

Mikrokontrolery rodziny MSP430 w przyrządach pomiarowych

Janusz Janiczek
Maria Woźniak

Opisany miernik do pomiaru strumienia objętości (przepływu objętości) i objętości gazu jest przeznaczony do sprawdzania liczników gazowych. Do pomiaru strumienia objętości wykorzystuje się opory pneumatyczne, na których mierzy się spadek ciśnienia. Ponadto mierzona jest temperatura i ciśnienie przepływającego gazu. Na podstawie tych danych mikrokontroler wylicza strumień objętości lub objętość gazu. Struktura wewnętrzna układu MSP430F413 umożliwiła budowę funkcjonalnego miernika przy niewielkiej liczbie elementów.

Mikrokontrolery rodziny MSP430, produkowane przez firmę Texas Instruments, charakteryzują się bardzo małym prądem zasilania – ok. 250 μA przy pracy ciągłej i 0,1 μA w trybie uśpienia, co predysponuje je do zastosowań w przyrządach i urządzeniach z zasilaniem bateryjnym. Kilkanaście odmian układów o różnej strukturze wewnętrznej pozwala na wybór układu odpowiedniego do potrzeb, a 16-bitowa struktura RISC pozwala na pisanie efektywnych programów. Ponadto część członków tej rodziny ma pamięć flash umożliwiającą w prosty sposób modyfikację jej zawartości, co jest cenną właściwością w procedurach kalibracyjnych. Dlatego jeden z mikrokontrolerów tej rodziny – MSP430F413 zastosowano w mierniku do pomiaru strumienia objętości i objętości gazu.

Podstawowym zadaniem tego miernika jest sprawdzenie poprawności wskazań liczników gazu. Wynik testu umożliwi podjęcie decyzji o ewentualnym przekazaniu licznika do szczegółowego badania w uprawnionym do tego celu laboratorium. Testowaniu mają podlegać liczniki gazu o zakresach pomiarowych strumienia objętości od 0,04 m^3/h do 40 m^3/h [4, 5].

Na podstawie przeglądu literatury i przeprowadzonych badań, jako czujniki do pomiaru strumienia objętości gazu wybrano opory pneumatyczne, na których spadek ciśnienia jest zależny od wartości strumienia objętości. Przyjęto, że opór pneumatyczny (głowica pomiarowa) będzie wykonany w postaci metalowego walca z nawierconymi wewnątrz kanałami. Opory pneumatyczne są umieszczone w obudowach wyposażonych w odpowiednie króćce umożliwiające bezpośrednie podłączenie do badanego licznika gazu. Okazało się, że dla pokrycia wymaganego zakresu pomiarowego potrzeba sześciu głowic pomiarowych.

Ogólna zależność określająca wartość spadku ciśnienia na oporze pneumatycznym od strumienia objętości [1, 2, 3]:

$$\Delta p = a_2 Q^2 + a_1 Q + a_0 \quad (1)$$

Uzyskanie możliwie małej wartości współczynnika a_2 oraz odpowiedniej wartości współczynnika a_1 dawało szansę zwiększenia rozdzielczości i dokładności czujnika na krańcach zakresu.

Wartości współczynników a_2 i a_1 można określić w stosunku do warunków odniesienia:

$$a_{2a} = a_{2o} \cdot \frac{T_o \cdot P_a}{T_a \cdot P_o} \quad (2)$$

gdzie: P_o, P_a – odpowiednio ciśnienie gazu odniesienia i aktualne (kPa) (bezwzględne), T_o, T_a – odpowiednio temperatura odniesienia i aktualna (K), η_{To}, η_{Ta} – odpowiednio lepkość w warunkach odniesienia i aktualna (Pa·s)

$$a_{1a} = a_{1o} \cdot \frac{\eta_{Ta}}{\eta_{To}} \quad (3)$$

$$\eta_{Ta} \cdot 10^8 = -1,0133 \cdot 10^{-3} \cdot T^3 + 8,9197 \cdot 10^{-1} \cdot T^2 + -2,5609 \cdot 10^2 \cdot T + 2,5761 \cdot 10^4$$

Jako warunki odniesienia przyjęto:

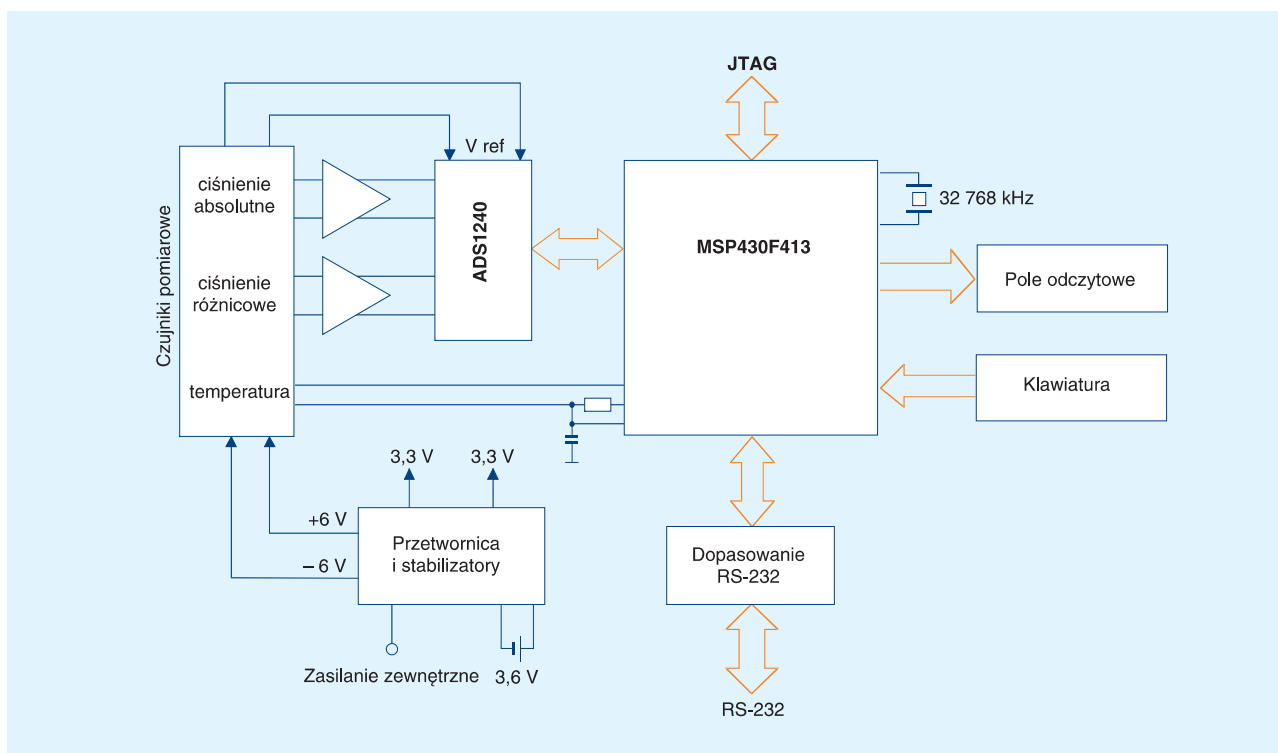
$$P_o = 100 \text{ kPa}, T_o = 293,15 \text{ K}, \eta(T_o) = 1,812 \cdot 10^3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

Charakterystyki odniesienia dla poszczególnych głowic wyznaczono eksperymentalnie.

Zadaniem układu elektronicznego miernika strumienia objętości i objętości gazu jest zebranie informacji z dwóch czujników ciśnienia i czujnika temperatury umieszczonych w czujniku. Zastosowane zostały czujniki typu DCXL01DN do pomiaru różnicy ciśnienia w czujniku przepływu i typu XCX15AN do pomiaru ciśnienia atmosferycznego. Czujniki te gwarantują obecnie odpowiednią do założeń dokładność pomiaru. Pomiar temperatury jest realizowany czujnikiem termistorowym. Schemat blokowy układu elektronicznego miernika jest przedstawiony na rys. 1.

Pomiar przepływu jest dokonywany poprzez pomiar spadku ciśnienia na oporze pneumatycznym z uwzględnieniem ciśnienia i temperatury występujących w trakcie przepływu gazu. Wartość strumienia objętości jest wyliczana z odpowiednio przekształconych zależności (1), (2) i (3). Pomiar objętości następuje poprzez sumowanie chwilowych strumieni objętości.

Dr inż. Janusz Janiczek, dr inż. Maria Woźniak
– Katedra Metrologii Elektronicznej i Fotonicznej
Politechniki Wrocławskiej



Rys. 1. Schemat blokowy układu miernika przepływu i objętości gazu

Sygnaly wyjściowe z czujników są wzmacniane w wysokostabilnych wzmacniaczach symetrycznych. Sygnaly z wyjść wzmacniaczy są doprowadzone do dwukanałowego przetwornika analogowo-cyfrowego typu delta-sigma – ADS1240. Przetwornik ten co pół sekundy przetwarza na przemian raz sygnał z czujnika ciśnienia różnicowego a raz sygnał z czujnika ciśnienia absolutnego. Czas przetwarzania wynosi około 66 ms. Na podstawie danych otrzymanych z przetwornika A/C i czujnika temperatury mikrokontroler oblicza wartość wybranego parametru – strumień objętości, objętość, temperaturę lub ciśnienie bezwzględne i wyświetla na polu LCD. Przetwornik jest połączony z mikrokontrolerem magistralą SPI, co redukuje liczbę połączeń przy zapewnieniu odpowiedniej szybkości transmisji danych.

Mikrokontroler MSP430F413 [6] w swojej strukturze zawiera układy 16-bitowych liczników i komparator umożliwiające bezpośredni pomiar rezystancji. Dzięki temu pomiar temperatury gazu odbywa się za pomocą czujnika rezystancyjnego, rezystora odniesienia i kondensatora. Pomiar rezystancji odbywa się w czterech fazach. W pierwszej fazie następuje ładowanie kondensatora, poprzez rezystor mierzony lub rezystor odniesienia (albo poprzez obydwa rezystory), do wartości napięcia zasilania. W drugiej fazie następuje rozładowanie kondensatora poprzez rezystor odniesienia do napięcia odniesienia. W trzeciej fazie następuje ponowne ładowanie kondensatora do wartości napięcia zasilania i w czwartej fazie następuje ponowne rozładowanie kondensatora tym razem poprzez mierzony rezystor. Napięcie odniesienia, określające poziom, do którego jest rozładowywany kondensator, jest wytwarzane wewnątrz mikrokontrolera i doprowadzone do jednego z wejść komparatora. Czasom rozładowania kondensatora T_O i T_X odpowiadają wartości N_O i N_X impulsów zliczonych

w liczniku, a wartość mierzonej rezystancji jest określona z zależności:

$$R_X = R_O \cdot \frac{N_X}{N_O} \quad (4)$$

Temperaturę odpowiadającą rezystancji R_X wylicza się z wielomianu aproksymującego charakterystykę czujnika temperatury.

Układy wewnętrzne mikrokontrolera umożliwiają pomiar rezystancji w zakresie od dziesiątków omów do setek kiloomów z rozdzielczością 11–12 bitów.

Mikrokontroler MSP430F413 umożliwia wysterowanie do 90 segmentów pola LCD. W mierniku zastosowano 6-znakowe pole odczytowe, w którym każdy znak składał się z 14 segmentów. Pozwala to na wyświetlanie, oprócz wartości cyfrowych, również znaków alfabetycznych, co znacznie ułatwia obsługę przyrządu.

Wybór funkcji pomiarowych lub kalibracyjnych umożliwia klawiatura podłączona bezpośrednio do linii portów mikrokontrolera. Nazwa wybranej funkcji jest wyświetlana na polu odczytowym.

Miernik może być zasilany z akumulatora 3,6 V lub zasilacza zewnętrznego. Napięcie zasilania 12 V dla czujników ciśnienia jest otrzymywane z wydajnej przetwornicy. Napięcie to jest również wykorzystane jako napięcie odniesienia dla przetwornika, dzięki czemu zmiany napięcia zasilania czujników ciśnienia nie wpływają na dokładność przetwarzania sygnałów z czujników.

Zastosowane zostały również dwa stabilizatory typu LDO – jeden do zasilania mikrokontrolera, a drugi do zasilania pozostałych elementów układu. Umożliwiło to realizację wyłącznika elektronicznego wykorzystującego klawisz przyciskowy. Naciśnięcie klawisza wyłączni-

ka uruchamia system przerwania mikrokontrolera. Program obsługi tego przerwania sprawdza czy włączone jest zasilanie miernika. Jeżeli tak, to następuje wyłączenie zasilania, a mikrokontroler jest wprowadzany w tryb uśpienia. W trybie tym zasilany jest tylko mikrokontroler. Wyłączenie pozostałych układów miernika odbywa się przez podanie odpowiedniego sygnału na wejście Enable stabilizatora. Pobór prądu zasilania miernika spada do około 0,15 μ A. Jeżeli miernik jest wyłączony, to naciśnięcie klawisza wyłącznika spowoduje wyprowadzenie mikrokontrolera ze stanu uśpienia, włączenie zasilania miernika i start programu.

Interfejs JTAG, z oprogramowaniem firmy Texas Instruments, służy do programowania pamięci mikrokontrolera, a ponadto umożliwia testowanie urządzenia, aczkolwiek testowanie to nie może odbywać się w czasie rzeczywistym.

Łącze RS-232 jest wykorzystywane do współpracy z komputerem podczas kalibracji czujników pomiarowych.

Zastosowane w czujnikach pomiarowych opory pneumatyczne nie są elementami wyliczalnymi ani powtarzalnymi i dlatego muszą być kalibrowane. Zestaw sześciu czujników, pokrywający cały zakres pomiarowy jest przypisany do konkretnego układu elektronicznego, gdyż tym sposobem można przeprowadzić kalibrację czujników wraz z całym torem pomiarowym, dzięki czemu uwzględniany jest offset czujników ciśnienia, wzmacniaczy operacyjnych i wzmocnienie torów pomiarowych. Kalibracja odbywa się w ten sposób, że każdy czujnik wykonuje dziesięć pomiarów, podczas których dla zadanej wartości strumienia objętości miernik mierzy i przesyła do komputera wartości spadku ciśnienia na oporze pneumatycznym, ciśnienia i temperatury przepływającego gazu. Wartości strumienia objętości są wpisywane bezpośrednio do komputera. Na podstawie tych danych komputer oblicza współczynniki wielomianu aproksymującego charakterystykę czujnika pomiarowego. Następnie współczynniki te są przesyłane do miernika i wpisywane do pamięci danych mikrokontrolera.

Układ elektroniczny został umieszczony w obudowie o wymiarach 125x75x45, która swobodnie mieści się w dłoni.

Bibliografia

1. Kabza Z.: Pomiary strumieni płynów (przewodnik) Politechnika Opolska, Opole 1996.
2. Kabza Z., Kostyrko K.: Metrologia przepływów, gęstości i lepkości. Wyższa Szkoła Inżynierska w Opolu. Opole 1995.
3. Mrugalski Z. i inni: Konstrukcja przyrządów i urządzeń precyzyjnych. WNT, Warszawa 1996.
4. Polska Norma PN-EN 1359:2002(U): Gazomierze miechowe.
5. Polska Norma PN-83/M-54831: Gazomierze. Podział, oznaczenie, nazwy i określenia.
6. www.ti.com — MSP430

Czujnik widełkowy, to optyczna bariera jednokierunkowa w kompaktowej obudowie.

Zalety:

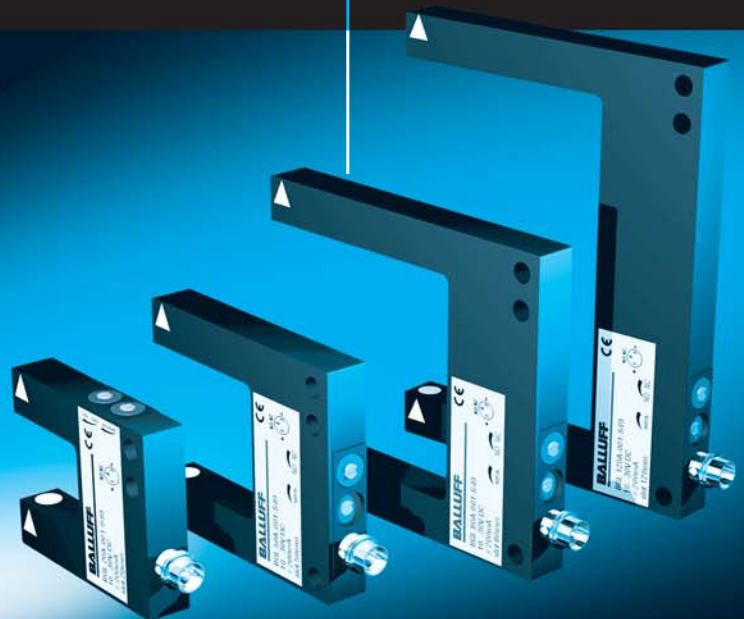
- prosty montaż i regulacja
- zintegrowana elektronika
- precyzyjny punkt przełączania
- regulowana czułość
- wytrzymała obudowa metalowa i odporna na zadrapania optyka
- czerwone światło nadajnika

Zastosowanie:

- detekcja elementów
- kontrola gabarytów
- pozycjonowanie
- detekcja etykiet
- zliczanie części na liniach montażowych
- kontrola złamania wiertła
- sprawdzanie detali
- kontrola przepływu banderoli

Optyczna bariera widełkowa

Lepiej widoczna



BALLUFF Sp. z o.o.

ul. Wł. Smoleńskiego 4/7
01-698 WARSZAWA
Telefon (022) 833 15 64
Telefax (022) 833 09 69

ul. Grabiszyńska 151
53-439 Wrocław
Telefon (071) 338 49 29
Telefax (071) 338 49 30

<http://www.balluff.pl>
e-mail: balluff@balluff.pl