące wewnętrzne wzorce, nazywane autokalibracją.

W metodzie cyfrowej adiustacji poprawka wyznaczana jest z zastosowaniem zewnętrznych wzorców. Dlatego też cyfrowa adiustacja całkowicie zastępuje adiustację analogową. Metoda autokalibracji wywołanie może być wykonywana zarówno na polecenie operatora, jak i automatycznie, np. przy zmianie nastawy. Autokalibracja wykonywana na polecenie operatora wymaga przerwania procesu odtwarzania wielkości wyjściowej.

3. Cyfrowa adiustacja

W opracowanym algorytmie, cyfrową adiustacją objęto charakterystykę przetwarzania i charakterystykę częstotliwościową, ponieważ:

- adiustacja obu charakterystyk może być realizowana wyłącznie na drodze programowej bez wprowadzania nadmiarowości sprzętowej. Adiustacja charakterystyki temperaturowej wymaga dodatkowego pomiaru temperatury. Adiustacja charakterystyki obciążeniowej wymaga dodatkowego pomiaru prądu obciążenia dla zakresów napięciowych i pomiaru spadku napięcia na obciążeniu dla zakresów prądowych. Adiustacja charakterystyki zasilania wymaga pomiaru napięcia zasilania i uwzględniania wiedzy o współczynniku tłumienia zmiany napięcia zasilania,

- obie charakterystyki decydują o wartości błędu podstawowego, który w opisie dokładności kalibratora ma dominujące znaczenie. Zwiększenie liczby punktów adiustacji i wyeliminowanie analogowych elementów regulacyjnych umożliwiają zmniejszenie błędu podstawowego.

Opracowany algorytm cyfrowej adiustacji [3] składa się z dwóch etapów: etapu wyznaczania poprawki i etapu automatycznej cyfrowej programowej korekcji nastawy. Wyznaczanie poprawki dla wybranej wartości wielkości wyjściowej odbywa się z zastosowaniem zewnętrznych wzorców. Wyznaczane poprawki wykorzystane są do obliczania i zapamiętania w części cyfrowej kalibratora współczynników korekcji. W etapie korekcji nastawy, w trakcie eksploatacji kalibratora, na podstawie zapamiętanych współczynników korekcji, automatycznie i programowo korygowana jest wartość wprowadzanej nastawy, a tym samym korygowana jest wartość wielkości wyjściowej kalibratora. Skorygowana wartość nastawy X_K jest tak obliczana, aby rzeczywista wartość Y_R wielkości wyjściowej, dla dowolnej nastawy, odtwarzała znamionową charakterystykę przetwarzania (1).

Proces adiustacji jest pracochłonny i odpowiedzialny. O pracochłonności tego procesu decyduje pracochłonność etapu wyznaczania poprawki. Dlatego też przy opracowaniu algorytmu wyznaczania poprawki należy szczególnie uwzględnić ergonomię tego procesu. Zaproponowano dwa sposoby realizacji etapu wyznaczania poprawki: pierwszy, ręczny z poziomu pulpitu kalibratora i drugi, półautomatyczny [4] z poziomu komputera przez interfejs. Zaletą pierwszego rozwiązania jest możliwość wykonania adiustacji kalibratora w różnych laboratoriach, bez konieczności stosowania sprzętu informatycznego – komputera i specjalistycznego oprogramowania. Zaletą drugiego rozwiązania jest zmniejszona pracochłonność adiustacji.



Rys. 2. Okno wyznaczania poprawek programu "Wzorckal"

W przypadku półautomatycznego sposobu wyznaczania poprawki wykorzystywany jest system pomiarowy złożony z adiustowanego kalibratora, woltomierza, rezystorów wzorcowych i komputera. Dla komputera sterującego opracowano program komputerowy "Wzorckal", przeznaczony do wspomagania procesu adiustacji i archiwizacji danych.

Na rys. 2 przedstawiono okno wyznaczania poprawek programu "Wzorckal". W górnej części okna dostępny jest pasek narzędziowy z funkcjami:

- "Program" – funkcja wykonywania operacji z plikami,
- "Połączenie" – funkcja ustawiania parametrów komunikacji z kalibratorem,
- "Wzorcowanie" – funkcja wyznaczania poprawek.

4. Wnioski

Najważniejszymi parametrami kalibratora są jego dokładność i stabilność. Analogowe elementy regulacyjne umożliwiają adiustację w ograniczonej liczbie punktów i negatywnie wpływają na stabilność. Dlatego w kalibrаторze uniwersalnym typu C101 zastosowana została metoda cyfrowej adiustacji. Polega ona na zastąpieniu potencjometrów przez odpowiedni algorytm pracy mikroprocesorowego układu cyfrowego. W kalibrаторze przewidziana została możliwość realizacji cyfrowej adiustacji zarówno z pulpitu jak i przez interfejs z komputera.

Dalsze prace badawcze będą prowadzone w dwóch kierunkach: rozszerzenia adiustacji na temperaturową i obciążeniową charakterystykę przetwarzania oraz na zastosowaniu w kalibrаторze uniwersalnym metod autokalibracji.

LITERATURA

- [1] E.M. Bromberg, K.L.Kulikowskij: *Tiestowyje metody powyszenija tocznosti izmierienij*, Energia, Moskwa, 1978
- [2] A. Olencki, J. Szmytkiewicz: *Analiza możliwości poprawy parametrów metrologicznych uniwersalnego kalibratora napięć i prądów stałych i przemiennych*, IV Szkoła - Konferencja Metrologia Wspomagana Komputerowo, MWK'99, Rynia, 1999
- [3] J. Szmytkiewicz: *Cyfrowa adiustacja kalibratora uniwersalnego*, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Zeszyt Elektryka nr 162, Gliwice, 1998, s.115-122
- [4] J. Szmytkiewicz: *Układ pomiarowy dla cyfrowej adiustacji kalibratora uniwersalnego*, XXX MKM'98. Międzyzdroje 1998, Materiały konferencyjne