

*Marian KAMPIK, Michał GRZENIK, Krzysztof MUSIOŁ*  
*Politechnika Śląska*  
*Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki*

*Jerzy SZUTKOWSKI, Paweł ZAWADZKI*  
*Główny Urząd Miar w Warszawie*  
*Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu*

## **MIĘDZYLABORATORYJNE PORÓWNANIE TERMICZNYCH WZORCÓW NAPIĘCIA PRZEMIENNEGO**

W artykule przedstawiono wyniki porównania międzylaboratoryjnego wzorcowego termicznego przetwornika wartości skutecznej o napięciu wejściowym 10 V, wchodzącego w skład państwowego wzorca napięcia przemiennego, utrzymywanego w Głównym Urzędzie Miar w Warszawie z pierwotnym wzorcem napięcia przemiennego o napięciu wejściowym 5 V, opracowanym, zbudowanym i utrzymywanym w Laboratorium Wzorców AC-DC Katedry Metrologii, Elektroniki i Automatyki (KMEiA) na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

**Słowa kluczowe:** wzorce, wzorce napięcia przemiennego, transfer AC-DC, porównania międzylaboratoryjne, termiczne przetworniki napięcia przemiennego

### **INTERLABORATORY COMPARISON OF THERMAL AC VOLTAGE STANDARDS**

The article presents the results of interlaboratory comparison of the 10 volt thermal converter of the Polish national AC voltage standard set maintained in the Central Office of Measures in Warsaw with the primary AC voltage 5 V standard developed and maintained at the AC-DC Transfer Laboratory of the Department of Measurement Science, Electronics and Control at the Faculty of Electrical Engineering of the Silesian University of Technology in Gliwice.

**Keywords:** standards, AC voltage standards, AC-DC transfer, interlaboratory comparisons, thermal voltage converters

## **1. WPROWADZENIE**

Międzylaboratoryjne porównania wzorców odgrywają bardzo ważną rolę w systemie miar, umożliwiając, między innymi, wykrycie błędów systematycznych. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki porównania wzorcowego przetwornika AC-DC 10 V wchodzącego w skład państwowego wzorca napięcia przemiennego, utrzymywanego w Głównym Urzędzie Miar (GUM) w Warszawie z pierwotnym wzorcem 5 V, zbudowanym i utrzymywanym w Laboratorium Wzorców AC-DC Katedry Metrologii, Elektroniki i Automatyki (KMEiA) na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Jest to, według wiedzy autorów, pierwsze porównanie międzylaboratoryjne tego rodzaju wzorców w historii polskiej metrologii, które może stać się przyczynkiem do wyeliminowania konieczności kalibracji polskiego wzorca napięcia przemiennego poza granicami naszego Kraju.

## **2. OPIS WZORCÓW BIORĄCYCH UDZIAŁ W PORÓWNANIU**

### **2.1. Wzorzec napięcia przemiennego utrzymywany w GUM**

Państwowy wzorzec napięcia przemiennego, utrzymywany w GUM wykorzystuje między innymi komercyjny zestaw termicznych przetworników wartości skutecznej (TPWS) Holt Model 11. W skład zestawu wchodzi jednozłączowe TPWS oraz rezystory szeregowo (zakresowe), umożliwiające

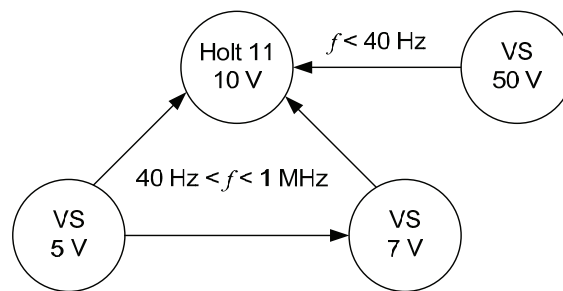
rozszerzenie nominalnego napięcia wejściowego od około 0,5 V do 1000 V. Przetworniki wchodzące w skład zestawu wyposażone są w złącza wejściowe typu GR-874, coraz rzadziej wykorzystywane w wzorcach napięcia przemiennego ze względu na trudność w zdefiniowaniu płaszczyzny odniesienia. Wzorce Holt Model 11 nie są wzorcami liczalnymi i wymagają cyklicznej kalibracji względem wzorca stojącego wyżej w hierarchii i utrzymywanego przez narodowy instytut metrologiczny (NMI) lub jednostkę desygnowaną (DI). Ostatnia kalibracja wzorca Holt Model 11 utrzymywanego w GUM została przeprowadzona w Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) w Braunschweigu (Niemcy) w 2016 roku. Kalibracji poddano m.in. wzorce o nominalnym napięciu wejściowym 2 V oraz 10 V.

## 2.2. Wzorzec napięcia przemiennego utrzymywany w Laboratorium Wzorców AC-DC KMEiA

Wzorzec napięcia przemiennego opracowany, zbudowany i utrzymywany w Laboratorium Wzorców AC-DC KMEiA składa się z zestawu wielozłączowych TPWS różnych producentów oraz rezystorów zakresowych wykonanych we własnym zakresie, pokrywających zakres od około 0,2 V do 1000 V. Wzorce te są kalibrowane przy wykorzystaniu dwóch wzorców pierwotnych KMEiA o nominalnych napięciach wejściowych  $U_N = 3$  V oraz 5 V. W obu tych wzorcach zastosowano wyselekcjonowane jednozłączowe TWPS o rezystancji grzejnika równej 90  $\Omega$ . Przetworniki te zostały umieszczone współosiowo w miedzianej obudowie razem z rezystorami szeregowymi, ograniczającymi wartość prądu grzejnika TPWS oraz zwiększającymi wartość nominalnego napięcia wejściowego. Rezystory szeregowo zostały wykonane z cienkiego drutu oporowego o małym temperaturowym współczynniku rezystancji. Różnica transferowa obu wzorców pierwotnych została obliczona w paśmie częstotliwości od 10 kHz do 1 MHz na podstawie złożonego modelu matematycznego [1]. Poprawność obliczonych różnic transferowych została zweryfikowana na kilka sposobów, w tym przez komparację z wzorcami pierwotnymi Włoch i Danii [2]. W paśmie częstotliwości od 10 Hz do około 40 Hz różnice transferowe wyznaczono metodą opisaną w [3]. Niezależną od częstotliwości składową różnicę transferową wyznaczono przy wykorzystaniu metody *Fast-Reversed Direct Current* (FRDC) [4]. Wszystkie wzorce KMEiA są wyposażone w popularne złącza typu N.

## 3. PORÓWNANIE WZORCÓW GUM I KMEiA

W 2018 roku w Laboratorium Wzorców AC-DC KMEiA porównano wzorzec GUM o nominalnym napięciu wejściowym 10 V z wzorcem pierwotnym KMEiA o nominalnym napięciu wejściowym 5 V przy napięciu równym 5 V. Pomiarów wykonano dla wybranych częstotliwości z przedziału od 10 Hz do 1 MHz przy pomocy zautomatyzowanego komparatora wzorców AC-DC opracowanego w KMEiA. Dla wzorców o odpowiednio dużej stabilności komparator umożliwia uzyskanie rozdzielczości pomiaru rzędu 100 nV/V. W porównaniach zastosowano dodatkowy wzorzec o nominalnym napięciu wejściowym 7 V, składający się z jednozłączowego TPWS z rezystorem szeregowym oraz wielozłączowy TWPS o nominalnym napięciu wejściowym  $U_N = 50$  V, który umożliwił porównanie z wzorcem GUM dla częstotliwości mniejszych od 100 Hz. Wykorzystanie dodatkowego wzorca o napięciu wejściowym 7 V pozwoliło na zamknięcie cyklu komparacji i sprawdzenie spójności przeprowadzonych pomiarów. Schemat zrealizowanych porównań przedstawiono na rys. 1. Na rys. 1 i rys. 2 wzorce napięcia, utrzymywane w Politechnice Śląskiej, zostały oznaczone symbolem VS.

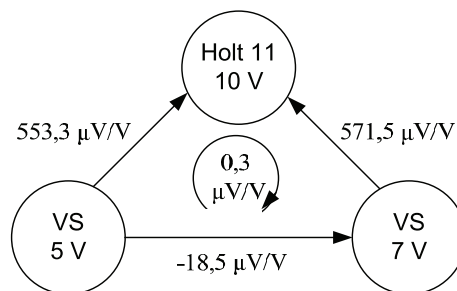


Rys. 1. Schemat przeprowadzonych porównań

Ze względu na różne rodzaje gniazd wejściowych, do połączenia wzorca GUM z wzorcami KMEiA wykorzystano specjalny trójkąt/adapter, opracowany i skonstruowany w KMEiA. Trójkąt ten posiada dwa gniazda typu N oraz jedno gniazdo typu GR-874.

#### 4. SPÓJNOŚĆ PRZEPROWADZONYCH POMIARÓW

W celu wykrycia ewentualnego błędu systematycznego wyniki porównań, przeprowadzonych zgodnie z schematem przedstawionym na rys. 1, sprawdzono pod kątem ich spójności. Przykładowy trójkąt pomiarowy przy częstotliwości 1 MHz przedstawiono na rys. 2. Niedomknięcie tak utworzonego trójkąta pomiarowego wynosi  $0,3 \mu\text{V/V}$  i jest mniejsze od standardowej niepewności pomiaru różnicy transferowej komparatorem wzorców AC-DC opracowanym w KMEiA.



Rys. 2. Spójność wyników pomiarów przy częstotliwości 1 MHz

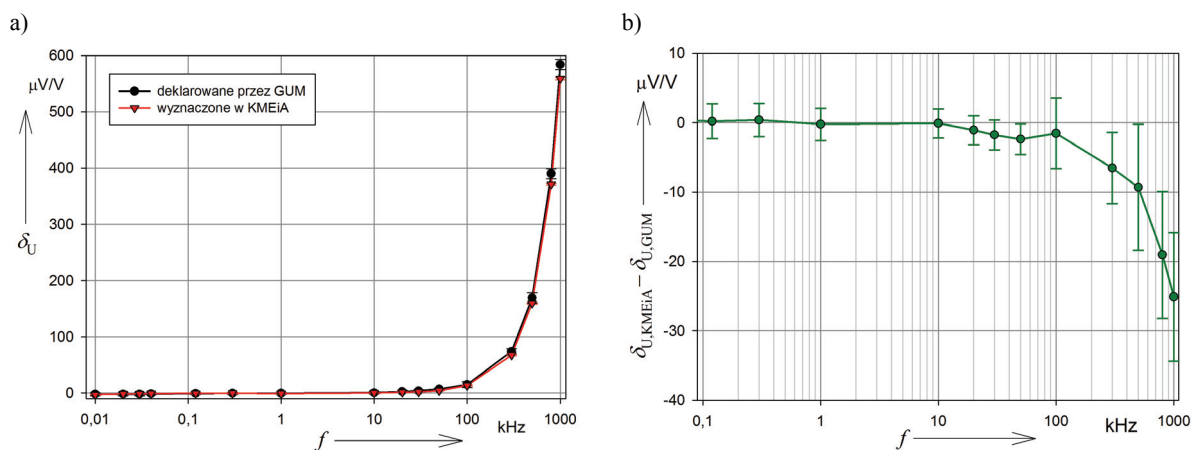
Niedomknięcie trójkąta pomiarowego jest dla większości badanych częstotliwości mniejsze od standardowej niepewności pomiaru różnicy transferowej. Wyjątkiem jest częstotliwość 1 kHz dla której niedomknięcie trójkąta pomiarowego wynosi  $0,9 \mu\text{V/V}$  i jest większe od standardowej niepewności pomiaru różnicy transferowej ( $0,6 \mu\text{V/V}$ ). Mimo to wynik ten mieści się w przedziale niepewności, zdeterminowanym standardową niepewnością wyznaczenia różnicy transferowej wzorca GUM ( $1 \mu\text{V/V}$ ), oraz wzorca KMEiA ( $0,4 \mu\text{V/V}$ ) [4].

#### 5. WYNIK PORÓWNIANIA

Na rys. 3 przedstawiono różnice transferowe wzorca napięcia przemiennego 10 V GUM zmierzone w trakcie jego wzorcowania w PTB oraz zmierzone w trakcie porównania w KMEiA.

Dla częstotliwości większych od 60 Hz różnice transferowe wzorca GUM wyznaczono przez porównanie z pierwotnym wzorcem napięcia przemiennego KMEiA o napięciu wejściowym 5 V. Dla częstotliwości mniejszych od 100 Hz wykorzystano metodę porównania z wzorcem o wyższym napięciu wejściowym ( $U_N = 50 \text{ V}$ ), opisaną w [3]. W metodzie tej wykorzystuje się zjawisko

zmniejszania się różnicy transferowej TPWS ze zmniejszaniem się mocy Joule'a wydzielanej w grzejniku przetwornika. Dla bardzo małej mocy wydzielanej w grzejniku przetwornika jego różnica transferowa przetwornika staje się bardzo mała (z reguły  $< 1 \mu\text{V/V}$ ).



Rys. 3. Różnica transferowa wzorca 10 V GUM oraz zmierzona względem wzorca pierwotnego 5 V KMEiA: a) wartości różnic transferowych, b) różnice między wynikami wzorca GUM oraz zmierzonymi względem wzorca pierwotnego KMEiA. Na wykresie zaznaczono złożone niepewności pomiaru dla  $k = 2$ .

Wyniki przedstawione na rys. 3 ilustrują dobrą zgodność wartości różnic transferowych wzorca 10 V GUM z jego świadectwa wzorcowania oraz zmierzonych względem wzorca pierwotnego KMEiA. Rozbieżność pomiędzy nimi wzrasta wraz z częstotliwością. Rozbieżność ta jest spowodowana między innymi inną geometrią i konstrukcją trójnika, zastosowanego podczas kalibracji wzorca GUM w PTB.

## 6. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone porównanie wykazało dobrą zgodność deklarowanych wartości różnic transferowych wzorca 10 V GUM z wartościami różnic transferowych wzorca pierwotnego KMEiA. Również spójność przeprowadzonych pomiarów jest bardzo dobra, co zwiększa wiarygodność uzyskanych wyników.

## LITERATURA

1. Grzenik M., Kampik M., Calculable AC Voltage Standards for 10 kHz-1 MHz Frequency Range, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 66, no. 6, pp. 1372 – 1378, 2017.
2. Kampik M., Grzenik M., Lippert T., Trinchera B., Comparison of a Planar Thin-Film Thermal AC Voltage Standard up to 1 MHz, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 66, no. 6, pp. 1379 – 1384, 2017.
3. Funck T., Kampik M., Kessler E., Klonz M., Laiz H., Lapuh R., Determination of the ac-dc voltage transfer difference of high-voltage transfer standards at low frequencies, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 54, no. 2, pp. 807-809, 2005.
4. Grzenik M., Kampik M., Determination of Frequency-Independent Component of AC-DC Transfer Difference of SUT's Calculable AC Voltage Standards, I2MTC Proceedings, Houston, Texas, 2018.