

**Anna GOLIJANEK-JĘDRZEJCZYK, Marek KUCIŃSKI, Leszek RAFIŃSKI**POLITECHNIKA GDAŃSKA, KATEDRA METROLOGII I SYSTEMÓW INFORMACYJNYCH,  
ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk**Wielokanałowy system akwizycji sygnałów wolnozmiennych****Dr inż. Anna GOLIJANEK-JĘDRZEJCZYK**

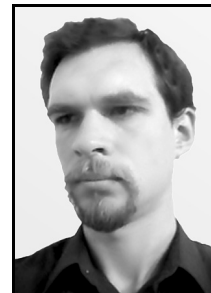
Adiunkt w Katedrze Metrologii i Systemów Informatycznych Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Zainteresowania badawcze: pomiary impedancji pętli, systemy pomiarowo-kontrolne, projektowanie użytecznych interfejsów oraz szacowanie niepewności pomiarowych.



e-mail: a.golijanek@ely.pg.gda.pl

**Mgr inż. Leszek RAFIŃSKI**

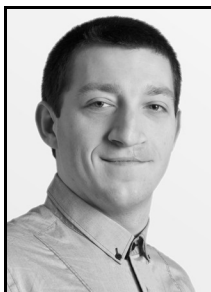
Asystent w Katedrze Metrologii i Systemów Informatycznych Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Zainteresowania badawcze: systemy wizyjne, pomiary biometryczne, systemy sztucznej inteligencji, systemy pomiarowo-kontrolne oraz projektowanie użytecznych interfejsów.



e-mail: l.rafiniski@ely.pg.gda.pl

**Inż. Marek KUCIŃSKI**

Ukończył z wyróżnieniem pierwszy stopień studiów inżynierskich na kierunku Automatyka i Robotyka na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej w 2012 roku. Od roku 2010 realizuje studia wg Indywidualnego Programu Studiów ukierunkowanego na oprogramowanie urządzeń mikroprocesorowych. Tematem projektu inżynierskiego było oprogramowanie sterownika napędu elektrycznego z wykorzystaniem procesora sygnałowego.



e-mail: marek@kucinski.eu

**Streszczenie**

W artykule zaprezentowano urządzenie służące do pomiaru szesnastu sygnałów napięciowych wolnozmiennych. Przeznaczeniem zaprojektowanego urządzenia jest ułatwienie czynności serwisowych nowoczesnych urządzeń elektronicznych. Informacja o stanie napięć w kluczowych punktach układu (często dostępnych poprzez złącze diagnostyczne) pozwala w sposób natychmiastowy ocenić powód usterki. Założeniem projektowym było utrzymanie niskiej ceny bez utraty kluczowej funkcjonalności.

**Słowa kluczowe:** karta pomiarowa, DAQ, sygnał wolnozmienny, STM32.

**Multichannel low frequency signal acquisition system****Abstract**

Service operations always begin with a diagnosis of the malfunctioning device. Trustworthy methods for localisation of a source of damage are key to fast restoration of the equipment efficiency. Most of present electronic equipment have diagnostic connectors which simplify this operation. A measurement of significant voltage signals is the easiest approach to find a failure. In this paper the principles of functioning and a manner of realization of a multichannel low frequency signal acquisition system are presented. The core of the system is a modern microcontroller STM32F103 [1] based on ARM CortexM3 architecture. As a result of this selection a low cost but still powerful acquisition device is built. A low measurement frequency is the effect of project requirements - power supply malfunction is a frequent cause of electrical devices malfunctions. The measurement and analysis of high speed digital transmission signals is a subject of a separate diagnosis problem and is not discussed in the paper. The measurement device design is as simple as possible as an effect of nonindustrial environment and low cost elements used. Tests proved a sufficient level of robustness and measurement ability for the desired diagnostic application. Professional manufacturing of the device is planned after extensive testing.

**Keywords:** acquisition card, DAQ, low frequency signal, STM32.

**1. Wstęp**

Współczesne urządzenia elektroniczne stawiają coraz wyższe wymagania personelowi serwisowemu. Znaczący problem

diagnostyczny stanowi zlokalizowanie źródła usterki. Rosnący poziom integracji oraz złożoności jest dodatkową przeszkodą. Nierzadko jedyną drogą odnalezienia uszkodzenia jest analiza zależności zachodzących pomiędzy wieloma wydarzeniami występującymi równocześnie lub synchronicznie w urządzeniu. Za przykład może posłużyć system bezpiecznego startu zasilania głównego, który w przypadku przeciążenia wyłącza zasilacz, a następnie cyklicznie przeprowadza test wskazujący czy problem nadal występuje.

W efekcie rosnącego poziomu skomplikowania urządzeń elektronicznych musiały przejść ewolucję również metody analizy poprawności ich funkcjonowania oraz ewentualnej ich naprawy. Sposoby detekcji awarii na przestrzeni lat ewoluowały od prostej analizy zachowania systemu na podstawie obserwacji sygnałów sterujących oraz wyjściowych, poprzez sygnalizacyjne diody LED i pojedyncze sygnały dyskretne w postaci "podsystem działa/nie działa", aż do złożonych interfejsów diagnostycznych (np. JTAG).

W urządzeniach o charakterze mieszanym: analogowo-cyfrowym dodatkową informacją zwrotną o stanie urządzenia są poziomy napięć kluczowych w badanym układzie. Producenci złożonych urządzeń elektronicznych świadomi sytuacji, najczęściej wyprawadają je na zewnętrzne złącze serwisowo-diagnostyczne. W podejściu prostszym oznaczone są one na obwodzie drukowanym poprzez dedykowane pola stykowe (ang. *test points*). Obserwacja wielu wartości napięć równocześnie, nawet z wykorzystaniem wielokanałowych multimetrów, jest zadaniem trudnym i problematycznym pod względem ergonomii pracy. Odczyt cyfrowy nie ułatwia wychwycenia trendów lub skokowych zmian wartości. Istnieje zatem potrzeba udoskonalenia tego etapu procesu rozpoznawania przyczyn niesprawności urządzeń.

Wychodząc naprzeciw tym potrzebom podjęto decyzję o zaprojektowaniu wielokanałowego urządzenia pomiarowego [2] wspomagającego diagnostykę urządzeń elektronicznych. Nowoczesny warsztat serwisowy zwykle wyposażony jest w komputer [3], dlatego postanowiono wykorzystać go jako urządzenie wejścia/wyjścia oraz sterujące dla projektowanego urządzenia. Rozwiązanie takie pozwoliło znacznie zmniejszyć koszty budowy systemu akwizycji [4].

**2. Założenia projektowe**

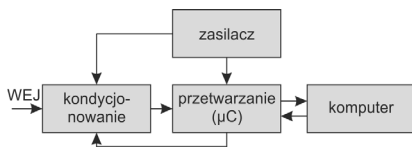
W efekcie analizy wymagań stawianych urządzeniu pomiarowemu, poczyniono następujące założenia projektowe:

- jak najniższe nakłady finansowe poniesione na rzecz budowy całego systemu pomiarowego.
- możliwość jednoczesnego odczytu wartości szesnastu napięć podłączonych do zacisków urządzenia, a odniesionych do wspólnej masy. Świadomie zrezygnowano z separacji galwanicznej sygnałów ze względu na ograniczanie kosztów. Z tego samego powodu zrezygnowano również z możliwości wykonywania pomiarów różnicowych.

- możliwość komunikacji z komputerem poprzez port USB, gdyż większość współczesnych komputerów (w szczególności przenośnych) nie jest wyposażona w port szeregowy. Dodatkową zaletą jest możliwość dostarczenia zasilania tym samym przewodem, co przesył danych. Zwiększa to ergonomię stanowiska warsztatowego.
- mała i zwarta obudowa zapewniająca przenośność urządzenia pomiędzy różnymi stanowiskami serwisowymi. Korzystnym aspektem jest również oszczędność powierzchni magazynowo-warsztatowej.
- zgodność sprzętowo-programowa ze środowiskiem LabVIEW. Dzięki uwzględnieniu tego założenia możliwe jest stworzenie rozbudowanej aplikacji monitorującej w stosunkowo krótkim czasie.
- szeroki zakres pomiarowy urządzenia pozwalający dokonywać pomiarów w dwóch podzakresach: 0 - 5 V oraz 0 - 50 V. Proponowane zakresy napięć są wystarczające do przeprowadzenia wszystkich urządzeń w docelowym serwisie naprawczym (zasilanie 48 V).
- niska częstotliwość pomiarów <1000 próbek/s. Wyższa częstotliwość próbkowania wymagana jest to analizy działania zasilacza impulsowych, jednakże dostosowanie proponowanego systemu wiązałoby się ze znacznym zwiększeniem kosztów.

### 3. Realizacja sprzętowa

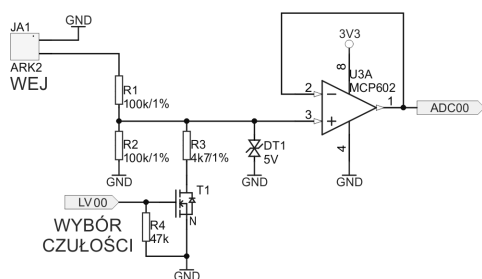
Schemat ideowy zaprojektowanego urządzenia pomiarowego został przedstawiony na rys. 1.



Rys. 1. Schemat ideowy systemu pomiarowego  
Fig. 1. Schematic diagram of the measurement system

Sygnal wejściowy, dostarczony przez złącze zaciskowe, zostaje poddany wstępnemu przetworzeniu w układzie kondycjonowania. Proces ten obejmuje dopasowanie wartości napięć oraz buforowanie ich przez wzmacniacz operacyjny. Wstępnie przetworzony sygnał zostaje podany na wejście przetwornika analogowo-cyfrowego wbudowanego w mikrokontroler ( $\mu C$ ) [5]. Przekonwertowane wartości napięć wejściowych są przesyłane przez konwerter USB  $\leftrightarrow$  UART do komputera wyposażonego w stosowne oprogramowanie. Napięcie zasilające układ pobierane jest z portu USB (5 V), a następnie obniżane do wartości 3,3 V z użyciem stabilizatora LM1117-3V3.

Urządzenie składa się z szesnastu analogicznych torów pomiarowych. Na rys. 2 przedstawiono schemat elektryczny pojedynczego toru (kanału pomiarowego).



Rys. 2. Schemat elektryczny pojedynczego toru pomiarowego  
Fig. 2. Electric diagram of a single input channel

Przewody pomiarowe dołączone są do układu poprzez zaciski śrubowe. Sygnal wejściowy podawany jest na dzielnik rezystancyjny składający się z rezystorów  $R_1$ ,  $R_2$  lub  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ . Możliwość

są dwa poziomy wzmocnienia: 0,500 lub 0,043. Wartości te zależne są od stanu załączenia tranzystora  $T_1$  (rezystancja załączonego tranzystora  $R_{DSON}$  jest pomijalnie mała) i obliczane są wg wzorów:

$$K_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

lub

$$K_2 = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \cdot \frac{1}{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}} \quad (2)$$

gdzie:  $K_1$ ,  $K_2$  - wzmocnienie toru pomiarowego, odpowiednio dla wyłączzonego oraz włączonego tranzystora  $T_1$ .

Rolą rezystora  $R_4$  pomiędzy bramką, a źródłem tranzystora  $T_1$  jest zapewnienie stabilnych warunków pracy układu w trakcie uruchamiania, gdy wyprowadzenia mikroprocesora są w stanie wysokiej impedancji.

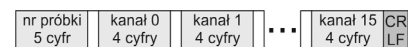
$DT_1$  to dioda zabezpieczająca, mająca za zadanie ochronę wejścia wzmacniacza buforującego przed przepięciami występującymi w sygnale wejściowym.

Jako wzmacniacz wejściowy wybrano układ MCP602. Jego zaletami są:

- niskie napięcie zasilania: 2,7 - 5,7 V.
- wyjście typu szyna-szyna (ang. *rail-to-rail*) oraz struktura zapewniająca pracę od 0 V do napięcia zasilającego.
- obudowa do montażu powierzchniowego zawierająca dwa wzmacniacze, co pozwala zachować małe rozmiary obwodu drukowanego.
- niska cena.

Jako jednostkę przetwarzającą wybrano mikrokontroler STM32F103R8. Posiada on wbudowany 16-kanalowy przetwornik analogowo-cyfrowy oraz dużą moc obliczeniową przy niskim koszcie samego układu. Dodatkowym atutem jest wbudowany kontroler USB. Programowanie mikrokontrolera odbywa się poprzez złącze USB - tym samym przewodem co transmisja danych kontrolnych i pomiarowych. Oprogramowanie przygotowane zostało w języku C z wykorzystaniem środowiska Code::Blocks oraz zestawu oprogramowania CodeSourcery.

Przesył danych pomiarowych odbywa się z wykorzystaniem ramki transmisyjnej o ustalonym formacie, który został przedstawiony na rys. 3.



Rys. 3. Ramka transmisji danych pomiarowych  
Fig. 3. Transmission frame of the measurement data

Przesył danych odbywa się z wykorzystaniem znaków ASCII. Wadą tego rozwiązania jest zwiększona ilość danych do przesłania w stosunku do przesyłu binarnego. Zaletą jest możliwość wykorzystania danych pomiarowych z urządzenia na dowolnym komputerze wyposażonym w oprogramowanie terminalowe np. HyperTerminal w systemach Windows. Oprogramowanie musi posiadać możliwość archiwizacji danych przesyłanych z urządzenia w formie pliku tekstowego.

Numer pomiaru oraz wartości napięć w poszczególnych kanałach rozdzielone są pojedynczym znakiem spacji w celu zwiększenia czytelności. Dane pomiarowe podawane są w postaci liczby 4 cyfrowej z przedziału 0 - 4095 ( $2^{12} - 1$ ), która reprezentuje poziom napięcia odczytanego przez przetwornik A/C:

$$V_n = \frac{DR_n}{(2^{12} - 1) \times K_n} V_{ref} \quad (3)$$

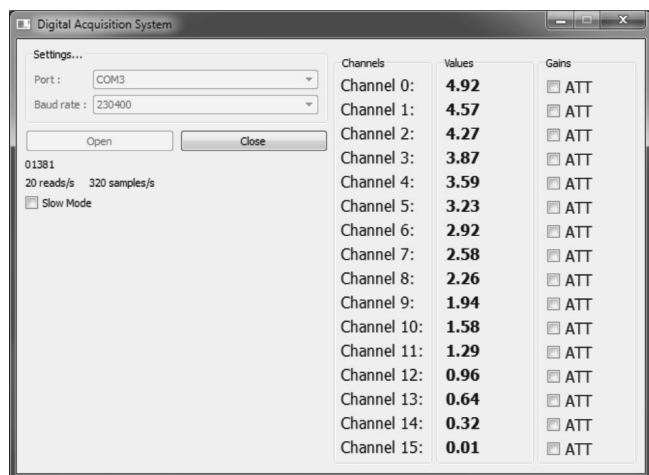
gdzie:  $n$  - numer toru pomiarowego,  $V_n$  - wartość napięcia w kanale  $n$ ,  $DR_n$  - wartość odczytana z rejestru mikrokontrolera,

$K_n$  - wzmacnienie w kanale  $n$ ,  $V_{ref}$  - wartość napięcia odniesienia dla przetwornika A/C (3,3 V).

#### 4. Interfejs użytkownika

Oprogramowanie współpracujące z urządzeniem pomiarowym przygotowano w dwóch wersjach. Różnią się one zastosowaniem docelowym oraz oferowanymi możliwościami.

Podstawową obsługę urządzenia tj. odczyt wartości napięć w 16 kanałach oraz wybór czułości, zapewnia aplikacja przygotowana w środowisku QT Creator. Widok okna programu przedstawiono na rys. 4.

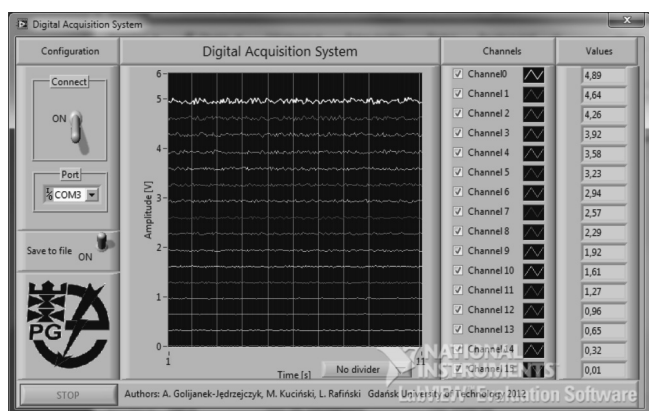


Rys. 4. Widok okna programu przygotowanego w środowisku QT Creator

Fig. 4. Panel of the interface created in QT Creator

W lewej części okna aplikacji widoczne są opcje konfiguracji. Możliwy jest wybór portu szeregowego, do którego przyłączone zostało urządzenie oraz prędkości transmisji. Poniżej dostępne są przyciski otwierające i zamykające połączenie. Widoczny jest również aktualny numer próbki oraz częstotliwość próbkowania. W prawej części okna widoczne są odczyty wartości napięć w poszczególnych kanałach. Pola w grupie "Gains" pozwalają włączyć tłumiki zwiększające zakres pomiarowy.

Drugi program przygotowano w środowisku LabVIEW [6]. Zostało ono wybrane ze względu na łatwość implementacji wizualizacji i archiwizacji danych pomiarowych. Widok panelu przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Widok okna programu przygotowanego w LabVIEW

Fig. 5. Panel of the interface created in LabVIEW

Przed rozpoczęciem pomiarów należy ustawić odpowiedni numer portu szeregowego. Prędkość transmisji została domyślnie ustawiona na wartość 230400 bodów.

Zmierzone przebiegi napięć w poszczególnych kanałach pomiarowych (oznaczone kolorami zgodnie z legendą umieszczoną obok) widoczne są w centralnej części okna. Możliwe jest ukry-

wanie wybranych przebiegów w celu poprawienia widoczności. Bieżące wartości napięć prezentowane są na wyświetlaczach cyfrowych w prawej części okna. Pod wykresem umieszczono przełącznik dzielnika częstotliwości pomiaru – przydatny przy pomiarach sygnałów wolnozmiennych.

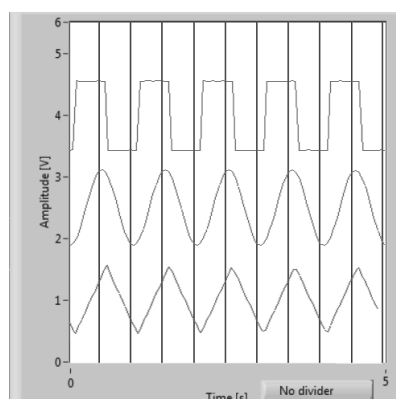
Zaprojektowana aplikacja umożliwia zapis zebranych danych do pliku. Dane są zapisywane w pliku typu CSV (rozdzielone średnikiem), którego nazwa zawiera bieżącą datę i godzinę systemową.

#### 5. Wyniki testów

Do urządzenia podłączono trzy sygnały zmienne:

- prostokątny o częstotliwości 1 Hz oraz amplitudzie 1 V,
- sinusoidalny o częstotliwości 1 Hz oraz amplitudzie 1,25 V,
- trójkątny o częstotliwości 1 Hz oraz amplitudzie 1 V.

Widok okna programu przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Wizualizacja dołączonych sygnałów

Fig. 6. Visualization of the measured signals

Wykonane badania potwierdzają poprawność działania urządzenia. Przedstawione przebiegi mają odpowiednią amplitudę i częstotliwość.

#### 6. Podsumowanie

Przedstawione urządzenie znacząco ułatwia prace serwisowo-diagnostyczne urządzeń elektronicznych. Koszt wykonania urządzenia nie przekroczył 200 zł po uwzględnieniu kosztu wykonania obwodu drukowanego przez specjalizowany zakład. Zbudowane urządzenie spełnia wszystkie założenia projektowe.

#### 7. Literatura

- [1] STMicroelectronics, STM32F103x8 Datasheet.
- [2] Örüci S., Tarimer I.: Opracowanie kart zbierania danych i oprogramowania do zastosowaniach pomiarowych. Przegląd Elektrotechniczny: 10/2009.
- [3] Brociek W., Brodziński G., Winek T.: Charakterystyka systemu pomiarowego z akwizycją i przetwarzaniem sygnałów w układzie zasilania obiektu przemysłowego. Przegląd Elektrotechniczny: 05/2008.
- [4] Nawrocki W.: Sensory i systemy pomiarowe. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2006.
- [5] Czaja Z.: Wykorzystanie przetworników A/C wbudowanych w mikrokontrolery do pomiarów parametrów sygnałów zmiennych. Przegląd Elektrotechniczny: 09/2009.
- [6] Świsulski D.: Komputerowa technika pomiarowa. Oprogramowanie wirtualnych przyrządów pomiarowych w LabVIEW. Agenda Wydawnicza PAK-u, Warszawa 2005.

otrzymano / received: 22.08.2012

przyjęto do druku / accepted: 01.10.2012

artykuł recenzowany / revised paper