

doi:10.15199/48.2021.09.13

Metody pasma ochronnego stosowane do oceny wyników wzorcowania multimetrów cyfrowych na przykładzie oprogramowania FLUKE MET/CAL

Streszczenie. Artykuł opisuje podstawowe zagadnienia związane z wzorcowaniem multimetrów cyfrowych i ich walidacją. Opisano metody pasma ochronnego stosowanego do walidacji multimetrów jakie są zaimplementowane w oprogramowaniu do automatyzacji procesów wzorcowania FLUKE MET/CAL. Przedstawiono również stanowisko do wzorcowania multimetrów i oprogramowanie. W tekście zamieszczono zestawienie wyników wzorcowania dla różnych metod.

Abstract. The article describes the basic issues related to the calibration of digital multimeters and their validation. The methods of the protective band used for the validation of multimeters, which are implemented in the FLUKE MET / CAL calibration process automation software, are described. Also presented is a multimeter calibration station and software. The text contains a summary of the results of calibration for various methods. (Guardband methods used to evaluate the results of digital multimeters calibration on the example of FLUKE MET/CAL software)

Słowa kluczowe: wzorcowanie multimetrów cyfrowych, pasmo ochronne, walidacja przyrządów, ocena wyników wzorcowania.

Keywords: calibration of digital multimeters, guard band, instrument validation, evaluation of calibration results.

Wstęp

Obecnie powszechnie stosowanymi przyrządami pomiarowymi są multimetry cyfrowe. Duża liczba funkcji pomiarowych i zakresów sprawiły, że są one stosowane w wielu gałęziach przemysłu, badaniach naukowych oraz innych dziedzinach życia, w których wykonywane są pomiary.

Do podstawowych czynności eksploatacyjnych multimetrów, zapewniających ich poprawną pracę, należy okresowe wzorcowanie przyrządów. Wykonywane przez jednostki posiadające odpowiednie wyposażenie oraz kompetencje. Część z takich jednostek posiada potwierdzenie trzeciej, niezależnej strony, o zdolność do wykonywania wzorcowań czyli akredytację. Wzorcowanie stało się na tyle ważnym elementem eksploatacji multimetrów, że zostało ujęte w przepisach prawnych. Do podstawowych aktów prawnych, w których opisano konieczność wzorcowania, należą polskie normy PN-EN ISO/IEC 17025:2018 („... wyposażenie powinno być wzorcowane przed oddaniem do użytkownika”) [1], oraz PN-EN ISO/IEC 9001:2015 („... wyposażenie pomiarowe należy wzorcować ... przed użyciem”) [2]. Ponadto niektóre gałęzie przemysłu w których wypracowano bardzo wysokie standardy wykonywanych dóbr, takich jak branża motoryzacyjna, w swoich przepisach prawnych wymuszają okresowe wzorcowanie przyrządów pomiarowych. Przykładem takiego dokumentu jest IATF-16494-2016 gdzie w punkcie 7.1.5.2.1 Calibration/verification record, znajduje się zapis „...zapisy czynności kalibracyjnych / weryfikacyjnych dla wszystkich mierników oraz sprzętu pomiarowego i testującego...” (tłum. z ang. [3]), który jednoznacznie wymusza na przedsiębiorstwach wykonywanie okresowych wzorcowań aparatury i prowadzenie dokumentacji tych wzorcowań.

Wzorcowanie przyrządów pomiarowych pozwala na zachowanie spójności pomiarowej, która jest bardzo ważnym elementem pozwalającym na swobodny przepływ dóbr i usług. Drugą ważną kwestią, którą rozwiązuje wzorcowanie, jest utrzymanie przyrządów w stanie zapewniającym ich prawidłową pracę. Poprzez długoterminowe obserwację zmian wskazań, odnotowywanych podczas wzorcowania, można obserwować proces starzenia urządzeń i z wyprzedzeniem zaplanować ich naprawę lub wymianę. Pozwala to na

predyktywne utrzymanie ruchu co w wielu przypadkach może mieć kluczowe znaczenie. Innym aspektem wzorcowania, mniej znanym i wykorzystywanym, jest walidacja czyli eksperymentalne potwierdzenie spełnienia wymagań dotyczących dokładności pomiaru dla zakładanego zadania pomiarowego. A więc czy przy pomocy danego przyrządu możliwe jest zmierzenie czegoś z określoną niepewnością.

W celu zapewnienia odpowiednich narzędzi pozwalających na wykonanie walidacji w sposób dostosowany do wymogów użytkownika, w oprogramowaniu do automatyzacji procesów wzorcowania firmy FLUKE zaimplementowano tak zwane pasmo ochronne. W artykule przedstawiono wybrane metody pasma, ich zasadę działania oraz przykładowe wyniki działania.

Stanowisko do wzorcowania

Przedstawione techniki pasma ochronnego zostały przygotowane i przetestowane na stanowisku do wzorcowania multimetrów cyfrowych znajdującym się w Laboratorium Badań i Kalibracji „EML” Katedry Metrologii i Systemów Diagnostycznych Politechniki Rzeszowskiej. Na rysunku 1 pokazano stanowisko i wyposażenie wykorzystywane podczas wzorcowania.



Rys. 1. Stanowisko do wzorcowania multimetrów cyfrowych

Podstawowym urządzeniem wykorzystywanym do wzorcowania tego typu urządzeń jest kalibrator wielofunkcyjny pozwalający na odtworzenie wielkości

elektrycznych odpowiadających zakresom sprawdzanym podczas wzorcowania. Kalibrator taki powinien charakteryzować się przede wszystkim bardzo dobrą stabilnością wielkości wyjściowych. Szumy na wyjściu kalibratora mogą w znaczący sposób wpłynąć na przebieg procesu wzorcowania i jego wynik. Kalibrator powinien również spełniać wymogi dotyczące zakresów, musi być w stanie wygenerować sygnały o odpowiedniej wartości napięć czy natężeń prądów oraz, w przypadku przebiegów zmiennych, o odpowiedniej częstotliwości. Jeżeli wzorcowaniu podlegają zakresy pomiaru rezystancji, kalibrator powinien posiadać możliwości symulacji odpowiednich wartości rezystancji.

Wartości sygnałów na wyjściu kalibratora, tak jak i sprawdzanych multimetrów, obciążone są błędami. Wartości maksymalne dopuszczalne tych błędów podawane są przez producenta urządzenia w jego specyfikacji technicznej. Aby możliwe było wykorzystanie kalibratora do wzorcowania danego multimetru wartości błędów maksymalnych dopuszczalnych kalibratora powinny być odpowiednio mniejsze niż wartości błędów dopuszczalnych maksymalnych badanego urządzenia. Dopuszczalny maksymalny stosunek tych błędów determinuje słuszność wykorzystania kalibratora do zadania wzorcowania. W celu poprawy stosunku błędów maksymalnych dopuszczalnych stosuje się dodatkowe urządzenie jakim jest multimetr referencyjny. Wartość zmierzona przez taki multimetr wykorzystywana jest jako wartość umownie prawdziwa w dalszym procesie wzorcowania.

Stanowisko do wzorcowania, przedstawione na rysunku 1, wyposażone jest w dwa multimetry referencyjne 8½ cyfry. Dzięki wykorzystaniu dwóch multimetrów referencyjnych możliwa jest kontrola pracy tych urządzeń, obserwacja procesu ich starzenia się, trendów zmian i wykrywanie przypadków nieprawidłowej pracy urządzeń. Dodatkowym atutem wykorzystywania dwóch urządzeń na jednym stanowisku jest zachowanie ciągłości pracy stanowiska. Na przykład w sytuacji kiedy jeden z multimetrów musi zostać wysłany w celu jego wzorcowania, stanowisko może być nadal eksploatowane, wykorzystując drugi multimetr jako wzorzec. Na rysunku 1 znajduje się również komputer PC z zainstalowanym oprogramowaniem FLUKE MET/CAL. Widzimy również dwa przykładowe multimetry które były wykorzystywane podczas badań metod pasma ochronnego opisanych w tym artykule.

Oprogramowanie FLUKE MET/CAL

Oprogramowanie MET/CAL firmy FLUKE jest zestawem kilku programów współpracujących ze sobą i tworzących środowisko wspomagające obsługę automatycznych procesów wzorcowania na każdym jego etapie. W jego skład wchodzi między innymi rozbudowany edytor do pisania procedur MET/CAL Editor, środowisko wykonawcze dla opracowanych procedur MET/CAL RunTime, program do obsługi bazy danych MET TRACK oraz program do edycji szablonów i automatycznego generowania raportów SAP CrystalReports. Stanowisko w laboratorium EML wyposażone jest w oprogramowanie FLUKE MET/CAL w wersji 8.0.46.

Podstawowym elementem spajającym całość i umożliwiającym swobodną wymianę danych między programami jest baza danych. Baza zawiera wszystkie informacje wykorzystywane przez programy, wyniki przeprowadzonych wzorcowań oraz informacje o użytkownikach i ich uprawnieniach. Umożliwia to kontrolę dostępu i możliwości edycji danych o kalibrowanych urządzeniach czy procedurach. Pozwala to na zachowanie poufności informacji i sprawowanie kontroli nad przepływem informacji w laboratorium.

Edytor procedur MET/CAL Editor jest programem edytorskim wspomagającym proces pisania automatycznych procedur wzorcowania. Procedura pisana jest w specjalnym, skryptowym języku programowania nazywanym FSC. Język ten posiada specjalne komendy obsługujące między innymi kalibrator, multimetry referencyjne, pozwalające na sterowanie urządzeniami poprzez interfejsy komunikacyjne takie jak RS-232, GPIB, LAN czy USB oraz sterujące procesem wzorcowania.

Opracowane przez programistę procedury zostają zapisane w postaci plików tekstowych oraz plików wykonywalnych. Pliki tekstowe są kodem źródłowym procedur, który można edytować. Pliki wykonywalne mogą zostać uruchomione z poziomu programu MET/CAL RunTime. Program RunTime na podstawie danych wprowadzonych przez operatora, informacji z bazy danych i opracowanej procedury przeprowadza wzorcowanie. W zależności od stopnia automatyzacji procesu udział operatora jest minimalny i polega na wykonaniu odpowiedniego podłączenia urządzeń lub większy i angażuje go do wprowadzania odczytów z wzorcowanego urządzenia do programu.

Po przeprowadzeniu wzorcowania wyniki zapisywane są w bazie danych. Następnie na ich podstawie może zostać wygenerowane świadectwo wzorcowania. Do generowania świadectw służy program SAP CrystalReports. Program ten może być wykorzystywany również do generowania innych raportów z informacji zawartych w bazie oraz edycji szablonów na podstawie których powstają wydruki.

Ostatnim z opisywanych tutaj programów jest MET TRUCK. Jest to program do zarządzania informacjami w bazie danych. Program posiada możliwość przeglądania informacji o kontrahentach, urządzeniach i wynikach wzorcowania.

Całość tworzy kompletne środowisko do przygotowywania i przeprowadzania automatycznych procesów wzorcowania oraz zarządzania informacjami związanymi z wzorcowaniem.

Tworzenie procedur

Aby opracowana procedura działała poprawnie i spełniała wymagania powinna być pisana dla konkretnego urządzenia i według szczegółowych wymogów. Można stworzyć uniwersalny szkielet procedur i na jego podstawie sporządzać specjalizowane procedury do danego zastosowania. Niezależnie od sposobu pisania kodu procedury pierwszym krokiem powinna być identyfikacja wzorcowanego urządzenia. Pod pojęciem identyfikacja rozumie się poznanie możliwości komunikacji z urządzeniem, zainstalowane interfejsy, standardy komunikacji, zestawy komend itp.

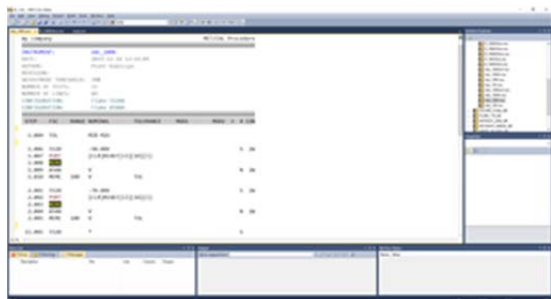
Drugą ważną rzeczą są zakresy, na których ma być sprawdzane urządzenie. Dobrą praktyką jest wykonanie zestawienie nominalnych punktów wzorcowania (w skrócie NPW). Dobór NPW opisuje przewodnik wzorcowania multimetrów cyfrowych wydany przez EURAMET [4]. Zawiera on zalecaną, minimalną liczbę NPW ale w uzasadnionych przypadkach ta liczba może być inna. Jeżeli urządzenie, podczas normalnego trybu pracy, pracuje na wybranym zakresie może istnieć konieczność dokładnego sprawdzenia tego zakresu i wybór większej liczby NPW mieszczących się w tym zakresie.

Procedury składają się z poleceń sterujących przebiegiem procedury, sterujących urządzeniami lub wykonującymi zaimplementowane obliczenia i analizy. Do tworzenia procedur służy program MET/CAL Editor który jest specjalnie do tego celu przygotowanym środowiskiem programistycznym i zawiera wiele funkcji wspomagających proces tworzenia procedur.

Za pomocą poleceń, nazywanych w programie Function Select Code (w skrócie FSC), można dowolnie sterować procesem wzorcowania. Część poleceń została specjalnie stworzona do sterowania wyposażeniem firmy FLUKE, na przykład FSC 5522 steruje kalibratorem FLUKE 5522A. Dzięki tym poleceniom pisanie procedur jest łatwiejsze i zajmuje mniej czasu. Polecenie to, wpisane wraz z parametrami, wykonuje wszystkie czynności związane z sterowaniem kalibratora i wygenerowania określonej wielkości na jego zaciskach. Odbywa się to bez udziału operatora i daje pewność prawidłowego sterowania urządzenia. Inna grupa poleceń odpowiada za obsługę interfejsów komunikacyjnych.

Z poziomu poleceń można również między innymi wybrać metodę pasma ochronnego i wprowadzić parametry z nią związane. Same metody i parametry zostały opisane w rozdziale „Ocena wyniku z pasmem ochronnym”.

Na rysunku 2 przedstawiono widok okna programu MET/CAL Editor oraz fragment kodu procedury.

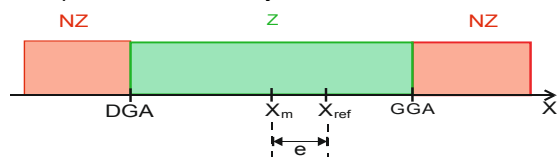


Rys. 2. Widok okna programu MET/CAL Editor

Podstawowe elementy okna programu MET/CAL Editor to edytor tekstu, okno z widokiem drzewa projektu, okno komunikatów o błędach i ostrzeżeniach oraz górna belka z ikonami do obsługi programu. Projekt może składać się z wielu plików tekstowych, dzięki temu istnieje możliwość sporządzenia indywidualnych procedur na podstawie uniwersalnego szablonu i plików konfiguracyjnych oraz wykorzystania przygotowanych plików w innych procedurach. Program automatycznie sprawdza składnię procedury i sygnalizuje wykrycie błędów. Dzięki temu osoba pisząca może większą uwagę poświęcić na prawidłową logikę działań wykonywanych w procedurze.

Ocena wyniku bez pasma ochronnego

Najczęściej podstawą oceny wzorcowania, w tym walidacji, jest stwierdzenie czy wartość referencyjna (umownie prawdziwa) mieści się w określonym przedziale wartości wokół wartości zmierzonej przez wzorcowany przyrząd. Inaczej mówiąc, czy różnica między wartością zmierzona i referencyjną jest mniejsza niż błąd maksymalny dopuszczalny. Jest to najprostsze i najczęściej wybierane kryterium oceny wyniku wzorcowania. Na jego podstawie stwierdza się czy dany przyrząd mierzy z błędem mniejszym niż deklarowany przez producenta czy większym. Takie stwierdzenie może być podstawą oceny walidacji. Przykład ilustrujący wykorzystanie takiego warunku przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Przedziały oceny wzorcowania bez pasma ochronnego

Na rysunku 3 pokazano przedziały ocen oraz zaznaczono charakterystyczne punkty związane z oceną

wzorcowanego przyrządu. *DGA* oznacza dolną granicę akceptacji, *GGA* – górną granicę akceptacji, X_m to wartość zmierzona przy użyciu badanego przyrządu, X_{ref} to wartość referencyjna a e to odchylenie między wartością mierzona i referencyjną. Odpowiednie wzory opisujące zależności matematyczne między punktami są następujące:

$$(1) \quad e = X_m - X_{ref}$$

$$(2) \quad DGA = X_m - BMD$$

$$(3) \quad GGA = X_m + BMD$$

– gdzie *BMD* to błąd maksymalny dopuszczalny deklarowany przez producenta.

Jak pokazano na rysunku 3, stosując takie kryteria oceny, ocena może przyjmować jedną z dwóch wartości: zgodny (Z) lub niezgodny (NZ) z deklaracją producenta. Na tej podstawie w procesie walidacji można stwierdzić, czy dane urządzenie jest zdadne lub niezdatne do wykorzystania w danym zadaniu pomiarowym.

Na rysunku zaznaczono również odchylenie (e). Jest ono podawane w świadectwie wzorcowania jako jedna z podstawowych informacji o wynikach wzorcowania wraz z niepewnością rozszerzoną wyznaczenia tego odchylenia. Śledząc trend zmian odchylenia na przestrzeni czasu (w domyśle kolejnych wzorcowań), można wnioskować o procesie starzenia się urządzenia i szacować czas, po którym urządzenie przestanie być zdadne do użytku.

Ocena wyniku z pasmem ochronnym

Zastosowanie pasma ochronnego pozwala na zmianę granic akceptacji opisanych w poprzednim rozdziale. Można zmniejszyć lub rozszerzyć przedział, w którym wynik uznawany jest za zgodny. Ponadto niektóre z technik pasma ochronnego pozwalają na wprowadzenie dodatkowych przedziałów z dodatkowymi ocenami wyniku. Pasma ochronne zapewnia więc większą elastyczność i lepsze dopasowanie do specyficznych wymagań lub polityki oceny wyników wzorcowania stosowanych w laboratorium wzorcującym.

Przedstawione w artykule metody pasma ochronnego są zaimplementowane w oprogramowaniu FLUKE MET/CAL. Opisano tutaj takie metody jak: *direct*, *tsr*, *tur*, *mu* i *rds*.

Pierwszy z opisywanych sposobów pasma ochronnego to metoda bezpośredniego współczynnika pasma ochronnego. Opcja ta w środowisku MET/CAL nazywana jest „*direct*”. Polega ona na zawężeniu lub rozszerzeniu przedziału wartości uznawanych za zgodne poprzez pomnożenie błędu maksymalnego dopuszczalnego (*BMD*) przez odpowiedni współczynnik. Współczynnik ten w oprogramowaniu oznaczony jest symbolem „*gbf*”. W metodzie „*direct*” równania (2) i (3) rozszerzone zostają o wspomniany współczynnik. Nowe równania opisujące granice akceptacji mają postać:

$$(4) \quad DGA = X_m - BMD * gbf$$

$$(5) \quad GGA = X_m + BMD * gbf$$

Jeżeli współczynnik *gbf* będzie mniejszy od 1 to przedział akceptacji zostanie zmniejszony, a jeżeli większy od 1 to przedział zostanie rozszerzony. Wartość współczynnika *gbf* ustala się podczas tworzenia procedury i jej zmiana wymaga ingerencji w kod procedury.

Dwie kolejne techniki pasma ochronnego są to tak zwane metody tablicowe. Podobnie jak w przypadku metody „*direct*” ich działanie polega na zawężeniu lub rozszerzeniu przedziału akceptacji poprzez pomnożenie błędu maksymalnego dopuszczalnego przez współczynnik

gbf. Natomiast różnica polega na doborze wartości liczbowej tego współczynnika, która uzależniona jest od wartości parametrów odpowiednio tsr i tur. Metody nazwano tak samo jak współczynniki. Na podstawie obliczonych automatycznie wartości parametrów program dokonuje wyboru odpowiedniej wartości parametru gbf.

Zestaw wartości parametrów tsr lub tur wraz z wartościami gbf, zapisane w pliku tekstowym to wspomniana tablica. Tabele taką tworzy się na podstawie doświadczeń i zasad oceny stosowanych w danym laboratorium. W zależności od ustawień zapisanych w procedurze, wartość gbf może przyjmować tylko wartości zapisane w tabeli lub zmieniać się płynnie. Przykładowy fragment tabeli pokazano poniżej.

Przykładowa tabela współczynników metody tsr:

#tsr	gbf
2.0	0.5
3.0	0.75
4.0	1.0

W środowisku MET/CAL parametry tsr i tur są wyliczane dla każdego pojedynczego testu wykonywanego w nominalnym punkcie wzorcowania (NPW) i, w zależności od wybranej metody pasma ochronnego, mogą być wykorzystywane do dalszych operacji lub tylko podawane w formie informacji dla operatora.

Sposób wyliczania tych parametrów może być mylący, zwłaszcza że nie są to wielkości wprost odpowiadające wielkościom jakie sugerowała by ich nazwa lub znanym z innych źródeł literaturowych. Tak na przykład tsr (z ang. test specification ratio, czyli stosunek specyfikacji testu) oznacza stosunek błędów maksymalnych dopuszczalnych badanego urządzenia i przyrządu referencyjnego (multimetru lub kalibratora).

$$(6) \quad tsr = \frac{BMD_{spr}}{BMD_{ref}}$$

Mniej oczywiste jest wyznaczanie parametru tur (z ang. Test uncertainty ratio czyli stosunek niepewności testu) nie jest stosunkiem dwóch niepewności, tak jak wskazuje nazwa. tur w metodzie pasma ochronnego wyliczane jest jako błąd maksymalny dopuszczalny badanego urządzenia podzielony przez niepewność rozszerzoną wyznaczenia odchylenia dla danego NPW.

$$(7) \quad tur = \frac{BMD_{spr}}{U_c(e)}$$

Oprogramowanie FLUKE MET/CAL dostarcza również inne techniki tablicowe pasma ochronnego nie przedstawione w artykule. Przedstawione metody zostały wybrane w celu prezentacji mechanizmu działania tego typu pasm. Szczegółowe informacje na ich temat zawarte są w literaturze [5-7].

Działanie dwóch kolejnych metod opiera się na niepewności odchylenia, oznaczonego symbolem e . Niepewność obliczana jest na podstawie wyników pomiarów, danych zapisanych w procedurze i dokumentacji przyrządów w plikach konfiguracyjnych oprogramowania. W przypadku, kiedy test polega na wykonaniu serii pomiarów, wyznaczana jest niepewność typu A, natomiast jeżeli test jest pojedynczym pomiarem wyznacza się niepewność typu B. Na podstawie składowych niepewności i współczynników czułości obliczana jest niepewność złożona (u_c) i rozszerzona (U_c) [8][9]. Według deklaracji producenta oprogramowania, sposób wyznaczania niepewności jest zgodny z wycofaną już normą ANSI / NCSL Z540.3 zastąpioną przez ISO / IEC 17025: 2017.

Producent deklaruje zgodność sposobu szacowania niepewności z normą 17025.

Pierwsza z technik pasma ochronnego, która wykorzystuje obliczaną niepewność jest metoda nazwana „mu”. Działanie mu powoduje przesunięcie granic akceptacji o wartość niepewności rozszerzonej pomnożonej przez współczynnik gbf. Należy w tym miejscu podkreślić że w metodzie „mu” mnożona jest niepewność a nie błąd maksymalny dopuszczalny, tak jak miało to miejsce w opisywanych wcześniej procedurach.

Metoda ta wprowadza również dodatkowe przedziały, w których wyniki nie są jednoznacznie. Wyniki w tych przedziałach mogą przyjmować wartość „zgodny warunkowo” (Z/?) lub „niezgodny warunkowo” (NZ/?). Przypadki te zostały zilustrowane na rysunku 4. Na osi zostały zaznaczone charakterystyczne punkty ($X_1 - X_6$) opisane równaniami:

$$(8) \quad X_1 = X_m - BMD_{spr} - U_c(e) * gbf$$

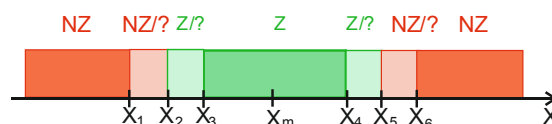
$$(9) \quad X_2 = X_m - BMD_{spr}$$

$$(10) \quad X_3 = X_m - BMD_{spr} + U_c(e) * gbf$$

$$(11) \quad X_4 = X_m + BMD_{spr} - U_c(e) * gbf$$

$$(12) \quad X_5 = X_m + BMD_{spr}$$

$$(13) \quad X_6 = X_m + BMD_{spr} + U_c(e) * gbf$$



Ry. 4 mi pasma ochronnego

Jak można zauważyć na rysunku 4 zastosowanie pasma ochronnego wprowadza większą elastyczność dotyczącą oceny wyniku wzorcowania. W zależności od przyjętych reguł obszary warunkowe mogą być traktowane jako zgodne lub niezgodne.

Metoda mu jest bardzo rozbudowaną metodą pasma ochronnego, zarówno pod względem możliwych ocen wyników i matematycznego opisu końców przedziałów. Dodatkowo wykorzystanie parametru gbf, pozwalającego na dostosowanie wpływu niepewności na szerokość przedziałów może powodować trudności w praktycznym wykorzystaniu tej metody.

Ostatnia z opisywanych metod pasma ochronnego również wykorzystuje niepewność rozszerzoną wyznaczenia odchylenia. W metodzie „rds” dokonuje się przeliczenia granic akceptacji wykorzystując działania na przedziałach liczbowych. Granice przedziału akceptacji wyznaczone są według równań (14) i (15).

$$(14) \quad DGA = X_m - \sqrt{BMD_{spr}^2 - U_c^2(e)}$$

$$(15) \quad DGA = X_m + \sqrt{BMD_{spr}^2 - U_c^2(e)}$$

Metoda rds wykorzystuje najbardziej rozwinięte operacje matematyczne ze wszystkich przedstawianych w artykule. Aby w pełni ją zrozumieć i świadomie wykorzystywać należy dokładnie przeanalizować jej działanie pod kątem teorii matematycznych.

Przykłady wykorzystania metod pasma ochronnego

Aby przedstawić działanie opisanych technik przeprowadzono wzorcowanie wybranych multimetrów

cyfrowych bez oraz z wykorzystaniem metod pasma ochronnego w przykładowych nominalnych punktach wzorcowania. Podczas testów wykorzystano wybrane opcje pasma z różnymi wartościami parametrów. Ich wpływ pokazano w tabeli 1.

Do testów wybrano trzy multimetry. Pierwszy z nich to multimetr podręczny o wyświetlaczu 4 cyfrowym, drugi to multimetr stołowy o rozdzielczości $4\frac{1}{2}$ cyfry, trzeci o największej dokładności deklarowanej przez producenta był to multimetr stołowy laboratoryjny o rozdzielczości $6\frac{1}{2}$ cyfry. Multimetry zostały wywzorcowane na przedstawionym stanowisku z wykorzystaniem oprogramowania FLUKE MET/CAL przy zachowaniu warunków środowiskowych w laboratorium, tj. temperatury powietrza $23^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotności względnej $45\%\pm 10\%$. Przed rozpoczęciem wzorcowania multimetry zostały odpowiednio wcześniej włączone w celu ich stabilizacji temperaturowej.

W tabeli 1 zapisano podstawowe wartości opisujące wyniki wzorcowania, takie jak: błąd maksymalny dopuszczalny (BMD), wartość odchylenia (e) i niepewność rozszerzoną wyznaczenia odchylenia ($U_c(e)$) [10]. Ponieważ wykonanie sprawdzenia zmian oceny wyniku wzorcowania przy różnych metodach pasma ochronnego wymagało przeprowadzenia realizacji procesu z różnymi ustawieniami, a wymienione wartości zmieniają się w sposób losowy w każdej kolejnej realizacji procesu wzorcowania, w tabeli przedstawiono wartości średnie błędów i niepewności z tych realizacji. W kolejnych kolumnach zapisano oceny wyniku wzorcowania. Użyte skróty oznaczają: Z – zgodny, Z? – zgodny warunkowo, NZ – niezgodny, NZ? – niezgodny warunkowo.

Z otrzymanych ocen zgodności wynika że metoda direct z parametrem gbf mniejszym od jeden powoduje, w części przypadków, zmianę oceny ze zgodny na niezgodny natomiast z parametrem gbf większym od 1 odwrotnie z niezgodny na zgodny. Wykorzystanie metody rds może

spowodować zakwalifikowanie przyrządu jako niezgodnego w przypadku gdy bez pasma ochronnego kwalifikowany był jako zgodny. Największe różnice w ocenach wprowadza metoda mu. Jest to spowodowane charakterystyką ocen – nie są to oceny binarne, zgodny lub niezgodny, ale również oceny warunkowe. Oceny warunkowe pozwalają na większą elastyczność w ocenie prawdopodobieństw przy wykorzystaniu wzorcowanego urządzenia.

Podsumowanie

W artykule zaprezentowano stanowisko oraz oprogramowanie do automatyzacji procesów wzorcowania multimetrów cyfrowych. Omówiono działanie pasma ochronnego wykorzystywanego podczas walidacji przyrządów. Opisano metody: direct, tsr, tur, mu i emu oraz pokazano ich wpływ na ocenę wyniku wzorcowania.

Jak można zauważyć pasmo ochronne może powodować zmianę oceny. Kierunek zmiany jest uzależniony od doboru parametrów pasma ochronnego. Właściwość ta może mieć zastosowanie w przypadku, kiedy urządzenie ma być wykorzystywane do zadania pomiarowego o mniejszych wymaganiach, gdzie można zastosować przyrząd o mniejszej dokładności. Jak można zauważyć każda z metod może powodować inną ocenę wyniku i powinna być dobierana na podstawie określonych wymagań dotyczących wykorzystania urządzenia oraz doświadczenia zarówno użytkownika jak i osoby przygotowującej procedurę wzorcowania.

Tak jak podano w przewodniku wydanym przez ILAC [11] nie ma „złotej zasady” wyboru pasma ochronnego. Decyzja o wyborze pasma ochronnego jest uzależniona od wielu czynników. W przewodniku jako przykład podano sposób opisany w artykule jako metoda mu. W przypadku multimetrów cyfrowych można stwierdzić że jest to najlepszy wybór, chyba że istnieją przesłanki wskazujące na użycie jednej z pozostałych opcji pasma ochronnego.

Tabela 1. Oceny wyników wzorcowania

multimetr	BMD [V]	e [V]	U _c (e) [V]	Bez pasma	direct			mu	rds
					gbf = 0,5	gbf = 0,8	gbf = 2		
multimetr M1	0,00140	-0,00130	0,00006	Z	NZ	NZ	Z	Z	Z
	0,0065	-0,0060	0,0006	Z	NZ	NZ	Z	Z?	Z
	0,185	-0,111	0,006	Z	Z	Z	Z	Z	Z
multimetr M2	0,000934	0,000748	0,000003	Z	NZ	NZ	Z	Z	Z
	0,0012	0,0007	0,00003	Z	NZ	Z	Z	Z?	Z
	0,0936	0,0931	0,0003	Z	NZ	NZ	Z	Z?	Z
multimetr M3	0,000039	-0,000018	0,000004	Z	Z	Z	Z	Z	Z
	0,00019	-0,00021	0,00002	NZ	NZ	NZ	Z	NZ?	NZ
	0,00035	-0,00008	0,00004	Z	Z	Z	Z	Z	Z

Autor: mgr inż. Piotr Kubiszyn, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Metrologii i Systemów Diagnostycznych, ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów, E-mail: p.kubiszyn@prz.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Polski Komitet Normalizacyjny: PN-EN ISO/IEC 17025:2018, p. 5.5.2 i 5.6.1
- [2] Polski Komitet Normalizacyjny: PN-EN ISO/IEC 9001:2015, p. 7.5.1 i 7.6
- [3] Automotive OMS Standard IATF-16494-2016 p. 7.1.5.2.1 Calibration/verification record
- [4] European Association of National Metrology Institutes, Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters, wyd. 3, (2015)
- [5] Deaver D.: Guardbanding With Confidence, <https://us.flukecal.com/>, dostęp online 5.05.2021r.
- [6] Nicholas M.: Guardbanding Using Automated Calibration Software https://download.flukecal.com/pub/literature/9080006_a_w.pdf, dostęp online 23.04.2021r.
- [7] Pomoc programu FLUKE MET?CAL dostępna w programie
- [8] Ewaluacja danych pomiarowych. Przewodnik wyrażania niepewności pomiaru. JCGM 100:2008 GUM 1995 wersja poprawiona
- [9] Evaluation of measurement data — An introduction to the Guide to the expression of uncertainty in measurement and related documents, JCGM 104:2009
- [10] International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM), wydanie 3, JCGM 200:2012(E/F)
- [11] Wytyczne dotyczące zasad podejmowania decyzji i stwierdzeń zgodności, ILAC-G8:09/2019