

DIAGNOSTYKA DOKŁADNOŚCI WSKAZAŃ MULTIMETRÓW CYFROWYCH

Roman A. Tabisz

Politechnika Rzeszowska, Zakład Metrologii i Systemów Diagnostycznych, Laboratorium Badań i Kalibracji „LABBiKAL”

Streszczenie. Opisano sposoby obliczania błędu maksymalnego dopuszczalnego (BMD) oraz jego dwóch składowych: multiplikatywnej (BD_{mul}) i addytywnej (BD_{add}). Wyjaśniono zasady diagnostyki dokładności wskazań multimetrów. Zaproponowano wykorzystanie wyników wzorcowania do wyznaczenia funkcji korekcyjnej umożliwiającej redukcję błędów systematycznych. Potwierdzono wynikami badań eksperymentalnych możliwość obliczania metodą typu B niepewności wyników pomiarów uzyskanych po korekcie błędów systematycznych, na podstawie tylko składowej addytywnej (BD_{add}).

Słowa kluczowe: błąd maksymalny dopuszczalny, wzorcowanie, diagnostyka dokładności, korekcja błędów systematycznego

ACCURACY DIAGNOSTIC OF DIGITAL MULTIMETERS' INDICATIONS

Abstract. Methods of calculating maximum permissible error (MPE) and its two components: multiplicative (PE_{mul}) and additive (PE_{add}) are described. Principles of accuracy diagnostic of multimeters' indications are explained. Use of calibration results to determine corrective function that allows for reduction of systematic errors is proposed. Presented results of experimental tests prove that calculating uncertainty of measurement results obtained after the correction of systematic error - with use of Type B method - can be based solely on additive component (PE_{add}).

Keywords: maximum permissible error, calibration, accuracy diagnostic, systematic errors correction

Wstęp

Multimetry cyfrowe są obecnie powszechnie stosowanym wyposażeniem pomiarowym w przemyśle, w laboratoriach badawczych oraz w serwisach sprzętu elektronicznego. Na rynku dostępnych jest wiele typów multimetrów różniących się zakresami pomiarowymi, rozróżnialnością pola odczytowego oraz gwarantowaną przez producentów dokładnością pomiarów.

Multimetry użytkowe produkowane są w klasach rozróżnialności podawanych w przyjętej powszechnie konwencji: 3(1/2), 4(1/2), 3(3/4), 4(5/6) co oznacza możliwość rozróżnienia na polu odczytowym odpowiednio: 1999, 19999, 3999, 59999 wartości na wybranym zakresie pomiarowym. Multimetry laboratoryjne produkowane są w klasach rozróżnialności 5(1/2), 6(1/2), co oznacza możliwość rozróżniania na polu odczytowym odpowiednio: 199999, 1999999, 19999999 wartości. Multimetry o tej samej rozróżnialności pola odczytowego mogą różnić się dokładnością wskazań która z czasem może ulegać zmianie i dlatego potrzebne są jej okresowe weryfikacje.

W przypadku przemysłowych zastosowań multimetrów dokładność ich wskazań powinna być okresowo sprawdzana ze względu na dwa odmienne cele. Pierwszy cel to weryfikacja tego czy aktualna dokładność danego multimetru nie jest gorsza od dokładności deklarowanej przez jego producenta. Drugi cel to walidacja [1], czyli eksperymentalne potwierdzenie tego czy dokładność multimetru na użytkowanym zakresie pomiarowym jest wystarczająca do realizacji jego zamierzonego zastosowania na linii produkcyjnej lub w kontroli jakości.

1. Dokładność wskazań multimetrów

Dokładność wskazań przyrządów pomiarowych w tym multimetrów jest pojęciem jakościowym i oznacza zgodnie z przyjętą definicją [2] zdolność przyrządu pomiarowego do wskazywania wartości bliskich wartości referencyjnej podanej na wejście multimetru. Dokładności multimetru nie można wyrazić za pomocą jednej wartości liczbowej ponieważ zdolność wskazywania wartości bliskich wartości referencyjnej zależy od wpływu dwóch rodzajów czynników: systematycznych i losowych.

Pojedyncza wartość wskazana (x_{wsk-i}) na polu odczytowym multimetru może i najczęściej różni się od wartości referencyjnej (x_{ref}). Różnica ta jest błędem pojedynczego pomiaru (Δ_i)

$$\Delta_i = x_{wsk-i} - x_{ref} \quad (1)$$

Ze względu na oddziaływanie czynników systematycznych i losowych błąd pojedynczego pomiaru obliczony za pomocą

wyrażenia (1) jest sumą błędu systematycznego (Δ_s) i błędu losowego (ε_i).

$$\Delta_i = \Delta_s + \varepsilon_i \quad (2)$$

Błąd systematyczny definiowany jest [2] jako różnica pomiędzy średnią z nieskończonej ilości wyników pomiarów a wartością referencyjną:

$$\Delta_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=\infty} x_{wsk-i} - x_{ref} \quad (3)$$

W praktyce laboratoryjnej trudno wyznaczyć tak zdefiniowaną wartość błędu systematycznego ponieważ nie jest możliwe wykonanie nieskończonej ilości powtórzeń. Ponadto wartość referencyjna też nie jest wartością idealną i jest wyznaczona z określoną niepewnością. Z konieczności w praktyce możliwe jest tylko operowanie przybliżoną wartością błędu systematycznego która nazywana jest odchyleniem (*delta*) [ang: *bias*] i wyliczana z dostępnych wyników uzyskanych ze skończonej i racjonalnie ustalonej liczby „n -razy” powtarzanych pomiarów:

$$delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{wsk-i} - x_{ref} \quad (4)$$

Wartość odchylenia (*delta*) wyznaczona na podstawie powtarzanych pomiarów tej samej wielkości o wartości referencyjnej (x_{ref}) jest liczbową miarą poprawności wskazań multimetru i przybliżoną wartością błędu systematycznego

$$delta \approx \Delta_s \quad (5)$$

Wartość odchylenia (*delta*) jest możliwa do wyznaczenia podczas eksperymentu wzorcowania wykonanego w taki sposób aby dla każdej ustalonej wartości referencyjnej (x_{ref-i}) wykonywane są „n-razy” powtarzane pomiary i obliczana jest wartość tego odchylenia za pomocą wyrażenia (4). Ponieważ odchylenie (*delta*) jest rezultatem wpływu czynników systematycznych można wykorzystać jego wartość do obliczenia przybliżonej wartości poprawki (P)

$$P = -\Delta_s \approx -delta = P^* \quad (6)$$

która dodana do wskazania multimetru umożliwi uzyskanie wyniku poprawionego (x_p)

$$x_{p-i} = x_{wsk-i} + P^* \quad (7)$$

Wpływ czynników losowych na wskazania multimetru przejawia się rozrzutem uzyskiwanych wyników pomiarów i występowaniem błędów losowych (ε_i). Wpływu tego nie można wyeliminować. Można jedynie ograniczyć go stosując na przykład uśrednianie wartości wskazywanych (x_{wsk-i}) lub poprawionych (x_p).

Odchylenie standardowe błędów losowych (σ_e) nazwane niepewnością standardową (u_s) szacowane metodą typu-A lub metodą typu-B [GUM] jest liczbową miarą precyzji wskazań multimetru. W przypadku gdy miara ta jest dobrze oszacowana to można stwierdzić że, maksymalna różnica pomiędzy dwoma wskazaniami multimetru wykonującego powtarzane pomiary tej samej wielkości referencyjnej (x_{ref}) nie będzie większa od podwójnej wartości niepewności rozszerzonej ($2 \cdot U$) którą można obliczyć korzystając z wyrażenia

$$U = k_p \cdot u_s \quad (8)$$

gdzie: k_p – jest współczynnikiem objęcia, p – jest przyjętym poziomem ufności.

Chcąc uzyskać zasadniczy cel pomiarów jakim jest podanie wyniku pomiaru w postaci przedziału wartości [x_d ; x_g], w którym z dużym prawdopodobieństwem mieści się prawdziwa wartość mierzona (x_o)

$$x_o \in [x_d ; x_g] \quad (9)$$

gdzie: x_d – kres dolny przedziału; x_g – kres górny przedziału, należy najpierw wykonywać korekcję błędu systematycznego i za wyniki pomiarów uznawać wartości poprawione (7) a nie wartości wskazywane przez multimetr.

Podsumowując należy stwierdzić że o dokładności wskazań multimetru decydują dwie składowe które można liczbowo wyrazić. Jedna to miara poprawności – odchylenie ($delta$) a druga to miara precyzji którą może być niepewność standardowa (u_s) lub niepewność rozszerzona (U) zdefiniowane [2, 3] jako miary rozrzutu. Z praktyki laboratoryjnej i przemysłowej oraz przeprowadzonych wyników badań wynika że, odchylenie ($delta$) jest dla każdej wskazywanej wartości inne. Natomiast miara precyzji może być także dla każdego wskazania multimetru inna ale można ją w określonych warunkach przyjmować jako wartość stałą w całym użytecznym zakresie pomiarowym. Jest to bardzo wygodne z praktycznego punktu widzenia ale wymaga stosowania odpowiedniej procedury wzorcowania multimetru umożliwiającej wyznaczenie funkcji korekcyjnej potrzebnej do korygowania błędów systematycznych i traktowania wartości poprawionych (7) jako końcowe wyniki pomiarów.

1.1. Sposoby deklarowania dokładności DMM

Producenci multimetrów cyfrowych (DMM) [ang: Digital Multi Meters - DMM] mając pełną świadomość jednoczesnego wpływu czynników systematycznych i losowych na wartości wskazywane (x_{wsk}), podają w specyfikacjach technicznych wartości liczbowe współczynników, umożliwiające obliczenie wartości błędu maksymalnego dopuszczalnego (BMD). Współczynniki te podają na podstawie dużej ilości danych zebranych podczas badania prototypów oraz podczas egzemplarzy wykonywanych w procesie produkcji każdego egzemplarza multimetru. Podane w specyfikacjach technicznych współczynniki służące do obliczania wartości BMD są deklaracją tego, że bezwzględna wartość maksymalnego błędu wskazań multimetru równego bezwzględnej wartości sumy odchylenia ($delta$) i maksymalnego błędu losowego (ϵ_{max}).

$$|\Delta_{i-max}| = |delta + \epsilon_{max}| \quad (10)$$

nie powinna być większa od bezwzględnej wartości błędu maksymalnego dopuszczalnego (BMD)

$$|\Delta_{i-max}| \leq |BMD| \quad (11)$$

W wyniku wieloletniej praktyki przemysłowej, laboratoryjnej oraz działań normalizacyjnych wypracowano uznaną w skali światowej konwencję podawania przez producentów współczynników pozwalających na obliczanie wartości BMD . Analiza wielu specyfikacji technicznych różnych producentów pozwala przedstawić tę konwencję przy użyciu czterech współczynników które można oznaczyć jako: **a**, **b**, **c**, **d**. Współczynniki te wyrażają kolejno:

- a** - część lub wielokrotność 1% wartości wskazywanej (X_{wsk})
- b** - część lub wielokrotność 1% wartości zakresu (X_N)

c - wielokrotność rozróżnialności pola odczytowego

d – rozróżnialność pola odczytowego

Korzystając z tych współczynników podawanych przez producentów najczęściej odrębnie dla każdego zakresu pomiarowego można obliczać BMD w jeden z dwóch możliwych sposobów. Pierwszy sposób stosowany jest w sytuacji gdy producent multimetru podaje wartości współczynników **a** i **b**. W takim przypadku wyrażenie pozwalające obliczyć BMD ma postać:

$$|BMD| = a \cdot \frac{|X_{wsk}|}{100} + b \cdot \frac{|X_N|}{100} \quad (12)$$

Drugi sposób stosowany jest w sytuacji gdy producent multimetru podaje wartości współczynników **a**, **c** i **d**. W takim przypadku wyrażenie pozwalające obliczyć BMD ma postać:

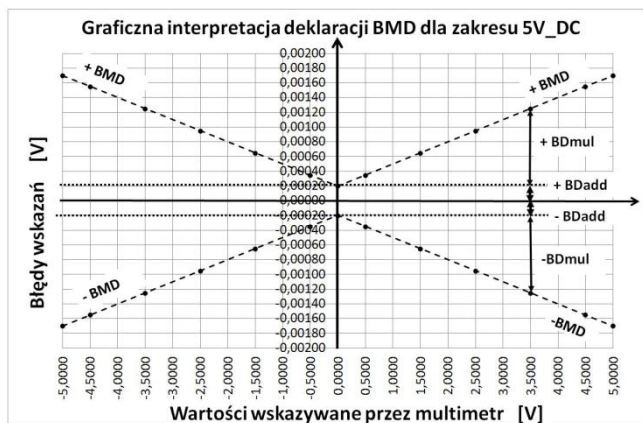
$$|BMD| = a \cdot \frac{|X_{wsk}|}{100} + c \cdot d \quad (13)$$

Łatwo zauważyć że, BMD posiada dwie charakterystyczne składowe. Składową multiplikatywną której wartość rośnie proporcjonalnie do wartości wskazywanej przez multimetr. Składową tą nazwijmy błędem dopuszczalnym multiplikatywnym i oznaczmy symbolem (BD_{mul}). Składowa ta uwzględnia przede wszystkim wpływ czynników systematycznych. Druga składowa to składowa addytywna niezależna od wartości wskazywanej, którą nazwijmy błędem dopuszczalnym addytywnym i oznaczmy symbolem (BD_{add}). Składowa ta uwzględnia przede wszystkim wpływ czynników losowych takich jak zakłócenia, pozostałości po niedokładnej korekcji błędu systematycznego itp. Korzystając z tak przyjętych oznaczeń można podać ogólną postać BMD jako sumę tych dwóch składowych

$$|BMD| = |BD_{mul}| + |BD_{add}| \quad (14)$$

Należy w tym miejscu podkreślić że stosowanie wartości bezwzględnych w wyrażeniach (10), (11), (12), (13), (14) jest konieczne ze względu na potrzebę uwzględnienia dwóch możliwych kierunków oddziaływań czynników systematycznych oraz czynników losowych.

Na rysunku 1 przedstawiona jest graficzna interpretacja BMD wynikająca z deklaracji dokładności producenta multimetru który dla zakresu 5V_DC podał następujące wartości współczynników **a** = 0,03; **c** = 2 i **d** = 0,0001V.



Rys. 1. Graficzna interpretacja deklaracji BMD dla zakresu 5V_DC badanego multimetru

Przedstawiona na rys. 1. interpretacja graficzna deklaracji producenta o dokładności multimetru na zakresie 5V_DC wyrażona w postaci linii reprezentujących wartości BMD jest odpowiednia dla całej rodziny multimetrów danego typu a jej znaczenie jest podobne do znaczenia strefy tolerancji projektowej (T) właściwości jakościowej wyrobu. Strefa tolerancji projektowej wyliczana jako różnica pomiędzy górną granicą specyfikacji (GGS) a dolną granicą specyfikacji (DGS)

$$T = GGS - DGS \quad (15)$$

jest wymaganiem ustalonym przez projektantów stawianym wszystkim wytwarzanym wyrobom danego rodzaju i nie jest inherentną właściwością żadnego pojedynczego wyrobu. Aby przekonać się czy wymaganie to jest spełnione dla konkretnego egzemplarza wyrobu należy dokonać pomiaru danej właściwości jakościowej i sprawdzić czy wyznaczona wartość liczbową tej właściwości należy do strefy tolerancji projektowej.

Podobnie jest w przypadku diagnostyki dokładności wskazań multimetrów. Należy eksperymentalnie sprawdzić to czy dokładność jego wskazań jest nie jest gorsza od tej którą zadeklarował jego producent. W tym celu należy wykonać, dla każdego zakresu pomiarowego multimetru, odpowiednią procedurę wzorcowania i ustalić czy spełniona jest nierówność (11) na całym zakresie pomiarowym. Korzystając z graficznej interpretacji *BMD* pokazanej na rys. 1 należy sprawdzić czy błędy wskazań (1) nie wychodzą poza strefę wyznaczoną przez linie reprezentujące wartości (+*BMD*) i (-*BMD*).

2. Weryfikacja dokładności wskazań DMM

Okresowa weryfikacja dokładności wskazań przyrządów pomiarowych stosowanych w przemyśle w tym także DMM jest podstawowym wymaganiem wynikającym z praktyki oraz z zaleceń normalizacyjnych wyszczególnionych w międzynarodowych normach dotyczących zarządzania jakością. Ponieważ wykonanie takiej weryfikacji wiąże się z kosztami oraz często zlecaniem tej czynności zewnętrznym laboratoriom wzorcowujących, ograniczana jest ilość punktów wzorcowania. Często stosowana jest procedura ustawiania na sprawdzanym zakresie jednej wartości referencyjnej równej w przybliżeniu nominalnej wartości sprawdzanego zakresu. Na przykład $0,95 \cdot X_N$. Procedura ta jest racjonalna i wystarczająca do tego aby stwierdzić czy dokładność wskazań multimetru na danym zakresie zgodna jest z deklaracją jego producenta. Tak jest, ponieważ wieloletnie doświadczenie w tej dziedzinie potwierdza to że, jeżeli błąd wskazań multimetru nie spełnia podstawowego wymagania (11) to dotyczy to wskazań znajdujących się w końcowej części zakresu pomiarowego.

Stosowanie takiego podejścia nie pozwala jednak na wyznaczenie funkcji korekcyjnej którą można wykorzystać do obliczania poprawek (6) i jako wyniki pomiaru wykorzystywać wartości poprawione (7). W takiej sytuacji nie ma także innej możliwości wyznaczenia niepewności pojedynczego wskazania multimetru niż ta która zalecana jest przez [3] w ramach metody typu B. Możliwość ta polega na przyjęciu założenia że używany multimetr jest jednym z wielu wytworzonych i wobec tego można przyjąć że rozkład błędów wskazań na danym zakresie, dla całej rodziny multimetrów ma charakter rozkładu jednostajnego o rozstępie równym $2 \cdot BMD$. Można więc w dużym przybliżeniu, szacować metodą typu B, niepewność pojedynczego wskazania multimetru korzystając z wyrażenia

$$u_s^B = \frac{BMD}{\sqrt{3}} \quad (16)$$

Oczywiście w sytuacji gdy nie ma innej dostępnej wiedzy postępowanie to jest jedynym z możliwych ale może być w wielu przypadkach niewystarczające. Może bowiem okazać się że, wyznaczona tym sposobem niepewność wyniku pomiaru wykorzystywanego w pomiarze pośrednim powoduje zbyt duży wpływ na niepewność końcowego wyniku pomiaru wyliczanego z równania pomiarowego. Z tych między innymi powodów proponowana jest przez autora, szczególnie do zastosowań przemysłowych, weryfikacja dokładności wskazań multimetrów lub kanałów pomiarowych testerów produkcyjnych, wykorzystująca procedurę wzorcowania polegającą na ustalaniu wartości referencyjnych w co najmniej 3 a najlepiej w 5 równomiernie rozłożonych nominalnych punktach wzorcowania (*NPW*). Punkty te należy obliczyć mnożąc wartość nominalnego zakresu pomiarowego przez jego odpowiednio dobrane części. Dla zakresu

5V_DC badanego multimetru punkty te ustalono sposobem zaprezentowanym w tabeli 1.

Tabela 1. Ustalone nominalne punkty wzorcowania dla zakresu 5V_DC

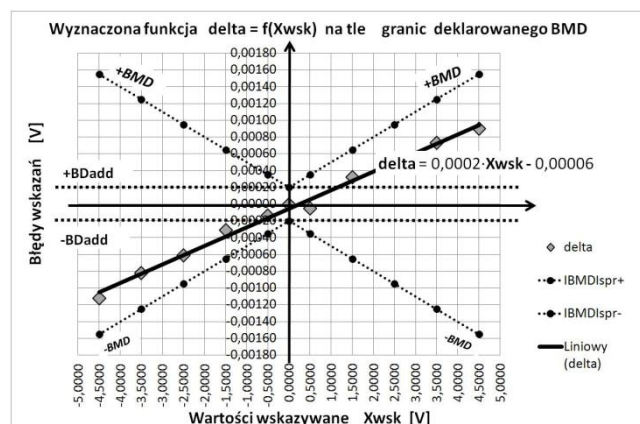
Nr <i>NPW</i>	Część X_N	X_N	<i>NPW</i>
		[V]	[V]
1	-0,9	5,0000	-4,5000
2	-0,7	5,0000	-3,5000
3	-0,5	5,0000	-2,5000
4	-0,3	5,0000	-1,5000
5	-0,1	5,0000	-0,5000
6	0	5,0000	0,0000
7	0,1	5,0000	0,5000
8	0,3	5,0000	1,5000
9	0,5	5,0000	2,5000
10	0,7	5,0000	3,5000
11	0,9	5,0000	4,5000

Dla tak ustalonych nominalnych punktów wzorcowania (*NPW*) przeprowadzono procedurę wzorcowania w której za pomocą regulowanego źródła wartości referencyjnych, kalibratora o dużej rozdzielczości, ustalano wskazania badanego multimetru równe wartościom nominalnych punktów wzorcowania przedstawionych w ostatniej kolumnie tabeli 1. Wartości referencyjne (X_{ref}) napięć występujących na zaciskach badanego multimetru wskazującego wartość równą *NPW* odczytywano na polu odczytowym dokładnego multimetru referencyjnego rozdzielczości 6(1/2). Uzyskane wyniki wzorcowania oraz obliczone wartości *BMD* przedstawione zostały w tabeli 2.

Tabela 2. Uzyskane wyniki wzorcowania dla zakresu 5V_DC

X_{wsk}	X_{ref}	delta	a	c	d	<i>IBMD_{spr1}</i>
-4,5000	-4,49888	-0,001120	0,03	2	0,0001	0,00155
-3,4999	-3,49908	-0,000820	0,03	2	0,0001	0,00125
-2,5001	-2,49949	-0,000610	0,03	2	0,0001	0,00095
-1,5000	-1,49969	-0,000310	0,03	2	0,0001	0,00065
-0,0005	-0,49987	-0,000135	0,03	2	0,0001	0,00035
0,0000	0,00000	0,000000	0,03	2	0,0001	0,00020
0,5000	0,50005	-0,000050	0,03	2	0,0001	0,00035
1,5000	1,49968	0,000320	0,03	2	0,0001	0,00065
2,5001	2,49961	0,000490	0,03	2	0,0001	0,00095
3,5001	3,49937	0,000730	0,03	2	0,0001	0,00125
4,5001	4,49920	0,000900	0,03	2	0,0001	0,00155

Na rys. 2. przedstawiony jest wykres wyznaczonych odchyłeń (*delta*) w funkcji wskazań multimetru.



Rys. 2. Wykres funkcji $\delta = f(X_{wsk})$ dla zakresu 5V_DC badanego multimetru cyfrowego

Na wykresie umieszczona jest matematyczna postać funkcji $\delta = f(X_{wsk})$ która została przyjęta jako model matematyczny zależności odchyłeń (*delta*) od wartości wskazywanych (X_{wsk}). Model ten został ujawniony za pomocą procedury „pokaż równanie na wykresie” dostępnej w MS Excel 2007. Model ten jest liniową zależnością wyrażoną równaniem:

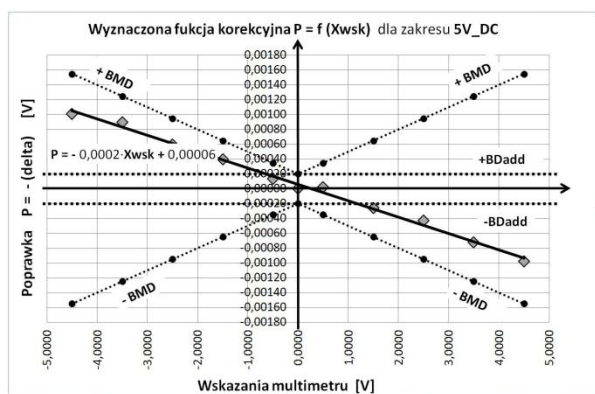
$$\text{delta} = 0,0002 \cdot X_{\text{wsk}} - 0,00006 \quad (17)$$

Z rysunku 2. jednoznacznie wynika, że dla wszystkich wskazań badanego multimetru na zakresie 5V_DC o wartościach ujemnych i dodatnich błędy wskazań spełniają nierówność (11) z bezpiecznym zapasem. Można więc jednoznacznie stwierdzić że w całym badanym zakresie multimetr wskazuje z dokładnością nie gorszą od dokładności zadeklarowanej przez jego producenta.

Wykonana w wyżej opisany sposób weryfikacja dokładności wskazań DMM na zakresie 5V_DC daje nie tylko pewność że dokładność ta jest zgodna z wymaganą ale umożliwia także wyznaczenie funkcji korekcyjnej potrzebnej do korekcji błędów systematycznych.

3. Korekcja błędów systematycznych

Ponieważ zgodnie z wyrażeniem (6) przybliżona wartość poprawki (P^*) równa jest wartości odchylenia (delta) ze znakiem przeciwnym, wystarczy wartości tego odchylenia przedstawione w trzeciej kolumnie tabeli 2 pomnożyć przez (-1) i uzyskać w ten sposób przybliżone wartości poprawek. Dysponując tymi wartościami można wyznaczyć funkcję korekcyjną której wykres przedstawiony jest na rys. 3.



Rys. 3. Wykres funkcji korekcyjnej $P^* = f(X_{\text{wsk}})$ dla zakresu 5V_DC badanego multimetru cyfrowego.

Model matematyczny uzyskanej funkcji korekcyjnej opisującej zależność odchylenia (delta) od wartości wskazywanych (X_{wsk}) jest zależnością liniową wyrażoną równaniem:

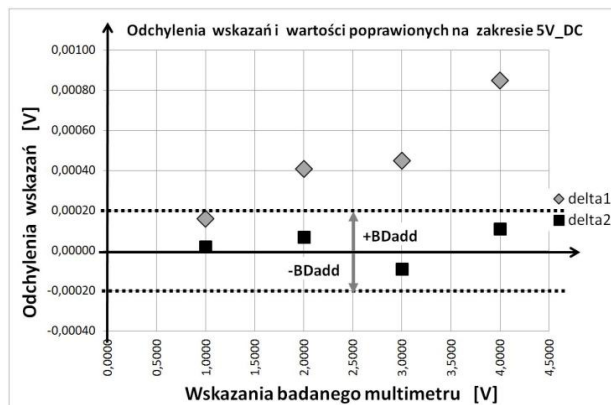
$$P^* = -0,0002 \cdot X_{\text{wsk}} + 0,00006 \quad (18)$$

Dysponując modelem funkcji korekcyjnej można dla każdego wskazania multimetru obliczać przybliżone wartości poprawek i korygować wpływ czynników systematycznych na wynik pomiarów. Uzyskane w wyniku takiej korekcji wartości poprawione wartości wskazań (X_p) są wynikami pomiarów obarczonymi jedynie błędami wynikającymi z wpływu czynników losowych oraz niedoskonałością dokonanej korekcji błędów systematycznego. W tabeli 3 przedstawione są surowe wartości wskazane (X_{wsk}) oraz wartości poprawione (X_p) uzyskane po korekcji błędów systematycznych.

Tabela 3. Uzyskane surowe wskazania multimetru i wartości poprawione

X_{wsk} V	P^* V	X_{pop} V	X_{ref} V	delta1 V	delta2 V
0,9998	-0,00014	0,99966	0,99964	0,00016	0,000020
1,9998	-0,00034	1,99946	1,99939	0,00041	0,000070
2,9995	-0,00054	2,99896	2,99905	0,00045	-0,000090
3,9995	-0,00074	3,99876	3,99865	0,00085	0,000110

W przedostatniej kolumnie tabeli 3 umieszczono odchylenia surowych wskazań multimetru (delta1) od wartości referencyjnych. W ostatniej kolumnie umieszczono odchylenia wartości poprawionych (delta2) od tych samych wartości referencyjnych. Graficzne porównanie wartości tych odchylenia przedstawione jest na rysunku 4.



Rys. 4. Odchylenia wskazań i wartości poprawionych wyznaczone przed i po korekcji błędów systematycznych

Z rysunku 4 wynika że odchylenia wartości poprawionych (delta2) uzyskane po korekcji błędów systematycznych wykonanej za pomocą funkcji korekcyjnej (18) nie przekraczają wartości składowej addytywnej (BD_{add}) BMD. Składowa ta jest wartością stałą dla całego zakresu pomiarowego. Sytuacja ta została potwierdzona długoterminowymi badaniami eksperymentalnymi wykonanymi dla DMM różnych typów i różnych producentów. Uzyskana w ten sposób wiedza metrologiczna upoważnia do stwierdzenia że, w przypadku wykonywania pojedynczych pomiarów i uzyskiwania wyników poprawionych (X_p) można zastosować do oceny niepewności standardowej szacowanej metodą typu B następujące wyrażenie:

$$u_s^B = \frac{BD_{\text{add}}}{\sqrt{3}} \quad (19)$$

Uzyskane za pomocą tego wyrażenia wartości oszacowanej niepewności będą mniejsze o kilka razy od uzyskiwanych za pomocą wyrażenia (16).

4. Podsumowanie

Wyniki badań eksperymentalnych, których część przedstawiono w niniejszej publikacji, są podstawą zaproponowanego sposobu szacowania metodą typu B niepewności pojedynczych wyników pomiarów. Warunkiem stosowania tego sposobu jest dokonanie korekty błędów systematycznego na podstawie wcześniej wyznaczonej funkcji korekcyjnej.

5. Literatura

- [1] Tabisz R.A.: Walidacja przemysłowych procesów pomiarowych. Monografia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2013.
- [2] JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology
- [3] JCGM 100:2008 Evaluation of Measurement data-Guide to the expression of uncertainty in measurement.

Dr inż. Roman A. Tabisz
e-mail: rtabisz@prz.edu.pl



W latach 1975-1990 pracownik Zakładów Przemysłu Elektronicznego „Kazel” w Koszalinie. Od 1990 roku adiunkt w Zakładzie Metrologii i Systemów Diagnostycznych Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Opiekun Koła Naukowego Pomiarowców „6Sigma”. W działalności naukowej i dydaktycznej zajmuje się dziedziną przemysłowych systemów pomiarowo diagnostycznych. Od 1994 r. członek komisji problemowej Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

otrzymano/received: 22.04.2016

przyjęto do druku/accepted: 01.07.2016