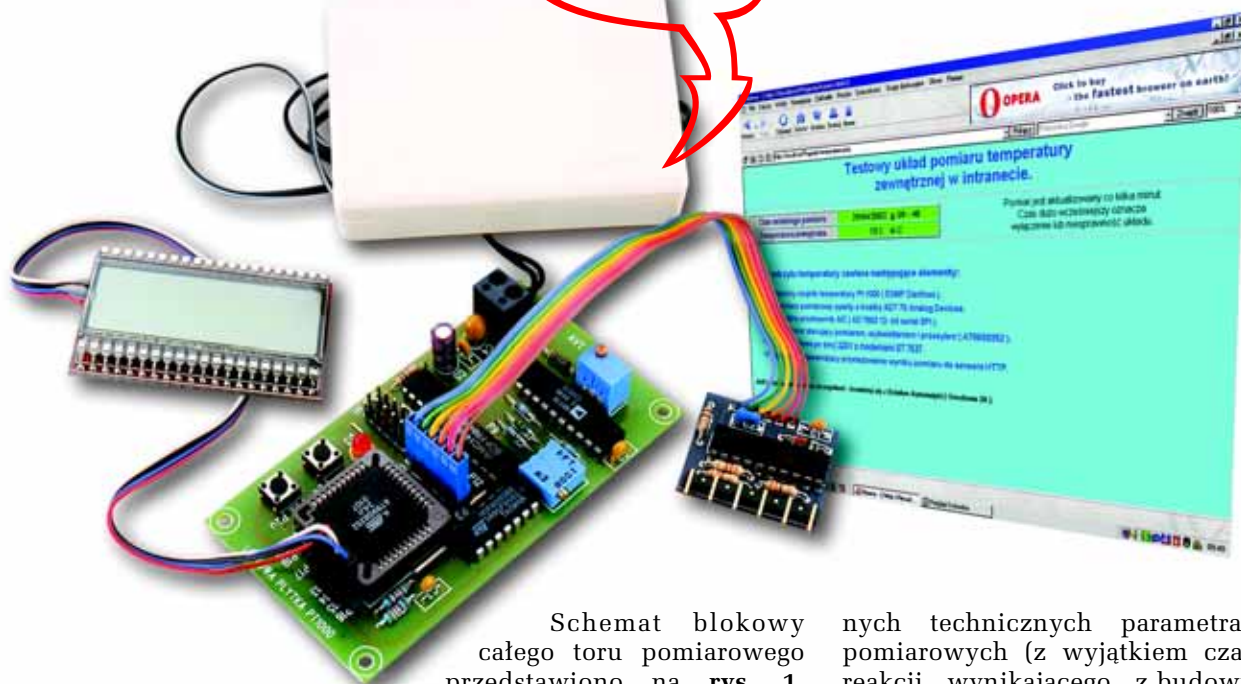


# Akwizycja danych przez Ethernet

## Zdalny moduł pomiarowy, część 1



**PROJEKT  
Z OKŁADKI**



*Jako przykład zastosowania opisywanego niedawno modemu ST7537 wykonano eksperymentalny tor pomiarowy. Wielkością mierzona jest temperatura zewnętrzna. Może być odczytywana na intranetowej (działającej w obrębie firmy) witrynie WWW, dzięki czemu jest na bieżąco dostępna w przeglądarce każdego komputera mającego dostęp do sieci Ethernet.*

**Rekomendacje:** prezentujemy urządzenie o ogromnych walorach poznawczych - autor zintegrował w nim bowiem zaawansowany system pomiaru temperatury i jednocześnie pokazał w jaki sposób wyniki pomiarów udostępnić za pomocą Ethernetu.

Schemat blokowy całego toru pomiarowego przedstawiono na **rys. 1**.

Jednym z elementów toru transmisji danych jest para modemów wykonanych na układach ST7537 (opis w EP11/2002), za pomocą których można przesyłać dane po przewodach domowej instalacji elektrycznej. Opis urządzenia rozpoczniemy od prezentacji jego poszczególnych bloków.

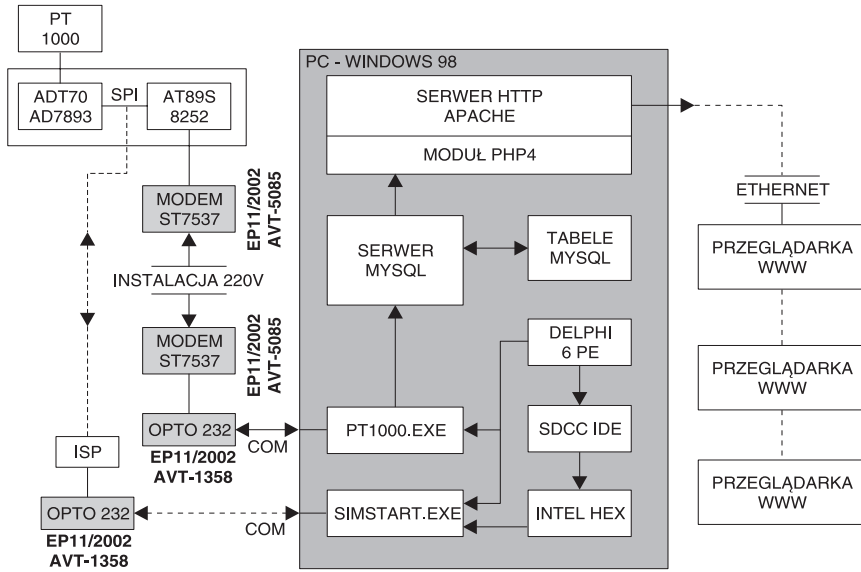
### Termometr Pt1000: czujnik platynowy i wzmacniacz pomiarowy

Czujniki platynowe - pomimo wielkiego postępu w konstrukcji sensorów półprzewodnikowych - są nadal stosowane w technicznych pomiarach temperatury. Składa się na to ich niezawodność, duża dokładność, szeroki zakres pomiarowy, a także powtarzalność parametrów uzyskiwana dzięki znormalizowanemu wykonaniu. Różnorodny asortyment obudów, wielkości, sposób montowania (**fot. 2**) - przy identycz-

nych technicznych parametrach pomiarowych (z wyjątkiem czasu reakcji wynikającego z budowy), pozwala na użycie takiego czujnika praktycznie w każdych warunkach. Czujnik stawia jednakże pewne wymagania:

- konieczna jest dobra kompensacja rezystancji (i jej zmian) linii podłączeniowej, wiąże się też z tym zalecenie stosowania okablowania o dużych przekrojach,
- potrzebny jest dokładny, stabilny i odpowiednio skalibrowany wzmacniacz wejściowy dla przetworzenia niewielkich zmian rezystancji (dla Pt100 3°C to w przybliżeniu 1 Ω) na sygnał napięciowy lub prądowy „rozumiały” dla urządzeń w dalszej części toru pomiarowego.

Czynniki te - w połączeniu ze sporą ceną i małą dostępnością w handlu detalicznym - wyjaśniają niewielką popularność czujników platynowych w konstrukcjach amatorskich. Tym razem jednak zastosowaliśmy do pomiaru temperatury typowe komponenty



Rys. 1. Schemat blokowy przykładowego toru pomiarowego z użyciem modemów ST7537 (na szaro zaznaczono bloki opisane już w EP)

przemysłowe. Jako sensor posłużył czujnik temperatury zewnętrznej Pt1000 firmy Danfoss (typ ESMP stosowany w pogodowych regulatorach obiegu centralnego ogrzewania w węzłach cieplnych). Współpracujący z czujnikiem przetwornik został zbudowany na bazie specjalizowanego układu ADT70 firmy Analog Devices. Schemat blokowy tego układu pokazano na rys. 3. Znajdziemy na nim wszystkie elementy stosowane zazwyczaj w układach z elementów dyskretnych:

- dwa zrównoważone źródła prądowe (o prądzie nominalnym ok. 1 mA) do zasilania rezystora wzorcowego oraz czujnika Pt,
- wzmacniacz pomiarowy o regulowanym wzmocnieniu i możliwości wprowadzenia stałego offsetu dla sygnału,
- źródło napięcia odniesienia 2,5 V.

Scalenie tych zespołów pozwala na dokonanie w procesie produkcyjnym dokładnej kalibracji toru pomiarowego oraz umożliwia prawidłową pracę w szerokim zakresie warunków zewnętrznych. Układ jest wyposażony w tryb obniżonego poboru mocy (*shutdown*) oraz wzmacniacz operacyjny ogólnego stosowania. Wszystko to pozwala na szybkie i niekłopotliwe zbudowanie precyzyjnego przetwornika dla sensora Pt, czyli eliminuje jedną z głównych przeszkód zastosowania tego czujnika w amatorskiej konstrukcji.

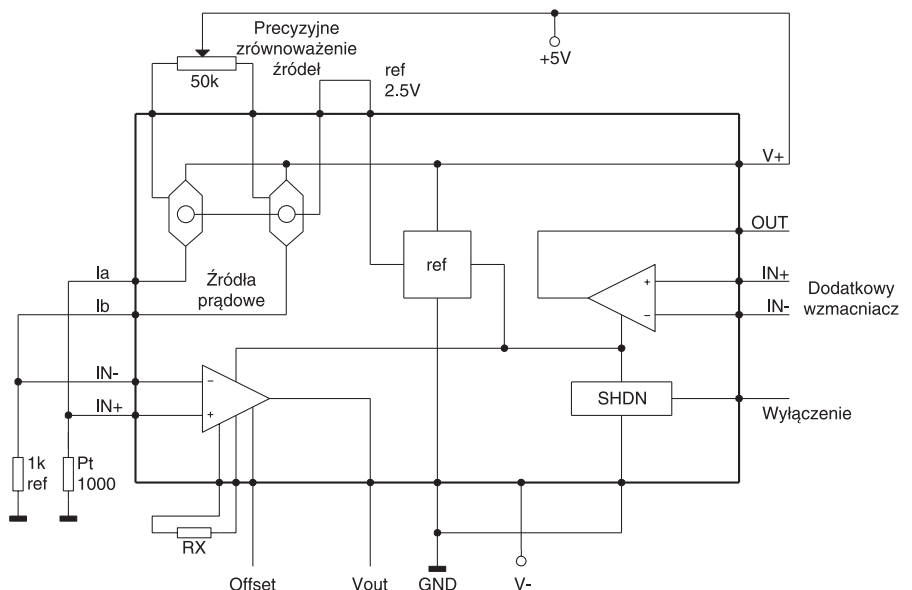
Zasada działania nie jest skomplikowana: źródła prądowe zasilają jednakowym prądem rezystor wzorcowy 1 kΩ oraz czujnik Pt1000. Rezystancja czujnika przy zmianach temperatury zmienia się zgodnie z jego charakterystyką. Ogólnie biorąc, nie jest ona idealnie liniowa w szerokim zakresie temperatury, co wymaga odpowiedniej układowej albo programowej kompensacji. Przy ograniczeniu zakresu do typowych wartości klimatycznych można jednak z powodzeniem przyjąć zależność liniową 3,85 Ω/°C. Napięcia z rezystora wzorcowego oraz czujnika są podane na wejścia wzmacniacza pomiarowego. Zastosowanie



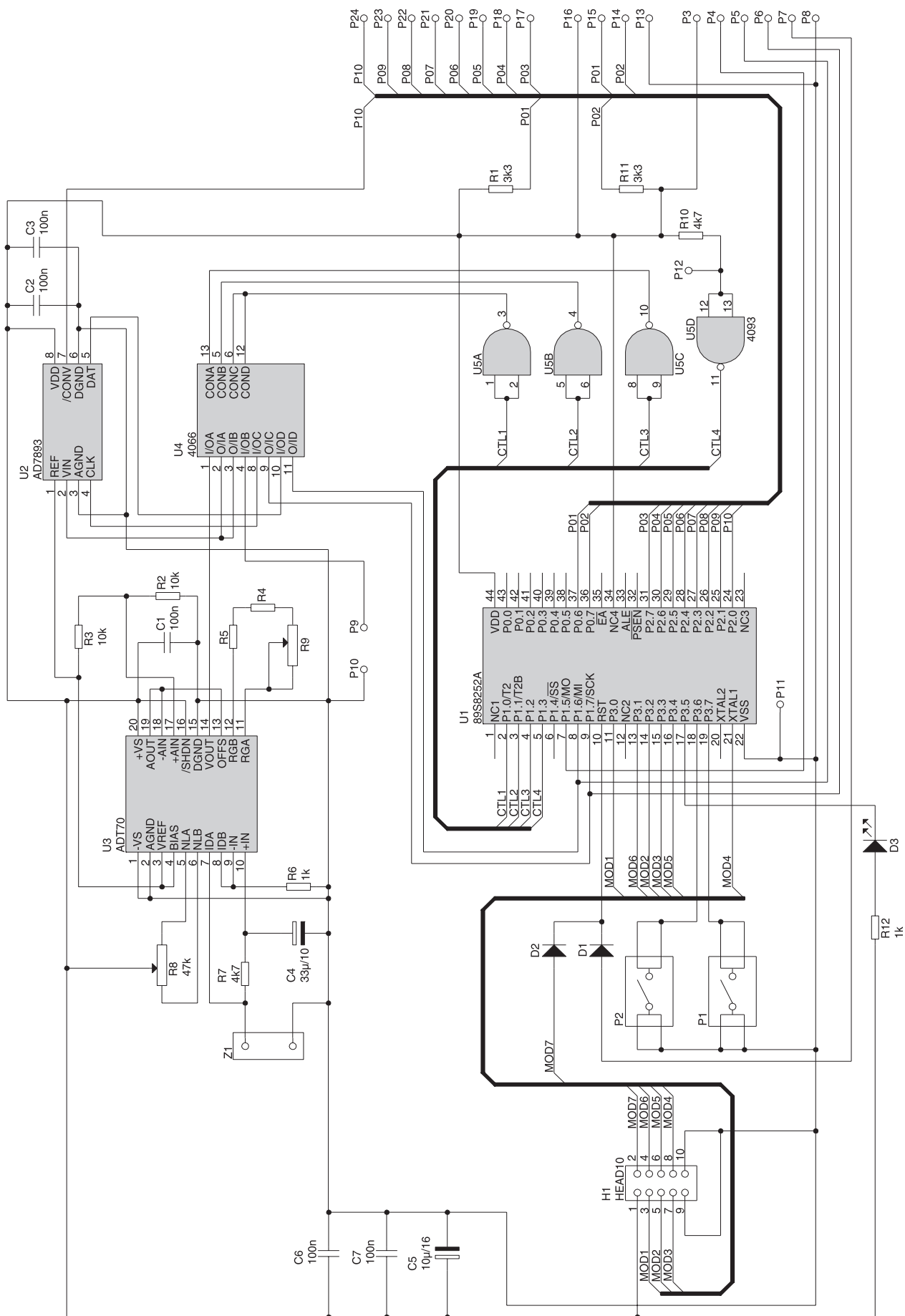
Fot. 2. Czujniki platynowe są oferowane w różnych obudowach

zewnętrzny rezystor odniesienia (zamiast wbudowania go w strukturę) umożliwia użycie różnych odmian czujnika: Pt100, Pt500 albo Pt1000.

Wzmocnienie napięcia różnicowego jest regulowane pojedynczym rezystorem RX - dzięki temu możemy dopasować zakres napięcia wyjściowego układu do rodzaju czujnika oraz do zakresu mierzonej temperatury. W zależności od potrzeb możemy też ustalić sposób pomiaru temperatury ujemnej. Zasilanie wejścia V- napięciem ujemnym pozwala na uzyskanie skali „naturalnej”: 0 V na wyjściu przy 0°C i ujemne napięcie wyjściowe przy temperaturach poniżej zera. Jeśli chcemy pozostać przy pojedynczym zasilaniu - przesuwamy poziom napięcia wyjściowego dla 0°C za pomocą wejścia *Offset*. Takie rozwiązanie zastosowano w modelu termometru, zarówno ze względu na uproszczenie zasilania, jak i na zastosowany przetwornik AC o zakresie wejściowym 0...2,5 V. Różne możliwości wykorzystania układu znajdziemy w notach katalogowych dostępnych na stronie producenta - <http://www.analog.com/>.



Rys. 3. Schemat blokowy układu ADT70



Rys. 4. Schemat elektryczny termometru z czujnikiem Pt1000

## Praktyczny układ termometru

Schemat elektryczny termometru pokazano na **rys. 4**. Jego układ był w znacznej mierze zależny od posiadanych „pod ręką” zapasów i jest oczywiście jednym z wielu możliwych:

- jako przetwornik AC posłużył układ AD7893-2 z pojedynczym zasilaniem, zakresem wejściowym 0...2,5 V, odczytem szeregowym kompatybilnym z SPI oraz wymaganym zewnętrznym napięciem odniesienia 2,5 V (co nie jest żadną komplikacją, bo właśnie takie napięcie referencyjne zapewnia ADT70).

- „silnikiem” termometru został mikrokontroler AT89S8252 ze względu na dobrą współpracę z płytką modemu, wbudowanym interfejsem SPI, a także możliwością programowania w układzie - co stworzyło okazję do wypróbowania modułu ISP dopisanego do środowiska SDCC (z wykorzystaniem opisanego już w EP optoizolowanego adaptera do portu szeregowego połączonego z niewielką przystawką).

Jak widać, wykorzystano wszystkie pomocnicze sygnały z płytki ST7537 (dołączonej za pośrednictwem 10-stykowego złącza H1), tzn. sygnał zegarowy 11,059 MHz, *power-on-reset* oraz watchdog. 6-stykowe złącze P3-P8 służy do podłączania programatora ISP (jego konstrukcja pozwala podczas uruchamiania na dołączenie na stałe bez zakłócania pracy układu). Zwróćmy uwagę na diody D1 i D2 - służą one do eliminacji konfliktu poziomów na wyjściu zerowania programatora oraz ST7537.

Punkty lutownicze P13...P16 służą do wyprowadzenia zrealizowanej programowo magistrali I<sup>2</sup>C. Za jej pomocą jest sterowany moduł typowego wyświetlacza LCD 3,5 cyfry (opisywany w EP4/99). Dodatkowy układ komutacyjny zbudowany z popularnych układów 4093 i 4066 (U4 i U5) pozwala na:

- pomiar dodatkowego sygnału napięciowego (podawanego na wejście P9),
- podłączenie dodatkowego zewnętrznego przycisku sterującego (wejście P12),
- odseparowanie ADC od magistrali SPI w czasie programowa-

nia (AD7893 nie posiada żadnego wejścia zezwalającego, więc konieczne było wykonanie dodatkowego układu).

Wbudowane w płytke przyciski P1 i P2 służą do programowej regulacji offsetu sygnałów wejściowych. Dodatkowe poprawki offsetu (zapamiętane w wewnętrznej pamięci EEPROM mikrokontrolera) upraszczają kalibrację obwodów wejściowych oraz umożliwiają łatwą kompensację rezystancji linii przyłączeniowej czujnika Pt.

Dioda świecąca D3 ma charakter jedynie kontrolny - wspomaga uruchamianie, a później sygnalizuje poprawną pracę układu.

## Dobór elementów i kalibracja toru pomiarowego

Część cyfrowa nie wymaga komentarzy - występują tu tylko rezystory podciągające niewymagające specjalnej precyzji w doborze. Więcej uwagi musimy natomiast poświęcić otoczeniu ADT70. Jako R6 należy zastosować dokładny rezystor o dobrej stabilności temperaturowej (w prototypie użyto 0,1%/25 ppm obecnie łatwo dostępny oraz w stosunkowo niskiej cenie) - od niego zależy dokładność prowadzonych pomiarów.

Zakres pomiarowy przyjmiemy jako -50...+50°C, co wystarczy nawet w przypadku ekstremalnych „wybryków” klimatu. Ten zakres temperatury ma odpowiadać zmianie napięcia wyjściowego od 0 do +2,5 V (zgodnie z napięciem wejściowym użytego przetwornika A/C). Jak wynika z powyższego, wzmocnienie układu powinno wynosić:

$$k = 2500 \text{ mV}/100^\circ\text{C} = 25 \text{ mV}/^\circ\text{C}$$

Z noty aplikacyjnej ADT70 wiemy, że dla Pt1000 wartość RX wynosi 49,9 kΩ przy wzmocnieniu 5 mV/°C oraz że wzmocnienie jest odwrotnie proporcjonalne do RX. Stąd znajdujemy potrzebną wartość jako:

$$RX = 49,9 \text{ k}\Omega * (5/25) = 9,98 \text{ k}\Omega$$

W prototypie przewidziano możliwość dokładnego ustawienia RX poprzez złożenie go z szeregowo połączonych R4 i R5 oraz precyzyjnego potencjometru montażowego. W ten sposób można wykorzystać posiadane w szufla-

dzie zapasy elementów. Przy większej serii układów warto zamówić docelową wartość (jest to obecnie możliwe w ilościach detalicznych). Jeszcze inna droga to użycie typowej wartości 10 kΩ i poprawkowe przeliczanie w programie mikrokontrolera.

Przesunięcie 0°C uzyskujemy poprzez podanie na wejście OF-FSET napięcia 1,25 V. Uzyskujemy je z  $V_{\text{ref}}$  za pomocą dzielnika R2, R3. Obciążenie dzielnika minimalizujemy, wykorzystując dodatkowo wbudowany wzmacniacz operacyjny jako wtórnik. Dokładna regulacja dzielnika nie jest wymagana - ustawienie napięcia offsetu jest realizowane na drodze programowej. Zarówno obwód RX, jak i dzielnik muszą być wykonane z rezystorów metalizowanych o dużej stabilności temperaturowej.

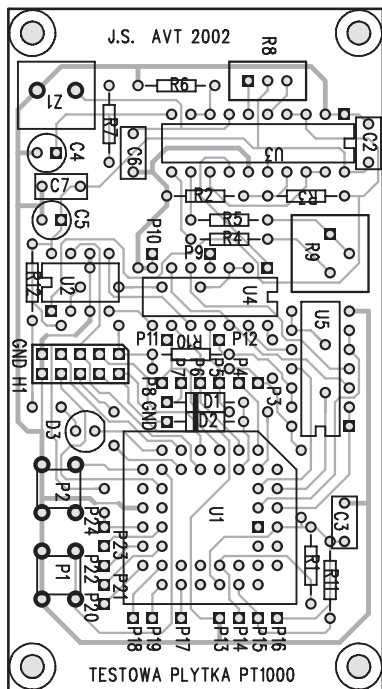
Bardzo ważna jest też rola filtra wejściowego R7, C4, C6. Długi przewód podłączeniowy czujnika działa jak antena zbierająca wszelkie zakłócenia i przydźwięki. Dołączenie go bezpośrednio do wejścia wzmacniacza pomiarowego wpłynęłoby znacząco na stabilność i dokładność pomiaru.

Potencjometr montażowy R8 służy do precyzyjnego zsynchronizowania źródła prądowych. Praktyka pokazała, że nie ma on zbyt wielkiego wpływu - w ostateczności można go pominąć.

Kalibracja sprowadza się do ustawienia potencjometrem R9 wyznaczonej wartości RX (pomiędzy wyprowadzeniami RGA i RGB układu ADT70) - co wykonujemy przy wyłączonym zasilaniu. Następnie zamiast czujnika dołączamy precyzyjny rezystor 1 kΩ i potencjometrem R8 wyrównujemy napięcia na wejściach -IN/+IN.

## Montaż i uruchomienie

Ponieważ układ miał w znacznej mierze charakter testowy, został zmontowany (kosztem zwiększonej liczby zworek) na taniej płytce jednowarstwowej. Jej schemat montażowy pokazano na **rys. 5**. Przy okazji informacja praktyczna dla Czytelników zajmujących się samodzielnie projektowaniem druku. Otóż oszczędność została w prototypie płytki zrealizowana w zbyt prosty sposób - usunąłem z projektu górną warstwę druku (składającą się tylko



Rys. 5. Rozmieszczenie elementów na płytce termometru

z prostych odcinków ścieżek), aby przy montażu zastąpić ją zworkami. Przy samodzielnym wytrawieniu i owierceniu płytki dało to spodziewany efekt.

Montaż jest typowy i nie wymaga specjalnego komentarza, należy jedynie uważać, aby nie zapomnieć o zworach pod układami scalonymi. Wszystkie złączki (2x5 do płyty modemu, 1x6 do programatora, 1x4 do modułu LCD) w prototypie wykonano z listew *goldpin*, ale można je oczyścić skompletować w dowolny sposób, korzystając z posiadanych zapasów.

Po zweryfikowaniu poprawności lutowania i sprawdzeniu, czy nie ma zwarc, łączymy płytkę z modułem modemu ST7537

(EP11/2002) 10-żyłową taśmą z zaciskanymi wtykami (ponieważ gniazda są zrobione ze zwykłych listew podwójnych i nie mają żadnych kluczy, zwróćmy uwagę na zgodność mas i zasilania). Po włączeniu zasilania modemu sprawdzamy najważniejsze napięcia (+5 V, +2,5 V referencja, +1,25 V offset) i jeśli wszystko działa prawidłowo, możemy przystąpić do zaprogramowania mikrokontrolera.

Program (dostępny również w postaci źródłowej w materiałach pomocniczych, które opublikujemy na CD-EP7/2003) jest napisany w C i skompilowany za pomocą bezpłatnego SDCC (opisywanego już na łamach EP). Nie jest specjalnie rozbudowany - jego funkcje są następujące:

- cykliczne odczytywanie wartości mierzonej poprzez SPI i ładowanie do bufora,
- uśrednianie wyniku z 4 ostatnich pomiarów,
- obsługa modułu wyświetlacza LCD 3,5 cyfry poprzez programowy interfejs I<sup>2</sup>C,
- wysyłanie wartości temperatury w odpowiedzi na komendę oddalonego terminala,
- obsługa przycisków korekty offsetu i zapis poprawek do wewnętrznej EEPROM,
- realizacja 0,5 s opóźnienia dostępu do SPI po zerowaniu (zalecenie Atmela dla uniknięcia blokady ISP).

Wszelkie szczegóły dotyczące konkretnych rozwiązań programowych zainteresowani znajdą w kodzie źródłowym. Program możemy wpisać do pamięci Flash za pomocą dowolnego programatora, korzystając z pliku wynikowego \*.ihx kompilatora SDCC. Jest to zwykły format *Intel Hex* tylko

**WYKAZ ELEMENTÓW**

**Rezystory**

- R1, R11: 3,3kΩ
- R2, R3: 10kΩ 1% metalizowane
- R4: dobierany 1% metalizowany - w prototypie 8,66kΩ
- R5: dobierany 1% metalizowany - w prototypie 1,30kΩ
- R6: precyzyjny 0,1% 25 ppm
- R7: 4,7kΩ 1% metalizowany
- R8: potencjometr montażowy wieloobrotowy 47kΩ
- R9: potencjometr montażowy wieloobrotowy 100Ω
- R10: 4,7kΩ
- R12: 1kΩ

**Kondensatory**

- C1...C3, C6, C7: monolityczne 100nF/50V
- C4: tantalowy 33μF/10V
- C5: elektrolityczny 10μF/16V

**Półprzewodniki**

- U1: AT89S8252 (zaprogramowany)
- U2: AD7893-2
- U3: ADT70
- U4: 4066
- U5: 4093
- D1, D2: 1N4148
- D3: LED

**Różne**

- Podstawka PLCC44
- Z1: zacisk śrubowy podwójny listwy goldpin podwójne i pojedyncze
- Taśma 10x i wtyki zaciskane
- Moduł wyświetlacza LCD 3 1/2 cyfry (EP4/99, AVT-809)

**Przystawka programująca**

**Rezystory**

- R1...R3: 330Ω
- R4: 10kΩ

**Kondensatory**

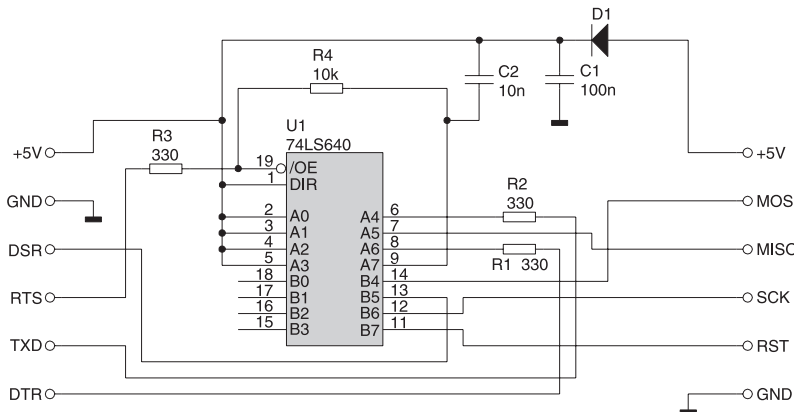
- C1: 100nF
- C2: 10nF

**Półprzewodniki**

- D1: uniwersalna dioda Schottky'ego np. BAT 85
- U1: 74HC640

**Różne**

- Listwa *goldpin* kątowna



Rys. 6. Schemat przystawki do programowania ISP

z innym rozszerzeniem (zwróćmy jednak uwagę, aby nasz programator umiał szeregować rekordy według rosnących adresów - plik \*.ihx nie zawsze jest uporządkowany). Jeśli natomiast decydujemy się na użycie opisywanego w EP wspomagającego środowiska dla SDCC, warto wyposażyć się

## ■ Akwizycja danych przez Ethernet - zdalny moduł pomiarowy



Rys. 7. Okno programatora ISP w środowisku SDCC

w dedykowany specjalnie dla niego programator.

Po wprowadzeniu programu i zerowaniu powinna powoli migotać dioda kontrolna D3. Wyświetlacz pozostaje wygaszony do chwili wypełnienia bufora uśredniania (4 pomiary). Gdy dołączymy do zacisków Z1 rezystor wzorcowy 1 k $\Omega$ , wyświetlacz powinien pokazać temperaturę około zera - sprowadzamy ją do wartości zerowej przyciskami korekty offsetu P1 i P2. Dla sprawdzenia zdalnego odczytu musimy mieć przygotowany zestaw modemów opisanych w EP11/2002. Płytki modemów łączymy przewodem i próbujemy połączyć się z termometrem za pomocą programu testowego. Jeśli wszystko działa, można zmontować układ w konfiguracji docelowej.

Pozostaje nam sprawdzenie, czy transmisja w sieci działa oraz korekta offsetu dla wyeliminowania wpływu rezystancji linii podłączeniowej czujnika Pt1000 (przy jej większej długości). Możliwe kłopoty z transmisją były opisane w artykule o modemie - w razie potrzeby należy tam sięgnąć po dodatkowe informacje.

### Programator ISP8252 dla IDE SDCC

Programator korzysta z portu szeregowego komputera z podłączonym adapterem optoizolacyjnym opisanym w miniprojektach w EP11/2002. Jedną z głównych

zalet tego rozwiązania jest całkowita separacja galwaniczna portu od uruchamianego układu. Po między optoizolatorem a mikrokontrolerem jest dołożona mała przystawka, której schemat pokazano na **rys. 6**. Uwaga! Opisy styków RS232 służą wyłącznie do ich identyfikacji - przystawki absolutnie **nie należy** dołączać bezpośrednio do portu COM komputera!

Za pomocą przystawki można:

- uzgadniać poziomy na liniach sterujących,
- wykonywać zalecaną przez producenta sekwencję przełączenia w tryb programowania (obwód opóźniający R4, C2 włącza zerowanie dopiero po ustabilizowaniu na SCK „silnej“ masy),
- ustawiać linie sterujące w stan wysokiej impedancji po zakończeniu programowania, co pozwala na normalną pracę uruchamianego układu bez odłączania programatora.

Przy użyciu tego interfejsu możemy ładować kod bezpośrednio ze środowiska SDCC (F12 albo automatycznie po poprawnej kompilacji). Programowanie obserwujemy w okienku wskaźnika postępu - **rys. 7**. Najnowsza wersja środowiska SDCC z obsługą opisywanego programatora jest dostępna pod adresem <http://www.easy-soft.tsnet.pl/>.

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

*Wzory płytek drukowanych w formacie PDF są dostępne w Internecie pod adresem: <http://www.ep.com.pl/?pdf/czerwiec03.htm> oraz na płycie CD-EP7/2003B w katalogu PCB.*