

Mikrokontrolery 8-bitowe

PSoC nie da się ominąć szerokim łukiem. To jest to



Rozwój technologii półprzewodnikowej umożliwił konstruowanie urządzeń zawierających jeden układ scalony zamiast całego ich zestawu. Gdy do użytku wchodziły kolejne generacje mikrokontrolerów różnych firm, stopniowo zmniejszała się liczba układów niezbędnych do pracy całego systemu. Doszło do tego, że obecnie nawet rezonator kwarcowy nie jest konieczny.

Mikroprocesorom z peryferiami w jednej strukturze, przeznaczonym i zaprojektowanym do wykonywania określonych, wyspecyfikowanych zadań, czyli przeznaczonym do wbudowania w określone urządzenia (pralka, obrabiarka, automat do napojów itp.) nadano nazwę **embedded microcontrollers** lub **embedded microprocessors**. Obecnie pojęcie systemów wbudowanych odnosimy głównie do kompletnych komputerów pracujących np. jako sterowniki automatyki.

Pierwsze systemy mikroprocesorowe wymagały stałej, zewnętrznej pamięci programu i pamięci operacyjnej RAM w osobnych układach scalonych, a dodatkowo niezbędne były zatraski i bufor adresowe. W kolejnych etapach rozwoju mikrokontrolerów otrzymaliśmy np. ST6X, który miał już wewnętrzną pamięć programu. Konieczność kasowania EPROM-u za pomocą promieniowania ultrafioletowego wcale nie przeszkadzała, mimo że kolejne wersje programu można było sprawdzać dość rzadko, bo co kilka minut. Trzeba przyznać, że w owych czasach programy pisało się uważniej, aby nie tracić czasu na czasochłonne poprawki głupich błędów. Obecnie, gdy kasowanie pamięci Flash programu mikrokontrolera trwa najwyżej sekundy, zyskaliśmy możliwość „rozpoznania walką” i zamiast dobrze przemyśleć strukturę programu, często badamy jego zachowanie w dziesiątkach prób. Nie to jednak jest najważniejsze – tak naprawdę siła nowych mikrokontrolerów leży we wbudowanych debuggerach sprzętowych (SWIM, JTAG, ICD itp.) i możliwości programowania w systemie (ISP).

Niektóre typy i serie mikrokontrolerów czy systemów SoC (System on Chip) znamy lepiej lub gorzej, o innych tylko słyszeliśmy, jeszcze inne są lub wydają się być niepotrzebne w naszych zastosowaniach. Gdy pojawia się nowy projekt, stajemy przed koniecznością serii wyborów, które wcale nie są łatwe. Z natury rzeczy lubimy to, co znamy – tę prawidłowość zauważył już inżynier Mamoń w niezapomnianym Rejsie. Jednak o ile w przypadku filmu czy muzyki podejście takie wydaje się być do przyjęcia, to nie można go uznać za wystarczające, gdy czeka nas wybór rozwiązania konstrukcyjnego w dziedzinie systemów wbudowanych czy mikrokontrolerów.

Mikrokontrolery i systemy wbudowane

Systemy i komputery wbudowane obejmują ogromne grupy rozwiązań różniące się zastosowaniami i konstrukcją. Z jednej strony możemy mówić o systemach zbudowanych z wielu zaawansowanych technologicznie podzespołów, które tworzą miniaturowy odpowiednik komputera PC i możemy

na nim uruchomić system Windows. Z drugiej strony, na miano takie zasługują także mały system zbudowany na bazie najprostszego mikrokontrolera 2051, ponieważ z dokładnością do mocy obliczeniowej może pełnić podobną rolę co przywołany wyżej mini komputer PC. Gdy na zagadnienie spojrzymy oczami konstruktora systemu automatyki, to naturalne będzie, że za system wbudowany uznamy mini PC, z kolei w oczach konstruktora elektronika spektrum rozwiązań określanych tym mianem będzie znacznie szersze i obejmie zarówno mini PC, jak i system na bazie mikrokontrolera 2051.

Naszym zadaniem będzie jednak analiza rozwiązań w nieco węższym obszarze. Tym razem pominiemy gotowe, fabryczne systemy przeznaczone do zastosowań przemysłowych, np. jako zaawansowane sterowniki automatyki, natomiast skoncentrujemy się na aspektach doboru mikrokontrolera do konkretnego zastosowania. Jakie przesłanki powinien wziąć pod uwagę konstruktor, gdy będzie wybierał konkretne rozwiązanie – czy ma to być cena układu, stopień znajomości danej grupy układów, a może aktualna moda?

Z natury rzeczy lubimy to,
co znamy – tę prawidłowość
zauważył już inżynier Mamoń
w niezapomnianym Rejsie

Przyzwyczajenia a trendy i mody

Nikt nie ma wątpliwości, że produkcją układów scalonych wszelkiej maści rządzą żelazne reguły biznesu i oferowane mikrokontrolery nie powstają dzięki fantazji projektantów, ale na zapotrzebowanie rynku. W odróżnieniu

od rynku procesorów AMD i Intel przeznaczonych dla wszechobecnych PC, rynek systemów wbudowanych jest znacznie bardziej konkurencyjny, bowiem mikroprocesory zgodne z x386 wytwarza oprócz wymienionych wyżej jedynie Via, przy czym są to procesory przeznaczone m.in. do zastosowań wymagających minimalnego poboru energii czy systemów automatyki o niewielkich rozmiarach. Reguły wolnego rynku mówią, że konkurencja jest korzystna, bowiem zmusza producentów do ciągłego doskonalenia swoich produktów i obniżania ceny. Z taką sytuacją mamy do czynienia na rynku mikrokontrolerów, niezależnie od tego czy mówimy o systemach 8-mio, 16-to czy 32-u bitowych. Ciągłe pojawiają się nowe konstrukcje, które oferują kolejne funkcjonalności, przy czym nie muszą to być nowe standardy, ale np. inne zestawy interfejsów w kolejnym mikrokontrolerze (np. w układzie uCxxA UART, CAN, USB, I²C, w układzie uCxxB CAN i LIN).

Poruszanie się w tym gąszczu jest bardzo trudne i czasochłonne. Konstruktorzy elektronicy są zwykle bardzo zajęci, a na dodatek w znakomitej większości przypadków bardzo odporni na czasem zbyt nachalny marketing producentów. Nie da się ukryć, że tę cechę pielęgnujemy w sobie

Przykład z życia nr 1

W jednej z polskich firm zajmujących się produkcją własnych systemów mikroprocesorowych, w 2004 roku widziałem nowe systemy konstruowane na tradycyjnym 8051, ze zwykłymi EPROM-ami, zewnętrzną pamięcią RAM i czasem 8255. Przyznam, że byłem mocno zdziwiony, tym bardziej, że systemy realizowały zadania, z którymi dałaby sobie radę pojedyncza kostka ATmega8. Nie ulega chyba wątpliwości, że o rozsądnych wyborach nikt tam nie myślał – właściciel nie był inżynierem elektronikiem. W 2008 roku zauważyłem ogłoszenie, że firma poszukuje specjalistów od mikrokontrolerów AVR. No cóż – lepiej późno niż wcale.

i najczęściej się nią szczyć. Pojawia się jednak pytanie, czy takie postępowanie jest właściwe.

Przekonanie, że śledzenie nowości rynkowych nie ma sensu, jest dość rozpowszechnione i trzeba przyznać, że można znaleźć argumenty przemawiające za takim podejściem. Z reguły jest tak, że od zapowiedzi do faktycznej dostępności mija trochę czasu, liczonego raczej w miesiącach niż dniach. Niestety, regułą stają się również błędy konstrukcyjne i/lub dokumentacyjne w pierwszych seriach nowych mikrokontrolerów, czego widocznym obrazem są erraty większe niż pierwotna dokumentacja. Jeżeli do ręki weźmiemy nowy model wiertarki, to niezależnie od producenta potrafimy się nią skutecznie posłużyć. W przypadku mikrokontrolerów już tak prosto nie jest. Nowszy i lepiej wyposażony w peryferia model tego samego producenta wymaga trochę czasu

aby oswoić się choćby z jego bitami konfiguracji czy nazwami rejestrów. Gdy w grę wchodzi całkowita zmiana platformy, np. z PIC na AVR, to proces ten jest na pewno trudniejszy i wymaga więcej czasu. Czas kosztuje, a do tego mogą również dojść koszty narzędzi programistycznych – nie na wszystkie platformy znajdziemy bezpłatne i skutecznie działające programy kompilatorów, zwłaszcza dla języków wyższego poziomu. Własne i wielokrotnie sprawdzone biblioteki też mają kolosalne znaczenie. W ten sposób znaleźliśmy argumenty za pozostaniem w sferze produktów, które dobrze znamy. Mówiąc nieco żartobliwie i przekornie – mamy alibi także dla... własnego lenistwa. Kropkę nad i postawimy przypominając przysłowie, że lepsze jest wrogiem dobrego.

Skoro tak łatwo przyszło znaleźć argumenty przemawiające za tym, aby pozostawać przy „swoich” mikrokontrolerach, zastanówmy się co przemawia za tym, żeby jednak interesować się nowościami. W tym przypadku rozważania warto prowadzić w dwóch osobnych wątkach. Pierwszy z nich dotyczy platformy, na której pracujemy, drugi obejmuje ewentualną zmianę producenta mikrokontrolerów wykorzystywanych w naszych konstrukcjach. Można przyjąć, że pozostawanie w dobrze znanym otoczeniu powoduje, że zmniejsza się motywacja do dalszego rozwoju. Gdy poruszamy się w zaklętym kręgu kilku układów, które znamy na wylot, automatycznie zmniejszamy swoje szanse na przyszłość. Dlaczego? Posłużmy się przykładem. Obecnie, na początku 2009 r., oczywiście jest, że interfejsy komputerów PC i ich peryferiów, inne niż USB, odchodzą w przeszłość. Jednak bynajmniej nie jest to odkrycie z grudnia ubiegłego roku. Analizując konstrukcje mikrokontrolerów, które pojawiły się na rynku już w 2004 roku można było wyciągnąć wnioski, że taki właśnie będzie trend rynkowy. Pojedynczych konstruktorów, czy nawet dużych firm nie stać na odpowiednie badania rynku. Inaczej jest w przypadku producentów – dla nich badanie trendów i reagowanie na nie, oznacza być albo nie być. I w gruncie rzeczy nie ma też większego znaczenia, czy jest to rzeczywiście badanie trendu czy też kreowanie rynku. Pytanie – jak wielu konstruktorów zainteresowało się tymi układami w ciągu minionych 4-let, jeżeli nie musieli nic na nich budować? Powie ktoś, że nie ma po co się interesować, zanim nie ma zamówienia na konkretną konstrukcję. Trudno zgodzić się z takim podejściem – gdy mamy ogólny przegląd sytuacji, możemy zareagować szybciej i lepiej. I nie chodzi tutaj o wkuwanie adresów wektorów przerwań wywołanego do tablicy interfejsu USB, ale o to żeby chociaż pobieżnie poznawać charakterystyczne szczegóły naj-

nowszych rozwiązań. Mówiąc kolokwialnie – coś w głowie zostanie, i na pewno przyda się w przyszłości. I to jest jeden z powodów, dla których współczesny inżynier konstruktor powinien bacznie śledzić nowości oferty producentów układów i to nie tylko samych mikrokontrolerów. To jedna z ważniejszych metod prowadzących do właściwych wyborów konstrukcyjnych. Mamy teraz Internet i wyszukiwarki, a niewielkie fragmenty informacji mogą w przyszłości pomóc szybciej dotrzeć do tej naprawde poszukiwanej.

Doskonalenie własnego warsztatu i posiadanie możliwie kompletnej wiedzy na temat użytkowanej platformy konstrukcyjnej, to jedno z zadań konstruktora. Ale konstruktor to też człowiek i jako taki ma tendencję do idealizowania własnych wyborów. To nic złego, w końcu trudno katować się myślą, że robi się głupstwo pracując w systemie A, bo należało wybrać system B. Konstruktorowi nie wolno jednak myśleć o rozwiązaniach konkurencyjnych w kategoriach – kto nie z nami, ten przeciw nam. Wydaje

się, że konstruktor powinien na chłodno analizować rozwiązania stosowane w innych platformach mikrokontrolerowych i dokonywać wyborów optymalnych pod względem konstrukcyjnym. Warto też zastanowić się, czy koszt przejścia na inną platformę nie da znaczących zysków w przyszłości. To jednak wymaga sporego zaangażowania w poznawanie innych produktów. Zwróćmy jednak uwa-

gę, że przejście międzyplatformowe jest obecnie znacznie łatwiejsze niż niegdyś – każdy producent dostarcza całą gamę systemów ewaluacyjnych umożliwiających rozpoczęcie prób w kilka minut, bez znużonego projektowania płytek drukowanych.

Ceny

Wybór konstruktora nie może nie uwzględniać ceny podzespołów – to prawda wyjątkowo trywialna. Zwróćmy jednak uwagę na pewien mechanizm psychologiczny – zrażeni zbyt wysoką ceną nowości, podświadomie odrzucamy dany typ mikrokontrolera podczas kolejnych analiz ekonomiki zastosowania. Tymczasem erozja cen bywa tak szybka, że to, co było nieopłacalne przy pierwszej analizie, już po pół roku cenowo bije na głowę wszystkie inne znane i sprawdzone rozwiązania. Proste i jasne, ale jak łatwo o tym zapomnieć...

Po analizach ogólnych przejdźmy do praktycznego przykładu i spróbujmy zachęcić konstruktora, do wyboru nowej dla niego platformy mikrokontrolerowej. Nasz wybór padł na bardzo interesujące i konstrukcyjnie unikalne mikrokontrolery PSoc firmy Cypress.

Cypress PSoc

Historycznie rzecz ujmując dzieliliśmy układy na analogowe, cyfrowe i mikroprocesory. Mikrokontrolery pogodziły wymienione grupy i obecnie trudno znaleźć cyfrowy z założenia mikrokontroler, który nie dysponowałby przynajmniej przetwornikiem analogowo-cyfrowym czy cyfrowo-analogowym przetwornikiem PWM. Istnieje jednak platforma mikrokontrolerów o rdzeniu 8-bitowym, która pod względem konstrukcji i możliwościach analogowych istotnie odbiega od konkurencji. Mowa tutaj o rozwiązaniach firmy Cypress, nazywanych przez producenta PSoc Mixed-Signal Arrays.

Przykład z życia nr 2

Zaczynałem i uczyłem się programować w assemblerze na procesorze MOS 6510 w Commodore 64, później uczyłem się Z80, 8085, 8048 i 8051. Gdy po kilku latach przerwy w pracach z mikrokontrolerami poznałem serię ST62, zachwyciłem się jej możliwościami, jakże innymi od tych, które wcześniej znałem. Potem znów była przerwa w mojej aktywności konstrukcyjnej i wróciłem, gdy ATmega8 kosztowała prawie 30 zł. Uznałem, że po przerwie sam nie jestem w stanie wybrać platformy. Wtedy zaufałem radzie Piotra Zbysińskiego i nauczyłem się pracować na AVR. Niedawno znajomy zapytał mnie o systemy związane z informatyką samochodową – tu, tym razem wyłącznie teoretycznie, wybrałbym raczej mikrokontrolery STM. Te zmiany nauczyły mnie jednego – nie warto obawiać się całkowitej zmiany platformy, docelowo korzyści są większe niż problemy.

Programmable System-on-Chip, czyli system programowalny w jednej strukturze półprzewodnikowej jest naturalną konsekwencją 50 lat rozwoju mikroelektroniki. Protoplastą opisanych układów były konstrukcje projektowane do ściśle określonych zadań, nazywane ASIC – Application Specific Integrated Circuits, które mogły być układami analogowymi, cyfrowymi lub analogowo/cyfrowymi. Inną grupę stanowią układy scalone SoC, czyli System on Chip, które łączą w sobie wszystkie potrzebne funkcje użytkowe, minimalizujące użycie elementów dyskretnych w gotowych urządzeniach. Kolejny krok był nieunikniony i dał konstruktorowi elektronikowi możliwość własnoręcznego konfigurowania funkcji analogowych i cyfrowych wewnątrz seryjnego układu scalonego. Firma Cypress poszła jeszcze dalej i obecnie oferuje także układy PProC, czyli Programmable Radio on Chip. Są to programowalne układy z nadajnikiem i odbiornikiem na pasmo 2,4 GHz wbudowanym w strukturę układu scalonego, a jeden z mikrokontrolerów jest jednocześnie układem PSoC. Geneza powstawania układów SoC i ASIC jest prosta – najczęściej w fabryce półprzewodników zamawia je globalny wytwórca np. telefonu komórkowego, który prosi o miniaturowy odbiornik FM. Gdy konstrukcja taka powstaje, a umowy tego nie zabraniają, na rynku pojawia się niedrogi chip, z którego wtedy mogą korzystać wszyscy, nie tylko zamawiający pierwszą partię.

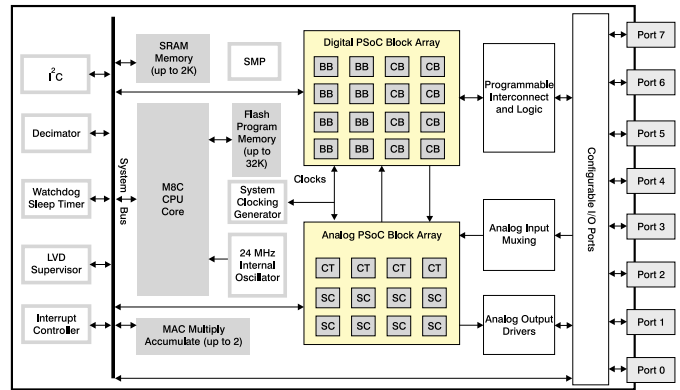
W przypadku firmy Cypress mamy do czynienia z nieco inną sytuacją – powstały układy bardzo uniwersalne, przeznaczone dla szerokiej rzeszy użytkowników, które dają możliwość tworzenia odpowiedników układów ASIC w domowym zaciszu. Na szczególne podkreślenie zasługuje różnorodność i mnogość funkcji analogowych, które są do dyspozycji konstruktora w mikrokontrolerach Cypress.

Budowa mikrokontrolerów PSoC Cypress

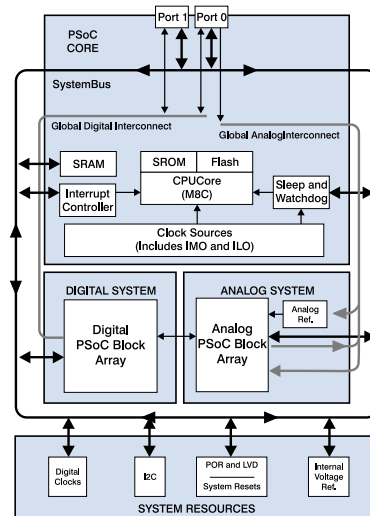
Bardzo ogólny schemat mikrokontrolerów Cypress przedstawia rys. 1. Oprócz standardowych zespołów takich jak CPU, RAM, czy kontroler przewrań, znajdziemy na nim elementy charakterystyczne jedynie dla systemów PSoC. Ich najważniejszą częścią są konfigurowalne bloki cyfrowe i analogowe, pozwalające na tworzenie wzmacniaczy, przetworników ADC i DAC i wielu innych bloków funkcjonalnych, które będą opisane dalej. Za jedną z niewątpliwie najciekawszych cech układów PSoC należy uznać możliwość tworzenia filtrów z podzespołów analogowych. Z kolei widoczny po lewej stronie moduł Decimator jest jednym z zespołów wykorzystywanych czasem w układach DSP, a jego działanie polega na odrzuceniu części próbek z analizowanego sygnału. Mamy więc do dyspozycji bloki analogowe, cyfrowe i nawet zespoły stosowane w DSP – z takimi elementami można zrobić naprawdę dużo. Kolejne rysunki (rys. 2 i rys. 3) przedstawiają schematy blokowe dwóch wybranych mikrokontrolerów PSoC firmy Cypress. Pierwszy z nich (CG6462AM) jest stosunkowo prostym układem przeznaczonym do sterowania wentylatorem, drugi (CY8C24794) układem znacznie lepiej wyposażonym, także w interfejs USB i 7 portów ogólnego przeznaczenia. Inną budową wewnętrzną charakterystyczną jest dla układów z grupy CapSense, czyli czujników pojemnościowych przeznaczonych przede wszystkim do klawiatur bezstykowych, jeszcze inna dla układów przeznaczonych do ekranów dotykowych i innych.

Blok zespołów cyfrowych zawiera dwa rodzaje struktur – BB (Basic Block) oraz CB (Communication Block). Każdy z bloków zawiera m.in. 8-bitowy licznik oraz elementy i wyprowadzenia niezbędne do generacji przerwań i przekazywania sygnałów na wyjście lub do innych bloków. Przy realizacji niektórych funkcji, np. przetwornika analogowo-cyfrowego, bloki cyfrowe współpracują z blokami analogowymi. Wśród zespołów analogowych znajdujemy także dwa rodzaje bloków, które nazywane są CT (Continuous Time) oraz SC (Switched Capacitor). Schematy bloków analogowych wybranych mikrokontrolerów przedstawiają rys. 4 i rys. 5. Nietrudno zauważyć, że bloki analogowe CG6462AM są prostsze niż w przypadku układu CY8C24794 i nazywane są blokami typu „E”. Bloki cyfrowe są w obu przypadkach identyczne – przedstawia je rys. 6. Widoczne w górnej części rysunku symbole portów zależą od ich liczby oraz rodzaju – mogą to być porty uniwersalne lub specjalizowane porty analogowe w niektórych układach. Przedstawione schematy pochodzą z odpowiednich not katalogowych wymienionych procesorów i dobrze oddają główną ideę układów

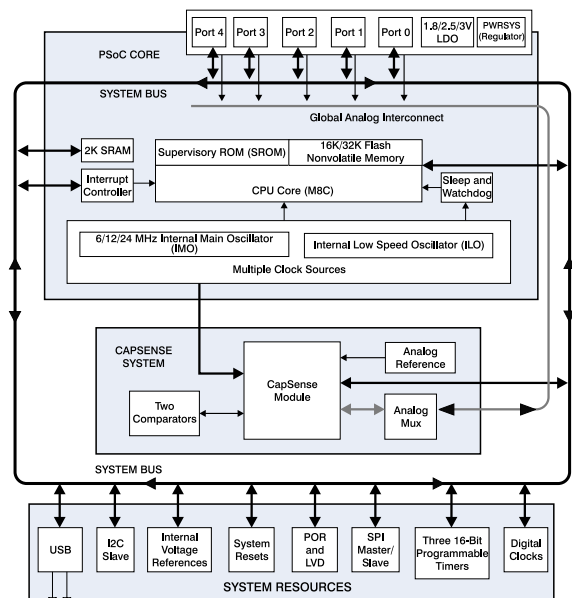
PSoC – każda ich grupa składa się z kilku wersji wykonania różniących się liczbą poszczególnych bloków, portów, wyprowadzeń zewnętrznych i/lub pojemnością pamięci Flash i RAM. W nomenklaturze producenta bloki cyfrowe układów PSoC zgrupowane są w wiersze (row), natomiast bloki analogowe w kolumny (columns). Pokazaliśmy najczęściej spotykane i opisywane w literaturze bloki PSoC, ale nietrudno znaleźć w różnych modelach mikrokontrolerów takie, które odbiegają budową od przedstawionych wyżej. Nie wnikając dalej w szczegóły konstrukcyjne i przeznaczenie poszczególnych bloków, zachęcamy Czytelników do prób projektowych w śródo-



Rys. 1. Ogólny schemat układu PsoC



Rys. 2. Schemat blokowy układu CG6462AM

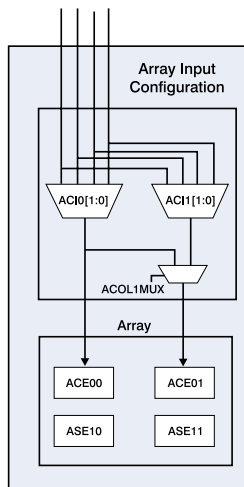


Rys. 3. Schemat blokowy układu PSoC z CapSense – CY8C20246

wisku PSoC, które istotnie ułatwia oswojenie się ze wszystkimi cechami konstrukcyjnymi tych układów. Można też przypuszczać, że wraz z nowymi układami pojawią się nowe konfiguracje i kolejne rodzajów bloków wewnętrznych układów PSoC.

Przedstawione wyżej informacje na temat liczby i organizacji bloków pozornie wydają się być użyteczne dla doboru mikrokontrolera do konkretnego zastosowania. Nie da się przecież zaprzeczyć, że liczba i długość liczników, możliwości kontrolera przerwań czy rozdzielczość przetworników ADC i DAC są bardzo istotne przy wyborze układu. Jednak w przypadku układów Cypress może być zgoła inaczej! Dobór konkretnego mikrokontrolera można przeprowadzić przy użyciu oprogramowania służącego do projektowania całego systemu. Ta metoda jest szczególnie polecana przy pierwszych próbach zastosowania procesorów PSoC, ponieważ w ich przypadku znacznie trudniej szacować zasoby. Zależnie od konfiguracji układu PSoC, cztery liczniki 8-bitowe mogą być użyte jako jeden 32-bitowy, a użycie przetwornika ADC także odpowiednio zmniejsza liczbę wolnych bloków cyfrowych.

Okazuje się więc, że warto znać ogólne założenia budowy układów PSoC, ale podczas praktycznego wyboru nie to jest najbardziej istotne. Więcej na ten temat Czytelnik znajdzie w części poświęconej bezpłatnemu środowisku



Rys. 4. Schemat uproszczonego bloku analogowego typu E układu CG6462AM

programistycznemu dla procesorów PSoC firmy Cypress. Co ważne - w chwili gdy powstaje ten tekst, oprogramowanie PSoC Designer dostarczane jest z notami katalogowymi produktów, których nie można jeszcze kupić (np. CYONS2001), ich dokumentacja również nie jest dostępna na stronie producenta. Z not dostarczonych z programem PSoC Designer wynika, że wkrótce będą dostępne układy PSoC w grupie OvationONS Laser Navigation Solutions. Wymieniony wyżej układ CYONS2001 zawiera zintegrowany nadajnik i odbiornik laserowy oraz nadajnik 2,4 GHz dla bezprzewodowych urządzeń wskazujących (trackball, mysz itp.). Jego specjalizowana konstrukcja zawiera inne bloki analogowe niż wymienione wyżej.

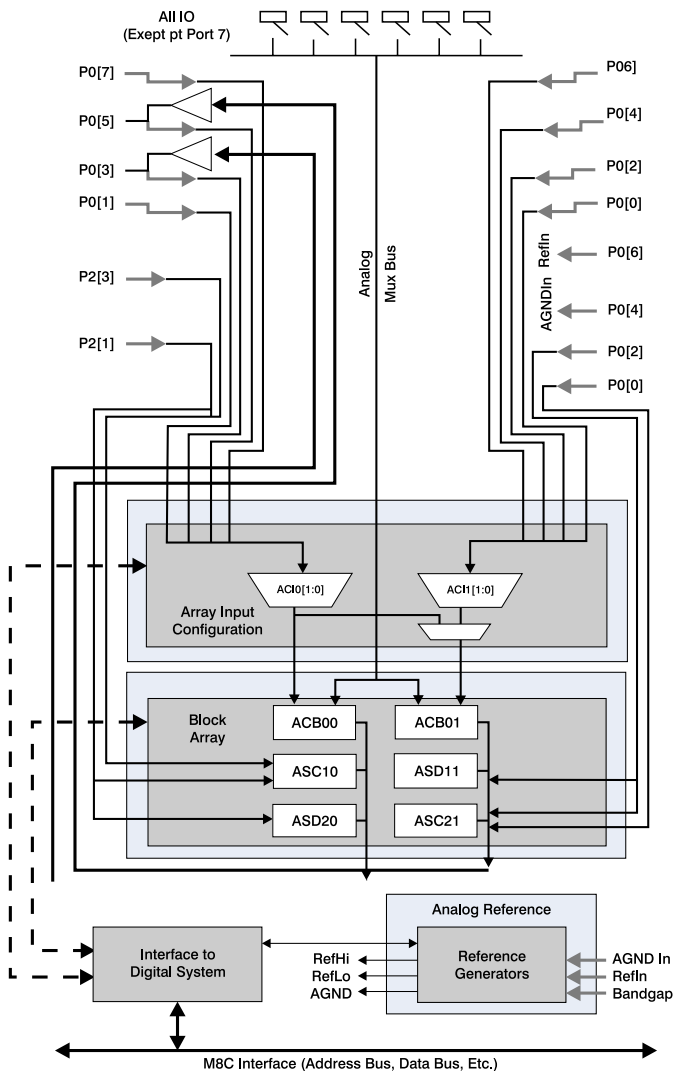
Oprócz wskazanych wyżej możliwości zdefiniowania wielu różnych funkcji cyfrowych i analogowych, do dyspozycji konstruktora pozostaje także konfiguracja układu scalonego – wewnętrzne magistrale umożliwiają prawie dowolne połączenia wewnętrznych bloków z wyprowadzonymi układami. W ten sposób zyskujemy możliwość uproszczenia obwodu drukowanego lub wręcz dopasowania układu scalonego do projektu PCB.

Główne grupy układów PSoC

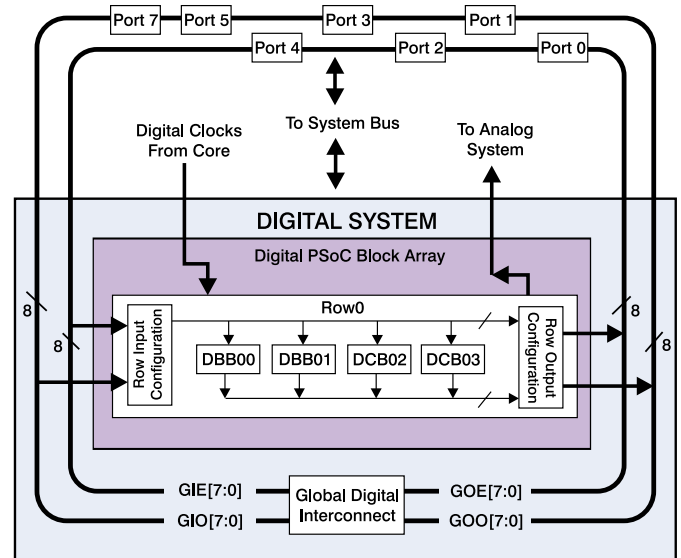
Oprócz układów ogólnego przeznaczenia, w ofercie firmy Cypress znajdziemy także układy PSoC przewidziane do specyficznych zastosowań. Jedną z najbardziej znanych rozwiązań firmy Cypress jest CapSense, czyli technologia szeroko rozumianych czujników pojemnościowych i/lub zbliżeniowych, realizowanych np. za pomocą odpowiednio wytrawionych pól obwodu drukowanego. Po zbliżeniu obiektu do pola czujnika następuje zmiana pojemności, która z kolei powoduje zmianę częstotliwości pracy generatora relaksacyjnego skonfigurowanego wewnątrz układu. Odpowiednio duża różnica częstotliwości jest identyfikowana jako załączenie czujnika, czyli np. naciśnięcie klawisza. Cała technologia jest określana skrótem CSA – CapSense Succesive Approximation. Użytkowo pokrewną do CapSense jest technologia obsługi ekranów dotykowych, jednak w tym przypadku wewnętrzna budowa mikrokontrolerów jest bliższa układom ogólnego przeznaczenia. W tej grupie znajdziemy osobne podgrupy układów przeznaczone do pracy w systemach wymagających identyfikacji dotknięcia pojedynczego lub wielopunktowego (CY8CTMAXXX i CY8CTSTXXX). Trzecia podgrupa (CY8CTMGXXX) stanowią układy przeznaczone do wykrywania gestów (gesture) użytkownika na ekranie dotykowym, czyli np. odróżniania zakreślania kółek od zakreślania prostokątów.

Układy przeznaczone do samochodów (automotive – serie 8CY827x43 i 8CY829x66) od innych odróżniają się przede wszystkim dużą liczbą bloków analogowych (12) i cyfrowych – odpowiednio 8 i 16 w wymienionych seriach i są to układy o strukturze bliskiej układom ogólnego przeznaczenia.

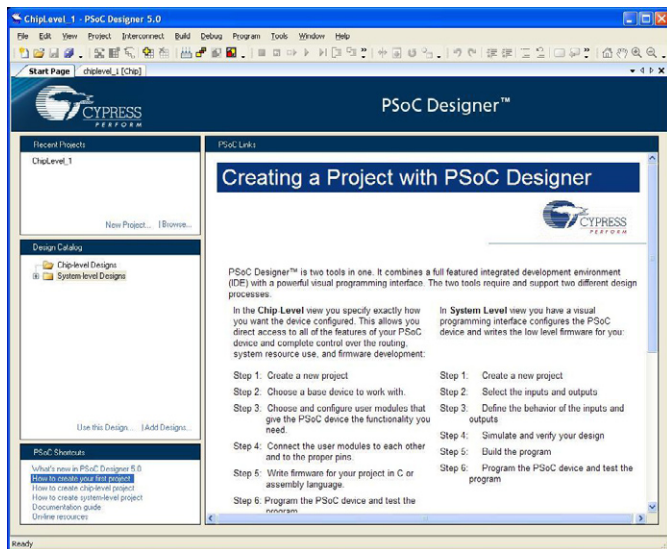
W technologii PSoC firma Cypress realizuje także specjalizowane sterowniki diod LED o wysokiej jasności (CY8CLEdxx), a układy przeznaczone



Rys. 5. Schemat pełnego bloku analogowego



Rys. 6. Schemat bloku cyfrowego układów PSoC



Rys. 7. Ekran startowy programu PSoC Designer 5.0

do sterowania ośmioma i szesnastoma kanałami są wyposażone również bogato co wymienione wyżej układy samochodowe. Ciekawym przykładem możliwości PSoC są expandy portów serii CY8C95x0A, które umożliwiają uzyskanie do 60 dodatkowych portów transmitujących lub odbierających sygnały cyfrowe, wyposażonych w wewnętrzne źródła fali prostokątnej o regulowanym współczynniku wypełnienia oraz pamięć EEPROM. Funkcjonalnie podobne rozszerzenia liczby portów dla linii układów CapSense dostępne są w grupie mikrokontrolerów CY8C20x60. Dwie ostatnie kategorie – sterowniki LED oraz expandy portów – trudno zaliczyć wprost do typowych mikrokontrolerów.

Wśród układów przeznaczonych dla systemów bezprzewodowych znajdziemy również jeden mikrokontroler PSoC – jest to układ niskonapięciowy CY7C603xx. Na zakończenie przeglądu grup układów PSoC trzeba wspomnieć o układach CY8CNP102x, które są mikrokontrolerami ogólnego przeznaczenia, zawierają 16 bloków cyfrowych i 12 analogowych, a oprócz tego wyposażone są w nieulotną (nv – non volatile) pamięć RAM. O układach tych pisaliśmy więcej w EP12/2008.

W większości wymienionych grup znajdziemy układy z wbudowanym interfejsem USB, służącym do połączenia z systemem nadrzędnym, natomiast inne specjalizowane układy USB stanowią całkiem odrębną grupę w ofercie firmy Cypress.

Nie tylko PSoC

Oferta firmy Cypress obejmuje nie tylko opisywane układy PSoC. Zwróćmy tu tylko uwagę na stosunkowo bogato reprezentowaną grupę związaną z USB i łącznością radiową. Specjalizowane układy USB na przełomie lat 2008/2009 obejmują 26 różnych układów, z tym, że najbardziej zaawansowane systemy USB OTG wyposażone są w rdzenie 16-bitowe. Wśród układów dla systemów bezprzewodowych znajdziemy wspomniany wyżej mikrokontroler PSoC oraz specjalizowane nadajniki/odbiorniki na pasmo 2,4 GHz (np. CYWM6935), także w wersjach z wbudowaną funkcjonalnością USB (np. CYWUSB6935).

W grupie systemów nadawczo-odbiorczych na szczególną uwagę zasługują układy PProC (CYRF69xx3) oraz CYWUSB6953, który jest układem PProC i PSoC jednocześnie, a ponadto charakteryzuje się bardzo niskim poborem mocy.

Przedstawiony opis grup układów firmy Cypress warto potraktować jako punkt wyjścia do własnych poszukiwań. Bardzo wygodne tabele i zestawienia układów Cypress według różnych kryteriów dostępne są na

stronach internetowych producenta, ale także lokalnie, po zainstalowaniu oprogramowania PSoC Designer.

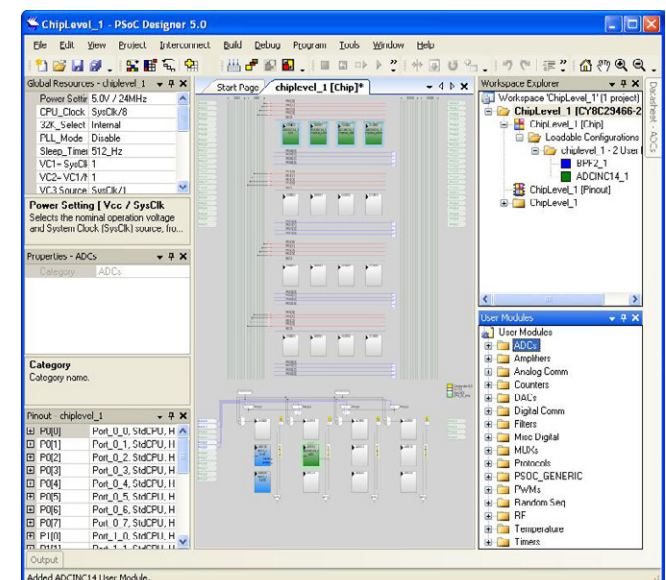
Oprogramowanie dla PSoC

Podobnie jak w przypadku innych rodzin mikrokontrolerów, środowisko umożliwiające pracę z mikrokontrolerami firmy Cypress dostępne jest bezpłatnie. Assembler wchodzi w skład środowiska programistycznego, a jedynym elementem, za który trzeba niestety zapłacić, jest kompilator języka C. Jednak nie jest to kwota zbyt wysoka – na przełomie 2008/2009 był to wydatek rzędu 150 USD w sklepie internetowym firmy Cypress. Do prób wystarczy 45-dniowa wersja próbna o pełnych możliwościach, która po tym okresie nadal umożliwia pracę, jednak może generować jedynie 2 kB kodu wynikowego dla kompilatora C, dla assemblera nie ma żadnych ograniczeń. Czytelnikom, którzy już wcześniej interesowali się układami PSoC, zwracam uwagę, że w 2008 r. koncepcja środowiska uległa niewielkiej zmianie i obecnie mamy do dyspozycji jeden pakiet nazwany PSoC Designer 5.0 (rys. 7), który zastępuje wcześniejsze pakiety PSoC Designer i PSoC Express. Projekty tworzone w aktualnej wersji dzielą się na dwie grupy – związane z konkretnym układem Chip Level oraz System Level, nie wymagający definiowania typu układu na początku procesu projektowania. Pierwszy z poziomów odpowiada wcześniejszej pracy z programem PSoC Designer, natomiast drugi pracy z programem PSoC Express.

Ze względu na specyfikę układów PSoC, także ich środowisko programistyczne zawiera elementy niespotykane w innych rozwiązaniach. Koncepcja całości zakłada, że z tego samego oprogramowania korzystają zarówno początkujący, jak i zaawansowany konstruktor. Po prostu – konstruktor zaawansowany pomija ułatwienia zawarte na zakładce Start Page i przechodzi do pracy nad projektem, natomiast początkujący i/lub uczący się może skorzystać

z prowadzącej krok po kroku dokumentacji i rozpocząć naukę. Wygodne jest to, że podczas instalacji środowiska na dysk kopiowane są noty katalogowe układów Cypress oraz inne potrzebne pliki dokumentacji. Przyjęta organizacja pakietu pozwala na bezproblemowe przełączanie się pomiędzy dokumentacją i tworzonym na jej podstawie projektem, co znacząco ułatwia proces uczenia się i czyni go stosunkowo wygodnym. Całość jest zorganizowana tak, że można pokusić się nawet o postawienie tezy, iż zanim konstruktor dostanie pierwszy układ z serii PSoC do praktycznych testów, powinien zainstalować i poznać oprogramowanie PSoC Designer.

Konstruktorowi nie wolno myśleć o rozwiązaniach konkurencyjnych w kategoriach – kto nie z nami, ten przeciw nam



Rys. 8. Bloki cyfrowe i analogowe układu CY8C29466

Tab. 1. Wybrane układy PSoC firmy Cypress

Układ lub seria	Konfigurowalne bloki analogowe	Konfigurowalne bloki cyfrowe	Flash	RAM	Linie I/O	Zasilanie (V)	Temperatura (°C)
Ogólnego przeznaczenia							
CY8C20x24, CY8C20x34	1	0	8K	512	13/20/24/28	2,4...5,25	-20...70
CY8C20x46	1	0	16K	2048	13/20/28	1,7...5,5	-20...70
CY8C20266, -366, -466, -666	1	0	32K	2048	13/20/28/48	1,71...5,5	-20...70
CY8C23433, -533	4	4	8K	256	24/26	4,75...5,25	-40...85
CY8C24533, -663	4	4	8K	256	25/26	3,0...5,25	-40...85
CY8C24x23A	6	4	4K	256	6/16/24	2,4...5,25	-40...85
CY8C27x43	12	8	16K	256	6/16/24/40/44	3,0...5,25	-40...85
CY8C29x66	12	16	32K	2048	24/40/44/64	3,0...5,25	-40...85
Samochodowe (Automotive)							
CY8C20546-24PVXI	1	0	16K	2048	24	1,71...5,5	-40...105
CY8C20566-24PVXI	1	0	32K	2048	24	1,71...5,5	-40...105
CY8C24223A, -423A (-12PVXE)	6	4	4K	256	16/24	4,75...5,25	-40...105
CY8C27243, -443, -643	12	8	16K	256	16/24/44	4,75...5,25	-40...105
CapSense							
CY8C21x23	4 (typ E)	4	4K	256	6/12/16	2,4...5,25	-40...85
CY8C21x34	4 (typ E)	4	8K	512	12/16/24/28	2,4...5,25	-40...85
CY8CTMG110-32LTXI	4 (typ E)	4	8K	512	28	2,4...5,25	-40...85
CY8CTST110-32LTXI	4 (typ E)	4	8K	512	28	2,4...5,25	-40...85
WirelessUSB							
CYWUSB6953-48LFXC	4 (typ E)	4	8K	512	12	2,7...3,6	0...70

Po zainstalowaniu pakietu trzeba stworzyć nowy projekt na poziomie układu (Chip Level) a następnie przejrzeć dostępne dla danego mikrokontrolera bloki funkcjonalne nazywane modułami użytkownika (User Modules). Zanim jednak to nastąpi, warto także zwrócić uwagę na organizację katalogu układów, który dostępny jest gdy wybieramy mikrokontroler. Różne przekroje i zestawienia pod kątem grupy zastosowań czy zbiorcze tabele obejmujące m.in. wyposażenie wewnętrzne układów pozwalają na wygodny wybór mikrokontrolera Cypress. Oczywiście wybór ten możemy przeprowadzić niezależnie od tego, czy jest to PSoC, czy klasyczny mikrokontroler. Przykładowo, jeżeli wybierzemy dobrze wyposażony układ CY8C29466-24PXI, to będzie można przejrzeć 102 (sto dwa!) moduły funkcjonalne, które można zrealizować w strukturze tego układu. Na rys. 8. widoczny jest główny ekran przedstawiający strukturę wymienionego układu, natomiast okno po prawej stronie na dole przedstawia moduły podzielone na 16 grup funkcjonalnych. W środkowej części ekranu widoczna jest struktura układu, a pokolorowane bloki oznaczają wybrane przez użytkownika moduły. W tym przypadku wybrano dwubiegunowy filtr pasmowy (kolor niebieski) oraz 14-bitowy przetwornik ADC (kolor zielony). Filtr wymaga

dwóch bloków analogowych, natomiast przetwornik ADC czterech bloków cyfrowych i jednego analogowego. Taką techniką można stosunkowo łatwo oszacować cyfrowe i analogowe zasoby wewnętrzne mikrokontrolera PSoC niezbędne do projektu, a następnie przenieść się do uboższego układu, aby na nim sfinalizować rzeczywisty projekt.

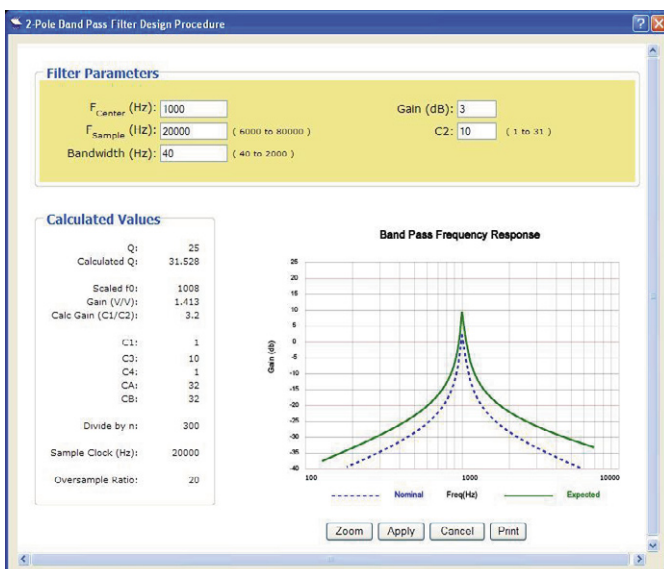
Na podkreślenie zasługuje obecność narzędzia wspomagającego projektowanie filtrów, które przedstawiono na rys. 9. Przerywana linia niebieska przedstawia charakterystykę idealną filtra, zielona pokazuje możliwą do zrealizowania w układzie. Na rysunku linie odsunięto od siebie, w rzeczywistości dla podanych parametrów częstotliwościowych charakterystyki można było zgrać prawie idealnie.

Dalszą część procesu projektowania można łatwo przećwiczyć korzystając z opisów i przewodnika z zakładki Start Page, co gorąco polecamy naszym Czytelnikom.

Projektowanie na poziomie systemowym (System Level) można określić jako typowe dla każdego systemu umożliwiającego projektowanie systemu z gotowych bloków takich jak przycisk czy wyświetlacz LCD. Jest to sposób nazywany projektowaniem wizualnym, a PSoC Designer jest odpowiednikiem Realizera dla układów STM i innych. Przy projektowaniu wizualnym wybieramy bloki wejścia i wyjścia oraz definiujemy dla nich odpowiednie funkcje. Najprostszy przykład, to przycisk i dioda LED, która po naciśnięciu przycisku powoli gaśnie lub zaczyna migać. Stworzenie małego programu, który zaświecał jedną diodę stopniowo ją rozjaśniając, podczas gdy druga w tym czasie zaczynała migać zajęło kilka minut. Po kilku kolejnych minutach możliwe było sterowanie dwoma innymi diodami za pomocą potencjometru. To w gruncie rzeczy banalne programy, ale nigdy nie postaną w kilka minut, gdy bierzemy do ręki nowy dla siebie rodzaj mikrokontrolera, a tak było w opisanym przypadku. Dodajmy jeszcze, że system PSoC Designer ma także moduł symulacji, może także współpracować z debuggerem sprzętowym. Do dyspozycji projektanta są także sterowniki dopasowane do układów scalonych innych producentów. W tym przypadku chodzi o to, że gdy zadeklarujemy użycie akcelerometru typu ADXL322 ($\pm 2g$), to niezależnie od fizycznej wartości napięć z tego układu (typowo 0,66...2,34 V), dalsza część projektowanego systemu operuje na przeliczonych wartościach przyspieszenia, czyli liczbach z zakresu -2000...2000.

Zestawy ewaluacyjne

Podobnie jak wszyscy inni wytwórcy układów scalonych, także Cypress oferuje zestawy ułatwiające rozpoczęcie pracy z układami tej firmy. Do



Rys. 9. Projektowanie filtra w układzie PSoC CY8C29466

dyspozycji są dwie główne grupy, z których pierwszą można nazwać zestawami ewaluacyjnymi dla początkujących, drugą natomiast należy zaliczyć do profesjonalnych systemów uruchomieniowych. Najtańszy zestaw, bardzo zgrabnie nazwany FirstTouch Starter Kit, umożliwi łatwe zapoznanie się z technologią CapSense. Po rozbudowie o płytki rozszerzeń, ten sam zestaw może także posłużyć do zapoznania się z technologiami transmisji bezprzewodowej CyFi LowPower. Do tego zestawu dostępny jest także moduł nazwany Environmental Sensing Kit, który z kolei umożliwia wykonanie eksperymentów np. z czujnikiem temperatury przekazującym informacje drogą radiową.

Drugim zestawem, na który chcemy zwrócić uwagę, to CY3209-Express EVK. Na przełomie 2008/2009 kosztował ok. 140 USD w sklepie internetowym firmy Cypress, a w jego skład wchodzi aż cztery różne mikrokontrolery oraz dwa moduły radiowe. Wszystkie cztery podsystemy znajdują się na jednej płycie drukowanej i połączone są ze sobą magistralą I²C. Do dyspozycji mamy mały mikrokontroler CY8C2134, dzięki któremu można zapoznać się z technologią CapSense. Z kolei układ CY8C24894 pozwala stworzyć aplikacje wykorzystujące wbudowany interfejs USB, a w części obsługiwanej przez CY8C27643 zainstalowany jest wspomniany już wcześniej akcelerometr ADXL322. Czwartą część płytki zawiera dobrze wyposażony układ CY8C29666 wraz z kluczami tranzystorowymi do siedmiosegmentowego wyświetlacza LED. Każdy z modułów jest ponadto wyposażony w interfejs modułu radiowego CyFi. Wydaje się, że ten moduł jest rozwiązaniem godnym polecenia, tam gdzie konstruktor szuka ciekawych rozwiązań i jest otwarty na nowe konstrukcje.

Zestawów projektowych jest wiele, ich aktualna lista dostępna jest na stronach internetowych firmy Cypress, a oprócz opisanych wyżej systemów uniwersalnych, znajdziemy rozbudowane układy projektowe dla konkretnych grup zastosowań. Polscy dystrybutorzy zapewniają, że ceny dla polskich klientów nie odbiegają od podanych na stronach Cypress.

Tylko Cypress?

Ostatnie 20 lat przyzwyczailo nas do tego, że każda działalność i każdy produkt ma swoją konkurencję. W przypadku układów PSoC firmy Cypress jest jednak inaczej – konkurencji bezpośredniej w tej dziedzinie nie ma, ale istnieją rozwiązania podobne w tym sensie, że funkcje układu są programowane przez użytkownika.

W dziedzinie układów analogowych częściowe podobieństwo wykazują układy firmy Anadigm, spółki Join Venture założonej w 2000 roku przez Motorolę. Co ciekawe układy FPAA (*Field Programmable Analog*

Array) oraz dpASP (*dynamically programmed Analog Signal Processors*) wykorzystują znany z PSoC blok *switched capacitor* i są przeznaczone do systemów, gdzie istotna jest możliwość zmiany parametrów analogowych urządzeń podczas pracy. Układy sterowane są cyfrowo, a z systemu nadrzędnego można zmieniać parametry filtrów, wzmacnienie wzmacniaczy czy nawet zmieniać funkcje procesorów analogowych – np. logarytmowanie na mnożenie czy sumowanie. Według danych ze stron Internetowych producenta układy stosuje się bardzo często z procesorami DSP w układach medycznych, pomiarowych, samokalibrujących itp.

W obszarze układów cyfrowych funkcje PSoC można w pewnym zakresie realizować w układach CPLD czy FPGA, ponieważ ich funkcje w całości programuje użytkownik i o ile nie ma potrzeby stosowania części analogowej, wymienione technologie pozwalają na stworzenie własnego układu ASIC. Z kolei AVR oferuje układy AT94K i AT94S, które nazywane są FPSLIC – *Field Programmable System Level Integrated Circuit*, a w swojej strukturze zawierają rdzeń 8-bitowego mikrokontrolera AVR oraz matrycę FPGA. Można przyjąć, że z dokładnością do obecności bloków analogowych, jest to rozwiązanie najbliższe koncepcji PSoC.

Z punktu widzenia poszukiwań układów PSoC w Internecie, jeszcze inne podejście prezentuje firma ST Microelectronics. Poszukując rozwiązań PSoC dowiemy się, że to właśnie STM może dla nas przygotować dowolny układ SoC z elementów, które wybiera użytkownik. Pozostaje tylko życzyć wszystkim polskim konstruktorom, aby mieli okazję jak najczęściej zamawiać własne układy SoC.

Podsumowanie

Wybór konstruktora nie powinien ograniczać się do małego zakresu „znanych i lubianych” mikrokontrolerów. Łatwo może się okazać, że poszukanie czegoś nowego, sięgnięcie krok dalej, otwiera nowe możliwości i istotnie ułatwia pracę, a przy okazji gotowe projekty są tańsze.

Mariusz Dec, EP
mariusz.dec@ep.com.pl

Podczas przygotowywania niniejszego tekstu wykorzystaliśmy następujące zestawy ewaluacyjne:

CY3210-PSOCEXPEVAL1
CY3212-CapSense
dostarczone przez oficjalnego dystrybutora Cypress w Polsce:

Arrow Electronics Poland Sp. z o.o.
ul. Rzymowskiego 53
02-697 Warszawa, tel. 022 558-82-82
salesoffice.warsaw@arrow.com

CY3209-ExpressEVK
dostarczone przez międzynarodowego dystrybutora Cypress:

Future Electronics Poland
ul. Panieńska 9
03-704 Warszawa
tel. 022 618-92-02
www.futureelectronics.com




CODE SMARTER, TEST FASTER

with Parasoft C++test for embedded software development teams

www.parasoft-embedded.com