

Dział „Projekty Czytelników” zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji.

Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane **oświadczenie**, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 250,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przesyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

Zestaw uruchomieniowy dla procesorów MSP430F449

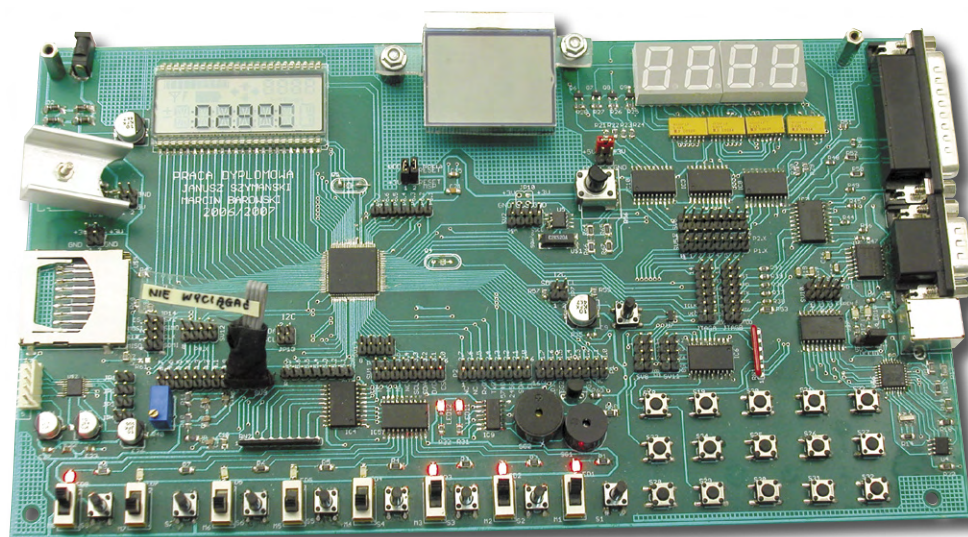
Chyba nie ma takiego elektronika, któremu by „nie wpadł” do rąk przynajmniej jeden jakiś zestaw uruchomieniowy. Producenci mikrokontrolerów, układów programowalnych, procesorów DSP itp. udostępniają je konstruktorom, wychodząc z założenia, jest to dobra metoda zachęcania do stosowania ich wyrobów w projektowanych urządzeniach. Zdarza się też, że takie zestawy powstają na własne potrzeby w warsztatach domowych.

Rekomendacje:
zestaw dedykujemy głównie Czytelnikom zainteresowanym poznaniem mikrokontrolerów MSP430.

Projekt
155

PODSTAWOWE PARAMETRY

- Płytko o wymiarach 263x149 mm
- Zasilanie 8 VAC lub DC
- Mikrokontroler MSP430F449
- Interfejsy: RS232, USB, SPI, JTAG, I²C, 1-Wire
- Obsługa kart SD/MMC
- Peryferia: wyświetlacz LCD, wyświetlacz graficzny, wyświetlacz LED (4x7-segm.), wskaźniki LED, klawiatura matrycowa 5x3, 8 przelączników 2-stabilnych, 8 przycisków, czujnik temperatury, potencjometr do regulacji napięcia wykorzystywanego w eksperymentach z przetwornikami A/C i C/A, 2 buzery



Mikrokontrolery rodziny MSP430 coraz częściej znajdują zastosowanie w urządzeniach elektronicznych, zwłaszcza w sprzęcie pomiarowym. Do wyboru mamy zarówno układy proste i tanie, jak i rozbudowane o wyższej cenie. Wszystkie mikrokontrolery MSP430 mają jednak dwie wspólne cechy – niski pobór mocy i szybki czas przejścia między stanami procesora. Oszczędność zużywanej mocy uzyskuje się poprzez możliwość przełączania mikrokontrolera w różne tryby pracy. Pozwala to zredukować prąd pobierany z zasilania do wartości nawet poniżej 1 μ A. Czas przejścia ze stanu wstrzymania do pełnej gotowości jest przy tym równy zaledwie 6 μ s.

Najlepszym sposobem poznania procesora jest obserwacja jego pracy podczas różnych eksperymentów przeprowadzonych w praktyce. Niezbędny do tego zestaw uruchomieniowy możliwy do samodzielnego wykonania opisujemy w tym artykule.

Opis układu

Do zestawu uruchomieniowego MSP430 wybrano mikrokontroler MSP430F449. Zdecydowała o tym duża różnorodność jego peryferii:

- 60 kB pamięci programu typu Flash, 2048 B pamięci danych typu Flash i 2048 B RAM-u,
- dwa odrębne interfejsy USART, które mogą pracować w trybach UART i SPI,
- 12-bitowy przetwornik A/C,
- sterownik wyświetlaczy LCD,
- komparator analogowy,
- cztery liczniki: Watchdog Timer (służący do kontroli pracy procesora lub jako zwykły licznik), Basic Timer (wykorzystywany głównie przy pracy sterownika wyświetlacza LCD) Timer_A3 i Timer_B7. Zarówno Timer_A3, jak i Timer_B7 mogą służyć do generacji przebiegów o różnych wypełnieniach (PWM) lub do odliczania czasu, po którym generowane jest przerwanie.

Na szczególną uwagę zasługuje moduł oscylatora FLL+, który umożliwia generowanie sygnału zegarowego na 4 sposoby, wykorzystując: wejście LFX1 (jest to wejście, które może pracować w dwóch trybach pracy: niskiej i wysokiej częstotliwości z rezonatorami odpowiednio 32,768 kHz i od 455 kHz do 8 MHz); wewnętrzny generator wysokiej częstotliwości FFL+; wewnętrzny DCO umożliwiający pracę

procesora bez zewnętrznego rezonatora kwarcowego.

Prezentowany zestaw został wyposażony w peryferia, które są najczęściej stosowane w urządzeniach elektronicznych. Na płycie znajdują się więc trzy wyświetlacze: LCD, wyświetlacz graficzny z telefonu Nokia 3310 oraz wyświetlacz 7-segmentowy LED. Poza tym, jest tu też: 8 przełączników suwakowych, 8 mikrołączników, klawiatura matrycowa, interfejsy JTAG, RS232 (MAX3232), USB (FTDI 232BM), układ RTC (DS1338), czujnik temperatury (DS18B20), dwa buzery (bez generatora i z generatorem), czytnik kart SD/MMC, przetwornik C/A (DAC8574), A/C i 10 diod LED. Magistrale I²C, SPI i 1-Wire są wyprowadzone na dodatkowe piny, dzięki czemu możliwe jest łączenie zestawu z innym urządzeniem.

Opisywany zestaw uruchomieniowy posiada własny programator JTAG wykorzystujący do komunikacji z komputerem złącze LPT. Należy również wspomnieć, że programatory JTAG oparte na złączu LPT działają jedynie na komputerach stacjonarnych. W artykule zostaną również przedstawione przykładowe programy przedstawiające działanie poszczególnych modułów. Będzie je można wykorzystywać do tworzenia własnych projektów.

Schemat ideowy zestawu startowego przedstawiono na **rys. 1**. Można w nim wydzielić kilka bloków, które są dołączane do procesora za pomocą odpowiednich zworek. Użytkownik może wpływać na stan systemu oraz badać go poprzez zestaw przełączników i diod świecących. Na płycie umieszczono dwa układy przełączników i dwa układy diod LED. Układy przełączników możemy podzielić na zestaw 8 przełączników i 10 diod oraz zestaw klawiatury matrycowej. Diody i przełączniki dołączono do portu P4, a sterowanie nim odbywa się za pomocą buforów 74HC574 i 74HC245.

Każde wejście 8-bitowego układu 74HC245 jest wyposażone w jedną parę przełączników. Należą do niej mikroprzełączniki, jak również połączone równolegle z nimi przełączniki suwakowe. O wyborze, który z tych rodzajów przełączników ma być aktywny decyduje użytkownik. Rezystory podciągające wymuszają

wysoki stan, gdy przełączniki pozostają rozwarne. Do włączenia diod LED lub odczytania stanu przełączników wymagane jest jeszcze dodatkowe wystrojenie odpowiednich linii portu. W przypadku diod jest to port P2.3, a w przypadku przełączników port P2.2. Dwie dodatkowe diody znajdujące się na płycie (LED11 i LED12) są włączane poprzez podanie niskiego stanu na wejścia zawsze otwartego bufora 74HC125.

Klawiatura matrycowa została zbudowana z 15 mikroprzełączników, drabinki rezystorowej typu SIP oraz jednego układu buforującego 74HC245. Obsługa klawiatury jest typowa – podaje się odpowiednie stany np. na kolejne wiersze klawiatury i odczytuje się stany kolumny. Na tej podstawie można określić stan każdego styku klawiatury. Trzeba jednak uważać, bo stan klawiatury może być błędnie odczytany, na przykład wtedy, gdy zostanie wciśnięty więcej niż jeden przycisk. Klawiatura jest dołączana do procesora złączem SV11 oraz SV8. Złącze SV11 odpowiada jako we/wy klawiatury, natomiast złącze SV8 jest portem P1 procesora. Podczas korzystania z klawiatury należy sprawdzić, czy do portu P1 nie są dołączone inne urządzenia. Mogłoby to być przyczyną błędnych odczytów klawiatury.

W zestawie uruchomieniowym zastosowano dwa rodzaje buzów elektromagnetycznych. Buzer z generatorem wewnętrznym SG2 i buzer bez generatora wewnętrznego SG1. Buzer SG1 wymaga programowej obsługi przez mikrokontroler, jest dołączony do portu P1.2 za pomocą zworki, SG2 może być wysterowany jedynie poprzez podanie stanu niskiego na wyjście sterujące (P1.5).

Interfejs USB zrealizowano na układzie FT232BM wraz z pamięcią 93C46, która służy do zachowywania konfiguracji portu, jak również do zapisania informacji związanych z identyfikacją konwertera. Pomimo, że układ jest przystosowany do zasilania napięciem z +5 V, może pracować z systemami o innych standardach napięciowych. Dzięki nóżce VCCIO (nóżka 13), którą można zasiląć napięciem +3 V bądź +5 V, decyduje się o standardzie poziomów logicznych linii RS232. Na płycie zestawu uruchomieniowego

umieszczono zworkę J12, dzięki której można wybrać sposób zasilania nóżki VCCIO. Konwerter FT232BM jest zasilany z szyny USB. Piny TxD i RxD układu są wyprowadzone na złącze SV10.

Czujnik temperatury DS18B20 komunikujący się z mikrokontrolerem przez interfejs 1-Wire dołączono do portu P1.4, który pracuje jako zwykły port wejścia-wyjścia. Ze względu na brak interfejsu 1-Wire w zastosowanym mikrokontrolerze obsługa tego portu odbywa się programowo. Linia interfejsu jest podciągana do napięcia Vcc.

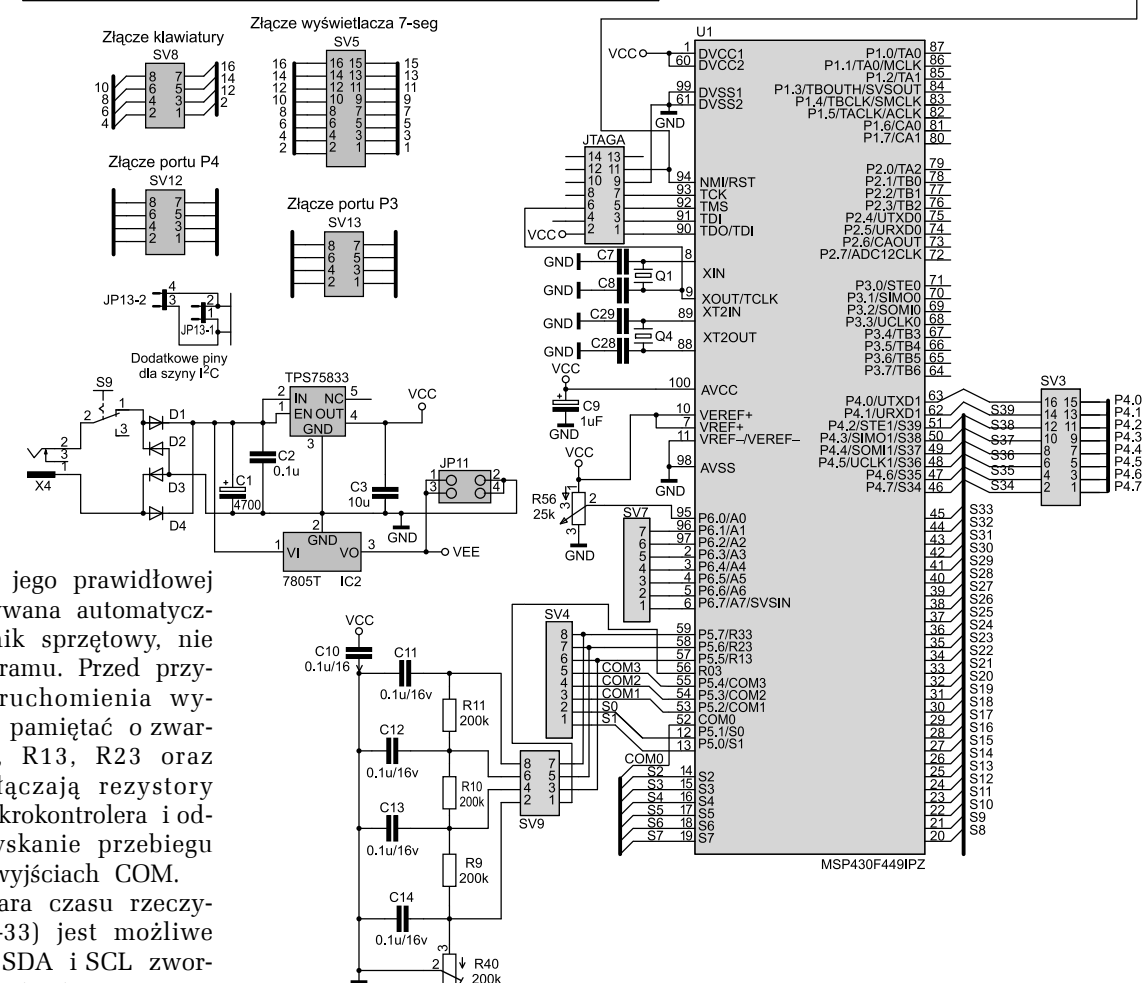
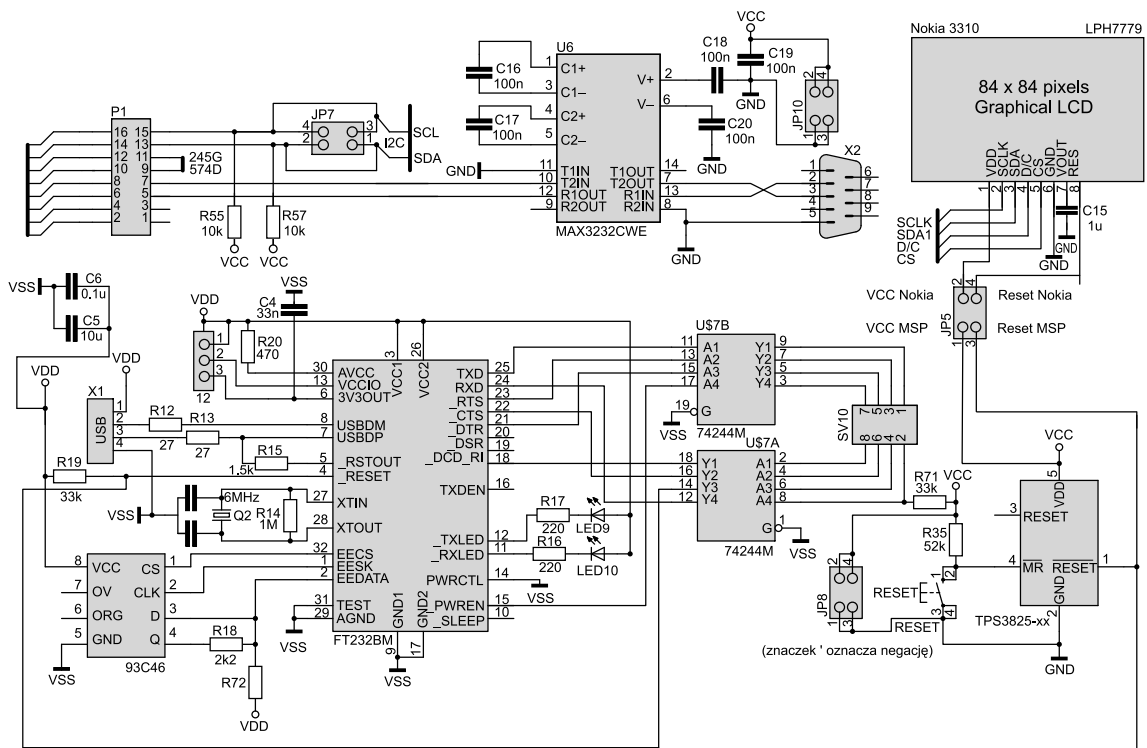
Wyświetlacz 7-segmentowy znajdujący się na płycie zestawu jest obsługiwany multipleksowo. Wszystkie linie danych wyświetlacza (katody) podłączono do portu procesora P1, anody są sterowane poprzez tranzystory. Uaktywnienie jednego z wyświetlaczy polega na podaniu na port P2.x (bramkę tranzystora BCX71) niskiego stanu logicznego, a następnie wpisaniu na magistralę danych odpowiadających wartości przewidzianej do wyświetlenia. Należy pamiętać, aby częstotliwość odświeżania wyświetlaczy mieściła się w granicach 90...100 Hz. Pozwoli to na wyeliminowanie efektu migotania cyfr. Aby podłączenie wyświetlacza do portów mikrokontrolera było wygodne, zastosowano dwa łącza SV6 i SV5.

Wyświetlacz graficzny LPH-7779 również umieszczony na płycie zestawu posiada wbudowany sterownik PCD8544. W momencie wpisania informacji z procesora do pamięci kontrolera, zostają one automatycznie wysłane do wyświetlacza i nie wymagają odświeżenia. Wyświetlaczem steruje się za pomocą interfejsu szeregowego SPI. Komunikacja odbywa się za pomocą 4 linii sygnałowych SCE, D/C, SDIN, SCLK, które poprzez zworki podłączono do portu P3 mikrokontrolera. Wyświetlacz ten może pracować w dwóch trybach prezentacji: poziomym (głównie do wyświetlania tekstu) i pionowym (wyświetlanie grafiki). O typie informacji przesyłanych do wyświetlacza decyduje stan linii D/C („H” – dane do wyświetlenia, „L” – komendy sterujące). Dane są wysyłane linią SDIN od najstarszego do najmłodszego bitu w takt zegara podawanego na linii SCLK. Dane są odbierane tylko wtedy, gdy linia SCE jest w stanie niskim. Gdy

SCE jest w stanie wysokim, to wyświetlacz nie reaguje na dane pojawiające się na linii SDIN. Początkiem transmisji jest zbocze opadające na linii SCE.

Wielką zaletą mikrokontrolerów rodziny MSP430 jest wewnętrzny sterownik wyświetlacza LCD. Zastosowany tu wyświetlacz SBLCDA2 firmy SOFTBAUGH posiada więcej niż 160 segmentów, co przekracza możliwości sterownika w mikrokontrolerze MSP430F449. Pominięto więc wyświetlanie tzw. *Progressbar*. W zastosowanym mikrokontrolerze operacja odświeżania wyświetlacza niezbędna do jego prawidłowej pracy jest wykonywana automatycznie przez sterownik sprzątowy, nie obciąża więc programu. Przed przystąpieniem do uruchomienia wyświetlacza należy pamiętać o zwarceniu zworek R03, R13, R23 oraz R33. Zworki dołączają rezystory zewnętrzne do mikrokontrolera i odpowiadają za uzyskanie przebiegu schodkowego na wyjściach COM.

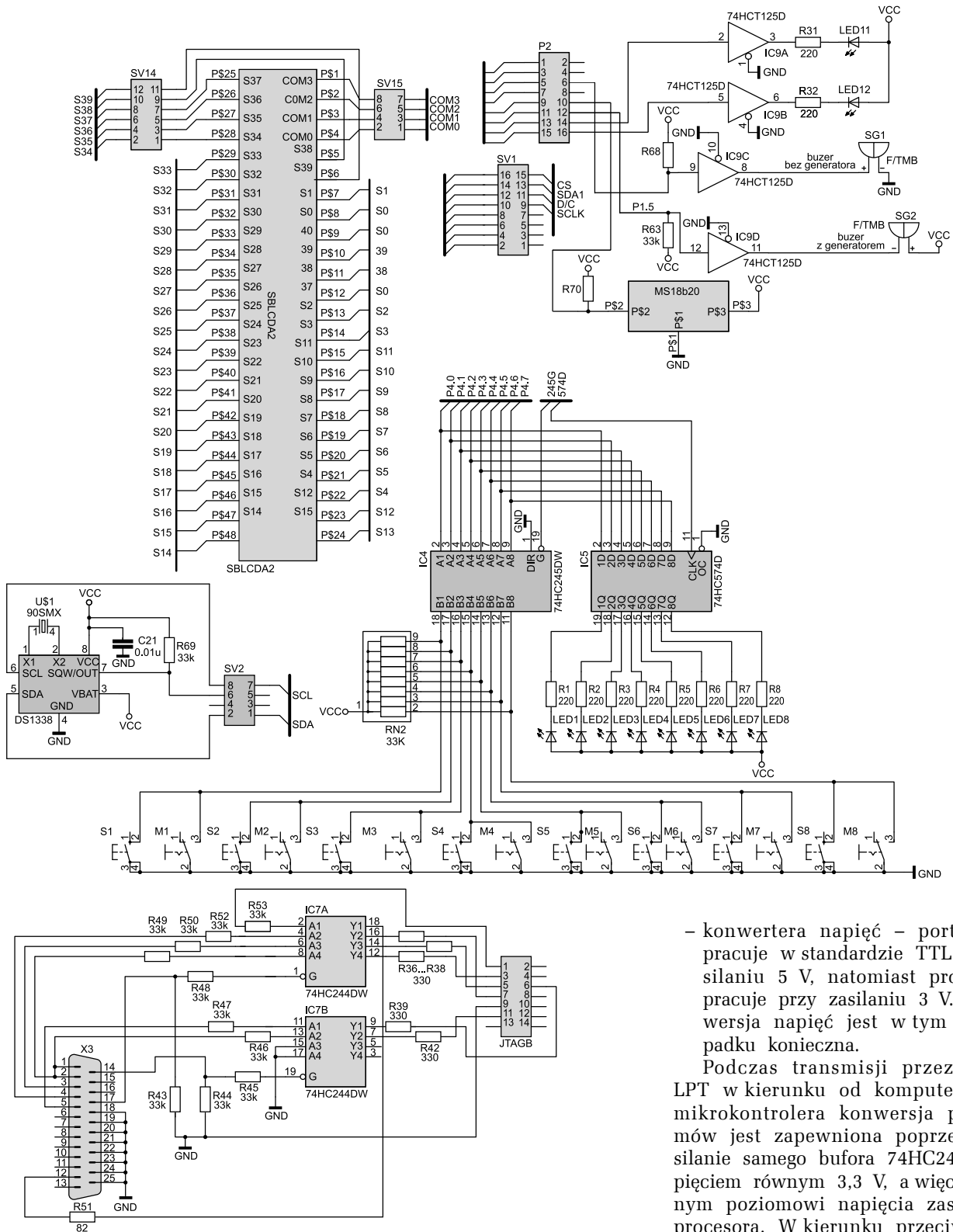
Włączenie zegara czasu rzeczywistego (DS1338-33) jest możliwe po zwarceniu linii SDA i SCL zworkami SV2. Linie te tworzą programowo obsługiwany interfejs I²C i są dołączone do portu P2. Poprzez I²C jest również obsługiwany 16-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy o 4 wyjściach analogowych (DAC8574). Sposób adresowania DAC8574 umożliwia podłączenie do tej samej magistrali I²C nawet 16 takich układów. Układ może pracować zarówno przy napięciu 5 V i 3,3 V. Ustala się to



Rys. 1. Schemat ideowy zestawu startowego

nóżką IoVDD. Układ DAC8574 jest podłączony do portu P2 poprzez zworkę SDA i SCL. Zerowanie mikrokontrolera, ze względu na wyświetlacz LPH-7779, zrealizowano przy użyciu układu TPS3825-33. Jego zadaniem jest monitorowanie procesu włączania (z ustalonym czasem opróżnienia

200 ms) i zapewnienia odpowiedniego czasu związanego z zerowaniem procesora. Zaimplementowany w mikrokontrolerze sterownik magistrali SPI wykorzystano do obsługi kart pamięciowych SD/MMC pracujących w trybie SPI. Należy zwrócić uwagę na to, że slot karty SD całkowi-



Rys. 1. c.d.

cie różni się od slotu karty MMC. Karta MMC pasuje do slotu karty SD, lecz odwrotnie już nie! Jest to związane z charakterystyczną budową kart. Karta MMC posiada jedynie 7 pinów, czyli o 2 piny mniej karty SD. Dodatkową różnicą pomiędzy kartami jest obsługa przez karty SD funkcji „write-protection” (zabezpieczenie przed zapisem). Każda karta SD jest wyposażona w mały przełącznik, dzięki któremu Host rozpoznaje, czy dana karta jest zabezpieczona przed zapisem czy też

nie. Jedyną wspólną cechą obu tych kart jest wartość napięcia zasilania oraz topologia wyprowadzeń.

Ostatnim, ale jakże ważnym układem w zestawie MSP430 jest interfejs JTAG. Jak można zauważyć, został on zbudowany przy użyciu bufora 74HC244 i kilku rezystorów. Sam układ 74HC244 pełni dwie funkcje:

- wzmacniacza sygnału, czyli układu odseparowującego obciążenie portu LPT od procesora i odwrotnie,

- konwertera napięć - port LPT pracuje w standardzie TTL o zasilaniu 5 V, natomiast procesor pracuje przy zasilaniu 3 V. Konwersja napięć jest w tym przypadku konieczna.

Podczas transmisji przez port LPT w kierunku od komputera do mikrokontrolera konwersja poziomów jest zapewniona poprzez zasilanie samego bufora 74HC244 napięciem równym 3,3 V, a więc równym poziomowi napięcia zasilania procesora. W kierunku przeciwnym żadna konwersja nie jest potrzebna, gdyż poziomy logiczne mikrokontrolera mieszczą się w przedziale standardu TTL.

Do podłączenia procesora z JTAG-iem służą dwa złącza gold pinów - JtagA i JtagB. Połączenie ze sobą tych złączy spowoduje dołączenie mikrokontrolera do JTAG-a. Należy jednak zwrócić uwagę, aby odpowiednie wyjścia mikrokontrolera były połączone z odpowiednimi wejściami układu JTAG. Przed rozpoczęciem transmisji pomiędzy zestawem MSP430 a komputerem należy jeszcze wyjście LPT JTAG-

nie czy do portu P1 nie są podłączone jeszcze inne układy. Mogłoby to zakłócić pracę buzerów i samego mikrokontrolera.

Trzeci przykład to obsługa wyświetlacza 7-segmentowego oraz klawiatury matrycowej. Program odczytuje stany przełączników, a następnie wyświetla numer danego przełącznika na wyświetlaczu. Należy pamiętać, że zastosowane bufory nie są „zatrzaskami”, co wymaga programowego odświeżania informacji na wyświetlaczu. W celu uruchomienia programu należy porozwierać wszystkie zworki na porcie P1 i P2, a następnie połączyć ze sobą łącza SV8 z SV11 oraz SV5 z SV6.

W czwartym przykładzie prezentowane są procedury obsługi wyświetlacza LPH7779. Programu umieszcza na wyświetlaczu ciągu znaków (*string*). Znaki są pobierane z tablicy zawartej w programie. Podłączenie tego wyświetlacza sprowadza się jedynie do zwarcia pinów SDA1, SCLK, D/C i CS do portu P3 procesora.

Obsługę wyświetlacza SBLCD2 przedstawiono w piątym programie przykładowym. Pomimo, iż jest to wyświetlacz bez sterownika, to od strony programowej należy wykonać jedynie kilka czynności, jako że całą operację sterowania wyświetlaczem realizuje wewnętrzny sterownik mikrokontrolera. Do uruchomienia wyświetlacza należy zewrzeć piny w złączu SV14 i SV15.

Szósty program demonstruje obsługę przetworników C/A i A/C. W tym przykładzie napięcie wyjściowe przetwornika C/A zależy od ustawienia suwaka potencjometru. Jego położenie jest określane na podstawie napięcia odczytywanego przez przetwornik A/C. Problemem są w tym przykładzie różne rozdzielczości przetworników. Konwersję z liczby 12-bitowej na 16-bitową realizuje się przez przesuwanie wartości z przetwornika A/C o 4 pozycje w lewo. Przed uruchomieniem programu należy podłą-

WYKAZ ELEMENTÓW

Rezystory

R1...R8, R16, R17, R29...R34, R41, R54: 220 Ω
 R9...R11: 200 k Ω
 R12, R13: 27 Ω
 R14: 1 M Ω
 R15: 1,5 k Ω
 R18: 2,2 k Ω
 R19, R43...R53, R63...R69, R71: 33 k Ω
 R20: 470 Ω
 R21...R24, R42: 330 Ω
 R25...28, R57, R72: 10 k Ω
 R35: 52 k Ω
 R36, R39: 330 Ω
 R40: 200 k Ω potencjometr wieloobrotowy montażowy
 R55: 10 k Ω
 R56: 25 k Ω potencjometr montażowy
 R58...R62: 50 k Ω
 R70: 4,7 k Ω
 RN1: 33 k Ω drabinka rezystorowa
 RN2: 33 k Ω drabinka rezystorowa

Kondensatory

C1: 100 μ F/16 V
 C2, C6, C10...C14, C22, C23, C27: 0,1 μ F/16 V
 C3, C5: 10 μ F/16 V
 C4: 33 nF
 C7: zależy od kwarcu
 C8: zależy od kwarcu
 C9, C15: 1 μ F
 C16...C20: 100 nF
 C21: 0,01 μ F
 C24, C26: 10 μ F/16 V
 C28: zależy od kwarcu
 C29: zależy od kwarcu

Półprzewodniki

D1...D4: D-SOD-87
 IC2: 7805T
 IC3, IC7, IC8, IC10: 74HC244DW
 IC4, IC6: 74HC245DW
 IC5: 74HC574D
 IC9: 74HCT125D
 LED1...LED12: diody LED SMD
 LEED2: LPH7779
 LEED3, LEED4: HD-K121
 Q6...Q9: BCX71SMD
 U\$2: DAC8574
 U\$3: TPS75833
 U\$4: SBLCDA2T
 U\$6: FT232BMM
 U\$7: 74244M
 U1: MSP430F449IPZ
 U4: 93C46
 U5: DS1338
 U6: MAX3232CWE
 U7: TPS3825-XX
 U8: MS18B20

Inne

U\$1: 90SMX kwarc
 U\$5: złącze karty SD/MMC
 12: zwoorka
 ANALOG: złącze L05P
 JP1...JP14: zworki
 JTAGA, JTAGB: złącze MA07-2
 M1...M8: przełącznik 255SB
 Q1: kwarc 32,768 kHz
 Q2: kwarc 6 MHz
 Q4: kwarc CRYTALHC49U-V
 RESET, S1...S32: mikroprzełącznik
 SG1, SG2: buzer
 SV1...SV15: zworki

czyć przetwornik C/A. W tym celu zwieramy piny SDA i SCL na porcie P2 procesora.

Ostatni program przykładowy dotyczy obsługi interfejsów RS232 i USB. Program odbiera i wysyła dane z USB do RS232 i odwrotnie. Prędkość transmisji można ustalić dowolnie. W przykładzie jest ona równa 38400 b/s. Jak wiadomo układ FTDI jest konwerterem z USB na RS232, tak więc w celu jego wykorzystania należy podłą-

czyć wyjścia tego konwertera do drugiego układu USART procesora. Nadawanie i odbieranie danych oraz ustalanie prędkości odbywa się poprzez wpis określonej wartości do odpowiednich rejestrów.

Dodatkowe informacje dotyczące mikrokontrolera MSP430F449 można znaleźć na stronie www.ti.com. Są tu zarówno noty katalogowe, jak również kody źródłowe programów napisanych w języku C oraz assemblerze.

Marcin Barowski

