

Maciej KOSZARNY, Jolanta JURSA, Jerzy SZUTKOWSKI, Robert JASIŃSKI
Główny Urząd Miar
Samodzielne Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu
Piotr SZTERK
Główny Urząd Miar
Samodzielne Laboratorium Czasu i Częstotliwości

KONDENSATOR WZORCOWY 10 nF, Z DIELEKTRYKIEM CERAMICZNYM

W ramach prac badawczo-rozwojowych, w Samodzielnym Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu Głównego Urzędu Miar, zaprojektowano, opracowano i wykonano czterozaciskowy kondensator wzorcowy o wartości 10 nF, z dielektrykiem ceramicznym. Kondensator został umieszczony w termostacie z wbudowanym elektronicznym układem sterowania, który zapewnia bardzo precyzyjne utrzymywanie określonej temperatury. Układ sterowania może być zasilany ze stacjonarnego źródła zasilania lub z dodatkowego akumulatora. Opracowany wzorzec charakteryzuje się bardzo dobrą stabilnością wartości pojemności elektrycznej dla danej częstotliwości oraz małą wartością stratności $\tan \delta$. Wzorzec ten jest niezbędnym elementem dla transferu jednostki miary pojemności elektrycznej z kwantowego efektu Halla.

Słowa kluczowe: kondensator, termostat, stabilność, transfer jednostki

10 nF REFERENCE CAPACITOR WITH A CERAMIC DIELECTRIC

In Laboratory of Electricity and Magnetism of the Central Office of Measures, a four-terminal reference capacitor 10 nF (with a ceramic dielectric) was designed, developed and made. The capacitor has been placed in a thermostat with a built-in electronic control system which can be powered from a stationary power source or from an additional battery. The developed standard is characterized by a very good stability of the capacitance value for a given frequency and a low loss value $\tan \delta$. This capacitor is a necessary element for the transfer of the unit of capacitance from the quantum Hall effect.

Keywords: capacitor, thermostat, stability, transfer of the unit

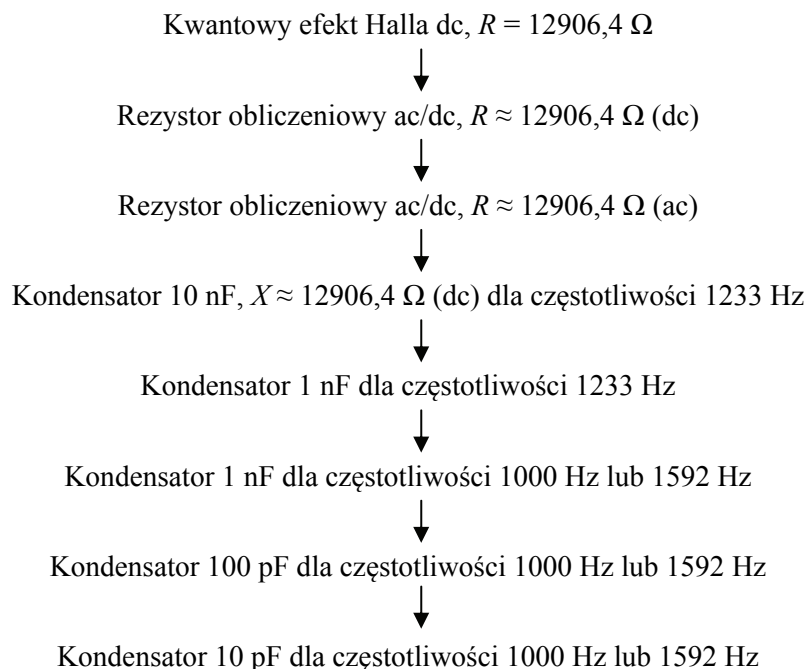
1. WPROWADZENIE

W Głównym Urzędzie Miar, w Samodzielnym Laboratorium Elektryczności i Magnetyzmu, w Pracowni Wzorców Wielkości Elektrycznych znajduje się państwowy wzorzec jednostki miary rezystancji, oparty na kwantowym zjawisku Halla, a w Pracowni Wielkości Elektrycznych Małej Częstotliwości – państwowy wzorzec jednostki miary pojemności elektrycznej. Trwają prace badawcze nad możliwością powiązania tych jednostek miar.

2. PLANOWANY TRANSFER JEDNOSTKI POJEMNOŚCI ELEKTRYCZNEJ

Obecnie jednostka miary pojemności elektrycznej opiera się na państwowym wzorcu, składającym się z grupy czterech bardzo stabilnych kondensatorów wzorcowych 10 pF, typu 11A, z dielektrykiem kwarcowym, umieszczonych w ramie termostatyzującej, okresowo wzorcowanych w BIPM. Dzięki posiadanym mostkom pojemności C typu 2700A-C i 2500A, komparatorowi RLC typu 2100 oraz wzorcom niższego rzędu typu 11A, 1408, 1404, o wartościach 10 pF, 100 pF, 1000 pF, 1 pF, 0,1 pF jest zapewniona spójność pomiarowa od wzorca państwowego pojemności elektrycznej do wzorców roboczych pojemności.

Planowany transfer jednostki pojemności w GUM, z wykorzystaniem kwantowego wzorca rezystancji, opartego na efekcie Halla, przedstawiono na rys. 1:



Rys. 1. Transfer jednostki pojemności elektrycznej z kwantowego wzorca rezystancji
Fig. 1. Transfer of the capacity unit from the quantum Hall effect

Pracownia Wielkości Elektrycznych Małej Częstotliwości posiada kondensatory 10 pF, 100 pF oraz 1 nF o bardzo dobrych parametrach metrologicznych. Z rys. 1 wynika, iż brakującymi elementami transferu jest wzorzec pojemności 10 nF oraz wzorcowy rezystor o liczałnej różnicy transferowej ac/dc o rezystancji $R \approx 12906,4 \Omega$.

2.1 Konstrukcja i własności wzorca 10 nF

Głównym założeniem przy opracowywaniu i wykonywaniu wzorca o pojemności 10 nF, było wyselekcjonowanie kondensatora o założonej wartości pojemności i bardzo dobrej stabilności temperaturowej oraz zaprojektowanie i wykonanie termostatu z elektronicznym układem sterowania, zapewniającego utrzymywanie temperatury, w której kondensator wykazuje najlepsze parametry.

Wybrano kondensator z dielektrykiem ceramicznym, typu GRM55 firmy Murata, dla którego wartość pojemności jest zbliżona do nominalnej 10 nF, tak by zapewnić jak najlepsze dopasowanie impedancji $R-C$. Wzorzec zbudowany przy wykorzystaniu tego kondensatora charakteryzuje się bardzo dobrą stabilnością wartości pojemności. Współczynnik temperaturowy pojemności tego kondensatora jest równy około $10 \mu\text{F}/\text{F}/^\circ\text{C}$ dla temperatury z przedziału od 23°C do 25°C i około $0 \mu\text{F}/\text{F}/^\circ\text{C}$ dla $(25 \div 27)^\circ\text{C}$. Współczynnik stratności kondensatora $\text{tg}\delta$ przy 1 kHz jest mniejszy niż $6,5 \times 10^{-5}$. Kondensator umieszczono wewnątrz bardzo dobrze termicznie zaizolowanej obudowy, w której temperatura utrzymywana jest na poziomie $(26,44 \pm 0,01)^\circ\text{C}$, przy temperaturze otoczenia $(22 \div 24)^\circ\text{C}$. Temperatura ta zapewnia optymalną stabilność impedancji kondensatora. Układ termostatu stabilizuje temperaturę z dokładnością $\pm 0,01^\circ\text{C}$. Układ ten jest zasilany z zasilacza sieciowego lub z akumulatora o wartości $(12 \div 14,4) \text{V}$ (DC). Widok prototypu wzorca przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Widok kondensatora wzorcowego 10 nF zbudowanego w GUM
Fig. 2. Capacitor 10 nF, made by GUM

Zastosowanie akumulatora pozwala na wyeliminowanie wpływu zakłóceń sieci zasilającej oraz na bezpieczne przenoszenie i transport wzorca. Wewnątrz obudowy umieszczono czujnik Pt100, pozwalający na pośredni pomiar temperatury wewnątrz termostatu.

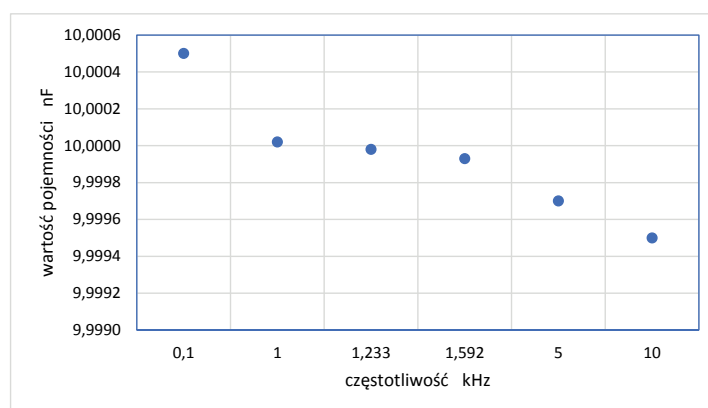
Zaciski kondensatora połączone przewodami ekranowanymi o odpowiednich własnościach elektrycznych z czterema gniazdami BNC, umieszczonymi na obudowie i odpowiednio oznaczonymi. Taka konstrukcja pozwala na pomiar metodą czteroprzewodową.

Pojemność kondensatora zmierzono metodą bezpośrednią, przy pomocy mostka 2700A-C (firmy Andeen-Hagerling) przy częstotliwości 100 Hz, 1 kHz, 1,233 kHz, 1,592 kHz, 5 kHz i 10 kHz. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1 oraz na rys. 3.

Tabela 1

Zestawienie wyników przeprowadzonych pomiarów

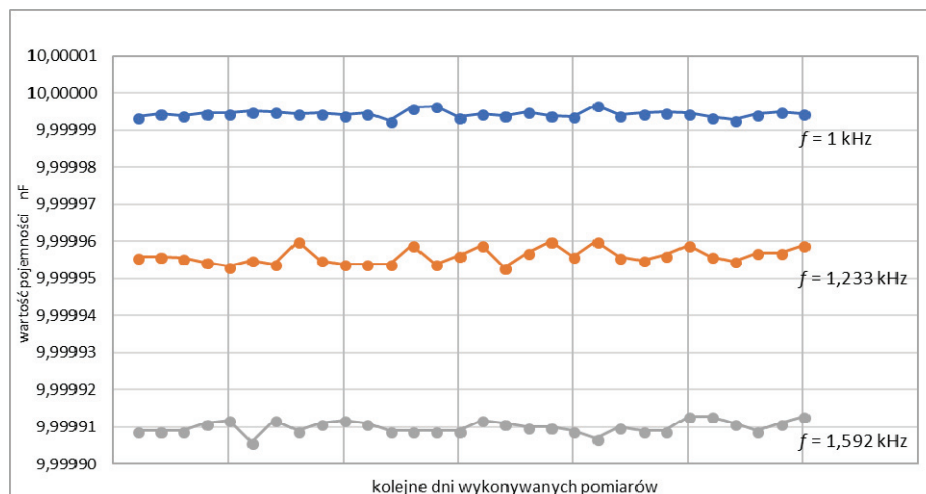
Częstotliwość (Hz)	Wartość zmierzona pojemności (nF)	$\text{tg } \delta$
100 Hz	$10,0005 \pm 0,0007$	$< 2,6 \times 10^{-5}$
1 kHz	$10,00002 \pm 0,00020$	$< 6,2 \times 10^{-5}$
1,233 kHz	$9,99998 \pm 0,00021$	$< 7 \times 10^{-5}$
1,592 kHz	$9,99993 \pm 0,00021$	$< 8,2 \times 10^{-5}$
5 kHz	$9,9997 \pm 0,0004$	$< 2 \times 10^{-4}$
10 kHz	$9,9995 \pm 0,0008$	$< 3,8 \times 10^{-4}$



Rys. 3. Zależność wartości pojemności wzorca od częstotliwości
Fig. 3. Dependence of the capacitor value on the measurement frequency

W paśmie częstotliwości $100 \text{ Hz} \div 10 \text{ kHz}$, rozrzut wartości wzorca wynosi maksymalnie $100 \mu\text{F/F}$, a w paśmie $1 \text{ kHz} \div 1,592 \text{ kHz}$ mniej niż $10 \mu\text{F/F}$, co potwierdza małą zależność wartości pojemności wykonanego wzorca od częstotliwości.

Wzorzec charakteryzuje się bardzo dobrą stabilnością i powtarzalnością wartości pojemności, co przedstawiono na rys. 4. Współczynnik temperaturowy wzorca jest bliski zeru.



Rys. 4. Stabilność wartości kondensatora przy różnych częstotliwościach
Fig. 4. Stability of the capacitor value at different frequencies

Na rys. 5 przedstawiono widok układu pomiarowego z wykorzystaniem komparatora *RLC* 2100 i kondensatorów wzorcowych.



Rys. 5. Widok układu pomiarowego z komparatorem *RLC* 2100 i kondensatorami wzorcowymi
Fig. 5. *RLC* 2100 measurement system

PODSUMOWANIE

Opracowany i zbudowany wzorzec 10 nF o bardzo dobrej stabilności temperaturowej i w funkcji częstotliwości, pozwoli w przyszłości na transfer jednostki miary pojemności od kwantowego wzorca jednostki rezystancji, przy wykorzystaniu wzorca $R_{ac/dc} = 12906,4 \Omega$. Następnie przy częstotliwości pomiaru $f = 1233 \text{ Hz}$ na dalszy transfer jednostki pojemności poprzez kondensatory wzorcowe 1 nF ,

100 pF do 10 pF, która jest nominalną wartością państwowego wzorca jednostki miary pojemności elektrycznej.

W całym procesie transferu jednostki muszą być spełnione warunki odnośnie porównywanych wartości impedancji $R-C$.

LITERATURA

1. B. P. Kibble: „Proposals for Extending Traceable Impedance Measurements to Higher Frequencies” *Metrologia*, Vol. 35, No. 1, pp. 17-20, 1998.
2. L. Callegaro, V. D’Elia and D. Serazio: „10-nF Capacitance Transfer Standard” *IEEE Trans. Instr. Meas.*, Vol. 54, No. 5, pp. 1869-1872, 2005.
3. M. Surdu, A. Lameko, A. Tarłowski, R. Rzepakowski: „Utworzenie optymalnej bazy wzorców w dziedzinie pomiaru parametrów impedancji zespolonych” *Pomiary Automatyka Robotyka*, Nr 10, str. 5-10, 2007.
4. K. Musioł: „Badania współczynników temperaturowych wzorców impedancji” *PAK Vol. 59*, Nr 7, str. 597-600, 2013.