

# Partnerstwo bezprzewodowe (1)

## Układy scalone do transmisji danych w paśmie ISM



Współczesny rynek komponentów elektronicznych oferuje ogromną ilość rozwiązań przeznaczonych do konstrukcji torów komunikacji bezprzewodowej drogą radiową. Są to zarówno gotowe moduły wykonane w technologii grubowarstwowej, jak i specjalizowane układy scalone. Liczba dostępnych technik połączeń, protokołów komunikacyjnych i wersji może przyprawić konstruktora o zawrót głowy. Intencją podanych niżej informacji jest pomoc konstruktorowi elektronikowi w wyborze rozwiązania najlepiej dopasowanego do jego potrzeb. Serię trzech artykułów zaczynamy od przeglądu monolitycznych układów scalonych przeznaczonych do konstrukcji nadajników, odbiorników i transceiverów pracujących w paśmie ISM (434, 868 i 2400 MHz).

Dostęp do pasma ISM (Industrial – Scientific – Medical) reguluje Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 24.10.2005 r. Zgodnie z nim urządzenia krótkiego zasięgu zwolnione są z konieczności uzyskiwania zezwoleń na ich użytkowanie. W Europie użytkowane są trzy częstotliwości: 434 MHz, 868 MHz, 2,4 GHz (rys. 1). Zastosowania tej ostatniej kojarzone są przede wszystkim z sieciami WiFi (802.11), ale nie jest to jedyne jej przeznaczenie.

Zwykle urządzenia używające częstotliwości 433 MHz mają największy zasięg, nawet do kilkunastu kilometrów. Konstruktor dokonujący wyboru musi mieć jednak świadomość, że zasięgu nie da się rozpatrywać w oderwaniu o całą drogę sygnału tj. bilansu energetycznego toru radiowego. Wadami są stosunkowo nieduża liczba kanałów i ogólna dostępność tego pasma, a przez to duże zakłócenia w paśmie. Podobne funkcjonalnie są rozwiązania układowe wykorzystujące pasmo 868 MHz, jednak propagacja dwukrotnie krótszej fali radiowej jest inna i utrudniona w porównaniu z 434 MHz. Podobna sytuacja jest przy wykorzystaniu nośnej 2,4 GHz.

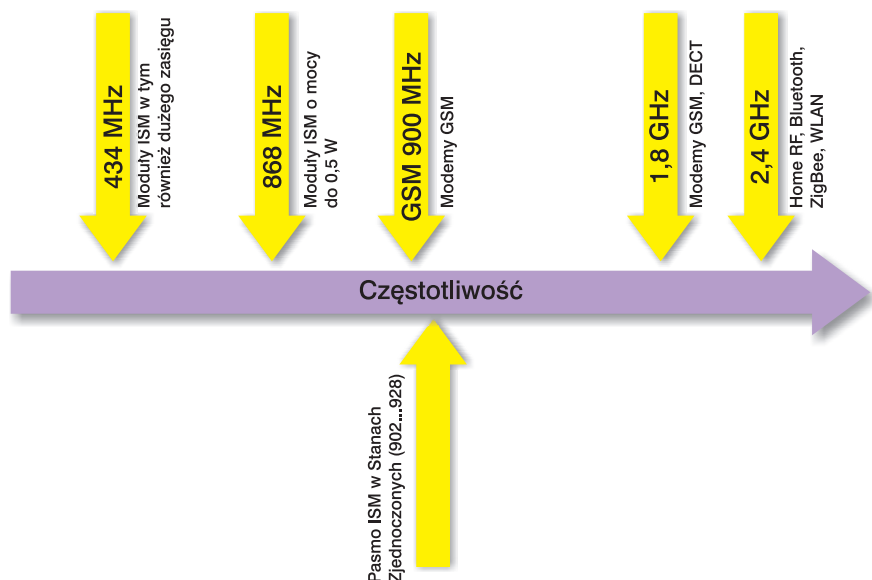
Niżej prezentujemy układy scalone przeznaczone do budowy nadajników, odbiorników i systemów komunikacji dwukierunkowej. Skrócone prezentacje produktów oraz tabele zestawiające ich parametry pozwolą zorientować się w gąszczu oferty rynkowej i dokonać właściwego wyboru.

### Analog Devices

Firma Analog Devices, produkuje szereg bardzo ciekawych układów scalonych przeznaczonych do różnorodnych zastosowań, nie tylko na pasmach ISM. Skrócony wykaz oferowanych układów zawiera tab. 1. W ofercie AD są nadajniki, odbiorniki i transceivery na różne pasma i częstotliwości. Charakterystyczne jest to, że wiele układów pracuje z wykorzystaniem tak szerokiego zakresu częstotliwości, że mogą być używane



do różnych zastosowań. Typowym przedstawicielem układów transceiverów pracujących w paśmie ISM (434 lub 868 MHz) jest ADF7020.



Rys. 1. Częstotliwości nielicencjonowanego pasma ISM w Europie i USA oraz ich interakcje z podstawowymi pasmami używanymi w telekomunikacji

Tab. 1. Zestawienie układów nadawczo – odbiorczych małej mocy produkcji Analog Devices

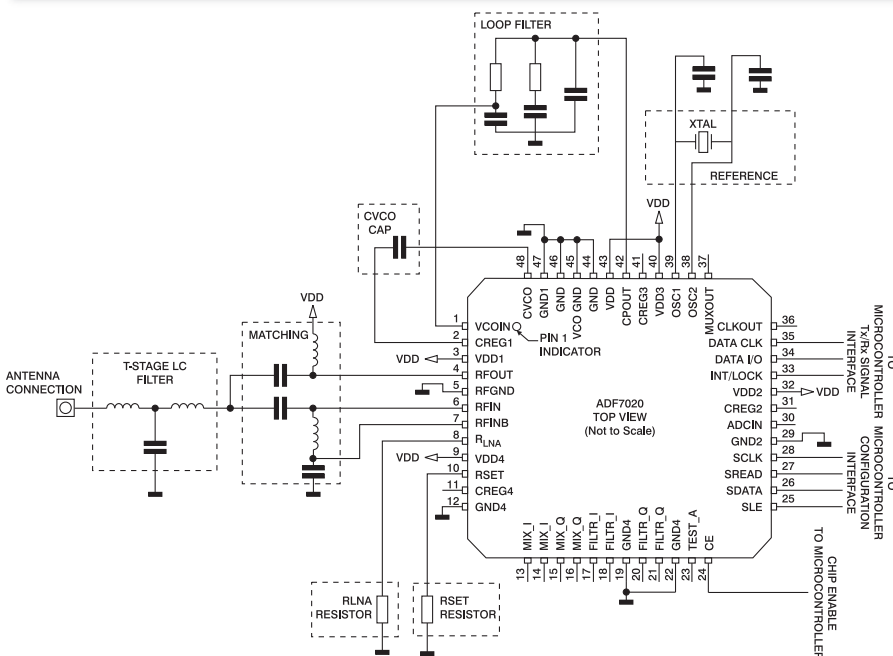
Typ Pasma [MHz]	RX/TX Moc [dBm] Czułość [dBm]	Maks. prędkość transmisji [kb/s]	Uwagi
ADF7010 902...928	Nie/Tak -16...+12 -	76,8	TSSOP-24
ADF7011 433...435, 866...870	Nie/Tak -16...+12 -	76,8	TSSOP-24
ADF7012 50...1000	Nie/Tak -16...+14 -	179,2	TSSOP-24
ADF7020 431...478, 862...956	Tak/Tak -16...+13 -119	200	TSSOP-48
ADF7020-1 135...650	Tak/Tak -16...+13 -119	200	TSSOP-48
ADF7021 80...650, 862...950	Tak/Tak -16...+13 -130	32,8	Wąskopasmowy, TSSOP-48
ADF7021-N 80...650, 842...916	Tak/Tak -16...+13 -130	32,8	Wąskopasmowy, TSSOP-48
ADF7025 431...464, 862...870, 902...928	Tak/Tak -16...+13 -108	384	TSSOP-48
ADF7901 369,5...395,9	Nie/Tak +5...+14 -	32,8	TSSOP-24
ADF7902 369,5...395,9	Tak/Nie - -110	2	TSSOP-24

ADF7020 jest transceiverem pracującym w paśmie 431...478 MHz lub 862...956 MHz. Może wysyłać i odbierać dane z maksymalną prędkością 200 kb/s (używając modulacji FSK). Układ obsługuje następujące typy modulacji: GFSK, FSK, ASK, OOK, GOOK. Moc sygnału wyjściowego jest regulowana w zakresie -16...+13 dBm (0,025...20 mW), z krokiem 0,3 dB. Czułość odbiornika zależy od wyboru prędkości transmisji i rodzaju modulacji. Maksymalna czułość to -122 dBm przy modulacji FSK i prędkości 1 kb/s. Układ wyposażony jest we wskaźnik mocy sygnału odbieranego (RSSI), który pozwala upewnić się co do jakości połączenia pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. Mimo iż wejście i wyjście toru radiowego są rozdzielone, to układ umożliwia pracę tylko w trybie półduplexu. Przełącznik nadawanie/odbiór jest zintegrowany w strukturze i sterowany przez mikrokontroler.

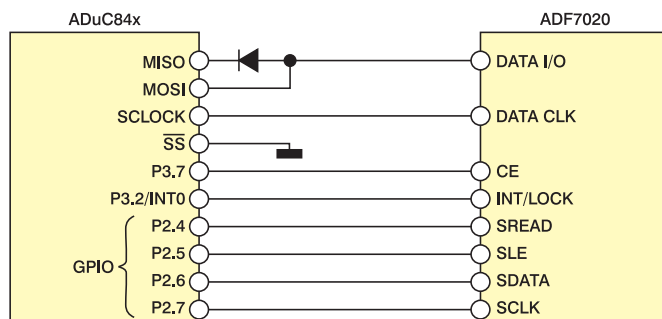
Układ ma wbudowane wszystkie niezbędne do funkcjonowania obwody i wymaga tylko kilku komponentów zewnętrznych: rezonatora kwarcowego (generatora częstotliwości odniesienia dla PLL), kondensatora sprzężenia VCO, filtra dopasowującego obwód wejściowy układu do anteny oraz filtra pętli PLL (rys. 2). Interfejs łączący transceiver z mikrokontrolerem rozdzielono na dwa kanały: jeden z nich to główna droga transmisji sygnału a drugi, to kanał kontrolny, służący do wprowadzania nastaw. Uproszczony schemat podłączenia ADF7020 do mikrokontrolera przedstawiono na rys. 3.

Układ zasilany jest stosunkowo niskim napięciem 2,3...3,6 V, co predysponuje go zwłaszcza do urządzeń zasilanych z baterii. Maksymalny pobór prądu w trybie odbioru to 19 mA, natomiast przy nadawaniu z typowo stosowaną mocą +10 dBm (10 mW) to 26,8 mA. Po wyłączeniu układu (nóżka CE) pobór prądu jest mniejszy od 1 µA.

Podobnym do ADF7020 jest ADF7025, który oferując tylko jeden typ modulacji sygnału FSK, umożliwia transmisję danych z prędkością aż do 384 kb/s. Ciekawostką jest wyposażenie ich w 7-bitowy przetwornik A/C połączony z diodą półprzewodnikową, dzięki której można odczytać temperaturę struktury układu. Ogromny wręcz zakres częstotliwości, bo od 50 MHz aż do 1 GHz obejmuje układ nadajnika ADF7012. Moc sygnału promieniowanego to maksymalnie +14 dBm (15 mW).



Rys. 2. Typowa aplikacja układu ADF7020



Rys. 3. Połączenie ADF7020 z mikrokontrolerem (np. AduC84x)

### Atmel

Firma Atmel oferuje szereg układów scalonych przeznaczonych do realizacji różnego rodzaju aplikacji. Do transmisji wykorzystywana jest modulacja AM lub FM, a oferta firmy pokrywa praktycznie całe pasmo ISM. Atmel oferuje również układy scalone mikrokontrolerów z wbudowanym modułem radiowym. Skrócony wykaz układów oferowanych przez firmę zawiera tab. 2.

Przedstawicielem rodziny transceiverów przeznaczonych do pracy na paśmie 434 MHz, jest układ scalony typu ATA5824. Jest to kompletny układ nadawczo-odbiorczy i tym ciekawszy, że mający możliwość pracy nie tylko w półdupleksie, ale także z pełnym dupleksem. W niewielkiej, bo mającej wymiary 7×7 mm obudowie QFN48 producent zamknął całkiem spore możliwości. W strukturze zamknięte są wszystkie obwody wymagane do pracy, to jest w.c.z., generator VCO z pętlą PLL, filtr pętli PLL, przełącznik nadawanie/odbiór, demodulator, pamięć RAM i interfejs SPI pracujący z maksymalną prędkością 500 kb/s.

Układ może pracować z modulacją ASK lub FSK. W tym pierwszym trybie maksymalna prędkość transmisji danych to 10 kb/s, natomiast w tym drugim 20 kb/s. ATA5824 może być używany w zakresach częstotliwości 433...435 MHz i 867...870 MHz. Dla zabezpieczenia transmisji producent wyposażył układ w bufor FIFO. Oprócz tej funkcji daje to również dołączonemu mikrokontrolerowi czas np. na wykonanie operacji związanych z deszyfracją danych. Maksymalna moc nadajnika to +10 dBm (10 mW), ustalana za pomocą zewnętrznego rezystora z krokiem co 0,5 dB. Maksymalna czułość odbiornika to -116 dBm. Układ wyposażony jest w miernik mocy sygnału odbieranego (RSSI), który pozwala aplikacji upewnić się co do jakości połączenia. Napięcie zasilania układu to 2,15...3,5 V lub 4,4...5,25 V, co predysponuje go zarówno do aplikacji zasilanych z baterii, jak i do urządzeń stacjonarnych. Pobór prądu w stanie wyłączenia jest mniejszy niż 10 nA.

Na rys. 4 pokazano przykładowy schemat układu pracującego z pełnym dupleksem. W tej aplikacji układ ma rozdzielone wejścia RF\_IN i RF\_OUT, do których podłączono dwie anteny paskowe.

## Texas Instruments

Firma Texas Instruments kupiła od norweskiej firmy Chipcon prawa do produkcji układów scalonych przeznaczonych do komunikacji radiowej. Zaowocowało to wprowadzeniem przez TI do oferty nowoczesnych układów znanych szerokiemu gronu użytkowników jako Chipcon. Nowe układy (oznaczane jako CC) są znacznie lepsze, niż oferowane wcześniej przez TI TRF6900/TRF4900. Owszem, były to układy o sporych możliwościach, lecz skomplikowane w programowaniu i wymagające wielu elementów zewnętrznych.

Układy transceiverów produkowane przez TI rozpoczyna dobrze znany CC1000. Jest to zintegrowany transceiver na pasma 315, 433, 869 i 915 MHz. Zaprojektowano go do aplikacji przemysłowych, zdalnego odczytu danych, bezprzewodowych czujników itp. Oferuje niewielką prędkość transmi-

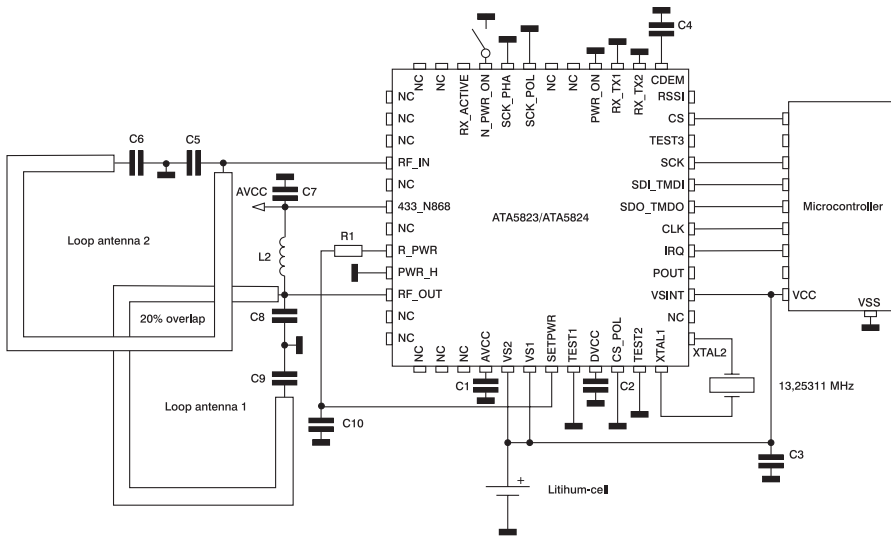
Tab. 2. Zestawienie układów nadawczo – odbiorczych małej mocy produkcji Atmel

Typ Pasma [MHz]	RX/TX Moc [dBm] Czułość [dBm]	Maks. prędkość transmisji [kb/s]	Uwagi
ATA5423 312,5...317,5	Tak/Tak 10 -116	20	QFN-48
ATA5823 313...316	Tak/Tak 10 -116	20	QFN-48, pełny dupleks
ATA5425 342,5...347,5	Tak/Tak 10 -116	20	QFN-48
ATA5428 431,5...436,5; 862...872	Tak/Tak 10 -116	20	QFN-48, pasmo Europejskie
ATA5824 433...435, 867...870	Tak/Tak 10 -116	20	QFN-48, pełny dupleks
ATA5429 912,5...917,5	Tak/Tak 10 -116	20	QFN-48
ATR2406 2400	Tak/Tak 4 -93	1152	QFN-32
ATA5756 313...317	Nie/Tak 6 -	40	TSSOP-10
ATA5757 432...448	Nie/Tak 6 -	40	TSSOP-10
ATA8401 310...350	Nie/Tak 7,5 -	50	TSSOP-8L
ATA8402 429...439	Nie/Tak 7,5 -	50	TSSOP-8L
ATA8403 868...928	Nie/Tak 7,5 -	50	TSSOP-8L
ATAM862 310...330	Tak/Tak 8 b.d.	32	4-bitowy mikrokontroler z modułem radiowym i pamięcią Flash, SSO-24, dostępne także na inne pasma częstotliwości
ATAR862 310...330	Tak/Tak 10 b.d.		4-bitowy mikrokontroler z modułem radiowym z pamięcią ROM i EEPROM, SSO-24, dostępne także na inne pasma częstotliwości
ATA8201 313...317	Tak/Nie - -114	20	QFN-24
ATA8202 433...435	Tak/Nie - -113	20	QFN-24
ATA5743 300...450	Tak/Nie - -104	10	SSO-20, ASK/FSK
ATA5760 868...870	Tak/Nie - -113	10	SO-20
ATA5761 902...928	Tak/Nie - -113	10	SO-20
ATA5744 300...450	Tak/Nie - -110	10	SSO-20, ASK

sji danych, ale rekompensuje to wyjątkowo niskim poborem prądu. Firma TI produkuje również odpowiednik CC1000 wyposażony w rdzeń MCS51 – CC1010. Podobną architekturę, lecz ukierunkowaną na ograniczenie zajętości pasma radiowego, mają transceiver CC1020 i nadajnik CC1070. W obu ukła-

dach, szerokość zajmowanego pasma jest programowana. Oferują one wybór pomiędzy szerokością zajmowanego pasma, a przepływnością kanału radiowego.

Nową generację układów na pasmo do 1 GHz zapoczątkował układ CC1100. Charakteryzuje je większa szybkość transmisji



Rys. 4. Aplikacja układu ATA5824 firmy Atmel umożliwiająca transmisję w trybie pełnego duplexu

danych uzyskiwana dzięki wprowadzeniu nowych typów modulacji – GFSK i MSK (obok stosowanych wcześniej FSK i OOK, które nadal są obsługiwane). Firma nie zapomniła również o dodaniu rdzenia MCS51 do układu CC1100, wprowadzając do oferty układy SoC (*System On Chip*) pod oznaczeniem CC1110 (rys. 5) i wyposażony w interfejs USB – CC1111.

Jako kolejne w ofercie TI pojawiły się układy na pasmo 2,4 GHz o prędkości transmisji zwiększonej do 800 kb/s. Układy CC2500, CC2510, CC2511 i CC2550, to odpowiednio: tani transceiver, SoC z rdzeniem MCS51, SoC z rdzeniem MCS51 i interfejsem USB, i układ nadajnika. Podstawowe parametry układów przestawiono w tab. 3.

Dlaczego warto skorzystać z oferty Texas Instruments? Układy CC to elementy uniwersalne o ogromnych możliwościach. Producent udostępnił dla nich darmowe oprogramowanie o nazwie Simplicity umożliwiające szybką realizację prostej sieci bezprzewodowej. Do pracy program wymaga jedynie 500 B pamięci RAM i tylko 4 kB pamięci programu. W zamian za zawłaszczone zasoby umożliwia budowę sieci *peer-to-peer*, sieci w topologii gwiazdy i pozwala na stosowanie repeater-ów. Elementami takiej sieci mogą być urządzenia podzielone na pięć typów: *Access Point* (AP), *Repeater* (RE), *Sleeping Device* (SD), *Device* (D), *TX-Only Device* (TD). Oprogramowanie wykonane jest w sposób zapewniający niski pobór mocy,

co predysponuje je nie tylko do urządzeń stacjonarnych, ale również tych o zasilaniu bateryjnym.

Oprogramowanie dostępne jest na stronie internetowej firmy Texas Instruments. Przygotowano je na platformę SoC pracującą w paśmie do 1 GHz (CC1110) i 2,4 GHz (CC2510). Dostępna jest również wersja przeznaczona dla mikrokontrolera MSP430 współpracującego z układem CC1100 lub CC2500. Wśród układów Chipcon można znaleźć również takie przeznaczone do pracy w sieci ZigBee (CC2420 i CC2430).

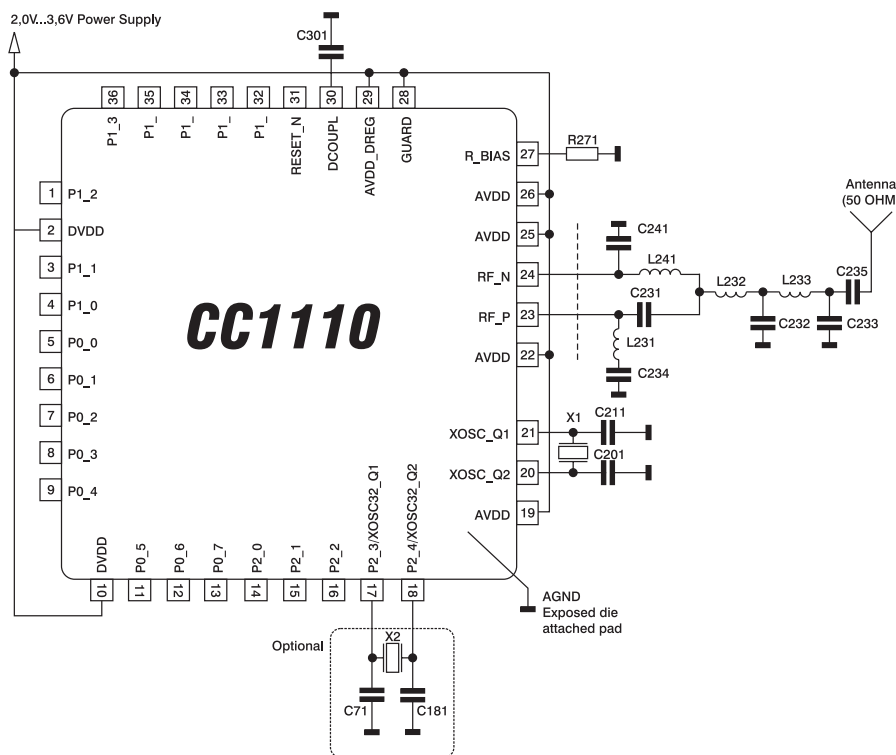
## Nordic Semiconductor

Układy firmy Nordic Semiconductor, produkowane pod oznaczeniem nRF, charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami toru radiowego. Producent zadbał także o to, aby układy były łatwo programowane, co znacznie skraca czas potrzebny na uruchomienie łącza radiowego. Użytkownik nie musi ustawiać żadnych parametrów pracy toru za wyjątkiem numeru kanału oraz mocy nadajnika. Rejestry związane z nastawami PLL, VCO, LNA i im podobne, będące często zmartwieniem konstruktorów wykorzystujących inne rozwiązania, po prostu nie istnieją.

Dużym ułatwieniem dla konstruktora jest zaimplementowany przez firmę Nordic tryb *ShockBurst*. W tym trybie układ sterujący wysyła do buforów modułu dane z taką prędkością, jaka jest dla niego wygodna. Po wypełnieniu bufora (maksymalnie 32 bajty) moduł sam oblicza sumę kontrolną, dodaje adres odbiorcy oraz preambułę. Następnie włączany jest nadajnik i cały blok danych z maksymalną prędkością 100 kb/s (dla pasm 433 i 866 MHz) lub 2 Mb/s (2,4 GHz) wysyłany jest do odbiornika. Podobny proces ma miejsce przy odbiorze danych. Moduł samodzielnie odrzuca preambułę, sprawdza poprawność adresu oraz sumę kontrolną, a do systemu nadrzędnego przekazywane są wyłącznie poprawnie odebrane pakiety danych. Oba opisywane wyżej rozwiązania docenią wszyscy ci, którzy mieli kiedykolwiek do czynienia z implementacją poważnego zadania transmisji z zastosowaniem modułów oferujących wyłącznie linki radiowe.

Zestawienie podstawowych informacji o parametrach elektrycznych i użytkowych układów oferowanych obecnie w sieci dystrybucyjnej znajduje się w tab. 4. Pierwszym układem wprowadzonym do masowej produkcji był nRF0433, który już nie jest oferowany. Wyroby oferowane przez firmę wskazują na trend zmierzający w stronę stosowania pasma 2,4 GHz.

Aktualnie firma zaleca stosowanie dla pasm 433/868/915 MHz transceiverów nRF905 i nRF9E5. Oba układy są transceiverami jednokładowymi wyposażonymi we wszystko, co jest wymagane aby zbudować tor radiowy: syntetyzer częstotliwości radio-



Rys. 5. Schemat aplikacji układu CC1110 firmy Texas Instruments

wych, odbiornik z demodulatorem, wzmacniacz mocy, generator kwarcowy i modulator. Układ wyposażono w 14-bitowy rejestr konfiguracji, programowany za pomocą portu SPI. Konieczność programowania tego układu wynika z jego ogromnej uniwersalności i przystosowania do pracy we wszystkich typowych pasmach radiowych, z czym wiąże się konieczność dostosowania mocy wyjściowej, dopuszczalnej szerokości kanału i jego lokalizacji w każdym z pasm. Schemat elektryczny najprostszego, lecz w pełni wartościowego transceivera na pasmo 433 MHz, wykonanego na układzie nRF905, pokazano na **rys. 6**. Jak łatwo zauważyć, z punktu widzenia użytkownika układ nRF905 jest kompletnym interfejsem radiowym spełniającym rolę identyczną do układu MAX232 w łączu przewodowym opartym na RS232.

W stosunku od oferowanego wcześniej układu nRF403, producent znacznie skrócił czas przełączania pomiędzy trybami nadawania i odbioru, który teraz jest mniejszy od 650 μs (dawniej sięgał 2 ms). Podobnie jak poprzednik, układ pracuje w trybie półdupleksu.

Układy mogą pracować zasilane napięciem 1,9...3,6 V, dzięki czemu doskonale nadają się do aplikacji zasilanych bateryjnie. Bez strat powodowanych przez dodatkowe układy stabilizatorów, czy przetwornic w obwodzie zasilania, są w stanie wykorzystać całą dostępną energię zmagazynowaną w baterii zasilającej.

## Silicon Laboratories

W lipcu 2008 firma Silicon Labs kupiła przedsiębiorstwo Integration Associates, a wraz z nim technologię produkcji układów EZRadio.

Układy EZRadio mają jedną, szczególną cechę: są tak łatwe w użyciu, że doskonale nadają się nie tylko do budowy modułów radiowych, o których opowiada ten artykuł, ale również do umieszczenia na płycie drukowanej własnego urządzenia. Jedną z podstawowych cech układu jest bowiem integracja wewnątrz struktury wszystkich członów części w.cz., dzięki czemu do budowy kompletnego bloku transmisji danych drogą radiową, potrzebne są tylko trzy kondensatory odprzegające zasilanie, rezonator kwarcowy 10 MHz (niezależnie od używanego pasma) i antena, którą można wykonać jako ścieżkę na płycie drukowanej. Pozwala to nie tylko na oszczędność elementów, ale również czasu potrzebnego na konstrukcję i dostrojenie toru w.cz. oraz eliminuje źródło błędów, które wprowadzają elementy RLC stosowane w rozwiązaniach oferowanych przez konkurencję. Dodatkowo, obwód rezonansowy anteny jest automatycznie dostrajany (patent producenta), co eliminuje konieczność wykonywania strojenia podczas produkcji. Niejako przy okazji zyskuje się przy tym optymalną transmisję sygnału w.cz. w różnych warunkach otoczenia i długoletnią stabil-

Tab. 3 Podstawowe parametry układów z oferty Texas Instruments

Typ Pasma [MHz]	RX/TX Moc [dBm] Czułość [dBm]	Maks. prędkość transmisji [kb/s]	Uwagi
CC1000 300...1000	Tak/Tak 10 -110	76,8	28DIESALE/28TSSOP
CC1010 300...1000	Tak/Tak 10 -110	76,8	SoC z rdzeniem MSC51, 28DIESALE/28TSSOP
CC1020 402...470, 804...940	Tak/Tak 10 -118	154	Transceiver wąskopasmowy, 32QFN/32VQFN
CC1070 402...470, 804...940	Nie/Tak 10 -	154	Transceiver wąskopasmowy, 20QFN
CC1100 300...348, 400...464, 800...928	Tak/Tak 10 -110	500	20QFN
CC1101 300...348, 387...464, 779...928	Tak/Tak 10 -111		20QFN
CC1110F32 300...348, 391...464, 782...928	Tak/Tak 10 -110	500	SoC z rdzeniem MSC51, 32 kB Flash/4 kB RAM; dostępne również inne wersje
CC1111F32 300...348, 391...464, 782...928	Tak/Tak 10 -110	500	SoC z rdzeniem MSC51 i USB, 32 kB Flash/4 kB RAM; dostępne również inne wersje
CC1150 300...348, 400...464, 800...928	Nie/Tak 12 -	500	16QFN
CC2400 2400...2483	Tak/Tak 0 -101	700	48QFN
CC2500 2400...2483	Tak/Tak 1 -104	500	20QFN
CC2510F32 2400...2483,5	Tak/Tak 0 -103	500	SoC z rdzeniem MSC51, 32 kB Flash/4 kB RAM, 36QFN
CC2511F32 2400...2483,5	Tak/Tak 0 -103	500	SoC z rdzeniem MSC51 i USB, 32 kB Flash/4 kB RAM, 36QFN
CC2550 2400...2483	Nie/Tak 1 -	500	16QFN
CC2420 2400...2483,5	Tak/Tak 0 -92	250	48QFN
CC2430 2400...2483,5	Tak/Tak 0 -92	250	SoC przystosowany do ZigBee, 128 kB Flash/8 kB RAM, 48QFN
CC2520 2394...2507	Tak/Tak 5 -98	250	28QFN, układ transceivera ZigBee 2. generacji

ność parametrów, pomimo starzenia się elementów i zmian warunków funkcjonowania toru radiowego. Przykład aplikacji układu Si4420 przedstawiono na **rys. 7**.

Częstotliwość nośna ustalana jest programowo. Użytkownik ma możliwość wyboru dowolnej częstotliwości w obrębie jednego z czterech pasm: 315 MHz, 434 MHz, 868 MHz i 915 MHz. Pętla PLL ma możliwość szybkiej zmiany częstotliwości dzięki zaimplementowanej technice *frequency hopping*.

Symetryczne wejście/wyjście antenowe umożliwia podłączenie i użytkowanie anteny ramowej wykonanej jako nadruk na płyt-

ce drukowanej. Nie ma konieczności stosowania jakichkolwiek elementów dopasowujących. Dodatkowo, producent udostępnia dokumentację techniczną zawierającą wzory różnych anten: od miniaturowych pętli po duże, wnoszące pewien zysk energetyczny struktury, jak i dokumentacje układów desymetryzatorów umożliwiających podłączenie anten asymetrycznych o impedancji 50 Ω.

Układ EZRadio może pracować w jednym z dwóch trybów. W pierwszym wymagane jest zastosowanie mikrokontrolera, w drugim jego rolę może pełnić pamięć ROM. Wewnętrzny kontroler układu może pobrać wszystkie dane konfiguracyjne niezbędne do



o regulowanym wzmacnieniu i szerokopasmowy obwód do pomiaru poziomu sygnału wspierający funkcję automatycznej kontroli wzmacnienia. Na wyjściu odbiornika uzyskuje się sygnał o wybranej częstotliwości pośredniej. Układ dostępny jest w obudowie VQFN-48.

## Cypress

Firma Cypress oferuje szereg różnych układów scalonych przeznaczonych do łączności radiowej, lecz głównie do zastosowania w peryferiach komputerów osobistych. Skrócony wykaz jej produktów zamieszczono w **tab. 6**. Warto zauważyć, że firma obok układów scalonych oferuje również kompletne moduły radiowe. Wszystkie produkty Cypressa pracują w zakresie 2400...2483 MHz wykorzystując nielicencjonowane pasmo 2,4 GHz. Na **rys. 9** przedstawiono reprezentanta rodziny produktów, CYFR7936.

Układ CYFR7936 jest układem radiowym małej mocy przeznaczonym do energooszczędnych aplikacji embedded. W połączeniu z mikrokontrolerem PSoC firmy Cypress i oprogramowaniem CyFi Network przeznaczonym dla niego, układ może być stosowany do budowy kompletnego systemu sieci radiowej posługującego się protokołem komunikacyjnym CyFi. Oczywiście nie wyklucza to innych obszarów zastosowań.

Jak deklaruje sam producent, CYFT7936 jest przeznaczony do budowy połączeń radiowych pracujących na częstotliwości 2,4 GHz (98 kanałów o szerokości 1 MHz). W strukturze układu zaimplementowano kompletny modem radiowy o maksymalnej przepływności kanału radiowego 1 Mb/s (GFSK), bufor FIFO, mechanizmy pakietowej transmisji danych i ramkowania pakietów, układy kontroli i pomiaru mocy sygnału użytkowego. Producent wyposażył układ w interfejs SPI, który może być taktowany zegarem 4 MHz.

Ciekawostką jest fakt, że układ umożliwia odbiór danych o jakiegokolwiek obsługiwanej prędkości transmisji. Umożliwia to konstrukcję systemów, w których dane przesyłane są w różnych urządzeniach używających różnych prędkości transmisji, jak również implementację systemów o prędkości transmisji dopasowującej się dynamicznie do mocy odbieranego sygnału.

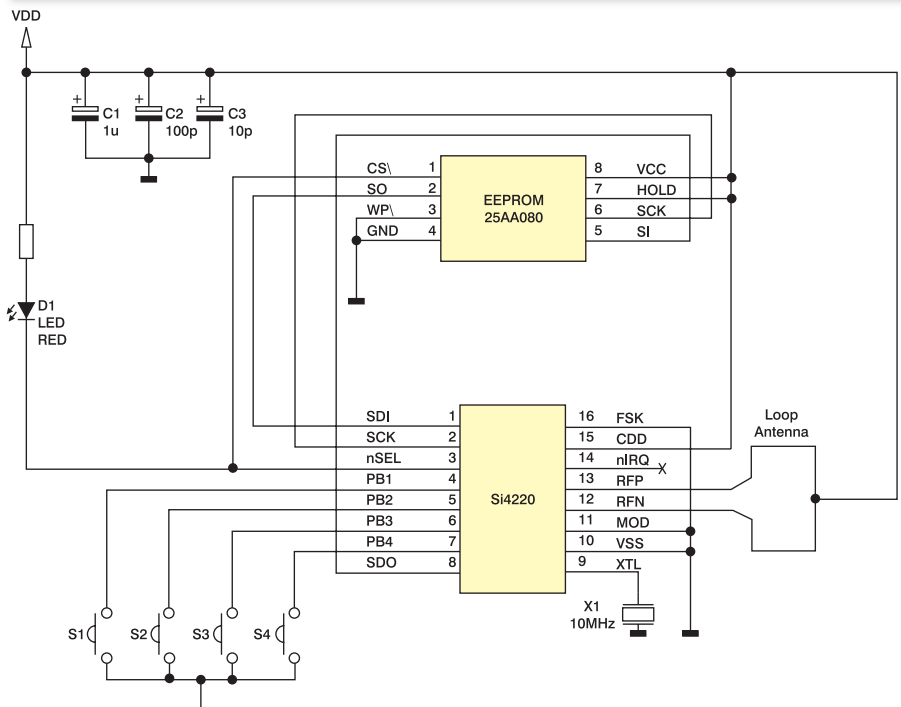
Układ Cypressa wyposażono w układ zarządzania zasilaniem (PMU), który pozwala na jego podłączenie bezpośrednio do baterii o napięciu 1,8...3,6 V oraz zasilanie układów zewnętrznych, takich jak np. sterujący transceiverem mikrokontroler.

## Infineon

Infineon produkuje trzy grupy układów radiowych ISM: nadajniki, odbiorniki i transceivery. Odbiorniki na pasma ISM produkowane

**Tab. 5. Zestawienie układów EZRadio produkcji Silicon Laboratories**

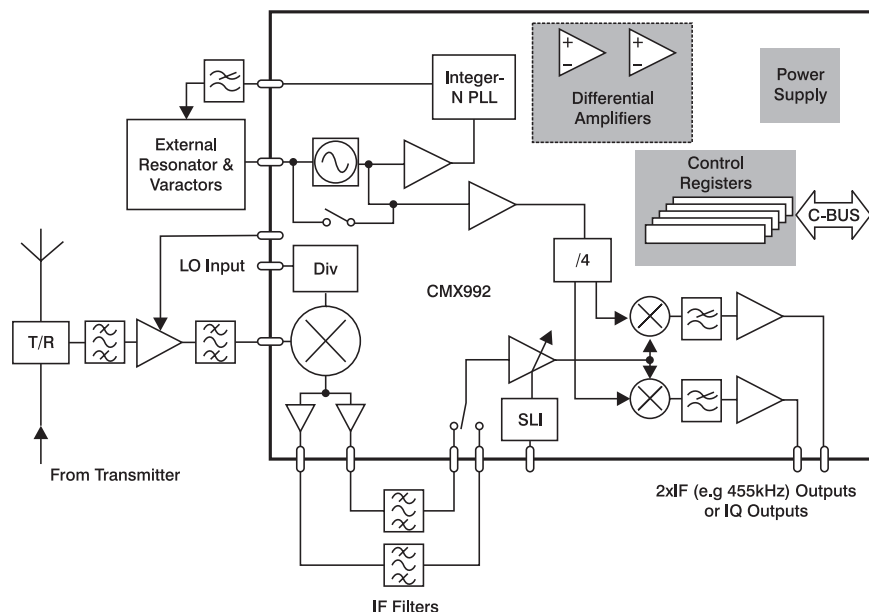
Typ Pasma [MHz]	RX/TX Moc [dBm] Czułość [dBm]	Maks. prędkość transmisji [kb/s]	Uwagi
Si4020 315/434/868/915	Nie/Tak 2,0;0,0 -	256	TSSOP16; 2,2...5,4 V; krok PLL 2,5...7,5 kHz
Si4021 434/868/915	Nie/Tak 6,3;4,0 -	256	TSSOP16; 2,2...5,4 V; krok PLL 2,5...7,5 kHz
Si4022 868/915	Nie/Tak 6,3;4,0 -	115	TSSOP16; 2,2...5,4 V; krok PLL 20 kHz
Si4320 315/434/868/915	Tak/Nie	256	TSSOP16; 2,2...5,4 V; krok PLL 2,5...7,5 kHz
Si4322 868/915	Tak/Nie	256	TSSOP16; 2,2...5,4 V; krok PLL 20 kHz
Si4420 315/434/868/915	Tak/Tak 2,0;1,6	256	TSSOP16; 2,2...5,4 V; krok PLL 2,5...7,5 kHz
Si4421 315/434/868/915	Tak/Tak 3,2;5,0	115	TSSOP16; 2,2...5,4 V; krok PLL 2,5...7,5 kHz
Si4030 900...960	Nie/Tak 6,3...20	128	QFN16
Si4031 240...930	Nie/Tak 6,3...20	128	QFN16
Si4032 240...930	Nie/Tak 13...100	128	QFN16
Si4330 240...930	Tak/Nie -	128	QFN20, czułość -118 dBm (FSK@2 kb/s), -110 dBm (OOK@4,8 kb/s)
Si4430 900...960	Tak/Tak 6,3...20	128	j.w.
Si4431 240...930	Tak/Tak 6,3...20	128	j.w.
Si4432 240...930	Tak/Tak 13...100	128	j.w.



**Rys. 7. Aplikacja układy Si4220 z rodziny EZRadio**

przez firmę Infineon wyposażono w superheterodynowe tory odbiorcze, dzięki czemu ich selektywność i czułość są wysokie. Odbiornik TDA5200 może pracować w pasmach 434 i 868 MHz. W strukturze układu producent zintegrował cały tor odbiorczy, łącznie z syntezą częstotliwości, wzmacniaczem częstotliwości

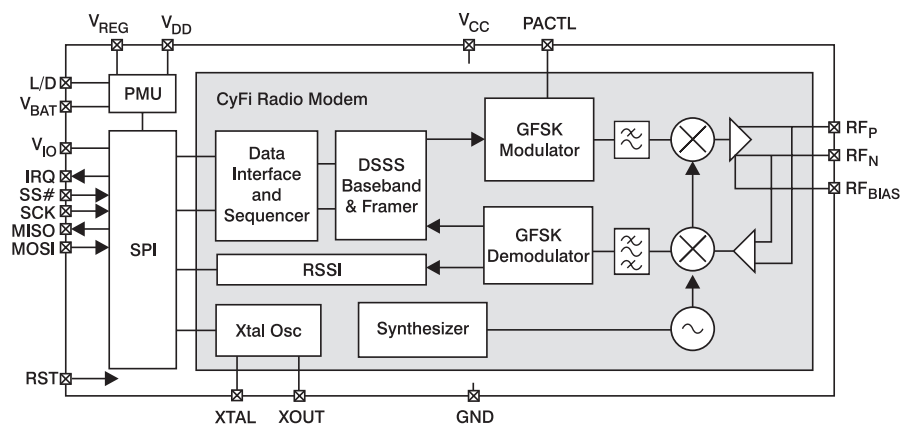
pośredniej demodulatorem ASK oraz obwodami formującymi wyjściowy sygnał danych. Wyposażono go w wejście umożliwiające sprzętowe przełączenie go w tryb obniżonego poboru mocy, w którym układ pobiera nie więcej niż 100 µA. Maksymalna zalecana przez producenta prędkość transmisji danych wynosi 4 kb/s.



Rys. 8. Schemat blokowy układu CMX992 produkcji CML

Tab. 6. Zestawienie układów firmy Cypress

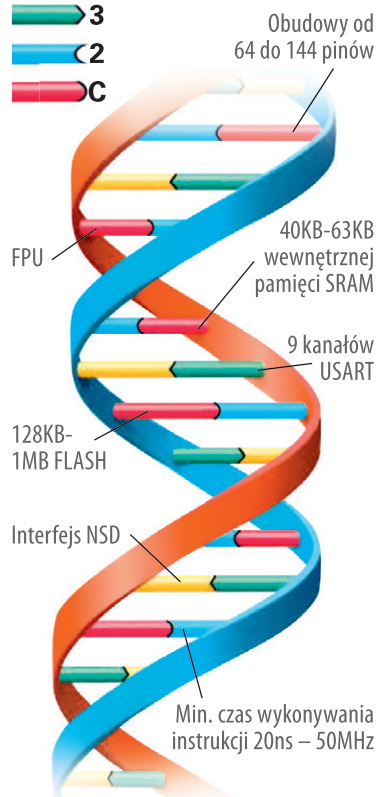
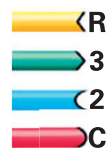
Typ Pasma [MHz]	RX/TX Moc [dBm] Czuość [dBm]	Maks. prędkość transmisji [kb/s]	Uwagi
CYRF69103 2400...2483	Tak/Tak +4 -97	1000	QFN40 wyposażony w USB1.x
CYRF69213 2400...2483	Tak/Tak +4 -97	1000	QFN40; wyposażony w USB2.0
CYRF6936 2400...2483	Tak/Tak +4 -97	1000	QFN40; SoC
CYRF7936 2400...2483	Tak/Tak +4 -97	1000	QFN40; transceiver
CYWM6934 2400...2483	Tak/Tak 0 -90	62,5	Moduł
CYWM6935 2400...2483	Tak/Tak 0 -95	62,5	Moduł
CYWMUSB6934 2400...2483	Tak/Tak 0 -90	62,5	QFN48; nie zalecany do nowych konstrukcji
CYWMUSB6935 2400...2483	Tak/Tak 0 -90	62,5	QFN48; nie zalecany do nowych konstrukcji
CYWMUSB6953 2400...2483	Tak/Tak 0 -95	62,5	QFN48; nie zalecany do nowych konstrukcji



Rys. 9. Schemat blokowy układu CYFR7936

First-Class Premium Support

DNA idealnego mikrokontrolera

**RENESAS**


Do aplikacji medycznych; urządzeń przemysłowych i konsumpcyjnych

Mini obudowa 5,5 x 5,5mm

Kompatybilność pinowa

Od dostawcy MCU numer 1 - RENESAS

[sales@glyn.pl](mailto:sales@glyn.pl)  
[www.glyn.pl](http://www.glyn.pl)
**GLYN**  
 High-Tech Distribution



Nieco większe możliwości oferuje użytkownikom odbiornik TDA5210, który jest kompatybilny pod względem wyprowadzeń z układem TDA5200, ale może odbierać także sygnały FSK. Podstawowe cechy i możliwości tego układu są takie same jak TDA5200. Obydwa opisane odbiorniki wyposażono w wewnętrzne komparatory (*slicery*) służące do ekstrakcji z toru odbiorczego sygnału danych, przy czym poziom odniesienia dla komparatora jest generowany automatycznie. Taki sposób pracy komparatora jest możliwy także w kolejnym odbiorniku TDA5220, ale dodatkowo przewidziano możliwość „uszywnienia” wartości napięcia referencyjnego, co pozwala w niektórych przypadkach zwiększyć maksymalną prędkość transmisji danych (nawet do 100 kb/s). Typowa maksymalna prędkość transmisji danych wynosi 4 kb/s. Znacznie większą uniwersalnością cechują się układy TDA5230 (rodzina *SmartLEWIS*), ponieważ wyposażono je w możliwość zmiany częstotliwości odbieranego kanału bez konieczności zmiany wartości elementów zewnętrznych oraz zaawansowany tor obróbki odbieranego sygnału, którego zadaniem jest wyekstrahowanie z odbieranych danych poprawnych ramek. Układ wyposażono również w bufor FIFO i interfejs SPI. TDA5230 ma mechanizm automatycznego wykrywania zadanych ciągów bitów, których odebranie może uruchomić gromadzenie danych w pamięci FIFO lub posłużyć do budzenia mikrokontrolera współpracującego z odbiornikiem. Odbiornik może samodzielnie monitorować do 3 kanałów radiowych, oczekując na zadaną przez użytkownika sekwencję danych. Unikatową cechą układów TDA5230 jest zapisany w pamięci ROM 32-bitowy, niepowtarzalny numer jednoznacznie charakteryzujący układ. W tych układach zastosowano również w torze radiowym dodatkowe elementy, które zapobiegają wpływowi na jakość transmisji sygnałów lustrzanych, a „przy okazji” pozwoliły one na znaczne zmniejszenie liczby niezbędnych zewnętrznych podzespołów.

Układ TDA5100 (przystosowany do pracy w zakresie temperatur  $-25...+85^{\circ}\text{C}$ ) jest dostępny także w wersji oznaczonej symbolem TDK5100. Prezentowane nadajniki przystosowane są do transmisji sygnałów cyfrowych z modulacją ASK lub FSK w pasmach 434 lub 868 MHz. Maksymalna częstotliwość modulacji sygnału wyjściowego wynosi 20 kHz. Układy przystosowane są do zasilania napięciem z zakresu 2,1...4 V. W przypadku, gdy nadajnik będzie wykorzystywany tylko w jednym zakresie częstotliwości (434 MHz), można zastosować nieco uproszczoną wersję układu TDX5100 oznaczoną sufiksem „F”. Na rys. 9 pokazano schemat blokowy (i jednocześnie aplikacyjny) układów TDX510x. Układ TDA7100 jest także dostarczany w obudowie TSSOP10 i można go potraktować jako tańszy odpowiednik układu TDK5100. Przedstawione układy nadawcze dostarczają do anteny sy-

Tab. 7. Zestawienie układów firmy Infineon

Typ Pasma [MHz]	RX/TX Moc [dBm] Czutość [dBm]	Maks. prędkość transmisji [kb/s]	Uwagi
TDA5200 434/868	Tak/Nie – –107	4	PG-TSSOP-28, jednokan., ASK
TDA5210 434/868	Tak/Nie – –107	4	PG-TSSOP-28, jednokan., ASK/FSK
TDA5220 434/868	Tak/Nie – –106	4	PG-TSSOP-28, jednokan., ASK/FSK
TDA5230 434/868	Tak/Nie – –108	20	PG-TSSOP-28, wielokan., ASK/FSK
TDA7200 434	Tak/Nie – –106	4	PG-TSSOP-28, jednokan., ASK/FSK
TDK5100 434/868	Nie/Tak 5 –	20	PG-TSSOP-16, jednokan., ASK/FSK
TDK5100F 434	Nie/Tak 5 –	20	PG-TSSOP-10, jednokan., ASK/FSK
TDA7100 434	Nie/Tak 5 –	20	PG-TSSOP-10, jednokan., ASK/FSK
TDK5110 434/868	Nie/Tak 10 –	20	PG-TSSOP-16, jednokan., ASK/FSK
TDK5110F 434	Nie/Tak 10 –	20	PG-TSSOP-10, jednokan., ASK/FSK
TDK5116F 868	Nie/Tak 10 –	20	PG-TSSOP-10, jednokan., ASK/FSK
TDK7110 434/868	Nie/Tak 10 –	20	PG-TSSOP-16, jednokan., ASK/FSK
TDA5250 868	Tak/Tak 9 –109	64	PG-TSSOP-38, jednokan., ASK/FSK
TDA5255 434	Tak/Tak 9 –109	100	PG-TSSOP-38, jednokan., ASK/FSK

gnał o mocy maksymalnej 4 dBm (dla zakresu 868 MHz) lub 6 dBm (dla zakresu 434 MHz). Infineon oferuje także układy o mocy wyjściowej 9,5...16 dBm.

W odróżnieniu od „dyskretnych” scalonych nadajników i odbiorników, transceivery są dostępne w wersjach jednopasmowych, ale wyposażono je w możliwość programowej zmiany kanału radiowego. Nadajnik i odbiornik ma niezależnie wyprowadzone linie antenowe, co wymaga zastosowania zewnętrznego przełącznika antenowego (diodowego). Poza tym szczególnie aplikacja transceiverów TDA525x jest dość prosta. Prezentowane układy wyposażono w przełączalny interfejs I<sup>2</sup>C/SPI, który służy zarówno do konfiguracji układu, jak i dwukierunkowego transferu danych. Rejestry podzielono na 5 grup, w zależności od przeznaczenia.

W torze odbiorczym układów TDA525x zaimplementowano blok detekcji ramki danych, której budowa musi być zgodna z zalecaną przez producenta w dokumentacji. Niezbędnym fragmentem transferu danych jest nadawanie/odbior preambuły, która syn-

chronizuje tor odbiorczy. Zaletą rozwiązania zastosowanego w układach TDA525x jest zdolność do samodzielnej detekcji prędkości przesyłania danych. Interesującym elementem wyposażenia układów TDA525x jest zbudowany 6-bitowy przetwornik A/C, który służy do konwersji do postaci cyfrowej wartości sygnału RSSI lub do pomiaru wartości napięcia zasilającego, co umożliwi zdalne monitorowanie stanu zasilania.

Nie sposób również nie zauważyć w ofercie firmy mikrokontrolerów wyposażonych w tory radiowe. Produkowane pod oznaczeniami PMA71xx i PMA51xx oraz wyposażone w różnorodne układy peryferyjne, są konkurencją dla rozwiązań oferowanych przez innych producentów. Zestawienie układów produkowanych przez firmę Infineon zawiera **tab. 7**.

W części 2 artykułu dokończymy przegląd układów monolitycznych i przejdziemy do omawiania układów grubowarstwowych.

**Jacek Bogusz, EP**  
jacek.bogusz@ep.com.pl