

PROGRAMOWALNE URZĄDZENIE POMIAROWO-STERUJĄCE DO MONITOROWANIA I DIAGNOSTYKI SYSTEMÓW PŁYNOWYCH

Ryszard DINDORF¹, Piotr WOŚ²

1. Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Technologii Mechanicznych i Metrologii
tel.: 41 34 24 481, e-mail: dindorf@tu.kielce.pl
2. Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Katedra Technologii Mechanicznych i Metrologii
tel.: 41 34 24 532, e-mail: wos@tu.kielce.pl

Streszczenie: W artykule przedstawione nowe przenośne programowalne urządzenie pomiarowo-sterujące, które jest przeznaczone do pomiarów badawczych, laboratoryjnych, kontrolnych i diagnostycznych systemów (urządzeń, instalacji) płynowych (hydraulicznych i pneumatycznych). Za pomocą tego urządzenia można rejestrować, przetwarzać i udostępniać pomiary parametrów fizycznych systemów płynowych. Urządzenie można zaprogramować na indywidualne potrzeby pomiarowe odbiorcy. Przedstawione urządzenie pomiarowo-sterujące posiada wiele przydatnych funkcji niedostępnych w standardowych zestawach (stacjach) pomiarowych. Zaproponowane programowalne urządzenie pomiarowo-sterujące z komunikacją WiFi może pracować w technologii przemysłowego Internetu rzeczy IIoT (Industry Internet of Things) związanej z Industry 4.0.

Słowa kluczowe: urządzenia pomiarowe, pomiary, monitorowanie, diagnostyka, przemysłowy Internet rzeczy

1. WPROWADZENIE

Aparatura kontrolno-pomiarowa wykorzystywana jest na szeroką skalę w różnych gałęziach przemysłu [1]. Do pomiarów badawczych, kontrolnych i diagnostycznych urządzeń płynowych (hydraulicznych i pneumatycznych) wykorzystuje się stacjonarne lub przenośne (mobilne) zestawy (stacje) pomiarowe, które składają się z wielofunkcyjnych przyrządów pomiarowych (z różnymi przetwornikami pomiarowymi), oprzyrządowania i oprogramowania. Do kontroli procesu eksploatacji i oceny stanu technicznego urządzeń płynowych (układów napędowych, systemów sterowania, instalacji przesyłowych płynów hydraulicznych lub sprężonego powietrza) dokonuje się pomiaru wielkości fizycznych, archiwizacji i wizualizacji graficznej oraz opracowania matematycznego wyników pomiarów i identyfikacji stanu technicznego tych urządzeń [2]. Scharakteryzowano standardowe wielofunkcyjne urządzenia pomiarowe, stosowane do diagnostyki systemów hydraulicznych i pneumatycznych, dla ich porównania z proponowanym rozwiązaniem programowalnego urządzenia pomiarowo-sterującego.

2. WIELOFUNKCYJNE URZĄDZENIA POMIAROWE

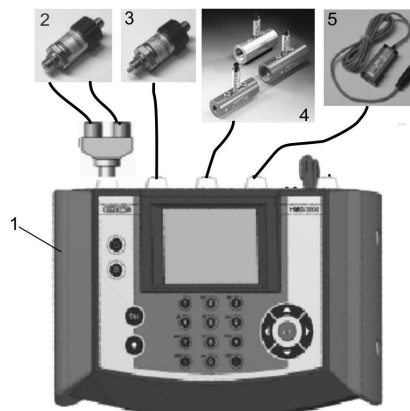
Zaletą standardowych wielofunkcyjnych urządzeń pomiarowych dostępnych na rynku jest równoczesny pomiar

kilku podstawowych parametrów, takich jak: ciśnienia, temperatury i natężenia przepływu. Oprócz rejestracji aktualnych wartości parametrów można odczytywać ich wartości średnie, maksymalne i minimalne, a także różnice dwóch takich samych wielkości i parametrów, np. różnicę ciśnień.

Podstawową wadą tych wielofunkcyjnych urządzeń pomiarowych jest brak interfejsu użytkownika dla celów ich programowania i konfiguracji. Interfejs ten powinien umożliwiać dobór rodzaju wejść, zakresu wskazań, opcji rejestracji oraz dodatkowe funkcje, takie jak alarmowanie stanów, wyświetlanie informacji, komunikacja z innymi przyrządami i urządzeniami automatyki, a także dostęp do sieci, ochronę hasłem i inne.

2.1. Urządzenia pomiarowe do diagnostyki systemów hydraulicznych

Do pomiaru diagnostycznych układów hydraulicznych dostępny jest m.in. zestaw pomiarowy typu HMG 3000 firmy Hydac, które umożliwia jednoczesny pomiar 10 wielkości fizycznych (8 kanałów analogowych i 2 kanały cyfrowe) [4]. Widok zestawu pomiarowego HMG 3000 zamieszczono na rysunku 1.



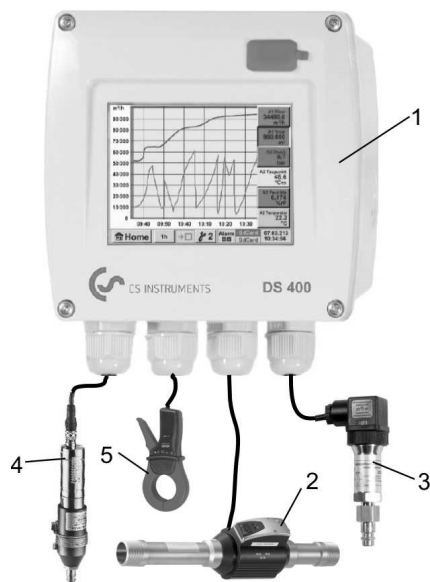
Rys. 1. Zestaw pomiarowy HMG3000 [4]: 1 - wielofunkcyjny przyrząd pomiarowy HMG3000, 2 – przetworniki ciśnienia, 3 – przetwornik temperatury, 4 – przepływowiec, 5 – licznik prędkości obrotowej

W pomiarach parametrów diagnostycznych układów hydraulicznych wykorzystuje się analogowe przetworniki ciśnienia typu HDA 4000 i temperatury (Pt100) typu ETS 4000, przepływomierze turbinkowe typu EVS 3000 oraz liczniki częstotliwości (prędkości obrotowej) typu HDS 1000. Przetworniki pomiarowe mogą mieć wyjścia analogowe: prądowe (0...20 mA, 4...20 mA), napięciowe (0...5 V, 1...5 V, 0...10 V, 0...50 V) i częstotliwościowe (1 Hz-30 kHz). Okres próbkowania sygnału wynosi od 0,1 do 1 ms. Dla każdej wielkości pomiarowej można ustawić zakres pomiarowy oraz średnie, minimalne i maksymalne wartości wyników pomiaru.

Przetworniki pomiarowe można włączyć do układu hydraulicznego poprzez złączki adaptacyjne tzw. minimes.

2.2. Urządzenia pomiarowe do diagnostyki systemów pneumatycznych

Dla celów pomiaru parametrów instalacji pneumatycznej dostępna jest m.in. mobilna stacja pomiarowa typu DS400 firmy CS Instruments GmbH [5], której widok zamieszczono na rysunku 1.



Rys. 2. Stacja pomiarowa DS400 [5]: 1 – wielofunkcyjny przyrząd pomiarowy DS400, 2 – licznik przepływu, 3 – przetwornik ciśnienia, 4 – przetwornik temperatury z pomiarem punktu rosy, 5 – amperomierz cęgowy

Stacja pomiarowa DS400 umożliwia jednoczesny pomiar natężenia prądu, natężenia przepływu, ciśnienia, temperatury i temperatury ciśnieniowego punktu rosy w określonych przedziałach czasu. Wyniki pomiarów analizowane są z wykorzystaniem specjalnych aplikacji do graficznego przedstawienia danych z dziennym bądź tygodniowym okresem pomiaru do oceny kosztów i zużycia prądu przez sprężarkę w okresie dociążenia i odciążenia, obliczenia kosztów i zużycia sprężonego powietrza, obliczenia kosztów przecieku sprężonego powietrza, określenia temperatury i temperatury ciśnieniowego punktu rosy. Przetworniki pomiarowe można łatwo włączyć do instalacji pneumatycznej poprzez szybkozłączki i zawory kulowe. Na podstawie zebranych danych można podjąć działania optymalizujące system sprężonego powietrza, np. optymalizację pracy sprężarki, optymalizację układu rurociągu pneumatycznego w celu zapobiegania spadkom ciśnienia, ograniczenie przecieku w instalacji

pneumatycznej, redukcję ciśnienia zasilania, obniżenie temperatury na wlocie sprężarki.

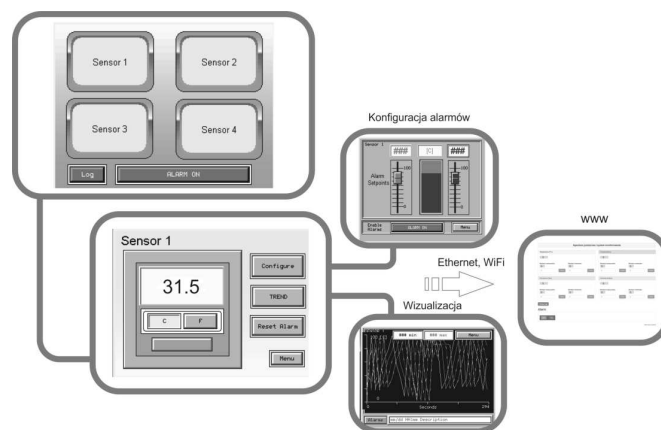
3. PROGRAMOWALNE URZĄDZENIE POMIAROWO-STERUJĄCE

Opracowano, zbudowano i testowano nowe przenośne programowalne urządzenie pomiarowo-sterujące do monitorowania i diagnostyki urządzeń i instalacji płynowych (hydraulicznych i pneumatycznych), które jest widoczne na rysunku 3. Urządzenie to powstało na zapotrzebowanie rynkowe, było dofinansowane w ramach projektu "Perspektywy RSI Świętokrzyskie" oraz zostało wyróżnione medalem na Targach Pneumatyki, Hydrauliki, Napędów i Sterowań PNERUMATICON'2016 w Kielcach.



Rys. 3. Programowalne cyfrowe urządzenie pomiarowo-sterujące

Oprogramowanie zastosowane w urządzeniu pomiarowo-sterującym zapewnia wyświetlanie na bieżąco wartości mierzonych wielkości oraz przetwarzanych parametrów. Urządzenie może służyć do pomiaru różnych parametrów fizycznych, a głównie ciśnienia, temperatury, natężenia przepływu i prędkości obrotowej. Ekran główny, oprócz wyświetlaczy graficznych i cyfrowych, zawiera paski: menu, przycisków funkcyjnych i wskaźników alarmowych. Ekran podstawowych funkcji urządzenia pomiarowo-sterującego przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Ekran podstawowych funkcji programowalnego urządzenia pomiarowo-sterującego

Zewnętrzne urządzenia, takie jak: komputery stacjonarne i przenośne (laptopy, tablety) oraz smartfony komunikują się z opisywanym urządzeniem za pośrednictwem punktu dostępowego komunikacji bezprzewodowej WiFi. Odczyt wielkości pomiarowych, ustalenie wartości progowych (granicznych) dla procesu, pobieranie raportów o stanach alarmowych, włączanie i

wyłączanie alarmów dokonywane jest za pomocą przeglądarki internetowej. Zarówno oprogramowanie urządzenia, jak i interfejs graficzny zaimplementowano na sterowniku urządzenia. Urządzenie może łączyć się przez sieć Ethernet za pomocą technologii VNC (ang. Virtual Network Computing), która umożliwia wizualizację pomiarów na zewnętrznych urządzeniach. Takie rozwiązanie pozwala jednocześnie wielu osobom z dowolnego miejsca na monitorowanie stanu urządzeń płynowych oraz wykonywanie czynności obsługowych.

Podstawowe funkcje urządzenia:

- Pomiar i rejestracja ciśnienia, temperatury, natężenia przepływu i prędkości obrotowej z przetworników ze standardowym sygnałem elektrycznym (0÷20 mA, 4÷20 mA, 0÷10 V).
- Graficzna i tekstowa rejestracja wartości mierzonych (wykresy, tablice) przy pracy ciągłej, zapis danych z 4 kanałów co 1 s do pamięci 32 GB.
- Programowanie funkcji pomiarowych oraz zapis danych w standardowym pliku tekstowym (log) znajdującym się w wewnętrznej pamięci urządzenia z możliwością edycji w arkuszach kalkulacyjnych.
- Programowanie 4 wyjść alarmowych - stanu pracy urządzeń płynowych z sygnalizacją świetlną, dźwiękową i wizualną oraz powiadamianiem (www, e-mail).
- Programowanie rodzaju wejść, zakresu wskazań, opcji rejestracji, alarmów, wyświetlania, komunikacji, dostępu oraz innych parametry konfiguracyjnych.
- Konfigurowanie urządzenia przez łącze Ethernet i za pośrednictwem strony internetowej.
- Przenoszenia danych konfiguracyjnych i archiwalnych na pamięci USB oraz przez Ethernet do innych urządzeń automatyki pomiarowej.
- Obsługa funkcji Web Serwera, FTP Serwera. Urządzenie komunikuje się w trybie Modbus TCP Client/Serwer i wielu innych protokołach komunikacyjnych pozwalając na pracę w systemach scentralizowanych oraz rozproszonych.
- Dostęp chroniony hasłem użytkownika.

Moduły urządzenia:

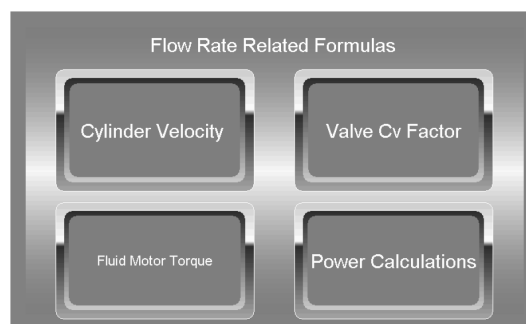
- Standardowe interfejsy szeregowo: USB (do współpracy z komputerem oraz pamięciami USB) i RS485.
- Wbudowane porty komunikacyjne: Ethernet 10/100 Mbps z obsługą protokołów Modbus TCP Client/Server, EGD, SRTP Slave, WebServer, FTP Server, ICMP (Ping), email, RS232/485 z obsługą protokołów Modbus RTU Master/Slave, Serial I/O, CAN pracujący w trybie CANopen lub CsCAN, USB do programowania oraz obsługi pamięci masowych, slot Micro SD do obsługi kart pamięci zawierających receptury i logowane dane procesowe.
- Kolorowy wyświetlacz graficzny LCD TFT, 320x240 punktów lub 800x480 (QVGA) z ekranem dotykowym pozwalającym na intuicyjną obsługę z szybką konfiguracją oraz czytelną sygnalizacją stanów pracy urządzenia i różnych opcji w menu.

Urządzenie pomiarowo-sterujące było testowane w warunkach laboratoryjnych i operacyjnych. Wszystkie współpracujące z tym przyrządem pomiarowym czujniki pomiarowe (np. ciśnienia, temperatury i natężenia przepływu) mają wyjścia analogowe prądowe w zakresie 4-20mA dla określonych zakresów pomiarowych. Przykładowo dla kalibracji kanału pomiarowego ciśnienia o zakresie 0-400 bar, jako wzorzec odniesienia wykorzystano czujnik ciśnienia o dokładności +/- 0.2%. Na podstawie

kliki punktów pomiarowych możliwe było stworzenie „programowalnej” krzywej kalibracyjnej (krzywej wzorcowania) z możliwością wprowadzania poprawek dla jej współczynników w trakcie wzorcowania kanału pomiarowego. Strojenia (adiustacja) w trakcie użytkowania programowalnego urządzenia pomiarowo-sterującego jest możliwe poprzez programową zmianę wartości współczynników krzywej kalibracyjnej. Możliwe jest wprowadzanie poprawek (strojenia) z poziomu panelu dotykowego urządzenia. W porównaniu z dostępnymi na rynku standardowymi wielofunkcyjnymi przyrządami pomiarowymi zaproponowane programowalne urządzenie pomiarowo-sterujące umożliwia adiustację, czyli ustawienie przyrządu pomiarowego w najmniejszym możliwym odchyleniu od prawidłowej wartości. Niepewność pomiarowa przyrządu zależy od wszystkie błędów aparaturowych, ale głównie od zastosowanych czujników pomiarowych.

3.1. Diagnostyczne bloki obliczeniowe

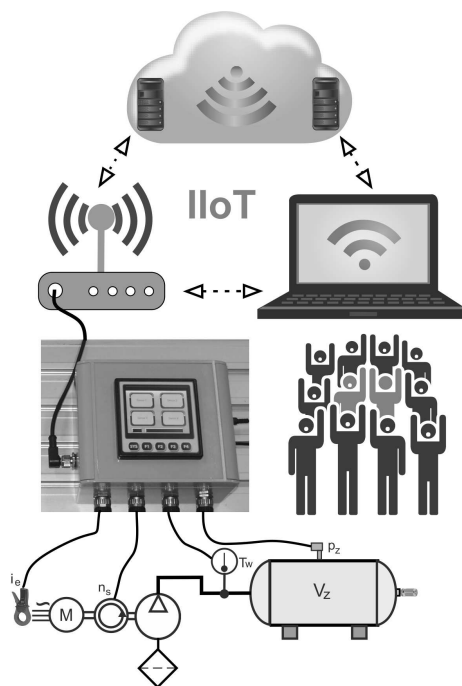
Do celów diagnostycznych zbudowane urządzenie wyposażone zostało w bloki obliczeniowe. Na podstawie pomiaru podstawowych parametrów, takich jak: ciśnienie, natężenie przepływu, temperatura i prędkość obrotowa, można obliczyć wskaźniki stanu urządzeń i instalacji płynowych (hydraulicznych i pneumatycznych). Zaimplementowane funkcje obliczeniowe umożliwiają, np. obliczenie sprawności (całkowitej, wolumetrycznej, hydro-mechanicznej) pomp, siłowników i silników, parametrów przepływu lub strat ciśnienia w liniach przesyłowych hydraulicznych i pneumatycznych. Na rysunku 5 widoczny jest ekran dotykowy urządzenia z przykładowymi zaprogramowanymi funkcjami związanymi z natężeniem przepływu (Flow Rate), takimi jak: prędkość tłoka siłownika (Cylinder Velocity), współczynnik przepływu C_v zaworu (Valve C_v Factor), moment silnika hydraulicznego (Fluid Motor Torque) i moc (Power Calculations). Przykładowo, współczynnik przepływu C_v lub K_v (ang. flow coefficient) badanego przemysłowego zaworu regulacyjnego określa się na podstawie pomiaru objętościowego natężenia przepływu q_v oraz spadku ciśnienia Δp z uwzględnieniem określonego czynnika roboczego (gaz, płyn, para). Niemierzalne wartości parametrów funkcji obliczeniowych, takie jak gęstość czynnika roboczego lub współczynniki korekcyjne, wprowadza się za pomocą panelu dotykowego urządzenia pomiarowego lub za pomocą urządzenia pracującego w sieci (komputer, tablet, smartfon). Wyniki obliczeń wyświetlane są bezpośrednio na panelu graficznym, zapisywane w pamięci wewnętrznej oraz udostępniane w sieci poprzez wbudowany moduł WebServer.



Rys. 5. Ekran funkcji obliczeniowych programowalnego urządzenia pomiarowo-sterującego

3.2. Urządzenie pomiarowo-sterujące do komunikacji w technologii IIoT

Przeprowadzona analiza rynku wskazuje na potrzebę tworzenia bezprzewodowych systemów pomiarowo-sterujących pracujących z wykorzystaniem technologii przemysłowego Internetu rzeczy IIoT (Industry Internet of Things) w celu pozyskiwania danych pomiarowych służących do oceny i prognozowania stanu urządzeń i instalacji płynowych w zintegrowanym systemie produkcyjnym związanym z Industry 4.0 [3], [6]. Na rysunku 6 przedstawiono rozwiązanie programowalnego urządzenia pomiarowo-sterującego, z komunikacją WiFi pracującego w technologii IIoT, do monitorowania stacji sprężarek z wykorzystaniem przyrządów pomiarowych: bezdotykowego amperomierza do pomiaru natężenia prądu elektrycznego i_e , licznika prędkości obrotowej n_s , silnika elektrycznego, czujnika temperatury T_w sprężonego powietrza na wylocie sprężarki oraz przetwornika ciśnienia p_z do pomiaru ciśnienia w zasobniku (zbiorniku) sprężonego powietrza o objętości V_z .



Rys. 6. Programowalne urządzenie pomiarowo-sterujące w technologii IIoT do monitorowania stacji sprężarek

Programowalne urządzenie pomiarowo-sterujące zawiera funkcje Web Serwer z oprogramowaniem umożliwiającym

dostarczenie danych pomiarowych pochodzących z systemu pomiarowego do platformy IIoT.

4. WNIOSKI KOŃCOWE

Artykuł dotyczy najnowszej oferty Zakładu Urządzeń Mechatronicznych (w Katedrze Technologii Mechanicznych i Metrologii Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach) dotyczącej programowalnego urządzenia pomiarowo-sterującego do monitorowania i diagnostyki urządzeń oraz instalacji płynowych (hydraulicznych i pneumatycznych). Urządzenie to było prezentowane na Targach Kielce podczas wystawy PNEUMATICOM.2016, ale informacja o tym urządzeniu niebyły dotychczas nigdzie publikowana. Zaproponowane urządzenie można zaprogramować na indywidualne potrzeby pomiarowe odbiorcy. Przedstawione rozwiązanie urządzenia pomiarowo-sterującego ma wiele przydatnych funkcji niedostępnych w standardowych wielofunkcyjnych zestawach (stacjach) pomiarowych oferowanych na rynku. Programowalne urządzenie pomiarowo-sterujące z komunikacją WiFi (TCP, FTP) może pracować w technologii przemysłowego Internetu rzeczy IIoT związanej z Industry4.0. Zastosowanie technologii IIoT w programowalnym urządzeniu pomiarowo-sterującym umożliwia przechowywane dużej liczby danych pomiarowych i sterujących, pochodzących z systemów płynowych, w platformie chmurowej (Cloud Platform), skąd mogą być pobierane i analizowane przez różnych odbiorców w ramach nadzoru, obsługi lub outsourcingu tych systemów, np. stacji sprężarek jak w przykładzie.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Bilski P.: Systemy kontrolno-pomiarowe w diagnostyce systemów przemysłowych. *Electro.Info*, Nr 3, 2012.
2. Dindorf R., Woś P.: Przetworniki i układy pomiarowe w systemach hydraulicznych i pneumatycznych. Monografie, Studia, Rozprawy M63, Wyd. Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce, 2014.
3. Hermann M, Pentek T, Otto B.: Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. In: 2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). IEEE; 2016:3928-3937. doi:10.1109/HICSS.2016.488.
4. Katalog firmy HYDAC. Zestaw pomiarowy HMG3000.
5. Katalog firmy CS Instruments. Stacja pomiarowa DS300.
6. Przemysłowy Internet Rzeczy (IIoT) i jego wpływ na projektowanie urządzeń. <https://elektronikab2b.pl>.

PROGRAMMABLE MEASURING AND CONTROL DEVICE FOR MONITORING AND DIAGNOSTICS OF FLUID POWER SYSTEMS

The paper presents a new programmable measuring device that enables measurement, data registration and processing of recorded results in hydraulic and pneumatic systems. Using it, it is possible to measure the pressure, temperature and flow rate, graphic visualization of them and mathematical development. Extensive programmable calculation functions allow for identification of the technical condition of fluid devices. The software logic of the device and the visualization are implemented directly on the dedicated device controller. The device provides efficient processing of sensor data, local storage and forwarding via wired networks or wireless technology. A distinctive feature of the newly designed device is the presence of a radio module for wireless communication. The programmable measuring device made with WiFi communication can work in the Industry Internet of Things (IIoT) related to Industry 4.0. In this technology, the presented control and measurement device together with the sensors takes measurements, while measurement data are transferred to the network for monitoring and controlling physical processes, where they are stored and analyzed.

Keywords: measuring and control device, measurements, diagnostics, Industrial Internet of Things.