

Wykorzystanie komparatora *RLC* w pomiarach elementów państwowego wzorca jednostki miary pojemności elektrycznej

Adam Ziółek, Maciej Koszarny

1. Wstęp

Wzorzec państwowy jednostki miary pojemności elektrycznej jest układem pomiarowym składającym się z grupy czterech termostatyzowanych kondensatorów z dielektrykiem kwarcowym, o wartościach nominalnych pojemności elektrycznej 10 pF oraz z precyzyjnych mostków transformatorowych. Niepewność rozszerzona względna odtwarzania jednostki miary pojemności elektrycznej dla poziomu ufności 95 % wynosi $0,5 \times 10^{-6}$, przy częstotliwości 1000 Hz i 1592 Hz.

Pomiary elementów wzorca grupowego przeprowadzane są za pomocą automatycznego mostka transformatorowego AH 2500A przy częstotliwości 1 kHz. Wartość grupowa grupy wzorców wyznaczona jest jako średnia z wartości poprawnych pojemności czterech kondensatorów i jest przyjmowana jako stała aż do następnego wzorcowania w laboratorium referencyjnym. Wartości kondensatorów wchodzących w skład grupy ustalane są na podstawie zmierzonych różnic między ich wartościami przy porównaniu „każdego z każdym”.

Wzorcami odniesienia powiązаныmi układem sprawdzań z wzorcem państwowym jednostki miary pojemności elektrycznej przy częstotliwości 1000 Hz i 1592 Hz są kondensatory o wartościach nominalnych 10 pF, 100 pF i 1000 pF. Są to kondensatory typu 1408 (10 pF i 100 pF), znajdujące się w termostacie o temperaturze ok. 29,7 °C, mające współczynnik temperaturowy 12 ppm/°C, a także kondensatory typu 1404-A (grupa 4 elementów o wartościach 1000 pF), 1404-B (1 element o wartości 100 pF) i 1404-C (5 elementów o wartościach 10 pF), mające współczynnik temperaturowy 5 ppm/°C i kondensator typu 11A o wartości 100 pF, o współczynniku temperaturowym 0,01 ppm/°C.

Rozszerzenie zakresu wzorca odniesienia w stosunku do wartości pojemności elektrycznej państwowego wzorca jednostki miary równej 10 pF następuje poprzez zastosowanie mostka transformatorowego (GR 1621), który pozwala na porównanie wartości pojemności dwóch kondensatorów z ilorazem wartości 1:10, 10:1 i 1:1.

Komparator *RLC* typu 2100 jest urządzeniem, które pozwala na porównywanie wzorców impedancji w stosunku 1:1 i 1:10 z bardzo wysoką dokładnością, tak więc został on zastosowany do pomiarów elementów wzorca państwowego pojemności elektrycznej [1, 2].

Porównanie wzorców o jednakowych wartościach nominalnych (10 pF) może się odbywać trzema sposobami.

2. Metody pomiarowe

W przypadku bezpośredniego porównania do komparatora podłączane są wzorzec odniesienia i wzorzec mierzony oraz wpisywana do programu komparatora wartość po-

prawną pojemności elektrycznej i stratności wzorca odniesienia. Następnie dokonywane jest przeniesienie jednostki, a wynik pomiaru można odczytać wprost z panelu pomiarowego. Niepewność przeniesienia wyliczana jest ze wzoru:

$$\delta_R = \delta_{ci} \left(1 + \alpha_i \frac{C_0}{C_x} \right) + \Delta \delta_{vi} \quad (1)$$

gdzie:

δ_{ci} i α_i – współczynniki dla i -tego zakresu,

C_0 – wzorzec mierzony,

C_x – wzorzec odniesienia,

Δ – niezrównoważenie mostka, zdefiniowane jako:

$$\Delta = \frac{Z_x}{Z_0} \frac{1}{0.N} - 1 \quad (2)$$

gdzie:

$0.N$ – jest równe liczbie 0.1, 0.2, 0.3...0.9, 1.0 – najbliższej stosunku Z_x/Z_0 ,

δ_{vi} – składowa związana z niepewnością pomiaru niezrównoważenia.

Biorąc pod uwagę fakt, że stratność kondensatorów wchodzących w skład państwowego wzorca jednostki miary pojemności elektrycznej jest bardzo mała (rzędu 1×10^{-6}) i ich wartości prawdziwe są bardzo bliskie wartości nominalnej (różnice od nominalnej poniżej 0,0004 %), więc niezrównoważenie mostka Δ jest pomijalnie małe i dla metody bezpośredniego porównania niepewność przeniesienia wyliczana jest z pierwszego członu równania (1).

Drugą metodą, którą można zrealizować przy pomocy komparatora jest metoda podstawienia. W metodzie tej niepewność przyrządu pomiarowego nie wpływa na niepewność pomiaru. Ponieważ komparator nie posiada wzorców wewnętrznych, należy podłączyć do niego wzorzec o wartości nominalnej takiej jak wzorzec mierzony, który będzie pełnił funkcję wzorca odniesienia. Należy podłączyć wzorzec (o znanej wartości poprawnej) o tej samej wartości nominalnej i dokonać transferu z wzorca odniesienia, następnie wykonać to samo dla wzorca mierzonego.

Po obliczeniu stosunku uzyskanych wyników dla obu przeniesień ze wzoru:

$$R = \frac{C_1(1 + \delta_{s1})}{C_2(1 + \delta_{s2})} \approx \frac{C_1}{C_2} (1 + \delta_{s1} - \delta_{s2}) \quad (3)$$

gdzie:

δ_{si} – składowa związana z odchyleniem standardowym wyników pomiaru i -tego wzorca.

Przy założeniu, że $\delta_{s1} = \delta_{s2} = \delta_s$ równanie (3) przyjmuje postać:

$$R = \frac{C_1}{C_2} (1 + \sqrt{2} \delta_s) \quad (4)$$

W metodzie zamiany wzorców miejscami nie jest używany dodatkowy wzorzec odniesienia. Podłączane są porównywane wzorce, przeprowadzany transfer, a następnie zamienia się je miejscami i wykonuje transfer ponownie. Następnie oblicza się stosunki impedancji R_1 i R_2 dla obu transferów i ze wzoru:

$$\frac{R_1 - R_2}{2} = \delta_c \quad (5)$$

Dzięki temu wyeliminowane zostaje z końcowego wyniku tzw. przesunięcie zera komparatora. Ostatecznie dla znanej wartości pojemności C_2 uzyskiwana jest wartość poprawna mierzonego kondensatora C_1 ze wzoru:

$$C_1 = \left(1 + \frac{R_1 - R_2}{2} \right) C_2 \quad (6)$$

3. Wyniki

Przy pomocy opisanych powyżej metod, przeprowadzono pomiary wzorców wchodzących w skład państwowego wzorca jednostki miary pojemności elektrycznej, a także wzorców odniesienia. Pomiary elementów nietermostatyzowanych (1404) przeprowadzone były w warunkach izolacji termicznej (monitorowane czujnikiem temperatury Pt 100), zapewniając ich stabilizację termiczną na poziomie 0,4 °C. Uzyskane wyniki wraz z niepewnościami zostały przedstawione w tabelach.

Tabela 1. Wartości elementów wzorca państwowego pojemności elektrycznej wyznaczone przy użyciu różnych metod oraz wartości z BIPM przy częstotliwości 1 kHz (pF)

Numer wzorca	BIPM (2010)	Metoda		
		Grupowa	Podstawienia	Zamiany miejsc
1024	10,0000428	10,000041	10,0000408	10,0000408
1025	10,0000213	10,000021	10,0000214	10,0000214
1026	10,0000179	10,000018	10,0000178	10,0000178
1027	–	10,000023	10,0000233	10,0000234
Niepewność rozszerzona	0,10 ppm	0,5 ppm	0,14 ppm	0,12 ppm

Tabela 2. Wartości wzorców odniesienia wyznaczone przy użyciu różnych metod pomiarowych przy częstotliwości 1 kHz (pF)

typ/nr wzorca	Metoda			
	GR1621, AH 2500A	Porównania	Podstawienia	Zamiany miejsc
11A/1507	99,9990 ± 0,0002	99,9989 ± 0,0001	–	–
1408/200	10,00003 ± 0,00006	10,00002 ± 0,00003	10,00002 ± 0,00003	10,00002 ± 0,00003
1408/211	100,0004 ± 0,0007	100,0004 ± 0,0003	100,0003 ± 0,0003	100,0004 ± 0,0003
1404-C/3628	10,00010 ± 0,00006	10,00009 ± 0,00003	10,00008 ± 0,00003	10,00009 ± 0,00003
1404-B/951	99,9978 ± 0,0007	99,9977 ± 0,0003	99,9976 ± 0,0003	99,9976 ± 0,0003
1404-A/1123	999,999 ± 0,006	999,996 ± 0,003	–	–

4. Podsumowanie

Z otrzymanych rezultatów wynika, że dzięki zastosowaniu komparatora *RLC* 2100 w pomiarach elementów państwowego wzorca jednostki miary pojemności elektrycznej, można uzyskać ich wartości z większą dokładnością niż przy pomocy stosowanych dotychczas mostków. Głównym czynnikiem wpływającym na niepewność wyznaczenia tych war-

tości jest niepewność wzorców wyznaczona przez laboratorium referencyjne. Użycie komparatora pozwoliło także na wyznaczenie wartości wzorców odniesienia z niepewnością znacznie mniejszą niż dotychczas. Głównym czynnikiem na nią wpływającym jest fakt, że nie są one wyposażone w termostaty, co powoduje brak należytej stabilności termicznej.

Literatura

1. Surdu M., Lameko A., Tarłowski A., Rzepakowski R.: *Utworzenie optymalnej bazy wzorców w dziedzinie pomiaru parametrów impedancji zespolonych*. *Pomiary Automatyka Robotyka* 9/2007.
2. Surdu M., Lameko A., Karpov I., Klonz M., Koffman A., Kinard J., Tarłowski A.: *Bridges for the realization of the units and build-up of the scale for electrical resistance, capacitance and inductance*. Konferencja CPEM 2006, Turyn, str. 520-52.