



Automatyzacja stanowiska pomiarowego przeznaczonego do kalibracji oporników dekadowych w Centralnym Wojskowym Ośrodku Metrologii

PIOTR MAKOWSKI, PRZEMYSŁAW PIRÓG

Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii, 00-908 Warszawa, ul. Radiowa 2,
cwom@metrologia.wp.mil.pl

Streszczenie. W artykule zaprezentowano, opracowane i zaimplementowane w Zespole Wzorców Odniesienia Wielkości Elektrycznych Centralnego Wojskowego Ośrodka Metrologii, stanowisko pomiarowe, przeznaczone do półautomatycznej kalibracji oporników dekadowych. Wykorzystanie tego rodzaju rozwiązania technicznego skutkuje istotnym skróceniem czasu, niezbędnego dla potrzeb kalibracji opornika dekadowego, przy jednoczesnym podniesieniu poziomu niezawodności tego procesu.

Słowa kluczowe: kalibracja, automatyzacja, opornik dekadowy, GPIB

1. Wstęp

Centralny Wojskowy Ośrodek Metrologii (CWOM) w Warszawie jest laboratorium metrologicznym najwyższego szczebla resortu Obrony Narodowej (ON). Pełni ono kluczową rolę w zakresie zapewnienia spójności pomiarowej i jednolitości zdecydowanej większości pomiarów wykonywanych w jednostkach organizacyjnych resortu ON, istotnych dla zapewnienia efektywnej i niezawodnej eksploatacji systemów uzbrojenia i sprzętu wojskowego (UiSW). Do głównych zadań CWOM w tym zakresie należy utrzymanie wojskowych wzorców odniesienia jednostek miar wielkości elektrycznych i nieelektrycznych, powiązanych z międzynarodowymi i państwowymi wzorcami jednostek miar, do których odnoszone są, poprzez okresową kontrolę metrologiczną, wzorce jednostek miar niższego rzędu, wykorzystywane w strukturach organizacji metrologicznych resortu ON [1].

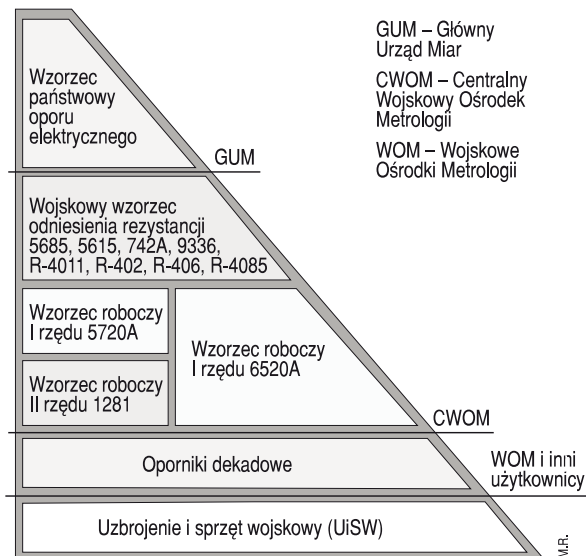
Kalibracja, obok sprawdzenia, stanowi podstawową formę kontroli metrologicznej przyrządów pomiarowych, realizowaną w ramach działalności metrologicznej resortu ON [1].

Pod pojęciem kalibracji przyrządów pomiarowych przeznaczonych na cele obronności należy rozumieć „zespół czynności wykonywanych przez upoważnione wojskowe laboratoria metrologiczne w celu ustalenia relacji między wartościami wielkości mierzonej, wskazanymi przez przyrząd pomiarowy, a odpowiednimi wartościami wielkości realizowanymi przez wzorce jednostki miary oraz stwierdzenia na tej podstawie i poświadczenia przydatności przyrządu pomiarowego do stosowania zgodnie z przeznaczeniem” [1].

Oporniki dekadowe, obok oporników wzorcowych, kalibratorów rezystancji i wielofunkcyjnych, stanowią najszerzej stosowane w laboratoriach pomiarowych resortu ON wzorce, przeznaczone do odtwarzania jednostki miary rezystancji w szerokim jej zakresie.

W CWOM wykonywane są stałoprądowe (DC) kalibracje oporników dekadowych wszystkich klas dokładności i konstrukcji (dwu- i wielozaciskowych) w zakresie wartości rezystancji od 1 m Ω do 1 T Ω [2]. Ścieżkę spójności pomiarowej, obowiązującej w zakresie kalibracji oporników dekadowych w CWOM, pokazano na rysunku 1.

W artykule zaprezentowano, zbudowane w Zespole Wzorców Odniesienia Wielkości Elektrycznych (ZWOWE) CWOM, stanowisko pomiarowe, przeznaczone do półautomatycznej kalibracji oporników dekadowych. Implementacja tego rodzaju



Rys. 1. Ścieżka spójności pomiarowej w zakresie kalibracji oporników dekadowych w CWOM [2]

rozwiązania technicznego skutkuje istotnym skróceniem czasu, niezbędnego dla potrzeb kalibracji opornika dekadowego, przy jednoczesnym podniesieniu poziomu niezawodności tego procesu. Użytkowane w tym przypadku oprogramowanie sterujące stworzono, wykorzystując do tego celu środowisko programistyczne Microsoft Visual Basic, stanowiące integralną część pakietu Microsoft Office [3, 4].

2. Kalibracja oporników dekadowych w CWOM

Zasadniczym celem kalibracji opornika dekadowego, realizowanej w CWOM, jest podjęcie statystycznie uzasadnionej decyzji, odnośnie przydatności opornika do zastosowania zgodnie z przeznaczeniem, oraz udokumentowanie wyników pomiarów z niepewnością [2].

Szczegółowe informacje dotyczące sposobu kalibracji oporników dekadowych w CWOM (problem zapewnienia odpowiednich warunków środowiskowych, wdrożona procedura kalibracji, kwestie związane z szacowaniem niepewności kalibracji i oceną metrologiczną opornika dekadowego) zawarto w pracy [2]. W tym miejscu należy jedynie przypomnieć, iż w przypadku rozpatrywanej kalibracji czynności pomiarowe realizowane są w trzech kolejnych etapach. Podczas pobierania wyników pomiarowych zastosowanie ma metoda pomiaru bezpośredniego.

Etap pierwszy obejmuje zakres działań, których celem jest wyznaczenie wartości średniej rezystancji zerowej R_0 opornika dekadowego oraz miary jej odtwarzalności, po wielokrotnych zmianach nastaw dekad opornika dekadowego.

W trakcie drugiego etapu wyznaczone są wartości poprawne R_{popr_j} ($j = 1, \dots, J$, J — liczba wszystkich nastaw opornika podlegających ocenie metrologicznej) rezystancji opornika dekadowego. Stosowana procedura pomiarowa przewiduje pomiar rezystancji wszystkich stopni danej dekady opornika przy zerowych nastawach pozostałych dekad. Wykonuje się dwie serie pomiarowe, dla dwóch kierunków prądu przepływającego przez mierzoną rezystancję. Jako wynik pomiaru rezystancji R_{popr_j} przyjmuje się średnią arytmetyczną wyników wszystkich wykonanych pomiarów tej rezystancji. Wyznaczone wartości poprawne rezystancji R_{popr_j} , skorygowane o uzyskaną wartość średnią rezystancji zerowej R_0 , dają podstawę dla określenia wartości błędu bezwzględnego ΔR_j (odtworzenia poszczególnych rezystancji przez kalibrowany opornik dekadowy), wyznaczanego zgodnie ze wzorem:

$$\Delta R_j = R_{n_j} - \left(\bar{R}_{popr_j} - \bar{R}_0 \right) = R_{n_j} - \left(\frac{\bar{R}_{popr_{+j}} + \bar{R}_{popr_{-j}}}{2} - \frac{\bar{R}_{0+} + \bar{R}_{0-}}{2} \right), \quad (1)$$

gdzie: j — kolejny numer rezystancji odtwarzanej przez opornik dekadowy ($j = 1, \dots, J$);

J — liczba wszystkich nastaw opornika, podlegających ocenie;
 R_{n_j} — kolejna wartość nominalna rezystancji opornika;
 \bar{R}_{popr_j} — kolejna wyznaczona wartość poprawna rezystancji (w oparciu o wyniki otrzymane przy dwóch kierunkach przepływu prądu $\bar{R}_{popr_{+j}}$ i $\bar{R}_{popr_{-j}}$);
 \bar{R}_0 — wyznaczona średnia wartość rezystancji zerowej (w oparciu o wyniki otrzymane przy dwóch kierunkach przepływu prądu \bar{R}_{0+} i \bar{R}_{0-}).

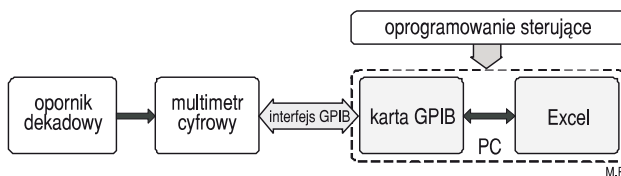
Pozyskany zbiór wartości błędu ΔR , wartość średnia rezystancji zerowej i jej od-twarzalność stanowią podstawę dla oceny właściwości metrologicznych opornika.

Ostatni etap kalibracji składa się z dwóch części. Po pierwsze, zestawia się wyniki wszystkich wykonanych pomiarów, wyznaczone wartości błędów oraz oszacowane niepewności rozszerzone błędów. Następnie w oparciu o tak zgromadzoną wiedzę dokonuje się oceny właściwości metrologicznych opornika, zgodnie z zasadami podanymi w pracy [2].

3. Struktura stanowiska pomiarowego, przeznaczonego do półautomatycznej kalibracji oporników dekadowych

Proces kalibracji opornika dekadowego, realizowanej w sposób opisany powyżej, wiąże się z koniecznością wykonania dużej liczby wielokrotnie powtarzanych pomiarów rezystancji, uzależnionej od ilości nastaw opornika dekadowego, podlegających ocenie metrologicznej. Taki stan rzeczy stał się przyczyną podjęcia próby automatyzacji wyżej wymienionego procesu kalibracji.

Na schemacie blokowym z rysunku 2 zaprezentowano strukturę, opracowanego i wdrożonego w ZWOWE CWOM, stanowiska pomiarowego, przeznaczonego do półautomatycznej kalibracji oporników dekadowych.



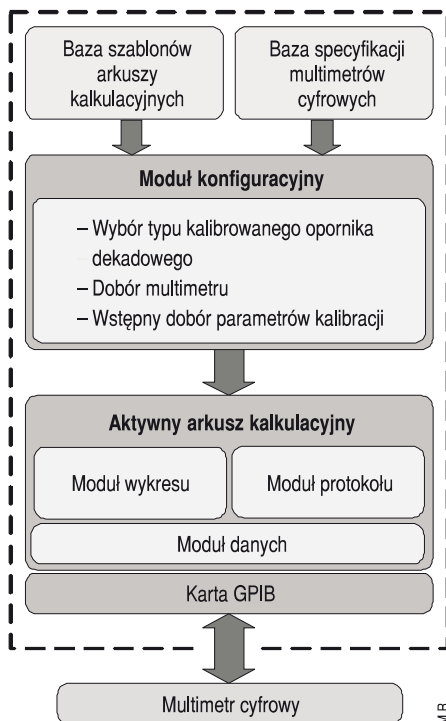
Rys. 2. Struktura półautomatycznego stanowiska pomiarowego, przeznaczonego do kalibracji oporników dekadowych

Po zadaniu odpowiedniej nastawy opornika kalibrowanego, właściwym skonfigurowaniu i uruchomieniu opcji pomiaru następuje przesył wyników pomiaru rezystancji, pobieranych przez multimetr cyfrowy (np. 1281, 8508A), do właściwych komórek wcześniej przygotowanego arkusza kalkulacyjnego programu Microsoft Excel.

Laboratorium ZWOWE CWOM dysponuje bazą arkuszy kalkulacyjnych, sporządzonych na potrzeby kalibracji zasadniczo wszystkich typów oporników dekadowych, jakie poddaje się temu procesowi w CWOM. Zaimplementowane w arkuszu działania numeryczne umożliwiają m.in. bezpośrednie wyznaczenie wartości błędu odtwarzania poszczególnych rezystancji przez kalibrowany opornik dekadowy (wraz z ich niepewnościami), a ponadto generują kompleksową informację odnośnie stanu oceny metrologicznej w poszczególnych punktach kalibracji opornika.

4. Oprogramowanie sterujące

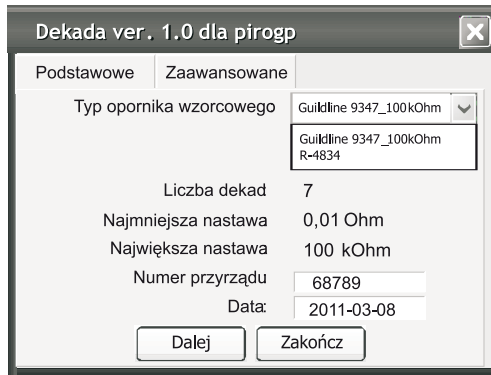
Użyteczne, dla stanowiska pomiarowego z rysunku 2, oprogramowanie sterujące sporządzono, wykorzystując do tego celu środowisko programistyczne Microsoft Visual Basic, stanowiące integralną część pakietu Microsoft Office [3, 4]. Zasadę działania tego oprogramowania dogodnie jest omawiać, posługując się schematem blokowym z rysunku 3.



M.R.

Rys. 3. Zasada działania oprogramowania sterującego

Uruchomienie programu skutkuje wyświetleniem na ekranie monitora komputerowego okna dialogowego (rys. 4), za pośrednictwem którego użytkownik dokonuje wyboru typu kalibrowanego opornika dekadowego oraz typu stosowanego multimetru. W odpowiedzi na to działanie moduł konfiguracyjny kreuje odpowiedni „aktywny arkusz kalkulacyjny”.



Rys. 4. Okno dialogowe, aktywne po uruchomieniu programu

W dalszym ciągu, za pośrednictwem karty GPIB, do poszczególnych komórek wyżej wymienionego arkusza kalkulacyjnego przesyłane są wyniki pomiaru rezystancji, pozyskane dla kolejnych nastaw opornika dekadowego podlegających ocenie metrologicznej.

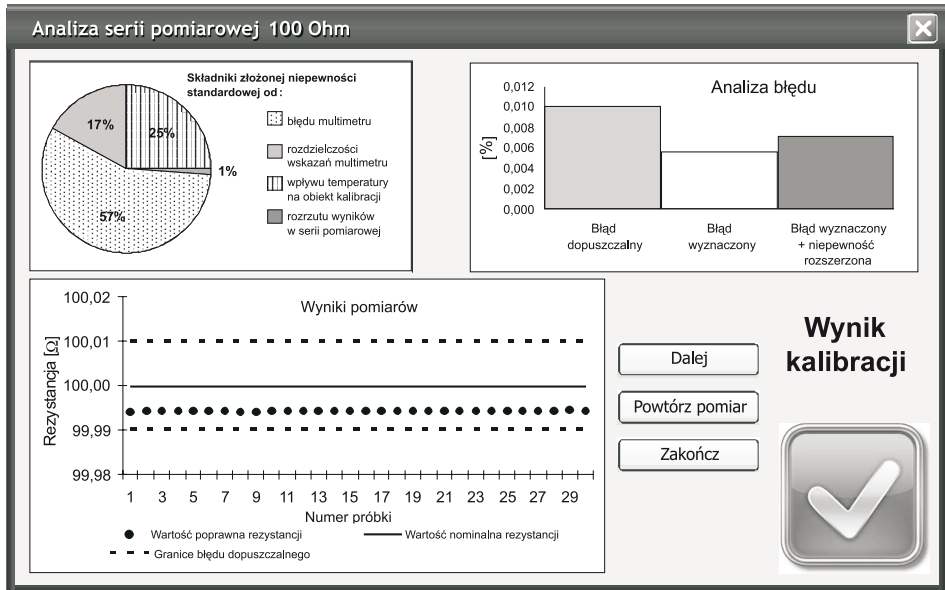
Aspekty praktycznej realizacji pomiarów w układzie pomiarowym z rysunku 2 omówiono w kolejnym rozdziale.

5. Praktyczna realizacja pomiarów

Po zadaniu kolejnej nastawy opornika kalibrowanego, skonfigurowaniu i uruchomieniu opcji pomiaru, do właściwych komórek „aktywnego arkusza kalkulacyjnego” kierowany jest strumień danych, tworzących 30-elementową serię pomiarową j -tej rezystancji, odtwarzanej przez kalibrowany opornik dekadowy (z uwzględnieniem dwóch polaryzacji sygnału pomiarowego). Po zakończeniu tego procesu automatycznie generowane jest okno wykresu, którego przykład pokazano na rysunku 5.

Szczególną uwagę należy zwrócić na wykres słupkowy, pokazany na rysunku 5 (prawy górny narożnik). Wysokość poszczególnych słupków tworzących ten wykres jest proporcjonalna odpowiednio do:

- wartości błędu dopuszczalnego odtwarzania j -tej rezystancji przez kalibrowany opornik dekadowy $\Delta R_{dop,j}$, wynikającej z jego klasy;



Rys. 5. Wizualizacja przykładowych rezultatów kalibracji opornika dekadowego w j -tym punkcie kontrolnym

- wyznaczonej w drodze pomiarów, faktycznej wartości błędu odtwarzania j -tej rezystancji przez opornik kalibrowany ΔR_j ;
- skumulowanej wartości bezwzględnej błędu ΔR_j i niepewności rozszerzonej $U_{95,45_j}$ (określonej na poziomie ufności 95,45%), z jaką pozyskano wartość tego błędu.

Omawiane powyżej zobrazowanie pozwala na „szybką” ocenę metrologiczną opornika kalibrowanego, w każdym punkcie kalibracji, zgodnie z formułą:

$$\left| R_{n_j} - (\bar{R}_{popr_j} - \bar{R}_0) \right| + U_{95,45_j} \leq \Delta R_{dop_j}, \quad (2)$$

gdzie: R_{n_j} — kolejna wartość nominalna rezystancji opornika;
 \bar{R}_{popr_j} — wartość poprawna rezystancji odtwarzanej przez opornik kalibrowany, wyznaczona w drodze pomiarów;
 \bar{R}_0 — wyznaczona średnia wartość rezystancji zerowej,
 ΔR_{dop_j} — wartość błędu dopuszczalnego odtwarzania j -tej rezystancji przez kalibrowany opornik dekadowy;
 $U_{95,45_j}$ — niepewność rozszerzona kalibracji.

Jak wykazano to w pracy [2], kryterium określone wzorem (2) jest kluczowe dla dokonania właściwej, statystycznie uzasadnionej oceny metrologicznej wzorca w środowisku występowania wielkości zakłócających wyniki pomiarów.

Dwa kolejne zobrazowania, pokazane na rysunku 5, dostarczają informacji odnośnie rozrzutu wyników w pozyskanej serii pomiarowej. Wiedza tego rodzaju, w połączeniu z dużym doświadczeniem osoby kalibrującej, jest istotna z punktu widzenia określenia stopnia odtwarzalności danej rezystancji przez kalibrowany opornik dekadowy. W szczególności możliwe jest na tej podstawie wnioskowanie o niesprawności wzorca, spowodowanej przykładowo zużyciem lub nadmiernym zanieczyszczeniem styków elementu komutacyjnego.

Podstawą dla analizy niepewności kalibracji, realizowanych w CWOM, są odpowiednio konstruowane, w oparciu o obowiązujące międzynarodowe i krajowe zalecenia dotyczące szacowania niepewności pomiaru [5, 6], modele matematyczne pomiaru (równania pomiaru). Szczegóły dotyczące budowy tego rodzaju modelu na potrzeby kalibracji opornika dekadowego, wraz z identyfikacją i charakterystyką źródeł złożonej niepewności standardowej pomiaru, przedstawiono w pracy [2].

Jak wynika z praktyki laboratoryjnej, w przypadku szacowania niepewności kalibracji zdecydowanej większości oporników dekadowych, wystarczające jest uwzględnienie czterech składników złożonej niepewności standardowej pomiaru, powiązanych z następującymi czynnikami:

- rozrzutem wyników w realizowanych seriach pomiarowych (oszacowanie typu A);
- niepewnością wskazań użytego przyrządu kontrolnego (oszacowanie typu B, uwzględniające błędy instrumentalne przyrządu);
- skończoną rozdzielczością wskazań przyrządu kontrolnego (oszacowanie typu B);
- wpływem temperatury na zmiany rezystancji obiektu kalibracji (oszacowanie typu B).

Taki stan rzeczy znalazł swoje odzwierciedlenie na wykresie kołowym z rysunku 5.

Po zakończeniu całego cyklu pomiarów możliwa jest dalsza analiza wyników, zapisanych w uprzednio stworzonym arkuszu kalkulacyjnym programu Excel. Możliwe jest również pobranie odpowiednich danych, celem sporządzenia właściwego protokołu kalibracji wzorca.

6. Podsumowanie

Kalibracja opornika dekadowego jest czynnością czasochłonną, wymagającą realizacji dużej liczby wielokrotnie powtarzanych pomiarów rezystancji opornika w ściśle określonych i powtarzalnych warunkach.

Implementacja rozwiązania technicznego, pokazanego w artykule, skutkuje istotnym skróceniem czasu, niezbędnego dla potrzeb kalibracji opornika dekadowego, przy jednoczesnym podniesieniu poziomu niezawodności tego procesu.

W przypadku stosunkowo prostych kalibracji (kalibracja oporników dekadowych, dekadowych wzorców indukcyjności lub pojemności elektrycznej) proponowane rozwiązanie stanowi interesującą alternatywę dla rozwiązań komercyjnych, wykorzystujących kosztowne oprogramowanie specjalistyczne (np. zintegrowane w pakiecie MET/CAL).

W celu dalszej minimalizacji kosztów można podjąć próbę realizacji analogicznego rozwiązania z użyciem interfejsu RS-232 (całkowite wyeliminowanie karty GPIB lub zastąpienie jej tańszym konwerterem GPIB — RS-232). W takim przypadku należy się jednak liczyć z mniejszą szybkością transferu danych, charakterystyczną dla tego rodzaju rozwiązania sprzętowego.

W przyszłości, w laboratorium ZWOWE CWOM planuje się implementację analogicznych do omawianego w artykule rozwiązań technicznych na stanowiskach pomiarowych przeznaczonych do kalibracji dekadowych wzorców indukcyjności i pojemności elektrycznej, realizowanych z użyciem mostka RLC typu 1693.

Artykuł wpłynął do redakcji 13.06.2011 r. Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano w czerwcu 2011 r.

LITERATURA

- [1] Opracowanie: *Zapewnienie spójności pomiarowej w działalności wojskowych laboratoriów metrologicznych* zatwierdzone Decyzją Nr 17/WCM/2008 Dyrektora Wojskowego Centrum Metrologii z dnia 21.03.2008.
- [2] P. MAKOWSKI, E. WOŹNIAK, *Kalibracja oporników dekadowych realizowana w Centralnym Wojskowym Ośrodku Metrologii w ramach zapewnienia spójności pomiarowej i jednolitości pomiarów w resorcie Obrony Narodowej*, *Pomiary Automatyka Kontrola*, 56, 8, 2010, 840-843.
- [3] J. KOROL, *Visual Basic w Excelu 97*, Zakład Nauczania Informatyki „MIKOM”, Warszawa, 1998.
- [4] J. WALKENBACH, *Programowanie — Excel 2000 Visual Basic*, Oficyna Wydawnicza „READ ME”, Warszawa, 2000.
- [5] *Wyrażanie niepewności pomiaru*, Przewodnik, GUM, 1999.
- [6] *Wyrażanie niepewności pomiaru przy wzorcowaniu*, EA-4/02, GUM, 2001.

P. MAKOWSKI, P. PIRÓG

Automation of measuring installation for calibration of decade resistor at the Central Military Calibration Laboratory

Abstract. In this paper, the concept and implementation of automation of measuring installation for calibration of decade resistors are given. Application of this solution decreases the time and improves reliability of calibration of decade resistor.

Keywords: calibration, automation, decade resistor, GPIB

