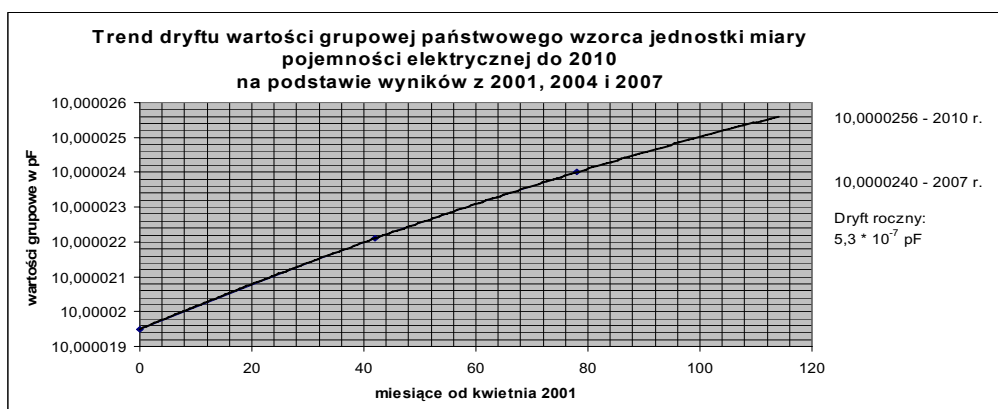


PAŃSTWOWY WZORZEC JEDNOSTKI MIARY POJEMNOŚCI ELEKTRYCZNEJ

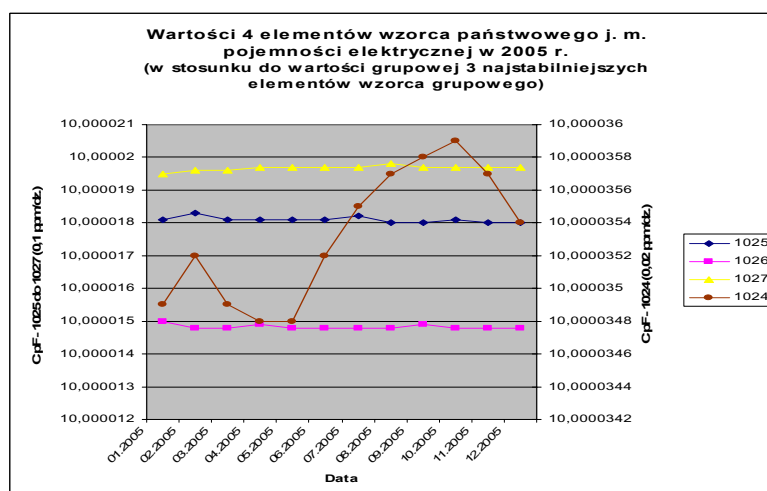
Państwowy wzorzec jednostki miary pojemności elektrycznej jest wzorcem grupowym. Składa się z czterech elementów pojemnościowych o wartościach nominalnych 10 pF. Zakłada się, że wartość średnia grupy (wartość grupowa) wzorców o jednakowej wartości nominalnej jest stabilniejsza w czasie niż wartość każdego z elementów tej grupy. W okresach pomiędzy kolejnymi wzorcowaniami przyjmuje się stałą wartość grupową, a po dłuższej obserwacji wzorców można wyznaczać i uwzględniać dryft czasowy.



Dryft czasowy wartości grupowej wzorca pojemności elektrycznej

Wartości poszczególnych elementów wzorca grupowego wyznaczone są okresowo (co 3 lata) w BIPM. W laboratorium wykonuje się comiesięczne wzajemne porównania elementów grupy i na ich podstawie ocenia się ich zmienność krótkookresową oraz długookresową (co pół roku).

Odtwarzanie wzorca następuje w wyniku pomiaru bezpośredniego kolejnych elementów grupy, przy zastosowaniu mostka AH2500A/E. Uzyskane wyniki są korygowane do



Stabilność czasowa elementów wzorca państwowego jednostki miary pojemności elektrycznej

wartości grupowej. Efektem takiego postępowania jest wyznaczenie aktualnej poprawki wskazań mostka, co pozwala na wyznaczenie wartości poprawnych poszczególnych elementów grupy oraz ciągłą ocenę stabilności mostka. Poprawkę wskazania mostka można wykorzystać przy pomiarach wzorców roboczych. Stabilność wartości elementów wzorca przedstawia rysunek powyżej.

Przekazywanie wartości wzorca grupowego na wzorce robocze odbywa się w następujący sposób:

- wartość wzorca grupowego przenoszona jest na wzorzec GR 1408 o wartości nominalnej 10 pF, przy zastosowaniu mostka AH 2500. Przenoszenie wykonywane jest metodą podstawienia, przy częstotliwości 1 kHz;
- wartość wzorca grupowego przenoszona jest na wzorzec GR 1408 o wartości nominalnej 100 pF przy zastosowaniu mostka GR 1621. Przenoszenie wykonywane jest przez porównanie ze wzorcem zewnętrznym, przy stosunku 1:10 i częstotliwości 1 kHz oraz 1,59 kHz;
- wartość wzorca grupowego przenoszona jest na wzorzec GR 1404 o wartości nominalnej 10 pF, przy zastosowaniu mostka AH 2500. Przenoszenie wykonywane jest metodą podstawienia, przy częstotliwości 1 kHz;
- wartość wzorca GR 1408 o wartości nominalnej 100 pF przenoszona jest na wzorzec GR 1404 o wartości nominalnej 1000 pF, przy zastosowaniu mostka GR 1621. Przenoszenie wykonywane jest przez porównanie ze wzorcem zewnętrznym, przy stosunku 1:10 i częstotliwości 1 kHz oraz 1,59 kHz;
- wartość wzorca GR 1408 o wartości nominalnej 100 pF przenoszona jest na wzorzec AH 11A o wartości nominalnej 100 pF, przy zastosowaniu mostka AH 2500. Przenoszenie wykonywane jest metodą podstawienia, przy częstotliwości 1 kHz.

Aby potwierdzić poprawność odtwarzania wzorców, w tym wzorców państwowych, przeprowadzane są okresowo porównania międzynarodowe.

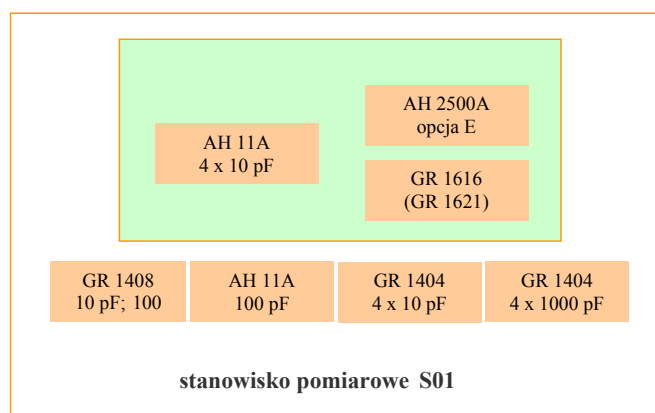


Stanowisko wzorca państwowego pojemności elektrycznej

Państwowy wzorzec jednostki miary pojemności elektrycznej przechowywany jest z Zakładzie Elektrycznym Głównego Urzędu Miar. Wzorzec tworzą:

- grupa czterech wzorców pojemności AH 11A o wartości nominalnej 10 pF,
- mostek pojemności AH 2500 opcja E,

- mostek pojemności GR 1616 (system pomiarowy GR1621),
- kondensatory GR1408,
- kondensator AH11A 100 pF,
- kondensatory GR1404.



Elementy wzorca państwowego pojemności elektrycznej

Elementy zawarte w wewnętrznym prostokącie na powyższym rysunku stanowią główną część wzorca państwowego, natomiast pozostałe elementy służą do przenoszenia wartości wzorca państwowego do wzorców roboczych.



Kondensatory AH11A w obudowie AH 1100

Kondensatory AH11A, o dielektryku wykonanym z topionej krzemionki są umieszczone w obudowie AH 1100 zapewniającej stabilizację termiczną. Kondensatory o wartości nominalnej 10 pF eksploatowane są od 1994 roku, a kondensator o wartości nominalnej 100 pF od 2005 roku. Kondensatory te cechują się następującymi parametrami metrologicznymi:

- wartości nominalne: 10 pF i 100 pF,
- stabilność termiczna deklarowana: $0,01 \mu\text{F}/\text{F}$, przy zmianie temperatury o 1 K,
- stabilność roczna deklarowana: $(0,3 + 1/C) \mu\text{F}/\text{F}$, gdzie C jest pojemnością wyrażoną w pF,
- potwierdzona stabilność roczna wzorca o wartości nominalnej 10 pF: $0,05 \mu\text{F}/\text{F}$,
- stabilność roczna wzorca o wartości nominalnej 100 pF (eksploatowanego od 3 lat) wg wstępnych pomiarów: ok. $0,1 \mu\text{F}/\text{F}$.



Mostek AH 2500A

Mostek AH 2500A jest automatycznym mostkiem transformatorowym o następujących parametrach metrologicznych:

- częstotliwość robocza: 1 kHz,
- największy błąd dopuszczalny dla zakresu 10 pF (MPE): ok. 3 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- nieliniowość: ok. 0,1 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- stabilność roczna: ok. 0,5 $\mu\text{F}/\text{F}$.

Parametry metrologiczne potwierdzone pomiarami:

- błąd dla 10 pF: ok. 3,6 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- błąd dla 100 pF i 200 pF: ok. 2,8 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- niestabilność roczna: < 0,1 $\mu\text{F}/\text{F}$.



System pomiarowy GR 1621

Mostek GR 1616 jest mostkiem pojemności manualnym, tworzącym wraz z elementami współpracującymi system pomiarowy GR 1621. Mostek umożliwia zarówno pomiar bezpośredni w stosunku do wzorców wewnętrznych, jak również pomiary w stosunku do wzorca zewnętrznego. Pomiary ze wzorcem zewnętrznym pozwalają na istotną poprawę dokładności i rozdzielczości pomiaru. Porównanie wzorców odniesienia i wzorcowanego może odbywać się przy stosunku wartości nominalnych 1:1, 1:10 oraz 10:1. System ten cechuje się następującymi parametrami metrologicznymi:

- częstotliwość robocza: od 10 Hz do 100 kHz,
- wzorce wewnętrzne:
 - 1 i 2 (największe wartości) – dielektryk: mika, wpływ temperatury – 20 $\mu\text{F}/\text{F}$ na 1 K,
 - 3, 4 i 5 – dielektryk: suchy azot, wpływ temperatury – 3 $\mu\text{F}/\text{F}$ na 1 K,
 - 6, 7 i 8 – dielektryk: suchy azot, wpływ temperatury – 20 $\mu\text{F}/\text{F}$ na 1 K,
 - 9, 10, 11 i 12 – dielektryk: powietrzne, wpływ temperatury – 20 $\mu\text{F}/\text{F}$ na 1 K,
- stała czasowa ok. 6 godzin (wzorce izolowane termicznie).



Kondensator GR 1404



Kondensatory GR 1408 o wartościach nominalnych 10 pF i 100 pF we wspólnej obudowie

Kondensatory GR 1408 są to kondensatory z dielektrykiem z topionej krzemionki, umieszczone w hermetycznej obudowie wewnętrznej, wypełnionej suchym azotem. Eksploatowane są od 1975 roku. Cechują się one następującymi parametrami metrologicznymi:

- wartości nominalne: 10 pF i 100 pF,
- stabilizacja termiczna: przy ok. 30 °C,
- stabilność termiczna deklarowana: 0,05 $\mu\text{F}/\text{F}$ na 1 K,
- stabilność roczna deklarowana: 0,3 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- stabilność roczna rzeczywista: 0,006 $\mu\text{F}/\text{F}$ (po ponad 30 latach eksploatacji).

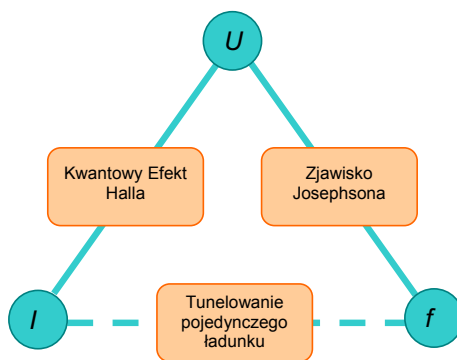
Niepewności pomiaru zależne są głównie od metody przenoszenia wartości i kształtują się następująco:

- odtwarzanie wzorca państwowego: 0,5 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- przenoszenie wartości metodą podstawiania: 5 $\mu\text{F}/\text{F}$,
- przenoszenie wartości metodą pomiaru bezpośredniego: (30 ÷ 400) $\mu\text{F}/\text{F}$.

Wartość wzorca wyznaczona w Głównym Urzędzie Miar była mniejsza w porównaniu z wartością odniesienia o 0,4 $\mu\text{F}/\text{F}$, z niepewnością oszacowania: $\pm 0,8 \mu\text{F}/\text{F}$.

W przodujących ośrodkach zajmujących się metrologią, prowadzone są prace mające na celu odtwarzanie jednostek miar z wykorzystaniem fundamentalnych stałych fizycznych. Zaletą takiej metody odtwarzania jednostek miar jest niezależność uzyskiwanych wartości od miejsca odtwarzania. W dziedzinie elektryczności wykorzystuje się powszechnie kwantowe zjawisko Josephsona do odtwarzania jednostki napięcia oraz kwantowe zjawisko Halla do odtwarzania jednostki rezystancji. Gdyby udało się odtworzyć podobną

metodą jednostkę pojemności, możliwa byłaby realizacja tzw. „trójkąta metrologicznego”. Prace nad realizacją tego zagadnienia prowadzone są między innymi w NIST (USA) oraz w PTB (Niemcy).



Kwantowy trójkąt metrologiczny

Opracowano metodę wytwarzania kondensatorów o skrajnie małych pojemnościach ~ 20 fF ($20 \cdot 10^{-15}$ F), uzyskanych przy zastosowaniu nanotechnologii oraz zastosowano pompę elektronową, przy wykorzystaniu tunelujących obwodów i tranzystorów jednoelektronowych. Metoda polega na naładowaniu kondensatora znaną liczbą n elektronów posiadających ładunek elementarny e oraz pomiarze napięcia U na tym kondensatorze. Pojemność kondensatora C określona jest jako: $C = ne/U$. Dokładne policzenie elektronów umożliwia zastosowanie tunelującego obwodu jednoelektronowego (pompy jednoelektronowej). Gdy napięcie U mierzone jest przy zastosowaniu wzorca napięcia Josephsona: $U = ifh/2e$, gdzie f – częstotliwość mikrofalowa zaś i – numer stopnia na charakterystyce prądowo-napięciowej, pojemność C może być wyrażona na podstawie fundamentalnych stałych fizycznych e oraz h , częstotliwości f oraz liczb całkowitych (n oraz i): $C = 2ne^2/ifh$. Realizacja tej metody pozwoli na wyrażenie pojemności w taki sposób, jak wyrażane jest napięcie U (zjawisko Josephsona) oraz rezystancja R (zjawisko Halla).

Robert Rzepakowski
Główny Urząd Miar