

*Daniel BELICA, Jarosław MARKIEWICZ, Piotr NOWAKOWSKI, Adam SZMYTKIEWICZ, Marcin TYLKOWSKI, Andrzej OLENCKI*  
*Calmet Spółka z o.o.*

## **AUTOMATYZACJA WZORCOWANIA Z ZASTOSOWANIEM MULTI-PRODUKTOWEGO KALIBRATORA I TESTERA**

Zaprezentowano koncepcję automatyzacji wzorcowania przyrządów pomiarowych wielkości elektrycznych z zastosowaniem multi-produktowego kalibratora z automatycznym odczytem i zapisem wskazań wzorcowanego przyrządu oraz wyliczaniem wartości średniej błędu i rozszerzonej niepewności pomiaru.

### **AUTOMATION OF CALIBRATION USING MULTI-PRODUCT CALIBRATOR AND TESTER**

The concept of automating the calibration of measuring instruments for electrical quantities using a multi-product calibrator with automatic reading and recording of the calibrated device's readings and calculating the average value of the error and expanded measurement uncertainty was presented.

## **1. WZORCOWANIE PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH WIELKOŚCI ELEKTRYCZNYCH**

W procesie wzorcowania przyrządów pomiarowych wielkości elektrycznych ustalana jest relacja między wskazaniami wzorcowanego przyrządu pomiarowego (DUT) a wskazaniami wzorca. Wynik wzorcowania podawany jest jako wartość średnia błędu z różnicy wskazań DUT i wzorca, z  $n=10$  powtarzanych pomiarów w danej serii dla każdego punktu pomiarowego. Ustalona wartość błędu podawana jest wraz z rozszerzoną niepewnością pomiaru, która uwzględnia niepewność typu A związaną z niepowtarzalnością cząstkowych wyników pomiaru oraz niepewność typu B związaną z wpływami systematycznymi.

Zatem w procesie wzorcowania należy realizować następujące zadania:

- Zadawać wskazania wzorca odpowiednie dla danego punktu pomiarowego, z zapewnieniem warunków wymaganej dokładności wskazań wzorca,
- Odczytywać i zapisywać wskazania DUT,
- Wyliczać wartość średnią błędu i wartość rozszerzonej niepewności pomiaru celem zapisu ich w wystawianych świadectwach wzorcowania.

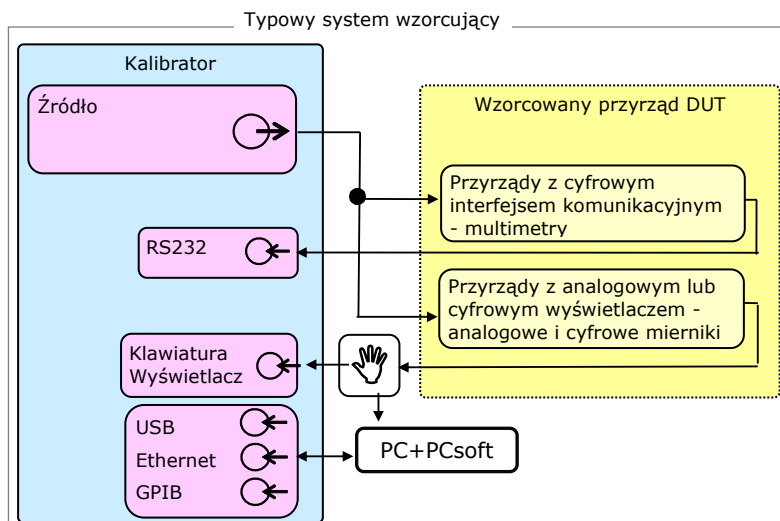
Naturalnym trendem w działalności laboratoriów wzorcujących jest dążenie do zwiększenia produktywności wzorcowania przez wykorzystanie nowoczesnych technologii:

- Stosowanie uniwersalnych wzorców, które umożliwiają wzorcowanie szerokiego asortymentu przyrządów pomiarowych [1, 2, 3],
- Automatyzację odczytu i zapisu wskazań wzorcowanych przyrządów i wyliczania wyniku wzorcowania [4, 5, 6].

## **2. MULTI-PRODUKTOWE KALIBRATORY**

Asortyment wzorcowanych przyrządów, w pierwszej kolejności, zależy od asortymentu odtwarzanych wielkości elektrycznych przez źródło kalibratora (rys.1). Pierwsze uniwersalne wzorce pojawiły się w końcu lat 70-tych (5100 Fluke, GA1 Lumel) i przyjęły nazwę Multifunkcyjny Kalibrator (Multifunction Calibrator) z racji możliwości odtwarzania napięć i prądów stałych i

przebiegniętych przez jeden wzorzec. Kilkanaście lat temu pojawiły się jeszcze bardziej uniwersalne wzorce (5502A, 5522A i 5080A Fluke, 5025C Time Electronics, M142 Meatest), które dodatkowo odtwarzają, równocześnie na dwóch wyjściach, napięcia i prądy z nastawianym kątem przesunięcia fazowego, pełniąc tym samym dodatkową funkcję kalibratora mocy prądu stałego i przemiennego. Kalibratory te przyjęły nazwę Multi-Produktowy Kalibrator (Multi-Product Calibrator) z racji możliwości wzorcowania przyrządów pomiarowych napięcia i prądu stałego i przemiennego czy rezystancji, ale i mierników mocy, liczników energii, analizatorów harmoniczných i oscyloskopów.



Rys. 1. Typowy system wzorcujący  
Fig. 1. Typical calibration system

Aktualnie obserwowany jest intensywny rozwój w grupie Multi-Produktowych Kalibratorów [1, 2, 3, 7], które są stosowane w typowych systemach wzorcujących (rys.1). W systemie tym możliwe jest automatyczne wzorcowanie przyrządów z cyfrowym interfejsem komunikacyjnym jak multimetry, ale tylko tych typów, które są zainstalowane w specjalistycznym programie komputerowym, np. MET/CAL Fluke. Warunkiem automatycznego wzorcowania przyrządów jest posiadanie przez nie interfejsu komunikacyjnego umożliwiającego odczytywanie wskazań DUT.

Wzorcowanie pozostałych przyrządów wymaga ręcznego odczytu i zapisywania wskazań DUT z wykorzystaniem klawiatury i wyświetlacza komputera lub kalibratora, co jest najbardziej pracochłonnym etapem całego procesu wzorcowania, nawet przy wykorzystaniu programu MET/CAL.

### 3. AUTOMATYZACJA ODCZYTU WSKAZAŃ WZORCOWANEGO PRZYRZĄDU

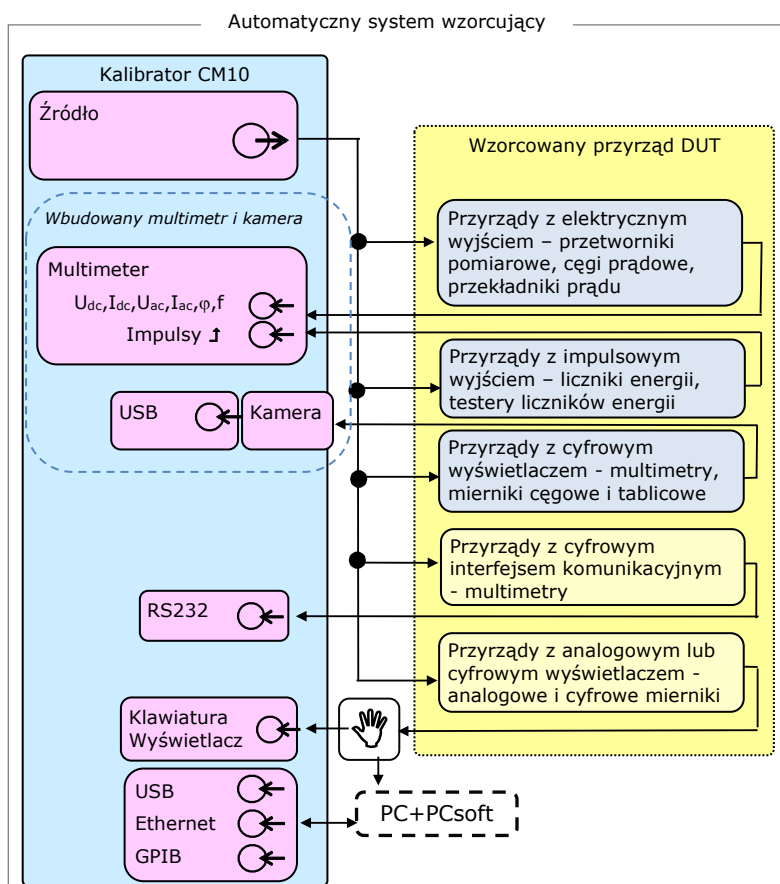
Na rys.2 przedstawiono automatyczny multi-produktowy system wzorcujący, w którym do typowego systemu wzorcującego (rys.1) wbudowano multimetr i kamerę, co pozwala na realizację automatycznego odczytu i zapisu wskazań szerokiego asortymentu wzorcowanych przyrządów nie wyposażonych w cyfrowe interfejsy komunikacyjne.

Wbudowany multimetr umożliwia automatyczne wzorcowanie takich przyrządów, jak:

- ✓ Przetworniki pomiarowe z wyjściem elektrycznym napięcia lub prądu stałego czy częstotliwości,
- ✓ Cęgi prądowe i przekładniki prądu z wyjściem napięcia lub prądu stałego lub przemiennego z możliwością automatycznego pomiaru charakterystyki amplitudowej i fazowej,
- ✓ Liczniki energii i ich testery z wyjściem impulsowym.

Wbudowana kamera umożliwia automatyczne wzorcowanie przyrządów z wyświetlaczem cyfrowym. Brak funkcji wbudowanej kamery powoduje, że użytkownicy kalibratorów próbują we własnym zakresie automatyzować wzorcowanie przyrządów z wyświetlaczami cyfrowymi bez interfejsu cyfrowego [5, 6, 8, 9].

Możliwy jest też ręczny odczyt i zapisywanie wskazań DUT z wykorzystaniem klawiatury i wyświetlacza komputera lub kalibratora.



Rys. 2. Automatyczny system wzorcujący  
Fig. 2. Automatic calibration system

#### 4. AUTOMATYZACJA WYLICZANIA WYNIKU WZORCOWANIA

Automatyczny system wzorcujący (rys.2) umożliwia automatyczne wyliczenie wyniku wzorcowania w następującej postaci:

- Wartość średnia błędu z różnicy wskazań DUT i wzorca, z  $n$  powtarzanych pomiarów w danej serii dla każdego punktu pomiarowego, gdzie liczba  $n$  jest zadawana w trakcie tworzenia procedury pomiarowej,
- Wartość rozszerzonej niepewności pomiaru (1),
- Wartość odchylenia standardowego  $s$  dla potrzeb wyliczenia rozszerzonej niepewności pomiaru według wzoru stosowanego w laboratorium wzorcującym i innego niż (1),
- Wartości błędów cząstkowych z  $n$  powtórzonych pomiarów w danej serii.

Wartość względna rozszerzonej niepewności pomiaru jest wyliczana z następującego wzoru:

$$\begin{aligned}
 U_E &= k \cdot \sqrt{\left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right)^2 + u^2(\delta x_{RS}) + u^2(\delta x_{RM}) + u^2(\delta x_{RR})} = \\
 &= k \cdot \sqrt{\left(\frac{s}{\sqrt{n}}\right)^2 + \left(\frac{U_S}{k}\right)^2 + \left(\frac{U_M}{k}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_{RRM}/W_W}{2 \cdot \sqrt{3}}\right)^2}, \quad (1)
 \end{aligned}$$

gdzie:

- $k$  – współczynnik rozszerzenia, standardowo  $k=2$ ,
- $s$  – odchylenie standardowe,
- $n$  – liczba powtarzanych wyników pomiaru w danej serii,
- $u^2(\delta x_{RS})$  – niepewność standardowa związana z błędem granicznym źródła,
- $u^2(\delta x_{RM})$  – niepewność standardowa związana z błędem granicznym wbudowanego multimetru, dotyczy tylko trybu pracy z odczytem wskazań DUT z wbudowanego multimetru,
- $u^2(\delta x_{RR})$  – niepewność standardowa związana z rozdzielczością odczytu wskazań DUT,
- $U_S$  – rozszerzona niepewność źródła podawana w specyfikacji kalibratora,
- $U_M$  – rozszerzona niepewność wbudowanego multimetru podawana w specyfikacji kalibratora,
- $\Delta_{RR}$  – rozdzielczości odczytu wskazań DUT,
- $W_W$  – wartość odczytanego wskazania DUT.

## 5. WNIOSKI

Opracowany w ramach projektu NCBiR Multi-Produktowy Kalibrator i Tester typu CM10 daje przesłanki na skokowe zwiększenie produktywności wzorcowania przyrządów pomiarowych przez automatyzację odczytu i zapisu wskazań wzorcowanych przyrządów i wyliczania wyniku wzorcowania.

## LITERATURA

1. The Fluke Calibration 5560A, 5550A, and 5540A High Performance Multi-Product Calibrators, Technical data, Fluke Calibration, USA, 05/2022.
2. 4000 Series Precision Multi Product Calibrator, Operation Manual, Transmille, V 1.00, Sep. 2015.
3. 9010+ Multifunction Calibrator, User Manual, Meatest, Brno, EN, rev.14 FW ver.2.043, Jan. 2024.
4. Krajewski M., Sienkowski S.: Automatyzacja wzorcowania multimetrów i kalibratorów, PAK vol.56, nr 11/2010.
5. Grzeczka G., Klebba M.: Automated Calibration System for Digital Multimeters Not Equipped with a Communication Interface, Sensors 20(13):3650, June 2020.
6. Donciu C., Temneanu M., Samoila A.: Automated Video System for Measurement Instruments Test and Calibration, <https://www.researchgate.net/publication/238769825>, January 2007.
7. TD1880 High-Precision Multi-Product Calibrator, Tunkia, Chiny. <https://www.salukitec.com/wp-content/uploads/2022/05/TD1880-High-Precision-Multiproduct-Calibrator.pdf>.
8. Andria G., Cavone G., Fabbiano L., Giaquinto N., Savino M.: Automatic calibration system for digital instruments without built-in communication interface, XIX IMEKO World Congr. Fundam. Appl. Metrol, 2009.

Martín-Rodríguez F., Vázquez-Fernández E., Dacal-Nieto A., Formella A., Álvarez-Valado V., González-Jorge H.: Digital Instrumentation Calibration Using Computer Vision, In Conference: Image Analysis and Recognition, 7th International Conference, Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2010; Volume 6112.