

Roman A. TABISZ, Michał OLEARCZUKPOLITECHNIKA RZESZOWSKA, KATEDRA METROLOGII I SYSTEMÓW DIAGNOSTYCZNYCH, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów
CENTRUM ROZWOJOWE – BURY TECHNOLOGIES, ul. Wspólna 2a, 35-205 Rzeszów**Komputerowy system wspomagający walidację kanałów pomiarowych wykorzystujących mikrokontrolery AVR ATmega16**

Dr inż. Roman A. TABISZ

W latach 1975-1990 pracownik Zakładów Przemysłu Elektronicznego „Kazel” w Koszalinie. Od 1990 roku adiunkt w Katedrze Metrologii i Systemów Diagnostycznych Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. W działalności naukowej i dydaktycznej zajmuje się dziedziną przemysłowych systemów pomiarowo diagnostycznych. W okresie od 1994 członek komisji problemowej KT-10, Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.



e-mail: rtabisz@prz.edu.pl

Mgr inż. Michał OLEARCZUK

Absolwent Technikum Elektrycznego w Tarnobrzegu. W latach 2005-2010 student Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej. Aktywny członek Studenckiego Koła Naukowego Pomiarowców 6Sigma. Pracę magisterską wykonał w Katedrze Automatyki i Informatyki. Od 2010 roku pracownik Centrum Rozwojowego firmy BURY TECHNOLOGIES w Rzeszowie. Specjalizuje się w programowaniu systemów „embedded”



e-mail: michal.olearczuk@gmail.com

Streszczenie

Uzasadniono potrzebę tworzenia komputerowych systemów wspomagających walidację kanałów pomiarowych wykorzystujących mikrokontrolery. Zaprezentowano ogólną koncepcję takiego systemu. Opisano opracowany i uruchomiony prototyp przeznaczony do walidacji kanałów pomiarowych wykorzystujących mikrokontrolery AVR ATmega 16. Prototyp ten składa się z części sprzętowej i oprogramowania.

Słowa kluczowe: walidacja, kanały pomiarowe, mikrokontrolery, ocena dokładności.

Computer Aided Measurement Channel Validation System for measurement modules with AVR ATmega microcontrollers**Abstract**

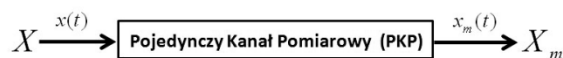
In the paper the need for creation of computer systems for supporting the validation of measurement channels using microcontrollers is justified. The general concept of such a system is presented. There is described the developed and implemented prototype, designed for validation of measurement channels using AVR ATmega16 microcontrollers. This prototype consists of two parts: hardware and software. The hardware is composed of a base which enables creation of the circuit (PS) for measurement signal processing and a module (RW) performing reconstruction of the numerical value of the measured quantities by means of an AVR ATmega16 microcontroller and a PC computer. The software master is called UMD and is written in C#. The slave software is embedded in the microcontroller memory and works with UMD application. The results of preliminary tests of the reconstruction unit (RW) obtained when the AVR microcontroller ATmega16 worked as a frequency counter in the range 0-2 MHz are presented. There are also given the results of preliminary tests obtained in a situation where the same module worked as a DC voltmeter in the range of 0-5 V. The concept of building a system designed to validate the measurement channels using ATmega16 AVR microcontrollers can be successfully applied to other types of microcontrollers.

Keywords: validation, measurement channels, microcontrollers, accuracy evaluation.

1. Wprowadzenie

Pojedynczy kanał pomiarowy przeznaczony do pomiaru wielkości elektrycznych jest obecnie podstawowym wyposażeniem wielu procesów pomiarowych. W sytuacji gdy wielkość mierzona jest wielkością nieelektryczną, na wejściu takiego kanału stosowany jest odpowiedni przetwornik przetwarzający wielkość nieelektryczną na sygnał elektryczny. Parametry sygnału elektrycznego można mierzyć multimetrem elektronicznym, lub za pomocą karty akwizycji danych pomiarowych, współpracującej z komputerem PC. Można też, w uzasadnionych sytuacjach, zaprojektować i wykonać własny kanał pomiarowy, wykorzystujący jeden z dostępnych na rynku mikrokontrolerów.

Komercyjne wyposażenie pomiarowe, takie jak multimetry lub karty akwizycji danych, dostarczane jest z dokumentacją techniczną zawierającą informacje producenta o właściwościach metrologicznych danego urządzenia pomiarowego. Informacje te pozwalają na obliczanie maksymalnego błędu dopuszczalnego (Δ_{max-d}), potrzebnego do wyrażenia końcowego wyniku pomiaru. Błąd ten ma najczęściej inną wartość dla każdej wartości wskazanej (x_{ws}) na danym zakresie pomiarowym (X_N). Kanały pomiarowe tworzone indywidualnie wymagają starannego wzorcowania. Uzyskane podczas tego wzorcowania wartości błędów pomiarowych wykorzystywane są do korekcji wartości liczbowych rekonstruowanych przez zastosowany mikrokontroler. Na rys. 1 przedstawiono ogólny model pojedynczego kanału pomiarowego, umożliwiającego bezpośrednie pomiary wielkości (X).



X - wielkość mierzona
 X_m - wynik pomiaru
 x - prawdziwa wartość liczbową wielkości mierzony
 x_m - wartość liczbową zmierzona (wynik pomiaru)

Rys. 1. Ogólny model pojedynczego kanału pomiarowego
 Fig. 1. General model of a single measurement channel

Jeżeli przedstawiony na rys.1. pojedynczy kanał pomiarowy jest wyposażeniem komercyjnym (multimetrem, lub kartą akwizycji danych) to zapewniając odpowiednie warunki pomiaru, można mierzyć nim wielkość elektryczną z przekonaniem, że błąd pomiaru

$$\Delta = x_m - x \quad (1)$$

nie przekracza wartości błędu maksymalnego dopuszczalnego

$$\Delta \leq \Delta_{max-d} \quad (2)$$

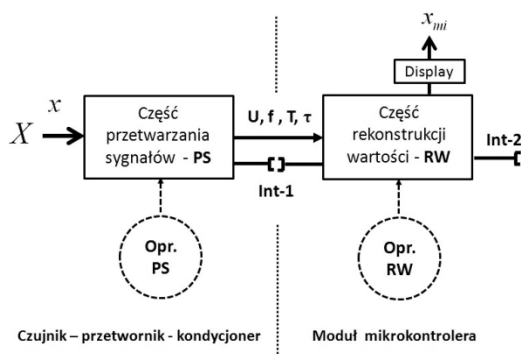
To pozwala przedstawić końcowy wynik pojedynczego pomiaru za pomocą wartości wskazanej (x_{ws}) oraz błędu maksymalnego dopuszczalnego (Δ_{max-d}):

$$x_m = x_{ws} \pm \Delta_{max-d} \quad (3)$$

W sytuacji gdy na wejściu komercyjnego multimetru lub karty akwizycji danych zastosowany zostanie przetwornik wielkości nieelektrycznej na elektryczną, to konieczne będzie uwzględnienie właściwości metrologicznych tego przetwornika. Końcowy wynik pomiaru nie będzie miał już tak prostej postaci matematycznej jak zależność (3). Do jego wyrażenia konieczne będzie uwzględnienie właściwości metrologicznych przetwornika i multimetru lub karty akwizycji danych, razem współpracujących.

Jeżeli kanał pomiarowy będzie zaprojektowany i uruchamiany indywidualnie i wykonany z podzespołów elektronicznych oraz mikrokontrolera, to jego właściwości metrologiczne będą wymagały wyznaczenia. W tym celu potrzebne jest wykonanie wzorcowania poszczególnych jego części składowych, oraz całości stanowiącej połączenie sprzętu i oprogramowania. Uzyskane wyniki wzorcowania są podstawą walidacji [1] takiego indywidualnie projektowanego kanału pomiarowego. Walidacja prototypu jest wymaganiem [2] eksperymentalnym potwierdzeniem tego, że proces projektowania zapewnił wymagane w założeniach projektowych właściwości metrologiczne. Do wzorcowania kanałów pomiarowych konstruowanych indywidualnie z podzespołów elektronicznych i mikrokontrolerów, potrzebny jest komputerowy system wspomagający. System ten powinien zapewniać realizację procedury wzorcowania, automatyczną rejestrację uzyskiwanych wyników oraz ich analizę. W najbardziej zaawansowanej formie powinien być metrologicznym systemem ekspertowym wspomagającym projektowanie i walidację kanałów pomiarowych. Tworzenie i uruchamianie takiego systemu, nawet w najprostszej postaci, staje się łatwiejszym po zastosowaniu odpowiedniego modelu projektowanego kanału pomiarowego.

Na rys. 2 przedstawiono zunifikowany model kanału pomiarowego realizującego bezpośredni pomiar wielkości fizycznej (X). Model ten wykonano na podstawie oryginalnej propozycji [3] podziału kanału pomiarowego na dwie główne części - część przetwarzania sygnałów (PS), oraz część odpowiedzialną za rekonstrukcję wartości liczbowej wielkości mierzonej (RW).



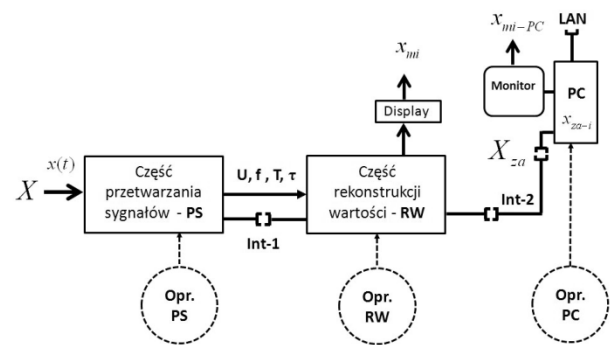
Rys. 2. Model kanału pomiarowego zawierający dwie części: część PS (Przetwarzania sygnałów) i część RW (Rekonstrukcji Wartości). Obydwie części wyposażone są w odpowiednie oprogramowanie (Opr.PS) oraz (Opr.RW)

Fig.2. Model of the measurement channel containing two parts: part PS (Signal Processing) and part RW (Value reconstruction). Both parts are equipped with the appropriate software (Opr.PS) and (Opr.RW)

2. Koncepcja systemu

Uwzględniając przedstawiony na rysunku 2 model kanału pomiarowego oraz to że, kanał ten może wykorzystywać analogowy nośnik informacji lub impulsowy nośnik informacji, przyjęto że projektowany system będzie uniwersalny. Uniwersalność ta ma polegać na tym że, nadrzędne oprogramowanie działające na komputerze PC będzie współpracować z każdym oprogramowaniem osadzonym w mikrokontrolerze. Takim, które rekonstruuje wartość wielkości mierzonej wykorzystując przetwornik ADC, oraz takim, które do tej rekonstrukcji wykorzystuje część licznikową mikrokontrolera. Część licznikowa umożliwia wyznaczanie wartości jednego z parametrów impulsów: częstotliwości (f), okresu (T) lub czasu trwania (τ). Parametry te wykorzystywane są w kanałach pomiarowych z impulsowym nośnikiem informacji. Kanały tego rodzaju odgrywają dużą rolę, ponieważ impulsowy sygnał pomiarowy jest odporny na zakłócenia. Ma to szczególne znaczenie w zastosowaniach, w których sygnał ten przesyłany jest jedną z bezprzewodowych technologii na dalsze odległości. Na rysunku 3 przedstawiono schemat blokowy zaprojektowanego

systemu zawierający trzy składniki sprzętu: PS, RW i PC oraz ich oprogramowanie. Kółkami wykreślonymi linią przerywaną zaznaczono oprogramowanie każdego składnika części sprzętowej.

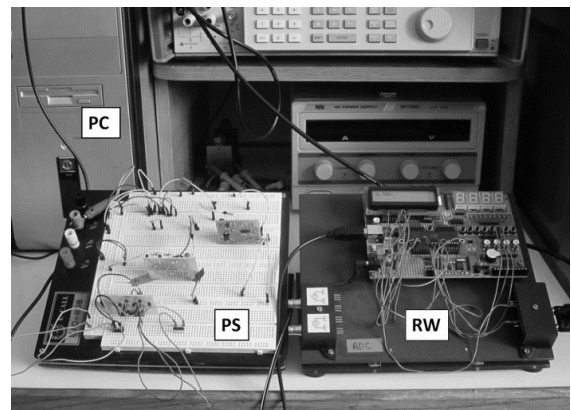


Rys. 3. Schemat blokowy systemu zawierający trzy składniki części sprzętowej (PS,RW,PC), oraz ich oprogramowanie (Opr.PC,Opr.PS, Opr.RW)

Fig. 3. Block diagram of the system containing three components of the hardware (PS,RW,PC) and their software (Opr.PS, Opr.RW, Opr.PC)

3. Część sprzętowa

Na rysunku 4 przedstawiono widok trzech składników części sprzętowej: uniwersalną podstawkę na której skomponowany jest układ przetwarzania sygnału pomiarowego (PS), moduł rekonstrukcji wartości (RW), zawierający mikrokontroler AVR ATmega 16, wyświetlacz i port komunikacyjny USB (Int-2), oraz komputer PC.



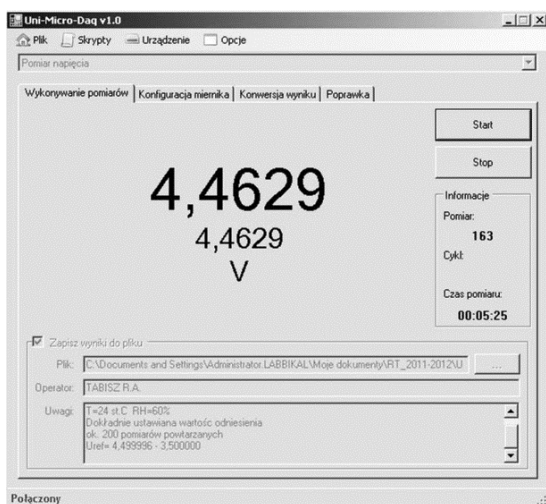
Rys. 4. Część sprzętowa systemu zawierająca trzy składniki: PS, RW i PC

Fig. 4. Hardware part of the system containing three components: PS, RW and PC

Przedstawione rozwiązanie ułatwia prowadzenie odrębnej walidacji poszczególnych modułów elementarnych z których składa się część przetwarzania sygnałów PS, oraz odrębnej walidacji części rekonstrukcji wartości RW, wykorzystującej moduł mikrokontrolera AVR ATmega16. Daje to możliwość oceny wpływu poszczególnych komponentów, oraz ich oprogramowania, na właściwości metrologiczne zestawionego kanału pomiarowego. System w takiej postaci może być w powodzeniem wykorzystywany do projektowania i uruchamiania prototypów kanałów pomiarowych oraz do optymalizacji ich właściwości metrologicznych. Właściwości te uzależnione są od zastosowanych podzespołów elektronicznych oraz od współpracującego z nimi oprogramowania. System można również zastosować w procesie kształcenia projektantów elektronicznej aparatury pomiarowej w której stosowane są inteligentne czujniki i przetworniki pomiarowe oraz mikrokontrolery z osadzonym oprogramowaniem. Warunkiem wykorzystania systemu w obydwu wymienionych dziedzinach zastosowań jest możliwość dysponowania odpowiednim wyposażeniem do wzorcowania, takim jak na przykład, wielofunkcyjny kalibrator, referencyjny multimetr i częstotściomierz.

4. Oprogramowanie

Oprogramowaniem systemu składa się z oprogramowania nadrzędnego (master), oraz oprogramowania podrzędnego (slave). Oprogramowaniem nadrzędnym jest aplikacja UMD (Uniwersal-Micro-Daq), napisana w języku C#. Aplikacja ta zapewnia automatyczną akwizycję wyników wzorcowania zestawionego kanału pomiarowego lub jego części składowej. Ponadto, koordynuje działanie oprogramowania osadzonego w pamięci mikrokontrolera AVR ATmega16. Na rysunku 5 przedstawiony jest główny ekran aplikacji UMD, ustawiony na „Wykonywanie pomiarów”.



Rys. 5. Główny ekran aplikacji UMD ustawiony na „Wykonywanie pomiarów”
Fig. 5. The main screen of the UMD application set to „Taking measurements”

W przedstawionym na rys. 5 ekranie głównym aplikacji UMD, ustawionym na „Wykonywanie pomiarów”, widoczne są wartości zmierzone, aktualna i poprzednia (mniejszymi cyframi), oraz jednostka miary odpowiadająca wskazywanej liczbie. Widoczne są także przyciski „Start” oraz „Stop”, których naciśnięcie powoduje odpowiednio rozpoczęcie i zakończenie cyklu pomiarowego. Ekspozowany jest również kolejny numer wykonanego pomiaru oraz moment czasu, w którym ten pomiar został wykonany. Pozostałe zakładki to „Konfiguracja miernika”, „Konwersja wyniku” oraz zakładka „Poprawka”. W zakładce „Konfiguracja miernika” możliwe jest wybranie jednej z opcji akwizycji pomiarowych. Wyniki pomiarów mogą być zbierane kolejno, jako ciągle, lub w określonych cyklach o zdefiniowanej liczności i odstępach czasowych. W zakładce „Konwersja wyniku” można ustawić ilość miejsc po przecinku, z jaką powinien być podany wynik pomiarów. W zakładce „Poprawka” można wpisać równanie poprawek $P = f(X_{\text{mierz}})$, które pozwala na automatyczną korektę błędu systematycznego każdego uzyskanego wyniku pomiaru. Aplikacja UMD jest uniwersalna. Można za jej pomocą realizować akwizycję danych w sytuacji gdy moduł rekonstrukcji wartości (RW), zawierający mikrokontroler AVR ATmega16, wykonuje pomiary za pomocą przetwornika ADC. Można także realizować akwizycję danych gdy moduł RW wykonuje pomiary wykorzystując część licznikową do pomiaru częstotliwości impulsów, zawierających informacje o wartości (x) wielkości mierzonej (X). Zebrane za pomocą aplikacji UMD wyniki pomiarów można zapisywać w plikach tekstowych zawierających informacje nie tylko o wartości liczbowej wielkości mierzonej, ale także o wartościach, na podstawie których obliczane były wyniki pomiarów. Dla przykładu na rysunku 6 przedstawiono fragment pliku z danymi zarejestrowanymi w sytuacji, gdy moduł mikrokontrolera realizował pomiary częstotliwości impulsów. W pliku zarejestrowane są składowe wartości, z których obliczany jest wynik pomiaru.

Pomiary						
CP	L	C	P	W	J	
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50014	100028.0	0	100.0280		kHz
500	50013	100026.0	0	100.0260		kHz
500	50013	100026.0	0	100.0260		kHz
500	50013	100026.0	0	100.0260		kHz

Rys. 6. Fragment pliku zawierającego dane zebrane w sytuacji gdy moduł mikrokontrolera realizował pomiary częstotliwości impulsów
Fig. 6. A fragment of the file containing the data when the microcontroller module realized measurements of the pulse frequency

Fragment pliku danych przedstawiony na rysunku 6 zawiera takie dane, jak czas zliczania impulsów (czas pomiaru) CP, liczbę zliczonych impulsów L, obliczony wynik częstotliwości w [Hz], wynik pomiaru W, oraz jego jednostkę J, wyrażoną w [kHz].

Podobnie jest w sytuacji, gdy mikrokontroler inicjuje pomiary napięcia stałego za pomocą przetwornika ADC. W pliku zawarte są informacje o wartościach, na podstawie których obliczony został wynik pomiaru. Przykład fragmentu takiego pliku przedstawiono na rysunku 7.

Uwagi						
Po godzinie nagrzewania kalibratora i woltomierza referencyjnego T=24 st.C RH=60% dokładnie ustawiana wartość odniesienia ok. 200 pomiarów powtarzanych uref= 2,499998 - 2,50000005						
Pomiary						
A	B	N	P	W	J	
507	10	5000	0.000	2.4756	V	
508	10	5000	0.000	2.4805	V	
507	10	5000	0.000	2.4756	V	
508	10	5000	0.000	2.4805	V	
507	10	5000	0.000	2.4756	V	
508	10	5000	0.000	2.4805	V	
508	10	5000	0.000	2.4805	V	
508	10	5000	0.000	2.4805	V	
508	10	5000	0.000	2.4805	V	
508	10	5000	0.000	2.4805	V	
508	10	5000	0.000	2.4805	V	

Rys. 7. Fragment pliku zawierającego dane zebrane w sytuacji gdy moduł mikrokontrolera realizował pomiary napięcia stałego
Fig. 7. A fragment of the file containing the data when the microcontroller module realized measurements of the direct voltage

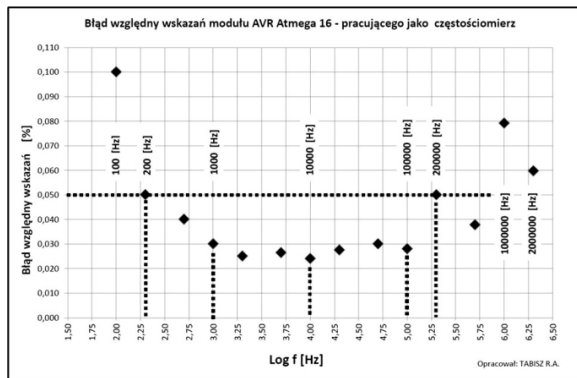
Fragment pliku danych przedstawiony na rysunku 7, zawiera takie dane jak: A - wartość odczytana z przetwornika ADC (ilość kwantów LSB), B - ilość bitów przetwornika, N - napięcie odniesienia w [V], P - obliczoną wartość poprawki, W - wynik pomiaru oraz J - jednostkę miary w której wynik jest wyrażony.

Te szczegółowe dane zawarte w plikach, których fragmenty przedstawione zostały w tabeli 1 i tabeli 2, pozwalają na sprawdzenie tego, czy algorytmy obliczania wyniku pomiarów, zawarte w oprogramowaniu nadrzędnym i podrzędnym, są prawidłowe. Możliwość takiego sprawdzenia jest niezwykle ważnym czynnikiem decydującym o walidacji komponentów oprogramowania pomiarowego [4], które mają istotny wpływ na wartości liczbowe uzyskiwanych wyników pomiarów.

Dodatkowymi możliwościami aplikacji UMD jest automatyczne wykrywanie interfejsu, do którego podłączony jest badany moduł mikrokontrolera, generowanie komunikatów o rodzaju błędów, które wystąpiły w czasie akwizycji danych, rozłączanie komunikacji z badanym modułem i wybór rodzaju rekonstrukcji wartości mierzonej.

5. Wyniki badań wstępnych

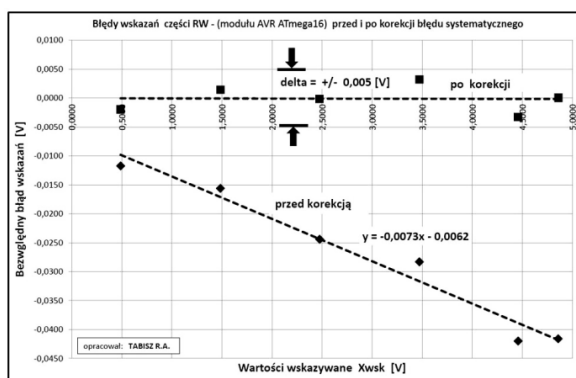
Korzystając z aplikacji UMD wykonano wstępne badania właściwości metrologicznych modułu rekonstrukcji wartości (RW), wyposażonego w mikrokontroler AVR ATmega16. Na rysunku 8 przedstawiono graficznie wartości względnych błędów pomiarów częstotliwości, wykonanych za pomocą wyżej wymienionego mikrokontrolera. Widać wyraźnie że w szerokim zakresie częstotliwości sygnałów impulsowych (TTL) od 200 Hz do 2 MHz względny błąd pomiaru częstotliwości jest mniejszy lub równy 0,05 %. Jest to wystarczająca dokładność, pozwalająca na współpracę z częścią przetwarzania sygnałów, w której nośnikiem wartości wielkości mierzonej jest częstotliwość impulsów, na które przetworzona jest wielkość mierzona. Do wyznaczenia wartości błędów przedstawionych na rys. 4 wykorzystano częstotściomierz referencyjny Agilent 53132A.



Rys. 8. Wartości względnych błędów pomiaru częstotliwości wykonanych za pomocą modułu mikrokontrolera AVR ATmega16

Fig. 8. Values of the relative errors of the results of frequency measurements taken by the AVR ATmega16 microcontroller

Badaniom dokładności wskazań, poddano także moduł rekonstrukcji wartości (RW), mierzący napięcie stałe za pomocą przetwornika ADC. Na rysunku 9 przedstawiono wartości błędów bezwzględnych wyznaczonych w funkcji wartości wskazywanych (X_{wsk}). Badania wykonano w sytuacji, gdy napięciem odniesienia było napięcie zasilania $V_{CC} = 5V$.

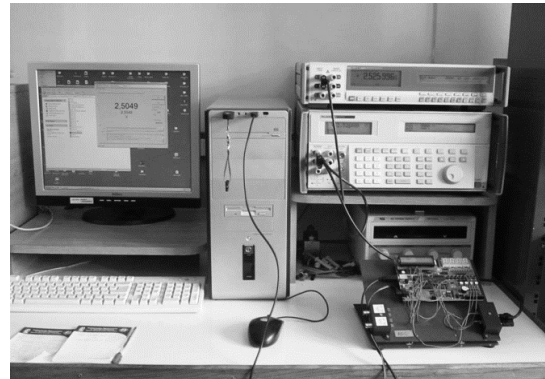


Rys. 9. Wartości bezwzględnych błędów wyników pomiaru napięcia stałego U_{DC} , uzyskanych za pomocą modułu mikrokontrolera AVR ATmega16. Przed i po korekcji błędów systematycznych

Fig. 9. Values of the absolute errors of DC voltage measurement results, obtained using the ATmega16 AVR microcontroller module before and after correction of the systematic errors

Wyznaczona funkcja poprawek $P = 0,0073X_{ws} + 0,0062$, została wykorzystana do korekcji błędów systematycznych. W wyniku zastosowanej korekcji błędy wskazań modułu rekonstrukcji wartości nie przekroczyły w całym zakresie wskazań wartości 0,005 V. Bez zastosowania korekcji wartości tych błędów rosły wraz ze wzrostem wskazań i dla końcowej wartości zakresu 5 V, błąd systematyczny wskazań wynosił około 0,045 V.

Na fotografii 3. Przedstawione jest stanowisko laboratoryjne na którym wyznaczone zostały błędy wskazań modułu rekonstrukcji (RW) wykorzystującego przetwornik ADC mikrokontrolera AVR ATmega16.



Rys. 10. Stanowisko do wzorcowania elektrycznych kanałów pomiarowych Składające się uruchomionego systemu walidacji zawierającego aplikację UMD, oraz dokładnego kalibratora FLUKE-5522A i multimetru referencyjnego FLUKE-8508A

Fig. 10. The laboratory stand for calibration of electrical measurement channels consisting of the implemented validation system including UMD application, a very accuracy calibrator FLUKE-5522A and a reference multimeter FLUKE-8508A

6. Podsumowanie

Ogólna koncepcja tworzenia opisanego systemu walidacji kanałów pomiarowych wykorzystujących mikrokontrolery AVR ATmega16, sprawdziła się i może być z powodzeniem wykorzystana do projektowania podobnych systemów wspomagających walidację kanałów pomiarowych zbudowanych z innego rodzaju mikrokontrolerów.

Opracowany prototyp systemu wspomagającego walidację kanałów pomiarowych wykorzystujących mikrokontrolery AVR ATmega16, będzie doskonalony. Przewidywane jest opracowanie dodatkowych modułów oprogramowania umożliwiających konfigurację kanałów pomiarowych z poziomu komputera PC. Będzie także uwzględniona możliwość stosowania zewnętrznych przetworników ADC, sterowanych mikrokontrolerem AVR ATmega, oraz dokładnych zewnętrznych źródeł napięcia referencyjnego. Powinno to umożliwić uzyskanie lepszych właściwości metrologicznych modułu rekonstrukcji wartości i pozyskania dodatkowej wiedzy na temat wykorzystania tego rodzaju mikrokontrolerów, których badania są systematycznie prowadzone [5].

Wyniki wzorcowania uzyskano za pomocą wysokiej klasy aparatury referencyjnej: (częstotściomierza, multimetru oraz kalibratora), zakupionej w ramach realizacji projektu współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej, przeznaczonych na program operacyjny Rozwój Polski Wschodniej w latach 2007-2013.

7. Literatura

- [1] Tabisz. R.A.: Walidacja procesów pomiarowych. Przegląd Elektrotechniczny Nr 11a/2010. Ss. 313-318.
- [2] ISO 9001:2008 Quality management systems – Requirements.
- [3] Morawski R. Z.: Unified approach to measurand reconstruction. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement. Vol.41, No 2, 1994, pp. 140-144.
- [4] Nieciąg H., Tabisz R.A.: Walidacja oprogramowania współrzędnościowych maszyn pomiarowych. Pomiary Automatyka Kontrola. Vol. 57, nr 12/2011. ss.1611-1616.
- [5] Arnold K.: Wpływ niskich temperatur na szeregową asynchroniczną transmisję danych w systemach pomiarowych z mikrokontrolerem ATmega16A. Pomiary-Automatyka –Kontrola vo.57,nr12/2011 ss. 1534-1536.