

Obiektowa stacja systemu akwizycji danych, część 2

AVT-828

Kończymy opis stacji akwizycji danych analogowych, która jest „sercem“ zaawansowanego systemu pomiarowego. W kolejnych numerach EP przedstawimy przystawki z nią współpracujące. Rozpoczynamy od matematyki, czyli zabiegów niezbędnych podczas kalibrowania toru pomiarowego.

Kalibracja modułu

Idealna charakterystyka toru pomiarowego to odcinek prostej $y_0 = A_0 \cdot x + B_0$ (0 - obliczeniowy), łączący punkty ($0^\circ\text{C} - 150$) i ($150^\circ\text{C} - 900$), natomiast charakterystyka rzeczywista jest również liniowa (co wynika z zastosowanych rozwiązań układowych) i jest odcinkiem prostej o nieco innym nachyleniu i przesunięciu (wielkość tej różnicy zależy od tego, jak udało się nam dobrać elementy): $y_r = A_r \cdot x + B_r$ (r - rzeczywisty).

Sprowadzenie charakterystyki rzeczywistej do idealnej wykonujemy poprzez mnożenie jej przez współczynnik korekcji wzmocnienia oraz dodanie offsetu korekcji przesunięcia:

$$A_0 \cdot x + B_0 = K \cdot (A_r \cdot x + B_r) + \text{Ofs} = (K \cdot A_r) \cdot x + (K \cdot B_r + \text{Ofs})$$

Współczynnik korekcji wzmocnienia jest równy $K = A_0 / A_r$. Jest on wyznaczony w procesie kalibracji jako:

$$K = (y_0(150) - y_0(0)) / (y_r(150) - y_r(0)) = 750 / (y_r(150) - y_r(0)),$$

gdzie $y(150)$ to wartości pomiaru dla górnej granicy zakresu, czyli 150°C , a $y(0)$ - dla dolnej, czyli 0°C .

Natomiast offset jest wyznaczany w procesie kalibracji jako: $\text{Ofs} = y_0(75) - K \cdot y_r(75) = 525 - K \cdot y_r(75)$, gdzie $y(75)$ to wartości pomiaru dla połowy zakresu, czyli 75°C - minimalizuje to błędy dla typowych zakresów pomiarowych.

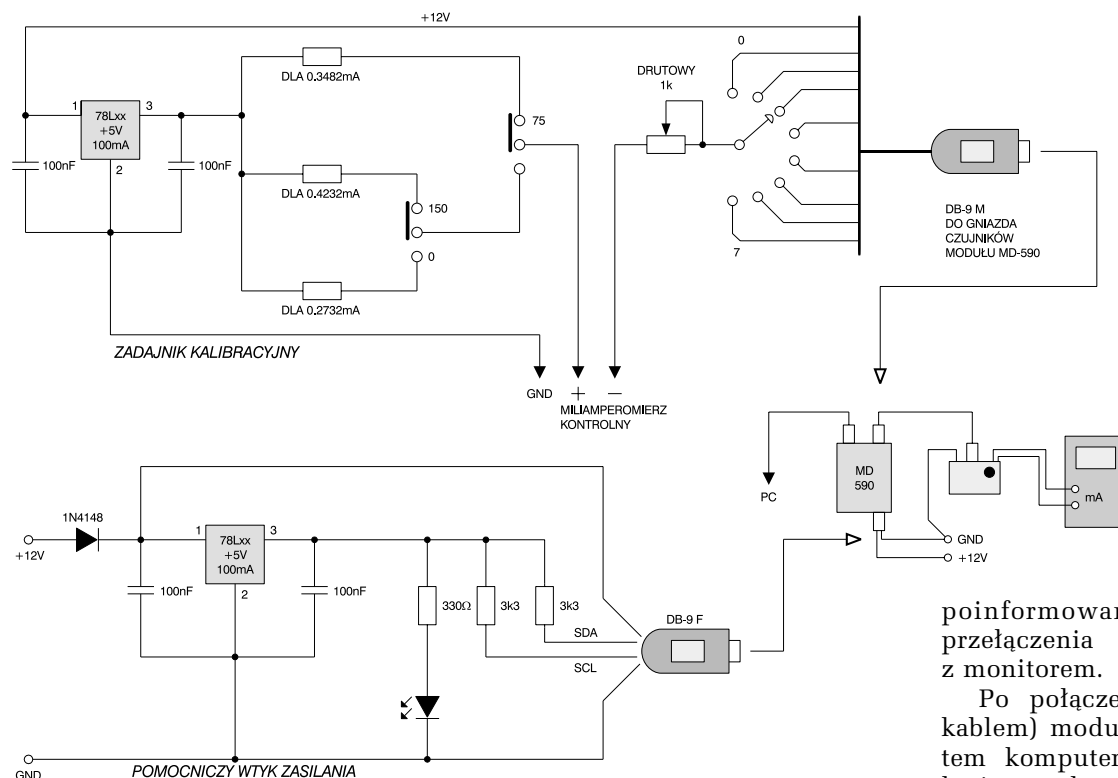
Proces kalibracji najlepiej byłoby przeprowadzić dla pełnego toru pomiarowego - czyli łącznie



z czujnikiem temperatury. Jednak wiąże się to z poważnymi komplikacjami wynikającymi z konieczności precyzyjnego zadawania temperatur (zwłaszcza że torów pomiarowych jest dużo). Nie jest także rozwiązana sprawa szybkiej i niekłopotliwej wymiany uszkodzonych czujników.

Wprowadziłem zatem metodę kompromisową. Przeprowadzona zostaje dokładna kalibracja torów analogowych modułu, przy założeniu współpracy z idealnym czujnikiem: na wejścia podajemy sygnały prądowe odpowiadające wartościom wyjściowym charakterystyki katalogowej czujnika. Natomiast dopasowanie konkretnego czujnika jest zrealizowane już na obiekcie (on-line) poprzez wprowadzenie dodatkowego offsetu czujnika, wynikającego z różnicy wartości mierzonych i wartości wskazywanej przez niezależny pomiar kontrolny.

Ze względu na fakt, że każdy czujnik pracuje we własnym, dość wąskim zakresie temperatury przyjąłem też, że offset czujnika nie zależy od temperatury. To przybliżenie sprawdza się w praktyce wystarczająco dobrze (wpro-



Rys. 3. Schemat elektryczny przystawki zapewniającej linii SDA i SCL pull-up oraz "zadajnik" prądu.

wadzenie dokładniejszej korekcji jest oczywiście możliwe - polega na odpowiednim rozszerzeniu oprogramowania).

Przebieg procesu kalibracji jest następujący:

- ustawiamy na wejściu wybranego kanału prąd 0,2732mA (0°C),
- mikrokontroler zapamiętuje wartość mierzoną (nieskorygowaną) dla 0°C,
- te same operacje powtarzamy dla 150°C (0,4232mA) i 75°C (0,3482 mA),
- po otrzymaniu polecenia kalibracji mikrokontroler wykonuje wyliczenie współczynników K oraz Ofs dla danego toru wg zasad opisanych wcześniej i zapamiętuje je w pamięci EEPROM - od tej chwili są one używane do korygowania wartości każdego pomiaru.

Nie byłoby to ułatwieniem (a wręcz przeciwnie!), gdyby nie szereg narzędzi wspomagających. Do zasilania modułu odłączonego od magistrali stacji obiektowej służy mała przystawka zapewniająca pull-up linii SDA i SCL, zabezpieczenie przed odwrotnym włączeniem i sygnalizator napięcia. Z racji prostoty została zmon-

towana „w powietrzu“ w obudowie wtyku DB-9 (rys. 3).

Do zadawania wartości prądu także powstała przystawka. Zawiera stabilizator 78L05, przełączniki suwakowe, 8-pozycyjny przełącznik obrotowy, potencjometr wieloobrotowy (drutowy TELPOD) i nieco rezystorów. Są one dobrane tak, aby w połączeniu z rezystorami wejściowymi modułu zapewnić z grubsza właściwe wartości prądu dla kolejnych (0, 75, 150°C) punktów pomiarowych. Dokładne dostrojenie dla każdego punktu i kanału wykonujemy ręcznie potencjometrem (rys. 3).

Zadajnik prądu jest wyposażony we wtyk dopasowany do gniazda wejściowego modułu (DB-9) oraz wyprowadzenie do dołączenia kontrolnego miliamperomierza - musi to być przyrząd zapewniający wymaganą rozdzielczość, a więc co najmniej 4-cyfrowy. Zadajnik jest zasilany przez złącze z modułu - nie ma tam jednak linii masy potrzebnej do działania stabilizatora - należy ją podłączyć oddzielnie, do czego służy przygotowany przewód z krokodylką.

Najważniejszym narzędziem wspomagającym kalibrację jest program monitora modułu, pracu-

jący w środowisku Win 3.x, Win 9x. Moduł wykorzystuje do komunikacji z programem swój interfejs RS232C. Kabel transmisyjny wymaga jedynie skrzyżowanych linii RxD i TxD, natomiast od strony modułu jest zmodyfikowany poprzez zwarcie linii RI (pin 9) do masy - w ten sposób moduł zostaje po włożeniu wtyku

poinformowany o konieczności przełączenia się na współpracę z monitorem.

Po połączeniu (wspomnianym kablem) modułu z wybranym portem komputera i włączeniu zasilania uruchamiamy program z parametrem <COM1>..<COM4>, określającym numer użytego portu. Jeśli port będzie zajęty - program zgłosi to i się wyłączy. W linii statusu podany jest stan komunikacji z modułem - jesteśmy informowani w razie wystąpienia błędów z połączeniem (rys. 4).

Wyprzedzająco należy dodać, że dla poprawnej, indywidualnej pracy modułu przełącznik numer 4 powinien być włączony. Wynika to z organizacji łączności z modułem w ramach stacji obiektowej i będzie dokładniej omówione dalej. Przy poprawnej pracy moduł jest wywoływany co ok. 1 sekundę. Program wysyła ramkę danych ze specyfikacją komend do wykonania. Podstawową, zawsze wysyланą komendą jest żądanie przesłania wyników pomiarów. Moduł zwraca te wyniki oraz pozycję swojego przełącznika adresowego: dane te są wyświetlone w okienkach „dipswitch“ oraz „kanał 0 - 7“. Wykorzystując tylko tę komendę możemy używać modułu indywidualnie - jako 8-kanałowego termometru sprzężonego z komputerem.

W celu wykonania kalibracji wybranego kanału (przyciskiem na górnym panelu) przeprowadzamy następującą sekwencję czynności:

- Wybieramy punkt pomiarowy i ustawiamy za pomocą zadajnika odpowiedni prąd na odpowiednim wejściu.
- Wysyłamy polecenie zapamiętania wyniku przyciskiem „POM.“. Mikrokontroler po poprawnym wykonaniu komendy zwraca potwierdzenie - program zaznacza to w odpowiednich okienkach panelu „Pomiar“.
- Po wykonaniu wszystkich trzech pomiarów dla danego kanału wysyłamy polecenie kalibracji - przycisk „KAL.“. Pozytywna realizacja jest zaznaczona w polu „Kalibracja“ dla obsługiwanego kanału. Rezultat od razu widać w polu wartości temperatury - powinna ona dokładnie odpowiadać ustawionemu aktualnie prądowi. Powyższą sekwencję powtarzamy dla kolejnych kanałów.

Przycisk „OFS.“ służy do wprowadzania korekcji dla indywidualnych czujników AD590. Na podstawie pomiaru kontrolnego temperatury, wpisujemy w otworzonym okienku dialogowym nową, właściwą wartość - program wylicza na tej podstawie odpowiedni offset i przesyła go do mikrokontrolera w celu zapamiętania w EEPROM. Okienko jest wyposażone w kontrolę zakresów - ostrzega jeśli poprawka jest zbyt duża, co na ogół wskazuje na usterkę sprzętową czujnika lub toru pomiarowego. O ile kalibrację wykonujemy zazwyczaj w warunkach warsztatowych, to offset czujnika wprowadzamy na obiekcie - przy stacji normalnie pracującej (moduł informuje stację i operatora - poprzez swój bajt statusu - o włączeniu trybu monitora).

Wszystkie opisane opcje (z wyjątkiem przełączania kanałów i punktów pomiarowych) nie działają przy braku komunikacji z modułem.

Program monitora nie wymaga specjalnej instalacji i nic nie zmienia w rejestrze i plikach konfiguracyjnych - do wybranego katalogu kopujemy *md590.exe* oraz *opis590.txt*. Potrzebna jest też - o ile jeszcze jej nie mamy w katalogu „system“ (przy okazji stosowania produktów Borland/Inprise) - biblioteka *bwcc.dll* (możemy ją skopiować do folderu „sys-

tem“ albo do naszego folderu roboczego). Plik *opis590.txt* zawiera tylko teksty opisów wartości temperatury i prądu dla kalibracyjnych punktów pomiarowych. Jeśli go nie ma, to nic się nie stanie i przyjęte zostaną opisy dla MD-590. Natomiast jeśli chcielibyśmy wykorzystać monitor dla bazujących na tym samym mechanizmie programowym urządzeń z innymi zakresami - odpowiednio zmieniamy opisy, aby nie wprowadzały w błąd.

Wykonanie modułu

Jednowarstwowa płytko drukowana modułu jest wykonana w technologii fotochemicznej. Jest dopasowana do taniej, popularnej, ale estetycznej i mocnej plastikowej obudowy ZV.

Dolną połówkę obudowy montujemy na płycie montażowej szafki pomiarowej (mogą to być wkręty, można dokupić także uchwyty do eurolistywy - co jednak znacznie podraża naszą konstrukcję. Możemy też - jeśli nie przewidujemy demontażu - po prostu użyć kleju). Gniazda połączeniowe są ulokowane w bocznych ściankach. Są to: (z jednej strony obudowy) DB-9M dla RS232C i DB-9F do podłączenia czujników temperatury oraz (z drugiej strony) DB-9M i DB-9F do podłączenia magistrali stacji (zasilanie i I²C). Gniazdo czujników jest połączone z poszczególnymi czujnikami nie bezpośrednio, ale za pośrednictwem dodatkowej łączówki (umieszczonej

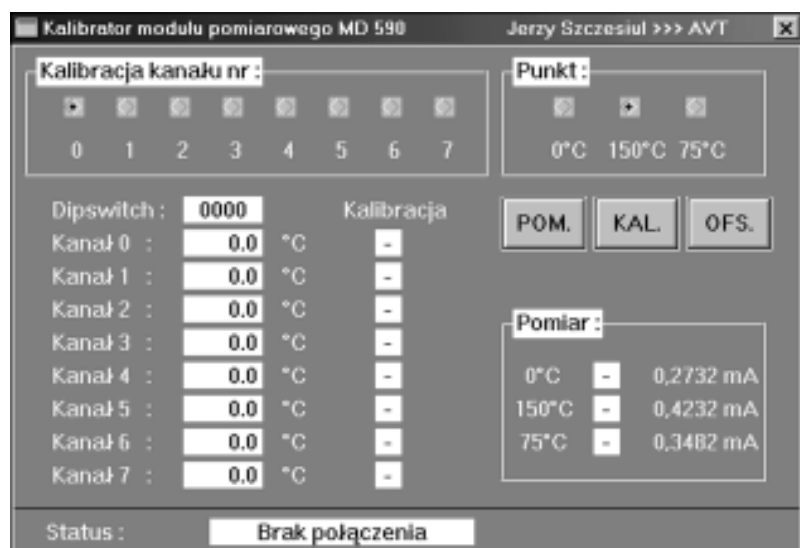
pod płytą montażową). W ten sposób stałe elementy okablowania (nie podlegające przełączniom) są ukryte, natomiast sam moduł można łatwo odłączyć w celu naprawy, kalibracji itp. Łączówka może być wykonana jako zwykły zestaw gniazda i listwy zaciskowej. W razie potrzeby można ją także rozbudować np. o elementy ochrony przeciwprzepięciowej.

Gniazda są połączone przewodami taśmowymi z odpowiednimi punktami lutowniczymi na płytce (rys. 5). Rozmieszczenie elementów na płytce pokazano na rys. 6.

Montaż przygotowanej płytki warto rozpocząć od jej sprawdzenia - czy nie występują przerwy lub zwarcia. Następnie wlotujemy potrzebne zworki, podstawki i elementy bierne. Potem zmontujemy obwody zasilania i - po prowizorycznym podłączeniu - sprawdzimy, czy wartości napięć są zgodne z zakładanymi (+5V z ST2 i ST3 oraz ok. 3,9V z ST1).

UWAGA: na płytce obudowa ST2 narysowana jest odwrotnie (zamienione piny 1 i 3 - należy ją przy montażu obrócić).

Po wlotowaniu wzmacniaczy operacyjnych sprawdzamy wstępnie pracę torów analogowych (kontrolujemy napięcia przy zadanych prądach wejściowych - powinny się w przybliżeniu zgadzać z podanymi w opisie części analogowej). Jeśli wszystko działa prawidłowo, przystępujemy do uruchomienia części cyfrowej.



Rys. 4 Widok okna programu sterującego pracą modułu MD-590.

Po wmontowaniu wszystkich elementów i włożeniu do podstawki mikrokontrolera podłączamy symulator EPROM. Jeśli jest on zasilany z układu, dobrze jest obniżyć napięcie zasilania do 8..9V - stabilizator pracuje bez radiatora, co zupełnie wystarcza w normalnych warunkach, natomiast dodatkowo obciążony symulatorem może się przegrzewać.

Ładujemy mały program testowy, który cyklicznie zmienia stan któregoś wyjścia - może to być np. linia DTR portu RS232. Musimy też pamiętać o konieczności obsługi licznika watchdoga. Sprawdzamy, czy program jest realizowany - co świadczy o sprawności podstawowego układu mikrokontrolera.

Możemy teraz załadować program docelowy (albo od razu włożyć zaprogramowany EPROM), włączyć zewnętrzne podciągnięcie linii SDA oraz SCL i przeprowadzić próby komunikacji modułu z monitorem oraz działania procedur kalibracji. Dalsze etapy kontroli - czyli sprawdzenie pracy modułu w stacji obiektowej - będą możliwe dopiero po złożeniu całego zestawu.

Kończymy montaż składając obudowę i wyposażając ją w opis.

Oprogramowanie modułu

W poniższym tekście nie przedstawiamy szczegółowego opisu zasad pracy użytego mikrokontrolera i zakładamy przynajmniej jego wstępną znajomość. Pomocne mogą być zarówno dane katalogowe jak i opis kitu AVT-280 (płytką bazowa '552, EP4/96).

Program mikrokontrolera możemy podzielić na bloki funkcjonalne:

- własne funkcje systemowe: obsługa watchdoga, zegar systemowy, timeout'y, odczyt nastaw przełączników i wejść sterujących, inicjalizacja,
- obsługa portu UART w trybie komunikacji z monitorem oraz w trybie komunikacji z dodatkowym urządzeniem zewnętrznym,
- obsługa interfejsu I²C jako *Slave* (komunikacja z kontrolerem stacji obiektowej) i jako *Master* (zapis i odczyt własnej pamięci EEPROM),
- ciągła realizacja odczytu i konwersji wejść analogowych,

- procedury obliczeniowe korekty pomiarów analogowych oraz kalibracji.

Zegar (timer) systemowy jest zrealizowany w sposób tradycyjny dla serii MCS 51 - poprzez obsługę przerwania licznika T0 pracującego w trybie 16-bitowym z przeładowaniem. W procedurze obsługi - wywoływanej co ok. 50ms - jest filtrowane wejście sterujące przełączaniem trybów pracy (zwykły/monitor), sprawdzany timeout sesji komunikacyjnej I²C i ustawiana flaga sekundnika.

Wejścia przełącznika adresowego nie są filtrowane, gdyż nie przewidujemy ich przełączania w trakcie pracy - są odczytane jednokrotnie podczas startu programu. Przełącznik umożliwia dołączenie do magistrali stacji czterech modułów MD-590 (lub 3 jeśli kontroler stacji wykorzystuje PCF8583).

Jego położenie określa adres pamięci EEPROM modułu oraz adres *Slave* mikrokontrolera (po wysłaniu tego adresu przez kontroler moduł odpowiada i przesyła swoje dane). Jeden z przełączników dipswitcha pozwala na indywidualne działanie modułu (jak to było wspomniane wcześniej). Przyjąłem bowiem protokół wewnętrznej komunikacji stacji z przydzielaniem czasu poszczególnym modułom MD-590 na wykorzystanie wspólnej magistrali I²C dla własnych potrzeb: zapisu i odczytu swojego EEPROM-u. Interfejs I²C jest wprawdzie wyposażony w mechanizmy samoczynnego arbitrażu, ale pozostawiłem je jako ostatnią "deskę ratunku" na wypadek pogubienia się programów stacji.

Komunikacja z przydzielaniem czasu przypomina organizację sieci Token Ring. Podczas normalnej pracy (jako zespół stacji obiektowej) moduł po starcie czeka na swój przydział czasu, aby wykonać odczyt zapamiętanych w EEPROM współczynników korekcyjnych.

Do tej chwili nie jest w stanie wyliczyć prawidłowych wyników pomiarów, więc zgłasza w swoim słowie statusu brak gotowości. Przy ustawieniu przełącznika na pracę autonomiczną to oczekiwanie jest pominięte

i pomiary wraz z przeliczeniami korekcyjnymi rozpoczynają się od razu.

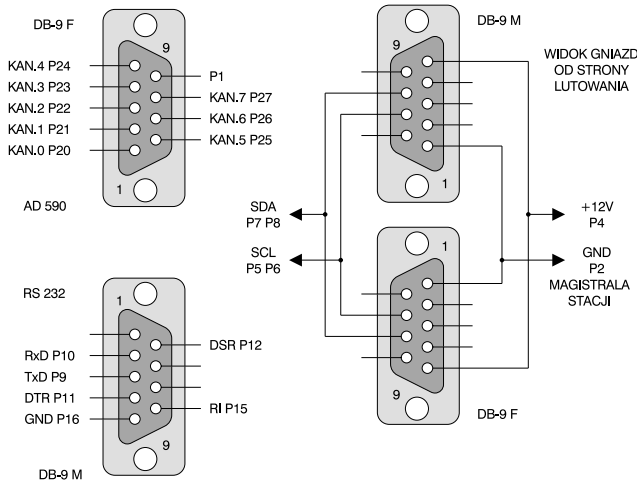
Mikrokontroler pracuje w systemie I²C stacji jako *Slave*, natomiast przy obsłudze „swojego“ EEPROM-u - jako *Master*. Wykorzystany jest w tym celu opisany już dokładnie interfejs sprzętowy I²C wspomagany przerywaniem. W stosunku do poprzednich przykładów zastosowania oprogramowanie jest rozszerzone o procedury przerwania dla trybu *Slave Transmitter*. Widać z tego, że przyjęcie poleceń i danych z kontrolera stacji (w celu np. przesłania do zewnętrznego urządzenia wykonawczego) nie będzie wymagało żadnych specjalnych zabiegów - należy tylko dodatkowo obsłużyć przerywania dla trybu *Slave Receiver*.

Komunikacja z EEPROM odbywa się sporadycznie - odczyt tylko podczas inicjalizacji, natomiast zapis tylko w trakcie kalibracji torów analogowych. Pobieranie danych przez kontroler (tryb *Slave Transmitter*) zachodzi co kilka sekund.

W buforze danych są gromadzone wyniki pomiarów poszczególnych kanałów, status modułu oraz blok danych pochodzących z urządzenia zewnętrznego (w modelu takiego urządzenia nie przewidziałem, w układzie rzeczywistym są to liczniki energii cieplnej w wodzie gorącej oraz w parze wodnej). Odczyt kanałów analogowych odbywa się w cyklu:

- wykonanie 16 pomiarów w danym kanale,
- wyliczenie średniej (minimalizuje to przypadkowe błędy i zakłócenia),
- przeliczenia korekcyjne wg wcześniejszego opisu,
- załadowanie wyniku w odpowiednie miejsce bufora danych (pomijane jeśli bufor jest aktualnie wysyłany),
- przejście do następnego kanału i start przetwarzania.

Sterujemy pomiarami za pośrednictwem rejestru funkcyjnego ADCON (0C5h). Trzy najmłodsze bity (0-2) określają adres (0-7) jednego z 8 kanałów, który ma być dołączony do przetwornika A/C. Start konwersji następuje po programowym ustawieniu bitu 3. (ADCS). Zakoń-



Rys. 5. Zalecany sposób okablowania stacji.

czenie konwersji jest sygnalizowane wywołaniem odpowiedniego przerwaniania.

Wynik odczytujemy z rejestru ADCH (8 starszych bitów) oraz z ADCON - bity 7. i 6. są dwoma najmłodszymi bitami wartości pomiaru. Dla oszczędności miejsca w buforze (brak zewnętrznej pamięci danych) wyniki są umieszczone w postaci spakowanej: starsze bajty kolejnych kanałów (8) a następnie 2 bajty z kolejno ulokowanymi dwójkami najmłodszych bitów.

Do wykonywania niezbędnych obliczeń wykorzystane są 32-bitowe procedury arytmetyczne operujące na liczbach całkowitych. Aby w ten sposób zrealizować opisane poprzednio działania (w normalnym trybie wymagające liczb rzeczywistych) zastosowałem kilka operacji pomocniczych:

- Wyliczenie średniej z 16 zsumowanych pomiarów odbywa się poprzez równoważne przesunięcie liczby o 4 pozycje w prawo (jest to szybsze niż procedura dzielenia).

- Współczynnik korekcji wzmocnienia jest znormalizowany do postaci liczby całkowitej poprzez pomnożenie *10000. Mieści się wtedy w formacie Word i tak jest zapisywany w EEPROM. Powrót do odpowiedniego rzędu wartości odbywa się przez końcową operację dzielenia :10000 (możemy sprawdzić, że taka procedura zapewnia z dużym zapasem wymaganą dokładność obliczeń).
- Aby uniknąć wartości ujemnych przyjąłem wstępne („zerowe“)

100*0,2°C=20°C - tego rzędu wartości offsetu wskazuje już na usterkę sprzętową).

W komunikacji przez RS232 wykorzystane jest przerwanie portu szeregowego 0. Jak wspomniałem, obejmuje ona dwa przypadki:

- tryb normalny obsługuje dodatkowe urządzenie zewnętrzne i jest skonfigurowany zgodnie z potrzebami tego urządzenia (tzn. jego wbudowanym protokołem),

- tryb monitora - jedyny zastosowany w modelu - zapewnia współpracę modułu z programem kalibracji.

W trakcie działania programu jest cyklicznie sprawdzany stan pinu RI gniazda RS. Po odfiltrowaniu zakłóceń jest on użyty - jak wspomniałem wcześniej - do włączenia odpowiedniego trybu.

Obsługa wewnętrznego watchdoga sprowadza się do okresowego przeładowania licznika T3 watchdoga - przepełnienie licznika generuje sygnał zerujący. Częstotliwość zliczania wynosi $f_{watch} = f_{osc} / (12 * 2048)$ (dla $f_{osc} = 12\text{MHz}$ inkrementacja co ok. 2 ms). Ładując

wartości offsetów toru analogowego i czujnika jako 125. Jest to skorygowane w procesie przeliczeń poprzez końcowe odjęcie stałej wartości 250. Offsety dodatnie oznaczają zatem liczby większe niż 125 zaś ujemne - mniejsze. Możliwy do uzyskania zakres offsetów znacznie przekracza rzeczywiste potrzeby (np.

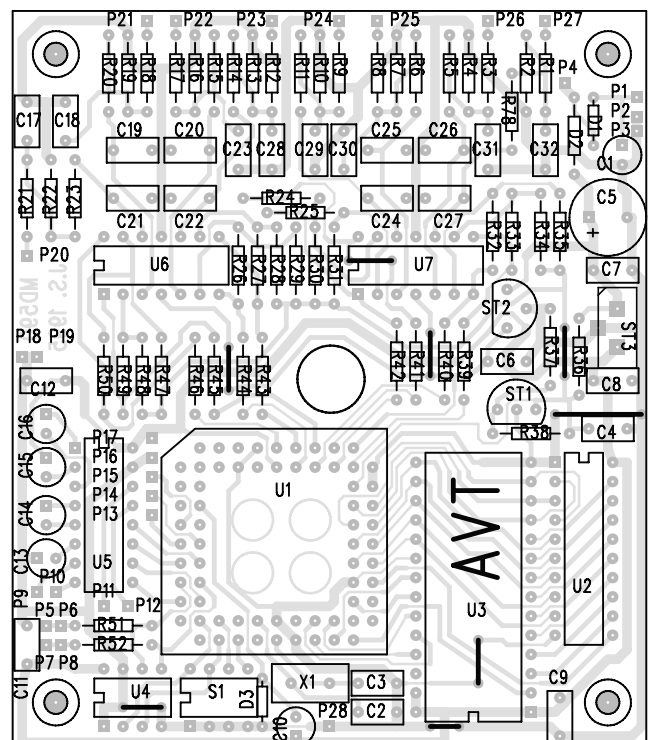
licznik odpowiednią wartością możemy w szerokim zakresie ustalić czas zadziałania watchdoga. Dla zwiększenia niezawodności dostęp do licznika jest możliwy tylko po wcześniejszym ustawieniu bitu WLE=PCON.4 (trzeba to wykonać każdorazowo, gdyż przy wpisie do T3 bit jest zerowany).

Z racji sporej złożoności programu, powyższy opis przedstawia tylko ogólny zarys jego działania. Zainteresowani mogą poszukać szczegółów w kodzie źródłowym. Jest on napisany w makroassemblerze MCC-51 z funkcjonalnym podziałem na moduły (arytmetyczny, obsługi przerwań, obsługi I²C, itd.). Dla każdego urządzenia zewnętrznego należy wg potrzeb dopisać odpowiednie procedury komunikacyjne.

Opisy następnych modułów, kontrolera stacji oraz przykładowego programu wizualizacji zamieścimy w następnych odcinkach.

Jerzy Szczesiul, AVT
jerzy.szczesiul@ep.com.pl

Oprogramowanie dla PC do współpracy z zestawem prezentowanym w artykule jest dostępne w Internecie pod adresem: www.ep.com.pl/ftp/tools.html.



Rys. 6. Rozmieszczenie elementów na płycie drukowanej.