

# Obiektowa stacja systemu akwizycji danych, część 1

## AVT-828

PROJEKT  
Z OKŁADKI

*Pomiary wielkości analogowych w sposób cyfrowy cieszą się sporym zainteresowaniem naszych Czytelników. Prezentowane w artykule urządzenie jest podstawowym modulem profesjonalnego systemu akwizycji danych, który po obudowaniu dodatkowymi modułami można wykorzystać w dowolnych systemach kontroli i nadzoru różnych procesów.*

*W tej części artykułu prezentujemy konstrukcję obiektowej stacji akwizycyjnej, która stanowi „mózg” kompletnego systemu pomiarowego.*



### Wprowadzenie

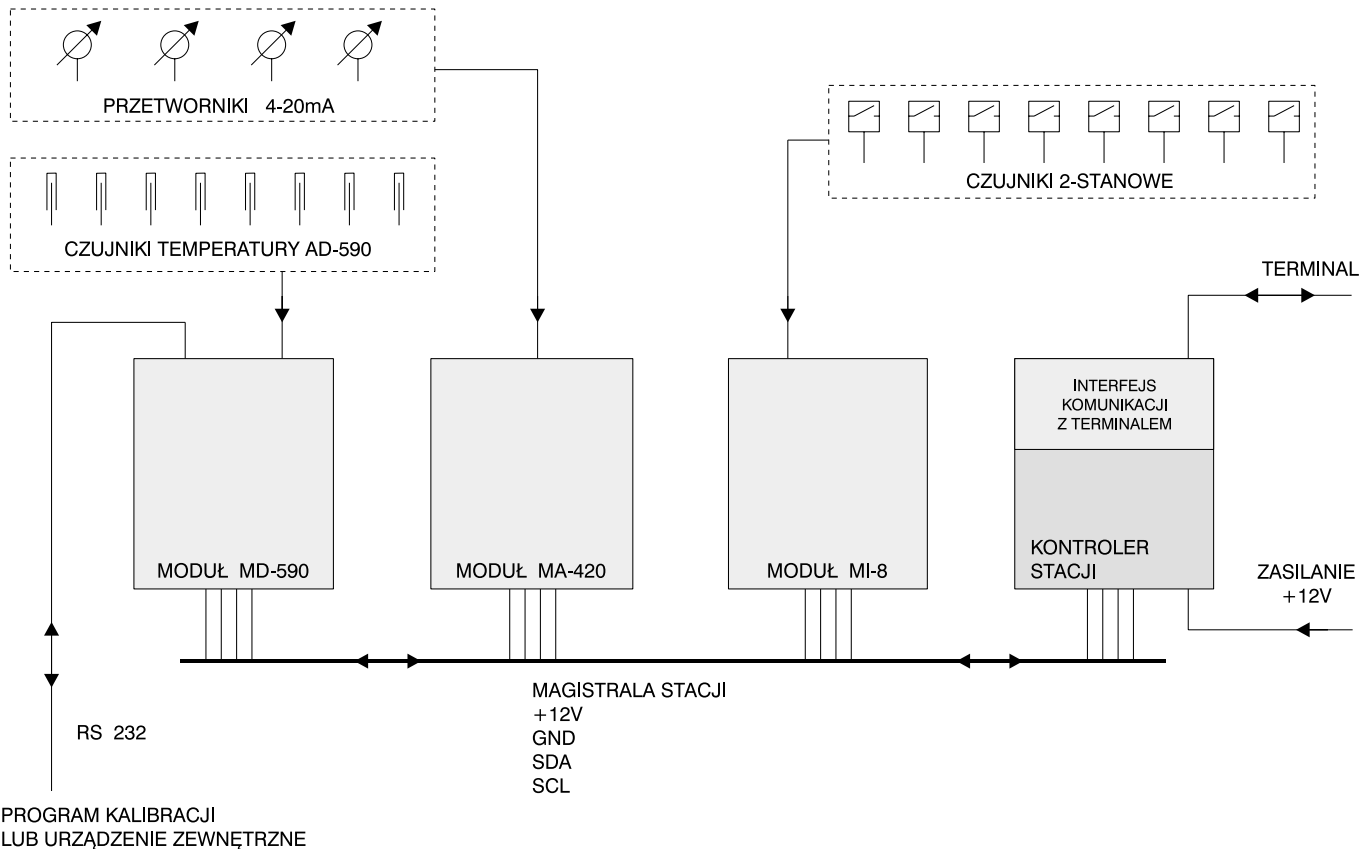
Na początek kilka słów o typowych systemach pomiarowych i sterowania, stosowanych w różnych dziedzinach. Od dłuższego czasu prym bierze koncepcja nadzorującego terminala operatorskiego (najczęściej komputer klasy PC), połączony siecią ze stacjami obiektowymi. Stacja obiektowa to praktycznie też komputer, ale inaczej zbudowany:

- przystosowany do pracy w ciężkich warunkach,
- o budowie modułowej (np. eurokarty w kasecie),
- z oprogramowaniem przeznaczonym do wykonywania zadań związanych z pomiarami i bezpośrednim sterowaniem.

Na ogół stacje obiektowe są przewidziane do pracy samodzielnej - nawet przy wyłączonym terminalu głównym. Natomiast terminal zbiera z nich sukcesywnie dane, przekazuje polecenia opera-

tora (np. nowe nastawy regulacji) i zajmuje się mniej lub bardziej rozbudowaną obróbką danych: typowym standardem jest wizualizacja, prezentacja trendów (czyli wykresów czasowych), generowanie alarmów, archiwizacja oraz przygotowywanie raportów.

W zależności od potrzeb oraz stopnia skomplikowania systemu sieci mogą być wielopoziomowe, korzystać z różnych nośników, zaś stacje obiektowe są wyposażane w jeden lub więcej procesorów o różnej mocy i odpowiednią liczbę specjalizowanych kart (pomiarowe z przetwornikami A/C, cyfrowe - dwustanowe, wyjściowe - przekaznikowe, wyjściowe z przetwornikami C/A itd.), wpiętych w szybką, równoległą magistralę. Układy mogą się różnić szybkością działania, a także niezawodnością - w przypadkach szczególnie odpowiedzialnych stosuje się systemy zwielokrotnione.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu akwizycji danych.

W EP nieraz przedstawiano profesjonalne rozwiązania przemysłowe układów (np. cykl artykułów o produktach firmy Allen-Bradley), które potrafią sprostać naprawdę trudnym i odpowiedzialnym zadaniom.

Jednakże istnieje duży obszar zastosowań o znacznie mniejszych wymaganiach. Może na przykład chodzić o zgrupowanie i ujednoczenie odczytów gotowych urządzeń pomiarowych (jak liczniki energii w różnej postaci). Wartości wielu wielkości fizycznych często nie muszą być mierzone superdokładnie i bardzo szybko, gdyż np. bardziej istotna jest znajomość przebiegu ich zmian w dłuższych okresach. Często stacje potrzebne są raczej do celów ogólnej kontroli pracy obiektu niż do bardzo precyzyjnego wyznaczania jego stanu w każdej chwili.

Nie ma wtedy uzasadnienia ekonomicznego dla projektowania i montażu pełnego, rozbudowanego i w związku z tym drogiego systemu - chociaż dla obsługi i nadzoru obiektu takie oprzyrządowanie i ewentualnie elementy sterowania stanowią zawsze ogromne ułatwienie pracy. W takich przypadkach okazuje się, że możemy zaprojek-

tować własny, uproszczony system pomiarowy, który przy niewspółmiernie niskich nakładach będzie radził sobie z postawionymi ograniczonymi zadaniami nie gorzej niż rozbudowane, uniwersalne systemy przemysłowe czołowych firm.

Przedstawię opis takiego systemu zmontowanego i oprogramowanego dla potrzeb zaplecza technologicznego produkcyjnego zakładu przemysłowego. System jest przeznaczony głównie dla urządzeń ciepłowniczych, ze szczególnym uwzględnieniem pomiaru zużycia energii (para i gorąca woda), ale obejmuje też kontrolę sieci przeciwpożarowej, sprężonego powietrza, wodociągowej. Ta aplikacja realizuje tylko akwizycję danych, ale modułowa budowa pozwala na łatwe dodanie funkcji sterowania. Może się wydawać, że przy obecnej ofercie rynkowej jest to wyważanie otwartych drzwi, lecz kompletne wykonanie własnego systemu wraz z oprogramowaniem posiada szereg istotnych zalet:

- całkowita swoboda konfiguracji bez oglądania się na dostępne opcje;
- niezależność sprzętowa: łatwość serwisu i napraw oraz ewentualnych modernizacji (w czym ma

znaczny udział stosowanie szeroko dostępnych w kraju elementów);

- jeszcze ważniejsza jest niezależność programowa - nie ma w systemie „czarnych skrzynek“, do których nie mamy wglądu (producenci na ogół nie udostępniają informacji ułatwiających życie konkurencji);
- swoboda w dołączaniu istniejących urządzeń różnych firm i o różnych standardach komunikacji;
- niewymierna ale istotna satysfakcja ze swobody projektowania oraz tworzenia urządzeń od A do Z - w tym przypadku od np. czujnika temperatury wstawionego w rurociąg do wykresu na monitorze w dziale nadzoru.

Założenia były właśnie takie jak wspomniane wyżej: niezbyt wygórowane wymogi co do szybkości i dokładności pomiarów, minimalizacja kosztów, jako terminal operatorski - wspólny biurowy komputer ogólnego stosowania. Natomiast należało uwzględnić pracę bez przerw, ciągłą rejestrację i archiwizację danych, sporządzanie bilansów zużycia energii oraz udostępnienie przeglądania trendów nie tylko na poziomie terminala,

ale również na poziomie obiektowym (to wielkie ułatwienie dla pracowników obsługi bezpośredniej). Wynikła z nich następująca konfiguracja:

- obiektowa stacja akwizycji danych o budowie modułowej opartej o magistralę I<sup>2</sup>C,
- lokalne panele odczytowe z wyświetlaczami graficznymi LCD 240x64,
- koncentrator/bufor danych gromadzący wyniki pomiarów w czasie rzeczywistym,
- oprogramowanie terminala - uruchamiane w dowolnym momencie - odczytujące dane zgromadzone w buforze i poddające je dalszej obróbce (Windows) oraz wizualizacji.

W niniejszym artykule zajmę się konstrukcją oraz oprogramowaniem modułowego zespołu akwizycji danych.

### Schemat blokowy i założenia konstrukcji stacji obiektowej

Stacja składa się z:

- kontrolera z procesorem 80C652, który ze stroną obiektową porozumiewa się za pośrednictwem magistrali I<sup>2</sup>C, natomiast do komunikacji „ze światem“ wykorzystuje swój interfejs UART (w opisywanej aplikacji jest wykorzystywany tylko nadajnik),
- modułów pomiaru temperatury i komunikacji z urządzeniami zewnętrznymi (MD-590),
- modułów współpracujących z typowymi przemysłowymi przetwornikami dwuprzewodowymi 4..20mA (MA-420),
- modułów wejść dwustanowych typu pętla prądowa (MI-8).

Przyjęte nazwy modułów ułatwiają ich identyfikację w opisach i dokumentacji, są też związane z ich funkcjami.

Możliwe jest oczywiście uproszczenie lub rozbudowywanie systemu albo wręcz doprojektowanie całkiem nowych modułów. Do potrzeb demonstracyjnych powstał zestaw modelowy z oddzielnymi zaprojektowanym i oprogramowanym kontrolerem, który obsługuje po jednym z wyżej wspomnianych modułów i współpracuje z uproszczonym programem wizualizacji dla Win 32. Schemat blokowy modelu jest przedstawiony na **rys. 1**.

Komunikacja wewnętrzna stacji bazuje na sprzętowym interfejsie I<sup>2</sup>C procesorów 80C652 i 80C552

(opisywanym wcześniej) oraz na odpowiednich elementach (PCF8574, PCF8591, 24C04). Algorytm komunikacji obejmuje:

- kolejne wywoływanie podłączonych modułów,
- wykrywanie ewentualnego błędu lub awarii modułu,
- odczytywanie danych z modułów,
- zwalnianie na pewien czas magistrali dla wewnętrznych potrzeb niektórych modułów (o szczegółach w opisach modułów).

Zastosowanie magistrali I<sup>2</sup>C radykalnie upraszcza konstrukcję oraz montaż stacji, natomiast szybkość w opisywanym zastosowaniu jest całkowicie wystarczająca.

Zebrane dane są cyklicznie formowane w ramkę i wysyłane do terminala operatora. Jak widać z powyższego, łatwo jest zarówno przeorganizować strukturę stacji (moduły, dodatkowe urządzenia zewnętrzne), jak i wprowadzić przesyłanie komend i danych do modułów wykonawczych (które, jak zaznaczyłem, w prototypowej aplikacji nie występują).

Sprzętowa realizacja modułów podlegała tym samym oszczędnościowym zasadom, co cała koncepcja systemu:

- przewidziałem w miarę możliwości stosowanie dostępnych i rozpowszechnionych (a tym samym niedrogich) elementów,
- obudowy i galanteria połączeniowa jak najprostsze (np. montaż bezpośrednio do płyty szafy pomiarowej - bez stosowania uchwytów na eurolistwę, typowe gniazda i wtyczki DB itd.),
- montaż przewlekany na płytkach jednowarstwowych, wykonanych w małej serii technologią fotochemiczną (bez angażowania komercyjnych wykonawców zewnętrznych),
- zastąpienie w możliwie szerokim zakresie typowych przemysłowych przetworników pomiarowych własnymi rozwiązaniami. Dotyczyło to głównie pomiarów temperatury, gdzie zastosowałem czujniki wykonane w oparciu o AD590.

Najważniejsze jest tutaj - w porównaniu z klasycznym Pt100 - radykalne uproszczenie okablowania obiektowego, które można było zrealizować z użyciem nieekranowanego, wieloparowego kabla telefonicznego. Prostsze są również wzmacniacze wejściowe, koszt czujnika też jest mniejszy (w wy-

konaniach przemysłowych o cenie decyduje często masywna, odporna obudowa - tutaj akurat zbędna).

Taka technologia chociaż nie „rzuca na kolana“, jednak przy starannym wykonaniu cechuje się niezawodnością nie gorszą niż wielkoseryjne wyroby przemysłowe. Umożliwia też szybkie i niekłopotliwe dokonywanie ewentualnych napraw.

### Moduł MD-590

Opis rozpocznę od najbardziej złożonego modułu pomiaru temperatury i komunikacji z dodatkowymi urządzeniami zewnętrznymi. Zwróćmy uwagę, że różne szczegóły konstrukcji (sposób użycia przetwornika AD590, cyfrowa kalibracja torów analogowych, oprogramowanie mikrokontrolera, współpraca z magistralą I<sup>2</sup>C) mogą być z powodzeniem wykorzystane w całym innych, własnych rozwiązaniach.

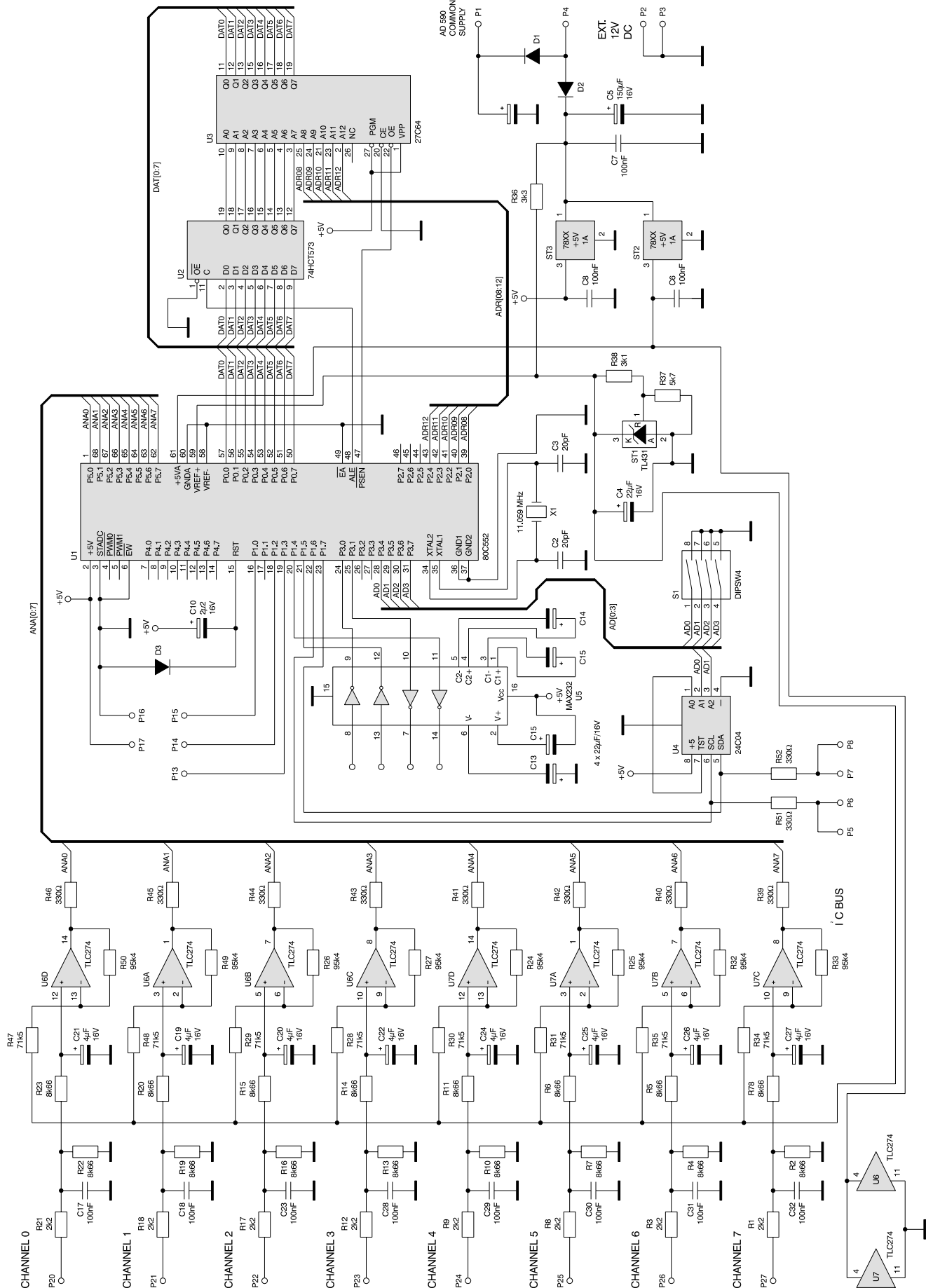
Na schemacie modułu (**rys. 2**) możemy wyróżnić - chociaż nie jest to wyraźnie zaznaczone - część analogową i część cyfrową.

#### Część cyfrowa modułu

Do sterowania funkcjami modułu użyłem mikrokontrolera 80C552, który przy umiarkowanej cenie posiada wbudowane wszystkie wymagane dla zakładanego zastosowania układy peryferyjne:

- 8-kanałowy 10-bitowy przetwornik A/C realizujący pomiary temperatury,
- port szeregowy UART do komunikacji z dodatkowymi urządzeniami (przeważnie wyposażonymi w interfejs RS232C),
- port szeregowy I<sup>2</sup>C do połączenia z magistralą stacji obiektowej,
- wewnętrzny licznik - watchdog do kontroli poprawności pracy programu,
- wewnętrzną pamięć danych zwiększoną do 256B,
- obudowa PLCC68 pozwala na montaż mikrokontrolera w podstawce (ma to przy małej serii urządzeń istotne znaczenie w prowadzeniu serwisu). Dzięki temu można było maksymalnie uprościć konstrukcję części cyfrowej modułu oraz zmontować go na płytce jednowarstwowej.

Mikrokontroler U1 pracuje w układzie z zewnętrzną pamięcią programu U3 (27C64) o pojemności 8kB. Bufor U2 strobowany sygnałem ALE ustawia młodszy bajt adresu - jak w każdym typowym



Rys. 2. Schemat elektryczny urządzenia.

rozwiązaniu dla serii MCS. Ponieważ niezbędne w naszym zastosowaniu dane mieszczą się w pamięci wewnętrznej - zewnętrzna pamięć danych nie została użyta. Kwart - 11,059MHz - jest dobrany pod kątem optymalizacji transmisji szeregowej RS232 dla różnych prędkości (gdyż moduł ma współpracować z różnymi urządzeniami o rozmaicie zorganizowanej komunikacji). Wyprowadzenia kontrolne i funkcyjne mikroprocesora są wykorzystane następująco:

- EA - poziom niski decyduje o korzystaniu z zewnętrznej pamięci programu,
- EW - poziom niski powoduje włączenie wewnętrznego układu watchdoga, zwróćmy uwagę, że przy takim połączeniu każdy uruchamiany program musi zawierać sekwencję resetu watchdoga, gdyż inaczej nie będzie działać,
- STADC - poziom niski - wyzwala konwersję A/C tylko na drodze programowej,
- P1.0, P1.2, P1.3 - uniwersalne linie WE/WY,
- P3.0 - odbiornik UART,
- P3.1 - nadajnik UART,
- P1.4 - linia DTR portu szeregowego RS232,
- P1.5 - linia DSR portu szeregowego RS232,
- P1.6 - linia SCL portu szeregowego I<sup>2</sup>C,
- P1.7 - linia SDA portu szeregowego I<sup>2</sup>C,
- P3.4 - P3.7 - wejścia przełącznika adresowego S1.

Port RS232 (RxD, TxD, DTR, DSR) jest zrealizowany za pomocą klasycznej kostki MAX 232 (U5) z zewnętrznymi pojemnościami pompy ładunkowej C13 - C16.

Zerowanie po włączeniu zasilania realizuje pojemność C10 (zwróćmy uwagę na brak rezystora ładującego - jest on wbudowany w strukturę mikrokontrolera). Dioda D3 dzięki szybkiemu rozładowaniu tej pojemności poprawia skuteczność działania resetu przy krótkotrwałych spadkach lub zanikach napięcia zasilającego.

Magistrala I<sup>2</sup>C (linie SDA i SCL) jest wyprowadzona na zewnątrz przez tłumiące zakłócenia w.cz. rezystory R51 i R52 (do wspólnej magistrali stacji obiektowej). Służy też do obsługi wewnętrznej pamięci EEPROM modułu. W tej roli (U4) występuje kostka 24C04 - z wykorzystaną tylko jedną stroną (może być więc także 24C02).

Należy pamiętać, zwłaszcza w trakcie uruchamiania i kalibracji modułu, że podciągnięcie (pull-up) linii SDA i SCL jest wbudowane w kontrolerze stacji - do samodzielnej pracy modułu należy je oddzielnie dołączyć. Port P4 oraz wyjścia PWM nie są w naszej aplikacji wykorzystywane - pozostają nie podłączone.

Do ośmiu linii wejściowych portu P5 są doprowadzone sygnały pomiaru temperatury z torów analogowych. Są one wewnętrznie multipleksowane pod kontrolą programową i kolejno przetwarzane do postaci cyfrowej. Przetwornik ma rozdzielczość 10-bitową czyli generuje liczby w zakresie 0..1023.

Wartość jednego bitu jest określona jako:

$$Vb = (Vref+ - Vref-) / 1024$$

natomiast wynik przetworzenia możemy zapisać jako:

$$W = Vb * (Vin - Vref-).$$

$Vref+$  i  $Vref-$  to napięcia dostarczone do odpowiednich pinów mikrokontrolera.

W ten sposób możemy sprzętowo ustalić napięciowy zakres przetwarzania oraz wprowadzić stały offset. Oczywiście jest to dopuszczalne jedynie w granicach wartości dozwolonych przez konstrukcję mikrokontrolera. Nie zawsze więc - i tak jest w naszym przypadku - da się ten sposób wykorzystać. Nasz offset znacznie przekracza wymagany zakres pomiaru i realizujemy go na drodze analogowej podczas wstępnej obróbki sygnału.  $Vref-$  jest więc u nas dołączone do masy (analogowej). Natomiast  $Vref+$ , decydujące o zakresie, jest pobierane ze stabilizatora ST1. Dobór wartości  $Vref+$  będzie omówiony dalej - teraz zaznaczmy jedynie drugą ważną cechę takiego sposobu jej ustalenia: zapewnienie odpowiedniej stabilności termicznej (stacja może pracować w pomieszczeniach technologicznych o znacznie podwyższonej temperaturze).

Jako ST1 jest zastosowane regulowane źródło napięcia odniesienia o dobrych parametrach przy umiarkowanej cenie - TL431. Elementy analogowe konwertera A/C mikrokontrolera są przewidziane - ze względu na minimalizację zakłóceń z części cyfrowej - do oddzielnego zasilania (+5V i masa). Zespoły cyfrowe modułu są zasilane ze stabilizatora ST3 (jest to zarazem główne zasilanie mikrokontrolera). Do zasilania układów

analogowych przewidziałem oddzielny stabilizator ST2, co zapewni niezbędną separację (zwróćmy też uwagę na rozdzielone doprowadzenie mas na płytce drukowanej). Natomiast cały moduł jest zasilany zewnętrznym napięciem stabilizowanym +12V, dostarczanym przez zabezpieczającą przed odwróceniem polaryzacji diodę D2 (Schottky'ego) i dodatkowo wygładzonym pojemnością C5. Dioda D1 z kondensatorem C1 służy natomiast do zasilania przetworników AD590.

### *Część analogowa modułu*

Głównym zadaniem części analogowej jest przetworzenie sygnału prądowego z czujników temperatury na odpowiedni wejściowy sygnał napięciowy dla już opisanego - wbudowanego w mikrokontroler - konwertera A/C. Na wstępie kilka podstawowych informacji dotyczących przetwornika temperatura/prąd. Jest to dwukońcówkowy układ firmy Analog Devices typu AD590. Przetwarza on temperaturę w skali bezwzględnej na prąd ze współczynnikiem 1µA/K i jest fabrycznie kalibrowany na 0,2982mA dla +25°C.

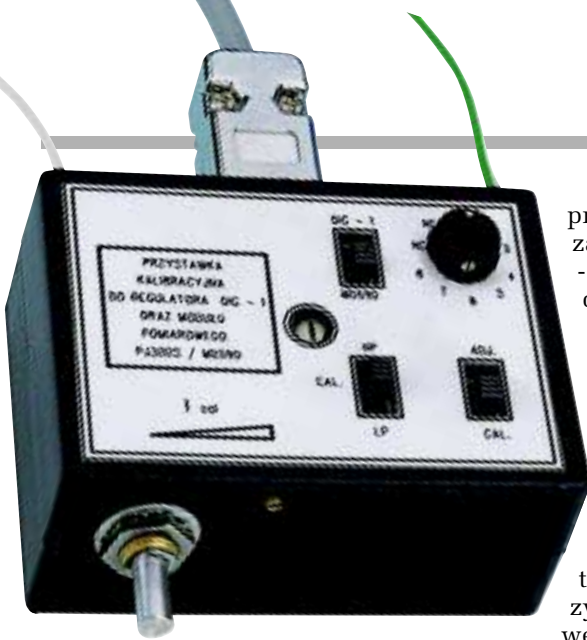
Tak jest oczywiście w teorii - w praktyce przetworniki posiadają błąd kalibracji zależny od odmiany: od ±5°C dla AD590JH do ±0,5°C dla AD590MH. Ze względu na cenę zastosowałem odmianę JH (ok. sześciokrotnie tańszy niż MH!), co wymaga dodatkowej korekty, która zostanie dokładniej opisana dalej.

Przetwornik jest zmontowany w metalowej obudowie TO-52 i obsługuje zakres od -55°C do +150°C. Umożliwia to jego łatwe wbudowanie w tulejowy czujnik przystosowany do instalacji w rurociągach gorącej wody.

Dodatkowymi użytkowymi zaletami są:

- duży zakres napięcia zasilania (od 4 do 30V),
- duża odporność na napięcie zwrotne (do -20V),
- duża rezystancja dynamiczna, która uniezależnia pracę przetwornika od wahań napięcia zasilania oraz od rezystancji linii połączeniowej (jest to szczególnie ważne w naszym przypadku - o czym już wcześniej wspominałem).

Układ konwersji: prąd wejściowy/napięcie jest uproszczony do maksimum.



Rozpatrzmy go na przykładzie kanału nr 0 (jest 8 identycznych kanałów numerowanych od 0 do 7). Prąd z czujnika temperatury - wpływający przez wstępny filtr R21 i C17 - jest przetworzony na spadek napięcia na rezystorze pomiarowym R22.

Sygnal napięciowy jest ponownie filtrowany i uśredniany przez integrator R23/C21 (dobrany pod kątem eliminacji zakłóceń 50Hz - duża stała czasowa nie jest w naszym zastosowaniu przeszkodą, gdyż rzeczywista szybkość zmian mierzonej temperatury jest niewielka). Wynikowe napięcie jest podawane na nieodwracające wejście wzmacniacza U6D. Rezystory R47 i R50 decydują o wzmacnieniu, a zarazem - dzięki zasilaniu R47 napięciem ze stabilizatora ST1 - jest zrealizowane przesunięcie poziomu sygnału (kompensujące różnicę skali Celsjusza i skali bezwzględnej temperatury). Rezystor R46 pomiędzy wyjściem wzmacniacza a przetwornikiem A/C poprawia stabilność pracy (tłumi wzbudzenia w.c.).

Jako wzmacniacze zastosowałem 2 poczwórne kostki stabilnego termicznie i czasowo TLC274, pracujące z pojedynczym napięciem zasilania i charakteryzujące się znikomym prądem wejściowym. Wysoka impedancja wejściowa jest w tym rozwiązaniu konieczna dla zachowania poprawności pomiaru - nie można zastępczo stosować układów o wejściach z tranzystorami bipolarnymi jak np. popularny LM324.

Nieco bardziej skomplikowana jest sprawa doboru elementów, której należy poświęcić więcej uwagi. Na wstępie niewielka dygresja dotycząca zasad budowania takich analogowych członów pomiarowych. Możemy mianowicie

przyjąć różne sposoby rozwiązania:

- Przeprowadzić dokładne obliczenia i zastosować elementy o odpowiedniej precyzji, zapewniającej właściwe parametry bez żadnych korekt - ma to same zalety oprócz ceny takich elementów.

- Zastosować elementy dobrane z grubnie i wyposażyć układ w potrzebne regulacje (np. precyzyjne potencjometry montażowe). Ta metoda jest bardzo często stosowana w konstrukcjach amatorskich (i nie tylko). Jej istotnym mankamentem jest jednak mała stabilność czasowa i mechaniczna oraz kłopotliwy proces regulacji (nie wspominając o rozbudowie układu, jego rozmiarach i cenie).

- W układach analogowo - cyfrowych możemy część analogową zbudować niezbyt precyzyjnie (koncentrując się nie na dokładnych wartościach, ale raczej na dopasowaniu zakresów oraz stabilności termicznej i czasowej). Natomiast wszelkie potrzebne korekty realizujemy na drodze obliczeniowej już po konwersji A/C. Taki właśnie sposób został zastosowany w naszym module.

Zacznijmy od określenia zakresów i rozdzielczości. Ze względu na potrzeby technologiczne wodnych urządzeń ciepłowniczych przyjąłem zakres pomiarowy od 0°C do 150°C. Nie mieści się tu pomiar temperatury zewnętrznej oraz pary wodnej - ale do tych celów przewidziałem inne przetworniki. Rozdzielczość ustaliłem na 0,2°C (czyli LSB=0,2°C), więc zakres roboczy odpowiada 150°C/0,2°C=750. Ten zakres roboczy lokujemy mniej więcej w środku pełnego cyfrowego zakresu przetwornika A/C (0 - 1023 LSB), wstępnie dla temperatury 0°C wynik konwersji A/C założymy 150 LSB, zaś dla 150°C: 150 LSB + 750 LSB (zakres roboczy) = 900 LSB.

Zapewnia to poprawne wyliczenia, nawet przy przekroczeniu zakresu roboczego przez rzeczywisty pomiar.

Rozdzielczość jest całkowicie wystarczająca dla naszych celów (w praktyce zastosowałem w ostatecznej wizualizacji zaokrąglenie do pełnych stopni: jak pokazało doświadczenie, jest to dużo wygodniejsze dla operatora przy szyb-

kiej ocenie prawidłowości pracy kontrolowanych urządzeń).

Całkowite wzmacnienie toru pomiarowego wynosi więc:  $K=5\text{bit}/^\circ\text{C}$  (powinno być w zasadzie bit/deg, ale pozostanę przy °C, aby nie komplikować zapisów).

Jednocześnie wzmacnienie to jest iloczynem wzmacnień kolejnych członów toru:  $K=K_c * K_r * K_{wop} * K_{conv}$ , gdzie:

$K_c$  - „wzmacnienie“ czujnika temperatury =  $1\mu\text{A}/^\circ\text{C}$ ,

$K_r$  - „wzmacnienie“ rezystora pomiarowego [ $\text{mV}/\mu\text{A}$ ] (jest ono równe jego rezystancji podanej w kiloomach),

$K_{wop}$  - „wzmacnienie“ wzmacniacza operacyjnego [ $\text{mV}/\text{mV}$ ],

$K_{conv}$  - „wzmacnienie“ przetwornika A/C [bit/mV], zwróćmy uwagę, że  $K_{conv} = 1/V_b$ .

Należy więc dobrać i zgrać te wzmacnienia, aby uzyskać założony wynik.

Ze względu na poprawność pracy zastosowanego wzmacniacza operacyjnego wstępnie przyjąłem roboczy zakres napięciowy na wejściu przetwornika A/C jako 3,000V: 0°C to 500mV, a 150°C to 3500mV. Gwarantuje to liniowość wzmacnienia (TLC274 może mieć napięcie na wyjściu od zera - z błędem ok. 50mV - do ok.  $V_{cc}-1,2\text{V}$ ).

Wynika z tego  $V_b=4\text{mV}/\text{bit}$  i wstępna wartość napięcia odniesienia przetwornika:  $V_{ref}+1024*4=4096\text{mV}$ , natomiast  $K_{conv}=0,25 \text{ bit}/\text{mV}$ .

Od strony czujnika mamy do czynienia z sygnałem prądowym o zakresie roboczym  $150^\circ\text{C} * 1\mu\text{A}/^\circ\text{C}=0,1500\text{mA}$  mieszczącym się w granicach: 0°C to 0,2732 mA, a 150°C to 0,4232mA.

Prąd ten jest przetwarzany na sygnał napięciowy na rezystorze pomiarowym. Im większa wartość rezystora, tym większy jest współczynnik tej konwersji, co jest dla nas korzystne, bo pozwala zredukować wzmacnienie  $K_{wop}$  (wzmacniacz oprócz sygnału wzmacnia również własne napięcie niezrównoważenia). Jednak ograniczeniem jest maksymalne napięcie wejściowe, które przy zasilaniu +5V nie powinno przekroczyć 4V.

Przyjmując dla bezpieczeństwa ok. 3,8V znajdziemy maksymalną wartość rezystora pomiarowego:  $3,8\text{V}/0,423\text{mA}$ , czyli ok. 9kΩ.

Ponieważ do dyspozycji były rezystory metalizowane o wartości 8k66, takie właśnie przyjąłem. Mamy więc teraz w przybliżeniu:

$5 = 1 * 8,66 * Kwop * 0,25$ , czyli  $Kwop = 2,3$ .

Jednocześnie wiemy, że dla wzmacniacza w układzie nieodwracającym jest:  $Kwop = 1 + R50/R47$ . Znajdziemy stąd  $R50/R47 = 1,3$ . To jednak nie wszystko, bo wzmacniacz musi oprócz wzmocnienia zrealizować przesunięcie poziomu.

Wykonujemy to zasilając R47 odpowiednim napięciem odniesienia. Już bez szczegółowych wyprowadzeń (wynikających z podstawowej analizy pracy wzmacniacza) zapiszmy, że można je w przybliżeniu wyrazić jako:  $Uref = (2,3 * Uwe - Uwy) / 1,3$ .

Napięcia wejściowe to ok. 2,36V dla 0°C ( $0,2732mA * 8k66$ ) i 3,66V dla 150°C, natomiast odpowiednie wyjściowe to założone przez nas 0,5V i 3,5V. Po obliczeniu otrzymujemy ok.  $Uref = 3,8V$ .

Na koniec zauważmy, że napięcie  $Uref$  różni się niewiele od  $Vref+$ . Nasuwa się pytanie, czy nie można użyć jednego napięcia? I rzeczywiście - po sprawdzających wyliczeniach (których już nie przytaczam) okazuje się, że przy nieco skorygowanych:  $Kwop = 2,2$ ,  $Kconv = 0,26$ ,  $Uref = Vref+ = 3,91V$  dostajemy wystarczającą zgodność wynikowego wzmocnienia ( $K = 4,96bit/°C$  - odchyłka <1%). Tak oczywiście nie musi być zawsze - przy innych zakresach i rozdzielczościach na ogół trzeba stosować różne  $Uref$  i  $Vref+$ .

Pozostaje jeszcze dobór rzeczywistych elementów: podane na schemacie wartości zostały dopasowane z posiadanych zasobów. Wysoka impedancja wejściowa wzmacniacza pozwala na stosowanie dużych rezystancji. Dzielnik R37/R38 dla TL431 (ST1) został dobrany z uwzględnieniem:

- wartości napięcia referencyjnego = 2,5V (pin 1),
- minimalnego prądu stabilizacji = 1mA.

Oczywiście zastosowane przybliżenia, tolerancje elementów, na-

## WYKAZ ELEMENTÓW

### Półprzewodniki

U1:	80C552
U2:	74HCT573
U3:	27C64
U4:	24C04 lub 24C02
U5:	MAX232
U6, U7:	TLC27M4
ST1:	TL431
ST2:	78L05
ST3:	7805
D1, D2, D3:	1N4148 lub podobne
Kondensatory	
C1:	10<m>F/16V
C2, C3:	20pF
C4, C13, C14, C15, C16:	22<m>F/16V
C5:	150<m>F/16V
C10:	2,2<m>F/16V
C19, C20, C21, C22, C24, C25, C26, C27:	4,7<m>F/16V
C6, C7, C8, C9, C11, C12, C17, C18, C23, C28, C29, C30, C31, C32:	100nF
Rezystory	
(wszystkie 1/8W)	
R1, R3, R8, R9, R12, R17, R18, R21:	2,2k<W>
R2, R4, R7, R10, R13, R16, R19, R22, R23, R20, R15, R14, R11, R6, R5, R78:	8,66k<W>/1% metalizowane
R34, R35, R31, R30, R28, R29, R48, R47:	71,5k<W>/1% metalizowane
R33, R32, R25, R24, R27, R26, R49, R50:	95,4k<W>/1% metalizowane
R39, R40, R42, R41, R43, R44, R45, R46, R51, R52:	330<W>
R37:	5,7k<W>/2% metalizowany
R38:	3,1k<W>/2% metalizowany

pięcia niezrównoważenia wzmacniaczy powodują, że dokładność naszego toru analogowo - cyfrowego będzie przeważnie daleko odbiegać od wymogów pomiarowych. Jak wspomniałem wcześniej - korekta tych odchyłek jest prowadzona na drodze obliczeniowej.

**Jerzy Szczesiul, AVT**  
[jerzy.szczesiul@ep.com.pl](mailto:jerzy.szczesiul@ep.com.pl)