

Oprogramowanie „DIAG-KAL-AKWIZ” przeznaczone do wzorcowania i walidacji komputerowych kart akwizycji danych pomiarowych

Streszczenie. Opracowano oprogramowanie „DIAG-KAL-AKWIZ” w środowisku LabVIEW przeznaczone do wzorcowania i walidacji komputerowych kart akwizycji danych pomiarowych. Oprogramowanie to zawiera 3 moduły: moduł diagnostyki, moduł kalibracji i moduł akwizycji. Uzyskane wyniki badań wstępnych uruchomionego oprogramowania potwierdziły jego przydatność i uniwersalność. Oprogramowanie utworzone według opisanej koncepcji może być szczególnie przydatne w zastosowaniach przemysłowych, w których komputerowe karty akwizycji danych pomiarowych są ważnym składnikiem wyposażenia pomiarowego stosowanego podczas prac badawczo rozwojowych lub podczas testów produkcyjnych.

Abstract. The “DIAG-CAL-ACQUIS” software was developed in the LabVIEW environment, intended for calibration and validation of computer data acquisition boards. The software includes three modules: a diagnostics module, a calibration module and an acquisition module. The obtained results of preliminary testing of the implemented software confirmed its usefulness and universality. Software created according to the described concept can be particularly useful in industrial applications in which computer data acquisition boards are an important component of measuring equipment used during research and development works or during production tests. (The “DIAG-CAL-ACQUIS” Software intended for calibration and validation of computer data acquisition boards.)

Słowa kluczowe: akwizycja danych, oprogramowanie, ocena dokładności, walidacja

Keywords: data acquisition, software, accuracy evaluation, validation

Wstęp

Komputerowe karty akwizycji danych pomiarowych są wyposażeniem pomiarowym, które wymaga zastosowania komputera oraz odpowiedniego oprogramowania sterującego wykonywaniem pomiarów, generowaniem sygnałów testowych oraz akwizycją wyników pomiarów i testów. Karty tego rodzaju stosowane są w przemyśle jako główne moduły testerów służących do badania prototypów wyrobów lub testerów służących do testowania wyrobów wytwarzanych na liniach produkcyjnych. Oprogramowanie sterujące działaniem takich kart tworzone jest najczęściej według założeń wynikających z aktualnego zastosowania, do którego przeznaczony jest tester, w którym ma być zastosowany dany rodzaj karty akwizycji danych.

Stosowane w przemyśle wyposażenie pomiarowe, w tym komputerowe karty akwizycji danych, powinno być objęte systemem zarządzania pomiarami, którego utworzenie i działanie jest jednym z wymagań międzynarodowej normy dotyczącej systemów zarządzania jakością [1]. Zadaniem systemu zarządzania pomiarami, zgodnego z wymaganiami normy [1] jest uzyskiwanie potwierdzenia metrologicznego dla wyposażenia pomiarowego oraz sterowanie procesami pomiarowymi.

Sterowanie procesami pomiarowymi wykonywanymi automatycznie za pomocą testerów przemysłowych realizowane jest w praktyce za pomocą oprogramowania inicjującego kolejne sekwencje pomiarów i testów oraz zbierającego wyniki tych działań.

Potwierdzenie metrologiczne rozumiane jest jako zbiór operacji wymaganych do zapewnienia tego, że wyposażenie pomiarowe jest zgodne z wymaganiami związanymi z jego zamierzonym zastosowaniem [2]. Ta bardzo ogólna definicja uzupełniona o element dostarczenia obiektywnego dowodu na to, że wymagania związane z zamierzonym zastosowaniem są spełnione jest równoznaczna z pojęciem walidacji zdefiniowanym w [1].

Procedura walidacji przemysłowych systemów i procesów pomiarowych, inaczej mówiąc procedura oceny przydatności danego systemu lub procesu pomiarowego, wymaga wykonania starannego porównania metrologicznych wymagań zamierzonego zastosowania z metrologicznymi właściwościami tego systemu lub

procesu [3], [4]. Rezultat takiego porównania powinien być sformułowany w postaci świadectwa walidacji stwierdzającego jednoznacznie, czy badany system lub proces pomiarowy może być używany do realizacji określonego zastosowania lub że nie może być do tego zastosowania użyty.

Eksperyment walidacji powinien być przeprowadzany w rzeczywistych warunkach, w których stosowany jest proces pomiarowy ale w uzasadnionych przypadkach może być wykonany w warunkach symulowanych [1]. W każdym z tych przypadków podstawowym działaniem eksperymentalnym w procesie walidacji jest kalibracja (wzorcowanie) wyposażenia pomiarowego.

Komputerowe karty akwizycji danych pomiarowych nie mogą działać autonomicznie dlatego do przeprowadzenia eksperymentu ich walidacji potrzebne jest odrębne oprogramowanie przeznaczone do kalibracji, wyznaczania właściwości metrologicznych karty i porównania liczbowych wartości tych właściwości z wartościami przyjętymi jako metrologiczne wymagania zamierzonego zastosowania.

W kolejnych rozdziałach niniejszej publikacji przedstawiony jest opis tworzenia takiego odrębnego oprogramowania DIAG-KAL-AKWIZ oraz wyniki badań wstępnych uzyskanych po jego utworzeniu i uruchomieniu.

Założenia projektowe

Tworząc oprogramowanie „DIAG-KAL-AKWIZ” przyjęto następujące założenia:

- A. środowisko do tworzenia oprogramowania – LabVIEW 2013,
- B. uniwersalność pozwalająca na kalibrację i walidację różnych modeli kart akwizycji posiadających sterowniki działające w środowisku LabVIEW-2013 i współpracujących z komputerem PC za pomocą interfejsu USB,
- C. modułowa struktura oprogramowania zapewniająca diagnostykę, kalibrację i akwizycję w odrębnych modułach działających według ustalonych zasad,
- D. testowanie uniwersalności oprogramowania dla 2 modeli kart o zróżnicowanych właściwościach (rodzaju wejść, dokładności i częstotliwości próbkowania).

Wybór środowiska LabVIEW 2013 wynikał z tego, że było ono dostępne dla autorów oraz ułatwiało zaprogramowanie funkcji, w które wyposażono poszczególne moduły. Ponadto do testowania funkcjonalności tworzonego oprogramowania wybrano 2 karty firmy National Instrument posiadające sterowniki bardzo dobrze współpracujące z oprogramowaniem stworzonym w środowisku LabVIEW.

Przyjęte zasady diagnostyki

Diagnostyka, czyli ocena stanu karty współpracującej z komputerem powinna być przeprowadzona przed wykonaniem kalibracji i akwizycji. W wyniku przeprowadzenia diagnostyki powinno być uzyskane potwierdzenie poprawności współpracy karty z komputerem oraz potwierdzenie wykonania procedury „autokalibracji”, o ile taka procedura jest możliwa do wykonania w danym modelu karty.

Przyjęte zasady kalibracji

Kalibracja czyli wzorcowanie może być wykonywana w dwóch podstawowych celach:

A. weryfikacji dokładności karty ze względu na zgodność z dokładnością zadeklarowaną przez jej producenta,

B. wyznaczenia funkcji korekcyjnej $P=f(X_{wsk})$ potrzebnej do akwizycji danych z uwzględnieniem korekcji błędu systematycznego.

Procedura weryfikacji powinna być przeprowadzona dla każdego zakresu pomiarowego w co najmniej trzech nominalnych punktach wzorcowania: $NPW1 = 0,0 \text{ V}$ oraz $NPW2 =$ prawie pełny zakres pomiarowy X_N dla wartości dodatnich oraz prawie cały zakres pomiarowy dla wartości ujemnych. Na przykład dla zakresu $X_N = \pm 10 \text{ V}$, $NPW1 = -9,98 \text{ V}$, $NPW2 = 0,00 \text{ V}$, $NPW3 = +9,98 \text{ V}$.

Wyznaczanie funkcji korekcyjnej wymaga zastosowania co najmniej 5 NPW : $NPW1 = -99,8\% X_N$, $NPW2 = -50\% X_N$, $NPW3 = 0 \text{ V}$, $NPW4 = 50\% X_N$, $NPW5 = 99,8\% X_N$.

W uzasadnionych przypadkach powinno być możliwe wykonanie wzorcowania w 11 NPW : $NPW1 = -90\% X_N$, $NPW2 = -70\% X_N$, $NPW3 = -50\% X_N$, $NPW4 = -30\% X_N$, $NPW5 = -10\% X_N$, $NPW6 = 0\% X_N$, $NPW7 = 10\% X_N$, $NPW8 = 30\% X_N$, $NPW9 = 50\% X_N$, $NPW10 = 70\% X_N$, $NPW11 = 90\% X_N$.

Procedura wzorcowania (kalibracji) wykonywana przez oprogramowanie w każdym nominalnym punkcie wzorcowania powinna umożliwiać „n-razy” powtarzane pomiary tej samej referencyjnej wartości napięcia U_{ref} z odstępami pomiędzy kolejnymi powtórzeniami ustalonymi w milisekundach. Liczba powtórzeń „n” powinna być możliwa do ustawienia w zakresie 1 – 10000.

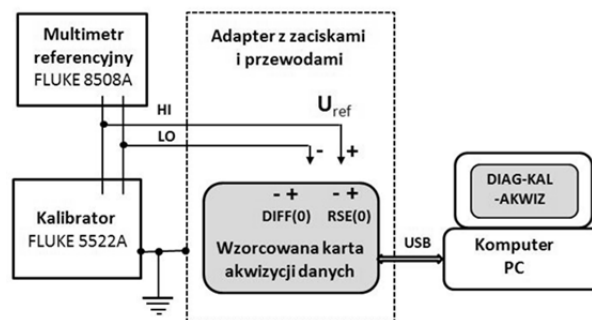
Napięcie referencyjne U_{ref} powinno być ustawiane na kalibratorze z możliwością do pominięcia niepewnością i podawane na wybrany wcześniej rodzaj wejścia karty akwizycji dostosowanego do źródła o pojedynczym zakończeniu (RSE) lub do źródła łączonego w trybie różnicowym (DIFF). Na rysunku 1 przedstawiony jest schemat blokowy stanowiska do kalibracji i walidacji komputerowych kart akwizycji danych pomiarowych, na którym testowano opracowane oprogramowanie.

Przyjęte zasady walidacji

Powszechnie stosowaną miarą liczbową przydatności danego wyposażenia pomiarowego stosowaną przy jego walidacji jest wskaźnik zdolności pomiarowej Q_{MS} obliczany jako iloraz przedziału zmienności uzyskiwanych wyników pomiarów do strefy tolerancji T mierzonej właściwości. Jako liczbą miarę zmienności systemu pomiarowego przyjmuje się według [5] podwójną wartość niepewności rozszerzonej U_{MS} , szacowanej zgodnie z przewodnikiem [6] na podstawie wskazań systemu pomiarowego

wzorcowanego w ustalonych warunkach temperatury i wilgotności.

$$(1) \quad Q_{MS} = \frac{2 \cdot U_{MS}}{T}$$



Rys.1. Schemat blokowy stanowiska do kalibracji i walidacji komputerowych kart akwizycji danych pomiarowych

W monografii [4] wykazano, że w przypadku zastosowania systemu pomiarowego do pomiarów produkcyjnych, których celem jest wyznaczenie współczynnika zdolności procesu wytwarzania, wskaźnik zdolności pomiarowej powinien spełniać następujące kryterium:

$$(2) \quad Q_{MS} \leq 0,1$$

Kryterium to można uczynić bardziej uniwersalnym i wykorzystywać także w przypadku, gdy oceniany system pomiarowy ma być wykorzystywany do oceny zgodności określonej właściwości wyrobu z wymaganiami specyfikacji technicznej ustalonymi w formie strefy tolerancji T . Liczbową miarą takiej strefy jest różnica pomiędzy wartościami górnej granicy specyfikacji GGS i dolnej granicy specyfikacji DGS :

$$(3) \quad T = GGS - DGS$$

Znając granice specyfikacji można zgodnie z [7] ustalić granice akceptacji górną GGA i dolną DGA korzystając z wartości U_{MS} spełniającej kryterium (2).

$$(4) \quad GGA = GGS - U_{MS}$$

$$(5) \quad DGA = DGS + U_{MS}$$

Obliczone za pomocą wyrażeń (4) i (5) granice akceptacji pozwalają na wyznaczenie strefy ocen pewnych SOP .

$$(6) \quad SOP = GGA - DGA$$

Znajomość wartości liczbowych granic akceptacji GGA i DGA pozwala na właściwe ustawienie reguł decyzyjnych w automatycznych testerach, w których często stosowane są komputerowe karty akwizycji danych pomiarowych.

Opisane wyżej podejście jest słuszne w sytuacji, gdy wskazania badanego systemu pomiarowego nie są obciążone błędem systematycznym Δ_s . W celu zapewnienia tego warunku tworząc oprogramowanie DIAG-KAL-AKWIZ uwzględniono procedurę wyznaczenia funkcji korekcyjnej, za pomocą której można w module akwizycja wykonywać korekcję błędów systematycznych.

W znanych poradnikach branżowych [8] i [9] opracowanych dla przemysłu motoryzacyjnego problem uwzględniania błędu systematycznego rozpatrywany jest w odmienny sposób. Dyskusja na ten temat wykracza poza przyjęte ramy niniejszej publikacji.

Uwzględniając dotychczasowe wyjaśnienia można sformułować następujące zasady walidacji przyjęte jako założenie do tworzenia opisywanego oprogramowania.

- A. jeżeli znana jest funkcja korekcyjna i znana jest strefa tolerancji T określona wyrażeniem (3) to korzystając z tych danych należy wykonać w module AKWIZYCJA korekcję błędu systematycznego i oszacować metodą typu A niepewność rozszerzoną U_{MS} oraz sprawdzić czy spełnione jest kryterium (2). Jeżeli okaże się, że kryterium to jest spełnione to badana karta akwizycji danych może być zakwalifikowana do realizacji zamierzonego zastosowania, dla którego określona jest strefa tolerancji T ,
- B. jeżeli funkcja korekcyjna nie jest znana to należy skorzystać ze specyfikacji producenta ocenianej karty i oszacować niepewność rozszerzoną metodą typu B, przyjmując założenie że jest ona równa błędowi maksymalnemu dopuszczalnemu BMD deklarowanemu przez producenta badanej karty:

$$(7) \quad U_{MS} = BMD$$

Przyjęcie takiego uproszczenia jest dopuszczalne i jest w praktyce powszechnie stosowane z pominięciem korekty błędu systematycznego. W takiej sytuacji wyrażenie (1) służące do obliczenia wskaźnika zdolności pomiarowej będzie miało następującą postać:

$$(8) \quad Q_{MS} = \frac{2 * BMD}{T}$$

Opracowane oprogramowanie umożliwia wyznaczenie wskaźnika zdolności pomiarowej Q_{MS} za pomocą wyrażenia (1) oraz w odpowiedniej sytuacji za pomocą wyrażenia (8).

Oprogramowanie „DIAG-KAL-AKWIZ”

Pierwsza prototypowa wersja oprogramowania DIAG-KAL-AKWIZ została opracowana i wstępnie zbadana w ramach pracy [10]. Wersja opisywana w niniejszej publikacji jest kolejną udoskonaloną wersją tego oprogramowania.

Oprogramowanie to złożone jest z 3 modułów: modułu diagnostyki, modułu kalibracji oraz modułu akwizycji. Moduły te na panelu startowym, pokazanym na rysunku 2, ułożone są w kolejności ich wykorzystywania.

Po lewej stronie umieszczony jest moduł DIAGNOSTYKA. W środkowej części modułu KALIBRACJA a z prawej strony moduł AKWIZYCJA.

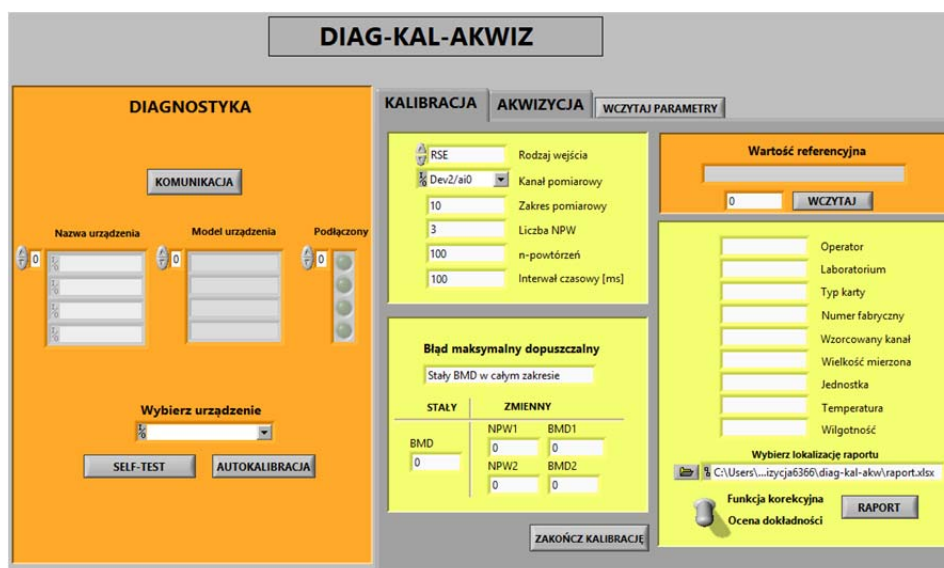
Moduł diagnostyki

Na rysunku 3 przedstawiony jest wygląd zakładki zawierającej funkcje, które mogą być zrealizowane przed wykonaniem kalibracji lub akwizycji.



Rys.3. Zakładka modułu „DIAGNOSTYKA” wskazująca na podłączenie do komputera karty NI USB-6009 jako „Dev3”

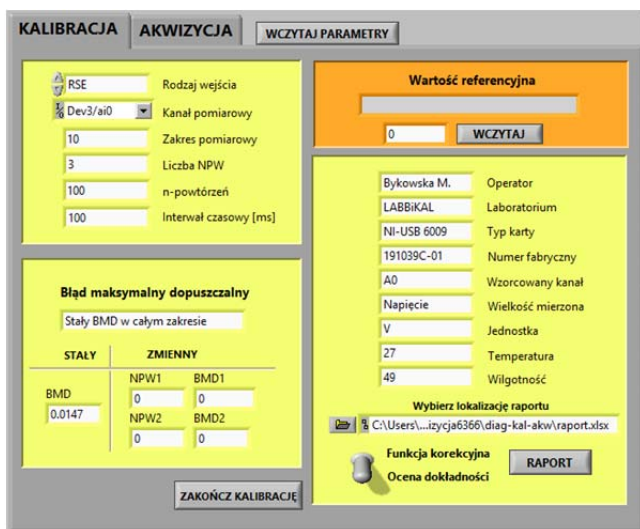
Moduł „DIAGNOSTYKA” umożliwia wykonanie kilku działań przygotowawczych. Po podłączeniu badanej karty moduł ten wskazuje zieloną lampką jej model oraz numer urządzenia, pod którym karta jest rozpoznawana przez oprogramowanie. Za pomocą odpowiednich przycisków tego modułu można zainicjować autotestowanie („self test”) i autokalibrację o ile taką funkcję posiada dana karta. Autokalibracja powinna być wykonywana zgodnie ze wskazaniami procedury [11]. Przyciskiem „KOMUNIKACJA” można sprawdzić, czy komunikacja z komputerem PC i oprogramowaniem jest właściwa.



Rys.2. Ekran startowy oprogramowania „DIAG-KAL-AKWIZ”

Moduł kalibracji

Po około 30 minutach od włączenia napięcia zasilającego kartę oraz po wykonaniu diagnostyki można przystąpić do jej kalibracji korzystając z kolejnego modułu, którego widok pokazany jest na rysunku 4.



Rys.4. Widok zakładki modułu „KALIBRACJA” przygotowywanej do wzorcowania karty NI USB-6009

Przed rozpoczęciem kalibracji należy ustawić w lewym górnym polu odpowiednie wejście analogowe karty (RES lub DIFF), wzorcowany zakres pomiarowy, liczbę powtarzanych pomiarów „n” oraz interwał czasu pomiędzy kolejnymi pomiarami. Następnie w lewym dolnym polu należy wpisać wartość błędu maksymalnego dopuszczalnego (*BMD*) deklarowanego przez producenta karty dla zakresu pomiarowego, który wybrano do wzorcowania. Wartości *BMD* należy wprowadzać w jednostkach mierzonego napięcia – Voltach, uwzględniając dwa przypadki:

- gdy *BMD* podany jest przez producenta karty jako **stały** w całym zakresie pomiarowym – wówczas wprowadza się jego wartość w jednostkach podstawowych (V),
- gdy *BMD* podany jest przez producenta jako **zmienny** – wówczas wprowadza się dwie wartości tego błędu podane przez producenta dla $U_{wej} = 0$ V oraz dla U_{wej} nieco mniejszej od nominalnej wartości zakresu pomiarowego. Moduł KALIBRACJA wylicza za pomocą równań liniowych wartości *BMD* odpowiadające poszczególnym nominalnym punktom wzorcowania (*NPW*).

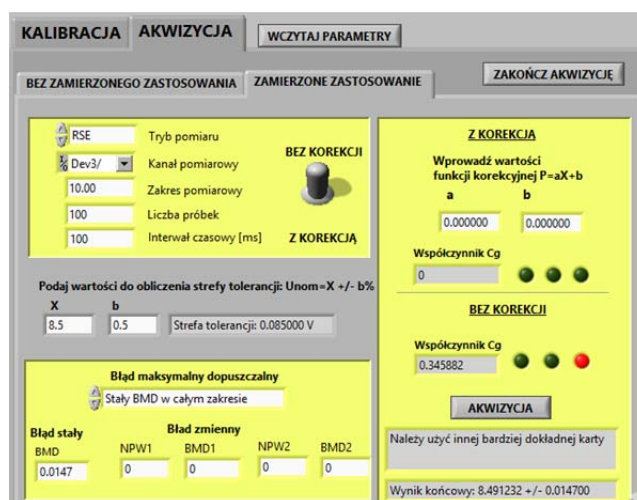
Właściwa procedurę kalibracji rozpoczyna się wyborem jej celu. Jeżeli wybrany zostanie cel – ocena dokładności to należy liczbę *NPW* ustalić zgodnie z przyjętymi zasadami na 3 i wprowadzić wartość referencyjną odpowiadającą pierwszemu punktowi wzorcowania. Na przykład dla zakresu +/- 10V będzie to wartość $NPW1 = -9,98V$. Rzeczywista wartość dla tego punktu ustawiana jest na dokładnym kalibratorze i kontrolowana bardzo dokładnym woltomierzem referencyjnym (patrz rys. 1.). Po wykonaniu wyżej opisanych czynności wstępnych wzorcowanie w punkcie *NPW1* inicjowane jest przyciskiem „WCZYTAJ”. Po wykonaniu „n-razy” powtórzonych pomiarów ustalonej wartości referencyjnej dla *NPW1* należy ustawić na kalibratorze i wprowadzić do programu kolejną wartość referencyjną odpowiadającą $NPW2 = 0$. Po „n-razy” powtórzonych pomiarach dla zerowej wartości napięcia na

wejściu karty należy powtórzyć czynności dla trzeciego $NPW3 = +9,98$ V, wówczas wykonywane są „n-razy” powtarzane pomiary rzeczywistej wartości referencyjnej ustalonej dla *NPW3*.

Jeżeli wybrany zostanie cel - **funkcja korekcyjna** to konieczne jest ustalenie dla wzorcowanego zakresu 5 *NPW* równomiernie rozłożonych w całym zakresie rozpiętym od wartości ujemnych do wartości dodatnich. W uzasadnionych sytuacjach, w których potrzebne jest bardzo dokładne wyznaczenie funkcji korekcyjnej takich *NPW* powinno być 11. Liczbowe przykłady wartości ustalanych dla obydwu sytuacji podano wcześniej we fragmencie zatytułowanym „Przyjęte zasady kalibracji”. Dla każdego z tak ustalonych nominalnych punktów wzorcowania wykonywane czynności w module kalibracja są takie same jak dla wybranego celu - ocena dokładności.

Moduł akwizycji

Moduł ten potrzebny jest przede wszystkim do ustalenia tego, czy karta pomiarowa, która była wcześniej wzorcowana może być zastosowana do pomiarów napięcia o określonej strefie tolerancji (*T*). Na rysunku 5 przedstawiony jest wygląd zakładki modułu Akwizycja wybranej dla sytuacji, w której za pomocą karty NI USB-6009 mierzone jest napięcie o zdefiniowanej strefie tolerancji $U = 8,5$ V +/- 0,5%.



Rys.5. Zakładka modułu „AKWIZYCJA” wskazująca na to, że karta NI USB-6009 nie może być wykorzystana do pomiaru napięcia $U=8,5V\pm 0,5\%$ ponieważ $Q_{MS} = C_g = 0,345882 \geq 0,1$ (wskaźnik zdolności)

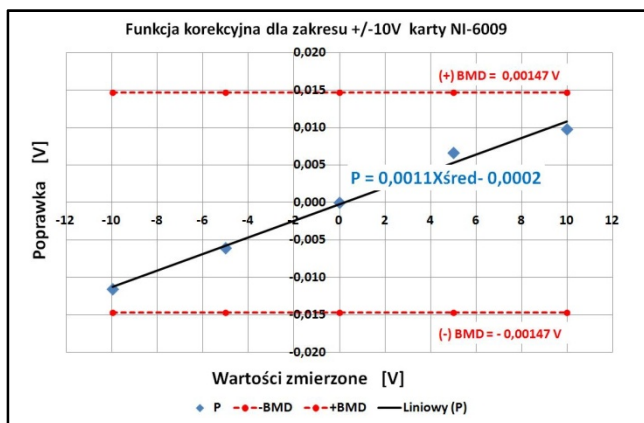
Moduł AKWIZYCJA może być wykorzystywany w dwóch opcjach: Jedna z opcji – bez korekcji, umożliwia akwizycję danych i ocenę przydatności karty (walidację) w sytuacji, gdy w wyniku kalibracji uzyskano tylko pozytywną weryfikację dokładności karty ze względu na dokładność deklarowaną przez jej producenta. W opcji tej wskaźnik zdolności pomiarowej karty obliczany jest dla używanego zakresu pomiarowego za pomocą wyrażenia (8), w którego liczniku wstawiona jest podwojona wartość błędu maksymalnego dopuszczalnego (*BMD*). Potrzebna wartość *BMD* wyznaczana jest na podstawie danych zawartych w specyfikacji technicznej karty. Druga opcja – **z korekcją**, może być wykorzystywana do akwizycji danych i walidacji karty, w sytuacji, gdy podczas wcześniej wykonanej kalibracji wyznaczona została funkcja korekcyjna i możliwa jest korekcja błędów systematycznych karty. W tej opcji szacowana jest metodą typu A niepewność wyników pomiarów, a wskaźnik zdolności

pomiarowej karty obliczany jest za pomocą wyrażenia (1), w liczniku którego wstawiana jest podwojona wartość oszacowanej niepewności rozszerzonej U_{MS} . Po wykonaniu akwizycji „ n -razy” powtarzanych pomiarów ustawionej na kalibratorze referencyjnej wartości napięcia mierzonego, na przykład $U=8,50000$ V w obydwu opcjach zakładka AKWIZYCJA podaje wynik walidacji karty w postaci wartości obliczonego wskaźnika Q_{MS} , oraz sygnalizuje odpowiednim kolorem czy badana karta może być użyta do pomiaru napięcia o ustalonej strefie tolerancji T . Kolor zielony oznacza, że karta uzyskała pozytywny wynik walidacji i może być użyta, ponieważ $Q_{MS} \leq 0,1$ i spełnia kryterium (2). Kolor pomarańczowy oznacza, że karta może być użyta warunkowo, ponieważ $0,1 < Q_{MS} \leq 0,3$. Kolor czerwony oznacza, że karty na danym zakresie nie można używać, ponieważ $Q_{MS} > 0,3$.

Wyniki badań wstępnych

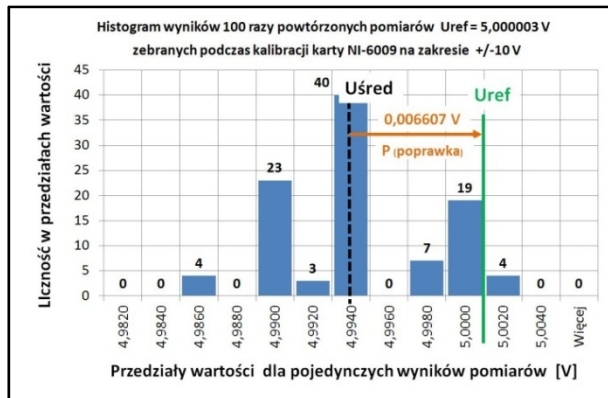
Korzystając z opisanych modułów oprogramowania DIAG-KAL-AKWIZ przeprowadzono badania wstępne dwóch kart akwizycji danych o znacznie różniących się właściwościach. Jedną z tych kart była karta NI USB-6009 13 lub 14 bitowa w zależności od wybranego rodzaju wejścia. Karta ta posiada 8 wejść dla sygnałów pojedynczych (RSE) i 4 wejścia dla sygnałów różnicowych (DIFF) oraz częstotliwość próbkowania 48 kHz. Drugą badaną kartą była dokładna 16 bitowa karta NI USB-6366 z ośmioma wejściami różnicowymi (DIFF) i częstotliwością próbkowania 2 MHz.

Przeprowadzone za pomocą oprogramowania DIAG-KAL-AKWIZ wyniki wzorcowania obydwu kart, w opcji – funkcja korekcyjna, przedstawione są na rysunkach 6, 7, 8 i 9.



Rys.6. Funkcja korekcyjna wyznaczona dla zakresu +/- 10 V (RSE) uzyskana po wykonaniu kalibracji karty NI USB-6009

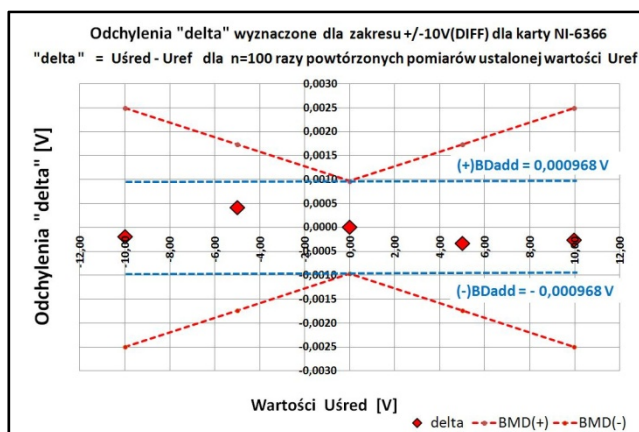
Z rysunku 6 wynika że karta NI USB-6009 na zakresie +/-10V (RSE) posiada dokładność zgodną z dokładnością zadeklarowaną przez producenta karty. Wszystkie wartości odchylenia „delta” = $U_{sred} - U_{ref}$ są mniejsze od wartości błędu maksymalnego dopuszczalnego $BMD = 0,0147$ V. Wyznaczona funkcja korekcyjna $P = 0,0011 * X_{sred} - 0,0002$ umożliwia korektę błędów systematycznych podczas korzystania z modułu AKWIZYCJA. Na rysunku 7 przedstawiony jest histogram 100 pojedynczych wyników pomiarów uzyskanych podczas kalibracji karty USB-6009 w $NPW4 = 5$ V ($U_{ref} = 5,000003$ V). Taka szczegółowa analiza działania ocenianej karty jest możliwa dzięki temu, że opracowane oprogramowanie eksportuje wszystkie wartości pojedynczych wyników pomiarów do arkusza kalkulacyjnego MS Excel.



Rys.7. Histogram $n = 100$ razy powtarzanych wyników pomiarów na zakresie +/- 10 V (RSE) zebranych podczas kalibracji karty NI USB-6009 dla $NPW4 = 5$ V ($U_{ref} = 5,000003$ V)

Z histogramu tego wyniku, że zdecydowana większość wyników pomiarów znajduje się w przedziale $U_{sred} = 4,9934$ +/- 0,0066V. Wyniki te rozrzucone są po obu stronach wartości średniej, która obliczana była dla $n = 100$ razy powtarzanych pomiarów ustalonej wartości referencyjnej $U_{ref} = 5,000003$ V.

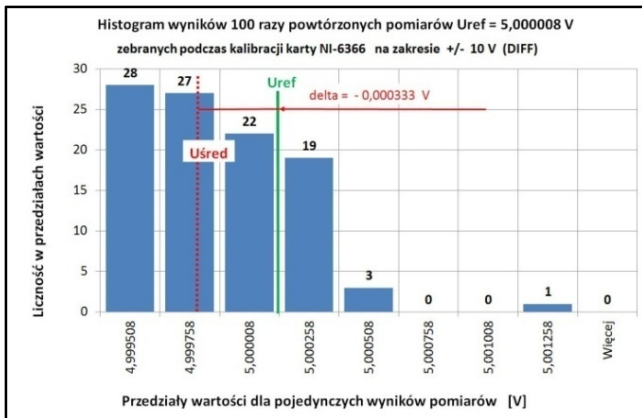
Na rysunku 8 przedstawiony jest rezultat kalibracji karty NI USB-6366 wykonanej w 5 nominalnych punktach wzorcowania takich samych, w jakich wzorcowana była karta NI USB-6009.



Rys.8. Rezultat kalibracji zakresu +/- 10 V (DIFF) karty NI USB-6366 uzyskany dla 5 NPW (-9,98; -5,00; 0,00; 5,00; 9,98 V)

Z rysunku 8 wynika, że wzorcowana karta jest bardzo dokładna, a wyznaczone odchylenia „delta” = $U_{sred} - U_{ref}$ nie przekraczają błędu dopuszczalnego addytywnego BD_{add} , którego wartość podana przez producenta karty dla 0.0 V wynosi $BD_{add} = 0,000968$ V. Dla takiej dokładnej karty wyposażonej w procedurę autokalibracji nie ma sensu wyznaczać funkcji korekcyjnej.

Przedstawiony na rysunku 9 histogram 100 wartości pojedynczych wyników pomiarów zebranych podczas kalibracji zakresu +/- 10V (DIFF) w $NPW4 = 5,00$ V dla ($U_{ref} = 5,000008$ V) pokazuje, że charakter rozrzutu pojedynczych wyników pomiarów jest inny niż ten pokazany na rysunku 7 dla karty NI USB-6009. Około 80 % wyników leży poniżej wartości referencyjnej. Karta jest jednak bardzo dokładna, ponieważ odchylenie „delta” jest około 20 razy mniejsze od odchylenia wyznaczonego w taki sam sposób dla karty NI USB-6009.



Rys.9. Histogram $n=100$ razy powtarzanych wyników pomiarów na zakresie ± 10 V (RSE) zebranych podczas kalibracji karty NI USB-6366 dla $NPW4 = 5$ V ($U_{ref} = 5,00008$ V)

W tabeli 1 przedstawione są wyniki uzyskane za pomocą modułu AKWIZYCJA w opcji Zamierzone Zastosowanie (bez korekcji) dla obydwu badanych kart, które zostały użyte do pomiaru takiej samej wartości referencyjnej, ale z ustaloną strefą tolerancji T . Strefa ta została ustalona jako $U = 8,5 \pm b\%$ V. Mierzono 100 razy wartość referencyjną ustaloną na kalibratorze $U_{ref} = 8,500008$ V, obliczano wartości średnie oraz wartości współczynnika zdolności pomiarowej Q_{MS} korzystając z wyrażenia (8). Czynności te powtarzano zmieniając wartość współczynnika b w zakresie od 0,2% do 2%.

Tabela 1. Wyniki walidacji kart USB-6009 i USB-6366 ocenianych ze względu na przydatność do mierzenia napięcia $U = 8,5 \pm b\%$ o zdefiniowanej strefie tolerancji T .

b	T	NI USB-6009	NI USB-6366
%	V	ocena	ocena
0,2	0,034	●	●
0,3	0,051	●	●
0,4	0,068	●	●
0,5	0,085	●	●
1,0	0,170	●	●
1,5	0,255	●	●
2,0	0,340	●	●

Przedstawione w tabeli 1 wyniki walidacji obydwu badanych kart ze względu na przydatność do pomiaru napięcia $8,5 \pm b\%$ wyraźnie pokazują, że karta NI USB-6009 może być używana do pomiaru takiego napięcia ale warunkowo, gdy $b = 1-1,5\%$, natomiast bez zastrzeżeń w sytuacji, gdy $b = 2\%$. Natomiast karta NI USB-6366 o bardzo dobrej dokładności może być użyta do takiego samego zastosowania ale warunkowo, gdy $b = 0,3-0,4\%$, natomiast bez zastrzeżeń dla $b = 0,5-2\%$. Tego rodzaju ocena przydatności ma szczególne znaczenie w sytuacji, gdy karta pracuje w testerze produkcyjnym i wykonuje szereg sekwencji pomiarowych i mierzy napięcia o różnych wartościach oraz różniących się strefach tolerancji ustalonych w procedurze testowania danego układu lub urządzenia elektronicznego. Procedura walidacji karty

akwizycji danych wykorzystywanej w testerze powinna być wykonana dla każdego zakresu pomiarowego który wykorzystywany jest w czasie testowania modułu elektronicznego na etapie jego projektowania i rozwoju oraz na etapie wytwarzania. Zaniedbanie takiej walidacji może powodować ryzyko błędnych ocen zgodności.

Podsumowanie

Uzyskane wyniki badań wstępnych opracowanego i uruchomionego oprogramowania DIAG-KAL-AKWIZ potwierdziły słuszność przyjętych założeń dotyczących funkcjonalności tego rodzaju oprogramowania. Funkcjonalność ta została potwierdzona dla dwóch zróżnicowanych ze względu na dokładność pomiarów komputerowych kart akwizycji danych.

Modułowa koncepcja struktury tego oprogramowania może być wykorzystana do tworzenia podobnych aplikacji w innych środowiskach oraz dla innych rodzajów kart.

Opisana wersja oprogramowania DIAG-KAL-AKWIZ będzie rozwijana w celu uzyskania automatycznie generowanych raportów świadectw wzorcowania oraz certyfikatów walidacji. Po dopracowaniu oprogramowanie to może być wykorzystywane w przemysłowych laboratoriach zajmujących się nadzorowaniem wyposażenia pomiarowego w przemyśle lub w regionalnych laboratoriach świadczących usługi wzorcowania i walidacji dla firm zlecających tego rodzaju czynności metrologiczne do laboratoriów zewnętrznych.

Autorzy: dr inż. Roman A. Tabisz, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Katedra Metrologii i Systemów Diagnostycznych, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, E-mail: rtabisz@prz.edu.pl; mgr inż. Monika Bykowska, E-mail: monikabykowska@gmail.com

LITERATURA

- [1] PN-EN-ISO-9000-2015, Systemy Zarządzania Jakością. Podstawy i terminologia, PKN Warszawa (2016)
- [2] PN-EN-ISO 10012:2003, Systemy zarządzania pomiarami. Wymagania dotyczące procesów pomiarowych, PKN Warszawa (2014)
- [3] Tabisz R.A., Validation of Industrial measurement processes, Transverse Discipline in Metrology. Proceedings of the 13th International Metrology Congress, 2007-Lille, France. ISTE Ltd. (2009), 791-801.
- [4] Tabisz R.A., Walidacja przemysłowych procesów pomiarowych. Monografia. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów (2013)
- [5] ISO 22514-7 Statistical methods in process management – Capability and performance. Part 7: Capability of measurement processes. First edition, 2012
- [6] JCGM 100:2008 GUM1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurements. BIPM 2008
- [7] PN-EN ISO 14253-1:2000, Kontrola wyrobów i sprzętu pomiarowego za pomocą pomiarów, Reguły orzekania zgodności lub niezgodności ze specyfikacją
- [8] Measurement System Analysis MSA, Fourth Edition. AIAG, (2010)
- [9] Capability of Measurement Processes, VDA-5. 07/2011,
- [10] Bykowska M., Diagnostyka dokładności komputerowych kart akwizycji danych pomiarowych stosowanych w testerach przemysłowych, Praca dyplomowa magisterska, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Rzeszów (2018)
- [11] Calibration procedure B/E/M/S Series For NI-DAQmx. National Instrument. August 2009