

2,4 GHz dla każdego

Tak było też z pasmem 433 MHz - kiedyś wymagającym sporo wysiłku od konstruktora, a zatłoczonym już ponad miarę przez wszelkiego rodzaju piloty, alarmy i inne urządzenia, które na stałe zagościły w naszym życiu. Podobnie jest z pasmem 868 MHz - przecież to pra-

wie 1 GHz, a nikt się nie krzywił, tylko wszyscy zaczęli starannie zagospodarowywać kolejny fragment „eteru“. Niestety oba te pasma mają jedną cechę wspólną - są bardzo wąskie (433 MHz - 1,74 MHz, 868 MHz - 2,00 MHz) i przez to nie jest możliwa jednoczesna

praca wielu urządzeń (lub szybka transmisja danych). W Europie możemy tylko pomarzyć o komforcie jaki mają konstruktorzy amerykańscy, gdzie w paśmie 900 MHz jest do dyspozycji aż 26 MHz. W takich warunkach układy transceiverów nRF903 (firmy NordicVLSI) mogą pracować aż na 169 kanałach, podczas gdy europejskie pasmo 868 MHz pomieści ich najwyżej 10. W tym miejscu uważny Czytelnik dostrzeże następny problem: firmy o zasięgu globalnym muszą przygotowywać co najmniej dwie wersje urządzeń: „amerykańską“ i „europejską“, często także trzecią - „dalekowschodnią“. Pociąga to za sobą koszty, z którymi wszyscy tak zażycie teraz walczą.

Remedium na te problemy stało się pasmo 2,4 GHz, do-



Jeszcze nie tak dawno (przynajmniej z punktu widzenia autora)

częstotliwości powyżej 100 MHz stanowiły niedostępną „krajinę“.

Dominowały tam lampy, tylko gdzieś niedziedzie

pojawił się jakiś

tranzystor, o układach

scalonych mowy nie

było. A jeżeli ktoś

gdzieś napotkał

częstotliwości wyrażane

w GHz, to

najprawdopodobniej

wszedł w posiadanie

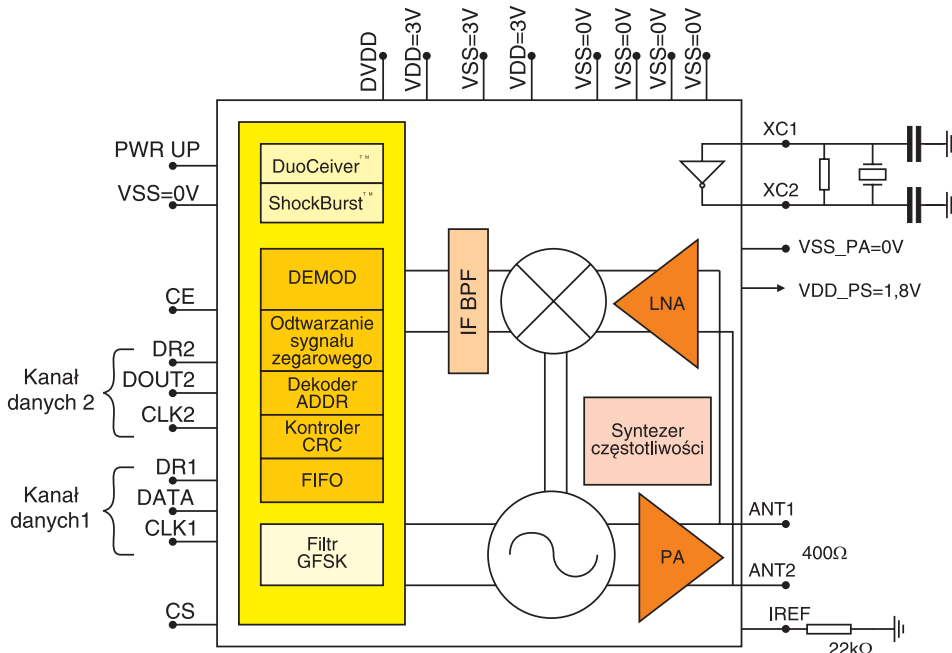
materiałów wojskowych.

Ale czasy się zmieniają

i to, co było kiedyś

poza zasięgiem, jest

teraz codziennością.



Rys. 1. Schemat blokowy układu nRF2401

stępne praktycznie wszędzie i na bardzo podobnych warunkach. Wystarczy więc jeden projekt, aby obsłużyć cały świat. Pasma to jest też bardzo szerokie - w naszym regionie aż 83,5 MHz - pomieści więc wiele kanałów lub pozwoli na bardzo szybką transmisję danych. Tutaj mała uwaga - ci, którzy sądzą, że pasmo 2,4 GHz jest przydzielone na wyłączność bezprzewodowym lokalnym sieciom komputerowym (WLAN) lub też Bluetooth są w błędzie. Jest to po prostu jedno z wielu pasm ogólnodostępnych określanych często jako ISM (z angielskiego *Industrial-Scientific-Medic*).

Czyżby same zalety? Właściwie tak, ale 2,4 GHz to już naprawdę dużo. Przy tej częstotliwości kondensator to

już nie sama pojemność, cewka to nie sama indukcyjność, a prawie każdą ścieżkę trzeba traktować jako linię długą. Innymi słowy, bez bogatej wiedzy na temat projektowania i uruchamiania układów wysokiej częstotliwości oraz dobrze wyposażo-

VLSI wprowadził do produkcji układy nRF2401 - w pełni zintegrowane transceivery na pasmo 2,4 GHz.

Pełna integracja

Z elementów zewnętrznych wymaganych w poprzednich układach firmy NordicVLSI

'51 wieczenie żywy!
Rdzeń '51 wykorzystała w swoim scalonym z mikrokontrolerem transceiverze firma Chipcon. Układ CC1010 jest przystosowany do pracy w pasmach 315/433/868 MHz, ma wbudowaną m.in. pamięć programu typu Flash oraz sprzętowy moduł kryptograficzny DES.

nego laboratorium nie było sensu rozpoczynać projektu na 2,4 GHz. I było tak aż do momentu, w którym Nordic-

(nRF401, nRF903) w nRF2401 został już tylko kwarc i jeden rezystor. Wszystkie pozostałe, łącznie z cewką lokalnego oscylatora znalazły się wewnątrz. Widać to doskonale na rys. 1 pokazującym strukturę wewnętrzną układu oraz niezbędne elementy zewnętrzne.

Nowe pasmo - nowe możliwości

Kanały w nRF2401 można wybierać z krokiem 1 MHz, tak więc w naszym rejonie mamy ich do dyspozycji ponad 80. Na każdym z nich

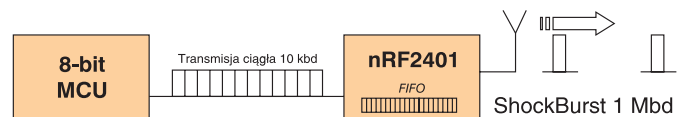
można transmitować dane z szybkością 1 Mb/s (przy czułości odbiornika -85 dBm) lub 250 kb/s (przy czułości odbiornika -95 dBm).

Shock burst - żeby programistom żyło się łatwiej, a układ pobierał mniej prądu

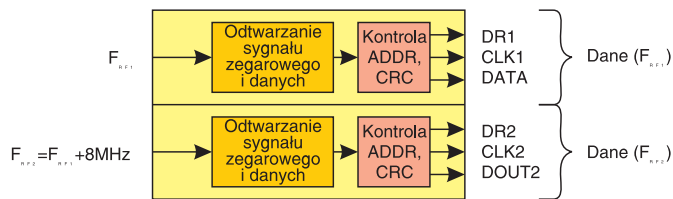
Całkowitą nowością jest tryb pracy określany jako *burst mode*. W tym trybie mikrokontroler wysyła do nRF2401 sygnały z taką szybkością jaka jest dla niego najwygodniejsza (np. 10 kb/s jak pokazano na rys. 2). Po wypełnieniu wewnętrznego bufora układ automatycznie oblicza sumę kontrolną (CRC8 lub CRC16), dodaje adres odbiorcy oraz sekwencje rozbiegową. Dopiero po tym wszystkim włączany jest nadajnik, który wysyła dane z maksymalną szybkością (1 Mb/s lub 250 kb/s). Podobny proces odbywa się w torze odbiorczym - nRF2401 sam odrzuca sekwencję rozbiegową, sprawdza adres i sumę kontrolną. Dopiero po odebraniu bezbłędneho pakietu ze zgodnym adresem układ zgłasza mikrokontrolerowi gotowość danych, które mogą być przeczytane z bufora z dowolną szybkością. Dzięki temu średni pobór prądu przy nadawaniu jest bardzo mały i zmniejsza się ryzyko kolizji pakietów, a mikrokontroler odciążony jest od czasochłonnych zadań związanych z obsługą transmisji. Oczywiście zbędne jest wstępne kodowanie danych (np. kod Manchester).

DuoCeiver - czyli podwójny odbiornik

Jeżeli chcemy jednocześnie odbierać dane z dwóch źródeł, nie potrzebujemy drugiego układu nRF2401, wystarczy włączyć drugi tor odbiorczy. Z punktu widzenia użytkownika wygląda on jak całkowicie niezależny odbiornik, z własnym buforem dla trybu *ShockBurst* i własnymi wyjściami sygnału. Dzięki dwóm buforom można odbierać pakiety danych przychodzące jednocześnie na obu kana-



Rys. 2. Zasada nadawania danych w trybie *burst*



Rys. 3. Dzięki dwóm buforom wejściowym układ nRF2401 może odbierać dane jednocześnie w dwóch kanałach radiowych

łach (rys. 3). Jedynym ograniczeniem trybu *DuoCeiver* jest stały odstęp międzykanałowy wynoszący 8 MHz.

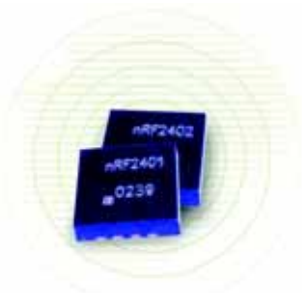
1,9 V, czyli jeszcze raz o poborze energii

Jedną z korzyści wynikających z wykorzystania technologii CMOS 0,18 μm było obniżenie minimalnego napięcia zasilania do 1,9 V. Ponieważ maksymalne napięcie zasilania wynosi 3,6 V, układ może być zasilany z dwóch baterii bez konieczności stosowania przetwornicy, przy czym wykorzystana zostanie cała energia dostępna w ogniwach.

Przy nadawaniu z pełną mocą wynoszącą 0 dBm (1 mW) układ pobiera 13 mA. Przy odbiorze pobór prądu zależy od konfiguracji toru odbiorczego i mieści się między 18 mA (250 kb/s, jeden tor odbiorczy) a 25 mA (1Mb/s, dwa torów odbiorcze). Przeliczając to na warunki rzeczywiste, układ nRF2401 wymieniający 256 bitów danych co 1 sekundę może pracować ponad 5 lat zasilany z baterii o pojemności 280 mAh.

Obudowa, czyli wymogi miniaturyzacji

Układy nRF2401 są zamknięte w 24-nóżkowej obudowie QFN (fot. 4). Dzięki temu



Fot. 4. Układy nRF2401 są dostarczane w obudowach QFN24

powierzchnia zajmowana przez układ jest niewielka w porównaniu z układami w obudowach SSOP. Niestety nie ma innych obudów niż QFN, co z pewnością komplikuje życie amatorom niedysponującym sprzętem do lutowania takich elementów.

Kłopoty z płytką drukowaną?

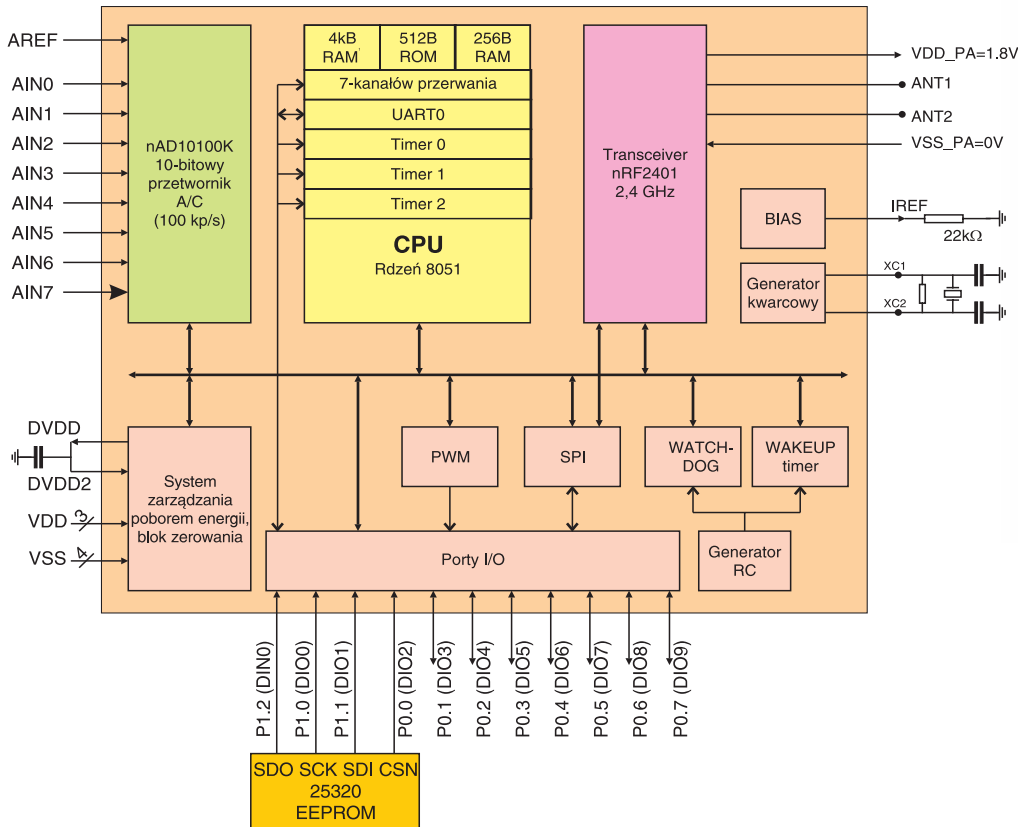
Jak do tej pory projektanci układów na wysokie częstotliwości musieli dużo czasu poświęcać na zaprojektowanie płytki drukowanej. Wiele elementów jest bardzo podatnych na zakłócenia zewnętrzne, szczególnej uwagi wymagają cewki generatorów (VCO), filtry pośredniej częstotliwości i filtry PLL. Wraz z pojawieniem się nRF2401 problemy te znikają, ponieważ wszystkie te obwody są zrealizowane w strukturze układu.

Tak jak już było wspomniane, na zewnątrz pozostaje tylko kwarc i jeden rezystor. Jest to

bardzo znaczący postęp i teraz nawet firmy bez fachowców od wysokich częstotliwości mogą śmiało rozpocząć projekty urządzeń pracujących w paśmie 2,4 GHz. Dodatkowym ułatwieniem są przygotowane przez NordicVLSI gotowe wzory płytek drukowanych. Dzięki nim czas wdrożenia jest praktycznie wyznaczony przez czas niezbędny do oprogramowania mikrokontrolerów współpracujących z nRF2401.

Czy można jeszcze bardziej uprościć?

Wydaje się, że nie. Dwa elementy zewnętrzne to już naprawdę niewiele. Ale przecież tor radiowy to nie wszystko. W prawie wszystkich aplikacjach radio jest tylko kanałem wymiany danych między mikroprocesorami



Rys. 5. Schemat blokowy układu nRF24E1

rami (mikrokontrolerami), czyli że z każdym nRF2401 będzie współpracował jakiś mikrokontroler. Gdyby więc tak połączyć jedno z drugim to... otrzymamy nRF24E1. Dzięki technologii 0,18 μm CMOS jest to bardzo łatwe i co ważne - niedrogie. Cóż więc zawiera nRF24E1?

W skrócie jest to (rys. 5): jądro 8051, 3 timery/liczniki, łącze UART i SPI, 9-kanałowy 12-bitowy przetwornik A/C, układ PWM, watchdog, oscylator RC, no i oczywiście kompletny transceiver o parametrach identycznych z nRF2401. Do dyspozycji jest 256 bajtów RAM ogólnego przeznaczenia i 4 kB RAM pełniących funkcję pamięci programu. Tak, program wykonywany jest z pamięci RAM. W związku z tym po zerowaniu mikroprocesor nie zaczyna wykonywania programu od adresu 0x0000h, tylko od 0x8000h, gdzie w pamięci ROM zapisany jest *boot-loader*. Program ten odczytuje przez złącze SPI pamięć nieulotną, której zawartość zostanie przepisana do wewnętrznej pamięci RAM.

Jądro 8051 zostało zaprojektowane z myślą o oszczęd-

ności energii i przy pracy z zegarem 16 MHz pobiera zaledwie 3 mA. Jeżeli do tego dodać, że jądro jest 4-taktowe, czyli trzy razy szybsze od standardowych 8051, otrzymamy bardzo dobrą relację wydajności do poboru energii. Włączenie przetwornika A/C zwiększy pobór prądu o zaledwie 0,9 mA. W urządzeniach bateryjnych bardzo przydatny jest tryb *power down*, w którym

układ pobiera zaledwie 2 μA, przy czym cały czas działa wewnętrzny układ oscylatora RC. Dzięki temu nRF24E1 będzie sam się budził w zaprogramowanych odstępach czasu.

To wszystko zamknięte jest w 36-nóżkowej obudowie QFN, na zewnątrz której potrzebny jest tylko kwarc, jeden rezystor i pamięć szeregową. Oczywiście tak jak dla poprzedniego układu tak

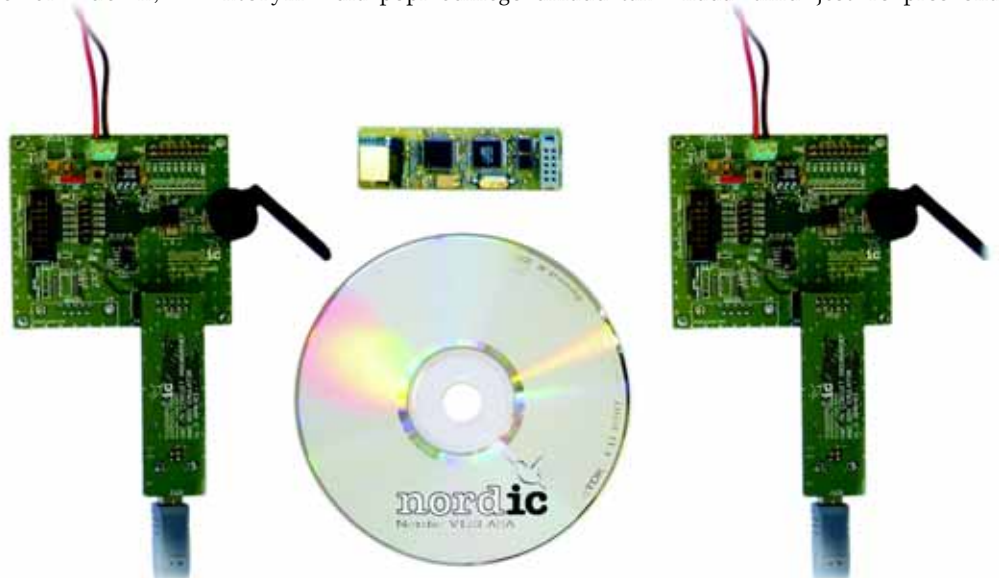


i dla nRF24E1 dostępne są gotowe do wykorzystania wzory płytek drukowanych.

nRF24XX a inni użytkownicy pasma 2,4 GHz

Jak już wspomniano, pasmo 2,4 GHz jest ogólnodostępne i musi być współdzielone pomiędzy wielu użytkowników. Najczęściej napotkamy w nim bezprzewodowe lokalne sieci komputerowe (WLAN) oraz urządzenia wyposażone w Bluetooth. Powstaje zatem pytanie, jak w ich obecności będą działać układy nRF24XX oraz jak zareagują na sygnały z nich pochodzące.

Urządzenia WLAN w zdecydowanej większości wykorzystują modulację z widmem rozproszonym. Dzięki temu energia sygnału przy nadawaniu jest rozproszona



Fot. 6. Przykładowy zestaw startowy dla układów nRF2401



na wiele (typowo 22) kanałów i jej poziom w jednym kanale jest stosunkowo niewielki i nie wpływa na pracę klasycznych (wąskopasmowych) odbiorników. Tak samo przy odbiorze, wąskopasmowe sygnały pochodzące z układów nRF24XX nie zakłócają pracy odbiorników przystosowanych do modulacji szerokopasmowej.

Nieco inna sytuacja jest z Bluetoothem. Ten system komunikacji bezprzewodowej wykorzystuje te same rozwiązania co nRF24XX. Jednakże integralną częścią protokołu Bluetooth jest ciągła zmiana częstotliwości (*frequency hopping*). Na jednym kanale urządzenie Bluetooth nadaje przez 625 μ s. Jeżeli więc urządzenie z Bluetoothem „trafi” w kanał, na którym nadaje nRF24XX, to łączność zostanie zakłócona. Ale jest to tylko 625 μ s, więc nie wpłynie to znaczą-

co na wydajność systemu a z zakłóceniami i zanikami projektant łączy radiowego musi się zawsze liczyć. Próby przeprowadzone z wieloma urządzeniami (8 i więcej) nie spowodowały zauważalnego spadku szybkości transmisji danych przez nRF24E1.

Na dobry początek: zestawy startowe, narzędzia...

Do wszystkich swoich układów NordicVLSI oferuje zestawy startowe (fot. 6), które pozwalają na wykonanie natychmiastowych prób. W skład zestawu wchodzi dwa moduły, które można połączyć z komputerem PC oraz odpowiednio oprogramowanie.

Do programowania nRF24E1 można wykorzystać każde narzędzie (assembler, kompilator) po uzupełnieniu plików nagłówkowych o rejestry specyficzne dla tego układu. Jeżeli jednak szukamy rozwiązania firmowego, to NordicVLSI poleca środowisko firmy Keil, które wyposażone jest w program monitora pozwalającego na uruchamianie programów bezpośrednio na nRF24E1. Oczywiście nic nie stoi na przeszkodzie, aby zacząć bez zestawu startowego. Skorzystanie z gotowych wzorów płytek drukowanych i kwarcu o parametrach podanych w karcie katalogowej gwarantuje poprawną pracę układu, a napisanie programu na 8051 nie powinno być problemem. Czyli - konstruktorzy do dzieła!

Witold Barycki, Eurodis

Dodatkowe informacje

Więcej informacji można uzyskać w firmie Eurodis Electronics Poland Sp. z o.o, tel. (71) 301-04-00, www.eurodis.com.pl.

