

Najnowsze układy do lokalnej łączności radiowej produkcji NXP

W ciągu ostatnich kilku lat bardzo szybko rośnie popularność systemów łączności radiowej bliskiego zasięgu. Po sukcesie Bluetooth przyszła pora na układy oparte na specyfikacji IEEE 802.15.4, które są coraz częściej stosowane w teledzieleniu, zdalnym sterowaniu i do budowy lokalnych sieci transmisji danych. Nic dziwnego, że każdy liczący się producent podzespołów elektronicznych chce je mieć w swojej ofercie. Do grona producentów takich układów dołączyła firma NXP. Artykuł prezentuje najnowsze rozwiązania NXP w zakresie lokalnej radiowej transmisji danych.

Pierwsze półrocze 2010 było dla NXP okresem bardzo szybkiej rozbudowy oferty układów radiowych, zgodnych ze specyfikacją IEEE802.15.4. W tym czasie weszły do produkcji układy odbiornika OL2300, nadajnika OL2311 oraz transceivera OL2381. Układy te pracowały w pasmach ISM: 315,

433, 868 i 915 MHz. Jednocześnie zakupiono brytyjską firmę Jennic mającą w swojej ofercie układy radiowe 802.15.4 na pasmo 2,45 GHz oraz protokoły sieciowych stosów komunikacyjnych ZigBee Pro, JenNet i 6LoWPAN. Obecnie w ofercie NXP są dwa mikrokontrolery Jennic zintegrowane z to-

rem radiowym: JN5139 i JN5148. Towarzyszy im bardzo bogaty zestaw oprogramowania, obejmujący wspomniane protokoły ZigBee Pro, JenNet i 6LoWPAN, środowisko programowe i narzędzia do tworzenia aplikacji, a także gotowe moduły sprzętowe i zestawy ewaluacyjne.

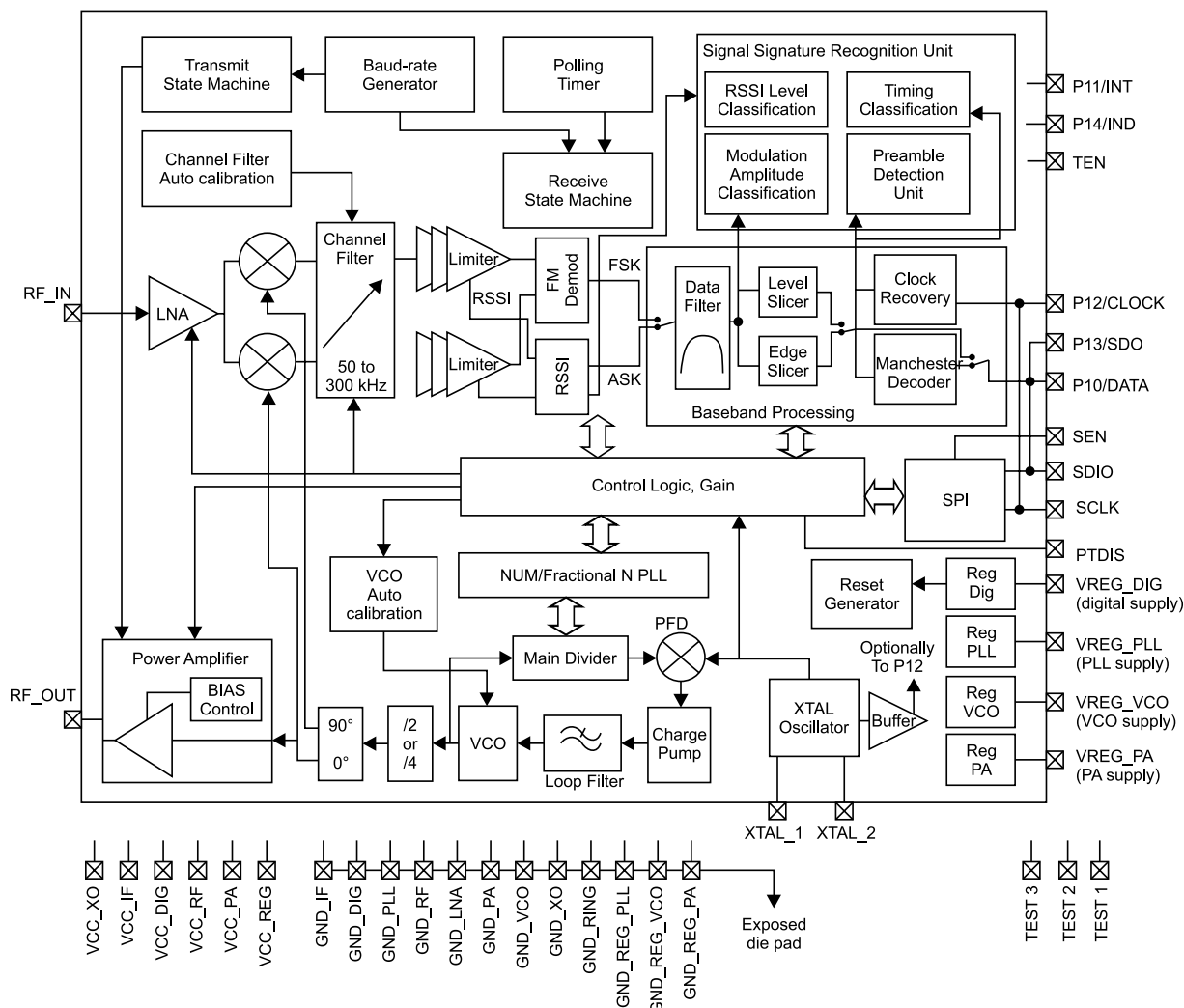
Układy rodziny OL23xx

Jak przystało na jednego z liderów branży elektronicznej, firma NXP zadebiutowała układami o bardzo dobrych parametrach i rozbudowanych funkcjach. Podstawowe parametry układów należących do rodziny przedstawione są w **tabeli 1**.

Transceiver OL2381 integruje funkcje nadajnika OL2300 i odbiornika OL2311, dlatego ten układ zostanie omówiony dokładniej.

Schemat blokowy transceivera przedstawia **rysunek 1**. Sterowanie funkcjami nadawania i odbioru jest realizowane za pośrednictwem sekwencyjnych układów wielostanowych (*Transmit/Receive State Machine*). Układ wyposażony jest w bank rejestrów SFR, za których pośrednictwem są realizowane wszystkie funkcje konfiguracji i sterowania transmisją. Pięć pinów I/O (P10 – P14) może być konfigurowanych przez użytkownika do pełnienia wybranych funkcji alternatywnych. Transceiver może współpracować zarówno z wydajnymi mikrokontrolerami o dużych możliwościach (stacja bazowa), jak i z energooszczędnymi mikrokontrolerami o małej liczbie wyprowadzeń (baterijne urządzenie końcowe). Zależnie od aplikacji, możliwe są różne konfiguracje interfejsu komunikacyjnego. W najprostszym wypadku do komunikacji wystarczy 4-liniowy interfejs SPI (**rysunek 2a**), służący do komunikacji z rejestrami oraz wysyłania/odbioru danych. Sterowanie transmisją jest realizowane przez wewnętrzzną logikę transceivera. W bardziej rozbudowanej wersji możliwe jest bezpośrednie wysyłanie/odbieranie danych za pośrednictwem linii DATA/CLOCK (**rysunek 2b**). Układ może pracować w trybie modulacji ASK, FSK lub GFSK na dowolnie wybranych kanałach pasma ISM

Tabela 1. Parametry układów radiowych OL23xx			
Typ układu	OL2300	OL2311	OL2381
Funkcja	Nadajnik	Odbiornik	Transceiver
Zasilanie	2,1 do 3,6 V	2,1 do 3,6 V	2,1 do 3,6 V
Zakres temp. pracy	-25...+85°C	-25...+85°C	-25...+85°C
Prąd w stanie Power Down	50 nA	500 nA	500 nA
Zakres częstotliwości nośnych	300...920 MHz	300...928 MHz	300...928 MHz
Częstotliwość kwarcu	9...19 MHz	16 MHz	16 MHz
Parametry nadajnika		-	
Pobór prądu: Gen.kwarcowy	180 µA		900 µA
PLL	1,3 mA		5 mA
Nadawanie przy 0 dBm	7 mA		14 mA
Maksymalna moc wyjściowa	do 12 dBm		do 10 dBm
Szybkość transmisji	do 112 kb/s		do 112 kb/s
Modulacja	ASK, FSK		ASK, FSK
Szum fazowy przy 100 kHz	-76 dBc		-86 dBc
przy 100 MHz	-115 dBc		-130 dBc
Parametry odbiornika	-		
Pobór prądu		16,5 mA	16,5 mA
Szybkość transmisji		do 112 kb/s	do 112 kb/s
Modulacja		ASK, FSK	ASK, FSK
Czułość ASK		-118 dBm	-118 dBm
FSK, szer. kanału 50 kHz		-112 dBm	-112 dBm
Tłumienie sąsiednich kanałów		10 dB	10 dB
Tłumienie kanałów lustrzanych		40 dB	40 dB
Szer. pasma filtru kanałowego		50 do 300 kHz	50 do 300 kHz
Okres próbkowania nasłuchu		1 do 4096 ms	1 do 4096 ms
Miernik RSSI Zakres dynamiki		80 dB	80 dB
Dokładność/tolerancja		±12 dB/±3 dB	±12 dB/±3 dB
Obudowa	HVQFN16	HVQFN32	HVQFN32



Rysunek 1. Schemat funkcjonalny transceiwera OL2381

Pętla synchronizacji fazowej typu Fractional-N

Generatory z pętlą synchronizacji fazowej PLL są powszechnie stosowane w układach syntezy częstotliwości nadajników i odbiorników radiowych. Klasyczny układ generatora PLL jest przedstawiony na Rysunku 9a. Pętla PLL działa jako powielacz częstotliwości:

$$F_{VCO} = N \times F_R$$

W stanie synchronizacji pętli zachodzi zależność:

$$F_{VCO} / N = F_x / R = F_R$$

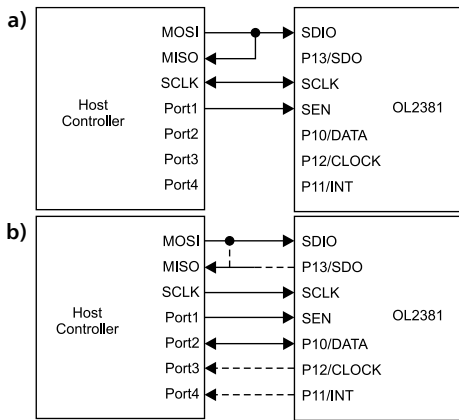
Wybór częstotliwości wyjściowej F_{VCO} odbywa się poprzez zmianę współczynnika podziału N , a odstęp międzykanałowy wynosi $F_{VCO} / N = F_R$. Synchronizujące działanie pętli PLL powoduje, że stabilność częstotliwości wyjściowej generatora VCO jest taka sama, jak stabilność częstotliwości kwarcu. Dla przykładowych wartości $F_R = 30$ kHz i $N = 28934$ otrzymujemy $F_{VCO} = 868,02$ MHz. Niestety wysokie wartości współczynnika podziału N powodują znaczny wzrost szumów fazowych generatora. Dla wartości N rzędu 30000, dodatkowo szumy fazowe są na poziomie 90 dB. Dodatkowy problem, to zmniejszenie dynamiki pętli PLL przez filtr, którego zadaniem jest stłumienie częstotliwości harmonicznych, generowanych przez detektor fazowy. Skutecznym sposobem eliminacji tych niedogodności byłoby zwiększenie częstotliwości F_R , lecz będzie to kosztem zwiększenia N spowoduje ograniczenie szumów fazowych. Pętla synchronizacji fazowej typu Fractional-N umożliwia uzyskanie bardzo dobrych parametrów szumowych i dynamicznych przy zachowaniu wysokiej precyzji dostrajania. Krok strojenia generatora może być nawet mniejszy niż odstęp międzykanałowy.

$$F_{VCO} = (N + K / F) \times F_R$$

gdzie N , K i F są liczbami całkowitymi
 Wartości N i K są zadawane zewnętrznie, a F jest efektywnym współczynnikiem podziału dodatkowego licznika, ustalającym rozdzielczość ułamkową (np. dla licznika 3-bitowego będzie to 8). Przy $F = 8$, dla podanych powyżej wartości kroku przestrajania 30 kHz i $F_{VCO} = 868,02$ MHz otrzymamy $F_R = 240$ kHz, $N = 3616$ i $K = 6$. Dzięki wyższej częstotliwości F_R można zastosować filtr pętli o większej szerokości pasma (poprawiając dynamikę), a mniejszy współczynnik podziału N spowoduje ograniczenie szumów fazowych. Pętla synchronizacji fazowej typu Fractional-N umożliwia uzyskanie bardzo dobrych parametrów szumowych i dynamicznych przy zachowaniu wysokiej precyzji dostrajania. Krok strojenia generatora może być nawet mniejszy niż odstęp międzykanałowy.

Opracowano na podstawie: Curtiss Barrett, Fractional/Integer-N PLL Basics, Technical Brief SWRA029, ©2010 Texas Instruments.

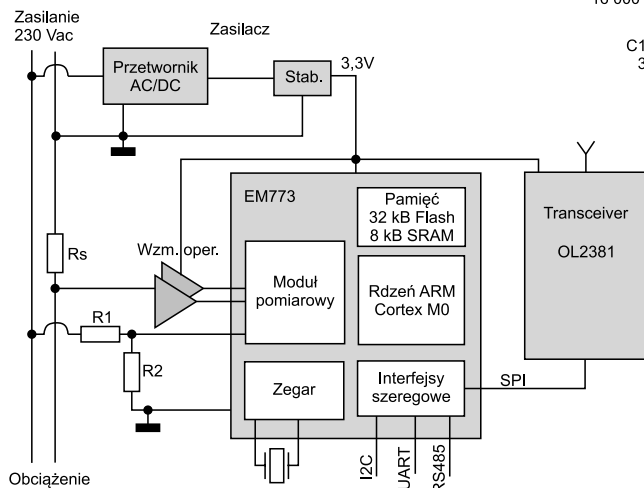
300...928 MHz. Precyzyjne dostrojenie do wybranego kanału zapewnia układ syntezy częstotliwości z pętlą synchronizacji fazowej Fractional-N PLL (opisana w ramce). Transceiver jest wyposażony w sprzętowy koder/dekoder Manchester oraz rozbudowany blok analizy odebranych danych, składający się z modułu pomiaru poziomu odbieranego sygnału (RSSI – Received Signal Strength Indicator) oraz modułu rozpoznawania preambuły pakietu danych (SSRU – Signal Signature Recognition Unit). Sygnał z modułu RSSI służy do wykrywania początku sekwencji odbieranych danych i do automatycznego doboru optymalnego wzmocnienia odbiornika. Moduł SSRU odtwarza sygnał zegarowy nadajnika oraz porównuje odebrany ciąg bitów z zapisanym w rejestrze wzorcem preambuły (o długości od 1 do 32 bitów). Dla ograniczenia zużycia energii, odbiornik może pracować w trybie cyklicznego nasłuchu w programowanych odstępach czasu. Jeżeli nie zostanie odebrana fala nośna, odbiornik powraca do stanu uśpienia, w przeciwnym razie jest inicjowany cykl analizy danych zakończony wystawieniem przerwania dla CPU w wypadku identyfikacji pozytywnej. Przydałaby się jeszcze możliwość sprzętowe-



Rysunek 2. Najprostszy (a) i rozbudowany (b) interfejs komunikacyjny układu OL2381

go przetwarzania ramek i pakietów danych oraz sum kontrolnych CRC, ale pamiętajmy, że jest to debiut NXP w tej kategorii układów.

Schemat aplikacyjny transceivera OL2381 pokazano na rysunku 3. Pewną niedogodnością jest rozdzielone wyjście nadajnika i wejście odbiornika, co wymaga zastosowania przełącznika antenowego. W przedstawionej aplikacji jest to układ uPD7513TK sterowany sygnałem z wyjścia P14/PIND transceivera. Stosunkowo duża liczba kondensatorów blokujących wynika z tego, że transceiver ma rozdzielone zasilanie poszczególnych bloków funkcjonalnych: toru pośredniej częstotliwości (VCC_IF), odbiornika (VCC_RF), stopnia mocy nadajnika (VCC_PA), części cyfrowej (VCC_DIG), generatora kwarcowego (VCC_XO), układu syntezy częstotliwości PLL/VCO (VCC_REG). Cztery z sześciu wymienionych wyżej obwodów zasilania mają własne wewnętrzne stabilizatory i oddzielne kondensatory



Rysunek 4. Układ bezprzewodowego miernika zużycia energii

tory filtrujące (piny VREG_DIG, VREG_VCO, VREG_PLL, VREG_PA). W bardziej rozbudowanych układach sterowaniem zasilaniem daje to możliwość dodatkowych oszczędności energii poprzez wyłączanie zasilania poszczególnych bloków funkcjonalnych. Kolejność załączania i wyłączania napięć zasilających jest opisana w notach aplikacyjnych.

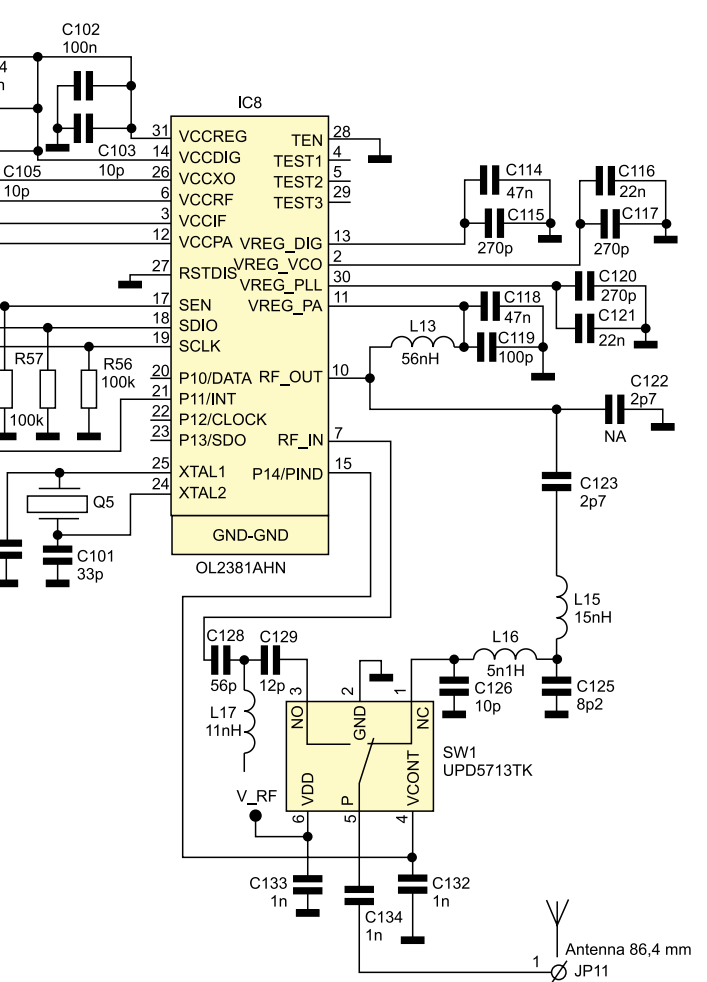
Zastosowanie transceivera OL2381

Jedną z pierwszych propozycji jest zestaw uruchomieniowy bezprzewodowego miernika zużycia energii elektrycznej (Nr. kat. NXP: OM13006). W skład zestawu wchodzi też kolejna nowość w ofercie NXP – specjalizowany układ pomiaru mocy i zużycia energii EM773. Układ EM773 jest zbudowany w oparciu o mikrokontroler z rdzeniem ARM Cortex M0, rozbudowany o analogowy moduł pomiaru napięcia i prądu. Kompletny moduł pomiarowy składa się z zasilacza sieciowego, bufora pomiarowego ze wzmacniaczami operacyjnymi, układu EM773 i transceivera OL2381 (rysunek 4). Bezprzewodowa transmisja danych jest realizowana w paśmie 868 MHz z wykorzystaniem standardowego protokołu Wireless M-Bus (zgodnego z normą EN13757-4). Zestaw ewaluacyjny OM13006 zawiera:

miernik zużycia energii, wykonany w formie wtyczki sieciowej z gniazdem do obciążenia; układ nadawczo-odbiorczy USB z transceiverem OL2381 i mikrokontrolerem LPC1343; oprogramowanie protokołu transmisyjnego Wireless M-Bus; demonstracyjny program *PlugMeter Control* (rysunek 5). Aplikacja *PlugMeter Control* umożliwi konfigurację i testowanie systemu pomiarowego oraz transmisji bezprzewodowej, wizualizację wyników w formie liczbowej i graficznej. Oprogramowanie zestawu uruchomieniowego może też udostępniać dane usłudze *Google Power Meter*, umożliwiając dostęp do informacji o lokalnym zużyciu energii za pośrednictwem strony *www*, a także wyświetlenie danych na ekranie telefonu komórkowego (rysunek 6).

Układy Jennic JN51xx

Firma Jennic jest od dawna obecna na rynku układów lokalnej komunikacji radiowej, dlatego jej przejście było dla NXP bardzo korzystnym rozwiązaniem. Aktualnie oferowane są dwa typy 32-bitowych mikrokontrolerów zintegrowanych z transceiverem radiowym, wykonanych w technologii System-On-Chip: JN5139 i JN5148. Obydwa mikrokontrolery mają prawie identyczną architekturę wewnętrzną, róż-



Rysunek 3. Schemat aplikacyjny układu OL2381

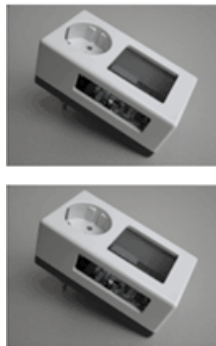
nią się nieznacznie niektórymi parametrami, np. układami peryferyjnymi, wielkością dostępnej pamięci i wbudowanym oprogramowaniem. Na **rysunku 7** pokazano schemat blokowy, a w **tabeli 2** wybrane parametry układów JN51xx.

Mikrokontroler JN5139 jest kompatybilny pin-to-pin z wcześniej produkowanym JN5121, natomiast układ JN5148 dysponuje większymi możliwościami sprzętowymi i bardziej zaawansowanym oprogramowaniem, jest też zoptymalizowany pod względem zużycia energii. W pamięci ROM mikrokontrolerów są zapisane programowe stopy odpowiednich protokołów transmisji radiowej, oprogramowanie ułatwiające obsługę układów peryferyjnych (dostępne dla użytkownika jako procedury API) oraz bootloader, który po restarcie systemu łą-



Fotografia 6. Dane o zużyciu energii przekazywane do iPhone'a przez aplikację Google Power Meter

Mierniki wtyczkowe



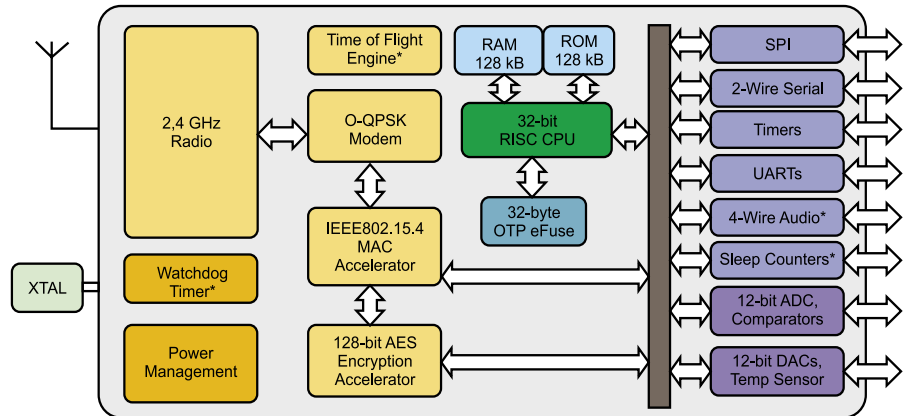
Łączy
Wireless M-bus

**Oprogramowanie
PlugMeter Control**



Odbiornik M-Bus
z adapterem USB

Rysunek 5. Części składowe zestawu OM13006



* Tylko JN5148

Rysunek 7. Schemat blokowy układów Jennic JN51xx

REKLAMA

MDO4000

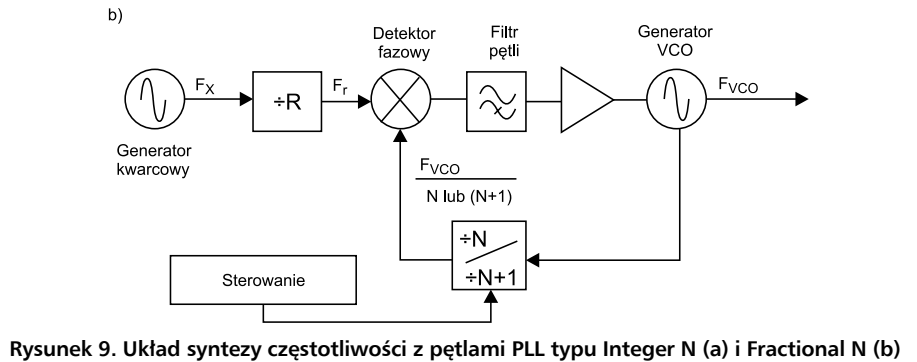
- **oscyloskop**
- **analizator stanów logicznych**
- **analizator widma**

Siedziba Firmy: 54-413 Wrocław, ul. Klecińska 125, tel. 71 783 63 60, fax 71 783 63 61
 Biuro Handlowe: 03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 74, tel. 22 675 75 42
 tеспol@tespol.com.pl • www.tеспol.com.pl



Fotografia 8. Płyty z mikrokontrolerami Jennic

duże aplikację użytkownika z zewnętrznej pamięci Flash/EEPROM do pamięci RAM mikrokontrolera poprzez interfejs SPI. Producent nie podaje w dokumentacji typu zastosowanego rdzenia, ale według informacji znajdujących się na listach dyskusyjnych użytkowników, jest to komercyjna wersja 32-bitowego rdzenia *OpenRisc* (www.opencores.org/project,or1k) opracowana przez firmę Beyond Semiconductor. Rdzenie mikrokontrolerów JN5139 i JN5148 nie są zgodne programowo: JN5139 korzysta z prostszego zestawu instrukcji *Beyond Architecture 1* (BA1), natomiast w JN5148 zaimplementowano architekturę BA2 obsługującą bardziej efektywny transfer danych do/z pamięci oraz instrukcje o zmiennej długości słowa (16...64 bity), co pozwala



Rysunek 9. Układ syntezy częstotliwości z pętlami PLL typu Integer N (a) i Fractional N (b)

zoptymalizować objętość kodu. Do tworzenia aplikacji użytkownika można wykorzystać bezpłatne narzędzia GNU GCC. Obydwa mikrokontrolery są wyposażone w moduły sprzętowej obsługi transmisji radiowej: blok *IEEE802.15.4 MAC Accelerator*, realizujący obsługę warstwy dostępowej MAC protokołu 802.15.4, blok szyfrowania danych *AES Encryption Accelerator*.

Układ JN5148 posiada dodatkowo blok *Time of Flight Engine*, służący do określania odległości pomiędzy dwoma węzłami sieci radiowej. Jest to rozwiązanie alternatywne dla systemów pomiaru poziomu sygnału (RSSI), zapewniające większą dokładność niż RSSI w przypadku odległości przekraczających kilka metrów.

Mikrokontrolery JN51xx wymagają niewielkiej ilości elementów zewnętrznych (rezonator kwarcowy, kilka kondensatorów, antena z układem dopasowania, pamięć Flash aplikacji). Na stronie producenta dostępne są gotowe projekty – schematy ideowe i wzory płytek drukowanych. Oferta producenta obejmuje też gotowe moduły, stanowiące właściwie gotowe do pracy urządzenie (rysunek 8). Dostępne są moduły z wbudowaną anteną ceramiczną, z gniazdem do anteny zewnętrznej (zasięg do 1 km), a także z dodatkowym boosterem zwiększającym moc nadajnika. Ten ostatni umożliwia zwiększenie zasięgu łączności do 4 km z anteną zewnętrzną, jednak kosztem poboru prądu przy nadawaniu (pobór rzędu 110...125 mA). Wymiary modułów to 18 mm×30 mm i 18 mm×41 mm dla modułu dodatkowym z wzmacniaczem.

W kolejnym numerze EP...

Oferowane przez Jennic/NXP zestawy uruchomieniowe ułatwiają użytkownikom szybkie opracowywanie własnych aplikacji. Przedstawiciel NXP Polska obiecał udostępnienie do testowania zestawu uruchomieniowego z JN5148, wyniki testów zostaną wkrótce zaprezentowane Czytelnikom.

Jacek Przepiórkowski

Tab. 2. Parametry układów JN51xx		
Parametr	JN5139	JN5148
CPU	32-bit RISC	32-bit RISC
Generatory zegarowe	16 MHz 32 kHz 32 kHz RC	4...32 MHz 24 MHz RC 32 kHz 32 kHz RC
Pamięć	192 kB ROM 8...96 kB RAM 48 B OTP ROM	128 kB ROM 128 kB RAM 32 B OTP ROM
Zasilanie	2,2...3,6 V	2,0...3,6 V
Pobór prądu: – CPU aktywne – Nadawanie – Odbiór – Tryb Sleep – Sleep + generator RC – Tryb Deep Sleep	2,85 mA + 0,295 mA/mHz 38 mA 37 mA 0,1 µA 1,2 µA 60 nA	1,6 mA + 0,28 mA/mHz 15 mA 17,5 mA 0,12 µA 1,25 µA 100 nA
Peryferia	SPI, 2-wire, UART, 12-bit ADC, 2×11-bit DAC, czujnik temp., 2×Application Timer, 3×System Timer	SPI, 2-wire, 2×UART, 12-bit ADC, 2×12-bit DAC, czujnik temp., 3×Application Timer, Watchdog, Digital Audio Interface, Low Power Counters
Tor radiowy	Zakres ISM 2,45 MHz Modulacja O-QPSK Synteza częstotliwości Sprzętowy akcelerator 802.15.4 Obsługa pakietów Szyfrowanie AES-128	Zakres ISM 2,45 MHz Modulacja O-QPSK Synteza częstotliwości Sprzętowy akcelerator 802.15.4 Obsługa pakietów Szyfrowanie AES-128
Wbudowane protokoły	IEEE802.15.4 JenNet ZigBee (opcja)	IEEE802.15.4 JenNet ZigBee PRO
Moc nadajnika	-2,5 do +1,5 dBm	+1,5 do +2,5 dBm
Czułość odbiornika	-96 dBm	-95 dBm
Szybkość transmisji	250 kb/s	250 kb/s (tryb IEEE802.15.4) 500 i 667 kb/s (tryb FAST)