

Parametry metrologiczne systemów pomiarowych z kalibratorem kontrolnym i z miernikiem kontrolnym.

dr inż. Robert DĄBROWSKI

W roku 1997 ukończył studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Zielonogórskiej. Obecnie pracuje jako adiunkt w Instytucie Informatyki i Elektroniki Uniwersytetu Zielonogórskiego. Jego zainteresowania związane są z automatyzacją systemów pomiarowych oraz obiektowymi technikami programowania.

e-mail: R.Dabrowski@iie.uz.zgora.pl



Streszczenie

Artykuł przedstawia dwa rodzaje komputerowych systemów pomiarowych do sprawdzania, wzorcowania i adjustacji multimetrów. Opisując system z kalibratorem kontrolnym oraz system z miernikiem kontrolnym przedstawia ich możliwości oraz wymagania stawiane przez przepisy krajowe i unijne. Opisuje parametry metrologiczne tych systemów, zarówno statyczne jak i dynamiczne uwzględniane w procesie wykonywania procedur pomiarowych w opisywanych systemach.

Abstract

Article presents two kinds of computer controlled measurement systems for multimeters testing and adjustment. Describes these systems, one open loop structure which contains high accuracy calibrator, and second low cost loop system includes medium accuracy calibrator and high accuracy control meter. Presents parameters which affects accuracy and dynamic of measurement process.

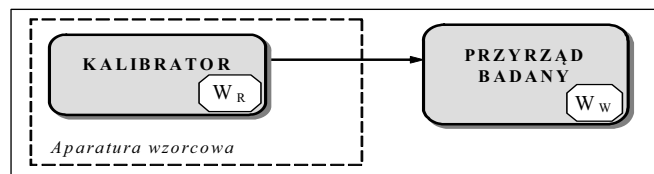
Słowa kluczowe: system pomiarowy, kalibrator, miernik kontrolny.

Keywords: measurement system, calibrator, control meter.

1. Wstęp

Wszystkie przyrządy pomiarowe napięcia i prądu stałego i przemiennego należy adjustować, wzorcować i sprawdzać w procesie produkcji a następnie okresowo wzorcować i sprawdzać w czasie eksploatacji, co wymaga stosowania wzorcowych narzędzi pomiarowych o odpowiednich parametrach metrologicznych. W czasie adjustacji, wzorcowania i sprawdzania, do zacisków badanego przyrządu pomiarowego, dostarczana jest wielkość mierzona przez badany przyrząd i wytwarzana przez kalibrator.

W większości przypadków stosowana jest metoda kalibratora kontrolnego [1], w której kalibrator, oprócz funkcji źródła, wypełnia dodatkowo funkcje wzorca. Na rys.1 przedstawiono układ do sprawdzania przyrządów z zastosowaniem metody kalibratora kontrolnego, złożony z przyrządu badanego i kalibratora.



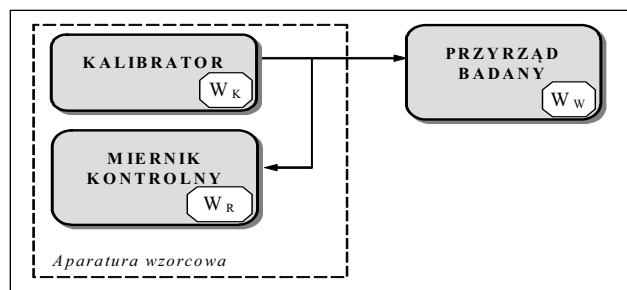
Rys. 1. Układ do sprawdzania przyrządów z zastosowaniem metody kalibratora kontrolnego

Fig.1. Schema of meter testing system with calibrator

Sprawdzanie przyrządów pomiarowych z zastosowaniem metody kalibratora kontrolnego jest wydajne i wygodne do automatyzacji przy sprawdzaniu przyrządów pomiarowych wszystkich wielkości elektrycznych za wyjątkiem liczników energii elektrycznej.

Jednak w niektórych przypadkach, głównie przy niewystarczającej dokładności kalibratora, zestaw aparatury wzorcowej uzupełniany jest o miernik kontrolny odpowiedniej klasy dokładności. W takiej sytuacji stosowana jest metoda miernika kontrolnego, w której kalibrator pełni funkcję precyzyjnego zasilacza pomiarowe-

go. Na rys. 2 przedstawiono układ do sprawdzania przyrządów z zastosowaniem metody miernika kontrolnego, złożony z przyrządu badanego, kalibratora i miernika kontrolnego.



Rys.2. Układ do sprawdzania przyrządów z zastosowaniem metody miernika kontrolnego

Fig.2. Schema of meter testing system with control meter

Sprawdzanie przyrządów pomiarowych z zastosowaniem metody miernika kontrolnego jest, w ogólnym przypadku, bardziej pracochłonne i bardziej trudne do automatyzacji z uwagi na potrzebę obsługi ręcznej czy programowej zamiast jednego urządzenia – kalibratora, dwóch urządzeń – kalibratora i miernika. Wyjątek stanowi zastosowanie metody miernika kontrolnego (metody licznika kontrolnego) do sprawdzania liczników energii elektrycznej – przy sprawdzaniu użytkowych liczników energii metoda ta jest zalecana, a przy sprawdzaniu kontrolnych liczników energii metoda ta jest obligatoryjnie wymagana do stosowania [3]. Metoda licznika kontrolnego jest stosowana w układzie przedstawionym na rys. 2, w którym jako miernik kontrolny jest stosowany licznik kontrolny.

W procesie sprawdzania przyrządu pomiarowego można wyróżnić następujące operacje:

- odtworzenie wartości wielkości mierzonej W_R na podstawie wskazań przyrządu kontrolnego – w większości przypadków czynności te decydują o pracochłonności całego procesu sprawdzania,
- sprawdzenie spełnienia warunku zgodności z wymaganiem klasy miernika.

Opisany proces jest charakterystyczny przy sprawdzaniu coraz bardziej rozpowszechnionych cyfrowych multimetrów (DMM) – przyrządów umożliwiających pomiar napięć i prądów stałych i przemiennych – badania publikowane w [4] wskazują, że już prawie 50% klientów urządzeń kontrolno-pomiarowych deklaruje zakup przenośnego lub stacjonarnego DMM. W czasie sprawdzania multimetrów zachodzi potrzeba zadawania dużej liczby nastaw wartości napięć i prądów i porównywania wskazań badanych przyrządów z zadanymi nastawami. Proces ten jest długotrwały, pracochłonny i monotony, a zatem obciążony dużym ryzykiem popełnienia błędu przez operatora. W celu usprawnienia procesu adjustacji, wzorcowania i sprawdzania mierników oferowane są szeroko zakresowe programowane źródła napięć i prądów stałych i przemiennych zwane kalibratorami uniwersalnymi.

Przy sprawdzaniu cyfrowych multimetrów są stosowane systemy do sprawdzania mierników z zastosowaniem metody kalibratora kontrolnego, przedstawione na rys.1, z uwagi na większą wydajność i łatwiejszą automatyzację procesu sprawdzania – brak konieczności uwzględniania wskazań miernika kontrolnego, co jest wymagane w systemie przedstawionym na rys.2. System pomiarowy odtwarzania napięć i prądów przedstawiony na rys.1, w ogólnym przypadku, jest zestawem wzorcowych narzędzi pomiarowych, których dokładność powinna być przynajmniej trzykrotnie wyższa niż klasa dokładności sprawdzanych mierników [5, 6]. W laboratoriach pomiarowych są sprawdzane mierniki napięć i prądów stałych i przemiennych w szerokim zakresie wartości napięć do tysiąca woltów i prądów do kilkudziesięciu amperów i w

szerokim zakresie klas dokładności od 0,001% (laboratoryjne multimetry cyfrowe) do 1...5% (mierniki analogowe). O koszcie systemu do sprawdzania mierników przedstawionego na rys.1 decyduje koszt systemu pomiarowego odtwarzania napięć i prądów, dlatego duże znaczenie ekonomiczne ma optymalizacja wyboru zestawu wzorcowych narzędzi pomiarowych w celu pokrycia potrzeb sprawdzania wymaganego asortymentu mierników.

W [7, 8] i na rys. 3 przedstawiono trzy zestawy wzorcowych narzędzi pomiarowych do sprawdzania multimetrów różnych klas dokładności:

- kosztowny zestaw kalibratorów różnych klas dokładności złożony z kalibratorów średniej i wysokiej klasy dokładności, który umożliwia racjonalny dobór klasy dokładności kalibratora do klasy sprawdzanego miernika i który jest stosowany w systemach z kalibratorem kontrolnym przedstawionym na rys.4,
- „zestaw” jednego kalibratora wysokiej klasy dokładności stosowanego w systemach z kalibratorem kontrolnym, który jest tańszy od poprzedniego, ale przy sprawdzaniu mierników niskich klas dokładności może mieć niewystarczającą obciążalność wyjścia,
- zestaw kalibratora średniej klasy dokładności i multimetru wysokiej klasy dokładności, który przy sprawdzaniu mierników niskich i średnich klas dokładności pracuje w systemie z kalibratorem kontrolnym (rys.4), a przy sprawdzaniu mierników wysokiej klasy dokładności pracuje w systemie z miernikiem kontrolnym (rys.5). Zestaw ten jest ekonomiczny kosztowo z uwagi na fakt, że cena multimetru jest kilkukrotnie niższa niż cena kalibratora uniwersalnego równorzędnej klasy dokładności [9, 10]

Klasa dokładności sprawdzanych mierników

10	Kalibrator średniej klasy dokładności	Kalibrator wysokiej klasy dokładności	Kalibrator średniej klasy dokładności
1			Kalibrator średniej klasy dokładności
0,1	Kalibrator wysokiej klasy dokładności		Multimetr wysokiej klasy dokładności
0,01			
0,001			
Zestaw kalibratorów różnych klas dokładności		Zestaw jednego kalibratora	Zestaw kalibratora i multimetru
System z kalibratorem kontrolnym		System z kalibratorem kontrolnym	System z kalibratorem kontrolnym i systemem z miernikiem kontrolnym

Rys.3. Zestaw narzędzi pomiarowych do sprawdzania multimetrów różnych klas

Fig.3. Measurement equipment set for wide range of measured multimeters.

Na rys.4 przedstawiono system pomiarowy odtwarzania napięć i prądów z kalibratorem kontrolnym, złożony z komputera, interfejsu kalibratora i kalibratora kontrolnego. System jest zbudowany w oparciu o strukturę otwartą bezpośredniego przetwarzania i charakteryzuje się następującymi właściwościami:

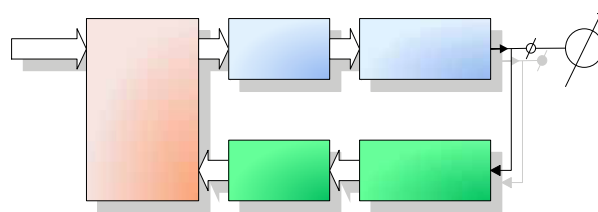
- brakiem strukturalnej i algorytmicznej nadmiarowości,
- dokładnością równą dokładności kalibratora kontrolnego [11],
- właściwościami dynamicznymi opisanymi czasem odpowiedzi kalibratora,
- brakiem problemów wzbudzeń z uwagi na brak sprzężeń zwrotnych.



Rys.4. System z kalibratorem kontrolnym
Fig.4. System with control calibrator.

Na rys.5 przedstawiono system pomiarowy odtwarzania napięć i prądów z miernikiem kontrolnym, złożony z komputera, interfejsu kalibratora, kalibratora, interfejsu miernika i miernika kontrolnego. System jest zbudowany w oparciu o strukturę zamkniętą z miernikiem kontrolnym w torze sprzężenia zwrotnego [11] charakteryzuje się następującymi właściwościami:

- strukturalną nadmiarowością – w strukturze trzeba dodatkowo zastosować interfejs miernika i miernik kontrolny,
- algorytmiczną nadmiarowością – w algorytmie pracy systemu trzeba dodatkowo obsłużyć miernik kontrolny z interfejsem miernika oraz w komputerze dodatkowo wykonywać:
 - funkcję sumatora sygnału nastawy z sygnałem sprzężenia zwrotnego,
 - funkcję regulatora,
 - funkcję modulatora sygnału podawanego na kalibrator,
- dokładnością równą dokładności miernika kontrolnego w przypadku stosowania odpowiednich algorytmów pracy systemu,
- właściwościami dynamicznymi zależnymi od czasu odpowiedzi kalibratora, czasu pomiaru miernika kontrolnego i algorytmu pracy systemu – generalnie właściwości dynamiczne systemu z miernikiem kontrolnym są gorsze niż właściwości dynamiczne systemu z kalibratorem kontrolnym,
- możliwością wzbudzeń charakterystyczną dla systemów zamkniętych.



Rys.5. System z miernikiem kontrolnym

Fig.5. System with control meter.

2. Parametry metrologiczne systemów odtwarzania napięć i prądów

Aby system przedstawiony na rys.5 mógł być stosowany jako system pomiarowy odtwarzania napięć i prądów w systemie przedstawionym na rys.1, powinien charakteryzować się parametrami metrologicznymi takimi, jak parametry kalibratora kontrolnego. W [12] wyspecyfikowano następujące trzy grupy parametrów metrologicznych kalibratorów uniwersalnych:

- „parametry wejścia-wyjścia” opisujące zakres i rozdzielczość nastawianej wielkości oraz dodatkowe właściwości odtwarzanej wielkości, jak zakres i rozdzielczość nastaw częstotliwości, kształt przebiegów czy obciążalność wyjścia,
- „parametry dokładnościowe” opisujące dopuszczalne różnice między wartością wielkości wyjściowej i nastawionej,
- „parametry dynamiczne” opisujące proces przejściowy na wyjściu kalibratora spowodowany określoną zmianą wymuszenia, w szczególności zmianą nastawy.

Niezależnie od sposobu użytkowania kalibratora, jako kalibratora kontrolnego w systemie z kalibratorem kontrolnym (rys.4) lub jako zasilacza pomiarowego w systemie z miernikiem kontrolnym (rys.5), jednakowe wymagania są na następujące parametry kalibratora:

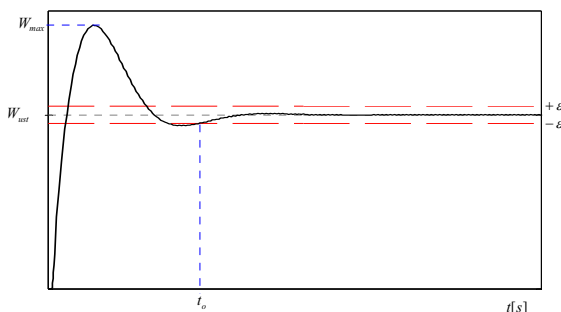
- wszystkie parametry wejścia-wyjścia,
- parametry dokładnościowe takie jak:
 - PARD określany jako wartość skuteczna składowej zmiennej napięć i prądów stałych,
 - szum wysokoczęstotliwościowy,
 - całkowity współczynnik zniekształceń THD napięć i prądów przemiennych,
- wszystkie parametry dynamiczne.

W przypadku stosowania kalibratora jako zasilacza pomiarowego, zdecydowanie niższe wymagania są na następujące *parametry dokładnościowe*:

- błąd podstawowy,
- dryfty krótkoczasowe,
- błędy dodatkowe spowodowane zmianą temperatury otoczenia, napięcia zasilania czy obciążenia.

Aby bardziej ekonomiczny system z miernikiem kontrolnym (rys.5) mógł być zastosowany zamiast systemu z kalibratorem kontrolnym (rys.4) w systemie do sprawdzania mierników (rys.1) jako równorzędny, powinien charakteryzować się równorzędnymi właściwościami statycznymi (jednakowe błędy i dryfty) oraz równorzędnymi właściwościami dynamicznymi (jednakowe czasy odpowiedzi i przeregulowania). Parametry statyczne decydują o możliwości dopuszczenia systemu do sprawdzania przyrządów pomiarowych, natomiast parametry dynamiczne decydują o wydajności procesu sprawdzania przyrządów.

Parametry dynamiczne opisują proces przejściowy na wyjściu systemu pomiarowego odtwarzania napięć i prądów spowodowany określoną zmianą wymuszenia. Rys.6 przedstawia przykładowy proces przejściowy odpowiedzi na wymuszenie w postaci skoku jednostkowego – np. zmiany nastawy.



Rys.6. Parametry dynamiczne procesu przejściowego
Fig.6. Parameters for describing transient process.

Symbolem W_{ust} oznaczono na rysunku wartość ustaloną wskazania WR, a symbolem W_{max} największą (lub najmniejszą) wartość wskazania WR, w czasie trwania procesu przejściowego. Najbardziej rozpowszechnioną charakterystyką dynamiczną kalibratora jest czas odpowiedzi to (1) definiowany, jako przedział czasu od momentu skokowej zmiany wymuszenia do momentu, od którego wartość wielkości wyjściowej różni się od wartości ustalonej nie więcej niż granice dopuszczalnego błędu podstawowego (lub roboczego) ε [1].

$$t_o = \max \{ t : t \in (0, +\infty) \wedge |W - W_{ust}| \geq \varepsilon \} \quad (1)$$

Zmianą wymuszenia, dla której definiowany jest czas odpowiedzi kalibratora jest zmiana nastawy, rzadziej zmiana zakresu czy obciążenia. W celu zapewnienia jednoznacznej interpretacji czasu odpowiedzi, należy określać przedział zmiany wymuszenia - zaleca się zmieniać wymuszenie w granicach znamionowego zakresu użytkowania. Dla zmiany nastawy zakres ten powinien wynosić 10%-100%-10% wartości umownej zakresu. Proces przejściowy na wyjściu kalibratora opisywany jest także przy pomocy tzw. przeregulowania p (2) – jako procentowej miary różnicy między największą (lub najmniejszą) wartością wielkości wyjściowej w czasie procesu przejściowego a ustaloną wartością wielkości wyjściowej.

$$p = \left(\frac{W_{max}}{W_{ust}} - 1 \right) * 100\% \quad (2)$$

Parametr określający przeregulowanie jest jednym z wyznaczników determinujących stabilność układu. W przypadku, gdy wartość parametru przeregulowania wg wzoru (2) osiągnie wartość

0
0

większą od 0% oznacza to, że w układzie wystąpiły oscylacje, natomiast wartość równa 0% oznacza, że w układzie nie występują oscylacje. Im parametr ten jest bliższy zeru tym bardziej korzystny jest układ. W badaniach będących częścią przygotowań do rozprawy doktorskiej jako maksymalną dopuszczalną wartość parametru przeregulowania przyjęto 50%. Przy sprawdzaniu mierników często zachodzi potrzeba tzw. dojścia do działki od odpowiedniej strony, więc przeregulowanie powinno być wtedy równe 0%.

3. Podsumowanie

Przedstawione dwa alternatywne modele systemów pomiarowych mogą być równorzędne pod względem dokładności. Używanie wysokiej dokładności w systemie z miernikiem kontrolnym zapewnić może odpowiednie oprogramowanie komputera sterującego, w którym szczególną uwagę należy zwrócić na algorytm pracy podsystemu odtwarzania napięć i prądów. Autor w swojej rozprawie doktorskiej podejmuje problemy określenia optymalnych parametrów algorytmów pracy tych systemów w celu uzyskania dokładności systemu wyższej od dokładności zastosowanego kalibratora.

4. Literatura

- [1] Dąbrowski R.: *Opracowanie i analiza komputerowego systemu odtwarzania napięć i prądów*. Rozprawa doktorska. Zielona Góra, 2006.
- [2] *Prawo o miarach*. Ustawa z dnia 27 maja 2004. Dz. U. z 2004 r. Nr 141, poz.1493. (www.ks.sejm.gov.pl)
- [3] Zarządzenie Nr 5 Prezesa GUM z dnia 6 lutego 1995 r. w sprawie wprowadzenia instrukcji sprawdzania użytkowych i kontrolnych liczników energii elektrycznej prądu przemiennego. Dziennik Urzędowy Miar i Probiernictwa Nr 2, Warszawa, 1995
- [4] *Test and measurement in Europe: EPN Survey Results*. EPN Nr9, Sept.2001
- [5] *Expression of the performance of electrical and electronic measuring equipment*. IEC 60359.
- [6] *Elektroniczne przyrządy pomiarowe. Określanie parametrów. Badania*. PN-85/T-06500/04. [7] Szymkiewicz J.: *Mikroprocesorowy układ sterowania kalibratora SQ10*. V Krajowa Konferencja „Zastosowanie Mikroprocesorów w Automatyce i Pomiarach”. Warszawa, 1986.
- [7] Olencki A.: *Filozofia testowania mierników napięć i prądów – sztuka budowy rodziny kalibratorów uniwersalnych*. PAK 9/1998, s.358-361.
- [8] Oldham N., Parker M., Young A., Smith A.: *A High-Accuracy 10Hz-1MHz Automatic AC Voltage Calibration System*. IEEE Transactions on Instrumentation and measurement, vol.IM-36, No4, 1987, s.883-887.
- [9] 6 ½ - Digit Prazisions – *Multimetr HM8112-3*. Produkcie 2004, Hameg Instruments, 2004.
- [10] Olędzki J.: *Multimetry – stan dzisiejszy i rozwój*. V Sympozjum Klubu Polskie Forum ISO 9000 "Metrologia w systemach jakości", Mikołajki 1997, tom2 str.E/29...38.
- [11] Dąbrowski R., Olencki A.: *Analiza modelu systemu pomiarowego odtwarzania napięć i prądów do sprawdzania mierników*. X Sympozium „Modelowanie i Symulacja Systemów Pomiarowych”. Krynica Górská, 2000.
- [12] Szymkiewicz J., Urbański K.: *Parametry metrologiczne kalibratorów uniwersalnych*. XXIX MKM'97. Materiały konferencyjne tom2, Nałęczów, 1997, s.537-542.
- [13] Olencki A., Urbański K.: *Kalibratory napięcia i prądu. Ogólne wymagania i badania*. Norma Zakładowa ZN-86/MERA-005/323. Lumel, Zielona Góra, 1986.

Title: Metrological parameters of meter testing systems with control calibrator and control meter.

Artykuł recenzowany