

WZORCOWANIE PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH

1. CEL ĆWICZENIA

Ćwiczenie ma na celu zapoznanie się z procedurą wzorcowania wybranych przyrządów do pomiaru podstawowych wielkości elektrycznych. Szczególną uwagę przywiązano do wzorcowania multimetru cyfrowego będącego obecnie najbardziej popularnym i wszechstronnym przyrządem do pomiarów wielkości elektrycznych.

2. WPROWADZENIE

Zapewnienie wiarygodności wskazań dowolnego narzędzia pomiarowego wymaga porównania wyników pomiarów wykonanych tym przyrządem z pewną wartością wzorcową. Wartością wzorcową może być np. wartość odczytana z przyrządu o odpowiednio większej dokładności. Takie porównania (lub też odniesienia) dokonywane są na różnych szczeblach dokładności (niepewności), poczynając od najmniej dokładnych przyrządów użytkowych, przez przyrządy o dużej dokładności, aż po wzorce utrzymywane w laboratoriach akredytowanych i Krajowych Instytutach Metrologicznych¹. Porównania te służą zachowaniu tzw. spójności pomiarowej. Podstawą zapewnienia spójności pomiarowej jest wzorcowanie urządzenia pomiarowego przez kompetentne organizacje (takie jak Krajowe Instytuty Metrologiczne, Instytuty Desygnowane czy akredytowane laboratoria wzorcujące).

Wzorcowanie (lub kalibracja) to proces porównania wartości wielkości zmierzonej przez badany przyrząd (lub obiekt, np. wzorzec) z wartością wzorcową o odpowiedniej dokładności. Międzynarodowy słownik metrologiczny definiuje też wzorcowanie jako działanie, które w określonych warunkach, ustala zależność pomiędzy odwzorowywanymi przez wzorzec pomiarowy wartościami wielkości wraz z ich niepewnościami pomiaru, a odpowiadającymi im wskazaniami obiektu badanego wraz z ich niepewnościami. Wzorcowania nie należy mylić z adiustacją układu pomiarowego, potocznie nazywaną „samowzorcowaniem” (*ang. self-calibration, auto-calibration*). Funkcja taka jest czynnością realizowaną programowo i obecnie jest dostępna w wielu przyrządach pomiarowych.

Adiustacja (z *ang. adjust- dostroić, doregulować*) to zbiór czynności wykonanych przy układzie pomiarowym zapewniających, że wartościom wielkości, które mają być mierzone, odpowiadają prawidłowe wskazania. Wśród typów adiustacji układu pomiarowego wymienić należy: adiustację zera układu pomiarowego, adiustację przesunięcia i adiustację zakresu (czasem zwaną adiustacją wzmocnienia).

Wzorcowania nie należy mylić również z legalizacją. **Legalizacja** przyrządu pomiarowego to zespół czynności obejmujących sprawdzenie, stwierdzenie i poświadczenie dowodem legalizacji, że przyrząd spełnia wymagania. Po wykonaniu tych czynności następuje naniesienie tzw. cechy legalizacyjnej albo wydanie świadectwa legalizacji. Legalizacji podlegają tylko wybrane grupy wyposażenia pomiarowego używane m.in. w obrocie publicznym do wyznaczania ilości oraz jakości rzeczy lub usług w celu

¹ Krajowy Instytut Metrologiczny (*ang. NMI – National Metrology Institute*) to instytut utrzymujący wzorce państwowe różnych wielkości fizycznych. W Polsce taką instytucją jest Główny Urząd Miar w Warszawie

uzyskania prawidłowej podstawy do rozliczeń (np. wodomierz, gazomierz, taksometr, licznik energii).

Potwierdzeniem przeprowadzonego wzorcowania jest świadectwo wzorcowania. Świadectwa wzorcowania wydawane przez akredytowane laboratoria wzorcujące są dowodem zachowania spójności pomiarowej pod warunkiem, że wzorcowane urządzenia pomiarowe i wielkości zawarte są w zakresie akredytacji. Świadectwa wzorcowania wydane przez NMI są wystarczającym potwierdzeniem spójności pomiarowej [1]. Wiele laboratoriów i zakładów wykonuje tzw. wzorcowanie wewnętrzne, czyli takie w którym wykorzystuje się własne wzorce odniesienia. Dla wzorcowań wewnętrznych akredytacja nie jest konieczna. Podstawą spójności pomiarowej w takim przypadku jest wzorcowanie własnych wzorców pomiarowych odniesienia w laboratoriach akredytowanych lub Krajowych Instytutach Metrologicznych.

Obowiązek okresowego sprawdzania przyrządów pomiarowych ciąży na użytkowniku. Częstotliwość (tzw. czasookres) wzorcowania jest ustalana przez użytkownika i zależy od rodzaju przyrządu pomiarowego, jego przeznaczenia i warunków pracy. Dla przyrządów podlegających legalizacji czasookresy regulują przepisy krajowe. Dokumenty sprawdzania tracą swoją ważność w momencie zauważenia nieprawidłowej pracy przyrządu pomiarowego.

3. SPRAWDZANIE PRZYRZĄDÓW ANALOGOWYCH

Cechą charakteryzującą analogowe przyrządy do pomiaru napięcia i prądu (mierniki napięcia i prądu, mierniki uniwersalne, multimetry) jest ciągłość wskazania w funkcji wartości wielkości mierzonej. Konstrukcja takich mierników zgodnie z przepisami metrologicznymi powinna spełniać szereg wymagań szczegółowo opisanych w [2]. Ważniejsze z tych wymagań to:

- ze względu na zasadę działania mierniki powinny być wykonane jako magnetoelektryczne, magnetoelektryczne prostownikowe, elektromagnetyczne, elektrodynamiczne, lub elektrostatyczne,
- wskazanie miernika uzyskuje się za pomocą podziałki i wskazówki, która powinna poruszać się płynnie zarówno przy zwiększaniu, jak i przy zmniejszaniu wartości wielkości mierzonej,
- elementy regulacyjne i przełączające powinny umożliwiać niezawodne wybranie funkcji i zakresu pomiarowego, a zastosowane złącza, gniazda i zaciski pozwalać na dołączenie typowych przewodów,
- elementy służące do adiustacji powinny być niedostępne po naniesieniu cech zabezpieczających,
- oznaczenie miernika powinno być trwałe, czytelne i zawierać co najmniej : nazwę i typ miernika, klasę dokładności, symbole wielkości mierzonych, nazwę i symbol wytwórcy, numer fabryczny, napisy i symbole graficzne identyfikujące elementy służące do obsługi, oznaczenia i symbole ostrzegawcze.

Klasa dokładności miernika powinna być dobrana z następującego szeregu: 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3 i 5. Przyrządy uniwersalne i multimetry mogą mieć różne klasy dla różnych zakresów lub funkcji.

Podstawowy błąd względny miernika analogowego δ definiuje się wg zależności:

$$\delta = \frac{(W_w - W_r)}{W_m} \quad (1)$$

gdzie:

W_w - wartość wskazywana wielkości mierzonej,

W_r - wartość rzeczywista wielkości mierzonej (na podstawie miernika stosowanego do sprawdzania lub wartości ustalonej kalibratorem),

W_m - górna granica zakresu pomiarowego.

Dla sprawnego miernika powinien być spełniony warunek:

$$|\delta| \leq k \quad (2)$$

gdzie k oznacza klasę dokładności miernika.

Zastosowana do sprawdzania miernika metoda pomiarowa i stosowane do sprawdzania przyrządy pomiarowe powinny zapewniać co najmniej trzykrotnie mniejszą niepewnością wyniku pomiaru w stosunku do błędu podstawowego sprawdzanego miernika. Za źródła niepewności pomiaru uważa się: błąd podstawowy przyrządu pomiarowego, stosowanego do sprawdzania i niepowtarzalność wyników pomiaru. Rozdzielczość wskazań przyrządu pomiarowego (wzorcowego), stosowanego do sprawdzania, powinna być co najmniej pięciokrotnie lepsza od rozdzielczości miernika sprawdzanego.

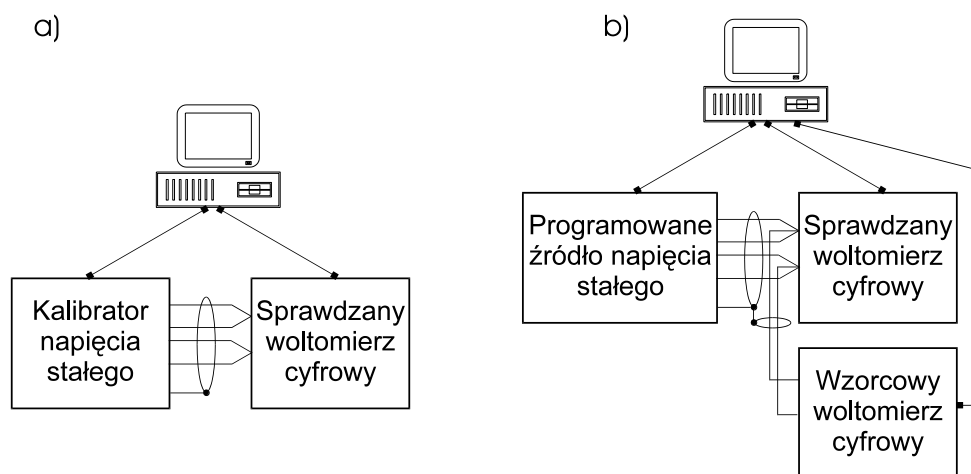
Błędy przyrządów analogowych należy wyznaczyć dla wartości wielkości mierzonych odpowiadających ocyfrowanym kreskom podziałki we wszystkich zakresach pomiarowych. Zaleca się sprawdzanie mierników w temperaturze $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ i przy wilgotności $(40 \div 60)\%$, odpowiednio prądem lub napięciem stałym lub sinusoidalnie przemiennym o wartości napięcia nie przekraczającej 1 kV. Szczegółowe wymagania odnośnie napięcia zasilającego (t.j. niestabilność, tętnienia przy napięciu stałym, zmiany częstotliwości) podano w [2].

4. WZORCOWANIE MULTIMETRÓW CYFROWYCH

4.1. Sposób postępowania

Pierwszym etapem przed przystąpieniem do wzorcowania multimetru jest sprawdzenie czy przyrząd nie ma widocznych uszkodzeń, a także sprawdzenie działania przełącznika zakresów i wyświetlacza. W przypadku stwierdzenia nieprawidłowości, należy odstąpić od dalszego sprawdzania przyrządu. Wzorcowanie polega na wyznaczeniu błędów podstawowych przyrządu. Zaleca się przeprowadzić sprawdzenie w temperaturze $(23 \pm 1)^\circ\text{C}$ i przy wilgotności $(45 \div 75)\%$ [3]. Metodę pomiaru błędów podstawowych oraz zastosowane przyrządy należy tak dobrać, aby niepewność rozszerzona pomiaru była co najmniej trzykrotnie mniejsza od błędu podstawowego przyrządu sprawdzanego. Niepewność pomiaru błędów podstawowych zdeterminowana jest przede wszystkim niepewnością przyrządu wzorcowego (jest to niepewność typu B) oraz powtarzalnością wyników pomiaru (niepewność typu A). Rozdzielczość wskazań przyrządów pomiarowych służących do sprawdzania powinno być co najmniej pięciokrotnie lepsza od rozdzielczości przyrządu sprawdzanego. Współcześnie najczęściej stosowanym przyrządem wzorcowym do sprawdzania multimetrów jest tzw. **kalibrator** wielofunkcyjny. Kalibratory wytwarzają wzorcowe napięcie i prąd stały i przemienny oraz wzorcową rezystancję. Starsze konstrukcje posiadały tylko jedną funkcję (np. kalibratory napięcia stałego wytwarzały tylko wzorcowe napięcie stałe).

Pomiar błędów podstawowych cyfrowego woltomierza napięcia stałego może być zrealizowany w układzie przedstawionym na rys. 1a. W razie braku kalibratora można zastosować układ z rys.1b. Programowane źródło napięcia stałego powinno charakteryzować się odpowiednio dużą stabilnością krótkoterminową napięcia wyjściowego.



Rys. 1 Schemat układu do wyznaczenia błędów podstawowych woltomierza napięcia stałego
a) z wykorzystaniem kalibratora napięcia stałego (zalecane), b) z wykorzystaniem woltomierza wzorcowego

Jeśli w instrukcji przyrządu pomiarowego nie określono inaczej, należy włączyć zasilanie przyrządu przynajmniej 0,5 godziny przed pomiarem błędów podstawowych (np. niektóre wysokiej klasy multimetry należy włączyć do sieci 4 godziny przed pomiarem).

Błędy podstawowe przyrządu wyznacza się w określonych punktach kontrolnych, nastawianych na wyświetlaczu przyrządu sprawdzanego. Błąd podstawowy jest różnicą między nastawą urządzenia wskazującego a nastawą przyrządu wzorcowego (np. kalibratora). Jeśli sprawdzany przyrząd oraz aparatura zastosowana do jego sprawdzania są przyrządami programowanymi, to zaleca się zbudowanie i oprogramowanie systemu pomiarowego, który umożliwia zautomatyzowanie procedury wyznaczenia błędów podstawowych.

W zależności od możliwości przyrządu wzorcowanego i od wymagań klienta możliwe są trzy następujące sposoby postępowania przy wzorcowaniu multimetrów:

- 1) wzorcowanie wstępne przed adiustacją → adiustacja → wzorcowanie końcowe,
- 2) adiustacja → wzorcowanie,
- 3) samo wzorcowanie.

W wielu sytuacjach praktycznych laboratorium wzorcuje nie ma możliwości wykonania adiustacji sprawdzanego multimetru zatem możliwy jest tylko wariant nr 3.

4.2. Punkty pomiarowe

Zgodnie z zaleceniami europejskiej organizacji metrologicznej EURAMET błędy podstawowe multimetrów wyznacza się dla następujących nastaw (czyli punktów pomiarowych): [4]:

Tabela 1. Punkty pomiarowe dla multimetrów o rozdzielczości poniżej 4 i $\frac{3}{4}$ cyfry (maksymalna wartość na wyświetlaczu równa 39 999)

Funkcja multimetru	Punkty pomiarowe (jako procent zakresu)
Napięcie stałe (DCV)	• 0 (tylko na najmniejszym zakresie) • +10%, $\pm 90\%$ (wszystkie zakresy) • +10%, +50%, $\pm 90\%$ — dla jednego środkowego zakresu
Prąd stały (DCI)	• 0 (tylko na najmniejszym zakresie) • +10%, +90% (wszystkie zakresy) • +10%, +50%*, $\pm 90\%$ — dla jednego środkowego zakresu * +50% tylko dla zakresów >1 A
Rezystancja (Ω)	• 0 (tylko na najmniejszym zakresie) • +10%, +90% (wszystkie zakresy)
Napięcie AC (AC lub AC+DC)	• 10% — 50 Hz lub 1 kHz (najmniejszy zakres) • 10%, 50%, 90% — dla jednego środkowego zakresu • 90% — 20 Hz, 50 Hz, 1 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz (dla wszystkich zakresów)
Prąd AC	• 10% — 50 Hz lub 1 kHz (najmniejszy zakres) • 90% — 20 Hz, 50 Hz, 1 kHz, 5 kHz (wszystkie zakresy)
Inne wielkości (np. częstotliwość, pojemność)	• 0 (tylko najmniejszy zakres) • 10%, 90% (wszystkie zakresy)

Tabela 2. Punkty pomiarowe dla multimetrów o rozdzielczości powyżej 4 i $\frac{3}{4}$ cyfry

Funkcja multimetru	Punkty pomiarowe (jako procent zakresu)
Napięcie stałe (DCV)	• 0 (na najmniejszym zakresie) • +10%, $\pm 90\%$ (wszystkie zakresy) • $\pm 10\%$, +50%, $\pm 90\%$ — dla jednego środkowego zakresu
Prąd stały (DCI)	• 0 (najmniejszy zakres) • +90% (wszystkie zakresy) • +10%, +50%*, $\pm 90\%$ — dla jednego środkowego zakresu * +50% tylko >1 A
Rezystancja (Ω)	• 0 (najmniejszy zakres) • +10%, +90% (wszystkie zakresy)

Napięcie AC (AC lub AC+DC)	• 10% — 50 Hz lub 1 kHz na najmniejszym zakresie • 10%, 50%, 90% — 50 Hz i 1 kHz — dla jednego środkowego zakresu • 90% — 20 Hz, 50 Hz, 1 kHz, 20 kHz, 50 kHz, 100 kHz (dla wszystkich zakresów)
Prąd AC	• 10% — 50 Hz lub 1 kHz (najmniejszy zakres) • 90% — 20 Hz, 50 Hz, 1 kHz, 5 kHz (wszystkie zakresy)
Inne wielkości (np. częstotliwość, pojemność)	• 0 (najmniejszy zakres) • 10%, 90% (wszystkie zakresy)

4.3. Błędy graniczne przyrządu sprawdzanego i niepewność wzorcowania

Granice dopuszczalne błędów podstawowych δ_{dop} przyrządów z odczytem cyfrowym (kalibratorów napięcia, prądu, mocy i rezystancji, multimetrów oraz mierników napięcia, prądu i mocy) wyraża się w jednej z następujących postaci:

- $\pm (A \% \text{ wartości wskazanej} + B \% \text{ górnej granicy podzakresu pomiarowego} + C)$
- $\pm (A \% \text{ wartości wskazanej} + B \% \text{ górnej granicy podzakresu pomiarowego})$
- $\pm (A \% \text{ wartości wskazanej} + C)$

Liczby A i B powinny mieć postać $a \cdot 10^n$, gdzie:

a - jedna z liczb 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,9; 2; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,7; 2,8; 3; 3,4; 3,5; 4; 5; 5,5; 6; 7; 8; 9,

n - liczba naturalna.

Liczba C jest cyfrą, liczbą działek elementarnych wyrażonych w jednostkach miar wielkości mierzonych.

Błędy podstawowe przyrządów pomiarowych nie powinny przekraczać granic dopuszczalnych podanych w instrukcji obsługi. Jeśli warunek ten nie jest spełniony, należy dokonać lub zlecić dokonanie adiustacji.

Niepewność pomiarowa powinna być oszacowana dla każdego punktu pomiarowego zgodnie z ogólnymi zasadami szacowania niepewności pomiaru [5-7]. Zdeterminowana jest on przede wszystkim niepewnością przyrządu wzorcowego (jest to niepewność typu B) oraz powtarzalnością wyników pomiaru (niepewność typu A).

4.4. Świadczenie wzorcowania

Laboratorium wykonujące wzorcowanie sporządza i wydaje klientowi świadectwo wzorcowania. Na świadectwie powinny znajdować się następujące informacje [8]:

- 1) nagłówek, czyli nazwa świadectwa wraz z numerem identyfikującym,
- 2) nazwa i adres laboratorium wykonującego wzorcowanie,
- 3) dane przyrządu sprawdzanego: nazwa, typ, producent, numer fabryczny, zakresy pomiarowe, właściciel (np. multimetr cyfrowy V542.1 produkcji ZEAP)

MERATRONIK, nr fabr. 3045, o zakresach pomiarowych od 100 mV do 1000 V, zgłoszony przez Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej),

- 4) warunki środowiskowe występujące w czasie wykonania wzorcowania (np. temperatura, wilgotność),
- 5) data wykonania wzorcowania
- 6) metoda wzorcowania (np. wskazanie normy, procedury lub instrukcji opisującej sposób wzorcowania),
- 7) informacje o spójności pomiarowej, np. wskazanie własnego wzorca i jego wzorca odniesienia,
- 8) wyniki wzorcowania wraz z jednostkami,
- 9) niepewność wzorcowania,
- 10) podpis osoby dokonującej sprawdzenia.

Wzór świadectwa wzorcowania wydawanego przez akredytowane laboratorium wzorcujące można znaleźć na stronie Polskiego Centrum Akredytacji.

Zaleca się zamieszczać wyniki wzorcowania w formie tabelarycznej. W tabelach dla każdego punktu kontrolnego powinna być zamieszczona wartość wielkości mierzonej W_w wskazana przez przyrząd pomiarowy sprawdzany, odpowiadająca jej wartość rzeczywista W_r wielkości mierzonej, określona na podstawie wskazań przyrządu wzorcowego, błąd bezwzględny $W_w - W_r$, oraz granice dopuszczalne błędów podstawowych δ_{dop} obliczone w sposób podany w punkcie 4.3. Fragment przykładowej tabeli dla podzakresu 10 V podano w Tabeli 3.

Tabela 3. Przykładowa tabela z wynikami pomiaru błędów podstawowych woltomierza napięcia stałego

Podzakres 10 V			
W_w	W_r	$W_w - W_r$	$ \Delta $
V	V	V	V
1,0000	1,00017	-0,00017	0,00031
-1,0000	-1,00025	0,00025	0,00031
5,0000	5,00016	-0,00016	0,00065
9,0000	9,00036	-0,00036	0,00120
-9,0000	-9,00047	0,00047	0,00120

5. STANOWISKO LABORATORYJNE

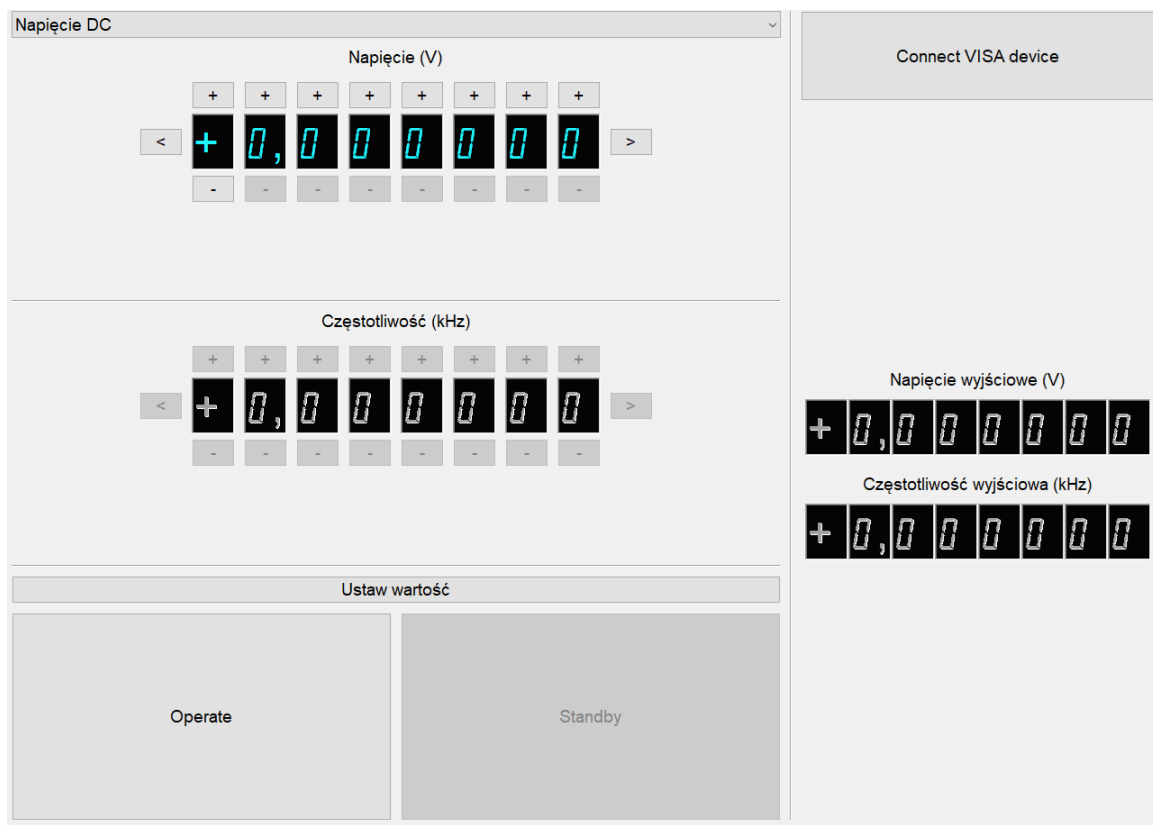
Stanowisko laboratoryjne wyposażone jest w kalibrator napięcia i prądu Fluke 5500A (rys. 1). Stanowisko przystosowane jest zatem do sprawdzania woltomierzy oraz amperomierzy analogowych i cyfrowych napięcia stałego i przemiennego w zakresie od 0 do 1000 V oraz od 0 do 10 A. Kalibrator posiada również funkcję nastawy rezystancji obciążenia do sprawdzania omomierzy.



Rys. 1 Panel sterowania kalibratora

Kalibrator Fluke 5500A połączony jest interfejsem GPIB z komputerem. Za sterownię kalibratorem odpowiada wirtualny przyrząd utworzony w języku programowania Python.

W pierwszej kolejności należy włączyć kalibrator, a jego nastawy napięć ustawić w pozycjach zero. Kalibrator posiada automatyczny dobór zakresu, zależny od wartości nastawianej wielkości. Następnie należy podłączyć do zacisków kalibratora woltomierz lub amperomierz napięcia stałego lub przemiennego. W programie do obsługi kalibratora należy wybrać przycisk połączenia automatycznego za pomocą GPIB (przycisk „Connect VISA device na rys. 2). Od tego momentu kalibrator, który połączony jest interfejsem GPIB z komputerem, jest przygotowany do odbioru sygnałów sterujących z komputera, co potwierdza komunikat: „Remote control” na prawym wyświetlaczu kalibratora.



Rys. 2 Widok programu sterującego

W celu ustawienia kalibratora należy wykonać kolejno następujące po sobie czynności:

- 1) Podłączyć kalibrowany przyrząd oraz ustawić właściwy zakres pomiarowy.
- 2) Z rozwijanego menu w górnej części ekranu wybrać odpowiedni tryb pracy kalibratora: **Napięcie DC**, **Napięcie AC**, **Prąd DC** lub **Prąd AC**.
- 3) Ustawić żadaną wartość sygnału korzystając z przycisków „+” i „-”; położenie przecinka można zmieniać przy użyciu strzałek **w lewo i w prawo**. W przypadku napięć i prądów przemiennych należy dodatkowo ustawić **częstotliwość**.
- 4) Wysłać ustawione parametry do kalibratora, klikając przycisk „**Ustaw wartość**”.
- 5) Sprawdzić na wyświetlaczu kalibratora, czy została poprawnie wyświetlona wartość oraz tryb pracy. Należy zwrócić szczególną uwagę na **położenie przecinka i jednostkę**.
- 6) Jeżeli wyświetlane wartości są poprawne, włączyć wyjście kalibratora przyciskiem „**Operate**”.
- 7) Przed zmianą ustawionej wartości lub odłączeniem kalibrowanego przyrządu wyłączyć wyjście kalibratora, naciskając „**Standby**”.

6. PROGRAM ĆWICZENIA

Uwaga: Ze względów bezpieczeństwa, maksymalne nastawiane napięcie wyjściowe kalibratora zostało ograniczone do 50 V, a prąd do 20 mA.

1. Zapoznać się z dokumentacją sprawdzanych przyrządów i kalibratora Fluke 5500A.
2. Dokonać oględzin zewnętrznych oraz sprawdzenia wstępnego przyrządów wskazanych przez prowadzącego ćwiczenie. Zwrócić uwagę na zakresy pomiarowe poszczególnych przyrządów.
3. Połączyć układ pomiarowy do sprawdzenia zakresów stałonapięciowych multimetrów wskazanych przez Prowadzącego ćwiczenie. W tym celu należy wykorzystać wyjścia NORMAL oraz LO kalibratora.
4. Dokonać pomiaru błędów podstawowych sprawdzanych przyrządów.
5. Pkt. 3-4 powtórzyć dla pomiarów zmiennonapięciowych. W tym celu należy wykorzystać wyjścia NORMAL oraz LO kalibratora.
6. Pkt. 3-4 powtórzyć dla pomiarów stałoprądowych. W tym celu należy wykorzystać wyjścia AUX oraz LO kalibratora.
7. Pkt. 3-4 powtórzyć dla pomiarów zmiennoprądowych. W tym celu należy wykorzystać wyjścia AUX oraz LO kalibratora.

7. PYTANIA KONTROLNE

1. Zdefiniować pojęcia: wzorcowanie, adjustacja, legalizacja
2. Opisać metodę sprawdzania wybranego przyrządu analogowego.
3. Opisać metodę wzorcowania multimetru.
4. Jakie są kryteria doboru przyrządu wzorcowego do sprawdzania przyrządów analogowych i cyfrowych?
5. Jak ocenić zgodność przyrządu wzorcowanego z wymaganiami metrologicznymi?

8. LITERATURA

- [1] DA 06 – Polityka dotycząca zapewnienia spójności pomiarowej, PCA, wyd. 5, Warszawa, 2015.
- [2] Zarządzenie nr 155 Prezesa Głównego Urzędu Miar z dnia 9.10 1996 w sprawie wprowadzenia instrukcji sprawdzania mierników napięcia, prądu i mocy – analogowych oraz mierników uniwersalnych i multimetrów – analogowych (D.U.M i P nr 26/1996).
- [3] Zarządzenie nr 157 Prezesa Głównego Urzędu Miar z dnia 9.10 1996 w sprawie wprowadzenia instrukcji sprawdzania kalibratorów napięcia, prądu, mocy i oporu, mierników napięcia, prądu i mocy –cyfrowych, multimetrów –cyfrowych oraz mostków RLC (D.U.M i P nr 26/1996).
- [4] Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters, EURAMET cg-15 ver. 3.0, 2015.
- [5] JCGM series on Evaluation of measurement data, or ISO Guide 98 series, in particular GUM: - JCGM 100:2008, Evaluation of measurement data – Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections) - ISO/IEC 98-3:2008, Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995).
- [6] EA 4/02 M:2013, Expressions of the Uncertainty of Measurements in Calibration, September, 2013.
- [7] Wyrażanie niepewności pomiaru – Przewodnik. Główny Urząd Miar 1999.
- [8] ISO/IEC 17025.

Opracował: dr hab. inż. Krzysztof Musioł
dr inż. Krzysztof Kubiczek
v.2 / III 2026