

Zenon SYROKA

UNIWERSYTET WARMIŃSKO – MAZURSKI, WYDZIAŁ NAUK TECHNICZNYCH,
KATEDRA ELEKTROTECHNIKI I ENERGETYKI
ul. Oczapowskiego 11, 10-719 Olsztyn

ARTYKUŁ TECHNICZNY**Układ punktowego pomiaru temperatury urządzeń mechanicznych**

Dr inż. Zenon SYROKA

Jest adiunktem w Katedrze Elektrotechniki i Energetyki UWM w Olsztynie. Ukończył Wydział Elektroniki WAT w Warszawie i Wydział Matematyki i Informatyki UMK w Toruniu. Jego zainteresowania naukowe to: radiokomunikacja; systemy telekomunikacyjne; analiza, przetwarzanie sygnałów, obrazów i drgań; zastosowania matematyki i informatyki w naukach technicznych; sterowanie maszyn; układy elektroniczne analogowe i cyfrowe; programowane układy elektroniczne; programowanie C, PASCAL, MATLAB, VHDL.



e-mail: syroka@onet.eu

Streszczenie

Niniejsza praca jest oparta na zgłoszeniu patentowym [1] „Układ punktowego pomiaru temperatury urządzeń mechanicznych”. Wybrano optymalny wariant (ze względu na cenę) wykonania układu elektronicznego. Przedstawiony został szkic programu sterującego pracą mikrokontrolera. Jego działanie pokazano za pomocą schematu blokowego. Zamieszczono również opis działania układu elektronicznego wzbogacony o jego schemat ideowy. Opisano wszystkie połączenia i elementy występujące w układzie oraz wyjaśniono funkcje, które są na nich realizowane.

Słowa kluczowe: pomiar temperatury, termoelement, mikrokontroler.

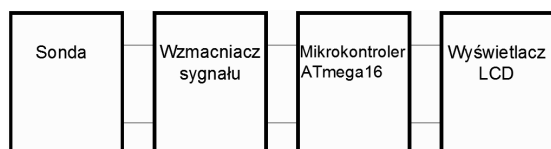
The system of spot temperature measurement of mechanical devices**Abstract**

This work is based on patent application „The system of spot temperature measurement of mechanical devices”. The optimal variation of making of electronic device was chosen (because of the price and impact to temperature of surroundings). The device scheme is presented in Fig. 1. The amplifier was made using integrated circuit AD549 by Analog Devices. One of the elements of probe is J-type thermoelement made by “Aterm” Krzysztof Mazur. Chapter two includes description of operation of electronic device also with schematic diagram Fig. 2. Every connections and elements in this device were described, and full-features which can be implemented in this device were described too. There was described sketch of program controlling work of the microcontroller Amiga 16. Program was written in C. It's operation was pictured with block diagram in Fig. 3.

Keywords: temperature measurement, thermocouple, microcontroller.

1. Wstęp

Przedmiotem pracy jest układ punktowego pomiaru temperatury urządzeń mechanicznych, który może być wykorzystywany do pomiaru temperatury powierzchni podzespołów i elementów maszyn. Schemat blokowy urządzenia przedstawiono na rys. 1. Na podstawie odpowiednio przeprowadzonych pomiarów można też tworzyć mapy temperatur badanej powierzchni, dzięki czemu możemy poznać obszary najbardziej emitujące promieniowanie ciepłe i tworzyć odpowiednie osłony termiczne bądź poznać miejsca, które są bardziej narażone na zużycie w skutek zbyt wysokiej temperatury.



Rys. 1. Schemat blokowy obejmujący główne elementy urządzenia
Fig. 1. Block scheme including main parts of the device

W miejscu styku zakończenia sondy i powierzchni badanej pod wpływem temperatury wytwarzana jest siła elektromotoryczna zależna od jej wartości. Układ AD594 zapewnia odpowiednią temperaturę odniesienia oraz takie wzmocnienie, aby na jego wyjściu zależność napięcia od temperatury była liniowa, równa 10mV/°C. Ponadto układ wyposażony jest w diodę sygnalizującą ewentualne uszkodzenie sondy. Sygnał z układu przekazywany jest na wejście przetwornika analogowo-cyfrowego mikrokontrolera ATmega 16. Układ umożliwia także zamianę wyświetlania wyniku w °C na wynik w K, °F lub w skali Rankine'a. Realizacja tego następuje poprzez przełącznik podłączony do portu C ATmega 16. Mikrokontroler wzbogacony jest o zewnętrzny kwarc w celu zapewnienia większej dokładności oraz złącze programujące ISP tak, aby możliwości układu można było rozszerzać i modyfikować, a także kalibrować pracę sondy. Wynik pomiaru prezentowany jest na wyświetlaczu LCD 16x2 w postaci aktualnej wartości temperatury i wartości maksymalnej uzyskanej od momentu włączenia układu bądź naciśnięcia przycisku „RESET”. Cały układ zasilany jest z baterii 9V, a odpowiednie napięcia zasilania poszczególnych elementów uzyskiwane są dzięki zastosowaniu dwóch stabilizatorów napięcia Panasonic AN7808 oraz AN7805.

2. Układ elektroniczny urządzenia do pomiaru temperatury

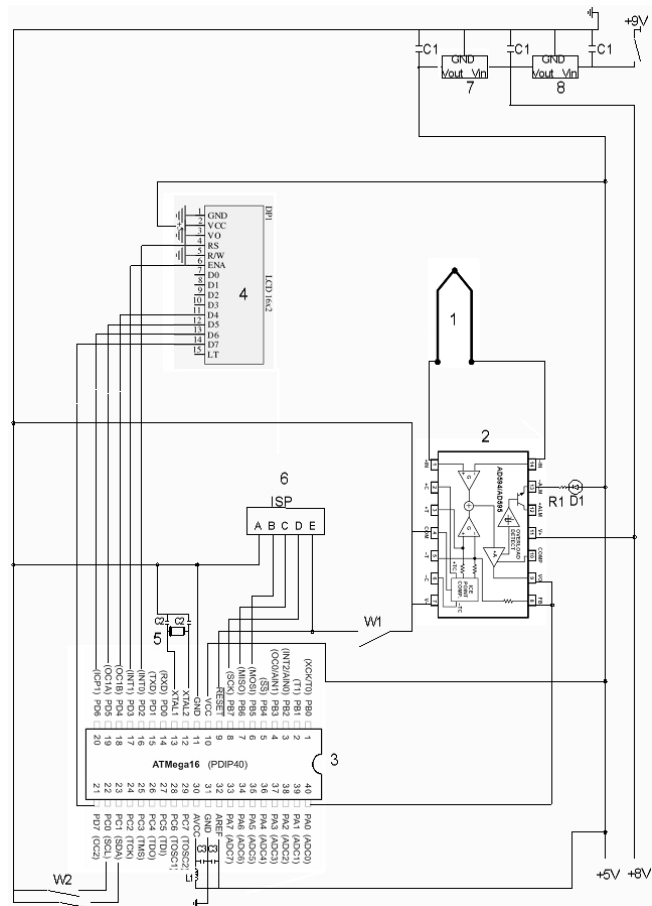
Schemat układu elektronicznego urządzenia punktowego pomiaru temperatury przedstawiony jest na rys. 2. Składa się on z sondy (1), przetwornika analogowo-cyfrowego oraz wyświetlacza (4). Użyty w układzie elementem jest termoelement typu J wykonany przez firmę „Aterm Krzysztof Mazur”. Wyjścia sondy połączone są z wejściami –IN oraz +IN układu wzmacniającego. Zastosowano układ wzmacniacza AD594 firmy Analog Devices (2). Wyjście V0 połączone z FB układu wzmacniającego stanowi wejście do przetwornika A/C wbudowanego w mikrokontroler (3) poprzez port PA0. Drugie wyjście –ALM układu wzmacniającego poprzez rezystor R1 oraz diodę D1 podłączone jest do źródła napięcia +5V, a wejście V+ podłączone jest do źródła napięcia +8V. Wejścia COM i V- połączone są z masą, natomiast wyjścia portu D mikrokontrolera od PD2 do PD7 podłączone są do odpowiednich wejść wyświetlacza. Wejście XTAL1 oraz wyjście XTAL2 mikrokontrolera poprzez dwa kondensatory C2 połączone są z kwarcem i masą układu natomiast wejścia MOSI, MISO i SCK mikrokontrolera połączone są odpowiednio z wyjściami B, C, D złącza programującego, a wyjście E złącza połączone jest z wejściem RESET, a wejście A połączone jest z masą, przy czym wejście mikrokontrolera AVCC, AREF i VCC połączone są ze źródłem napięcia +5V a oba wejścia GND i wejście RESET poprzez włącznik W1, a wejścia portu C PC0 i PC1 mikrokontrolera poprzez włącznik W2 połączone są z masą układu. Wyjścia PD4, PD5, PD6 i PD7 mikrokontrolera podłączone są odpowiednio do wejść D4, D5, D6 i D7 wyświetlacza a wejście ENA wyświetlacza połączone jest z wyjściem PD3, a wejście RS z wyjściem PD2.

Główną zaletą układu jest prostota wykonania i możliwość wymiany każdego uszkodzonego elementu w łatwy sposób. Dokładność pomiaru urządzenia jest przy sporządzaniu mapy temperatur w zupełności wystarczająca. Urządzenie może być także wykorzystywane do pomiaru temperatury takich elementów jak klocki hamulcowe czy układ wydechowy, gdyż ma dużą rozpiętość temperatur od 0 do kilkuset stopni Celsjusza, a mała powierzchnia styku pozwala na pomiar w miejscu, które jest dla nas aktualnie interesujące. Układ został zrealizowany w oparciu o 10-cio bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy umożliwiający rejestrację temperatury w czasie rzeczywistym oraz jej maksymalnej wartości (wejście PA0).

Wejście złącza programującego (6), którego wyjście A połączone jest z masą, wyjścia B, C, D odpowiednio z wejściami MOSI, MISO i SCK mikrokontrolera (3) umożliwia oprogramowanie go i ewentualną zmianę trybu pracy, a także kalibrację układu. Wyjście E podłączone jest do wejścia RESET.

Kwarc (5), którego złącza połączone są z wejściami XTAL1 i wyjściami XTAL2 mikrokontrolera (3) oraz poprzez dwa kondensatory C2 z masą układu zapewnia taktowanie 16MHz i jest znacznie dokładniejszy od kwarcu wbudowanego w mikrokontroler. Dzięki jego zastosowaniu uzyskujemy większą dokładność pomiaru.

W przypadku, gdy włącznik ma oba styki rozłączone, na PCO i PCI jest odpowiednio 5V i 5V, co odpowiada za wyświetlenie wyniku w stopniach Fahrenheita. Podanie napięcia 0V i 0V poprzez zwarcie obu styków powoduje wyświetlenie wyniku w stopniach Celsjusza. Podanie napięcia 0V i 5V powoduje wyświetlenie wyniku w Kelvinach. Podanie napięcia 5V i 0V powoduje wyświetlenie wyniku w skali Rankine'a. Rozwiązanie takie zapewnia większą uniwersalność układu.



Rys. 2. Schemat układu punktowego pomiaru temperatury
Fig. 2. Block scheme of spot temperature measurement device

3. Opis programu sterującego

Program sterujący pracą mikrokontrolera napisany został w języku C. Główne funkcje wykonywane przez program w poszczególnych krokach przedstawia schemat blokowy zawarty na rysunku 3.

W punkcie (1) kodu źródłowego dołączone zostały biblioteki „avr/io.h” – zawierający funkcje specyficzne dla architektury AVR, takie jak np. nazwy rejestrów, „util/delay.h” – zawierający funkcje ogólne, ale niewystępujące w klasycznej bibliotece standardowej języka C, „string.h” – zawierający większość funkcji działających na napisach, „stdio.h” – służąca do wykonywania

operacji wejścia-wyjścia na strumieniach oraz „stdlib.h” – biblioteka zapewniająca podstawową funkcjonalność językowi C.

W punkcie (2) zdefiniowany został port D mikrokontrolera, jako miejsce podłączenia wyświetlacza oraz napięcia odniesienia dla przetwornika analogowo-cyfrowego na 5V.

W punkcie (3) wypisane zostały wszystkie zmienne globalne różnych typów użyte później do obliczania temperatury w stopniach Celsjusza, przeliczania tego wyniku na stopnie Fahrenheita, Rankine'a lub Kelwina oraz zmienna tekstowa umożliwiająca wykonywanie operacji na tekście, takie jak np. jego wyświetlenie na wyświetlaczu.

W punkcie (4) wypisane zostały wszystkie instrukcje procedury związane z zapisem bajtu do wyświetlacza bez rozróżniania instrukcja/dana. Procedura ta umożliwia przesłanie do wyświetlacza pojedynczego bajtu, czyli np. podświetlenie konkretnego piksela.

W punkcie (5) zapisana została procedura, poprzez którą następuje zapis instrukcji do wyświetlacza „write-command”. Pozwala ona w połączeniu z odpowiednią liczbą zapisaną w kodzie binarnym lub szesnastkowym na przesłanie instrukcji, które są następnie wykonywane przez wyświetlacz. I tak np. w kodzie programu zostały użyte instrukcje określające tryb pracy, jako czterobitowy, informujące, że są dwie linie tekstu, a każdy znak można zapisać w prostokącie o wymiarach pięć na siedem pikseli. Inną instrukcją użytą w dalszej części programu jest ta ustawiająca kursor w drugiej linii i pierwszej kolumnie. Linia ta wykorzystana została do zapisania maksymalnej temperatury występującej podczas pomiaru

Punkty (6) i (7) to odpowiednio procedury zapisu danej i tekstu do wyświetlacza. Przy ich użyciu możliwe jest zapisanie liczby lub tekstu. Procedura ta zawiera instrukcje odpowiedzialne za zapisanie znaku i przejście do następnej kolumny, tak, aby powstał napis w formie przez nas oczekiwanej. W kodzie programu zostały one użyte do wyświetlenia napisów, oznaczeń skali, w której aktualnie prezentowany jest wynik oraz do wyświetlenia znaku stopnia.

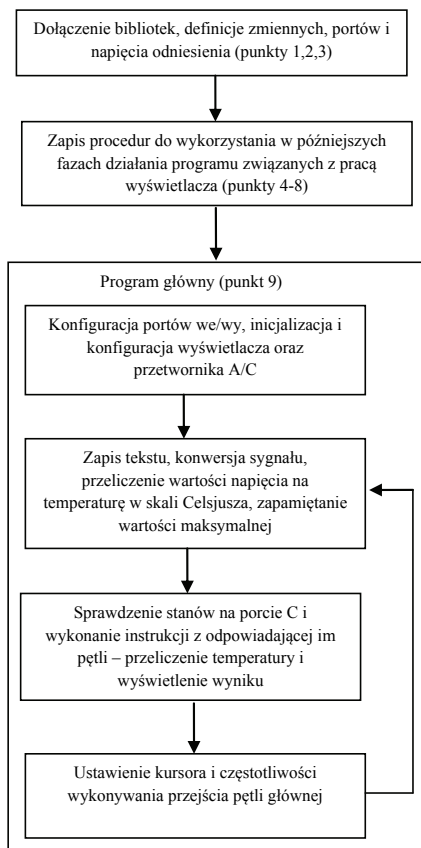
Punkt (8) to procedura inicjalizacji wyświetlacza używana później w programie głównym. Zawiera ona kolejne instrukcje, powtórzenia oraz wymagane do poprawnej pracy opóźnienia, czyli przerwy przed wykonaniem kolejnej instrukcji, tak, aby poprzednia została wykonana do końca

W punkcie (9) rozpoczyna się program główny. Składa się on z ośmiu podpunktów, które zostaną szczegółowo opisane w dalszej części tekstu. Program główny jest typu „int”, co oznacza, że zwraca wartość typu całkowitego (w naszym przypadku jest to 0) i przyjmuje argument typu „void”, czyli niezdefiniowanego.

Następuje konfiguracja portów wejścia i wyjścia oraz inicjalizacja i konfiguracja wyświetlacza oraz przetwornika analogowo-cyfrowego. Najpierw ustawiany jest interfejs, jako czterobitowy oraz typ wyświetlacza, jako dwu liniowy. Potem ustawiany jest typ znaku, jako pięć na siedem pikseli. Następnie wyłączany jest cały wyświetlacz, kursor i miganie, następuje jego czyszczenie.

Pierwszą instrukcją wykonywaną w pętli jest „write_text”. Zapisuje ona do wyświetlacza tekst zapisany dalej w nawiasie i cudzysłowie. W naszym przypadku jest to tekst „T.akt=” poprzedzony spacją, aby napis na wyświetlaczu był wyśrodkowany. Jest to początek pierwszej linii znaków, w której wyświetlany będzie wynik aktualnego pomiaru temperatury.

Następnym etapem działania programu jest nadanie wartości 00000000 zapisanej binarnie rejestrówi „ADMUX” mikrokontrolera. Rejestr ten odpowiedzialny jest za multiplexer przetwornika analogowo-cyfrowego. Bity 7-6 to bity wyboru napięcia referencyjnego. Ustawienie na nich stanu 11 powoduje przyjęcie wewnętrznej napięcia odniesienia wynoszącego 2,56V. Stan 00 wyłącza to napięcie i powoduje przyjęcie jego wartości z wyrowadzenia „AREF”. W naszym przypadku potrzebne jest napięcie 5V, tak, aby można było uzyskać zakres porównywania od 0 do 5V przy przyroście napięcia 10mV/°C. Daje to nam zakres pomiarowy 0-500°C. Przyjmujemy, więc wartości bitów 7-6 jako 00.



Rys. 3. Schemat blokowy działania programu sterującego
Fig. 3. Block diagram of operation of controlling program

W dalszej konfiguracji ww. rejestru przypisujemy odpowiednią wartość do bitu piątego. Odpowiedzialny jest on za odpowiednie prezentowanie wyniku konwersji. Zapis tego bitu, jako logicznego zera powoduje ustawienie korygowania do prawej. W przypadku zapisu, jako logicznej jedynki korygowanie do lewej. W naszym przypadku bit ten ustawiamy, jako 0 aby korygowanie odbywało się do prawej. Dzięki temu wynik konwersji zapisany jest z maksymalną dokładnością oraz żaden rejestr nie jest modyfikowany ani żaden wynik nie jest tracony.

Następny bit, czyli 4 nie jest za nic odpowiedzialny, więc jego wartość nie ma znaczenia. Bity 3-0 to numer wyprowadzenia portu A zapisany binarnie. Wartość ta wybiera, które z analogowych wejść podłączone jest aktualnie do przetwornika. Zapis 0000 powoduje, że kanał „ADC0” jest aktywny. W układzie sygnał z wyjścia układu wzmacniającego doprowadzony jest właśnie do tego wejścia przetwornika.

Kolejnym etapem działania programu jest oczekiwanie na zakończenie konwersji. Mikrokontroler w momencie doprowadzenia konwersji do końca zmienia wartość bitu „ADIF” w rejestrze „ADCSRA” z jedynki na zero. Realizacja oczekiwania na zakończenie konwersji odbywa się poprzez zastosowanie pętli „while” z warunkiem jej zakończenia po zmianie wartości ww. bitu na zero. Dopóki wartość ta nie jest zmieniona program czeka i nie przechodzi dalej.

Następnym krokiem jest zapisanie wartości odczytanej z przetwornika analogowo-cyfrowego, domyślnie przyjmowanej przez program za zmienną typu „integer”, czyli przechowującą liczby całkowite, w postaci zmiennej typu „float” o nazwie „adc_result”. Dzięki takiemu przypisaniu możliwe jest wykonywanie działań na wartości zmiennej z maksymalną dokładnością.

Dalej program oblicza wartość temperatury na wyjściu układu wzmacniającego na podstawie napięcia przetworzonego przez mikrokontroler i zapisanego w zmiennej „adc_result”.

Następnym krokiem jest użycie instrukcji warunkowej „if” w celu aktualizacji wartości maksymalnej temperatury pomiaru.

W przypadku, gdy wartość zapisana pod zmienną „pomiar” jest większa niż ta zapisana pod zmienną „max”, wartość zmiennej „max” jest aktualizowana. Na początku wartość ta została ustawiona na zero, stąd już pierwszy pomiar powoduje przypisanie nowej liczby i wyświetlenie na wyświetlaczu aktualnej wartości maksymalnej temperatury.

Dalej następuje sprawdzenie warunku dla wartości 00 na PC0 i PC1. Jeżeli oba styki włącznika są zwarte warunek ten jest spełniony. W związku z tym następuje utworzenie pięcioelementowej tablicy zmiennych typu „char” o nazwie „wynik”. Następnie wartość liczbowa ze zmiennej „pomiar” zapisywana jest w tablicy w postaci tekstu w formacie trzy znaki, przecinek, jeden znak i wyświetlana na wyświetlaczu. W wyniku wykonania kolejnych instrukcji pojawia się na nim znak stopni oraz dopisany zostaje symbol skali temperatury, w której aktualnie prezentowany jest wynik. W tym przypadku jest to litera „C” symbolizująca skalę Celsjusza.

W kolejnym etapie kursor ustawiany jest już w drugiej linii i pierwszej kolumnie, tak, aby można było wyświetlić maksymalną temperaturę pomiaru. W pierwszej kolejności następuje zapisanie tekstu „T.max=” oraz podobnie jak wcześniej tworzona jest tablica zmiennych typu „char”, z tym, że o nazwie „wynik_max”. W formacie jak wyżej liczba spod zmiennej „max” przekształcana jest w tekst i wysyłana do wyświetlacza. Następnie dopisywany jest znak stopni oraz literka oznaczająca skalę. W taki sposób mamy wynik aktualnego pomiaru zapisany w pierwszej linii oraz wartość maksymalnej temperatury występującej jak dotąd zapisaną w drugiej linii.

4. Wnioski

Układ punktowego pomiaru temperatury urządzeń mechanicznych jest urządzeniem zbudowanym w oparciu o wszechobecne w dzisiejszej elektronice mikrokontrolery. Ich funkcjonalność, dostępność oraz cena decyduje o ich popularności

Zastosowanie mikrokontrolera ATmega 16 pozwoliło ponadto zwiększyć funkcjonalność działania układu. Możliwe jest dokonywanie kalibracji działania sondy pomiarowej, przeliczanie wyniku pomiaru ze skali Celsjusza na skalę Fahrenheita, Rankine’a czy Kelwina’a a dołączone do układu złącze programujące pozwala na rozszerzenie jego funkcji o np. możliwość współpracy z komputerem bądź urządzeniem rejestrującym.

5. Literatura

- [1] Syroka Z., Lipiński S., Toczyłowski Z.: Zgłoszenie patentowe P.391131 z dnia 04.05.2010. Układ punktowego pomiaru temperatury urządzeń mechanicznych”.
- [2] Atmel Corporation: 8-bit Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash ATmega16, 2009.
- [3] Doliński J.: Mikrokontrolery AVR w praktyce, WKiŁ Warszawa 2005.
- [4] Hadam P.: Projektowanie systemów mikroprocesorowych, BTC Legionowo 2004.
- [5] Nawrocki W.: Komputerowe systemy pomiarowe, WKiŁ Warszawa 2006.
- [6] Pełka R.: Mikrokontrolery architektura programowanie zastosowania, WKŁ Warszawa 2000.
- [7] Rząsa M., Kiczma B.: Elektryczne i elektroniczne czujniki temperatury, WKŁ Warszawa 2005.
- [8] Tumański S.: Technika pomiarowa, WNT Warszawa 2007.
- [9] Witkowski A.: Mikrokontrolery AVR programowanie w języku C przykłady zastosowań, PAN Oddział w Katowicach, Komisja Elektroniki 2006.