

Systemy dla Internetu Rzeczy (33)

Zestaw czujnikowy LPSTK – CC1352R LaunchPad SensorTag

Nowy zestaw czujnikowy CC1352R LaunchPad SensorTag firmy Texas Instruments umożliwia projektowanie bezpiecznych, niskoenergetycznych, wielopasmowych sieci czujników w kilka minut. Kompletna, zasilana bateryjnie bezprzewodowa platforma do prototypowania systemów Internetu Rzeczy może przyspieszyć realizację wielu różnych pomysłów, czemu sprzyjają wbudowane czujniki: wilgotności względnej i temperatury, oświetlenia otoczenia, trzyosiowy czujnik ruchu oraz czujnik magnetyczny.

Nowy zestaw CC1352R LaunchPad SensorTag (o oznaczeniu LPSTK-CC1352R) jest już kolejnym zestawem z nazwą SensorTag [4]. Należy do platformy *SimpleLink MCU Platform* [1]. Pierwszy był zestaw *CC2541 SensorTag Development Kit*. Następny to (bestseller) *CC2650 SensorTag*, nazywany też SensorTag 2 [S1]. Następnie pojawiły się trzy warianty zestawu *SimpleLink CC1350 SensorTag* [S10].

W nowym zestawie, o pełnej nazwie *SimpleLink multi band CC1352R wireless MCU Launchpad SensorTag kit*, został zastosowany najnowszy procesor komunikacyjny CC1352R należący do platformy *SimpleLink* [2]. Jednak na stronie opisującej zestaw LPSTK wymieniany jest także układ CC1352P [3]. Jest on kompatybilny pinowo z układem CC1352R, co rzeczywiście umożliwia jego zastosowanie na tej samej płytce drukowanej. Zestaw zawiera cztery scalone czujniki niskiej mocy: wilgotności względnej i temperatury, oświetlenia otoczenia, trzyosiowy czujnik ruchu oraz czujnik magnetyczny (z zastosowaniem efektu Halla). Jako zasilanie zostały zastosowane dwie baterie rozmiaru AAA, z możliwością

zastosowania również baterii CR2032. Na płytce drukowanej zestawu zostały zastosowane dwa złącza 20-pinowe zgodne ze standardem *BoosterPack*. Umożliwia to dołączanie standardowych modułów rozszerzeń platformy *SimpleLink*.

Zestaw jest dostarczany z domyślnie zainstalowanym oprogramowaniem o nazwie *Multi Sensor* [9]. Umożliwia ono komunikację z wykorzystaniem protokołu BLE, ze smartfonem z aplikacją *SimpleLink Starter* dostępną na system iOS i Android. Szczególną zaletą zestawu CC1352R LaunchPad SensorTag jest możliwość jednoczesnej transmisji dwuzakresowej z różnymi protokołami komunikacyjnymi.

Dokumentacja

Pomysły dotyczące sposobu dokumentowania wyrobów firmy Texas Instruments ciągle się zmieniają. Jest tendencja do zamieszczania nowych opisów w portalu TIREX [21] oraz zamieszczania prezentacji wideo [12-15]. W poszukiwaniu informacji dotyczących zestawu *CC1352R LaunchPad SensorTag* najbardziej przydatna jest strona

produktu [4]. Zgromadzone są na niej informacje i odnośniki do dokumentów, opisu wspomagania sprzętowego i programowego, wersji i dostępności układów oraz przykładowych projektów z jego zastosowaniem i wiele innych.

Rozmieszczenie sygnałów i napięć na złączach standardu BoosterPack z sygnałami wyprowadzeń I/O procesora zestawu CC1352R LaunchPad SensorTag jest pokazane w dokumencie LPSTK-CC1352R Quick start guide [5]. Pliki konstrukcyjne płytki i schemat zestawu LPSTK są zamieszczone w pliku LPSTK-CC1352R Design Files [7] dostępnym ze strony produktu [4].

Ogólne omówienie zasobów platformy SimpleLink jest zamieszczone w dokumencie Deep dive into the tools and development kits of the SimpleLink MCU platform [6].

Zasoby programowe i opisy są zamieszczone w pakiecie programowym SimpleLink CC13x2 and CC26x2 software development kit (SDK) [8]. Rozszerzeniem pakietu SDK jest pakiet SimpleLink Academy zawierający ćwiczenia praktyczne [9, 10].

Opis zestawu CC1352R LPSTK, omówienie budowy, pierwsze eksperymenty z komunikacją BLE ze smartfonem, opis aktualizacji poprzez radio oraz debugowania jest zamieszczony na stronie SimpleLink Academy w warsztacie LPSTK-CC1352R LaunchPad SensorTag Out of Box Experience (z drugą nazwą Meet the SimpleLink LPSTK-CC1352R LaunchPad SensorTag Development Kit) [9].

Specjalnie dla zestawu CC1352R LPSTK zostały przygotowane trzy przykładowe projekty [9]. Pierwszy projekt o nazwie BLE Multi Sensor umożliwia komunikację BLE ze smartfonem i jest fabrycznie programowany do procesora zestawu. Drugi projekt umożliwia pracę zestawu jednocześnie w dwóch pasmach radiowych z dwoma różnymi protokołami. Dokładne omówienie jest zamieszczone w dokumencie LPSTK TI 15.4 – Stack [10]. Trzeci projekt dotyczy zastosowania komunikacji z protokołem ZigBee [9]. Porównanie konfiguracji sieci bezprzewodowych tworzonych z zastosowaniem zestawu CC1352R LPSTK jest omówione w Innovate, accelerate and connect across frequency bands and protocols with the SimpleLink MCU platform [11].

Na portalu TI w sekcji szkoleń są zamieszczone bardzo przydatne prezentacje wideo. W prezentacji LaunchPad SensorTag kit out-of-box experience została pokazana praca z zestawem CC1352R LPSTK prosto z pudełka [12].

W następnej prezentacji Multi-protocol ZigBee and Bluetooth wireless switch demo with LPSTK-CC1352R została pokazana jednoczesna praca z sieciami bezprzewodowymi z protokołem BLE oraz ZigBee [13]. Przykłady różnych sposobów użycia zestawu CC1352R LPSTK zostały pokazane w prezentacji TI wireless sensor kit [14]. W ostatniej prezentacji Flexible power options for LPSTK-CC1352R: Soldering coin cell battery holder jest pokazane, jak zalutować koszyk baterii CR2032 na płytkę drukowaną zestawu [15]. W najnowszej prezentacji Long-range, multi-band sensor networks with LPSTK-CC1352R pokazana jednoczesna praca z dwoma sieciami bezprzewodowymi z protokołami: BLE w pasmie 2,4 GHz oraz IEEE 802.15.4 w pasmie Sub-1 GHz (duży zasięg) [23].

Procesor CC1352R

Wielordzeniowy procesor CC1352R1F3 typu SOC (System on Chip) rodziny SimpleLink CC13xx firmy Texas Instruments jest przeznaczony do komunikacji bezprzewodowej w pasmach ISM 2,4 GHz oraz w pasmie poniżej 1 GHz (Sub-1 GHz) [2]. Należy on do platformy MCU Platform [1]. Platforma ta integruje układy scalone, moduły uruchomieniowe, środowisko programowe Code Composer Studio (CCS), pakiety programowe Software Development Kit (SDK) [8] z warsztatami praktycznymi (SimpleLink Academy). Całość jest optymalizowana pod kątem tworzenia projektów dla Internetu Rzeczy. Zapewniona jest pełna przenośność kodu w ramach platformy. W pamięci ROM układu scalonego został zamieszczony kod: TI-RTOS, Drivers, Bootloader, Bluetooth low energy Controller, Thread oraz IEEE 802.15.4 MAC.

Układ scalony CC1352R ma rdzeń aplikacyjny ARM Cortex-M4F (48 MHz) z dużą ilością pamięci Flash – do 352 kB oraz pamięć RAM do 256 kB [2]. Osobny rdzeń komunikacyjny ARM Cortex-M0 (48 MHz) jest przeznaczony do obsługi modułu radiowego.

Trzeci rdzeń Sensor Controller (24 MHz, 4 kB RAM) jest przeznaczony do autonomicznej obsługi układów peryferyjnych. Ma sprzętowy układ mnożenia z akumulacją i dynamiczne sterowanie poborem mocy.

W układzie CC1352R zastosowano akceleratory obsługujące szyfrowanie AES-128/256, SHA2-512, krzywe eliptyczne (ECC), RSA-2048, a także generator liczb losowych (TRNG). W obudowie 7×7 mm VQFN48 układ CC1352R udostępnia 31 wyprowadzeń GPIO. Cechuje się bardzo niskim poborem mocy. Dzięki wbudowanemu przetwornikowi DC/DC może być zasilany napięciem o szerokim zakresie 1,8...3,8 V. Układ radiowy pobiera stosunkowo mało prądu: RX 5,7 mA, TX 14 mA (+10 dBm, 868 MHz).

W stanie aktywnym rdzeń aplikacyjny ARM Cortex-M4F pobiera 2,82 mA (59 µA/MHz). Jeszcze niższy pobór mocy wykazuje rdzeń Sensor Controller. Na przykład przy próbkowaniu ADC co 1 sekundę pobiera tylko 1 µA, w stanie Standby: 0,8 µA (RTC pracuje), w stanie Shutdown: 105 nA (budzenie po przyjsciu sygnału przerwania).

Układ scalony CC1352R obsługuje 10 protokołów komunikacyjnych:

- w pasmie 2,4 GHz: Bluetooth 5 low Energy, IEEE 802.15.4g (Thread, ZigBee, Wireless M-Bus, autorskie),
- w pasmie Sub-1 GHz: IEEE 802.15.4 (6LoWPAN, KNX RF, Wi-SUN, autorskie).

Obsługa standardu Bluetooth 5 obejmuje transmisję high-speed 2 Mbps, 500 kbps oraz 125 kbps long range.

Obsługa standardu „2,4-GHz IEEE 802.15.4-2011 physical layer” obejmuje: 2 Mchips per second Offset-QPSK z DSSS 1:8. Dostarczany jest też darmowy stos dla komunikacji Thread oraz ZigBee.

Układ daje możliwość jednoczesnej (concurrent) pracy w dwóch sieciach bezprzewodowych z użyciem różnych protokołów transmisji w sposób transparentny dla użytkownika. Obecnie układ scalony CC1352R jest dostępny z serii produkcyjnej o oznaczeniu CC1352R1F3 (PG1.1, Rev.E) [2].

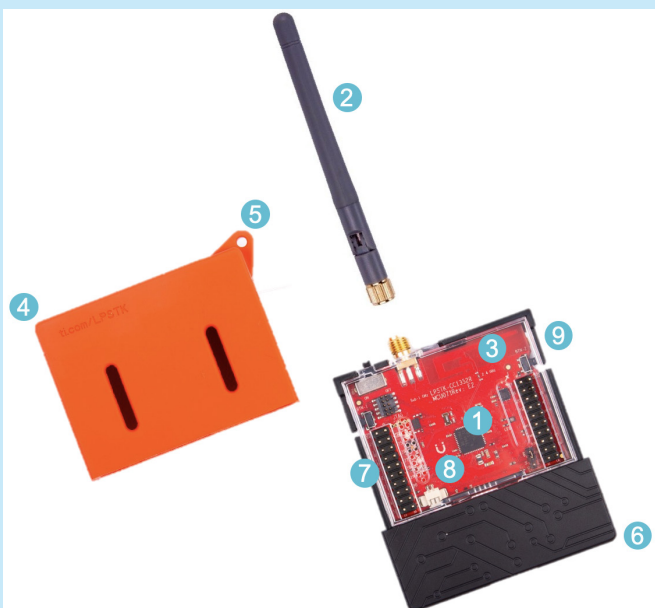
W poszukiwaniu informacji dotyczących układu CC1352R najbardziej jest przydatna strona produktu [2]. Zgromadzone są na niej informacje i odnośniki do dokumentów opisu, wspomagania sprzętowego i programowego, wersji i dostępności układów oraz przykładowych projektów z jego zastosowaniem oraz wiele innych.

Procesor CC1352P

Procesor CC1352P jest w pełni kompatybilną wersją układu CC1352R z dodatkowym zintegrowanym wzmacniaczem mocy +20 dBm [3], który znacznie zwiększa zasięg przy niskim poborze prądu, do 60 mA. Może być przydatny w systemach automatyki budynków oraz sieciach czujników. Obecnie układ scalony CC1352P jest dostępny z serii produkcyjnej o oznaczeniu CC1352P1F3 (PG1.1, Rev.E) [3].

Budowa zestawu CC1352R LaunchPad SensorTag

Płytkę drukowaną zestawu CC1352R LPSTK jest umieszczona w górnej części czarnej plastikowej obudowy (rysunek 1). Dolna część tej obudowy zawiera dwie baterie rozmiaru AAA (6). Na część górną nakładana jest czerwona osłona silikonowa z otworami (4). Osłona ma specjalny otwór do zamocowania „smyczki” (5). Na środku płytki drukowanej jest zamontowany układ scalony procesora komunikacyjnego CC1352R1 (1). Wokół niego są zamontowane układy scalone czujników (8) oraz dioda RGB LED. Po obu stronach płytki drukowanej są zamontowane złącza w standardzie BoosterPack, dające dostęp do nóżek wejścia/wyjścia tego procesora (7). Na krawędzi płytki jest zamontowany wyłącznik zasilania oraz dwa przyciski użytkownika (9). W prawym górnym rogu płytki drukowanej jest



Rysunek 1. Zestaw czujnikowy CC1352R LaunchPad SensorTag [4]

wykonana w technice powierzchniowej antena zakresu 2,4 GHz (3). Na górnej krawędzi płytki zamontowane jest gniazdko SMA do zewnętrznej anteny (prętowej) dla zakresu Sub-1 GHz (2). Całość ma rozmiary: 5,0×6,7×1,4 cm.

Zestaw zawiera: płytkę układu w czarnej obudowie z czerwoną osłoną, 10-żyłowy kabel SWD (ARM) do złączy debugowych JTAG, przegubową antenę prętową ze złączem SMA dla pasma Sub-1 GHz, dwa kabelki z wtyczkami na gold piny oraz *LPSTK-CC1352R Quick start guide* [5].

Zestaw nie zawiera baterii rozmiaru AAA oraz zestawu startowego *SimpleLink CC1352R wireless MCU LaunchPad development kit* (LAUNCHXL-CC1352R1) rekomendowanego do debugowania.

Czujniki

Zestaw CC1352R LaunchPad SensorTag zawiera kilka czujników MEMS niskiej mocy:

- Czujnik oświetlenia otoczenia (podczerwieni) OPT3001 (Texas Instruments) [17],
- Czujnik wilgotności względnej i temperatury HDC2080 (Texas Instruments) [18],
- Czujnik magnetyczny DRV5032 z zastosowaniem efektu Halla (Texas Instruments) [19],
- Trzyosiowy czujnik ruchu (akcelerometr) ADXL362 (Analog Devices) [20].

Dodatkowe elementy zestawu:

- Dioda LED RGB,
- Pamięć SPI FLASH-NOR 1 MB MX25R8035FZUILO (Macronics),
- Dwa przyciski użytkownika: lewy (SW1) i prawy (SW2),
- Złącza rozszerzeń w standardzie BoosterPack z sygnałami wyprowadzeń I/O procesora,
- Standardowe złącze debugera JTAG (typu ARM 10-pin),
- Zasilanie: 1,8...3,8 V, typowo 3 V ze złącza baterii,
- Opcjonalnie można zalutować na płytkę drukowaną pojemnik na baterię CR2032.

Budowa płytki drukowanej zestawu CC1352R LaunchPad SensorTag

Cała elektronika zestawu *CC1352R LPSTK* jest umieszczona na jednej czterowarstwowej płytce drukowanej (MCU071 Rev. A) [7]. Jest ona zorganizowana w bardzo podobny sposób jak płytka zestawu *CC13x2R1 LaunchPad* [S15]. Bardzo ciekawym pomysłem jest oznaczenie miejsca zalutowania układów scalonych czujników

symbolami logo (ikonek) wyróżniającymi czujnik. Istotne elementy mają wydrukowane osobne oznaczenia.

Układ scalony procesora komunikacyjnego CC1352R1 (U1) został zastosowany w standardowej konfiguracji pracy. Do układu są dołączone, umieszczone na płytce, rezonatory kwarcowe: głównego zegara systemowego 48 MHz (Y2) oraz zegara RTC 32,768 kHz (Y1). Jest także umieszczona zewnętrzna pamięć Flash 8 Mbit MX25R8035 (U2) bardzo małej mocy dołączona do procesora, obsługiwana poprzez 4-sygnałowe łącze SPI: sygnał SCLK na wyprowadzenie DIO10, sygnał MOSI na wyprowadzenie DIO9, sygnał MISO na wyprowadzenie DIO8, sygnał nCS na wyprowadzenie DIO20.

Układy scalone czujników wilgotności względnej i temperatury (HDC2080, U3) oraz oświetlenia otoczenia (OPT3001, U6) są dołączone do układu CC1352R1 (U1) poprzez szynę standardu I²C: sygnał WMCU_SCL na wyprowadzenie DIO4, sygnał WMCU_SDA na wyprowadzenie DIO5. Linie szyny I2C mają dołączone rezystory podciągające 3,3 kΩ do napięcia VDD. Wyprowadzenie przerwania czujnika wilgotności względnej i temperatury (HDC2080, U3) jest dołączone do wyprowadzenia DIO25. Wyprowadzenie przerwania czujnika oświetlenia otoczenia (OPT3001, U6) jest dołączone do wyprowadzenia DIO27.

Wyprowadzenie wyjścia czujnika magnetycznego DRV5032 (U4) jest dołączone do wyprowadzenia DIO23 procesora CC1352R1 (U1). Trzyosiowy czujnik ruchu ADXL362 (U5) jest dołączony do układu CC1352R1 (U1) poprzez łącze standardu SPI: sygnał SCLK na wyprowadzenie DIO10, sygnał MOSI na wyprowadzenie DIO9, sygnał MISO na wyprowadzenie DIO8, sygnał ACC_nCS na wyprowadzenie DIO11. Wyprowadzenie przerwania jest dołączone do wyprowadzenia DIO30.

Pięć sygnałów portu JTAG procesora CC1352R1 (U1) jest doprowadzonych do łącza JTAG (P2) typu ARM 10-pin. Sygnały te są również dostępne na łączu J3 standardu BoosterPack. Dodatkowo trzy sygnały są doprowadzone do pola lutowniczego dla łącza P3.

Przyciski

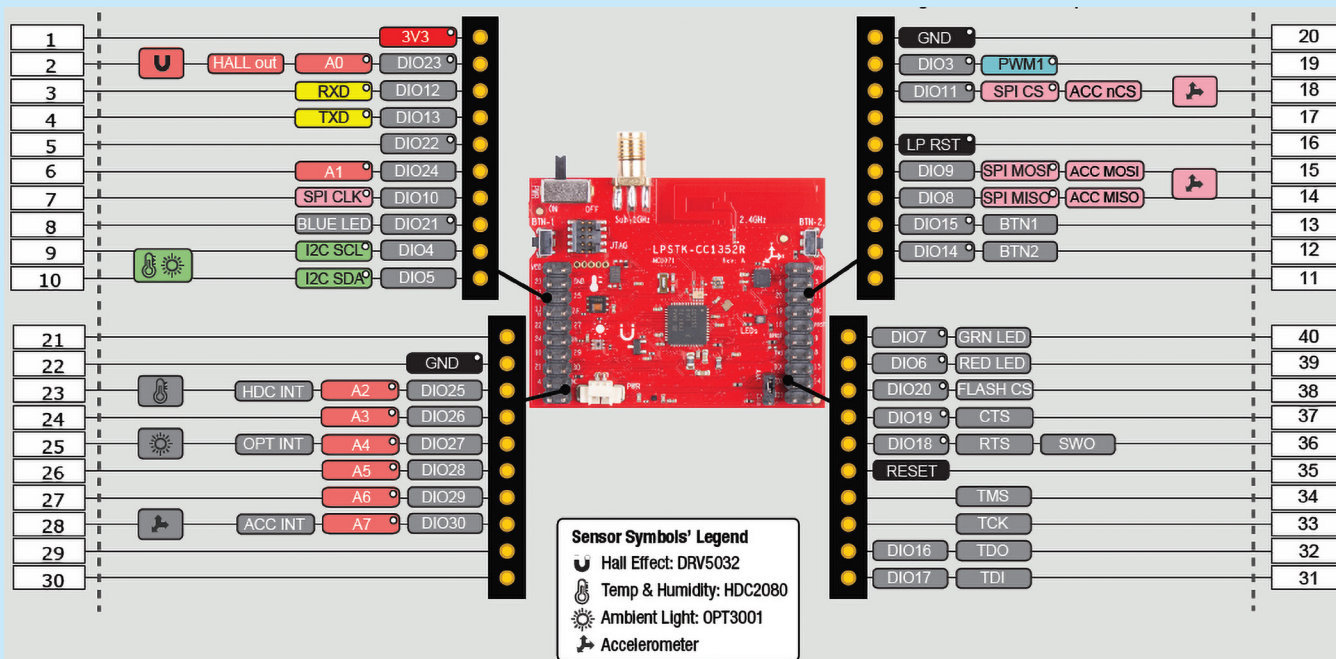
Przycisk SW1 (lewy, oznaczenie BTN-1) jest dołączony jednym końcem do masy oraz drugim do rezystora szeregowego 100 Ω i do wyprowadzenia sygnału DIO_15 (wyprowadzenie 21) układu CC1352R1. Jeśli wyprowadzenie jest skonfigurowane jako wejście, to przyciśnięcie SW1 powoduje wymuszenie na nim niskiego poziomu logicznego. Przycisk SW2 (prawy, oznaczenie BTN-2) jest również dołączony jednym końcem do masy oraz drugim do rezystora szeregowego 100 Ω oraz do wyprowadzenia sygnału DIO_14 (wyprowadzenie 131) układu CC1352R1. Rezystancje szeregowe są na tyle duże, że w przypadku skonfigurowania wyprowadzeń układu CC1352R1 jako wyjście, to przyciśnięcie przycisku nie spowoduje uszkodzeń. Podłączenie przycisków jest takie same jak na płytce zestawu *CC13x2R1 LaunchPad* [S15].

Diody LED RGB

Sygnał DIO6 (wyprowadzenie 11) jest dołączony do wejścia tranzystora Q3 podłączonego do diody czerwonej RGB (CR1, oznaczenie LEDs) i przez rezystor 180 Ω do masy. Sygnał DIO7 (wyprowadzenie 12) jest dołączony do wejścia tranzystora Q2 podłączonego do diody zielonej RGB (CR1) i przez rezystor 180 Ω do masy. Podłączenie diody czerwonej i zielonej jest zgodne z płytką zestawu *CC13x2R1 LaunchPad* [S15]. Sygnał DIO21 (wyprowadzenie 31) jest dołączony do wejścia tranzystora Q1 podłączonego do diody niebieskiej RGB (CR1) i przez rezystor 220 Ω do masy.

Złącza rozszerzeń w standardzie BoosterPack

Na złączach J2 oraz J3 jest udostępnionych 26 wyprowadzeń wejścia-wyjścia (GPIO) układu scalonego CC1352R1 oznaczanych jako „DIOxx”, gdzie xx – numery od 01 do 31 (**rysunek 2**). Numery te są wydrukowane na płytce obok poszczególnych nóżek złączy.



Rysunek 2. Dołączenie wyprowadzeń układu scalonego CC1352R do złączy standardu BoosterPack zestawu LPSTK [5]

Wyprowadzone jest też połączenie do sygnału Reset procesora. Sygnały łączy JTAG są również doprowadzone poprzez cztery rezystory. Jednak dwa rezystory nie są fabrycznie zainstalowane. Sposób rozmieszczenia wyprowadzeń dobrze pokazuje rysunek 2. Rozmieszczenie sygnałów i napięć jest (prawie) zgodne z płytką zestawu *CC13x2R1 LaunchPad* [S15]. Jedyna różnica polega na braku napięcia 5V na wyprowadzeniu J2.2.

Anteny

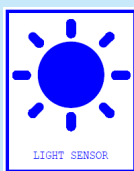
Dopasowanie systemu antenowego ma decydujący wpływ na jakość pracy układu komunikacji radiowej, szczególnie przy bardzo małych mocach. Układ scalony CC1352R ma osobne różnicowe wyprowadzenia dla obsługi transmisji w paśmie 2,4 GHz oraz w paśmie Sub-1 GHz.

Firma Johanson Technology opracowała specjalnie dla niego zintegrowany podwójny układ IPC (*Integrated Passive Component*), oznaczenie 0900PC15A0036 (TR1) o rozmiarach tylko 2×1,25×1 mm [16]. Jego zastosowanie redukuje liczbę koniecznych komponentów z 23 do 3 przy znacznej redukcji wymaganej powierzchni oraz kosztu. Zapewnia on dopasowanie impedancyjne, ballun oraz filtrację harmonicznych jednocześnie w dwóch torach: 2,4...2,5 GHz oraz 862...928 MHz. Tor Sub-1 GHz jest dołączony do gniazdka antenowego J1 typu SMA (oznaczenie Sub-1 GHz). Tor 2,4 GHz jest dołączony do anteny A1 (oznaczenie 2,4 GHz) zrealizowanej bezpośrednio na płytce drukowanej. Zaletą anteny PCB jest niska cena oraz dobra jakość (po dokładnym zweryfikowaniu działania kolejnych wersji płytki drukowanej).

Na płytce drukowanej jest też zamontowane gniazdko radiowe P1 (typu uSMA). Po przelutowaniu kondensatora C11 w pole C9 (zaraz obok) będzie ono dołączone do wyjścia układu TR1. Takie zorganizowanie wyprowadzenia sygnału radiowego na dwie anteny sugeruje możliwość (w przyszłości?) jednoczesnej pracy w obu zakresach.

Czujnik oświetlenia otoczenia OPT3001

Scalony czujnik oświetlenia otoczenia OPT3001 firmy Texas Instruments wykonuje pomiar poziomu oświetlenia [17]. Charakterystyka spektralna czujnika jest zbliżona do charakterystyki ludzkiego oka. Układ wykazuje bardzo dobre tłumienie podczerwieni. Wbudowana automatyka



pomiaru umożliwia uzyskanie zakres pomiarowy od 0,01 lx do 83 klx. Odpowiada to 23-bitowemu zakresowi dynamiki pomiarowej. Układ OPT3001 obsługuje łącze komunikacyjne w standardzie I²C fast 400 kHz.

Czujnik wilgotności względnej i temperatury HDC2080

Układ scalony HDC2080 firmy Texas Instruments jest wykonany w technologii pojemnościowej [18]. Udostępnia 14-bitowe pomiary wilgotności względnej w zakresie 0...100% z dokładnością ±2% RH (w zakresie 20...80% RH). Czas odpowiedzi wynosi (τ 0...63%) 8 s, dryft długoterminowy (20...80% rH) 0,25% RH/rok, a histereza ±1% RH. Dodatkowo wykonywany jest 14-bitowy pomiar temperatury. Umożliwia to wewnętrzne skompensowanie termiczne pomiarów. Układ jest skalibrowany fabrycznie. Pracuje z szerokim zakresem zasilania 1,62...3,6 V. Pobiera 650 μ A średnio przy odczycie 1 Hz oraz 50 nA w stanie uśpienia. Układ obsługuje łącze komunikacyjne standardu I²C oraz SPI. Dostarczany jest w małej obudowie 2×2×0,9 mm. Układ zawiera wewnętrzny grzejnik włączany programowo.



Czujnik magnetyczny DRV5032 z zastosowaniem efektu Halla

Układ scalony DRV5032 firmy Texas Instruments to ultraenergooszczędny czujnik Halla z cyfrowym przełącznikiem [19]. Układ ustawia wyjście w stan niski, gdy wykrywana gęstość strumienia magnetycznego przekroczy próg. Wyjście pozostaje w stanie niskim, dopóki gęstość strumienia nie spadnie poniżej progu, a następnie ustawiany jest stan wysoki albo stan wysokiej impedancji, w zależności od wersji urządzenia. Dzięki wbudowanemu oscylatorowi urządzenie próbkuje pole magnetyczne i aktualizuje stan wyjścia z częstotliwością 20 lub 5 Hz. Układ oferowany jest w różnych wersjach: poziomie progu gęstości strumienia magnetycznego (3,9/4,8/9,5/63 mT), częstotliwości próbkowania (5/20 Hz), sterowania wyjścia (push-pull/oper-drain). Działa w zakresie zasilania od 1,65...5,5 V w małej obudowie (SOT-23/X2SON). Pobiera bardzo mało prądu: wersja 5 Hz: 0,54 μ A (1,8 V), wersja 20 Hz: 1,6 μ A (3 V).



Trzyosiowy czujnik ruchu (akcelerometr) ADXL362

Układ scalony ADXL362 firmy Analog Devices to 3-osiowy akcelerometr MEMS z wyjściem cyfrowym oraz z wbudowanym czujnikiem temperatury [20]. Układ pracuje z szerokim zakresem zasilania 1,6...3,6 V. Pobiera on nadzwyczaj mało prądu 1,8 μ A dla pomiarów 100 Hz, tylko 270 nA w trybie uśpienia (pomiar ok. 6 Hz) z wykrywaniem zdarzeń oraz tylko 10 nA w stanie głębokiego uśpienia. Zawiera programowalny generator sygnału przerwania aktywowanego po wykryciu ruchu w trzech osiach (z ustawianiem progu) lub swobodnego upadku. Układ umożliwia skalowanie zakresu pomiarowego od ± 2 g do ± 8 g oraz częstotliwości pomiarów od 12,5 Hz do 400 Hz. Układ obsługuje łącze komunikacyjne standardu SPI z osobnym napięciem od 1,8...3,3 V.



Zasilanie

Płytkę zestawu CC1352R LPSTK jest zasilana napięciem 3 V (typ.) z dwóch baterii rozmiaru AAA wkładanych w dolnej części obudowy zestawu. Ich napięcie jest dołączane do złącza P4 (oznaczenie PWR) na płytce drukowanej. Jest możliwość zasilania płytki również z baterii CR2032. W tym celu można na dolnej stronie płytki drukowanej zalutować pojemnik na baterię CR2032. Sposób wykonania tej operacji jest pokazany na prezentacji wideo [15].

Napięcie z obu źródeł doprowadzone jest do złącza P5 (oznaczenia: AAA, Coin) w postaci trzech wyprowadzeń typu goldpin. Pozwala to na wybór źródła zasilania standardową zworką. Wybrane napięcie jest podawane na wyłącznik SW3 (oznaczenie PWR) umieszczony na górnej krawędzi płytki drukowanej. Ma on dwie pozycje oznaczone: ON i OFF. Dalej napięcie wejściowe jest podawane na wejście układu scalonego przełącznika elektronicznego, TPS22910A (U7). Układ jest skonfigurowany na stałe włączenie i przy małej rezystancji włączenia 61 m Ω pracuje jako aktywne zabezpieczenie przed podaniem wejściowego napięcia o odwrotnej polaryzacji. Zabezpiecza też przed spadkiem napięcia wejściowego poniżej 1,2 V. Napięcie wyjściowe VDD z układu przełącznika jest dołączone do układów scalonych wszystkich czujników, pamięci Flash oraz diod LED. Jest też wyprowadzone na złącze standardu BoosterPack (J2.1) oraz JTAG (P2.1). Napięcie VDD, poprzez dławik FL1, jest też podawane na wyprowadzenia VDDS (1,8...3,8 V) głównego zasilania układu scalonego

procesora komunikacyjnego CC1352R1 (U1). Zasilanie domeny cyfrowej (VDDR) oraz modułu radiowego (VDDR_RF) jest realizowane w standardowej konfiguracji z wewnętrzną przetwornicą DC/DC i zewnętrznym dławikiem L1 [2].

Użytkowanie zestawu CC1352R LaunchPad SensorTag

Oprogramowanie dla zestawu CC1352R LPSTK jest dostarczane w ramach pakietu programowego *SimpleLink CC13x2 and CC26x2 software development kit (SDK)* (Ver. 3.40.00.02) [8] wraz z instalowaną najnowszą wersją pakietu SimpleLink Academy (Ver. 3.30.03.00) [9]. Zestaw jest dostarczany z fabrycznie zainstalowanym programem o nazwie *Multi Sensor* [9]. Program obsługuje transmisję bezprzewodową Bluetooth LE ver.5.0. Jego opis znajduje się w pliku README.html w folderze projektu *Multi Sensor* w ścieżce: `C:\ti\simplelink_cc13x2_26x2_sdk_3_40_00_02\examples\rtos\CC1352R1_LAUNCHXL\ble5stack\multi_sensor`

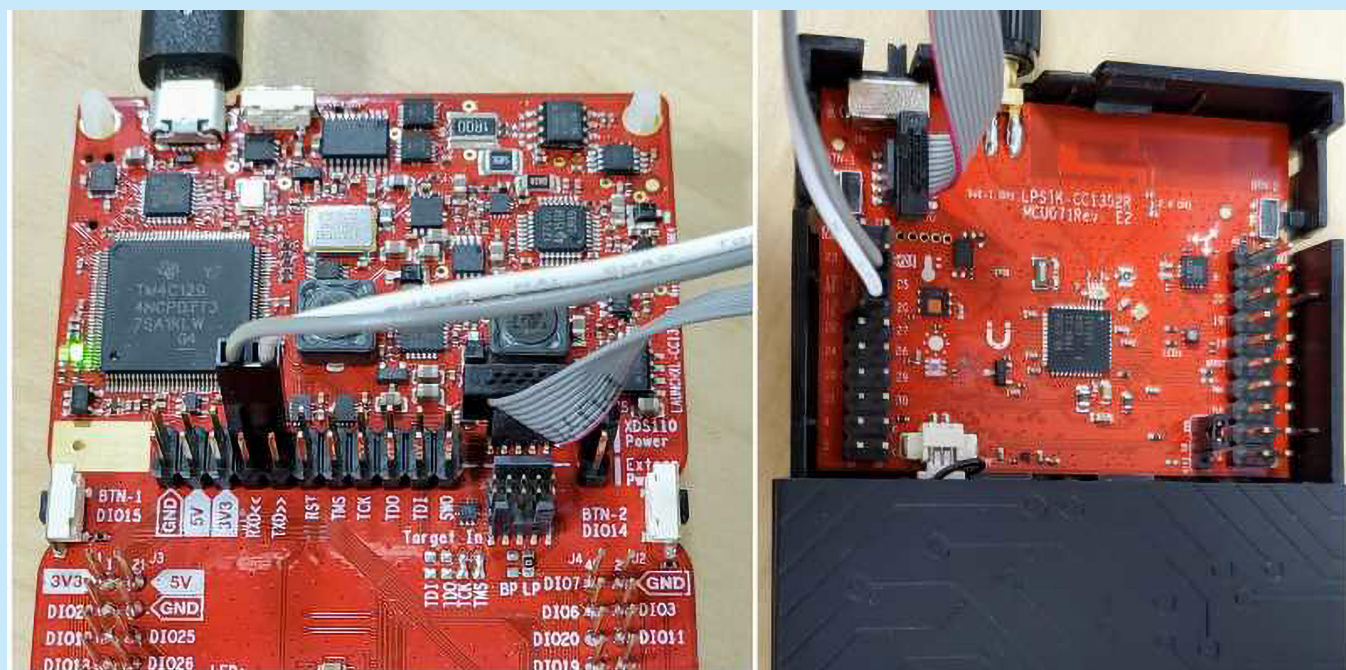
Program *Multi Sensor* umożliwia komunikację z zastosowaniem protokołu BLE pomiędzy zestawem CC1352R LPSTK oraz smartfonem z aplikacją *SimpleLink Starter* (dostępną na system iOS i Android).

Szczególną zaletą zestawu CC1352R LPSTK jest możliwość jednoczesnej transmisji dwuzakresowej z różnymi protokołami komunikacyjnymi. Nową wersję oprogramowania z nowym protokołem transmisji można załadować bezprzewodowo podczas pracy programu *Multi Sensor* z aplikacją *SimpleLink Starter* [9]. Dostępny jest projekt programowy dla pracy zestawu CC1352R LPSTK z protokołem BLE oraz ZigBee. Drugi projekt programowy umożliwia pracę dwuzakresową zestawu CC1352R LPSTK: z protokołem BLE (2,4 GHz) oraz z protokołem IEEE 802.15.4 (Sub-1 GHz).

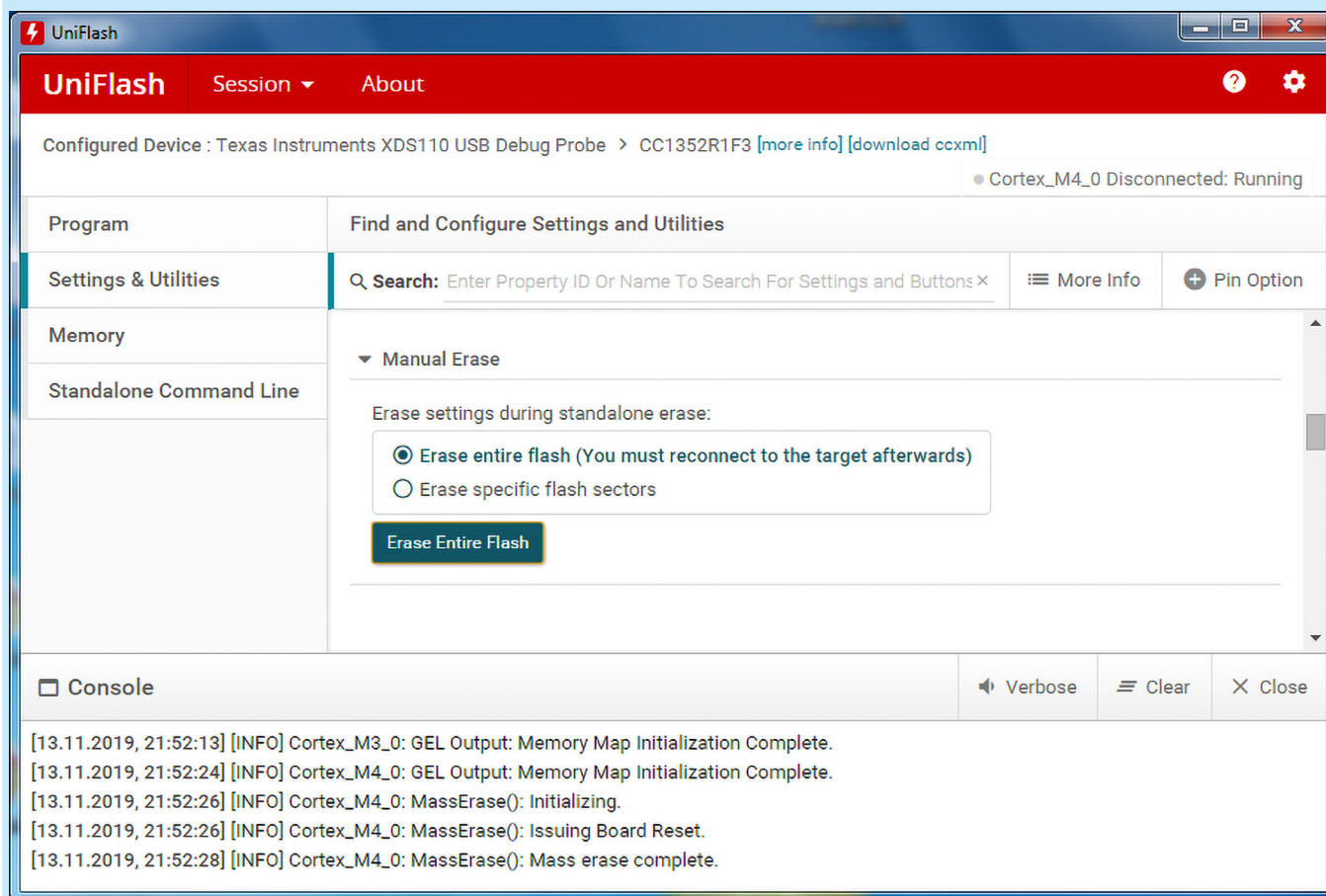
Zestaw *LPSTK-CC1352R* jest zgodny programowo z zestawem *CC13x2R1 LaunchPad*. Umożliwia to zastosowanie do niego wielu dotychczas dostępnych projektów.

Debugowanie zestawu CC1352R LaunchPad SensorTag

W celu debugowania pracy zestawu CC1352R LPSTK trzeba dołączać JTAG (P2) dołączyc debugger sprzętowy [9]. Może to być debugger standardu XDS110. Najprościej można użyć debugera XDS110 znajdującego się na płytce zestawu *CC13x2R1 LaunchPad*. W zestawie CC1352R LPSTK załączony jest kabel ARM 10-pin JTAG oraz dwa kabelki w wtyczkami



Rysunek 3. Dołączenie debugera XDS110 zestawu CC13x2R1 LaunchPad do zestawu LPSTK [9]



Rysunek 4. Czyszczenie całej pamięci Flash układu CC1352R1

Wybrane pozostałe artykuły kursu „Systemy dla Internetu Rzeczy”

- [S1] Zestaw CC2650 SensorTag, EP 12/2016
- [S10] Zestaw CC1350 SensorTag, EP 10/2017
- [S15] Zestaw CC1352R1 LaunchPad, EP5/2018

Literatura

- [1] SimpleLink MCU platform, <http://bit.ly/2PVbapY>
- [2] CC1352R SimpleLink multi-band wireless MCU, Texas Instruments, <http://bit.ly/35tHuqc>
- [3] CC1352P SimpleLink multiband wireless MCU with integrated power amplifier, Texas Instruments, <http://bit.ly/2PNqPYe>
- [4] SimpleLink multi band CC1352R wireless MCU Launchpad SensorTag kit LPSTK-CC1352R, Texas Instruments, <http://bit.ly/38GI1ar>
- [5] LPSTK-CC1352R Quick start guide, 26 Nov 2019, Texas Instruments, <http://bit.ly/35sTOr0>
- [6] Deep dive into the tools and development kits of the SimpleLink MCU platform (SWAY002B), Adrian Fernandez, Henry Wiechman, 25 Sep 2019, Texas Instruments, <http://bit.ly/2YR1oJn>
- [7] LPSTK-CC1352R Design Files ZIP 15 Oct 2019, Texas Instruments, <http://bit.ly/38Eicrr>
- [8] SimpleLink CC13x2 and CC26x2 software development kit (SDK) (Ver. 3.40.00.04), Texas Instruments, <http://bit.ly/38I8TXC>
- [9] SimpleLink Academy, LPSTK-CC1352R LaunchPad SensorTag Out of Box Experience, Texas Instruments, <http://bit.ly/2st7tQ4>
- [10] SimpleLink Academy, LPSTK TI 15.4 – Stack, Texas Instruments, <http://bit.ly/34jjR2o>
- [11] Innovate, accelerate and connect across frequency bands and protocols with the SimpleLink MCU platform, Adrian Fer, Nov 6, 2019, Texas Instruments, <http://bit.ly/2PP5KfX>
- [12] 3.23 Connect: LaunchPad SensorTag kit out-of-box experience, Video 5:02, November 3, 2019, Texas Instruments, <http://bit.ly/34rjCCp>
- [13] 3.24 Connect: Multi-protocol ZigBee and Bluetooth wireless switch demo with LPSTK-CC1352R, Video 4:57, November 6, 2019, Texas Instruments, <http://bit.ly/2RVFGCw>
- [14] Develop. Connect. Expand. TI wireless sensor kit, Video 0:53, November 3, 2019, Texas Instruments, <http://bit.ly/38Hwjwj>
- [15] Flexible power options for LPSTK-CC1352R: Soldering coin cell battery holder, Video 3:32, November 3, 2019, Texas Instruments, <http://bit.ly/35lY7nP>
- [16] Integrated Filter Balun for CC1352 (Matched Filter Balun for CC1352 and CC1352P), SWRA629A, 28 Jun 2019, Texas Instruments, <http://bit.ly/36Dwrlq>
- [17] OPT3001 ACTIVE Digital ambient light sensor (ALS) with high-precision human-eye response, Texas Instruments, <http://bit.ly/2YQJxSV>
- [18] HDC2080 ACTIVE ±2% ultra-low-power, digital humidity sensor with temperature sensor, <http://bit.ly/38lwKXb>
- [19] DRV5032 ACTIVE Ultra-Low Power 1.65V to 5.5V Hall Effect Switch, <http://bit.ly/35qMtrT>
- [20] ADXL362 Micropower, 3-Axis, ±2 g/±4 g/±8 g Digital Output MEMS Accelerometer, <http://bit.ly/34ajuT8>
- [21] TI Resource Explorer, TIREX, Texas Instruments, <http://bit.ly/2EkccWP>
- [22] UniFlash, v5.2.0, 8-Nov-2019, Texas Instruments, <http://bit.ly/2tfQzom>
- [23] 3.25 Connect: Long-range, multi-band sensor networks with LPSTK-CC1352R, Video training, Nov 21, 2019, Texas Instruments, <http://bit.ly/38KW9iL>

na gold piny. Zastosowanie ich do połączenia płytek obu zestawów umożliwia programowanie, debugowania oraz komunikację UART.

W celu przygotowania zestawów do pracy należy wykonać następujące czynności (rysunek 3):

1. Na płytce zestawu CC13x2R1 LaunchPad zdejmij wszystkie zworki na złączu izolacyjnym (podwójny grzebień poziomy w środku płytki),
2. Wetknij jedną wtyczkę kabla ARM 10-pin JTAG do złącza XDS110 OUT na płytce zestawu CC13x2R1 LaunchPad,
3. Wetknij drugą wtyczkę tego kabla do złącza JTAG zestawu CC1352R LPSTK,
4. Dołącz jedną wtyczkę szarego kabelka do pinu RXD zestawu CC13x2R1 LaunchPad a drugą wtyczkę do pinu RX (J2.12) zestawu CC1352R LPSTK,
5. Dołącz jedną wtyczkę białego kabelka do pinu TXD zestawu CC13x2R1 LaunchPad a drugą wtyczkę do pinu TX (J2.13) zestawu CC1352R LPSTK,
6. Dołącz zestaw CC13x2R1 LaunchPad kablem USB do komputera.

Zainstalowany fabrycznie na zestawie CC1352R LPSTK program Multi Sensor używa specjalnego programowego bootloadera o nazwie Boot Image Manager (BIM) [9]. Jest on umieszczony w pamięci Flash w obszarze niedostępnym podczas zwykłego programowania kodu. Może on utrudniać lub nawet uniemożliwiać uruchomienie innych programów. Aby go usunąć z pamięci Flash, należy użyć programu UniFlash w najnowszej wersji [22]. Po dołączeniu programu do zestawu należy wybrać zakładkę Settings and Utilities a następnie w sekcji Manual Erase kliknąć na przycisk Erase Entire Flash (rysunek 4). W oknie Console zostaną wyświetlone informacje o rezultatach wykonywanej operacji. Teraz już można zaprogramować do pamięci Flash nowy kod.

Podsumowanie

Nowy zestaw CC1352R LaunchPad SensorTag okazał się bardzo udaną konstrukcją. Dobrym pomysłem jest kompatybilność złączy

w standardzie BoosterPack (z sygnałami wyprowadzeń I/O procesora) z takimi złączami na zestawie CC13x2R1 LaunchPad. Kolejnym bardzo dobrym pomysłem jest takie dołączenie nowych elementów (czujników), że zestaw LPSTK jest kompatybilny programowo z zestawem CC13x2R1 LaunchPad. Następnym dobrym pomysłem jest zastosowanie gniazdka antenowego SMA do dołączania anteny pasma Sub-1 GHz oraz dołączenie w zestawie anteny prętowej. Rozwiązuje to problem słabej wydajności toru antenowego zestawu CC13x2R1 LaunchPad. Umożliwia również łatwe rozbudowanie systemu antenowego. Przy obecnym gwałtownym rozwoju techniki antenowej, szczególnie zestawów matrycowych anten, może mieć to bardzo duże znaczenie.

Dobrym pomysłem jest zastosowanie wyłącznika zasilania. Ma to istotne znaczenie przy braku przycisku Reset. W znaczący sposób ułatwia to pracę uruchomieniową i debugową oprogramowania i oszczędza łączy zasilania. Trafnym pomysłem jest zastosowanie autonomicznego zasilania ze standardowych baterii rozmiaru AAA. Umożliwi to wiele nowych zastosowań jako węzły sieci pracujące bezpośrednio w wielu miejscach użytkownika.

Dokładniejszego rozpatrzenia wymaga zagadnienie dołączania zewnętrznego emulatora typu XDS110, dołączania zewnętrznego zasilania oraz dołączania modułów rozszerzeń standardu BoosterPack.

Wydaje się, że główną zaletą nowego zestawu CC1352R LaunchPad SensorTag jest możliwość łatwej rozbudowy oraz jednoczesna komunikacja w sieci z protokołem BLE oraz z transmisją dalekiego zasięgu w pasmie Sub-1 GHz z protokołem IEEE 802.15.4. Już te dwie cechy oraz stosunkowo niska cena pozwalają przewidywać, że zestaw zostanie bestsellerem.

Zagadnienia programowania dwuzakresowej komunikacji z różnymi protokołami są na tyle skomplikowane, że wymagają osobnego omówienia.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

REKLAMA

100% ELEKTRONIKA NA AVT.PL/PRENUMERATA

OSCYSKOPY • SYSTEMY I ŹRÓDŁA ZASILANIA

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA + FTP

Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów • Styczeń • 1/2020

Przebudnik elektronika na DVD

SUPERKONDENSATORY

www.epi.com.pl

Szkoła Konstruktorów - Urządzenie związane z potrzebami dzieci

ELEKTRONIKA dla wszystkich

12.2019 GRUDZIEŃ • CENA 12 zł

Pitka kąpielowa

Nowy cykl: Z potrzeby chemii

- WISB11 - Uniwersalny sterownik osiem LED
- Generator impulsów prostokątnych
- Elektroczujnik bezpieczeństwa
- Komparator napięciowy
- Z palenicy chemii
- Rezyzeratorowy termometr
- Przebieg historii i alarmistyczny
- Złazno sterowanie ogrzewaniem budynku
- Relejon
- Kurs Arduino - Matrycowe wyświetlacze LED
- Automatyczny
- Elektronika w wosnyjacji i robotyce
- MPPT - Problemy i ograniczenia
- Kuchnia kontrolująca
- Taki przyrządki Zasilacz
- Wzmacniacz klasy D - BTL i PPTL

Portale branżowe
AutomatykaS2020.pl
ElektronikaB2B.pl

Drukarki 3D
www.3dprint.pl

Miejska dła specjalistów

www.led.pl

www.led.pl

12/2019 grudzień
Wydawca: Grzegorz Witak, prezes zarządu
Bim Computer Controls - s.c. 18

Elektronik

MAGAZYN ELEKTRONIKI PROFESJONALNEJ

Narzędzia projektowe i zestawy ewaluacyjne

Metody równoległego ładowania zasilaczy

Ochrona akumulatorów litowo-jonowych

Nowa wersja TouchGFX dla STM32 - str. 64

Produkt 0,2 miliona sprzedanych egzemplarzy

DIGIKEY.PL

Prenumerujesz Elektronikę Praktyczną + Elektronikę dla Wszystkich? Skorzystaj z promocji 1+1=3 i zamów bezpłatną prenumeratę Elektronika