Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● czerwiec ● 6/2025 ●

Tylko Prenumeratorzy

- mają dostęp do artykułów przed ich publikacją w EP na www.ep.com.pl – **EP W TOKU**
- mają dostęp do materiałów dodatkowych, takich jak pliki źródłowe projektów na naszym serwerze **FTP** www.ulubionykiosk.pl/media



inspirujące, użyteczne projekty

- Bardzo prosty sterownik silnika krokowego
- Ośmiokanałowy mostek master I²C/1-Wire Grove

podzespoły, sprzęt, aplikacje

- Płynna i bezpieczna praca nad projektami dzięki aplikacjom chmurowym Altium A365
- Programowalne przekaźniki logiczne z serii OPTA z obsługą interfejsu RS485
- Awaria na produkcji – i co dalej?
- Projekt referencyjny wydajnego podsystemu zasilania do zastosowań w sieciach czujnikowych NB-IoT
- Zasilacze do zastosowań wojskowych i lotniczych marki GAÏA Converter
- (Nie)standardowe interfejsy szeregowe. 1-Wire, UART, USART, RS-232, RS-422, RS-485
- (Nie) standardowe interfejsy szeregowe. SPI, MicroWire, QSPI, I²C, SMBus, I³C
- Układy i moduły radiowe

tutoriale

- Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych. Czujniki gazu i dymu
- Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce
- Pomiary zespołów głośnikowych

kursy

- Programowanie w środowisku MicroPython. Timery, przerwania i dioda WS2812
- Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego. Moduły rozszerzeń do zestawu DSP1701A_DSP_MK2
- Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego. Interfejs użytkownika



ISSN 1230-3526 Indeks 357677 06 9 771230 352252 18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE 8 EUR

UKŁADY I MODUŁY RADIOWE

eprasa.pl dfb64580ab

prenumerata

–20%
NA START
181,40 zł

–30%
po pierwszym roku prenumeraty
158,80 zł

–40%
po drugim roku prenumeraty
136,10 zł

–50%
po trzecim roku nieprzerwanej prenumeraty
113,40 zł

Odkryj korzyści z prenumeraty drukowanej – większe oszczędności z każdym rokiem!

Rozpocznij swoją przygodę z *Elektroniką Praktyczną*. Decydując się teraz na roczną prenumeratę drukowaną, otrzymasz nie tylko dostęp do najnowszych wydań, ale i **znakomity start dzięki zniżce 20%** na pierwsze zamówienie!

Prenumerata to nie tylko wygoda dostępu do treści, ale także sposób na znaczące oszczędności. Dołącz do grona naszych stałych czytelników i ciesz się coraz lepszymi warunkami.

Im dłużej jesteś z nami, tym więcej oszczędzasz:
- po roku nieprzerwanej prenumeraty zapewnimy Ci **30% rabatu** na kolejny rok,
- po dwóch latach wierności zaoferujemy **40% rabatu**,
- po trzech latach lojalności osiągniesz **najwyższy poziom rabatu – 50%!**

Jak otrzymać rabat za lojalność?
Zaloguj się na swoje konto prenumeratora na **www.UlubionyKiosk.pl** i zamów prenumeratę, korzystając z przycisku PRZEDŁUŻ w zakładce „Prenumeraty".

Przeglądaj wcześniej, płać mniej – postaw na e-prenumeratę!

Wybierz prenumeratę cyfrową PDF i ciesz się dostępem do czasopisma nawet 7 dni przed oficjalną premierą w kioskach. Oszczędzaj czas i pieniądze – skorzystaj z **rabatu 30%** na roczną e-prenumeratę w cenie 126,90 zł.

Dodatkowa oferta dla prenumeratorów wersji drukowanej: jeśli już subskrybujesz wersję papierową, możesz dokupić równoległe e-wydania w cenie 36,20 zł/rok – z niesamowitym **rabatem 80%**.

Zyskaj nieograniczony dostęp do zasobów dla pasjonatów elektroniki!

Tylko prenumeratorzy mają pełny dostęp do:
- artykułów przed ich publikacją w *Elektronice Praktycznej* na www.ep.com.pl – EP W TOKU
- materiałów dodatkowych (takich jak pliki źródłowe projektów) na www.UlubionyKiosk.pl/media

Zamów prenumeratę drukowaną lub e-prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl lub przez przelew na konto Wydawnictwa AVT, a po zaksięgowaniu wpłaty wyślemy Ci mailowo kod dostępu do portalu.

Zacznij korzystać z pełnych zasobów już dziś!

Zamów prenumeratę lub e-prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl/prenumerata
tel. 22 257 84 22 (godz. 10–14) | prenumerata@avt.pl | AVT Korporacja sp. z o.o. ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa
rachunek bankowy: 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013

Trudna droga na szczyt



Nadszedł czerwiec – dla większości z nas jest to preludium do długo wyczekiwanego okresu urlopowego, który zdecydowanie warto dobrze spożytkować, odrywając się na pewien czas od codzienności i resetując umysł przed kolejnymi wyzwaniami.

Na razie chciałbym jeszcze na chwilę skupić się na tematach uznawanych – przynajmniej przez niektórych z nas – za stricte zawodowe. Większość naszych Czytelników zauważyła zapewne, że w wielu pisanych przeze mnie artykułach chętnie odwołuję się do tematyki urządzeń medycznych, która jest mi zdecydowanie najbliższa. Tak się złożyło, że w maju tego roku miałem okazję trzy razy z rzędu – choć z zupełnie różnych okazji i w różnych miejscach – występować z prelekcjami dotyczącymi wdrażania innowacyjnej aparatury medycznej. Pod koniec miesiąca wziąłem także udział w debacie zorganizowanej przez dziennikarzy jednego z największych polskich dzienników, również poświęconej tematyce medycznej. Chciałbym podzielić się z Wami, drodzy Czytelnicy, kilkoma wnioskami płynącymi z tych wydarzeń.

Po pierwsze – wszelkie rozmowy na temat innowacji medycznych praktycznie zawsze prowadzą do dyskusji o rozmaitych trudach, z jakimi muszą mierzyć się wynalazcy, przedsiębiorcy i naukowcy zaangażowani w nowatorskie projekty. I absolutnie nie chodzi tutaj o nasze typowe, polskie narzekanie na wszystko. Faktem pozostaje jednak, że droga na tytułowy szczyt zdecydowanie nie jest usłana różami. Trudności pojawiają się na każdym etapie i – jak głosi znane przysłowie – im dalej w las, tym więcej drzew. Już sama identyfikacja potrzeb rynku stanowi nie lada wyzwanie, łatwo bowiem wpaść w pułapkę, w której dziesiątki (a raczej setki) firm, głównie start-upów, utopiły już grube miliony (i to nieważne, w jakiej walucie). Współczesna technologia – głównie elektronika – wręcz zachęca do tworzenia rozmaitych rozwiązań, chociażby w zakresie telemedycyny. Bo skoro można zbudować niewielkie, funkcjonalne urządzenie, np. przesyłające dane do lekarza w prosty, niemal bezobsługowy sposób, ułatwiając przy tym życie samemu pacjentowi i dając mu poczucie bezpieczeństwa, to czy taki projekt może się nie udać? Przecież stale słyszymy o kolejkach do lekarzy, terminach badań wyznaczonych na kilka lat do przodu i wiecznych niedoborach kadry medycznej. Okazuje się, że takie myślenie doprowadziło wiele interesujących przedsięwzięć do upadku, a przyczyna problemów nie tkwiła w niedopracowanej technologii (choć i takie przypadki nie były odosobnione). W istocie, bez dogłębnego zrozumienia działania tej wielkiej medycznej machiny, nawet (pozornie) najlepsze pomysły mogą być z góry skazane na niepowodzenie. I to często nie z winy samych inżynierów, którzy nierzadko opracowują naprawdę przemyślane i świetnie działające produkty.

To jednak dopiero początek listy zagrożeń czyhających na medycznych innowatorów. A ta jest naprawdę pokaźna i obejmuje szereg uwarunkowań finansowych, prawnych, logistycznych czy politycznych (mam tu na myśli przede wszystkim politykę wielkich koncernów branżowych, a nie naszą polską politykę w dosłownym tego słowa znaczeniu, która atakuje nas na co dzień z każdej gazety, telewizyjnego dziennika czy portali informacyjnych).

Po drugie – bardzo często spotykam się ze stwierdzeniem, że jedną z głównych przeszkód na drodze do wdrażania innowacji w medycynie jest rygorystyczna certyfikacja, obłożenie dziesiątkami norm czy wymogi, dotyczące szczegółowych badań wyrobów medycznych i kosztownej certyfikacji. Moim zdaniem to właśnie tutaj leży odpowiedź na pytanie, dlaczego tak wielu firmom nie udało się wprowadzić swojego rozwiązania na rynek lub owa komercjalizacja okazała się nieporównanie droższa i bardziej czasochłonna niż w pierwotnych założeniach. Otóż – jak pisałem już zresztą kiedyś na łamach „Elektroniki Praktycznej" – normy są w istocie ogromną pomocą dla inżynierów, ale… trzeba podejść do nich z pewną pokorą i sumiennością. W przeciwnym wypadku frustracja, koszty i czas do rozpoczęcia sprzedaży produktu będą tylko rosły.

Tymczasem certyfikacja, walidacja kliniczna czy wszelkiego rodzaju wymogi dotyczące kontroli jakości, audytów i procedur związanych z cyklem życia wyrobów medycznych nie są sztuką dla sztuki czy celowym utrudnianiem życia przedsiębiorcom. Aby to właściwie odczuć i zrozumieć, warto wczuć się w rolę pacjenta, leżącego np. na oddziale intensywnej terapii – czy chcielibyśmy, aby nasz (albo najbliższej nam osoby) oddech, akcja serca czy parametry krążeniowe zależały od urządzenia niesprawdzonego, zawodnego, czy też działającego w nieprzewidywalny sposób?

I wreszcie, po trzecie – wszelkie rozmowy o rozwijaniu oraz wdrażaniu nowatorskich pomysłów pokazują niezbicie, że na polskim gruncie wciąż mamy ogromne problemy związane z transferem innowacji i współpracą nauki z biznesem. Choć o tematyce transferu technologii mówi się od lat bardzo dużo, to w istocie ten obszar wciąż „kuleje", nie tylko w porównaniu z rynkiem amerykańskim, ale także z rynkami pozostałych krajów Europy. Nie będę w tym miejscu narzekać ani rozpisywać się na temat tego, co dokładnie należałoby zmienić – osoby zainteresowane tym tematem i mające pewne doświadczenie we współpracy na linii naukowcy–przedsiębiorcy doskonale wiedzą, z czym to się je. Powiem krótko: potrzebujemy solidnych zmian systemowych na szczeblu ogólnopolskim – takich zmian, które będą realnie wspierać transfer innowacji i utorują ścieżki, które do tej pory pozostają zarośnięte gąszczem przeszkód decyzyjnych, brakujących procedur i problemów ze sprawnym zarządzaniem własnością intelektualną. Jest jednak nadzieja, że sytuacja będzie się powoli poprawiać – dyskusja o konieczności zmian na tym polu jest coraz szersza i zakładam (dość optymistycznie), że solidarny, donośny głos innowacyjnych przedsiębiorców i naukowców nie pozostanie bez echa. Bo przecież każdy z nas prędzej czy później będzie potrzebował wsparcia lekarzy – wszystko, co robimy w kierunku poprawy jakości profilaktyki, diagnostyki i terapii, robimy więc także dla siebie.

Życzę wszystkim naszym Czytelnikom zdrowego, bezpiecznego wypoczynku i... zapraszam do lektury najnowszego wydania EP!

Przemysław Musz

eprasa.pl dfb64580ab

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 6 (389) • Czerwiec 2025

12



16



44







Nie przeocz

Nowe podzespoły 6
Dodaj do obserwowanych 11
Koktajl niusów 90

Projekty

Bardzo prosty sterownik silnika krokowego 12

Miniprojekty

Ośmiokanałowy mostek master I²C/1-Wire Grove 16

Prezentacje

Płynna i bezpieczna praca nad projektami dzięki aplikacjom chmurowym Altium A365 18
Programowalne przekaźniki logiczne z serii OPTA z obsługą interfejsu RS485 30
Awaria na produkcji – i co dalej? 39
Projekt referencyjny wydajnego podsystemu zasilania do zastosowań w sieciach czujnikowych NB-IoT 40
Zasilacze do zastosowań wojskowych i lotniczych marki GAÏA Converter 42

Temat numeru: (Nie)standardowe interfejsy szeregowe

(Nie)standardowe interfejsy szeregowe (1). 1-Wire, UART, USART, RS-232, RS-422, RS-485 20
(Nie)standardowe interfejsy szeregowe (2). SPI, MicroWire, QSPI, I²C, SMBus, I³C 34

Moduły w aplikacjach

Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (18). Czujniki gazu i dymu 44

Notatnik konstruktora

Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce (8) 50

Audio bez tajemnic

Pomiary zespołów głośnikowych (4) 54

Elektronika w praktyce

Układy i moduły radiowe 62

Kursy

Programowanie w środowisku MicroPython (2). Timery, przerwania i dioda WS2812 69
Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego (3). Moduły rozszerzeń do zestawu DSP1701A_DSP_MK2 74
Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego (4). Interfejs użytkownika 82

Prenumerata 2
Od wydawcy 3
Hity następnego numeru 91

Dodatkowe materiały do artykułów znajdziesz na https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab



Ekonomiczne mikrokontrolery PIC32A z wydajnymi analogowymi układami peryferyjnymi

Obsługa złożonych aplikacji ogólnego przeznaczenia dzięki zaawansowanym funkcjom

Ulepsz swoje projekty embedded dzięki wydajnej rodzinie 32-bitowych mikrokontrolerów PIC32A. Wyposażone 200-MHz CPU mikrokontrolery te doskonale sprawdzają się w aplikacjach ogólnego przeznaczenia i wymagających przetwarzania dużej ilości danych. Dzięki zintegrowanej jednostce zmiennoprzecinkowej o podwójnej precyzji idealnie nadają się do zadań wymagających dużej ilości obliczeń. Są zaprojektowane do inteligentnych aplikacji czujnikowych działających na krawędzi i systemów sterowania, a zintegrowane szybkie analogowe układy peryferyjne zmniejszają koszty systemu poprzez minimalizację zewnętrznych komponentów. Zaprojektowane do zastosowań o znaczeniu krytycznym dla bezpieczeństwa, oferują zaawansowane funkcje bezpieczeństwa, dzięki czemu nadają się do podłączonych zastosowań medycznych, konsumenckich, przemysłowych i motoryzacyjnych.

Właściwości

- 32-bitowy procesor o wydajności 200 MHz
- 64-bitowy koprocesor zmiennoprzecinkowy (FPU) pojedynczej i podwójnej precyzji
- Dwa 12-bitowe przetworniki analogowo-cyfrowe 40 Msps (opóźnienie konwersji 25 ns)
- Trzy komparatory analogowe 5 ns
- Trzy wzmacniacze operacyjne 100 MHz
- Bezpieczne uruchamianie i niezmienny Root of Trust
- Obsługuje funkcje umożliwiające zgodność z normami ISO 26262 i IEC 61508
- Kwalifikacja AEC-Q100 Grade 1 (125°C)

Odkryj pełny potencjał rodziny mikrokontrolerów PIC32A. Odwiedź naszą stronę internetową, aby uzyskać więcej informacji i zamówić próbki.





MICROCHIP

microchip.com/PIC32A

Nazwa i logo Microchip oraz logo Microchip są zarejestrowanymi znakami towarowymi Microchip Technology Incorporated w Stanach Zjednoczonych i innych krajach. Wszystkie inne znaki towarowe są własnością ich zarejestrowanych właścicieli. © 2025 Microchip Technology Inc. Wszelkie prawa zastrzeżone. MEC2614A-POL-05-25

eprasa.pl dfb64580ab

nowe podzespoły

Z kilkuset nowości wybraliśmy te, których nie wolno przeoczyć. Bieżące nowości można śledzić na www.elektronikaB2B.pl



Wyświetlacze Smart Display firmy Winstar w wersjach z interfejsem CAN

Do oferty firmy Unisystem trafiły inteligentne wyświetlacze Smart Display produkcji Winstar (w wariantach z interfejsami CAN, RS485 i UART), mogące znaleźć zastosowanie w szerokiej gamie aplikacji przemysłowych i konsumenckich. Modele z interfejsem CAN obsługują protokoły CANopen i Custom CAN ID. Nowe moduły oferują zdolność do utrzymywania niezawodnej komunikacji na dłuższych dystansach. Cecha ta czyni je odpowiednimi do zastosowań w trudnych warunkach przemysłowych.

Interfejs CAN (Controller Area Network) jest wciąż szeroko stosowany w systemach wymagających niezawodnej komunikacji w takich branżach, jak motoryzacja, automatyka przemysłowa czy lotnictwo. Wyświetlacze Smart Display z interfejsem CAN oferują tzw. słownik obiektów i zoptymalizowane protokoły CAN 2.0 A/B, umożliwiając użytkownikom łatwe definiowanie i integrowanie niestandardowych identyfikatorów CAN. Zwiększa to elastyczność projektowania systemu i zapewnia łatwą integrację z istniejącymi konfiguracjami magistrali.

Wyświetlacze Smart Display firmy Winstar zawierają mikroprocesory z serii STM32, wspierane przez środowiska i biblioteki programistyczne firmy STMicroelectronics – w tym TouchGFX. Projektowanie interfejsów użytkownika ułatwia dostarczane przez firmę Winstar narzędzie GUI Builder. Umożliwia ono definiowanie interfejsów w formie obiektów metodą drag-and-drop, co eliminuje potrzebę żmudnego pisania kodu.

www.unisystem.com

Inteligentne, 4-kanałowe bezpieczniki elektroniczne e-Fuse do montażu na szynie DIN

Firma Recom ogłasza wprowadzenie na rynek serii 4-kanałowych bezpieczników elektronicznych RACPRO1-4SP z zaawansowanymi funkcjami sterowania i ochrony, stanowiących rozszerzenie wcześniejszej serii RACPRO1-T. Są to moduły przystosowane do montażu na szynie DIN, realizujące dystrybucję napięcia zasilającego 24 V do 4 niezależnie konfigurowanych kanałów wyjściowych. Zapewniają wydajność prądową wynoszącą 5 A lub 10 A (w zależności



od modelu). Programowalne czasy opóźnienia pozwalają zapobiegać dużym impulsom prądu rozruchowego. Do standardowego wyposażenia należą: funkcja miękkiego startu oraz zabezpieczenie podnapięciowe z histerezą. Podczas rozruchu poszczególne kanały są podłączane po kolei, aby uniknąć występowania dużych impulsów prądowych. W przypadku przeciążenia systemu kanały są odłączane w odwrotnej kolejności, co pozwala zachować najbardziej istotne funkcje systemowe do końca pracy całej zasilanej infrastruktury. Funkcja power boost umożliwia przeciążanie wyjść w zakresie do 150% prądu znamionowego przez maksymalnie 5 s, natomiast dodatkowe zabezpieczenie przeciążeniowe (>150% prądu znamionowego) jest aktywowane dopiero po czasie opóźnienia 100 ms, co eliminuje przypadkowe aktywacje. Zabezpieczenie nadprądowe/zwarciowe może pracować w trybach auto-recovery (z automatycznym przywróceniem normalnej pracy po ustaniu awarii) lub latch (z koniecznością zainicjowania resetu).

Pozostałe właściwości:

- diody LED do sygnalizacji wartości progowej i zadziałania zabezpieczenia nadprądowego,
- wyjście sygnalizacyjne DC OK,
- możliwość łączenia kaskadowego kilku modułów,
- możliwość włączania/wyłączania poszczególnych kanałów do celów diagnostycznych,
- możliwość pracy z obciążeniem pojemnościowym do 20 mF,
- czas bezawaryjnej pracy >80 tys. h @ +40°C.

www.recom-power.com

60-milimetrowy, indukcyjny czujnik kąta – do pracy w trudnych warunkach przemysłowych

RAIK060 to absolutny, indukcyjny czujnik kąta opracowany przez firmę Vishay i charakteryzujący się mniejszą grubością oraz masą w porównaniu do tradycyjnych enkoderów magnetycznych. Nowy sensor może pracować z większą szybkością obrotową i wykazuje krótszy czas opóźnienia. RAIK060 został zaprojektowany do pracy w ciężkich warunkach przemysłowych. Dzięki odporności na zewnętrzne pole magnetyczne i temperaturę może być montowany w małej odległości od silników elektrycznych. Charakteryzuje

eprasa.pl dfb64580ab



się 13-bitową dokładnością i 18-bitową rozdzielczością odczytów. Jest odporny na wilgoć, udary i wibracje, a jego zakres dopuszczalnej temperatury roboczej rozciąga się od –40 do +105°C. W ofercie producenta dostępne są też wersje wieloobrotowe.

RAIK060 może pracować z sygnałami wyjściowymi SPI, SSI i Biss-C. Jego zakres zastosowań obejmuje roboty przemysłowe, systemy sterowania taśmociągami czy pozycjonowania anten, skanery rentgenowskie, a także drony, lotnictwo oraz gimbale do wyrzutni rakiet i systemów naprowadzania.

Dla uproszczenia konfiguracji RAIK060 został wyposażony w funkcję autokalibracji, eliminującą potrzebę korzystania z zewnętrznego oprogramowania. Umieszczone w ramce wskaźniki stanu LED ułatwiają montaż. Dodatkowe zalety nowego czujnika to pamięć ostatniej pozycji (zapisanej przed wyłączeniem zasilania) oraz wbudowana funkcja autodiagnostyki.

Ważniejsze parametry:

- zakres pomiarowy: 360°,
- maksymalna prędkość obrotowa: 10 tys. rpm,
- czas opóźnienia: ≤5 µs,
- tolerancja szczeliny: ±0,2 mm,
- grubość: 5 mm,
- masa: 15,5 g,
- średnica wewnętrzna/zewnętrzna: 25 mm/60 mm.

www.vishay.com

Przemysłowe wyświetlacze IPS Full HD o jasności 1500 cd/m²

Firma JDI Taiwan Kaohsiung, specjalizująca się w produkcji wyświetlaczy przeznaczonych do pracy w środowisku przemysłowym, prezentuje nowe modele z matrycą IPS i dwukanałowym interfejsem LVDS. Są to wyświetlacze o wyjątkowym nasyceniu barw i bardzo dobrej stabilności parametrów, występujące w wersjach o rozdzielczości 1920×1080 i 1920×1200 pikseli oraz o dwóch zakresach dopuszczalnej temperatury pracy: –20...+70°C i –30...+80°C.



Rozmiar	Oznaczenie	Rozdzielczość	Wersja Rugged Plus	Ekran dotykowy
7,0”	TX18D200	1920×1080	x	x
7,0”	TX18D204	1920×1080		x
10,1”	TX26D202	1920×1200		x
10,2”	TX26D208	1920×1080	x	
11,6”	TX29D200	1920×1080	x	
15,6”	TX40D202	1920×1080		

Charakteryzują się współczynnikiem kontrastu do 1300:1 i dużą jasnością (1500 cd/m²), zapewniającą czytelny obraz w różnych warunkach oświetleniowych, w tym w bezpośrednim oświetleniu słonecznym. Żywotność podświetlenia LED wynosi w modelach standardowych i Rugged Plus odpowiednio 40 tys. godzin i 70 tys. godzin.

Wyświetlacze z nowej oferty są dostępne w wersjach o przekątnej ekranu 7,0”, 10,1”, 10,2”, 11,6” i 15,6”. Najmniejsze modele 7- i 10-calowe zawierają standardowo pojemnościowy ekran dotykowy.

www.jditk-j-display.com

Pierwszy 40-woltowy tranzystor N-MOSFET w obudowie LFPAK56E



MCACLF320N04Y to pierwszy w ofercie MCC Semi 40-woltowy tranzystor MOSFET z kanałem N, zamykany w małogabarytowej obudowie LFPAK56E o powierzchni 6,1×5,1 mm. Został on wyprodukowany w technologii SGT (split-gate trench), pozwalającej zredukować rezystancję dren-źródło (RDS(ON)) do zaledwie 0,48 mΩ przy VGS=10 V i prądzie drenu równym 75 A. W połączeniu z małą rezystancją termiczną

REKLAMA

HAMMOND®
1557 Obudowy poliwęglanu IP68
Dowiedz się więcej:
hammondmfg.com/1557
eusales@hammfg.com • + 44 1256 812812

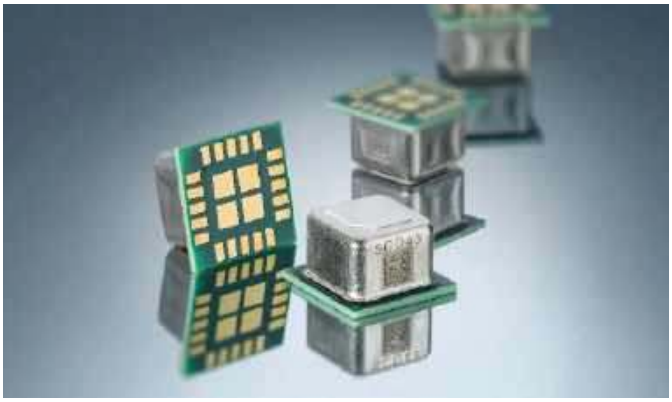


eprasa.pl dfb64580ab

obudowy tranzystor umożliwia stabilną pracę w szerokim zakresie temperatury złącza od –55 do +175°C.

Nowy komponent charakteryzuje się dopuszczalnym, ciągłym prądem drenu równym 320 A @ 25°C (1280 A w impulsie), mocą znamionową 230 W i energią przebicia lawinowego do 441 mJ. Zawiera wewnętrzną diodę zabezpieczającą o czasie regeneracji 83ns (IF=40 A, di/dt=100 A/µs). Producent poleca go do zastosowań w układach napędowych, grzejnikach, systemach oświetleniowych i elektronarzędziach.

www.mccsemi.com



Fotoakustyczny czujnik NDIR CO_2 o dokładności 3% + 30 ppm

Nowy czujnik stężenia dwutlenku węgla SCD43 z oferty firmy Sensirion może stanowić bezpośredni zamiennik wcześniejszych modeli SCD4x. Charakteryzuje się zwiększoną dokładnością pomiaru, wynoszącą 3% + 30 ppm w zakresie 400...5000 ppm. Jest to fotoakustyczny czujnik NDIR, zamykany w obudowie SMD o wymiarach 10,1×10,1×6,5 mm. Oprócz zwiększonej dokładności nowy sensor oferuje też szerszy zakres pomiaru i dodatkowy tryb pracy single shot. Spełnia wymagania norm m.in. ANSI/ASHRAE 62.1 Addendum d, RESET grade B i WELL v2, określających wymogi jakościowe powietrza w budynkach użyteczności publicznej.

SCD43 zawiera układ kompensacji sygnału, oparty na wewnętrznych czujnikach wilgotności względnej i temperatury. Pracuje z napięciem zasilania w zakresie 2,4...5,5 V, pobierając średnio 15 mA prądu. Jego zakres temperatury roboczej rozciąga się od –10 do +60°C. Czujnik jest dostarczany w wersji fabrycznie skalibrowanej.

www.sensirion.com

Szczelne mikroprzełączniki mechaniczne KSC2 DCT o wysokości ograniczonej do 3,5 mm



Po wprowadzeniu do oferty przełączników z serii KSC z technologią DCT (Dual Circuit Technology) firma Littelfuse oferuje obecnie również przełączniki KSC2 w wersjach DCT. Są to komponenty przeznaczone do zastosowań w aplikacjach o małej dostępnej przestrzeni montażowej, m.in. w sektorach: motoryzacyjnym, medycznym i przemysłowym, charakteryzujące się powierzchnią 6,2×6,2 mm i wysokością obudowy ograniczoną do 3,5 mm. Dla porównania: wcześniejsze wersje były produkowane w obudowach o wysokości 5,2 mm. Ich dodatkową zaletą jest szczelna konstrukcja o stopniu ochrony IP67.

Przełączniki KSC2 DCT zawierają styki o konfiguracji SPDT. Zastosowana w nich technologia dual-circuit (DCT) umożliwia sprawdzenie działania przełącznika bez potrzeby jego naciśnięcia, pozwalając rozróżnić sytuacje wynikające z braku sygnału elektrycznego oraz awarii mechanicznej. W odróżnieniu od wcześniejszych wersji Electrical Travel, nowe wersje Electrical Height zapewniają mniejszą tolerancję odległości między punktem przełączenia i dolnym kontaktem (±0,15...±0,2 mm vs. ±0,4 mm).

www.littelfuse.com

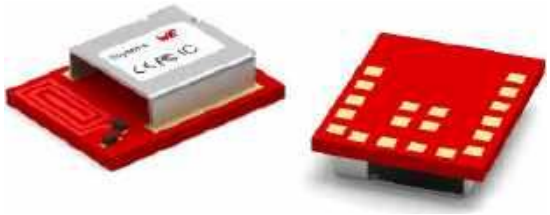
Energooszczędny moduł komunikacyjny PAN B511-1C do aplikacji opartych na protokole Matter



PAN B511-1C to energooszczędny i tani moduł komunikacyjny Bluetooth 6 & 802.15.4 firmy Panasonic, mogący znaleźć zastosowanie m.in. w aplikacjach bazujących na łączu typu Matter. Został oparty na kontrolerze nRF54L15 z oferty Nordic Semiconductor. Występuje w trzech wersjach (Premium, Standard, Economy), zawierających m.in. dodatkowy, wewnętrzny rezonator kwarcowy (obniżający pobór mocy w urządzeniach bateryjnych), a także dodatkowe 4 MB pamięci Flash do obsługi bardziej zaawansowanych aplikacji. Standardowym wyposażeniem wszystkich modeli jest mikrokontroler ARM Cortex-M33 z 1,5 MB pamięci Flash i 256 kB pamięci RAM oraz akceleratorem kryptograficznym. Zestaw wbudowanych funkcji peryferyjnych układu obejmuje też 14-bitowy przetwornik A/C, modulator PWM, dekoder kwadraturowy oraz interfejsy SPI/UART, 4×SPI/UART/TWI, PDM i I^2S.

Moduł PAN B511-1C może pracować z napięciem zasilania od 1,7 do 3,6 V, w temperaturze otoczenia od –40 do +85°C. Jest zamykany w obudowie LGA o wymiarach 10,35 × 9,8 × 1,9 mm. Charakteryzuje się maksymalną mocą wyjściową +8 dBm. Czułość stopnia odbiorczego wynosi –98 dBm przy szybkości transmisji 1 Mbps oraz –106 dBm w trybie long range (125 kbps).

http://industry.panasonic.eu



Nowy moduł radiowy 2,4 GHz z rodziny Thyone w obudowie o wymiarach 9×7×2 mm

Moduł radiowy Thyone-I z oferty firmy Würth Elektronik ma obecnie swój mniejszy odpowiednik. Nowo opracowany model Thyone-e zajmuje mniejszą o 30% powierzchnię płytki drukowanej i jest tańszy od poprzednika. Został zaprojektowany do zastosowań w aplikacjach, w których krytycznym parametrem są wymiary podzespołów, natomiast zasięg ma drugorzędne znaczenie. Podobnie, jak w przypadku wcześniejszych modułów tej serii, Thyone-e może znaleźć zastosowanie w sieciach typu mesh, radiowych interfejsach serwisowych oraz sieciach czujników w innych aplikacjach z segmentów IoT i M2M. Oprogramowanie firmware WE-ProWare, opracowane przez Würth Elektronik, czyni go niezwykle uniwersalnym.

Thyone-e charakteryzuje się mocą wyjściową do +4 dBm i poborem prądu nieprzekraczającym 0,4 µA w trybie standby. Zawiera własną antenę PCB oraz wyprowadzenie do podłączenia opcjonalnej anteny zewnętrznej. Może pracować z szybkością transmisji do 2 Mbps w trybach unicast, multicast i broadcast, zapewniając zasięg do 350 m. Wspiera standard szyfrowania AES128. Jest zamykany w obudowie o wymiarach 9×7×2 mm.

www.we-online.com

eprasa.pl dfb64580ab

Tanie, 2- i 3-amperowe regulatory impulsowe o szerokim zakresie napięcia wejściowego



Traco Power wprowadza na rynek dwie serie tanich przetwornic impulsowych o szerokim zakresie napięcia wejściowego od 4,6 do 36 V i sprawności sięgającej 95%. Są one produkowane w formie plastikowych modułów SIP-3 o rozkładzie wyprowadzeń odpowiadającym regulatorom liniowym, oferowanym w standardowych obudowach TO-220. Zawierają wyjście o ustalonym fabrycznie napięciu z zakresu od 1,2 do 15 VDC i dokładności ±2%, niewymagające minimalnego obciążenia.

Regulatory TSR 2N i TSR 3N oferują wydajność prądową odpowiednio 2 A i 3 A. Pobierają około 1 mA prądu w stanie spoczynkowym. Zawierają ogranicznik prądowy oraz zabezpieczenia przeciwzwarciowe i podnapięciowe. Mogą pracować w temperaturze otoczenia od –40 do +90°C, a pod względem odporności na narażenia środowiskowe spełniają wymogi norm MIL-STD-810F i MIL-STD-202. Są objęte 3-letnią gwarancją.

www.tracopower.com

Bufory zegarowe do systemów PCIe 6.0 w wersjach od 4 do 20 kanałów

Firma Diodes zaprezentowała nową serię buforów zegarowych do aplikacji PCIe 6.0. Bufory PI6CB3320xxA, produkowane w wersjach 4-, 8-, 12-, 13-, 16- i 20-kanałowych, mogą znaleźć zastosowanie w serwerach, systemach monitoringu



i centrach danych. Zawierają wyjścia HCSL o impedancji 85 Ω lub 100 Ω. Charakteryzują się bardzo małym jitterem fazy, wynoszącym od 3 do 4 fs i mogą pracować z sygnałami wyjściowymi o częstotliwości do 400 MHz.

Bufory serii PI6CB3320xxA oferują funkcję „parkowania" wyjść, zapewniającą ustalony poziom napięcia przy braku sygnału zegarowego na wejściu. Charakteryzują się małym różnicowym przesunięciem sygnału (<50 ps) między wyjściami. Zawierają indywidualne linie wejściowe OE do poszczególnych kanałów, umożliwiające elastyczne zarządzanie poborem mocy. Dzięki wbudowanym rezystorom dopasowującym pozwalają wyeliminować nawet do 80 zewnętrznych komponentów.

www.diodes.com

REKLAMA



eprasa.pl dfb64580ab



Nowe wersje diod LED XLamp XP-L Photo Red S Line o zwiększonej sprawności

Firma Cree zaprezentowała nowe diody LED do zastosowań w ogrodnictwie, wyróżniające się wysoką sprawnością. W ramach serii XLamp XP-L Photo Red S oferowane są diody czerwone, pracujące na dominującej długości fali 660 nm. Ich sprawność WPE (Wall-Plug Efficiency), wynosząca typowo 83,5% przy prądzie 700 mA i w temperaturze otoczenia +25°C, jest większa o 6% od sprawności diod z poprzedniej serii XP-G3, co pozwala zmniejszyć nawet o 35% liczbę komponentów w oprawie oświetleniowej przy tej samej całkowitej sprawności systemu. Dodatkową zaletą jest zwiększona odporność na siarkę i wilgoć, istotna w ciężkich warunkach panujących w szklarniach.

Diody serii XLamp XP-L Photo Red S są produkowane w obudowach XP o powierzchni 3,45×3,45 mm – podobnie jak diody XP-G3, co pozwala na łatwy upgrade. Charakteryzują się kątem emisji 125°, maksymalnym prądem zasilania 1500 mA i małą rezystancją termiczną (1,15°C/W).

www.cree-led.com

Detektor IR z interfejsem I²C na zakres pomiarowy –20...+100°C



ZTPD-2210 to 24-bitowy detektor temperatury z oferty firmy Amphenol Advanced Sensors, zamykany w metalowej obudowie TO-39. Jego struktura wewnętrzna obejmuje termostos i układ ASIC, realizujący m.in. kompensację wpływu temperatury otoczenia. Układ pracuje z napięciem zasilania od 2,7 do 5,5 V, pobierając 1 mA prądu w stanie aktywnym i 20 µA w trybie uśpienia. Może znaleźć zastosowanie w termometrach bezkontaktowych, urządzeniach AGD oraz czujnikach temperatury w pojazdach i systemach HVAC. Komunikuje się za pośrednictwem interfejsu I²C. Oferuje zakres pomiarowy od –20 do +100°C i dokładność wynoszącą typowo 1,0°C, natomiast jego zakres temperatury roboczej rozciąga się od –20 do +85°C.

www.mouser.com

Bezpieczniki chipowe UST 1206 w wersjach o prądzie znamionowym do 35 A



W 2008 roku firma Schurter wyprodukowała swój pierwszy bezpiecznik SMT w formacie 1206, oznaczony symbolem UST 1206. Od tego czasu elementy te zyskały ogromną popularność. W odpowiedzi na duże zapotrzebowanie rynkowe obecnie firma rozszerza ofertę na nowe modele o prądzie znamionowym zwiększonym do 35 A.

UST 1206 to bezpiecznik chipowy SMT o charakterystyce typu slow-blow. Oznacza to, że charakteryzuje się dużą wartością całki Joule'a I²t i nie wyzwala się natychmiastowo przy prądzie szczytowym przekraczającym prąd znamionowy. Ma to znaczenie w wielu zastosowaniach przemysłowych, np. w układach napędowych. UST 1206 jest bezpiecznikiem o charakterystyce UL 248-14, którego prąd znamionowy przerywa obwód po kilku godzinach. Maksymalny prąd, który może płynąć nieprzerwanie bez zadziałania bezpiecznika, wynosi około 70% wartości znamionowej.

Wcześniejsze wersje bezpieczników UST 1206 były produkowane na maksymalny prąd znamionowy 25 A. Obecnie na rynek wchodzą dwa nowe modele, w których parametr ten został zwiększony do 30 A lub 35 A. Ich napięcie znamionowe wynosi 32 VAC/63 VDC, a zakres temperatury roboczej rozciąga się od –55 do +90°C.

www.schurter.com



6-osiowy czujnik IMU z podwójnym torem pomiarowym ±16 g i ±80 g

LSM6DSV80X to 6-osiowy czujnik inercyjny firmy STMicroelectronics, którego struktura wewnętrzna obejmuje dwa tory pomiarowe akcelerometru (low-g o zakresie pełnej skali ±16 g oraz high-g o zakresie ±80 g), żyroskop MEMS (do 4000 dps) i jednostkę przetwarzania danych, zamknięte w 14-wyprowadzeniowej obudowie LGA o wymiarach 3,0×2,5×0,86 mm. Podwójny akcelerometr zapewnia dużą dokładność w szerokim zakresie pomiaru, zarówno podczas gwałtownych ruchów, jak i bardzo małych przyspieszeń, odpowiadających aktywnościom sportowym czy gestom.

Układ może znaleźć zastosowanie w akcesoriach sportowych i trackerach. Oferuje następujące funkcjonalności:

- **Finite State Machine (FSM)** – mechanizm umożliwiający programowanie określonych reakcji na różne schematy ruchu,
- **Machine Learning Core (MLC)** – wbudowany rdzeń uczenia maszynowego, rozpoznający rodzaj aktywności na podstawie analizy danych w czasie rzeczywistym,
- **Adaptive Self-Configuration (ASC)** – funkcja automatycznej rekonfiguracji, pozwalająca dynamicznie modyfikować działanie układu, bez ingerencji głównego mikroprocesora. Jeśli MLC wykryje określony wzorzec ruchu (np. rozpoczęcie biegu), może automatycznie przełączyć układ na inny tryb pracy, optymalizując pobór mocy lub poprawiając dokładność pomiaru.

Do wyposażenia LSM6DSV80X należy też czujnik temperatury, pamięć FIFO (do 4,5 kB) oraz interfejsy SPI/I²C i MIPI I³C. Układ pracuje z napięciem zasilania od 1,71 do 3,6 V, pobierając do 0,8 mA prądu. Pod względem wsparcia projektowego producent oferuje darmowe środowisko graficzne ST MEMS Studio, obejmujące narzędzia do konfigurowania czujnika, trenowania drzewa decyzyjnego MLC i testowania układu LSM6DSV80X. Dostępne są też płytki ewaluacyjne, m.in. Professional MEMS (STEVAL-MKI109D) i SensorTile.box PRO (STEVAL-MKBOXPRO).

www.st.com

eprasa.pl dfb64580ab

dodaj do obserwowanych

Przedstawiamy redakcyjny wybór najciekawszych projektów spośród ostatnio anonsowanych w internecie. Są to projekty na różnych etapach realizacji. Warto się zapoznać z projektami zakończonymi i śledzić realizację projektów niegotowych, by czerpać z nich inspirację do własnych prac.

ot-IPR – zasilany z baterii sensor radarowy z obsługą OpenThread IPv6 do zastosowań we wnętrzach pomieszczeń



Prezentowany projekt to czujnik obecności przewidziany do zastosowania we wnętrzach pomieszczeń. Urządzenie bazuje na radarze 60 GHz, pozwalającym na niezawodne wykrywanie osób znajdujących się w obszarze detekcji sensora. Układ komunikuje się przez protokół OpenThread oparty na IPv6, co eliminuje potrzebę stosowania translatorów protokołów IoT. W celu poprawienia osiągów w zakresie energooszczędności autor projektu zdecydował się na użycie CoAP, aby informować serwer o zmianach stanu czujnika.

https://hackaday.io/project/191035-ot-ipr
https://github.com/edward62740/ot-IPR

Rękawiczka zintegrowana z kluczem do nadawania alfabetu Morse'a



Prezentowana konstrukcja to rękawiczka z funkcją telegraficznego klucza Morse'a, opracowana jako pomoc dla radioamatorów z ograniczeniami ruchowymi. Powstała z myślą o osobach, które doświadczają bólu czy problemów z układem ruchu, a które nadal chcą uczestniczyć w społeczności radioamatorskiej i nadawać sygnały CW (Continuous Wave). Bezpośrednią inspiracją do powstania tego prostego urządzenia były realne potrzeby osoby z ograniczoną ruchomością dłoni.

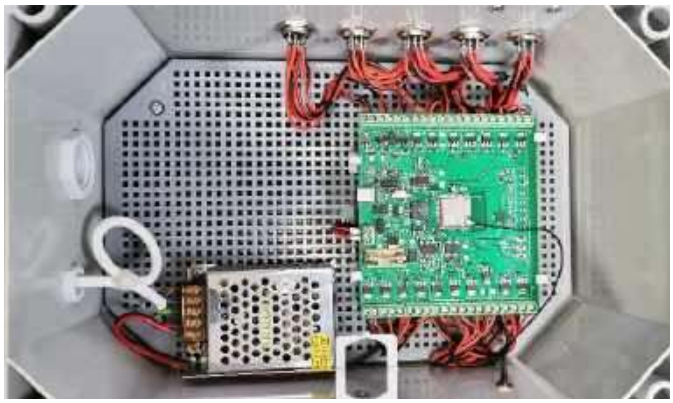
Konstrukcja rękawicy bazuje na przewodzącej nici oraz elementach dotykowych, co umożliwia wygodne nadawanie sygnałów Morse'a w sposób naturalny, bez użycia tradycyjnego klucza. W prototypie zastosowano zwykłą rękawiczkę roboczą, więc można bez trudu wyobrazić sobie podobne implementacje, w których przewodzące włókna pozwolą zamienić także inne elementy tekstylne w działające klucze do nadawania sygnałów CW.

https://hackaday.io/project/191017-cw-glove

Inteligentny kontroler systemu podlewania ogrodu z możliwością sterowania do 20 kanałów

Opisywany projekt to zaawansowany system nawadniania ogrodu oparty na układzie ESP32, który umożliwia sterowanie maksymalnie dwudziestoma kanałami za pomocą oprogramowania Home Assistant i ESPHome.

Projekt rozpoczął się około trzech lat temu, a jego trzecia wersja została ukończona latem 2023. Wcześniejsze podejścia opierały



się na Arduino, co wymagało stosowania wodoodpornych przycisków i hermetycznej konstrukcji wyświetlacza. Autor zdecydował się zatem na podejście do tematu bez implementacji interfejsu użytkownika – sterowanie bazuje wyłącznie na ESPHome i Home Assistant.

System zawiera zawory magnetyczne 12 V, które mogą być włączane i wyłączane za pomocą zaprojektowanej przez autora płytki bazowej. Całość działa bez przycisków czy ekranów, co czyni system bardziej odpornym na warunki zewnętrzne. Urządzenie zostało zaprojektowane tak, aby zapewnić efektywność i prostotę obsługi przy minimalnej liczbie działań ze strony użytkownika.



Płytka sterująca zawiera moduł ESP32, kontwerter CH340G, trzy diody LED i 3 mikroprzyciski, bezpiecznik, regulatory napięcia oraz 20 tranzystorów MOSFET (do obsługi wyjść). Została zaprojektowana za pomocą programu Autodesk EAGLE (schemat znaleźć można na stronie internetowej projektu).

Do sterowania tak dużą liczbą wyjść zastosowano trzy rejestry przesuwne połączone w kaskadę w celu sterowania trzema sekcjami po 8 wyjść (20 MOSFETów, 3 diody LED i 1 buzer). Moduł ma możliwość podłączenia czujnika I²C (np. sensora wilgotności gleby lub czujnika deszczu), zawiera ponadto pojedyncze wejście analogowe.

https://tiny.pl/zcn_hq7x

eprasa.pl dfb64580ab

W ofercie AVT*
AVT6077

Najważniejsze parametry:
- sterowanie jednym bipolarnym silnikiem krokowym,
- płynna regulacja szybkości obrotowej za pomocą potencjometru,
- możliwość zmiany kierunku obrotów z użyciem przełącznika,
- pięć rodzajów sterowania silnikiem: pełne kroki, 1/2 kroku, 1/4 kroku, 1/8 kroku lub 1/16 kroku,
- częstotliwość impulsów taktujących pracę silnika: 6...2300 Hz,
- możliwość zatrzymania ruchu silnika przełącznikiem,
- napięcie zasilania: 9...32 V,
- pobór prądu: min. 10 mA (w stanie spoczynku),
- prąd uzwojeń ustalany potencjometrem.

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl
(aktywne linki do artykułów):
- Sterownik silnika krokowego z opcją mikrokroku
- Sterownik silnika krokowego z wyłącznikami krańcowymi
- Sterownik unipolarnego silnika krokowego
- Sterownik bipolarnego silnika krokowego
- Sterownik mikrosilnika krokowego dla Pi Pico
- Sterownik do statywu 360°
- Sterownik silnika do napędu
- Sterownik silnika BLDC

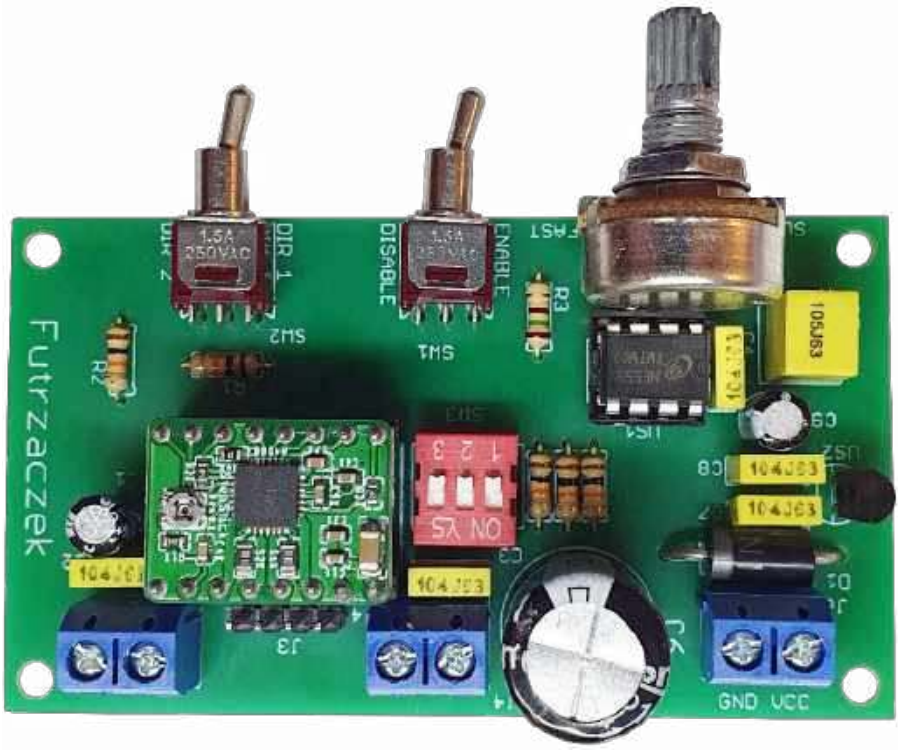
* **Uwaga!** Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja **[B]** nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji **[B]** zawiera elementy elektroniczne (w tym **[UK]** – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:
- **wersja [C]** – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw **[B]** (elementy wlutowane w płytkę PCB),
- **wersja [A]** – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.

Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik PDF! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! **http://sklep.avt.pl**

W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: **kity@avt.pl**

Bardzo prosty sterownik silnika krokowego



Szybkość obrotowa silników krokowych może być regulowana w naprawdę imponującym zakresie – i to bez utraty momentu obrotowego. Prezentowany układ pozwala na wysterowanie uzwojeń silnika tak, aby obracał się w pożądaną stronę z zadaną szybkością, bez angażowania do tego zadania mikrokontrolera.

Opisany w artykule układ ma bardzo proste zadanie: wprawić silnik krokowy w ruch. Tylko tyle i aż tyle. Potencjometrem można ustalić tempo przełączania jego uzwojeń, przełącznikiem – kierunek obrotów, zaś potrójnym przełącznikiem typu DIP-Switch rozdzielczość sterowania. Bez mikrokontrolerów, bez montażu powierzchniowego – prosto i na temat.

Większość podzespołów odpowiedzialnych za obsługę silnika została skupiona w jednym, niewielkim module o przystępnej cenie i naprawdę niemałych możliwościach. Zadaniem opisanego dalej układu jest zapewnienie mu odpowiedniego otoczenia do prawidłowej pracy.

Budowa

Schemat ideowy omawianego układu znajduje się na **rysunku 2**. Głównym podzespołem wcale nie jest mikrokontroler, a gotowy moduł typu stepstick z układem A4988 firmy Allegro MicroSystems. Na niewielkiej płytce znajduje się sam układ scalony oraz niezbędne elementy bierne. Wśród nich jest również miniaturowy potencjometr ustalający średni prąd cewek silnika, który to parametr ma wpływ zarówno na pobór prądu przez cały układ, jak i na moment trzymający silnika.

Do tego modułu trzeba doprowadzić zasilanie części cyfrowej (VDD: 3…5,5 V), zasilanie silnika (VMOT: 8…35 V) oraz sygnały sterujące, takie jak:
- aktywowanie niskim stanem logicznym (ENABLE),
- rodzaj pracy silnika: pełnokrokowa, półkrokowa itd. (MS1, MS2, MS3),
- zerowanie niskim stanem logicznym (RESET) i uśpienie modułu niskim stanem logicznym (SLEEP) – obydwie linie połączone ze sobą z użyciem rezystora podciągającego wejście RESET,

Wykaz elementów:

Rezystory: (THT o mocy 0,25 W)
R1, R2, R4...R6: 10 kΩ
R3: 150 Ω
P1: 100 kΩ liniowy, na panel

Kondensatory:
C1, C9: elektrolityczny 100 µF/16 V, raster 2,5 mm
C2...C4, C7, C8: MKT 100 nF, raster 5 mm
C5: MKT 1 µF, raster 5 mm
C6: elektrolityczny 1000 µF/35 V, raster 5 mm

Półprzewodniki:
D1: 1N5822
US1: 555 (DIP8)
US2: 78L05 (TO92)

Pozostałe:
J1, J2: goldpin 8 pin żeński, 2,54 mm THT
J3: goldpin 4 pin męski, 2,54 mm THT
J4...J6: ARK2/500
SW1, SW2: SMTS-102
SW3: DIP-Switch 3 sekcje THT, np. DIP SWITCH03
Jedna podstawka DIP8
Moduł stepstick z układem A4988 np. ARD-6332
Silnik krokowy bipolarny

eprasa.pl dfb64580ab

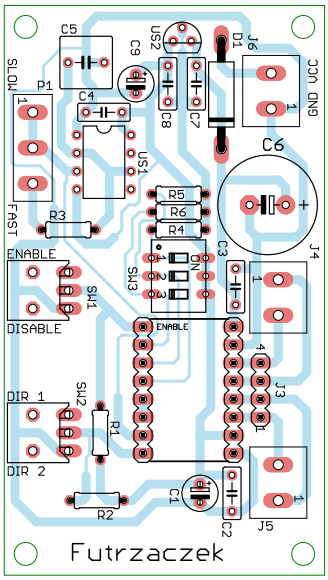
- taktowanie kolejnych kroków silnika (STEP),
- ustalenie kierunku obrotów silnika (DIR).

Sam silnik podłączyć należy do wyprowadzeń złącza J3 (listwa goldpin) albo J4+J5 (listwy zaciskowe). Nie trzeba przy tym pamiętać o zewnętrznych diodach zabezpieczających albo o elementach kontrolujących prąd uzwojeń, ponieważ wszystkie te podzespoły są już zawarte na płytce modułu oraz w samym układzie A4988. Z tego powodu jego zastosowanie bardzo upraszcza realizację układu. Również wbudowane w strukturę A4988 zabezpieczenia, takie jak ochrona przed zwarciem do masy lub przegrzaniem, podnoszą walory użytkowe stepsticka. Kondensatory C1…C3 odsprzęgają zasilanie na obu liniach.

Za pomocą przełączników SW1 i SW2 użytkownik może ustalić, odpowiednio, aktywację silnika oraz kierunek jego obrotów. Rezystory podciągające R1 i R2 ustalają wysoki stan logiczny po rozwarciu styków tychże przełączników. Układ A4488, znajdujący się w module sterującym silnikiem krokowym daje możliwość wyboru jednego z pięciu rodzajów sterowania silnika. Dokładniej rzecz ujmując, chodzi o liczbę kroków, które silnik wykona na każdy takt sygnału sterującego. Do ustalenia pożądanej wartości służy przełącznik typu DIP-Switch SW3. Rezystory R4…R6 ustalają domyślnie niskie stany logiczne na omówionych wcześniej wejściach MS1…MS3, zaś załączenie sekcji przełącznika powoduje wymuszenie stanu wysokiego.

W tym układzie sygnał taktujący pracę silnika nie pochodzi z układu programowalnego, lecz z prostego generatora astabilnego, zbudowanego w oparciu o popularną kostkę typu 555. Częstotliwość impulsów ustalają: pojemność kondensatora C5 oraz wypadkowa rezystancja szeregowego połączenia rezystora R3 i wolnego odcinka ścieżki oporowej potencjometru P1. R3 determinuje maksymalną częstotliwość tych impulsów, co dodatkowo chroni wyjście układu US1 przed przeciążeniem w razie konieczności przeładowywania C5 bezpośrednio.

Napięcie 5 V do zasilania części cyfrowej układu dostarcza zwykły stabilizator liniowy typu 78L05. Pobór prądu przez układ jest niewielki, więc nawet przy wysokim napięciu zasilającym moc strat w nim nie będzie uzasadniała zastąpienia go przetwornicą impulsową. Dioda D1 zabezpiecza układ przed zniszczeniem w razie pomyłkowej zamiany biegunów napięcia zasilającego. Kondensator C6 o znacznej pojemności chroni część cyfrową układu przed chwilowymi zanikami napięcia, jakie mogą mieć miejsce w momencie przełączania uzwojeń silnika, kiedy to pobór prądu przez sterownik jest wyższy niż w stanie ustalonym.



Rysunek 1. Schemat montażowy płytki drukowanej

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 80 mm × 45 mm. Jej wzór ścieżek oraz schemat montażowy pokazano na **rysunku 1**.

REKLAMA

Po raz kolejny mamy przyjemność zaprosić Państwa do udziału w Arrow MultiSolution Day Poland 2025, który odbędzie się w dniu 12.06.2025 w Centrum Olimpijskim w Warszawie

Co w tym roku na Arrow MultiSolution Day?
Skupiamy się głównie na AI & Cyber Resilience
i na miejscu oprócz ponad 40 producentów możliwe będzie uczestnictwo w wykładach:

- Infineon: Sterowanie silnikiem BLDC nowym PsoC C3 z użyciem tranzystorów GaN.
- Nexperia: Wyższa efektywność z użyciem nowych SIC, Mosfet, GaN, IGBT oraz układów zarządzania energią.
- NXP: Motyw cyberbezpieczeństwa w aplikacjach wykorzystujących AI.
- Altera: Szybka ścieżka do AI z FPGA.
- TE: Inteligentna infrastruktura magazynowania energii i ładowania pojazdów elektrycznych.
- Microchip: Cyberbezpieczeństwo w IoT oraz aplikacjach przemysłowych.
- 3M: Połączenia międzysystemowe włącznie z przewodami.
- STM: RED & CRA oraz wykorzystanie portfolio ST do zapewnienia zgodności z nowymi wymogami regulacyjnymi.
- Bonus! Niebezpiecznik, czyli ataki na Internet Rzeczy (IoT) z przykładami z życia codziennego.

Na zakończenie eventu planowany jest wspólny grill oraz rozdanie nagród dla uczestników.

W tym roku udział potwierdzili m.in. następujący producenci, którzy będą mieli swój stolik podczas AMS:

Arrow MultiSolution Day Poland 2025
12.06.2025 9.00–18.00
Centrum Olimpijskie
Wybrzeże Gdyńskie 4
01-531 Warszawa

Szczegółowy program oraz rejestracja dostępne na stronie: Arrow MultiSolution Day Poland 2025 | Arrow.com

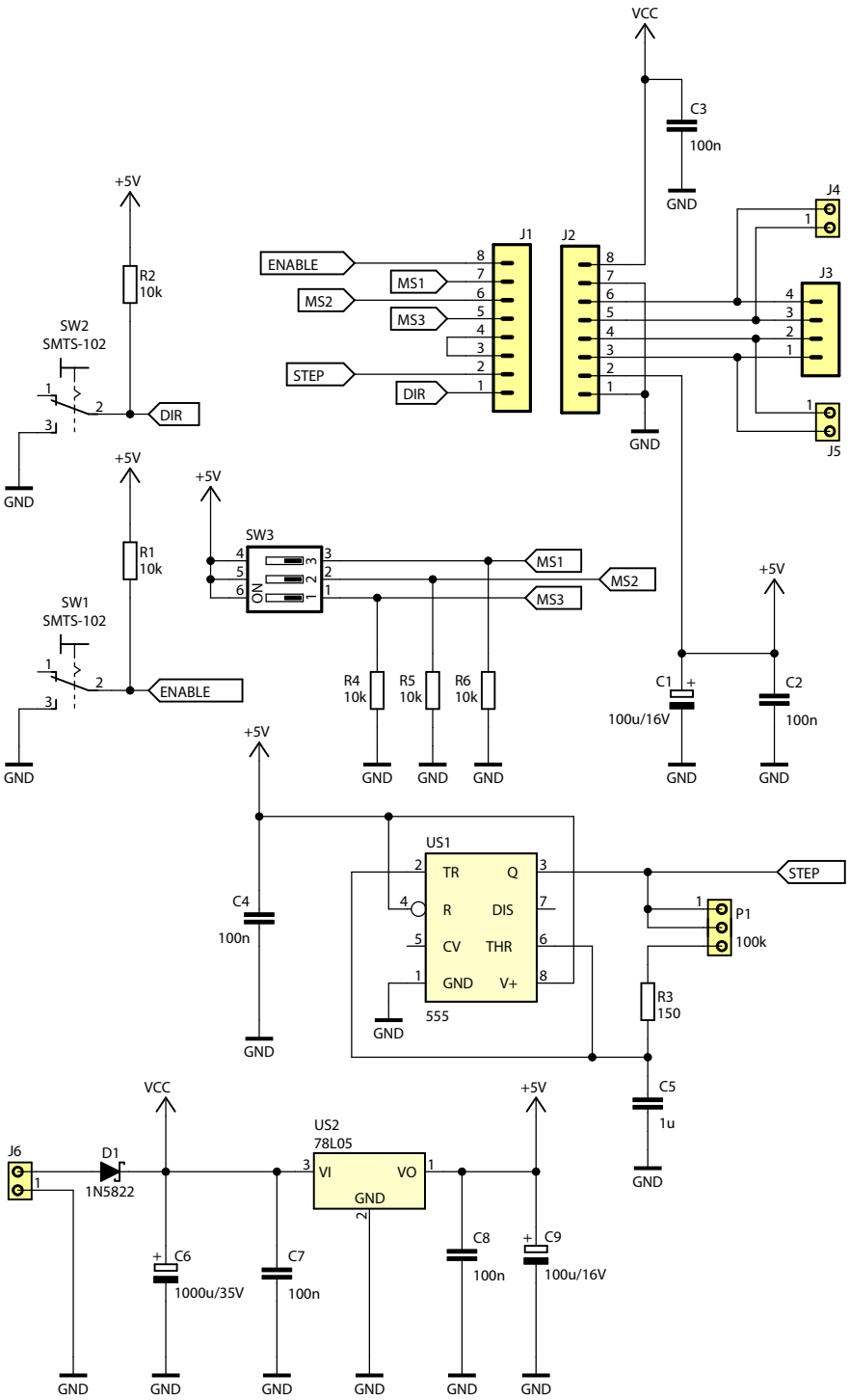
Montaż proponuję rozpocząć od elementów o najmniejszej wysokości obudowy, czyli rezystorów. Pozostałe elementy można montować według rosnącej wysokości ich obudowy. Pod układ scalony US1 proponuję zastosować podstawkę, aby ułatwić jego wymianę w razie uszkodzenia. Po wlutowaniu wszystkich podzespołów i sprawdzeniu poprawności montażu w złącza J1 i J2 można włożyć moduł z układem A4988. Polecam przy tym kierować się opisem na płytce drukowanej, który wskazuje wyprowadzenie ENABLE – na spodzie laminatu modułu A4988 można odnaleźć opisy nóżek. Odwrotne włożenie modułu może poskutkować jego zniszczeniem, dlatego jest to tak istotna kwestia. Zmontowany układ widać na **fotografii tytułowej**.

Poprawnie zmontowany układ jest gotowy do działania po podłączeniu zasilania do zacisków złącza J6. Powinno to być napięcie stałe, dobrze filtrowane, lecz niekoniecznie stabilizowane. Jego wartość powinna wynosić 9…32 V z uwagi na graniczne warunki pracy stabilizatora US2 i modułu A4988 oraz wytrzymałość kondensatorów elektrolitycznych. Pobór prądu z tego źródła silnie zależy od stanu pracy układu oraz ustawionego potencjometrem montażowym (na płytce modułu) prądu uzwojeń silnika. W stanie spoczynku pobór prądu wynosi około 10 mA. Układ A4988 pozwala ustawić prąd do 2 A na każdą z cewek silnika, lecz przy pracy powyżej 1 A jest wymagany radiator. Kierunek podłączenia uzwojeń silnika do zacisków na płytce trzeba dobrać doświadczalnie.

Obsługa układu jest bardzo prosta: przełącznikiem SW1 można załączyć lub wyłączyć obracanie się silnika, zaś za pomocą SW2 – zmienić kierunek jego obrotów. Potencjometrem P1 można zmieniać częstotliwość sygnału sterującego silnikiem w zakresie od ok. 6 Hz do ok. 2,3 kHz.

Celem uniknięcia nadmiernego poboru mocy przez układ rekomenduję ustawienie możliwie niskiego prądu uzwojeń silnika poprzez regulację niewielkiego potencjometru montażowego na płytce modułu. Układ A4988 nie będzie się wówczas przegrzewał, być może nawet nie będzie wymagał naklejenia radiatora. Warto również skonfigurować, zgodnie z **tabelą 1**, pożądany rodzaj pracy silnika. Im drobniejsze kroki wykonuje, tym bardziej płynna staje się jego praca, lecz z mniejszą szybkością może się obracać.

Michał Kurzela, EP



Rysunek 1. Schemat ideowy sterownika silnika krokowego

Tabela 1. Konfiguracja przełącznika SW1

Lp.	Rodzaj pracy silnika	Położenie przełącznika 1	Położenie przełącznika 2	Położenie przełącznika 3
1	Pełne kroki	OFF	OFF	OFF
2	1/2 kroku	ON	OFF	OFF
3	1/4 kroku	OFF	ON	OFF
4	1/8 kroku	ON	ON	OFF
5	1/16 kroku	ON	ON	ON

REKLAMA

Świat projektantów i programistów elektroniki ELPORTAL.pl

eprasa.pl dfb64580ab

TAWOIA Glass (szkło kwarcowe)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/tawoia-glass-4505.html



BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

3 unikalne serie gniazdek i włączników

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505GW**

-5%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-10%

Ceramic Loft (ceramika)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/seria-ceramic-loft-4190.html



Retro PRL (bakelit)

https://sklep.avt.pl/pl/series/retro-prl-3237.html



eprasa.pl dfb64580ab

Najważniejsze parametry:
- konwersja z magistrali I²C na 8 kanałów 1-Wire,
- napięcie zasilania: 3,0...5,0 V,
- zasilanie poszczególnych kanałów wyprowadzone na niezależne piny złączy goldpin,
- wbudowane rezystory podciągające na szynie I²C,
- złącze I²C zgodne ze standardem Grove.

Projekty pokrewne na stronie www.ep.com.pl

(aktywne linki do artykułów):
- Mostek master I²C/1-Wire w standardzie Grove
- Mostek UART-I²C z układem SC18IM700
- Niskonapięciowy mostek H
- Dwukanałowy multiplekser magistrali I²C zgodny z systemem Grove

* **Uwaga!** Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja **[B]** nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji **[B]** zawiera elementy elektroniczne (w tym **[UK]** – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:
- **wersja [C]** – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw **[B]** (elementy wlutowane w płytkę PCB),
- **wersja [A]** – płytka drukowana bez elementów i dokumentacji.

Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- **wersja [A+]** – płytka drukowana **[A]** + zaprogramowany układ **[UK]** i dokumentacja,
- **wersja [UK]** – zaprogramowany układ.

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik PDF! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! **http://sklep.avt.pl**

W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: **kity@avt.pl**

Ośmiokanałowy mostek master I²C/1-Wire Grove

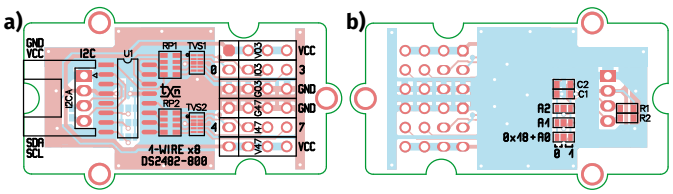
Magistrali 1-Wire nie trzeba nikomu przedstawiać – standard ten, za sprawą m.in. termometrów DS18B20 czy pastylek identyfikacyjnych, cieszy się znaczącą popularnością. Prezentowany mostek umożliwia podłączenie nawet ośmiu magistral 1-Wire do urządzenia wyposażonego w interfejs I²C. Stosując OWFS (One Wire File System), w prosty sposób można więc używać komponentów 1-Wire z komputerami SBC, w tym oczywiście z Raspberry Pi.



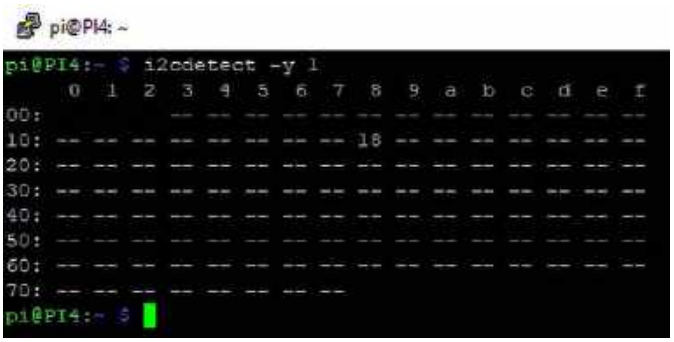
Mostek oparty jest na układzie DS2482-800 firmy Analog Devices (dawniej Maxim, a jeszcze dawniej – Dallas). Budowę układu pokazano na **rysunku 1** – w jego strukturze znajduje się kontroler *master* 1-Wire (współpracujący z magistralą I²C) oraz osiem kanałów interfejsów 1-Wire.

Schemat mostka zaprezentowano na **rysunku 2**. Ze względu na złożoną budowę U1, jego implementacja wymaga jedynie zewnętrznego odsprzęgania zasilania oraz elementów zabezpieczających linie 1-Wire. Układ pracuje poprawnie w zakresie napięć zasilających 3...5 V. Magistrala I²C oraz zasilanie z systemu SBC doprowadzone są do złącza I²C, rezystory R1,2 podciągają obie linie magistrali, wymuszając stan wysoki w czasie braku transmisji. Kanały 1-Wire wyprowadzono, poprzez włączone szeregowo drabinki rezystorowe RP1 i RP2, na złącza I03, I047. Układy TVS1,2, zabezpieczają magistralę przed skutkami przepięć. Dla ułatwienia użytkowania na złącza V03, V47, GND03, GND47 wyprowadzono także zasilanie i masę tak, aby do podłączenia komponentów 1-Wire można było zastosować typowe przewody z wtykami NSR-03. Układ U1 ma możliwość adresacji za pomocą zwór A0...2. Domyślnie wszystkie zwory połączone są z masą, co ustawia adres bazowy na wartość 0x18.

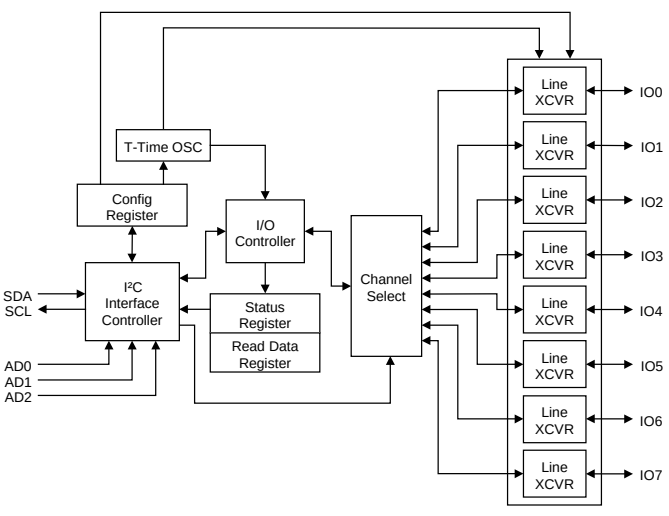
Moduł został zmontowany na miniaturowej, dwustronnej płytce drukowanej, mechanicznie zgodnej z Grove. Rozmieszczenie



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów na PCB modułu (a – strona TOP, b – strona BOTTOM)



Rysunek 4. Detekcja DS1482-800



Rysunek 1. Budowa wewnętrzna układu DS2482-800 (za notą AD)

Wykaz elementów:

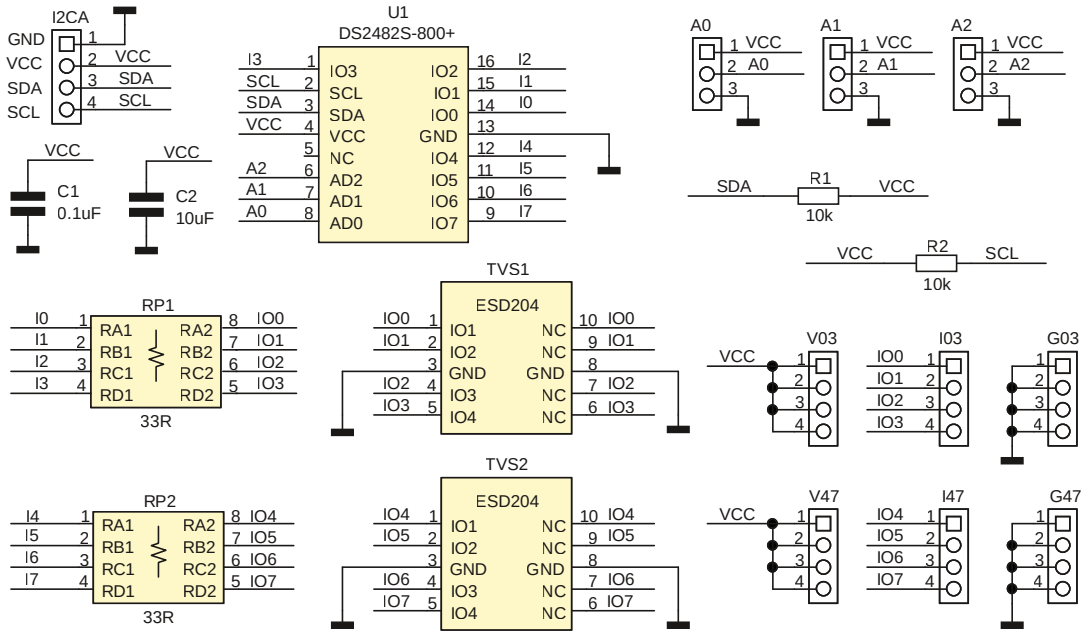
Rezystory:
R1, R2: 10 kΩ (SMD 0603, 5%)
RP1, RP2: drabinka 33 Ω 5% (CRA06S08)

Kondensatory:
C1: 0,1 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
C2: 10 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)

Półprzewodniki:
TVS1, TVS2: ESD204 (USON10)
U1: DS2482S-800+ (SO16)

Pozostałe:
I03, I47, G03, G47, V03, V47: złącze SIP4, 2,54 mm
I²CA: złącze Grove kątowe (110990037)

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 2. Schemat ideowy mostka I²C/1-Wire



Rysunek 5. Mostek DS2482-800 poprawnie zamontowany w systemie operacyjnym

elementów pokazano na **rysunkach 3a** i **3b**, a gotowy układ widać na **fotografii tytułowej**.

Montaż jest typowy, a sam układ nie wymaga uruchamiania. Szybkiego sprawdzenia przed użyciem we własnej aplikacji można wykonać za pomocą Raspberry Pi. Po podłączeniu modułu do magistrali I²C i zasileniu napięciem 3,3 V, używając pakietu i2c-tools, poleceniem `i2cdetect -y 1` sprawdzamy obecność układu na magistrali. Mostek powinien zostać odnaleziony pod ustawionym domyślnie adresem 0x18, jak na **rysunku 4**.

Jeżeli układ jest widoczny, można przejść do instalacji pakietu OWFS (One Wire File System, https://www.owfs.org/), który zmapuje urządzenia 1-Wire na system plików, analogicznie jak podczas mapowania dysków. Za pomocą OWFS, z poziomu systemu operacyjnego, mamy dostęp praktycznie do wszystkich parametrów, jakie udostępniają układy 1-Wire. Przed instalacją OWFS warto zaktualizować system:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get install owfs python-ow ow-shell
```

zaś po instalacji konieczna jest edycja pliku:

```
sudo nano /etc/owfs.conf
```

poprzez „zakomentowanie" linii:

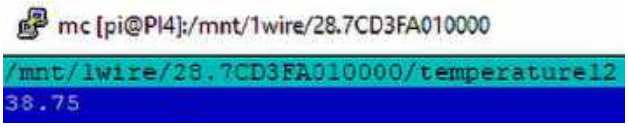
```
# server: FAKE = DS18S20,DS2405
```

oraz dodanie następującego wpisu:

```
server: device = /dev/i2c-1
```

pod sekcją:

```
# USB device: DS9490
#server: usb = all
```



Rysunek 6. Przykładowy odczyt temperatury DS18B20

Dodatkowo trzeba usunąć znak komentarza z linii:

```
mountpoint = /mnt/1wire
allow_other
```

zaś po zapisaniu zmian uworzyć katalog, w którym montowane będą urządzenia 1-Wire:

```
sudo mkdir /mnt/1wire
```

Następnie restartujemy Raspberry Pi:

```
sudo reboot now
```

a po uruchomieniu aktywujemy serwer:

```
sudo systemctl enable owserver.service
```

i montujemy urządzenia 1-Wire:

```
sudo owfs -C -uall -m /mnt/1wire --allow_other
```

Uwaga! Czasem urządzenia montowane są dwukrotnie. Aby usunąć ten problem, edytujemy plik:

```
sudo nano /lib/systemd/system/owfs.service
```

zastępując wpis:

```
ExecStart=/usr/bin/owfs -c /etc/owfs.conf --allow_other %t/owfs
```

linią zmodyfikowaną w następujący sposób:

```
ExecStart=/usr/bin/owfs --allow_other %t/owfs
```

Po restarcie możemy sprawdzić urządzenia zamontowane w katalogu /mnt/1wire, a w przypadku mostka DS2482-800 – w podkatalogu bus.0 (**rysunek 5**).

W podkatalogach bus0...7 możemy sprawdzić podłączone do poszczególnych kanałów DS2482-800 układy 1-Wire. W podkatalogach zaznaczonych na zielono, o nazwie identycznej z unikalnym numerem seryjnym ID układu, zapisane są udostępniane parametry. Przykładowo: dla DS18B20 o ID 287CD3FA0100002A, z pliku temperature12, możemy odczytać zmierzoną temperaturę, co pokazano na **rysunku 6**.

Jeżeli wszystko działa poprawnie, można zastosować moduł we własnej aplikacji.

Adam Tatuś, EP

eprasa.pl dfb64580ab

Płynna i bezpieczna praca nad projektami dzięki aplikacjom chmurowym Altium A365

Wszyscy właściciele licencji oprogramowania Altium Designer z aktywną subskrypcją mogą korzystać z platformy chmurowej Altium 365, umożliwiającej tworzenie własnej przestrzeni w chmurze (Workspace) i przechowywanie w niej danych projektowych – w tym projektów PCB i bibliotek komponentów. W poprzednim miesiącu opisaliśmy funkcje łączenia ECAD-MCAD, integracji z innymi środowiskami EDA oraz wsparcia zarządzania procesami montażu manualnego. Tym razem przyjrzymy się kolejnym aplikacjom oferowanym przez firmę Altium.

Altium 365 to platforma, która rewolucjonizuje sposób, w jaki zespoły projektowe współpracują nad projektowaniem urządzeń elektronicznych. Dzięki ciągłym aktualizacjom Altium 365 wprowadza nowe narzędzia, które nie tylko zwiększają bezpieczeństwo danych, ale także integrują się z popularnymi systemami zarządzania projektami oraz dostawcami informacji o komponentach. Poniżej przedstawiamy wybrane aplikacje dostępne na platformie.

Organizational Security Package (OSP)

Moduł OSP zapewnia zaawansowane narzędzia do kontroli dostępu i zgodności, które chronią i kontrolują przepływ informacji do i z platformy Altium 365. Funkcje tego pakietu obejmują:

Możliwość uwierzytelniania użytkowników za pomocą istniejącej infrastruktury Single Sign-On (SSO) i Multi-Factor Authentication (MFA) oraz kontroli dostępu do sieci poprzez listę dozwolonych adresów IP (Inbound Traffic Control), co pozwala na połączenia jedynie z zaufanych adresów.

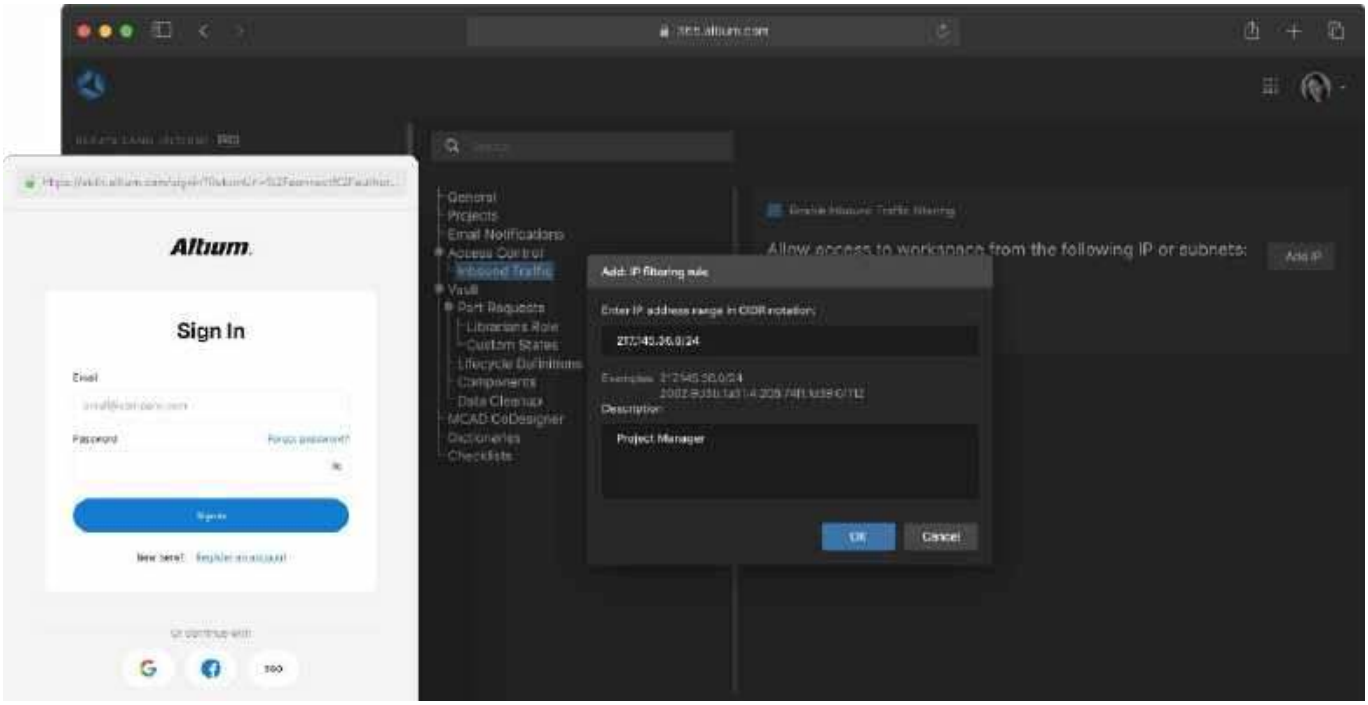
Więcej informacji:
Computer Controls Sp. z o.o.
43-309 Bielsko-Biała, ul. Bystrzańska 94
tel. +48 33 485 94 90, info@ccontrols.pl
www.ccontrols.pl

Dostęp do rejestru zdarzeń, który zawiera chronologiczny zapis istotnych zdarzeń związanych z danymi i użytkownikami w przestrzeni roboczej Altium 365. Zapewnia to administratorom jedno miejsce do monitorowania i audytowania kluczowych aktywności w celu zarządzania zgodnością danych. Dane z rejestru zdarzeń można eksportować lub przesyłać do odpowiedniego systemu SIEM (Security Information and Event Management) na potrzeby zgodności i audytu.

Dostęp do strony zaawansowanej kontroli (Advanced Controls) w Company Dashboard, umożliwiającej administratorom określenie polityki dostępu dla użytkowników do przestrzeni roboczych Workspace i Personal Space Altium 365. Dostępne opcje można skonfigurować w celu umożliwienia (lub zapobieżenia) tworzeniu wielu Workspace oraz kontroli funkcji udostępniania/zapisywania plików w Personal Space członków firmy, co zwiększa bezpieczeństwo danych.

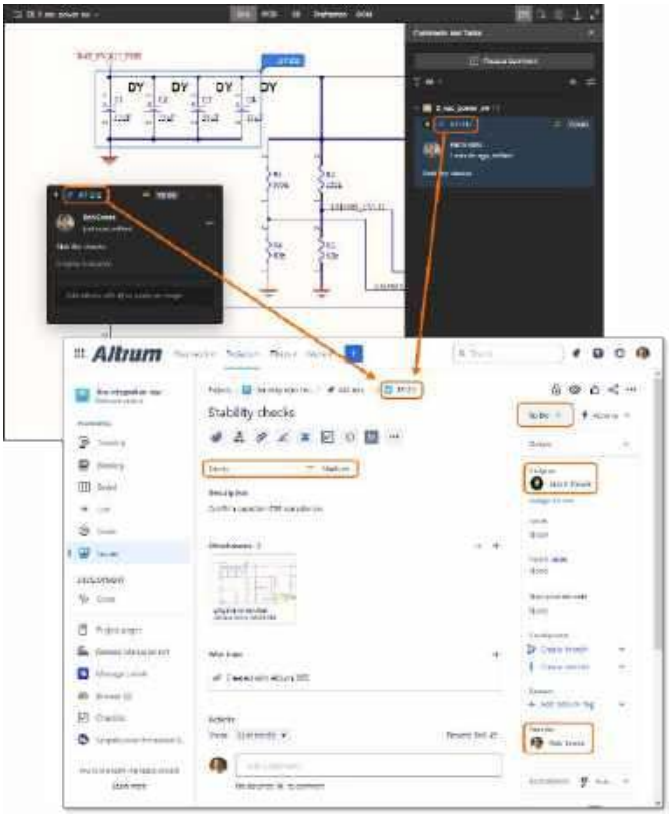
Integracja z Jira

Umożliwia dwukierunkową synchronizację danych między issues w Atlassian Jira, a taskami w Workspace Altium 365. Integracja pozwala na zdalne tworzenie issue w Jira bezpośrednio z poziomu Workspace Altium 365 jako dedykowanych zadań Jira lub na powiązanie istniejących issue Jira z projektem w Workspace. Po nawiązaniu relacji między issie Jira a taskiem w Workspace, ich komentarze oraz ustawienia statusu (priorytet, postęp, przypisania)



Rysunek 1. Organizational Security Package (OSP) zapewnia najwyższy poziom bezpieczeństwa i integralności danych oraz elastyczne funkcje kontroli dostępu wszystkich członków zespołu projektowego

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 2. Integracja z Jira umożliwia wymianę danych pomiędzy Altium a popularnym narzędziem do zarządzania projektami

są synchronizowane w czasie rzeczywistym, co zapewnia ulepszony i interaktywny wgląd w zarządzanie projektami Altium w środowisku Jira.

SiliconExpert Integration

Zapewnia bezpośredni dostęp do zaawansowanych danych o komponentach z serwisu SiliconExpert. Udoskonalone dane parametryczne pozyskiwane z SiliconExpert są dostępne podczas korzystania z informacji o łańcuch dostaw w Altium Designer, w tym BOM, oferując informacje takie jak na przykład YTEOL – Years to End of Life czy Inventory Risk. Dzięki temu aplikacja wspiera bardziej świadome decyzje w zakresie projektowania i zaopatrzenia, pomagając uniknąć ryzyka związanego z wycofaniem komponentów czy niedoborami w zapasach.

Z2Data Integration

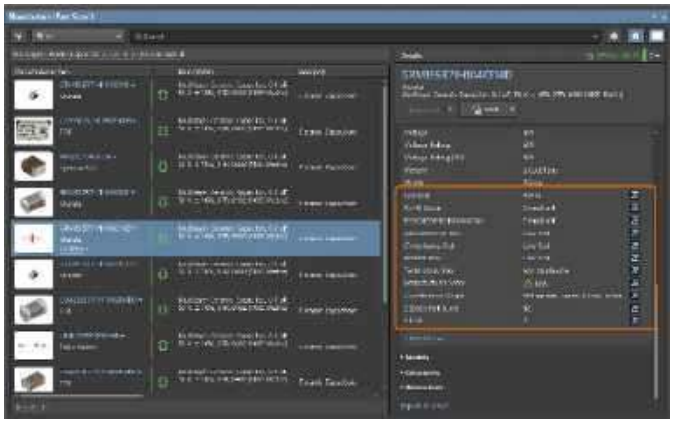
Zapewnia bezpośredni dostęp do zaawansowanych danych o komponentach z serwisu Z2Data. Udoskonalone dane parametryczne pozyskiwane z Z2Data są dostępne podczas korzystania z informacji o łańcuchu dostaw w Altium Designer, w tym BOM. Dzięki temu aplikacja wspiera bardziej świadome decyzje w zakresie projektowania i zaopatrzenia, pomagając uniknąć ryzyka związanego z wycofaniem komponentów czy niedoborami w zapasach.

Design Review

Pozwala wszystkim osobom powiązanym z projektem na przeprowadzanie i zarządzanie uporządkowanymi przeglądami projektu w Workspace. Interfejs aplikacji pozwala każdemu użytkownikowi przestrzeni roboczej na tworzenie, dostęp i zarządzanie instancjami przeglądów projektu, które następnie może przypisywać innym użytkownikom jako recenzentom. Twórca przeglądu może dostosować proces przeglądu, dodając tekstowe listy kontrolne, plików załączników czy komentarze. Recenzenci mają możliwość otwarcia tzw. snapshota projektu, wypełnienia elementów listy kontrolnej, dodawania powiązanych komentarzy,



Rysunek 3. SiliconExpert Integration pozwala na szybkie sprawdzanie m.in. rynkowego statusu poszczególnych komponentów



Rysunek 4. Z2Data Integration zapewnia bezpośredni dostęp do zaawansowanych danych o komponentach z serwisu Z2Data



Rysunek 5. Design Review zapewnia wszystkim osobom powiązanym z projektem możliwość przeprowadzania uporządkowanych przeglądów projektu w Workspace

uruchamiania porównań projektów oraz ostatecznego przekształcenia procesu w stan zaakceptowany/odrzucony. Inicjator przeglądu finalizuje proces, dodając własną ocenę (zakończono/odrzucono) czy komentarze. Przeglądy projektowe są wygodnym narzędziem do identyfikacji problemów projektowych i zapewnienia zgodności projektu z wymaganiami firmy. Są one dostępne dla wszystkich użytkowników Workspace zarówno w trakcie, jak i po zakończeniu procesu przeglądu, a także można je przeglądać na stronie tasków dla projektu.

Dariusz Polus
Altium Technical Manager

eprasa.pl dfb64580ab

(Nie)standardowe interfejsy szeregowe (1)

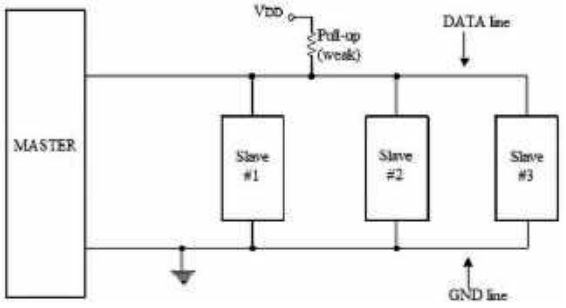
1-Wire, UART, USART, RS-232, RS-422, RS-485

Głównym zadaniem interfejsów komunikacyjnych jest przekazywanie danych pomiędzy elementami systemu lub systemów elektronicznych. Dane można przesyłać w sposób równoległy, czyli jako kombinację stanów logicznych odpowiadających wartościom 8-, 16-, czy 32-bitowym, lub w sposób szeregowy, jako ciąg bitów, który może być przekształcony na takie same dane. Główną zaletą interfejsów szeregowych jest to, że mogą być zrealizowane z użyciem zaledwie kilku portów I/O, kilku przewodów i niewielkich złączy, a szybkością transmisji sięgają Gbps. W artykule opisaliśmy najczęściej stosowane w elektronice, klasyczne interfejsy szeregowe – podstawy ich funkcjonowania, najważniejsze zalety, wady i ograniczenia, ich praktyczne implementacje oraz niektóre niestandardowe zastosowania.

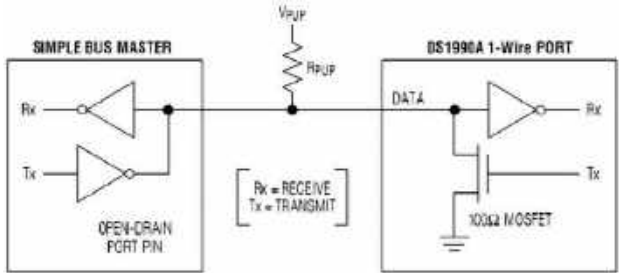
1-Wire

Interfejs 1-Wire to prosty system komunikacji umożliwiający dwukierunkową, asynchroniczną komunikację typu *half duplex* (nadawanie i odczyt danych nie mogą odbywać się jednocześnie), między sterownikiem głównym (*master*) i jednym lub wieloma układami podrzędnymi (*slave*). Jak sama nazwa wskazuje, transmisja danych odbywa się za pośrednictwem pojedynczej linii, która jednocześnie może służyć do zasilania układów podrzędnych (**rysunek 1**). Wszystkie układy w magistrali muszą być podłączone do wspólnej masy.

Magistrala 1-Wire jest obwodem z tzw. otwartym drenem (**rysunek 2**), w którym napięcie bliskie 0 V (logiczne 0) jest stanem aktywnym. W stanie bezczynności magistrala jest podciągana do napięcia zasilającego, zwykle 3…5 V, za pomocą rezystora (*pull-up*). Układy podrzędne są wyposażone w kondensatory o pojemności ok. 800 pF, ładowane napięciem z linii danych – zgromadzona energia jest następnie używana do zasilania tych układów. Opadające zbocza impulsów są strome i wyraźne, zaś narastające – ze względu na znaczne wartości rezystorów pull-up i pojemności – mogą być dość powolne.



Rysunek 1. Struktura magistrali 1-Wire (https://t.ly/koUbu)



Rysunek 2. Uproszczony schemat obwodów wewnętrznych układów 1-Wire (https://t.ly/et13L)

Według specyfikacji, do linii danych najlepiej przyłączyć rezystor podciągający o rezystancji rzędu 5 kΩ (4,7 kΩ). Jeśli wartość rezystancji będzie zbyt mała, podrzędne urządzenia nie będą w stanie obniżyć napięcia do 0 V, zaś jeżeli zbyt duża – do układów nie zostanie doprowadzony wymagany prąd. W praktyce bardzo często, zwłaszcza w przypadku długich połączeń, stosuje się mniejsze wartości rezystancji pull-up (nawet rzędu 1 kΩ) oraz układy aktywnego podciągania.

Aktywne podciąganie

Urządzenia podłączane do magistrali 1-Wire, które zasilane są poprzez linię danych, korzystają z tzw. trybu zasilania pasożytniczego (*parasite power*). Jednak niektóre układy mogą wymagać więcej energii – np. czujnik temperatury w trakcie procesu konwersji czy też pamięć EEPROM, w trakcie operacji kasowania lub realizacji zadań kryptograficznych. Należy wtedy stosować aktywne podciąganie linii danych, czyli metodę, która w odpowiednich momentach omija rezystor podciągający obwodem o niskiej impedancji. Może to być port mikrokontrolera skonfigurowany jako wyjście typu push-pull lub dodatkowy obwód, taki jak na **rysunku 3**.

Komunikacja po 1-Wire

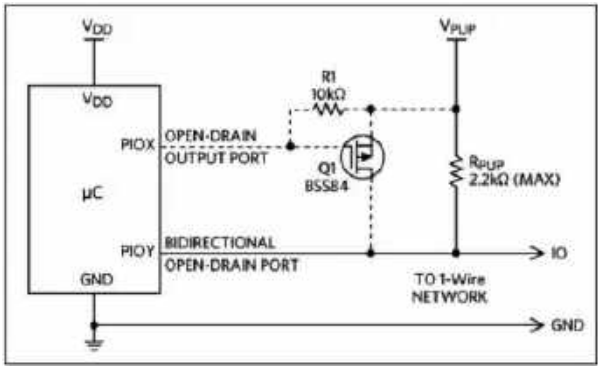
Dwukierunkowa wymiana danych poprzez interfejs 1-Wire jest realizowana za pomocą czterech prostych sekwencji, opierających się na mechanizmie slotów czasowych:

- inicjalizacja magistrali,
- nadanie logicznej jedynki,
- nadanie logicznego zera,
- odczyt bitu danych.

Bazując na powyższych czterech operacjach, możemy zrealizować kompletne funkcje adresowania urządzeń, przesyłania i odczytu pojedynczych bitów oraz całych bajtów danych. Dokładny opis sposobu komunikacji można znaleźć na stronie [1].

1-Wire Overdrive

Overdrive to specjalny tryb działania interfejsu 1-Wire, w którym wszystkie czasy trwania impulsów są skracane, co zwiększa prędkość transmisji z ok. 16 kbps do około 140 kbps. Działa tylko wtedy,



Rysunek 3. Aktywne podciąganie interfejsu 1-Wire zrealizowane jako dodatkowy obwód z dyskretnym tranzystorem MOSFET (https://t.ly/dMckR)

eprasa.pl dfb64580ab

gdy zarówno układ *master*, jak i *slave* obsługują ten tryb – urządzenia komunikują się szybciej, ale wymagają szybkiej reakcji i precyzyjniejszego odmierzania czasu.

Zastosowania 1-Wire

Układy 1-Wire to przede wszystkim czujniki temperatury (DS18B20 – **fotografia 1**), pamięci EEPROM (DS2430, DS2431), układy bezpiecznego uwierzytelniania, tzw. iButton (DS1990 – fotografia 1, DS1963S), układy z unikalnym numerem identyfikacyjnym (DS2401). Typowe zastosowania tych układów obejmują identyfikację i uwierzytelnianie komponentów do drukarek, materiałów medycznych, akcesoriów i urządzeń peryferyjnych, ochronę własności intelektualnej, zapobieganie klonowaniu i bezpieczne sterowanie funkcjami urządzenia.

Mostki 1-Wire

Układy z interfejsem 1-Wire to nie tylko urządzenia typu *slave*. Firma Analog Devices (która przejęła markę Maxim) produkuje szeroką gamę urządzeń 1-Wire typu *master*, które mogą być stosowane do niezawodnego kontrolowania sieci z urządzeniami 1-Wire *slave*. Są to tzw. mostki 1-Wire, ponieważ pośredniczą pomiędzy hostem – mikrokontrolerem, układem FPGA, czy komputerem PC – a urządzeniem podrzędnym 1-Wire. Dzięki takiemu rozwiązaniu procesor hosta nie komunikuje się bezpośrednio z urządzeniem podrzędnym 1-Wire, a więc nie musi generować krytycznych czasowo sekwencji tego protokołu. Procesor hosta komunikuje się z urządzeniem mostkującym za pomocą interfejsu, który jest mniej wymagający pod względem zasobów lub został już fabrycznie zaimplementowany jako gotowy blok sprzętowy – zwykle jest to interfejs UART lub I²C. W efekcie całą aplikację można tworzyć w języku wysokiego poziomu i niekiedy działa ona nawet bardziej stabilnie.

Przykładowy układ tego typu – DS2480B – pełni funkcję mostka UART-1-Wire. Wśród jego zadań warto wymienić:

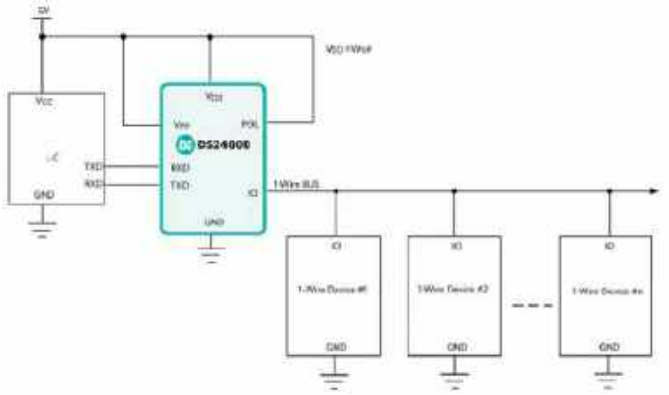
- aktywny obwód podciągania (APU), który jest uruchamiany automatycznie po przekroczeniu określonych napięć na zboczach narastających sekwencji 1-Wire i umożliwia bezproblemowe sterowanie wieloma urządzeniami znajdującymi się na magistrali,
- zintegrowany akcelerator wyszukiwania, dzięki któremu sekwencja wyszukiwania urządzeń jest łatwiejsza do zaimplementowania w oprogramowaniu,
- możliwość programowania urządzeń 1-Wire EPROM (*Erasable Programmable Read Only Memory*), jeśli będzie dostępne napięcie 12 V,
- komunikacja poprzez interfejs UART lub RS232 w standardzie 5 V,
- prędkość komunikacji do 115,2 kbps.

Na **rysunku 4** został pokazany uproszczony schemat systemu z układem DS2480B.

Interesującym układem jest także DS2465, który pełni funkcję mastera 1-Wire oraz zawiera koprocesor SHA-256. Układ oferuje:



Fotografia 1. Układy z interfejsem 1-Wire: czujnik temperatury DS18B20 (w obudowie TO-92) i układy „pastylkowe" do bezpiecznego uwierzytelniania typu DS1990, tzw. iButton (https://t.ly/Ggkq8)



Rysunek 4. Uproszczony schemat aplikacyjny układu DS2480B (https://t.ly/IVzk7)

- zintegrowany moduł SHA-256 do kryptograficznego uwierzytelniania bezpiecznych urządzeń podrzędnych 1-Wire SHA-256,
- dwie 32-bajtowe strony pamięci EEPROM do przechowywania danych użytkownika,
- aktywny (APU) lub pasywny (RPUP) obwód podciągania – obydwa zapewniają efektywną pracę urządzeń 1-Wire na dużych odległościach,
- wejście aktywujące tryb niskiego poboru mocy (SLPZ), pozwalający oszczędzać energię, gdy DS2465 nie jest używany;
- rozwiązania ułatwiające implementację sekwencji wyszukiwania ROM 1-Wire w oprogramowaniu,
- sterowanie sterujące zasilaniem portu 1-Wire, pozwalające na wyłączanie urządzeń na magistrali,

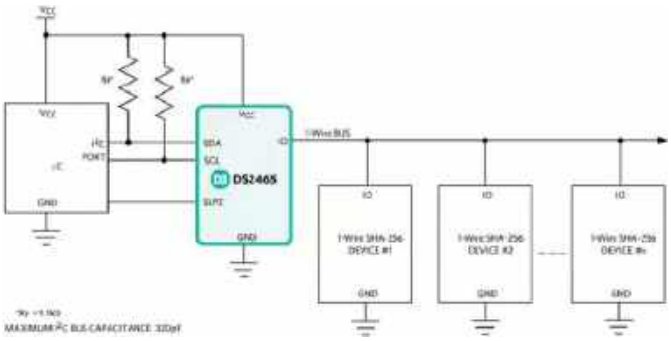
1-Wire

Zalety

- Działa z użyciem jednej linii komunikacyjnej (oraz linii masy zasilania).
- Linia komunikacyjna może jednocześnie służyć do zasilania układów podrzędnych (zasilanie pasożytnicze).
- Do jednej linii interfejsu 1-Wire może być dołączonych wiele układów.
- Każdy układ 1-Wire ma unikalny, 64-bitowy numer identyfikacyjny (ROM ID), co umożliwia precyzyjną kontrolę działania.
- Długość magistrali teoretycznie może przekraczać 100 m, ale w praktyce stabilna komunikacja działa przy długości do ok. 30 m.

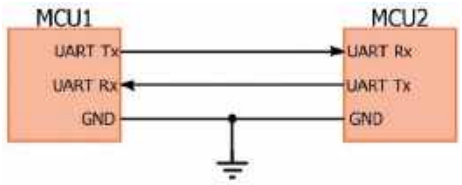
Wady

- Niewielka przepustowość transmisji danych – standardowo 16 kbps, maksymalnie do ok. 110...140 kbps w trybie przyspieszonym (*overdrive*).
- Wymaga układu nadrzędnego, który jest w stanie wykonywać zadania i precyzyjnie odmierzać czas w zakresie pojedynczych µs.
- Podatność na zakłócenia, zwłaszcza przy długich i rozgałęzionych magistralach.



Rysunek 5. Uproszczony schemat systemu z układem DS2465 (https://t.ly/DSFLK)

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 6. Podstawowa struktura łącza UART (https://t.ly/XPHmJ)

- ustawienia synchronizacji 1-Wire dla standardowych i przyspieszonych prędkości w celu obsługi szerokiej gamy urządzeń podrzędnych 1-Wire.

Układ DS2465 łączy się z modułem nadrzędnym poprzez interfejs I²C i może komunikować się z taktowaniem do 400 kHz. Uproszczony schemat systemu z układem DS2465 został pokazany na **rysunku 5**.

UART

Określenie UART oznacza *Universal Asynchronous Receiver and Transmitter*. Zatem magistrala UART zawiera dwie linie komunikacyjne – TxD (Tx), czyli wyjście nadajnika (*transmitter*) wysyłające strumień bitów oraz RxD (Rx), czyli wejście odbiornika (*receiver*). Sygnał TxD w układzie nadającym dane jest podłączony do wejścia RxD w układzie odbiorczym i odwrotnie – dodatkowa linia musi łączyć masy zasilania obu układów (**rysunek 6**). Asynchroniczny interfejs UART może działać w trybie *half duplex* lub *full duplex* (nadawanie i odbieranie może odbywać się w tej samej chwili) i jest używany do komunikacji na niewielkie odległości, głównie w systemach wbudowanych.

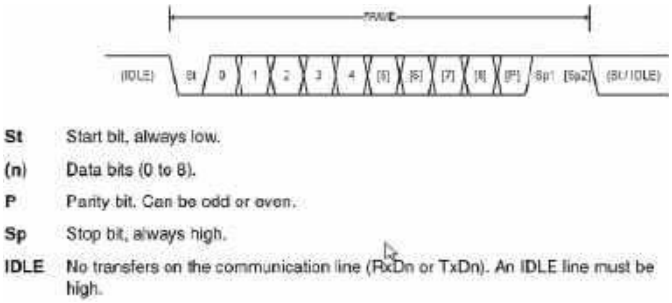
Każda linia komunikacyjna (TxD, RxD) składa się z bufora zapisu/odczytu (który jest w istocie szeregowym rejestrem przesuwnym) oraz generatora sygnału taktowania, odpowiadającego za ustalenie szybkości transmisji urządzenia. Ustawienia prędkości komunikacji obydwu urządzeń powinny być takie same, aby komunikacja była bezbłędna.

Ramka danych UART

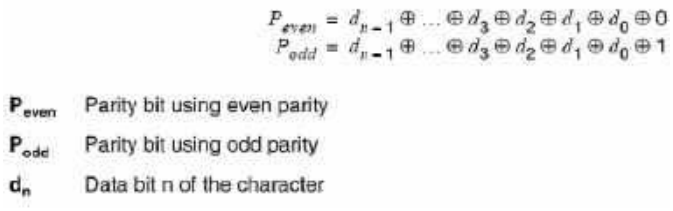
Podstawowa ramka danych UART jest zdefiniowana jako jedno słowo danych z bitami synchronizacji, czyli bitami startu i stopu, a także opcjonalnym bitem parzystości do sprawdzania błędów. Ramka zaczyna się od bitu startowego (*St*), który oznacza, że linia danych opuszcza stan bezczynności (IDLE). Ten ostatni jest zazwyczaj równoznaczny z logicznym stanem wysokim, więc bit startowy to logiczne 0. Następne bity to właściwe słowo danych, zaczynające się od najmniej znaczącego bitu (LSB). Słowo może zawierać od 5 do maksymalnie 9 bitów. Jeśli jest włączona funkcja sprawdzania parzystości, to bit parzystości (*P*) jest wstawiany po najstarszym bicie danych (MSB), przed bitem/bitami stopu (*Sp1*, *Sp2*). Podstawowa ramka danych UART została pokazana na **rysunku 7**.

Podsumowując: interfejs UART ma wiele kombinacji prawidłowych formatów ramek, a zatem konfiguracja obejmuje:

- 1 bit startowy (*start bit*),
- 5, 6, 7, 8 lub 9 bitów danych (*data bits*),
- brak bitu parzystości (*none*), bit parzysty (*even*) lub nieparzysty (*odd*),



Rysunek 7. Podstawowa ramka danych UART (https://t.ly/6x3zk)



Rysunek 8. Relacja między bitem parzystości a bitami danych interfejsu UART (https://t.ly/6eQdF)

- 1 lub 2 bity stopu (*stop bits*), w niektórych systemach dostępna jest także opcja 1,5 bitu.

Najbardziej znaczący bit „wnętrza" ramki może pełnić funkcję bitu parzystości – podstawowego mechanizmu sprawdzania błędów. Bit parzystości określa, czy całkowita liczba bitów w stanie wysokim („jedynek") jest nieparzysta czy parzysta – w zależności od konfiguracji. Bit parzystości oblicza się, wykonując operację exclusive-OR wszystkich bitów danych. Jeśli konfiguracja ustawiona jest na tryb nieparzysty (odd), wynik operacji exclusive-OR jest odwracany. Relacja między bitem parzystości a bitami danych została pokazana na **rysunku 8**.

Szybkość transmisji UART

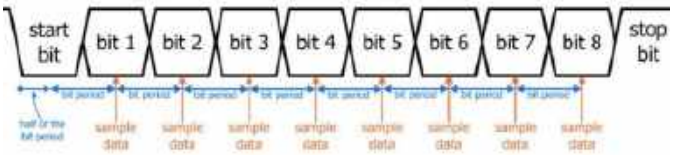
Szybkość transmisji interfejsu UART jest wyrażana jako liczba bitów przesłanych w ciągu sekundy (*bps*). Inne często stosowane określenia tego parametru to tzw. body (*bauds*), *baud rate*, *bit rate*. Prędkość transmisji nie dotyczy tylko użytecznych danych, obejmuje również bity narzutu – bity startu, stopu i parzystości, które są niezbędne do prawidłowej transmisji i odbioru danych. Zatem efektywna szybkość transmisji użytecznych informacji wysyłanych z nadajnika do odbiornika będzie nieco mniejsza. Najczęściej stosowane szybkości transmisji, wyrażone w bps, to: 2400, 4800, 9600, 14,4 k, 19,2 k, 28,8 k, 38,4 k, 57,6 k, 76,8 k, 115,2 k, 230,4 k, 250 k, 0,5 M, 1 M. Szybkości 9600 bps oraz 115200 bps są szczególnie popularne w automatyce przemysłowej czy też systemach wbudowanych.

Synchronizacja i próbkowanie

Strumień danych UART to ciąg bitów, który przechodzi między stanami logicznymi niskim i wysokim. Odbiornik może poprawnie konwertować te stany logiczne na dane cyfrowe tylko wtedy, gdy potrafi precyzyjnie próbkować taki sygnał. Nadajnik generuje strumień bitów na podstawie swojego niezależnego sygnału zegarowego, natomiast zadaniem odbiornika jest próbkowanie przychodzących danych w środku każdego okresu bitowego przy użyciu własnego wewnętrznego sygnału zegarowego. Każda ramka danych zaczyna się od opadającego zbocza bitu startowego – to wtedy następuje krytyczny proces synchronizacji (**rysunek 9**).

Próbkowanie w środku okresu sygnału nie jest niezbędne, ale stanowi rozwiązanie optymalne, ponieważ jeśli punkt próbkowania stopniowo odbiega od środka tego okresu, to będzie zbliżał się do przejścia bitowego i w końcu wystąpi błąd transmisji.

Sygnały taktujące układów połączonych interfejsem UART mogą mieć inne częstotliwości, a mimo to komunikacja może wciąż przebiegać prawidłowo, przy odpowiednim ustawieniu prędkości komunikacji (**rysunek 10**). O ile wartości częstotliwości nie są krytyczne, o tyle częstotliwość zegara układu odbierającego dane powinna być znacznie wyższa (×8, ×16 lub nawet ×32) od rzeczywistej szybkości



Rysunek 9. Synchronizacja i próbkowanie ciągu bitów w odbiorniku UART (https://t.ly/8kOYP)

eprasa.pl dfb64580ab

Baud Rate (bps)	f_{osc} = 8.0000MHz				f_{osc} = 11.0592MHz			
	U2Xn = 0		U2Xn = 1		U2Xn = 0		U2Xn = 1	
	UBRRn	Error	UBRRn	Error	UBRRn	Error	UBRRn	Error
2400	207	0.2%	416	−0.1%	287	0.0%	575	0.0%
4800	103	0.2%	207	0.2%	143	0.0%	287	0.0%
9600	51	0.2%	103	0.2%	71	0.0%	143	0.0%
14.4k	34	−0.8%	68	0.6%	47	0.0%	95	0.0%
19.2k	25	0.2%	51	0.2%	35	0.0%	71	0.0%
28.8k	16	2.1%	34	−0.8%	23	0.0%	47	0.0%
38.4k	12	0.2%	25	0.2%	17	0.0%	35	0.0%
57.6k	8	−3.5%	16	2.1%	11	0.0%	23	0.0%
76.8k	6	−7.0%	12	0.2%	8	0.0%	17	0.0%
115.2k	3	8.5%	8	−3.5%	5	0.0%	11	0.0%
230.4k	1	8.5%	3	8.5%	2	0.0%	5	0.0%
250k	1	0.0%	3	0.0%	2	−7.8%	5	−7.8%
0.5M	0	0.0%	1	0.0%	–	–	2	−7.8%
1M	–	–	0	0.0%	–	–	–	–
Max.(1)	0.5Mbps		1Mbps		691.2kbps		1.3824Mbps	

Rysunek 10. Fragment dokumentacji mikrokontrolera ATmega328, pokazujący wpływ częstotliwości taktowania na błąd komunikacji przy różnych prędkościach transmisji (https://t.ly/CFMaS)

transmisji. Ponadto sygnały taktujące obu układów powinny być bardzo stabilne. Oscylatory wbudowane w mikrokontrolery mogą nie być wystarczająco stabilne i dokładne.

Synchroniczny UART, czyli USART

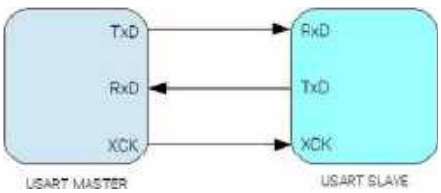
Synchroniczny interfejs USART (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver and Transmitter*) może działać w trybie asynchronicznym, jak UART lub w trybie synchronicznym, w którym do komunikacji wymagane są trzy przewody/piny: TxD, RxD i XCK (**rysunek 11**). Linie Tx oraz Rx działają tak jak w UART, a dodatkowy sygnał XCX służy do synchronizacji transferu danych. Urządzenie nadrzędne (*master*) używa pinu XCK do wyprowadzania sygnału zegarowego z generatora szybkości transmisji. Urządzenie *slave* odbiera sygnał zegarowy poprzez pin XCK.

Zależność między zboczami sygnału zegarowego a próbkowaniem danych i ich zmianą zawsze spełnia następujący warunek: dane wejściowe (na RxD) są próbkowane na przeciwległym zboczu sygnału zegarowego XCK względem zbocza, na którym zmianie ulegają dane wyjściowe (TxD). Zwykle można skonfigurować bloki sprzętowe USART i określić, która krawędź zegara XCK jest używana do próbkowania danych, a która do zmiany stanu bitów. Najczęściej ustawieniu temu odpowiada stan bitu UCPOL w rejestrach konfiguracyjnych (**rysunek 12**).

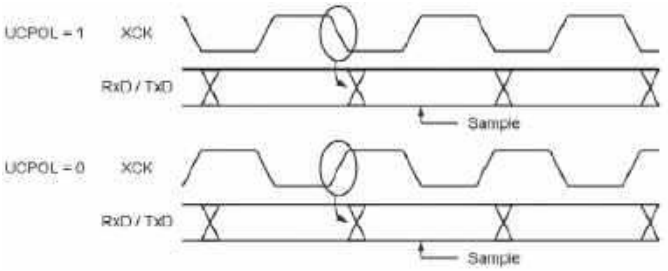
Sterowanie przepływem danych – Flow Control

Dane odbierane przez interfejs USART – zanim zostaną przetworzone – niemal zawsze trafiają do bufora utworzonego w określonym obszarze pamięci kontrolera. Bufor ma skończoną pojemność i jeśli dane będą przesyłane szybko i w dużych pakietach, to może dojść do przepełnienia bufora i utraty danych. USART *Hardware Flow Control* to mechanizm sprzętowego sterowania przepływem ramek w interfejsie USART, który zapobiega utracie danych podczas transmisji między dwoma urządzeniami. Oprócz standardowych linii nadawczych i odbiorczych (TX, RX) wymaga dwóch dodatkowych sygnałów:

- RTS (*Request to Send*),
- CTS (*Clear to Send*).



Rysunek 11. Synchroniczny interfejs USART (https://t.ly/TCWNH)

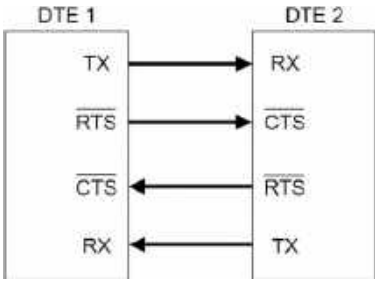


Rysunek 12. Zależność między sygnałem zegarowym a próbkowaniem/zmianą danych (https://t.ly/mPb7T)

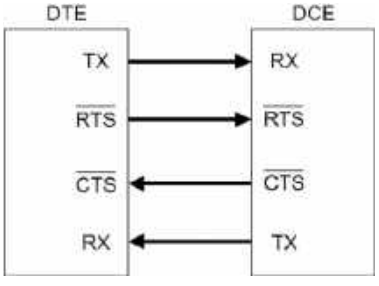
W celu sterowania przepływem danych moduł USART korzysta ze schematu stosowanego w interfejsach RS-232. Standard ten definiuje dwa rodzaje urządzeń, określane jako DTE (*Data Terminal Equipment*), który można traktować jako urządzenie nadrzędne (master) oraz DCE (*Data Communication Equipment*), który jest odpowiednikiem urządzenia *slave*. Sygnały RTS i CTS są aktywne w stanie niskim. Jeśli moduł USART jest skonfigurowany jako urządzenie DTE, to sygnał RTS działa jako wyjście, a sygnał CTS jest wejściem. W urządzeniu DCE jest odwrotnie; sygnał RTS jest wejściem, podczas gdy sygnał CTS jest wyjściem. Zatem połączenia między dwoma urządzeniami DTE (**rysunek 13**) różnią się od połączeń między urządzeniami DTE i DCE (**rysunek 14**).

W przypadku połączenia DTE-DTE, każde z urządzeń może działać jako *master*. Gdy jedno urządzenie DTE próbuje przesłać dane, ustawia stan niski na linii RTS, który trafia do wejścia CTS drugiego urządzenia, sygnalizując potrzebę rozpoczęcia monitorowania przez nie swojego wejścia RX. Gdy drugie urządzenie jest gotowe do przyjęcia danych, ustawia ono stan niski na linii RTS, informując urządzenie nadrzędne (poprzez jego wejście CTS), aby rozpoczęło wysyłanie danych. Po zakończeniu transakcji urządzenie nadrzędne podnosi stan na linii RTS.

W konfiguracji DTE-DCE urządzenie DTE jest uważane za urządzenie *master*, a DCE za *slave*. Gdy DTE próbuje przesłać dane, ustawia stan niski na linii RTS, co sygnalizuje urządzeniu DCE poprzez jego linię RTS, aby rozpoczęło monitorowanie linii RX. Gdy urządzenie DCE jest gotowe do przyjęcia danych, ustawia stan niski na linii CTS, informując urządzenie DTE poprzez jego wejście CTS, aby rozpoczęło wysyłanie danych.



Rysunek 13. Połączenie interfejsu UART ze sprzętową kontrolą przepływu pomiędzy dwoma urządzeniami DTE (https://t.ly/Cu3BO)



Rysunek 14. Połączenie interfejsu UART ze sprzętową kontrolą przepływu pomiędzy urządzeniem DTE i urządzeniem DCE (https://t.ly/ObCpV)

eprasa.pl dfb64580ab

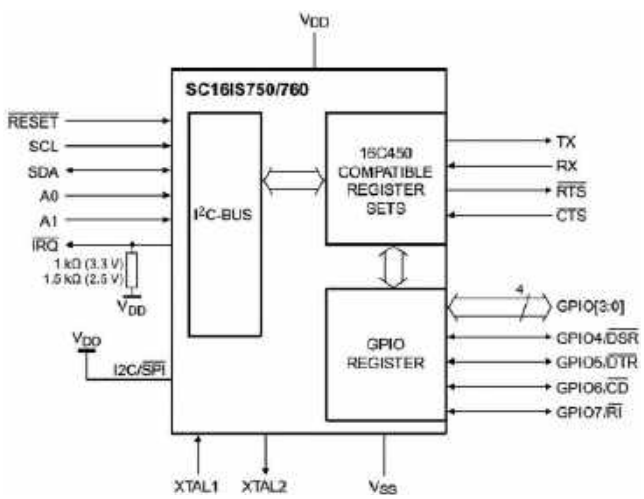
Istnieje jeszcze programowa metoda sterowania przepływem danych, określana najczęściej mianem *software flow control*. W takim trybie sterowania używa specjalnych znaków sterujących XON (ASCII = DC1; HEX = 11), XOFF (ASCI = DC3; HEX = 13) przesyłanych w ramach danych. Schemat działania nie jest skomplikowany – gdy jedno urządzenie łącza danych nie jest w stanie przyjąć więcej ramek lub zbliża się do przepełnienia bufora, wysyła znak XOFF do drugiego urządzenia. Drugie urządzenie odbiera kod XOFF i zawiesza transmisję. Gdy pierwsze urządzenie jest gotowe do ponownego przyjęcia danych, wysyła XON, a wtedy drugie wznawia transmisję.

Zewnętrzny UART sprzętowy

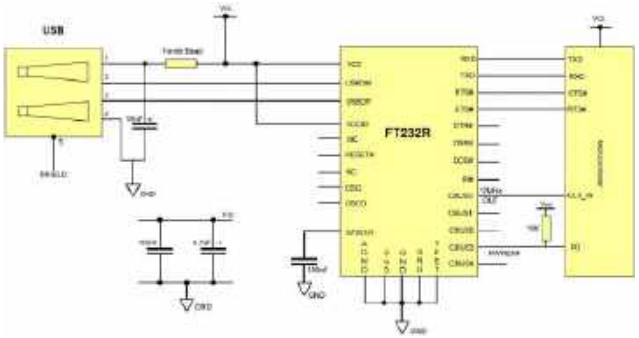
Interfejs UART/USART zwykle jest integralną częścią mikrokontrolera, ale dostępne są również układy, które realizują funkcję dodatkowego, zewnętrznego interfejsu, np. SC16IS740/750/760. Jest to jednokanałowy interfejs UART oferujący prędkość transmisji danych do 5 Mbit/s, sterowany poprzez magistralę I²C lub SPI. SC16IS740 jest wyposażony w 4 podstawowe sygnały TX, RX, RTS, CTS, natomiast SC16IS750 i SC16IS760 mają również wszystkie pozostałe linie stosowane w interfejsie UART a dodatkowo – 4 linie GPIO (**rysunek 15**). Wersja 760 obsługuje prędkości zegara SPI do 15 Mbit/s, a SC16IS750 – tylko 4 Mbit/s. Wewnętrzny zestaw rejestrów SC16IS740/750/760 jest wstecznie kompatybilny z popularnym kontrolerem 16C450, co pozwala na łatwe pisanie oprogramowania lub przenoszenie go z innej platformy. SC16IS740/750/760 oferuje również dodatkowe zaawansowane funkcje, takie jak automatyczna sprzętowa i programowa kontrola przepływu danych oraz automatyczna obsługa transceiverów RS-485.

Niezwykle popularnymi układami oferującymi funkcjonalność interfejsu UART są produkty z serii FT232. Ich producent – firma FTDI – specjalizuje się w tworzeniu kontrolerów USB pełniących różne funkcje, a jedną z kluczowych konfiguracji jest kontroler USB Device z interfejsem/interfejsami UART. Jako przedstawiciela tej grupy układów omówimy model FT232R. Jego najważniejsze cechy to:

- kompletny kontroler USB Device zintegrowany w jednym układzie,
- asynchroniczny interfejs UART pracujący z szybkością przesyłania danych od 300 bps do 3 Mbps,
- wyprowadzone wszystkie sygnały interfejsu UART oraz konfigurowalne linie CBUS I/O,
- brak konieczności programowania (choć układ pozwala na prostą konfigurację),
- zintegrowana pamięć EEPROM przechowująca deskryptory urządzeń i konfigurację CBUS I/O,



Rysunek 15. Uproszczony schemat blokowy układu SC16IS750/760 (https://t.ly/Z36I5)



Rysunek 16. Uproszczony schemat aplikacyjny konwertera USB-UART typu FT232R (https://t.ly/UHJQU)

- zintegrowane rezystory wymagane na liniach interfejsu USB,
- wbudowane precyzyjne źródło sygnału zegarowego, które nie wymaga zewnętrznego rezonatora kwarcowego,
- 128-bajtowy bufor odbiorczy i 256-bajtowy bufor nadawczy,
- zintegrowany konwerter poziomów napięcia na liniach UART i CBUS kompatybilny z napięciem o wartości 1,8 V…5 V.

Warto także dodać, że układy dostarczane są ze wstępnie zaprogramowanym, unikalnym numerem seryjnym USB, a na stronie internetowej producenta można pobrać sterowniki Virtual Com Port (VCP) i Direct (D2XX) firmy FTDI (wolne od opłat licencyjnych).

Uproszczona aplikacja układu FT232R została pokazana na **rysunku 16** – jak widać, wymaga ona zaledwie kilku dyskretnych elementów biernych.

Układy konwerterów USB-UART znalazły wiele zastosowań i stały się niemal obowiązkowym elementem płytek uruchomieniowych, np. z serii Arduino. Na wielu z nich stosowane są układy FT232, ale można spotkać także inne, np. CP2102, MCP2221 czy CH340 – **rysunek 17**.

Zastosowania UART/USART

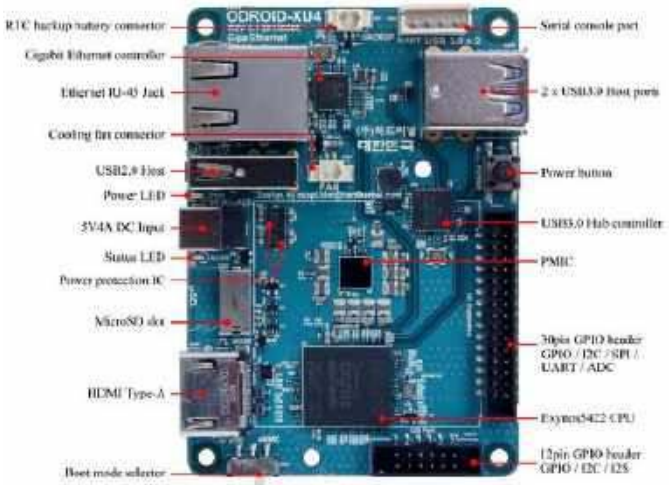
Obecnie najbardziej powszechnym zastosowaniem interfejsu U(S)ART jest komunikacja mikrokontrolerów i mikrokomputerów z komputerem PC, dzięki której można realizować takie funkcje, jak:

- debugowanie kodu,
- wysyłanie logów,
- ładowanie firmware,
- dostęp do konsoli urządzenia np. routera, Raspberry Pi, systemów embedded na bazie systemu Linux,
- konfiguracja sprzętu bez użycia interfejsu graficznego,



Rysunek 17. Konwerter UART-USB zbudowany na bazie układu CH340G, zastosowany w niektórych płytkach kompatybilnych z Arduino (https://t.ly/56Yer)

eprasa.pl dfb64580ab



Fotografia 2. Płytka nowoczesnego minikomputera Odroid XU4 z zaznaczonymi najważniejszymi komponentami. W górnej części płytki, obok interfejsów USB 3.0, umieszczono klasyczny interfejs UART oznaczony jako *Serial Console Port* (https://t.ly/zDjSb)

- przesyłanie danych przez bootloadery.

Na **fotografii 2** została pokazana płytka nowoczesnego minikomputera jednopłytkowego Odroid XU4 z zaznaczonymi najważniejszymi komponentami. W górnej części płytki, obok interfejsów USB 3.0, umieszczono klasyczny interfejs UART, oznaczony jako *Serial Console Port*.

W wielu rozwiązaniach interfejs USART służy do komunikacji pomiędzy mikrokontrolerami oraz niektórymi modułami peryferyjnymi, takimi jak:



Fotografia 3. Moduł GNSS, który komunikuje się z układem nadrzędnym poprzez interfejs USART (https://t.ly/Bvy2r)

USART

Zalety

- Powszechnie stosowany, zarówno w prostych mikrokontrolerach, jak i minikomputerach.
- Większość mikrokontrolerów ma wbudowany sprzętowy moduł USART/UART, ale można go łatwo zaimplementować w programie.
- Małe wymagania sprzętowe – w najprostszym wykonaniu wymaga tylko dwóch linii TX i RX.
- Może służyć jako prosty kanał debugowania.

Wady

- Tworzy połączenie punkt-punkt – w podstawowej wersji nie nadaje się do budowy magistrali z wieloma urządzeniami.
- W trybie asynchronicznym wymaga precyzyjnego sygnału taktującego.
- Ograniczona odległość transmisji, zaledwie kilka...kilkadziesiąt centymetrów.
- Brak zaawansowanej kontroli błędów transmisji (tylko sprawdzenie parzystości).

- moduły Bluetooth (np. HC-05, HC-06) i Wi-Fi,
- moduły GNSS (w tym GPS),
- moduły komunikacji radiowej specyficzne dla IoT/M2M, np. ZigBee, LoRa, GSM itp.

Na **fotografii 3** został pokazany moduł GNSS, który komunikuje się z układem nadrzędnym poprzez interfejs USART.

Wreszcie USART jest interfejsem bazowym dla innych interfejsów i standardów komunikacyjnych, takich, jak:

- RS-232,
- RS-485,
- DMX512,
- Modbus RTU.

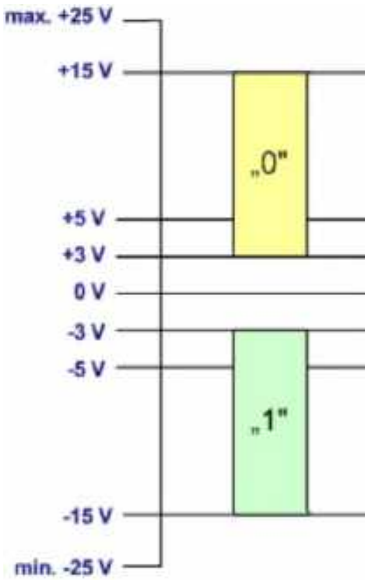
RS-232

Interfejs RS-232 (lub EIA-232) został opracowany w latach 60. XX wieku i był powszechnie stosowany w dawnym sprzęcie komputerowym. W komputerach nowej generacji już nie znajdziemy RS-232, natomiast wciąż jest on używany m.in. w urządzeniach z branży automatyki przemysłowej czy w aparaturze pomiarowej. Norma EIA/TIA-232-E była aktualizowana cztery razy, aby sprostać zmieniającym się potrzebom aplikacji komunikacji szeregowej. Oficjalna nazwa normy EIA/TIA-232-E to: *Interface Between Data Terminal Equipment* (DTE) *and Data Circuit-Termination Equipment* (CTE) *Employing Serial Binary Data Interchange*.

RS-232 jest szeregowym interfejsem komunikacyjnym, w którym transmisja danych przebiega tak, jak w interfejsie UART, ale poziomy napięć dla wartości cyfrowych 0 i 1 zostały określone zupełnie inaczej. Stan nieaktywny, odpowiadający jedynce logicznej, ma ujemny poziom względem masy i wartość w zakresie –3… –15 V, natomiast stan aktywny, zero logiczne, ma dodatni poziom względem masy i wartość napięcia w zakresie do 3…15 V (**rysunek 18**). Ponadto napięcie na dowolnym styku nie może być większe niż +25 V i mniejsze niż –25 V, a zwarcie dwóch styków interfejsu RS-232 nie powinno powodować jego uszkodzenia. Sygnał o tak wysokiej amplitudzie może być przesyłany połączeniami/przewodami o długości do 15 m i to w środowisku narażonym na niewielkie zakłócenia elektromagnetyczne.

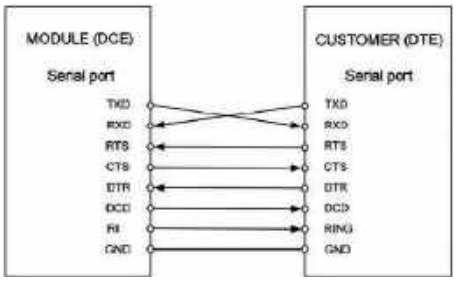
RS-232 Flow Control

Standard RS-232 opisuje sposób połączenia urządzeń, korzystając z określeń DTE i DCE – tak jak przypadku w USART. Tak samo działa system sterowania przepływem danych – z użyciem linii RTS/CTS. Natomiast RS-232 zawiera jeszcze dodatkowe sygnały: DCD,



Rysunek 18. Poziomy napięć dla bitów 0 i 1 w standardzie RS-232 (https://t.ly/3XmC4)

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 19. Schemat połączeń interfejsu UART z użyciem wszystkich sygnałów kontroli przepływu danych (https://t.ly/zUAFM)



Rysunek 21. Podstawowy wariant kabla RS-232 do połączenia dwóch urządzeń DTE (https://t.ly/IgJWe)

DTR i RI, które pierwotnie były wymagane do komunikacji szeregowej pomiędzy komputerem a modemem. Pełnią one funkcje sygnalizacyjne i kontrolne:

- DCD (*Data Carrier Detect*) – przesyłany z modemu do komputera, informuje o tym, że modem wykrył nośną (*Carrier*), czyli aktywne połączenie z drugą stroną (np. modemem zdalnym).
- DTR (*Data Terminal Ready*) – sygnał przesyłany z komputera do modemu, często używany do jego wybudzenia, np. po włączeniu komputera lub otwarciu portu szeregowego. Bez sygnału DTR modem może nie działać.
- RI (*Ring Indicator*) – sygnał przesyłany z modemu do komputera, sygnalizuje przychodzące połączenie na linii telefonicznej modemu.

Chociaż te sygnały są rzadziej używane, to nadal bywają istotne w rozwiązaniach z zakresu automatyki czy przy komunikacji radiowej lub w modemach GSM. Schemat połączeń DTE-DCE z uwzględnieniem wszystkich linii RS-232 został pokazany na **rysunku 19**.

Złącza i przewody RS-232

Połączenia interfejsów RS-232 wykonywane są zwykłymi przewodami wielożyłowymi. Z powodu małych prędkości transmisji i niewielkich długości okablowania nie jest wymagane dopasowanie impedancyjne pomiędzy nadajnikiem, linią i odbiornikiem. Jedynym warunkiem jest pojemność elektryczna przewodów – nie powinna przekraczać 2500 pF, ponieważ wtedy możliwa jest transmisja z prędkością do zaledwie 20 kbit/s. Klasycznym złączem stosowanym do interfejsu RS-232 jest DB-9 (**rysunek 20**). Wersja z 25-pinowym złączem DB-25, choć zapisana w specyfikacji, od dawna nie jest już stosowana.

Typ męski złącza zwykle jest stosowany w urządzeniu DTE, typ żeński w DCE. Z tego względu dostępne są różne rodzaje kabli połączeniowych. Wariant najbardziej podstawowy i najczęściej stosowany to taki, w którym połączone są tylko linie TX, RX i GND, przy czym TX i RX są skrzyżowane (**rysunek 21**). Służy do połączenia dwóch urządzeń DTE i najczęściej ma oba złącza żeńskie. Dodatkowe linie nie są potrzebne, ponieważ urządzenia przetwarzają dane na tyle szybko, że kontrola wymiany danych nie jest konieczna.



Rysunek 20. Złącza DB-9 stosowane z interfejsami RS-232 (https://t.ly/OckIg)

Kable zawierające wszystkie linie sterujące mogą występować w wielu wariantach, ale najpopularniejsze konfiguracje to:

- kabel prosty, gdzie wszystkie linie są połączone w układzie „1:1" – odpowiedni do połączenia urządzeń DTE i DCE,
- kabel ze skrzyżowanymi sygnałami, tzw. *handshaking null modem*, którego schemat połączeń został pokazany na **rysunku 22**. Będzie odpowiedni do połączenia dwóch urządzeń DTE, umożliwia realizację funkcji sprzętowej kontroli przepływu danych.

Transceivery RS-232

Przez ostatnie lata transceivery RS-232 były modyfikowane, aby sprostać zmieniającym się trendom w projektach korzystających z omawianego interfejsu. Modyfikacje obejmowały zintegrowanie pompy ładunkowej, zaawansowaną ochronę przed ESD, automatyczny tryb shutdown, możliwość pracy z pojedynczym zasilaniem 3,3 V, większą przepustowość, translację poziomów napięć i coraz mniejsze obudowy. Te liczne ulepszenia zwiększyły

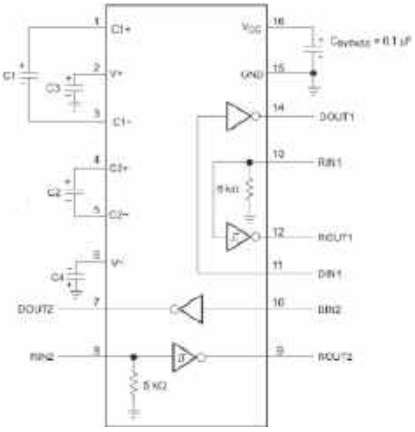


Rysunek 22. Kabel ze skrzyżowanymi sygnałami, tzw. handshaking null modem (https://t.ly/ksQia)



Rysunek 23. Portfolio najnowszych układów transceiverów RS-232 firmy Texas Instruments (https://t.ly/HNlr5)

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 24. Typowa aplikacja układu TRSF3232 (https://t.ly/DGD2F)

funkcjonalność, uprościły stosowanie interfejsu RS-232 w docelowych aplikacjach, zredukowały liczbę komponentów i zaoszczędziły miejsce na PCB. W efekcie oferty niektórych producentów układów półprzewodnikowych zawierają ponad 100 układów scalonych transceiverów RS-232. Na **rysunku 23** pokazano portfolio najnowszych rozwiązań firmy Texas Instruments.

Popularny układ MAX232 jest wypierany przez takie układy, jak TRSF3232, który również składa się z dwóch nadajników i dwóch odbiorników linii RS-232 oraz obwodu pompy ładunkowej, dzięki której nie jest wymagane zewnętrzne napięcie ±15 V. Jednak TRSF3232 działa przy pojedynczym napięciu już od 3 V (do 5,5 V) i zapewnia szybkość transmisji danych do 1 Mbit/s. Ponadto akceptuje logikę o poziomie 5 V, gdy jest zasilany z 3,3 V. Do działania wymaga jedynie pięciu kondensatorów 100 nF, pobiera niewielki prąd ok. 0,3 mA i zawiera zaawansowane zabezpieczenia ESD. Typowa aplikacja układu została pokazana na **rysunku 24** – jest ona identyczna jak w przypadku MAX232.

Duża grupa układów została zaprojektowana do obsługi wszystkich ośmiu linii standardu RS-232. Jednak w zależności od tego, które urządzenie będzie reprezentowała aplikacja (DTE, DCE), należy dobrać układ o odpowiednich kierunkach transmisji linii, co pokazano wcześniej na rysunku 19. Do takich aplikacji firma Maxim (Analog Devices) wprowadziła m.in. układy MAX3243 oraz MAX3238, a gotowe moduły z odpowiednimi złączami w konfiguracji DTE i DCE na bazie tych układów pokazano na **fotografii 4**.

W niektórych aplikacjach przemysłowych czy medycznych wymagane są dodatkowe właściwości, np. izolacja galwaniczna interfejsu RS-232. Do takich zastosowań opracowano układ ADM3251E – szybki, całkowicie izolowany transceiver RS-232 o napięciu izolacji 2,5 kV, który działa z pojedynczego źródła zasilania 5 V. Dzięki wysokiemu poziomowi ochrony ESD na pinach R IN i T OUT, idealnie nadaje się do pracy w trudnych warunkach przemysłowych lub w urządzeniach, w których przewody RS-232 są często podłączane i odłączane.

Układ ADM3251E zawiera dwukanałowy izolator cyfrowy z wbudowanym, izolowanym zasilaniem *ISO Power*, dlatego nie wymaga stosowania oddzielnej, izolowanej przetwornicy DC/DC. Rezultatem jest całkowicie zintegrowany układ, dostępny



Fotografia 4. Gotowe moduły z odpowiednimi złączami w konfiguracji DTE i DCE, zbudowane na bazie układów Maxim (Analog Devices) MAX3243 oraz MAX3238 (https://t.ly/yGelx)

RS-232

Zalety

- Łatwy do zaimplementowania zarówno sprzętowo (z użyciem UART), jak i programowo.
- Umożliwia prostą komunikację między dwoma urządzeniami, bez skomplikowanego protokołu sieciowego.
- Dobrze udokumentowany i dostępny w wielu systemach przemysłowych.
- Stabilny w środowiskach o niewielkich zakłóceniach elektromagnetycznych.
- Często obsługiwany natywnie, bez konieczności instalowania dodatkowego oprogramowania.

Wady

- Niewielki zasięg transmisji – maksymalna długość kabla to ok. 15 metrów.
- Mała prędkość transmisji, typowo 9600...115200 bps.
- Nie umożliwia komunikacji wielopunktowej.
- Brak galwanicznej izolacji (chyba że stosuje się dodatkowe izolatory).
- Złącza typu DB9 są stosunkowo duże i nieergonomiczne w porównaniu do nowoczesnych standardów (jak USB).
- Nie dostarcza zasilania do urządzeń peryferyjnych.

w 20-wyprowadzeniowej obudowie SOIC i przeznaczony do pracy w zakresie temperatur od −40 do +85°C (**rysunek 25**).

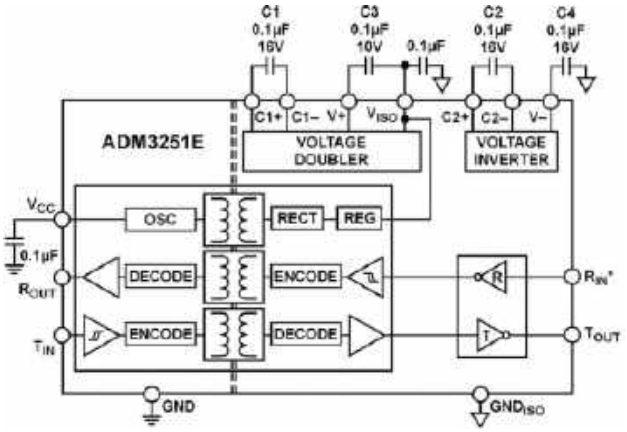
RS-485 i RS-422

Opisane wcześniej interfejsy szeregowe są przeznaczone do komunikacji w obrębie jednego modułu lub urządzenia (UART) lub pomiędzy dwoma komponentami jednego, zwartego systemu (RS232). Standardy RS-485/RS-422 zostały opracowane dla kolejnej grupy aplikacji, które wymagają przesyłania danych między wieloma urządzeniami i zwykle na duże, a nawet bardzo duże odległości. Dotyczy to zwłaszcza zastosowań z zakresu automatyki budynkowej i przemysłowej. Kluczowe cechy magistrali RS-485, które czynią ją idealną do zastosowań w takich aplikacjach, to:

- transmisja różnicowa odporna na zakłócenia,
- dwukierunkowa komunikacja przy użyciu jednej pary skręconych przewodów,
- zasięg nawet do 1200 m,
- możliwość podłączenia wielu nadajników i odbiorników,
- prędkości transmisji danych nawet do 10 Mb/s (parametr ten jednak silnie zależy od wielu czynników).

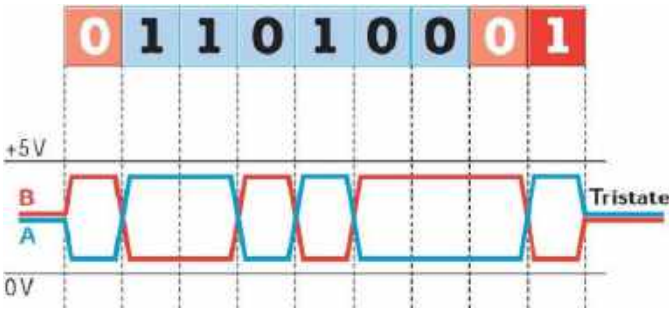
Transmisja danych z użyciem sygnałów różnicowych

Głównym powodem, dla którego RS-485 może przesyłać dane na duże odległości, jest zastosowanie sygnału różnicowego, transmitowanego dwoma liniami sygnałowymi – parą skręconych



Rysunek 25. Schemat budowy izolowanego transceivera RS-232 typu ADM3251E (https://t.ly/rJ3gC)

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 26. Przebiegi napięć na liniach interfejsu RS-485 (https://t.ly/6vEU0)

przewodów. Standard EIA-485-A oznacza dwie linie w tej parze różnicowej jako A i B. Linia A jest na wyższym potencjale względem linii B na wyjściu transceivera, jeśli na wejściu nadajnika zostanie odebrany stan logiczny wysoki „1". Jeśli na wejściu nadajnika zostanie odebrany stan logiczny niski „0", układ wymusza na linii A potencjał ujemny względem linii B (**rysunek 26**). Typowe napięcia różnicowe w czasie pracy wynoszą od ±1,5 V do ±5 V, maksymalne dopuszczalne napięcie różnicowe (niepowodujące uszkodzeń) to zwykle ±12 V.

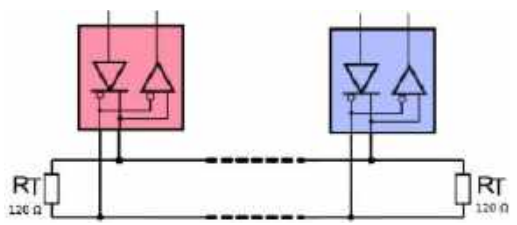
Napięcia na liniach A i B względem masy mogą się mieścić w zakresie od –7 V do +12 V.

Sterowniki zgodne ze standardem RS-485 generują wyjściowy sygnał różnicowy o napięciu min. 1,5 V przy obciążeniu 54 Ω, natomiast odbiorniki zgodne ze standardem wykrywają wejściowy sygnał różnicowy o amplitudzie nawet 200 mV. Ponadto wszelkie zakłócenia zewnętrzne oddziałują jednakowo na obie linie magistrali (jeśli zastosowano skrętkę), co w przypadku sygnału różnicowego nie wpływa na przesyłane informacje. Te cechy powodują, że nawet przy dużym pogorszeniu jakości sygnału i znacznych długościach kabli przesyłanie danych pozostaje niezawodne. Ponadto magistrala RS-485 nie generuje wyraźnych zakłóceń elektromagnetycznych, ponieważ pola obu linii znoszą się wzajemnie.

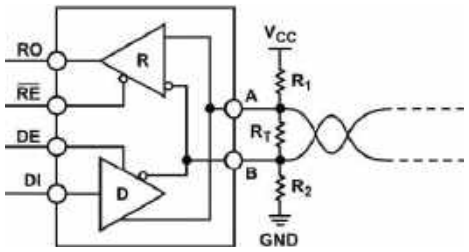
Urządzenia dołączone do magistrali

Impedancja wejściowa odbiornika RS-485 powinna być większa lub równa 12 kΩ. Wartość ta jest zdefiniowana jako obciążenie jednego urządzenia – UL (*Unit Load*). Specyfikacja RS-485 określa zdolność do sterowania nawet 32 takimi urządzeniami. Niektóre odbiorniki RS-485 są określane jako 1/4 UL lub 1/8 UL, co pozwala na podłączenie do magistrali większej liczby odbiorników, np. 4×32=128 węzłów lub 8×32=256 węzłów.

Z uwagi na efekty falowe zachodzące w magistralach takich, jak RS-485, każdy koniec linii danych powinien być zakończony rezystorami dopasowującymi, tzw. terminatorami (**rysunek 27**). Rezystor terminujący powinien być tak dobrany, aby dopasować się do impedancji charakterystycznej przewodu. Standard RS-485 zaleca korzystanie z przewodów o impedancji charakterystycznej równej 120 Ω. Z tego powodu często stosuje się rezystory dopasowujące takiej właśnie wartości. Ponadto doprowadzenia sygnałów od magistrali do urządzeń powinny być możliwie krótkie. Wymagane jest również połączenie masy zasilania wszystkich urządzeń.



Rysunek 27. W magistrali RS-485 każdy koniec linii transmisyjnej powinien być zakończony rezystorami dopasowującymi, tzw. terminatorami (https://t.ly/RyAnq)



Rysunek 28. Obwód Fail-Safe na liniach magistrali RS-485 (https://t.ly/nQKnw)

Typowe transceivery RS-485 w stanie bezczynności są niewielkim obciążeniem na magistrali, co może powodować generowanie fałszywych bitów startowych itp. Dlatego często umieszcza się kombinację rezystorów *pull-up* i *pull-down* na magistrali. Ich wartości powinny mieścić się w przedziale od 500 Ω do kilku kΩ. Taki obwód jest nazywany *Fail-Safe* (**rysunek 28**).

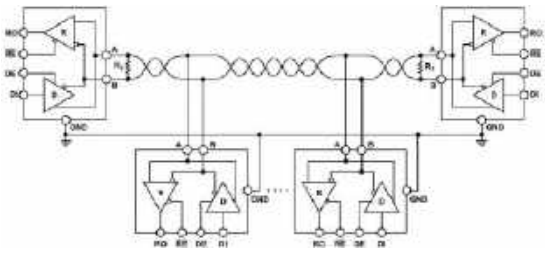
Half-duplex oraz *full-duplex*

Sieci RS-485 typu *half-duplex* mają wiele urządzeń dołączonych do tej samej, 2-przewodowej magistrali sygnałowej (**rysunek 29**). Każde urządzenie zawiera transceiver z odbiornikiem i nadajnikiem sygnału, ale w danej chwili tylko jeden nadajnik może wysyłać dane. Dlatego transceivery RS-485 muszą mieć piny włączające nadajnik, a zwykle mają także niezależne wejście wyłączające odbiornik, co widać na rysunku 29. Transmisja między urządzeniami musi być kontrolowana przez określony protokół i może realizować schemat *master-slave* lub *multi-master*. W zastosowaniach przemysłowych najpopularniejszymi protokołami są m.in. Modbus czy Profinet.

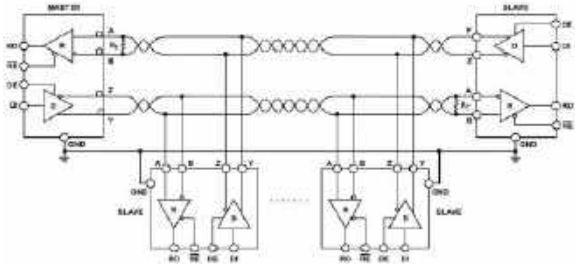
Magistrala RS-485 połączona w konfiguracji *full-duplex* wymaga instalacji 5-przewodowej (4 sygnały i połączenie masy). W takiej sieci tylko jedno z urządzeń jest *masterem*, a transceivery mają oddzielne bloki nadajnika i odbiornika (**rysunek 30**). Nadajnik urządzenia *master* jest połączony z odbiornikami wszystkich urządzeń *slave* i analogicznie, odbiornik jest połączony z nadajnikami wszystkich urządzeń *slave*. Magistrala *full-duplex* RS-485 umożliwia jednoczesną komunikację w obu kierunkach między węzłami *master* i *slave*.

RS-422

Interfejs RS-422 jest podobny do RS-232, ponieważ umożliwia jednoczesne wysyłanie i odbieranie wiadomości na osobnych liniach (*full-duplex*) i używa do tego sygnału różnicowego, podobnie



Rysunek 29. Przykład sieci RS-485 typu *half-duplex* (https://t.ly/nEDap)

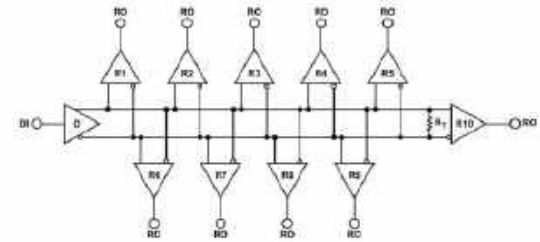


Rysunek 30. Przykład sieci RS-485 typu *full-duplex* (https://t.ly/mZ4PC)

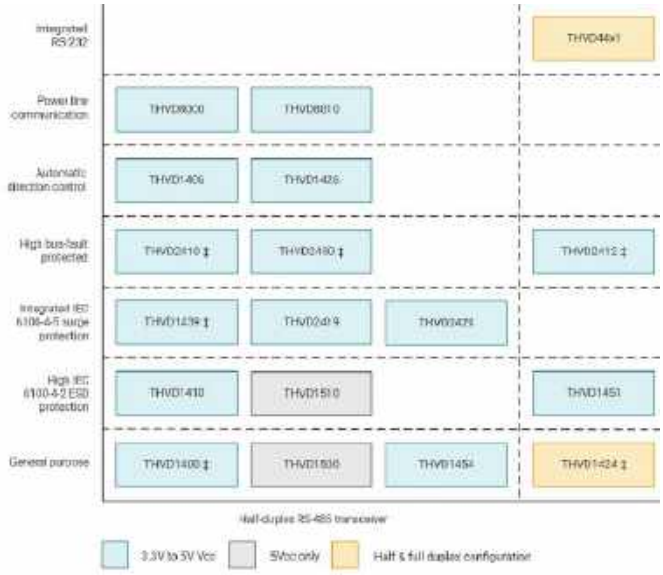
eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 31. Połączenia magistrali RS-422 (https://t.ly/9JXRs)



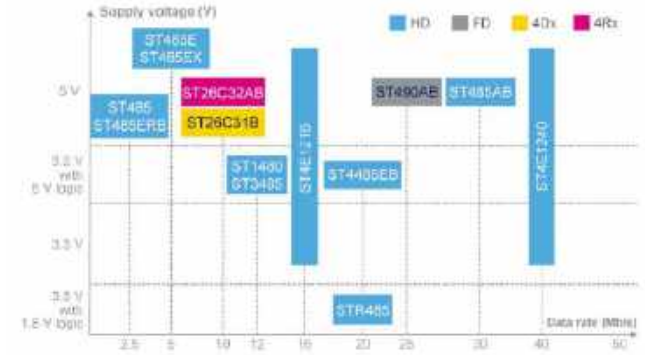
Rysunek 32. Przykładowa topologia magistrali RS-422 (https://t.ly/nEhut)



Rysunek 34. Portfolio układów transceiverów RS-485 firmy TI (https://t.ly/_9a9y)

jak w RS-485. Całość jest zatem podobna do RS-485 typu *full-duplex* i składa się z 4 przewodów: 2 skręcone przewody do transmisji i 2 skręcone przewody do odbioru, wymagany jest ponadto dodatkowy przewód wspólnej masy (**rysunek 31**).

Sieć RS-422 może składać się tylko z jednego urządzenia nadawczego i maksymalnie 10 urządzeń odbiorczych. Maksymalna długość magistrali to 1200 m, a prędkość transferu danych może wynosić do 10 Mbit/s (w przypadku magistrali o długości do 10 metrów). Parametry napięciowe są podobne do RS-485, a końce każdej skrętki (przy ostatnim urządzeniu odbiorczym) powinny mieć podłączone rezystory terminujące 120 Ω (**rysunek 32**).



Rysunek 33. Portfolio układów transceiverów RS-485 firmy ST (https://t.ly/MO06A)

RS-485

Zalety

- Wysoka odporność na zakłócenia elektromagnetyczne dzięki transmisji różnicowej.
- Do transmisji wystarczą dwie linie sygnałowe A i B oraz masa GND.
- Idealny do pracy w trudnych warunkach (np. hale produkcyjne).
- Duży zasięg – maksymalna długość linii to 1200 metrów (przy małych prędkościach transmisji, np. 100 kbps).
- Wysokie prędkości, nawet do 10 Mbps (przy krótkich magistralach, do ok. 10 m).
- Możliwość budowy sieci typu *multi-master*.

Wady

- Brak standardowego protokołu komunikacji.
- Wymóg kontroli kierunku transmisji.
- Konieczność dobrego zaplanowania transmisji lub stosowania mechanizmów antykolizyjnych (np. struktura *master-slave*).
- Ograniczona liczba urządzeń – standardowo można podłączyć do 32 urządzeń na jednej magistrali, tylko niektóre transceivery są przystosowane do pracy z 128 czy 256 urządzeniami.
- Rozległe sieci RS-485 są podatne na zakłócenia i błędy wynikające z parametrów okablowania czy niewłaściwego połączenia masy.

Transceivery RS-485

Popularne transceivery RS-485 produkcji ST charakteryzują się małym poborem mocy i dużymi prędkościami transmisji. Zapewniają również wysoką wytrzymałość i ulepszone parametry ESD. Dostępne są wersje na różne zakresy napięcia zasilania i różne napięcia linii I/O w celu optymalnego dopasowania do konkretnych zastosowań. Na **rysunku 33** zestawiono wybrane układy.

Jeszcze większa jest w tym segmencie rynku oferta TI, w której można znaleźć układy o dodatkowych właściwościach, takich jak: automatyczna kontrola kierunku transmisji, odporność na uszkodzenia magistrali czy przystosowanie do magistrali typu *Power Line Communication*. Portfolio układów zostało pokazane na **rysunku 34**.

Podsumowanie

W pierwszej części artykułu zostały opisane interfejsy szeregowe, które zaliczamy do grupy asynchronicznych. Oczywiście wyjątkiem jest synchroniczny interfejs USART, ale jego implementacje są dziś rzadko stosowane w praktyce. Natomiast interfejs UART można znaleźć w niemal każdym urządzeniu z mikrokontrolerem. Ponadto stanowi on bazę do realizacji interfejsów RS-232, RS-422, RS485 oraz wielu niestandardowych rozwiązań. Należy jednak pamiętać, że interfejsy typu UART czy RS-485 realizują tylko warstwę fizyczną łącza, a jego właściwa funkcjonalność zależy przede wszystkim od zaimplementowanego protokołu transmisji.

Damian Sosnowski, EP

Odnośniki

[1] https://t.ly/eCqDR

Bibliografia:

- 1-Wire
  - https://t.ly/I2XLC
  - https://t.ly/qGvh_
  - https://t.ly/e835b
  - https://t.ly/w5lAm
- UART
  - https://t.ly/Dw6Hc
  - https://t.ly/TuwT4
  - https://t.ly/h7T38
  - https://t.ly/erg8C
  - https://t.ly/dKxwd
  - https://t.ly/wMooH
- RS-232
  - https://t.ly/8pT89
  - https://t.ly/BDFbX
  - https://t.ly/jirF3
  - https://t.ly/kOSrC
  - https://t.ly/ZvA1l
  - https://t.ly/nkawB
- RS-485, RS-422
  - https://t.ly/RQfMO
  - https://t.ly/fk4gj
  - https://t.ly/ERoxH
  - https://t.ly/7NKCU
  - https://t.ly/4Yu3O
  - https://t.ly/8G5SK

eprasa.pl dfb64580ab

Programowalne przekaźniki logiczne z serii OPTA z obsługą interfejsu RS485

W świecie automatyki przemysłowej trudno przecenić znaczenie sprawnej oraz niezawodnej komunikacji. Jednym z najczęściej stosowanych standardów transmisji danych w instalacjach przemysłowych pozostaje RS-485 – interfejs, który mimo upływu lat wciąż stanowi fundament wielu systemów sterowania. W połączeniu z protokołem Modbus RTU umożliwia on komunikację z szeroką gamą urządzeń peryferyjnych – takich jak czujniki temperatury, liczniki energii, falowniki czy moduły wejść/wyjść. Jednym z nowoczesnych urządzeń przystosowanych do tego typu komunikacji jest programowalny przekaźnik logiczny Finder OPTA. To kompaktowe, a jednocześnie niezwykle funkcjonalne rozwiązanie może odgrywać rolę zarówno sterownika, jak i inteligentnego węzła komunikacyjnego w bardziej zaawansowanych systemach automatyki.

Więcej informacji:
FINDER Polska Sp. z o.o.
62-080 Sady, ul. Logistyczna 27
tel. +48 61 865 94 07
https://www.findernet.com/pl/polska/

Dwie wersje – dwa światy: Arduino i Codesys

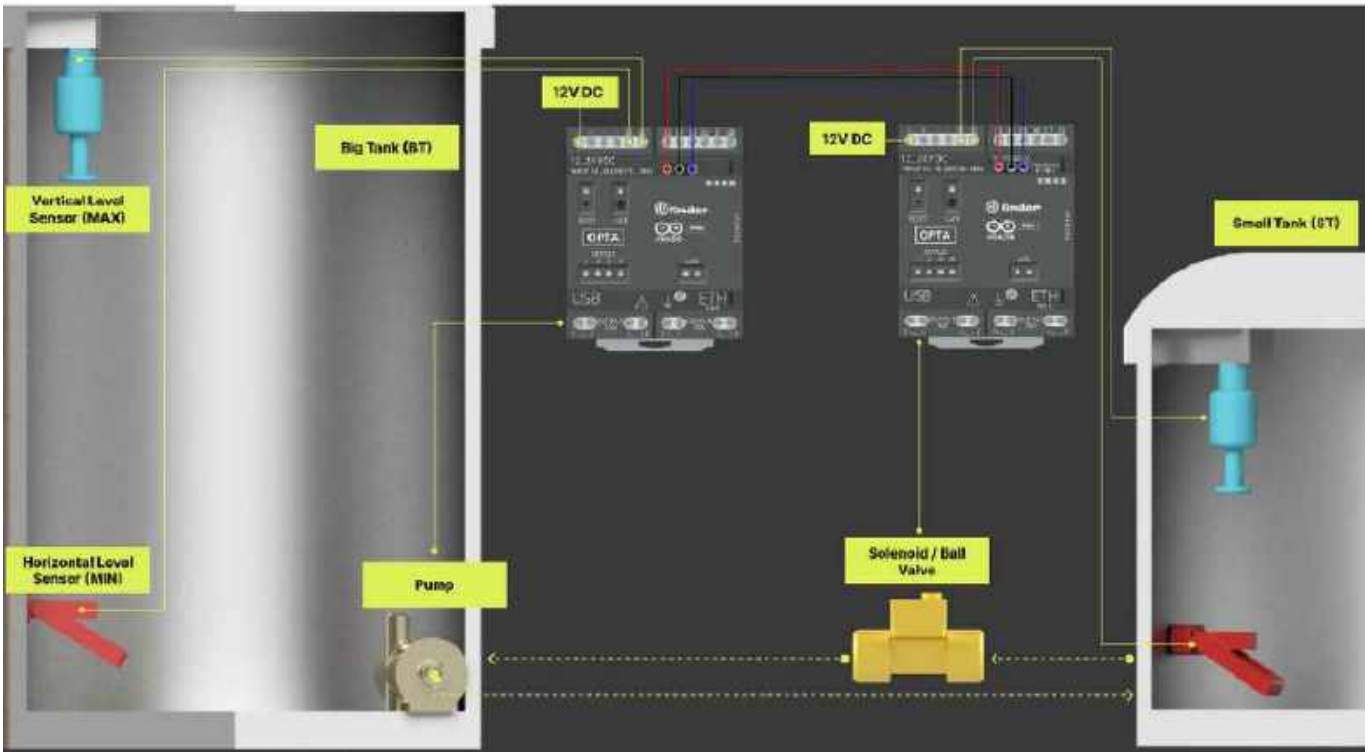
Finder OPTA występuje w dwóch wersjach: jedna z nich przeznaczona jest do programowania w środowisku Arduino IDE lub Arduino PLC IDE, natomiast druga opiera się na popularnym oprogramowaniu Codesys, szeroko stosowanym w aplikacjach przemysłowych. Dzięki tej elastyczności z obsługą urządzenia poradzi sobie zarówno programista znający języki wysokiego poziomu, takie jak C czy C++, jak też automatyk korzystający z języków typowych dla sterowników PLC, takich jak LAD, FBD czy ST. Dodatkowo w przypadku osób zaznajomionych już z Codesys programowanie OPTA staje się intuicyjne i niezwykle szybkie.

Bogate możliwości komunikacyjne i prostota programowania

Obie wersje Finder OPTA wyposażone są w port komunikacyjny RS-485 obsługujący Modbus RTU, a ponadto oferują również możliwość komunikacji poprzez Modbus TCP/IP, a nawet Wi-Fi i Bluetooth dzięki wbudowanemu modułowi bezprzewodowemu. Wgrywanie programu na sterownik OPTA jest wyjątkowo proste – wystarczy podłączyć wbudowany w jego obudowę port USB do komputera za pomocą przewodu USB typu C.

Elastyczność wejść i wyjść oraz opcje rozbudowy

OPTA wyróżnia się dużą funkcjonalnością i nadaje się do wielu zastosowań, zarówno w automatyce budynkowej, jak i przemysłowej. Wyposażona jest w 8 wejść cyfrowo-analogowych obsługujących standardowe sygnały napięciowe 0...10 V oraz 4 wyjścia przekaźnikowe o obciążalności do 10 A. Warto zauważyć, że elastyczność OPTY pozwala na zadecydowanie przez użytkownika, jaki charakter będą miały porty wejściowe. Dodatkowo istnieje możliwość rozbudowy systemu o dedykowane moduły rozszerzeń, dostępne zarówno dla wersji Arduino Pro, jak i Codesys. Dzięki temu



Rysunek 1. Połączenie dwóch sterowników OPTA pozwala na decentralizację logiki sterowania oraz łatwe rozbudowanie istniejącego systemu, bez konieczności ingerencji w całą instalację

eprasa.pl dfb64580ab

użytkownik może elastycznie dostosować konfigurację do swoich potrzeb.

Moduły rozszerzeń EMR, SSR i ANALOG – więcej możliwości sterowania

W przypadku gdy zabraknie dostępnych wejść lub wyjść – na przykład w wyniku podłączenia wielu czujników lub konieczności sterowania większą liczbą elementów wykonawczych – z pomocą przychodzą moduły rozszerzeń EMR i SSR. Każdy z nich oferuje 16 dodatkowych wejść cyfrowo-analogowych, natomiast EMR wyposażony jest ponadto w 8 wyjść przekaźnikowych o obciążalności 6 A, a SSR – w 8 wyjść półprzewodnikowych 3 A. Wyjścia typu SSR są szczególnie przydatne w aplikacjach, w których konieczne jest szybkie i częste przełączanie, ponieważ nie mają mechanicznych styków – a to znacznie wydłuża żywotność w warunkach intensywnej eksploatacji, w porównaniu do klasycznych przekaźników elektromechanicznych. Do aplikacji, w których kluczowe są precyzyjne pomiary temperatury, dostępny jest moduł rozszerzający ANALOG, umożliwiający podłączenie czujników PT100, zarówno w wersji dwuprzewodowej, jak i trójprzewodowej. Ta druga opcja pozwala na kompensację wpływu rezystancji przewodów pomiarowych, co przekłada się na większą dokładność odczytów. Moduł ten udostępnia również wejścia analogowe 0...10 V oraz 4...20 mA, a także 4 wyjścia PWM, które można zastosować na przykład do ściemniania oświetlenia lub sterowania prędkością obrotową silników.

Komunikacja przez RS-485 – zasady działania i zalety

OPTA oferuje łatwy w obsłudze interfejs RS-485, który zapewnia niezawodną transmisję danych na duże odległości i jest odporny na zakłócenia dzięki zastosowaniu magistrali różnicowej. Standard ten nie definiuje jednak samego protokołu komunikacji, dlatego do właściwej interpretacji i obsługi danych potrzebny jest protokół wyższego poziomu, taki jak Modbus RTU. Jest to sprawdzony protokół komunikacji szeregowej oparty na architekturze *master-slave* i szeroko stosowany zarówno w automatyce budynkowej, jak i przemysłowej. W ramach tego protokołu każde urządzenie w magistrali ma swój indywidualny adres, na który reaguje w momencie, gdy zostanie wywołane przez jednostkę nadrzędną. Pozostałe urządzenia ignorują komunikat, jeżeli adres nie odpowiada ich przypisanemu identyfikatorowi. Warto pamiętać, że z uwagi na ograniczenia fizyczne RS-485 liczba urządzeń typu *slave* powinna być ograniczona do 32, aby zapewnić stabilność komunikacji.

Łączenie wielu sterowników OPTA w jednym systemie

Przykładowym zastosowaniem omawianych urządzeń może być połączenie dwóch sterowników Finder OPTA w celu wymiany danych – jeden pełni wówczas funkcję *mastera*, a drugi działa jako *slave*. Do obu urządzeń należy doprowadzić napięcie z zakresu 12...24 V DC oraz połączyć je interfejsem RS-485. Tego typu konfiguracja pozwala na decentralizację logiki sterowania oraz łatwe rozbudowanie istniejącego systemu bez konieczności ingerencji w całą instalację. Na przykład jedna OPTA może sterować linią produkcyjną, druga odpowiada za proces paletyzacji, ale obie muszą się ze sobą komunikować w czasie rzeczywistym. Można również rozszerzyć system o kolejne jednostki *slave*, gdzie każda OPTA zbiera dane, realizuje logikę sterowania i przekazuje informacje do głównego sterownika (urządzenia nadrzędnego). Taka architektura zmniejsza ilość okablowania, upraszcza diagnostykę oraz ułatwia rozdzielenie zadań pomiędzy różne urządzenia.

REKLAMA

OPTA PROGRAMOWALNY PRZEKAŹNIK LOGICZNY - Seria 8A



CODESYS ARDUINO PRO

OPTA MODUŁY ROZSZERZEŃ

Zwiększ liczbę i typ wejść i wyjść z modułami rozszerzeń EMR, SSR i analogowym

Kompaktowy zasilacz impulsowy

Twórz aplikacje do automatyki przemysłowej i budynkowej oraz OEM - łatwo i szybko

FINDER Polska Sp. z o.o.
ul. Logistyczna 27, 62-080 Sady
finder.pl@findernet.com

finder RELAYING INNOVATION

opta.indernet.com

eprasa.pl dfb64580ab



Fotografia 1. Połączenie sterownika OPTA z licznikiem serii 7M pozwala na zaawansowaną analizę zużycia energii, a także gromadzenie potrzebnych danych w chmurze

Biblioteki programistyczne i kod komunikacji w Arduino

Dla sterowników OPTA w wersji z Arduino Pro dostępne są biblioteki ArduinoModbus.h oraz ArduinoRS485.h, które oferują funkcje służące m.in. do inicjalizacji serwera RTU, odpowiadania na zapytania, ustawiania parametrów połączenia, odczytywania bitów czy udostępniania rejestrów do odczytu i zapisu. Użytkownik może w prosty sposób zaimplementować zarówno kod dla *mastera*, jak i dla *slave'a*, uwzględniając identyczne parametry transmisji po obu stronach.

Integracja z licznikami energii Finder 7M

Oprócz łączenia sterowników, port RS-485 pozwala także na podłączenie zewnętrznych urządzeń, takich jak liczniki energii elektrycznej z serii 7M firmy Finder. Są to liczniki z certyfikatem MID, wyposażone w wyświetlacze LCD, które poza pomiarem zużycia energii w kWh oferują również odczyt wielu parametrów chwilowych, takich jak napięcie, natężenie prądu, moc czynna i bierna, częstotliwość oraz kierunek przepływu energii. Liczniki te znajdują zastosowanie m.in. w stacjach ładowania pojazdów elektrycznych czy instalacjach mieszkaniowych i komercyjnych, gdzie analiza zużycia prądu staje się coraz ważniejszym elementem efektywnego zarządzania energią.

Zbieranie i wizualizacja danych energetycznych

Urządzenia z serii 7M dostępne są w wersjach jedno- i trójfazowych, obsługują komunikację Modbus RTU, a dzięki wbudowanemu modułowi NFC można je konfigurować i odczytywać z poziomu aplikacji mobilnej Finder Toolbox. Jeśli jednak zależy nam na bardziej zaawansowanej analizie zużycia energii, interfejs RS-485 umożliwia pobieranie danych z liczników bezpośrednio do urządzeń z serii OPTA. W wersji z Arduino dostępna jest dedykowana biblioteka Finder7M.h, która upraszcza proces konfiguracji i odczytu parametrów z liczników. Zgromadzone przez sterownik dane można następnie przesłać do chmury Arduino, gdzie możliwa jest ich wizualizacja w postaci dashboardów i wykresów, prezentujących aktualne i sumaryczne zużycie energii.



Fotografia 2. Dzięki dostępnym modułom rozszerzeń możliwości sterownika OPTA są w zasadzie nieograniczone

Obsługa liczników w Codesys – prosta konfiguracja, czytelne wyniki

W przypadku OPTA z oprogramowaniem Codesys proces konfiguracji komunikacji z licznikami energii serii 7M przebiega również w sposób logiczny i przejrzysty. Całość sprowadza się do kilku podstawowych kroków, które można zrealizować bez konieczności pisania skomplikowanego kodu. Na początku należy skonfigurować port szeregowy COM jako *master* Modbus RTU i określić podstawowe parametry komunikacji, takie jak prędkość transmisji, liczba bitów danych, parzystość oraz liczba bitów stopu – zgodnie z ustawieniami licznika. Kolejnym krokiem jest dodanie urządzenia *slave* w Codesys i nadanie mu adresu zgodnego z tym ustawionym w liczniku. Następnie wskazujemy odpowiednie adresy rejestrów, z których chcemy odczytywać dane. W Codesys, w przypadku rejestrów przechowujących wartości zmiennoprzecinkowe (typu REAL), istotne jest właściwe ustawienie kolejności bajtów – tak aby odczytane dane były poprawnie interpretowane przez Codesys. Po zakończeniu konfiguracji można przejść do testów komunikacji, uruchamiając program i obserwując w czasie rzeczywistym wartości odczytywane z licznika. Dzięki temu Finder OPTA z Codesys staje się nie tylko sterownikiem, ale również inteligentnym węzłem pomiarowym, umożliwiającym dokładną analizę zużycia energii w instalacjach jedno- i trójfazowych.

OPTA w praktyce – wydajna, skalowalna, przyszłościowa

Interfejs RS-485, w połączeniu z protokołem Modbus RTU, czyni Finder OPTA niezwykle wszechstronnym narzędziem w nowoczesnych instalacjach automatyki. Możliwość integracji z różnorodnymi urządzeniami, elastyczność programowania oraz opcje rozbudowy czynią z niej kompaktowe, ale bardzo funkcjonalne rozwiązanie do zastosowań zarówno w przemyśle, jak i w automatyce budynkowej. W dobie rosnących wymagań względem energooszczędności, elastyczności systemów i ich skalowalności, mini PLC Finder OPTA wnoszą znaczną wartość dodaną, a ich wdrożenie przynosi realne korzyści techniczne i ekonomiczne.

Lucyna Radziun

eprasa.pl dfb64580ab



FN-SWM10
Zgrzewarka do ogniw – spawarka punktowa z kolorowym wyświetlaczem i funkcją powerbank FNIRSI SWM10



FN-DPOS-350P
Dwukanałowy oscyloskop 350 MHz, FNIRSI DPOS350P



FN-2C53T
Dwukanałowy oscyloskop z multimetrem i generatorem 50 MHz FNIRSI 2C53T

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mierniki Testery FNIRSI

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505FN**

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



FN-LCR-ST1
Miernik pęsetowy, tester elementów FNIRSI LCR-ST1



FN-LCR-P1
Tester elementów FNIRSI LCR-P1



FN-HRM10
Tester rezystancji wewnętrznej akumulatorów FNIRSI HRM-10



FN-G1200
Mikroskop cyfrowy G1200 z wyświetlaczem 7 cali, powiększenie ×1200, tryb foto/video



FN-DWS200-F245
Stacja lutownica 200 W z kolbą F245, FNIRSI DWS200



FN-1014D
Oscyloskop dwukanałowy 100 MHz; Generator sygnału DDS, FNIRSI 1014D

(Nie)standardowe interfejsy szeregowe (2)

SPI, MicroWire, QSPI, I²C, SMBus, I³C

Synchroniczne interfejsy szeregowe pozwalają na niezawodną i szybką transmisję danych. Jest to możliwe dzięki dodatkowej linii sygnałowej, która niesie sygnał zegarowy taktujący transmisję. Najczęściej stosowane implementacje takich interfejsów to SPI oraz I²C – obydwa standardy przeszły też wiele ulepszeń oraz modyfikacji i obecnie są dostępne w co najmniej kilku wersjach. W artykule opisaliśmy podstawy ich funkcjonowania, najważniejsze zalety, wady i ograniczenia, ich praktyczne implementacje oraz niektóre niestandardowe zastosowania.

SPI

Nieskomplikowanym, a jednocześnie bardzo szybkim interfejsem szeregowym, działającym w sposób synchroniczny, jest SPI (ang. *Serial Peripheral Interface*). Interfejs ten jest przeznaczony do przesyłania danych na krótkie odległości, zwykle pomiędzy mikrokontrolerami a układami peryferyjnymi, w obrębie jednego systemu wbudowanego. SPI korzysta z architektury *master-slave*, w której urządzenie nadrzędne (*master*) koordynuje komunikację z jednym lub większą liczbą urządzeń podrzędnych (*slave*), sterując sygnałami zegara i wyboru układu. W zależności od konfiguracji SPI może działać w trybie *full-duplex* lub *half-duplex*.

Interfejs SPI zawiera cztery charakterystyczne linie sygnałowe:

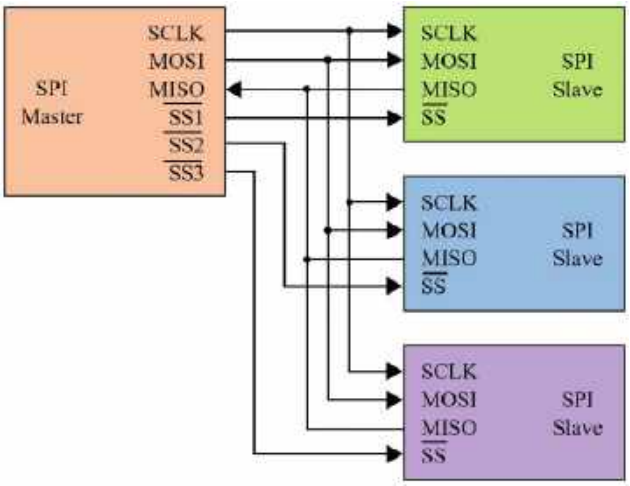
- **MOSI** (*Master Out Slave In*) – linia umożliwiająca urządzeniu *master* wysyłanie danych do *slave'a*, czasami oznaczana jako SDI w urządzeniu *slave*,
- **MISO** (*Master In Slave Out*) – linia umożliwiająca urządzeniom podrzędnym wysyłanie danych do urządzenia nadrzędnego, czasami oznaczana jako SDO w urządzeniu *slave*,
- **SCLK** (*Serial Clock*) – sygnał zegara taktującego transmisję, czasami oznaczany jako SCK,
- **SS** (*Slave Select*) – linia umożliwiająca urządzeniu nadrzędnemu wybranie urządzenia podrzędnego, do którego mają zostać wysłane dane. Czasami oznaczana jako CS w urządzeniu *slave*.

Podstawowa implementacja interfejsu SPI została pokazana na **rysunku 1**.

Wiele urządzeń z interfejsem SPI

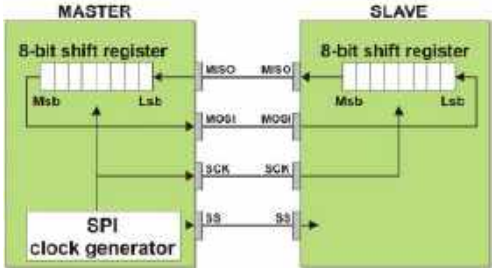
Interfejs SPI może komunikować się z wieloma urządzeniami podrzędnymi w konfiguracji standardowej (*multidrop*) lub szeregowej/łańcuchowej (*daisy chain*).

W konfiguracji multidrop do każdego układu *slave* doprowadzony jest niezależny sygnał aktywujący SS, a układ *master* wybiera tylko jeden z układów podrzędnych w danej chwili. Pozostałe linie – MOSI, MISO i SCLK – są współdzielone przez wszystkie dołączone układy. Ponieważ wyprowadzenia MISO urządzeń podrzędnych są ze sobą połączone, muszą być wyjściami trójstanowymi, czyli normalnie działają w trybie wysokiej impedancji i nie oddziałują na magistralę, a gdy urządzenie zostanie wybrane, przełączają się w tryb wyjścia cyfrowego (*push-pull*). Schemat połączenia w konfiguracji multidrop został pokazany na **rysunku 2**.

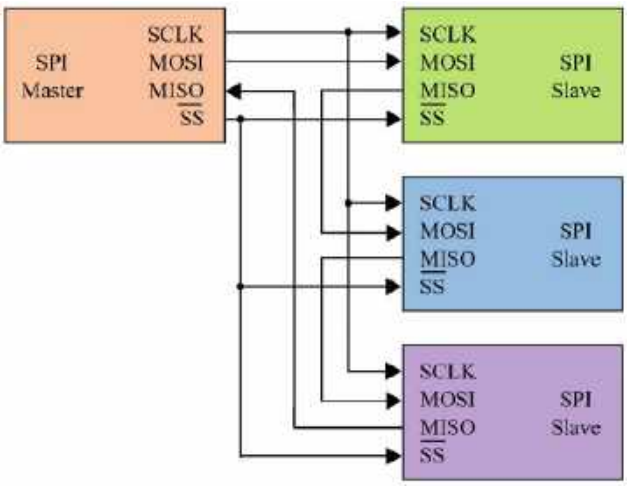


Rysunek 2. Schemat podłączenia interfejsu SPI w konfiguracji standardowej multidrop (https://t.ly/pW9tS)

Niektóre układy *slave* wyposażone w interfejs SPI mogą być połączone w konfiguracji szeregowej, w której wyjście pierwszego układu *slave* (MISO) jest połączone z wejściem kolejnego układu *slave* (MOSI) i analogicznie wygląda połączenie kolejnych układów podrzędnych. Wyjście danych (MISO) ostatniego układu *slave* trafia do wejścia urządzenia *master*. Taki układ pracy można porównać do połączenia rejestrów szeregowych w jeden dłuższy łańcuch. Dane z wejścia łańcucha przemierzają cyklicznie każde jego ogniwo, zatem odbiorca danych musi być zdefiniowany w treści ramki. W konfiguracji szeregowej wymagana jest tylko jedna linia SS, która aktywuje cały łańcuch urządzeń – **rysunek 3**.

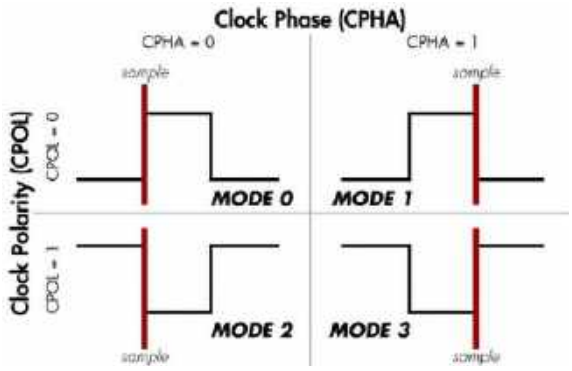


Rysunek 1. Podstawowa implementacja Interfejsu SPI (https://t.ly/IabUj)

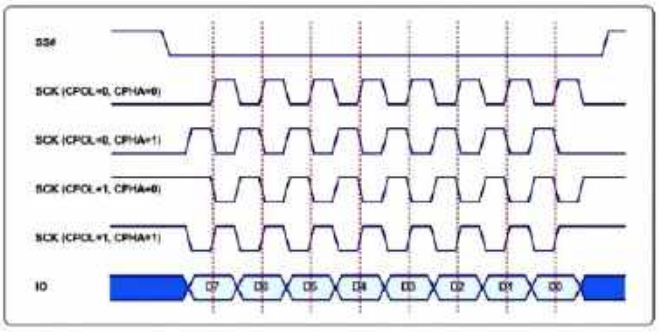


Rysunek 3. Schemat podłączenia interfejsu SPI w konfiguracji szeregowej/łańcuchowej (daisy chain) (https://t.ly/wBUPf)

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 4. Kombinacje polaryzacji i fazy zegara i odpowiadające im tryby SPI (SPI Mode) (https://t.ly/jpuJ4)



Rysunek 5. Przebiegi sygnału zegarowego dla różnych trybów pracy SPI (https://t.ly/xJ5Zc)

Transmisja danych

Komunikacja poprzez SPI rozpoczyna się, gdy urządzenie master ustawi stan aktywny na wybranym wyjściu SS – zwykle jest to logiczne 0. Następnie w kolejnych okresach sygnału zegarowego wystawiane są kolejne bity danych na wyjście MOSI. Interfejs SPI może działać w trybie *full-duplex*, zatem zarówno urządzenie *master*, jak i *slave* mogą wysyłać dane w tym samym czasie za pośrednictwem linii MOSI i MISO.

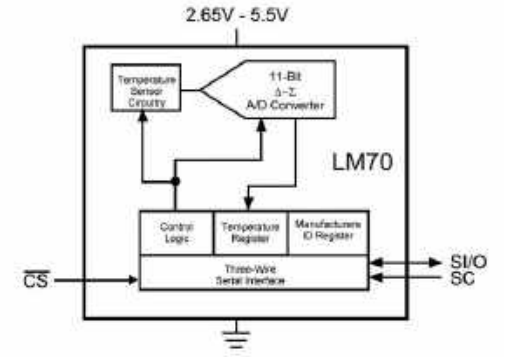
Sygnał zegarowy na linii SCLK synchronizuje przesuwanie i próbkowanie danych, więc prędkość przesyłania informacji jest określana przez częstotliwość sygnału zegarowego. Interfejs SPI pozwala na skonfigurowanie polaryzacji sygnału zegarowego (CPOL), czyli poziomu logicznego w stanie bezczynności oraz jego fazy (CPHA), czyli zbocza, na którym będzie wykonywane próbkowanie. Kombinacje polaryzacji i fazy zegara określają tzw. tryb SPI (*SPI Mode*). Możliwe kombinacje oraz ich oznaczenia pokazano na **rysunku 4**, zaś przebiegi sygnału zegarowego w różnych trybach pracy SPI widać na **rysunku 5**.

MicroWire

Interfejs MicroWire został opracowany przez firmę National Semiconductor i jest bardzo podobny do SPI – również służy do asynchronicznego, dwukierunkowego przesyłania danych między urządzeniami *master* i *slave*, z tą różnicą, że transmisja jest realizowana w trybie *half-duplex*. Linie sygnałowe MicroWire to:

- **SI/DI** (*Serial Input*) – wejście linii danych z urządzenia nadrzędnego do podrzędnego,
- **SO/DO** (*Serial Output*) wyjście linii danych z urządzenia podrzędnego do nadrzędnego, nie zawsze występuje,
- **SK/CLK** (*Serial Clock*) – sygnał zegarowy generowany przez urządzenie nadrzędne,
- **CS** (*Chip Select*) – sygnał wyboru urządzenia podrzędnego, zwykle aktywny w stanie niskim.

Interfejs MicroWire jest stosowany w szeregowych pamięciach EEPROM (np. 93C46), przetwornikach ADC (np. ADC0831), czujnikach temperatury (np. LM70 – **rysunek 6**).



Rysunek 6. Czujnik temperatury LM70 z interfejsem MicroWire (https://t.ly/CXedG)



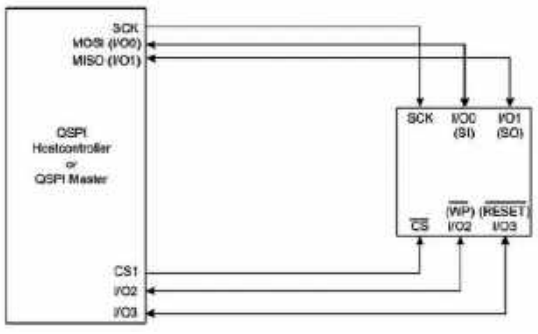
Rysunek 7. Interfejs SPI skonfigurowany do pracy w trybie 3-przewodowym (https://t.ly/020Km)

SPI 3-przewodowe

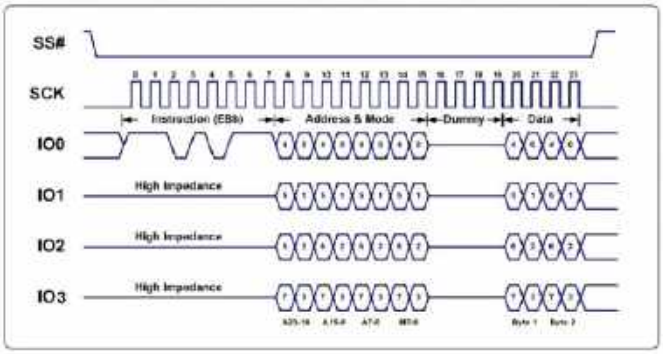
Interfejs SPI może być skonfigurowany do pracy z trzema liniami sygnałowymi. Wtedy linie MISO i MOSI są połączone w jedną, dwukierunkową linię danych (**rysunek 7**), a interfejs działa w trybie *half-duplex*. Takie połączenie wymaga możliwości uruchomienia trybu wysokiej impedancji niezależnie w każdej z linii. Zmniejszenie liczby wyprowadzeń może być korzystne w niektórych aplikacjach, ale ogranicza przepustowość połączenia.

Quad SPI

Interfejs SPI znajduje wiele zastosowań, gdy wymagana jest duża szybkość transmisji, np. w układach pamięci Flash lub PSRAM. Specjalnie do takich aplikacji opracowano nowy wariant interfejsu SPI – Quad SPI (QSPI), który zawiera dodatkowe linie danych, zwiększające efektywną przepustowość. Schemat połączenia układów z użyciem QSPI pokazano na **rysunku 8**. Całkowita liczba



Rysunek 8. Interfejs SPI w wariancie Quad SPI (https://t.ly/CT_sV)



Rysunek 9. Przykładowa sekwencja odczytu z pamięci z użyciem trybu Quad SPI (https://t.ly/XA09v)

eprasa.pl dfb64580ab

SPI

Zalety

- Duża szybkość transmisji, znacznie szybsza niż w I²C czy UART.
- Nieskomplikowana budowa i działanie.
- Jednoczesna komunikacja w obu kierunkach (*full-duplex*).
- Elastyczność konfiguracji (tryb pracy, rozmiar słowa danych, prędkość komunikacji).
- Możliwość podłączenia wielu urządzeń *slave* przez niezależne linie SS.

Wady

- Komunikacja tylko na niewielkie odległości – w obrębie jednego urządzenia.
- Układ *slave* nie może zainicjować transmisji, układ *master* zawsze decyduje o rozpoczęciu/zakończeniu komunikacji.
- Brak standaryzacji elektrycznej – napięcia, poziomy logiczne czy tryby pracy mogą się różnić pomiędzy układami różnych producentów.
- Każdy układ *slave* wymaga osobnej linii SS – przy dużej liczbie układów może to komplikować konstrukcję urządzenia.

wyprowadzeń zwiększyła się o linie I/O2 i I/O3, jednak dodatkowo linie MOSI i MISO, w określonych sytuacjach, zmieniają swoją funkcję i stają się liniami I/O0 i I/O1.

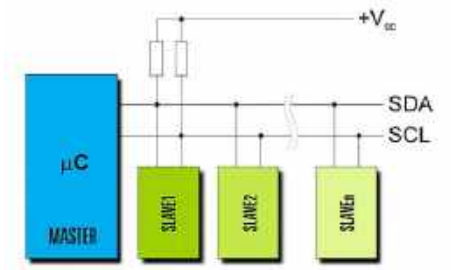
Uruchomienie i zmiana funkcji wyprowadzeń wymaga specjalnych poleceń wysyłanych w normalnym trybie. Po uruchomieniu trybu Quad przepustowość interfejsu wzrasta czterokrotnie. Na **rysunku 9** została pokazana przykładowa sekwencja odczytu pamięci z użyciem trybu QSPI. Przesyłanie 1 bajtu danych zajmuje 2 cykle zegarowe zamiast 8 cykli – w pierwszym cyklu linie I/O0…3 przekazują starsze bity (4…7), w drugim cyklu zegara przesyłane są bity młodsze (0…3).

Interfejs I²C

Nazwa I²C (I²C, IIC) oznacza *Inter-Integrated Circuit* i odnosi się do synchronicznej, szeregowej magistrali komunikacyjnej, opracowanej w 1982 r. przez Philips Semiconductor. Jest szeroko stosowana w dołączaniu peryferyjnych układów scalonych do mikrokontrolerów w aplikacjach, które nie wymagają dużej prędkości komunikacji i akceptują niewielkie długości połączeń.

Interfejs I²C zawiera dwie dwukierunkowe linie:

- SDA – linia danych (*Serial Data Line*),
- SCL – linia zegara (*Serial Clock Line*).



Rysunek 10. Schemat typowej magistrali I²C (https://t.ly/6KuzT)

Obydwie linie są podciągnięte do źródła zasilania poprzez rezystory podciągające (pull-up), natomiast wszystkie dołączone do magistrali mają linie SDA/SCL typu otwarty kolektor (otwarty dren). Na liniach I²C logiczna „1" jest zatem stanem recesywnym, a logiczne „0" – dominującym. Taki sposób sterowania magistralą pozwala na wykrywanie kolizji. Standard zakłada połączenie urządzeń w topologii magistrali, a jej długość jest ograniczona maksymalną pojemnością, która nie może przekraczać 400 pF, co w praktyce ogranicza długość do kilku metrów. Na **rysunku 10** pokazano schemat typowej magistrali I²C.

Transmisje są zawsze inicjowane przez układ *master*, który generuje specjalną sekwencję startu (S), w której sygnał SDA zmienia stan z wysokiego na niski, podczas gdy linia SCL jest utrzymywana w stanie wysokim. Urządzenia *slave* są adresowane na podstawie pierwszego bajtu wysyłanego po sekwencji startowej – każde urządzenie ma swój unikatowy w danym systemie, 7- lub 10-bitowy adres. Bezpośrednio za adresem przesyłany jest bit R/W (*Read/Write*) decydujący o kierunku transmitowanych danych. Dane są zawsze 8-bitowe, ale ramka jest jednak rozszerzona o dziewiąty impuls zegarowy, który służy do przesyłania bitu potwierdzającego odebranie informacji – ACK. Przykładowa ramka transmisji I²C została pokazana na **rysunku 11**. Ze względu na rozwiązania sprzętowe przyjęte w interfejsie I²C zastosowany w nim protokół jest dużo bardziej złożony, niż w SPI. Dokładny opis można znaleźć w: [1], [2].

Podstawowa wersja I²C zakłada istnienie tylko jednego urządzenia, które może inicjować transmisję (*master*), ale dzięki istnieniu

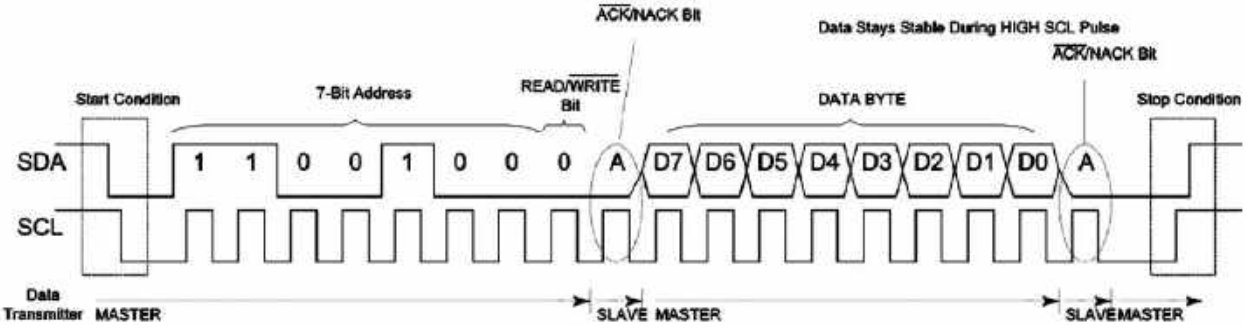
I²C

Zalety

- Tylko dwie linie sygnałowe SDA (dane) i SCL (zegar), nawet przy wielu urządzeniach.
- Adresowanie układów – każdy układ ma unikalny adres 7- lub 10-bitowy, co pozwala podłączyć wiele układów do jednej magistrali.
- Możliwe wsparcie dla konfiguracji z kilkoma urządzeniami *master*.
- Wbudowany mechanizm potwierdzeń (ACK/NACK), który umożliwia wykrywanie krytycznych błędów.
- Clock stretching, czyli możliwość wstrzymania transmisji przez układ *slave*, co zwiększa elastyczność w komunikacji z wolniejszymi układami.
- Jest to jednoznaczny, szeroko wspierany standard, co ułatwia implementację.

Wady

- Relatywnie mała prędkość transmisji – typowe wartości to: 100 kbps, 400 kbps, 1 Mbps oraz 3,4 Mbps (maks.).
- Half-duplex – dane przesyłane są tylko w jednym kierunku naraz.
- Złożoność protokołu.
- Większa liczba urządzeń oznacza wyższą pojemność pasożytniczą, co może ograniczyć długość magistrali i prędkość transmisji.
- Wrażliwość na zakłócenia – jest to magistrala ze sterowaniem typu otwarty dren, zatem zakłócenia mogą powodować błędy transmisji, szczególnie przy długich przewodach.



Rysunek 11. Przykładowa ramka transmisji I²C (https://t.ly/anleZ)

eprasa.pl dfb64580ab

mechanizmu detekcji kolizji możliwa jest praca w trybie *multi-master*. Występuje również system arbitrażu ze stałym przydziałem priorytetów, określonym przez adres urządzenia typu *slave*. Urządzenia o niższych adresach mają wyższy priorytet od urządzeń o adresach wyższych.

Standard I²C obsługuje określa 4 podstawowe prędkości transmisji:

- 100 kbps – tryb standardowy,
- 400 kbps – tryb szybki (*Fast Mode*),
- 1 Mbps – *Fast Mode Plus*,
- High Speed Mode – prędkość transmisji dochodzi do nawet 3,4 Mbps.

Symbol	Parameter	Limits		Units	Comments
		Min	Max		
V_{IL}	Data, clock input low voltage	—	0.8	V	
V_{IH}	Data, clock input high voltage	2.1	VDD	V	
V_{OL}	Data, clock output low voltage	—	0.4	V	at I_{PULLUP} ,max
I_{LEAK}	Input leakage	—	±5	µA	[2]
I_{PULLUP}	Current through pullup resistor or current source	100	350	µA	[3]
V_{DD}	Nominal bus voltage	2.7	5.5	V	3V to 5V ± 10%

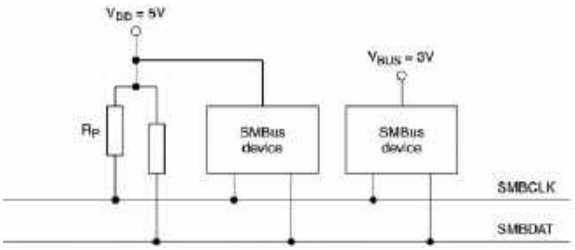
Rysunek 13. Fragment specyfikacji SMBus, który pokazuje zdefiniowane wartości prądów i napięć (https://t.ly/64Hiu)

SMBus

Interfejs SMBus (*System Management Bus*) to dwuprzewodowa magistrala, bazująca na standardzie I²C i służąca do komunikacji między różnymi układami scalonymi w obrębie jednego systemu (**rysunek 12**). Jest to łatwa w implementacji i wydajna metoda komunikacji, często stosowana w komputerach osobistych do monitorowania temperatury, kontroli prędkości wentylatorów, sterowania oświetleniem RGB czy obsługi kontrolerów baterii. Linie komunikacyjne są oznaczone jako SMBDAT – odpowiednik SDA, SMBCLK – odpowiednik SCL.

SMBus jest kompatybilny z interfejsem I²C, choć nieco bardziej restrykcyjny niż I²C. Poniżej zebraliśmy kilka różnic między obydwoma standardami.

- SMBus ma określone ograniczenia dotyczące parametrów czasowych transmisji, w tym prędkości transmisji (częstotliwość sygnału taktującego powinna zawierać się w przedziale 10…100 kHz) oraz tzw. timeoutu – maksymalnego czasu stanu niskiego, który wynosi zwykle 35 ms.
- Ściśle określone są poziomy napięć i wartości prądów płynących przez rezystory pull-up (**rysunek 13**), w tym minimalny (100 µA) i maksymalny (350 µA), co z kolei określa dopuszczalne wartości rezystorów.
- Układy odłączone od zasilania nie mogą obciążać linii magistrali SMBus.
- SMBus ma określoną liczbą układów, które można podłączyć do magistrali – jest to 127.



Rysunek 12. Struktura magistrali SMBus (https://t.ly/kpby-)

Pomimo tych wymagań możliwe jest stosowanie układów I²C w magistrali SMBus.

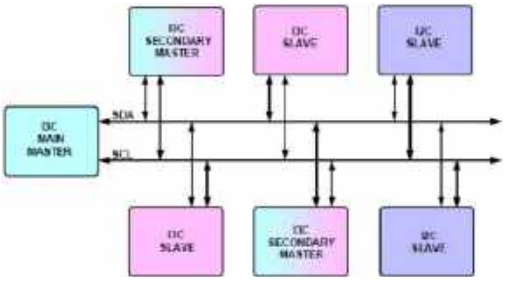
I³C

Interfejs I³C (*Improved Inter-Integrated Circuit*) to ulepszony interfejs komunikacyjny, który ma zastąpić I²C i oferuje przede wszystkim większe szybkości transmisji, większą elastyczność i mniejsze zużycie energii. Na **rysunku 14** pokazano strukturę magistrali I³C.

Standard I³C oferuje szybki transfer danych – do 12,5 Mbit/s (przy częstotliwości taktowania 12,5 MHz) w trybie pojedynczej szybkości transmisji danych (SDR). Dodatkowo dostępnych jest kilka trybów HDR (*High Data Rate*), które pozwalają na osiągnięcie prędkości bliskich 40 Mbps. Wspomniane tryby HDR działają z tą samą częstotliwością zegara, ale przesyłają dane z większą gęstością. Pierwszym z trybów wysokiej szybkości przesyłu danych jest tryb podwójnej szybkości (HDR-DDR), w którym dane są taktowane na obu zboczach sygnału zegara, co zapewnia prawie dwukrotny wzrost wydajności. Przy

REKLAMA





Rysunek 14. Struktura magistrali I³C (https://t.ly/MfWv6)

zegarze 12,5 MHz tryb DDR osiąga efektywną szybkość transmisji danych do 20 Mbit/s.

Magistrala I³C pozwala na łączenie wielu urządzeń nadrzędnych, wprowadzanych do magistrali jako urządzenia podrzędne. W interfejsie I³C można mieć wiele urządzeń nadrzędnych, ale tylko jedno z nich może być kontrolerem. Po zarejestrowaniu, dodatkowe urządzenie główne może zażądać statusu aktualnego urządzenia głównego, a jeśli urządzenie nadrzędne wyrazi zgodę, sterowanie zostanie przekazane dodatkowemu urządzeniu głównemu.

Interfejs I³C używa tych samych dwóch sygnałów co I²C, nazywanych SCL i SDA. Główną różnicą jest to, że I²C obsługuje je zawsze jako wyjścia typu *open-drain*, więc jego prędkość jest ograniczona przez powolny czas narastania sygnału. I³C używa trybu *open-drain* dla zachowania kompatybilności, ale przełącza się na wyjścia *push-pull*, gdy jest to możliwe i wtedy zmienia protokoły transmisji, aby zwiększyć szybkość transmisji.

Nowatorskim rozwiązaniem są przerwania wewnątrzpasmowe – IBI (*Input/Output Block Interrupts*). Zarówno interfejs SPI, jak i I²C wymagają dodatkowych linii do obsługi przerwań i innych funkcji sterujących, takich jak wybór układu. W interfejsie I³C do realizacji tych wszystkich zadań wystarczą tylko 2 przewody. Linie przerwań i inne linie sterujące są zastępowane przez przerwania wewnątrzpasmowe. W tej metodzie układ zgłaszający wprowadza swój adres do nagłówka adresowego magistrali I³C, aby powiadomić procesor o przerwaniu.

Kolejnym istotnym rozwiązaniem są wspólne kody poleceń – CCC (*Common Command Code*). Są to znormalizowane polecenia, które kontroler może rozgłaszać do wszystkich urządzeń I³C jednocześnie lub do określonego urządzenia docelowego. Polecenia te dotyczą elementów związanych z zarządzaniem magistralą. Istnieje ponad czterdzieści poleceń CCC, w tym:

- wprowadź dynamiczne przypisanie adresu (ENTDAA),
- ustaw nowe dynamiczne przypisanie adresu (SETNEWDA),
- włącz zdarzenia (ENEC) i wyłącz zdarzenia (DISEC),
- resetuj dynamiczne przypisanie adresu (RSTDAA),
- wejdź w tryb wysokiej szybkości transmisji danych (ENTHDRx),
- pobierz rejestr charakterystyki urządzenia (GETDCR).

Ponadto producenci układów mają do dyspozycji pewien zakres identyfikatorów CCC do wdrażania własnych poleceń.

I³C

Zalety

- Wysoka prędkość transmisji danych – I³C obsługuje standardową szybkość transmisji danych (SDR) wynoszącą 10 Mb/s oraz kilka trybów HDR (*High Data Rate*) z prędkością do niemal 40 Mb/s.
- I³C obsługuje magistralę z wieloma układami *slave* i wieloma układami *master*.
- Kompatybilność wsteczna – interfejs I³C może być kompatybilny wstecznie z I²C.
- Nowoczesne funkcje takie, jak: *Common Command Codes* (CCCs) i *In-Band Interrupts* (IBI).
- Tylko dwie linie sygnałowe: SDA (dane) oraz SCL (zegar), nie są konieczne dodatkowe linie przerwań czy wyboru układu.
- Dynamiczne adresowanie – układy *slave* mogą otrzymywać adresy dynamicznie od *mastera*, co pozwala na bardziej elastyczne zarządzanie magistralą.

Wady

- Złożoność implementacji – I³C ma bardziej rozbudowany protokół niż I²C, który jest trudniejszy w implementacji programowej i sprzętowej.
- Brak powszechnego wsparcia – mimo rosnącej popularności, nadal stosunkowo mało mikrokontrolerów i urządzeń obsługuje natywnie I³C.
- Zależność od MIPI Alliance – I³C to zastrzeżony standard, co utrudnia dostęp do pełnych specyfikacji dla hobbystów i projektantów systemów *open source*.

Podsumowanie

W artykule zostały opisane tylko wybrane synchroniczne interfejsy szeregowe – te, które są bardzo często stosowane w praktyce, od projektów hobbystycznych, aż po przemysłowe systemy wbudowane. Warto jednak pamiętać, że interfejsy szeregowe to ogromna dziedzina elektroniki i temat na wiele artykułów. Zaliczamy do tego grona interfejsy stosowane w motoryzacji, które zostały opisane w EP 04/22 [3], interfejsy LVDS, którym poświęciliśmy serię artykułów zaczynając od EP 07/15 [4] oraz wiele innych standardów, z USB 3.x i PCIExpress na czele.

Damian Sosnowski, EP

Linki

[1] https://t.ly/2basJ
[2] https://t.ly/eyVL9
[3] https://t.ly/khcyZ
[4] https://t.ly/rocw3
https://t.ly/sOQ18
https://t.ly/WxugQ
https://t.ly/KoxS6
https://t.ly/ZR9ru

Bibliografia:

SPI
- https://t.ly/2Pvuq
- https://t.ly/Go8Oo
- https://t.ly/_1EKw
- https://t.ly/iaou4
- https://t.ly/RrTPE
- https://t.ly/I3-oI
- https://t.ly/1NyCJ
- https://t.ly/Dwc4q

I²C
- https://t.ly/eFVZs
- https://t.ly/PuXSA
- https://t.ly/4od5v

SMBus
- https://t.ly/9AMNr
- https://t.ly/1tszu
- https://t.ly/oz3d-

I³C
- https://t.ly/KJVdI
- https://t.ly/-oOVj
- https://t.ly/Z1oSA

REKLAMA



eprasa.pl dfb64580ab

Awaria na produkcji – i co dalej?

Produkcja trwa na pełnych obrotach, zespół pracuje na granicy możliwości, zbliżają się terminy – i nagle linia produkcyjna staje w miejscu. Nieprzewidziane sytuacje, takie jak ta, wywołują presję u wszystkich zaangażowanych w dostarczenie produktu do odbiorcy. A jednak zdarzają się częściej, niż mogłoby się wydawać: „Nieplanowane zapotrzebowanie wynikające z przestojów maszyn w produkcji i wytwarzaniu to nie wyjątek, lecz reguła" – mówi Michael Schlagenhaufer, odpowiedzialny w Conrad Electronic za obszar produkcji i utrzymania ruchu.

Awarie maszyn w 67% wszystkich firm

Aktualne badania, takie jak raport „Value of Reliability", przygotowany przez firmę ABB, potwierdzają ocenę eksperta z firmy Conrad: mimo działań prewencyjnych i predykcyjnych, aż 67% przedsiębiorstw przemysłowych doświadcza co najmniej jednej nieplanowanej awarii maszyn w ciągu miesiąca. Jeśli przestój trwa trzy dni, oznacza to wiele tysięcy utraconego zysku brutto dla danego zakładu. Gdyby przeliczyć, ile takie przestoje kosztują całą gospodarkę, wynik byłby porażający.

Właściwe podejscie do naglych potrzeb

Zasadne pytanie brzmi: jak zapobiegać nieplanowanym potrzebom i jak szybko reagować, gdy już się pojawią? „Z pewnością konserwacja zapobiegawcza pomaga unikać przestojów maszyn. Jednak wciąż istnieje zbyt wiele czynników pozostających poza wpływem działu utrzymania ruchu, które mogą prowadzić do kosztownych przestojów w produkcji, a co za tym idzie – do nieprzewidzianych potrzeb", wyjaśnia Michael Schlagenhaufer.

Minimalizuj stres związany z czasem i kosztami

W takich krytycznych momentach osoby odpowiedzialne za zakupy często podejmują decyzje pod presją czasu i dużego stresu. Właśnie wtedy liczą się partnerzy zakupowi, którzy działają kompleksowo i potrafią dostarczyć szybkie oraz niezawodne rozwiązania. „Niezależnie od tego, czy chodzi o duże zamówienia w celu optymalizacji stanów magazynowych, czy o pojedynczą część zamienną w nagłej sytuacji – od ponad 25 lat dostarczamy komponenty, sprzęt pomiarowy i akcesoria do maszyn i urządzeń. Dzięki temu



Fotografia 1. Profesjonalna obsługa nieplanowanych potrzeb, wynikających z awarii maszyn, to aktualny temat przewodni Conrad Sourcing Platform (fot. Conrad Electronic)



Fotografia 2. Dobór odpowiedniej technologii pomiarowej do wszystkich potrzeb jest ważnym celem Conrad Sourcing Platform (fot. Conrad Electronic)

doskonale znamy potencjalne przyczyny, wymagania i skuteczne rozwiązania, związane z przestojami maszyn i chętnie dzielimy się tą wiedzą w zakresie nieplanowanych potrzeb" – podkreśla ekspert firmy Conrad.

Przyczyny, ryzyko, checklisty i biała księga

Jeśli chcesz na stałe ustabilizować procesy w firmie, musisz zrozumieć przyczyny zakłóceń i działać prewencyjnie w sposób strategiczny. Nowe strony informacyjne Conrad, poświęcone tematowi „Nieplanowane potrzeby w produkcji", oferują w tym zakresie konkretne wsparcie i inspirujące wskazówki. Zainteresowani dowiedzą się, jak – dzięki przemyślanemu zarządzaniu magazynem, strategicznym zakupom i inteligentnemu planowaniu – nie tylko reagować na nieoczekiwane potrzeby, ale też skutecznie zapobiegać powstawaniu takich problemów w ogóle. Dodatkowo dostępna jest praktyczna lista kontrolna, która pomoże sprawdzić procesy pod kątem występowania nieplanowanych potrzeb, a także biała księga pokazująca, jak przewidywalna konserwacja może przyczynić się do płynniejszej produkcji.

Cyfryzacja procesów zakupowych

Przejście od faksów, listów i e-maili do świata katalogów elektronicznych? Conrad oferuje zindywidualizowane rozwiązania eProcurement w celu zwiększenia wydajności procesów zakupowych. Większym firmom i korporacjom proponujemy zaawansowaną integrację z systemami ERP dzięki Open Catalogue Interface (OCI). Dla mniejszych firm odpowiedni będzie Conrad Smart Procure, czyli oparte na przeglądarce rozwiązanie do zakupów elektronicznych. eKatalogi to z kolei elastyczne rozwiązanie umożliwiające klientom biznesowym dostęp do wybranego asortymentu produktów Conrad.

Automatyzacja zaopatrzenia

Szybkość jest kolejnym ważnym parametrem, jeśli chodzi o najwydajniejsze procesy. Zautomatyzowany e-biznes eliminuje ręczne operacje, umożliwiając przesyłanie faktur poprzez systemy elektronicznej wymiany danych (EDI). Zamiast ręcznego wysyłania mailem zamówień i faktur, systemy Conrad mogą komunikować się z systemami klientów i automatycznie wymieniać dokumenty.

Więcej informacji: conrad.pl/szybka-reakcja

eprasa.pl dfb64580ab

Projekt referencyjny wydajnego podsystemu zasilania do zastosowań w sieciach czujnikowych NB-IoT

NB-IoT to kluczowa technologia bezprzewodowa, zapewniająca niezawodne łącza komunikacyjne na duże odległości we wszystkich rodzajach inteligentnych sieci czujnikowych. Wyzwania związane z umieszczaniem tych czujników w różnych rodzajach lokalizacji docelowych, przy jednoczesnym zapewnianiu stabilnego połączenia bezprzewodowego przez długi czas, doprowadziły do upowszechnienia rozwiązań opartych na dość sporych i kosztownych bateriach jednorazowych, które stosowane są do zasilania tychże systemów NB-IoT. Doprowadziło to do wzrostu kosztów – i to zarówno samego systemu, jak i procesów serwisowych, związanych z wymianą źródeł zasilania. Co więcej, ogólne rozmiary urządzeń także wzrosły, co kłóci się z trendem miniaturyzacji urządzeń instalowanych w miejscach o ograniczonej przestrzeni montażowej. Systemy te często polegają na jednorazowych bateriach litowo-chlorkowo-tionylowych, które muszą działać tak długo, jak to możliwe – w odległych lokalizacjach, bez konieczności serwisowania lub wymiany – co ma zapewnić niezawodne i trwałe rozwiązanie sieciowe IoT.

Opisany problem wynika z prostego faktu – większe źródło energii jest potrzebne w celu spełnienia wymogów odnośnie do prądu szczytowego w czasie transmisji bezprzewodowej za pośrednictwem łącza NB-IoT. Wyższy impuls prądowy wymaga zestawu baterii i superkondensatora, by móc zapewnić odpowiednią wydajność prądową w warunkach zwiększonego obciążenia chwilowego. Wybrana pojemność tego superkondensatora jest często również nadmiarowa ze względu na wewnętrzne straty tego elementu, spowodowane prądem upływu i wahaniami wydajności superkondensatora w różnych temperaturach roboczych. Krótko mówiąc, zarówno zestaw baterii, jak i superkondensator są dobierane w sposób nadmiarowy, co prowadzi nie tylko do większych rozmiarów urządzenia, ale także zawyżonych kosztów implementacji.

Specyfikacja NB-IoT działa w licencjonowanym spektrum i na duże odległości, korzystając z sieci komórkowej 4G LTE. Istnieją jednak dwa różne modele operacyjne i wiele poziomów mocy, które wpływają na projekt podsystemu zasilania i specyfikację źródła energii. Oryginalna odmiana protokołu NB1 przesyła dane z prędkością 26 kbit/s w przypadku łącza „w dół” (downlink) lub 66 kbit/s w górę („uplink”), w wąskim paśmie radiowym 180 kHz i zazwyczaj transfer danych z czujnika odbywa się raz dziennie. Modem pozostaje zatem w trybie uśpienia przez 99,9% czasu.

Najnowsza wersja NB2 zwiększa te wartości do 127 kbit/s (downlink)/159 kbit/s (uplink) i dodaje nową klasę mocy transmisji 14 dBm do połączeń w sieciach inteligentnych czujników o większym zasięgu. Przekłada się to na typowy pobór prądu wynoszący 155 mA w najnowszych modułach NB-IoT, przy czym szczytowe natężenie prądu wynosi zwykle 275 mA.

Zoptymalizowaną topologię podsystemu zasilania zapewnia najnowszy projekt referencyjny firmy Microchip. Stanowi on niezawodne, wydajne i niedrogie rozwiązanie zasilania do systemów NB-IoT, takich jak inteligentne liczniki, czujniki przemysłowe, inteligentne farmy itp.. Opracowana konstrukcja radykalnie zmniejsza rozmiar superkondensatora, a tym samym redukuje wymaganą liczbę baterii w dowolnym systemie NB IoT. To zaś przekłada się na zmniejszenie poboru mocy i rozmiarów całego rozwiązania, np. w aplikacjach smart home.

Projekt referencyjny ogranicza rozmiar superkondensatora 20-krotnie, umożliwiając zastosowanie mniejszego pakietu baterii o dłuższej żywotności i wyższej niezawodności. Jest to również cenne w przypadku innych aplikacji dalekiego zasięgu, które korzystają z NB-IoT, takich jak śledzenie zasobów czy inteligentne rolnictwo. Kluczowym rozwiązaniem zastosowanym w projekcie są oddzielne ścieżki dużej i małej mocy, połączone z programowalnym przełącznikiem obciążenia. Całość jest kontrolowana przez 16-bitowy mikrokontroler, który może przełączać się z trybu uśpienia (o bardzo niskim zużyciu energii) na tryb dużej mocy (w celu transmisji danych).

W trybach głębokiego uśpienia lub nasłuchu ścieżka dużej mocy pozostaje wyłączona, a układ zasilania o niskim prądzie spoczynkowym, oparty na stabiliza-



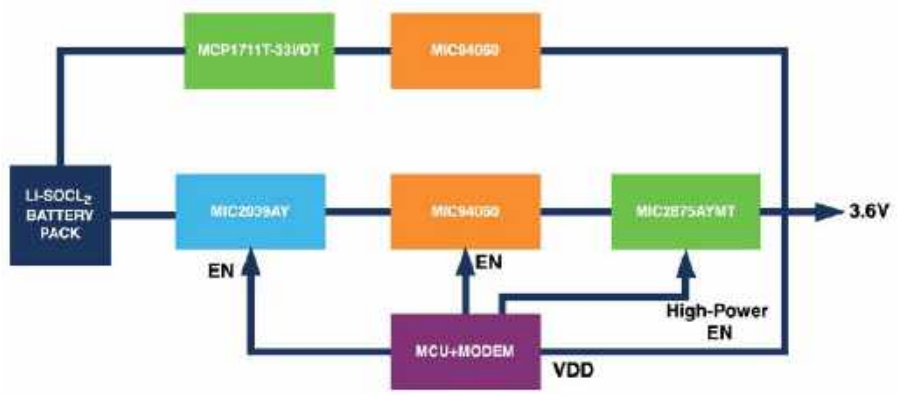
Fotografia 1. Zoptymalizowany projekt referencyjny układu zarządzania zasilaniem do urządzeń NB-IoT

eprasa.pl dfb64580ab

torze LDO i przełączniku zasilania typu high-side, jest aktywny. Pomaga to wydłużyć żywotność baterii i ogólną wydajność systemu.

Aby zapewnić wymagany prąd szczytowy w trybie dużej mocy, w projekcie zastosowano niedrogie i dokładne, liniowe źródło prądowe (MIC2039) do wstępnego ładowania superkondensatora tuż przed spodziewaną fazą transmisji o dużym zapotrzebowaniu na moc. Takie rozwiązanie eliminuje potrzebę stosowania specjalnych narzędzi do procesu wstępnego ładowania superkondensatora, a – co za tym idzie – optymalizuje proces produkcji i oszczędza koszty. Zastosowanie dokładnego źródła prądowego do naładowania superkondensatora o pojemności 470 mF skutkuje deterministycznym czasem ładowania, przy czym właściwe napięcie jest osiągane szybciej niż przy zastosowaniu prostego układu RC. MIC2039 ma regulowany limit prądu wyjściowego (ustawiany rezystorem w zakresie od 0,2 A do 2,5 A), a także funkcję kickstart, która obsługuje chwilowe skoki prądu (ograniczone do wartości drugiego prądu progowego) podczas rozruchu lub pracy w stanie ustalonym. Taki sposób działania okazuje się przydatny w ładowaniu obciążeń o wysokich prądach rozruchowych, takich jak kondensatory wspierające zasilanie układu w fazie transmisji NB-IoT i pomaga zoptymalizować rozmiar superkondensatora.

W tym nowatorskim układzie zasilania ścieżka dużej mocy ładuje superkondensator do napięcia zbliżonego do napięcia baterii (około 3,6 V). Superkondensator kompensuje spadki napięcia i ograniczenia w zakresie prądu obciążenia pakietu, zasilając przy tym synchroniczną przetwornicę podwyższającą napięcie (MIC2875). Ta zaś działa w trybie obejścia (bypass) lub podwyższenia napięcia, w zależności od napięcia naładowania superkondensatora. 2-megahercowa, synchroniczna przetwornica reguluje napięcie wyjściowe w ścieżce dużej mocy za pomocą przełącznika 4,8 A i oferuje dwukierunkową funkcję odłączania obciążenia, która zapobiega wszelkim prądom upływu



Rysunek 1. Uproszczony schemat blokowy rozwiązania zaproponowanego przez firmę Microchip

między wejściem a wyjściem, w czasie gdy urządzenie pozostaje nieaktywne. Dzięki takiemu rozwiązaniu 100% pojemności baterii jest użyteczne, co dodatkowo wydłuża jej żywotność lub umożliwia użycie mniejszego źródła energii. Przetwornica typu boost umożliwia ponadto działanie całości nawet wtedy, gdy bateria jest rozładowana poniżej napięcia znamionowego, a dodatkowo zapobiega jej przeciążeniu, zapewniając jednocześnie możliwie najszybsze i najdokładniejsze ładowanie. Przełącznik obciążenia odłącza superkondensator od baterii, aby zmniejszyć prąd upływowy, gdy nie jest wymagana duża moc.

Wybór chemii źródła energii jest również istotny. Projekt bazuje na ogniwach pierwotnych typu $LiSOCl_2$ (chlorek litowo-tionylowy), ponieważ oferują one najlepszy kompromis między kosztem, rozmiarem i wymaganą wydajnością, szczególnie z uwagi na bardzo niski prąd samorozładowania. Są one łatwo dostępne w formatach AA i AAA, w zależności od wymagań żywotności projektu. Aby zaspokoić zapotrzebowanie na energię w czasie realizacji różnych zadań, napięcie na superkondensatorze może się zmieniać w zakresie od 2,5 V do 3,65 V, a superkondensator można odłączyć od zasilanego układu, wyłączając przełącznik obciążenia. Przetwornica podwyższająca napięcie automatycznie przełącza się w tryb bypass, gdy napięcie wejściowe przewyższa docelowe napięcie wyjściowe. Przy małych obciążeniach przetwornica przechodzi natomiast w tryb PFM, by dodatkowo zwiększyć wydajność. Zintegrowany przełącznik konwertera DC/DC realizuje ponadto funkcję anti-ringing, co pozwala zminimalizować zakłócenia EMI – ta cecha jest natomiast szczególnie pożądana w projektach liczników z łączami bezprzewodowymi.

Podsumowanie

Opisywany projekt referencyjny układu zasilania z użyciem baterii jednorazowej, opracowany i sprawdzony w praktyce przez firmę Microchip, łączy niedrogi, 16-bitowy mikrokontroler ze ścieżką dużej mocy (do ładowania superkondensatora w celu zasilania układu podczas transmisji radiowej) i ścieżką małej mocy (do obsługi trybów uśpienia i nasłuchu). Programowalny przełącznik steruje przejściem między tymi dwiema ścieżkami. Dzięki takiemu rozwiązaniu superkondensator może być 20 razy mniejszy niż w klasycznych topologiach, a dodatkowo redukcji ulega zapotrzebowanie na pojemność i wydajność prądową baterii. Zastosowanie ogniw litowo-tionylowych oferuje również najlepszy kompromis między kosztami, rozmiarem i wydajnością. Taka kombinacja baterii, superkondensatora i układu aktywnego zarządzania przepływem energii poprawia niezawodność inteligentnych sieci czujnikowych i wydłuża czas pracy bez konieczności wymiany baterii, co docelowo obniża koszty ponoszone tak przez dostawców sprzętu, jak i jego operatorów.

Tabela 1. Lista kluczowych komponentów podsystemu zasilania

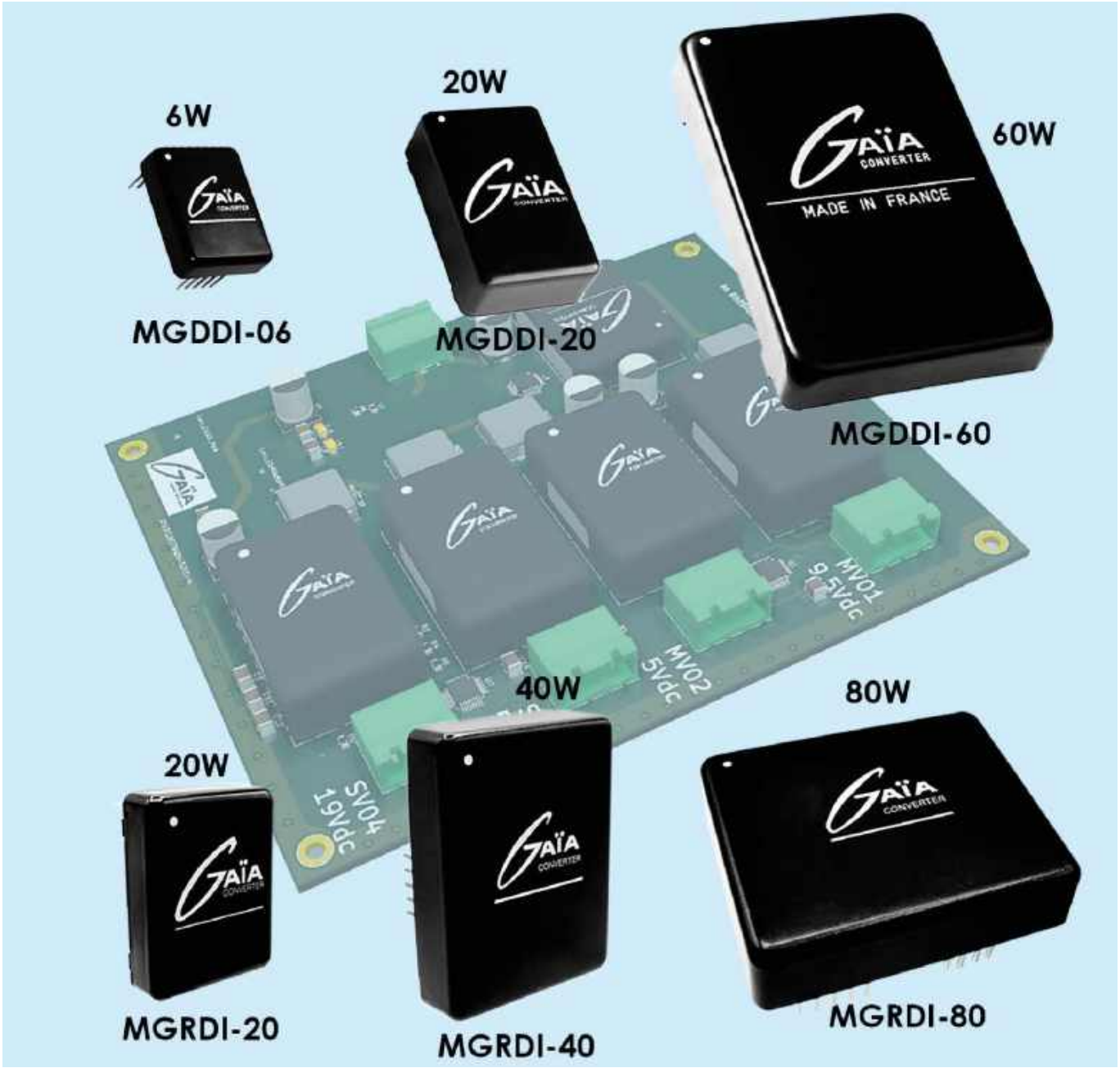
Układ	Rodzaj produktu
PIC16F1769	16-bitowy mikrokontroler PIC
MIC2039	Programowalny przełącznik zasilania high-side z precyzyjnym ograniczeniem prądowym 0,2A...2,5A
MIC94060	Przełącznik zasilania typu high-side, 2 A, 77 mΩ
MCP1711	150-miliamperowowy, bezkondensatorowy, niskomocowy stabilizator LDO
MIC2875	Synchroniczna przetwornica typu boost, 2 MHz, 4,8 A
MCP6444	Wzmacniacz operacyjny Iq=450 nA, GBW=9 kHz
MCP6549	Komparator z wyjściem typu OD, o poborze prądu < 1 µA

Autor oryginalnego artykułu:
Furqan Noor
Application Engineer
Microchip Technology



Opracowano na podstawie:
https://www.microchip.com/en-us/tools-resources/reference-designs/narrowband-iot-reference-design

eprasa.pl dfb64580ab



Zasilacze do zastosowań wojskowych i lotniczych marki GAÏA Converter

Firma GAÏA Converter – lider w zakresie rozwiązań do konwersji mocy, przystosowanych do pracy w trudnych warunkach środowiskowych, oferuje kompleksową gamę w pełni zintegrowanych, wysoce niezawodnych podsystemów zaprojektowanych tak, by sprostać rygorystycznym wymaganiom branży militarnej, lotniczej, morskiej i innych aplikacji o znaczeniu krytycznym.

Podsystemy marki GAÏA Converter, zaprojektowane w celu uproszczenia architektury zasilania i przyspieszenia prac rozwojowych, łączą wiele funkcji – konwersję mocy, filtrację EMI i zabezpieczenia – w kompaktowych, gotowych do użycia modułach.

Więcej informacji:
Eltronika Sp. z o.o.
05-152 Czosnów, ul. Duńska 2a
tel. +48 22 751 9744
biuro@eltronika.pl, www.eltronika.pl

Wszystkie produkty spełniają wymogi kluczowych norm elektrycznych i środowiskowych, w tym MIL-STD-461, MIL-STD-704, MIL-STD-1275 i DO-160, oferując niezawodną pracę w ekstremalnych warunkach.

Polecane rozwiązania w zakresie systemów zasilania:

- **PSDG48** – kompaktowy moduł zasilacza klasy COTS o mocy 48 W z trzema konfigurowalnymi, izolowanymi wyjściami,

eprasa.pl dfb64580ab


PSDG-48


GRD-40-A

wbudowanym filtrem EMI i ochroną przeciwprzepięciową. W pełni zgodny ze standardami MIL-STD i DO-160, idealny do zastosowań w lotnictwie i wojskowości.

- **GRD-40A** – 400-watowy zasilacz niskoprofilowy, zapewniający wysoką wydajność oraz pełną zgodność ze standardami MIL-STD-1275 i MIL-STD-704. Ten wytrzymały moduł obsługuje przepięcia wejściowe od 12 V do 100 V i oferuje ochronę przed udarami oraz zaburzeniami EMI, przy zachowaniu kompaktowej formy.
- **GRD-12A-M** – 120-watowy zasilacz wielowyjściowy, dostosowany do systemów 24/28 V DC. W pełni zintegrowany podsystem COTS spełnia wymogi szerokiego zakresu norm, w tym MIL-STD-461, ABD100 i DO-160 i udostępnia zestaw izolowanych wyjść, idealnie wpisując się w potrzeby projektów o wysokiej niezawodności.
- **GPack** – modułowa platforma zasilająca do 800 W. Urządzenie stanowi ultrakompaktowe i bezwentylatorowe rozwiązanie do zastosowań lotniczych, morskich i wojskowych. Oferuje maksymalnie 4 konfigurowalne gniazda 200 W i opcje połączenia równoległego. System GPack skaluje się do mocy rzędu 2,4 kW, oferując jednocześnie zaawansowane funkcje sterowania i monitorowania.


GRD-12A-M


GPACK

Główne korzyści płynące z zastosowania produktów marki GAÏA Converter

- Zintegrowane filtry i wbudowane funkcje ochronne, upraszczające topologię docelowego systemu.
- Konstrukcja zoptymalizowana pod kątem pracy w trudnych warunkach środowiskowych.
- Zgodność z głównymi normami wojskowymi i lotniczymi.
- Skrócony czas wprowadzania produktu na rynek i zredukowany poziom złożoności projektu.

Dzięki rozwiązaniom firmy GAÏA Converter inżynierowie zyskują sprawdzone, gotowe do użycia elementy konstrukcyjne, które usprawniają projektowanie systemu i zwiększają wydajność podczas pracy w terenie.

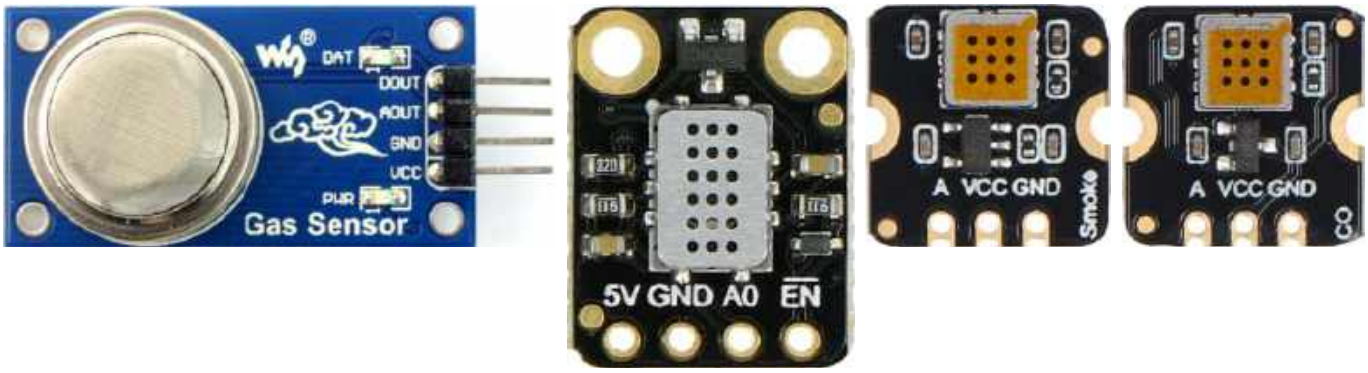
O firmie GAÏA Converter

GAÏA Converter jest światowym liderem w projektowaniu i produkcji rozwiązań konwersji mocy dla branży wojskowej, lotniczej, kolejowej i przemysłowej. Specjalistyczna wiedza inżynierów GAÏA Converter opiera się na ciągłej innowacji i zaangażowaniu w zapewnienie najwyższej jakości oraz wydajności.



REKLAMA

eprasa.pl dfb64580ab



Internet Rzeczy w pomiarach środowiskowych (18)

Czujniki gazu i dymu

Różne rodzaje czujników są stosowane w celu identyfikacji i pomiaru stężenia gazów toksycznych lub wybuchowych oraz wykrywania dymu i tlenku węgla w domach. Ze względu na dostępność i cenę szczególną uwagę zwracają czujniki należące do dwóch popularnych serii: MQ oraz Fermion.



Poprzednie odcinki znajdują się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

Czujniki z serii MQ

Czujniki gazu z serii MQ są przeznaczone głównie do wykrywania gazów palnych. Zasada działania sensorów opiera się na wykrywaniu zmian przewodności elektrycznej, gdy określone gazy wchodzą w kontakt z elementem pomiarowym czujnika. Materiał elementu pomiarowego charakteryzuje się długoterminową stabilnością dzięki właściwościom samokompensującym, które chronią go przed różnymi czynnikami środowiskowymi, w tym przed zmianami temperatury, wahaniami ciśnienia powietrza i chemicznym wpływem zanieczyszczeń.

Czujniki są oferowane przez różnych producentów chińskich, takich jak Henan Hanwei Electronics czy Winsen [2]. Poniżej zamieszczono listę kilku czujników gazu z serii MQ:

- MQ-2 – metan, butan, LPG, dym, wodór,
- MQ-3 – alkohol, etanol, dym,
- MQ-4 – metan, gaz CNG,
- MQ-5 – gaz ziemny, LPG,
- MQ-6 – LPG, gaz butanowy,
- MQ-7 – tlenek węgla (wymaga kluczowania grzałki),
- MQ-8 – wodór,
- MQ-9 – tlenek węgla, gazy łatwopalne (wymaga kluczowania grzałki),
- MQ131 – ozon,
- MQ135 – CO, amoniak, benzen, alkohol, dym,
- MQ136 – siarkowodór,
- MQ137 – amoniak, CO,
- MQ138 – benzen, toluen, alkohol, aceton, propan, formaldehyd, wodór.

Czujniki z serii MQ są umieszczone w okrągłej obudowie, z ustandaryzowanym ułożeniem wyprowadzeń (6 pinów) i mają niewielkie wymiary – wysokość to około 13 mm, średnica – ok. 20 mm [2]. Obudowa ma wbudowaną metalową siatkę, na którą może być nałożona tworzywowa osłona w różnych kolorach.

Prawie wszystkie wymienione powyżej czujniki z serii MQ wymagają napięcia zasilania 5±0,1 V. Przy typowej rezystancji grzejnika ok. 30 Ω wymagają zatem ok. 150 mA prądu, czyli ok. 0,8 W. Trochę inaczej wygląda sytuacja w przypadku czujników MQ-7 i MQ-9 – te potrzebują dodatkowo kluczowania zasilania grzejnika pomiędzy 5 V oraz 1,5 V, z odpowiednim cyklem pomiarowym. W artykule „Zastosowanie czujnika MQ-7 do pomiaru tlenku węgla (CO)" [1] został dokładnie opisany czujnik MQ-7 oraz moduł pomiarowy modMQ-7, wraz z konieczną jego modyfikacją.

Czujnik MQ-2

MQ-2 jest jednym z powszechnie używanych czujników gazu należących do serii MQ. Jest to sensor typu Metal Oxide Semiconductor (MOS), znany również jako chemorezystor, ponieważ wykrywanie opiera się na zmianie rezystancji materiału chemoczułego, gdy gaz wchodzi z nim w kontakt. Stężenia gazu można wykrywać za pomocą prostego dzielnika napięcia.

Czujnik gazu MQ-2 wymaga zasilania 5±0,1 V DC i zużywa około 800 miliwatów energii. Wykrywa kilka rodzajów gazów, w tym LPG (gaz płynny), dym, alkohol, propan, wodór, metan i tlenek węgla.

Typowe zakresy pomiarowe:

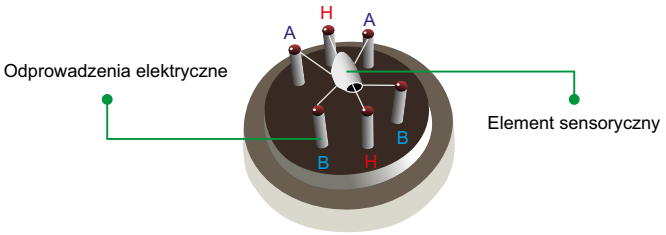
- od 200 ppm do 5000 ppm (LPG, propan),
- od 300 ppm do 5000 ppm (butan),
- od 100 ppm do 2000 ppm (etanol C_2H_5OH),
- od 5000 ppm do 20000 ppm (metan),
- od 300 ppm do 5000 ppm (wodór H_2),

Rezystancja elementu pomiarowego (Rs) wynosi 3...30 kΩ przy stężeniu butanu równym 1000 ppm.

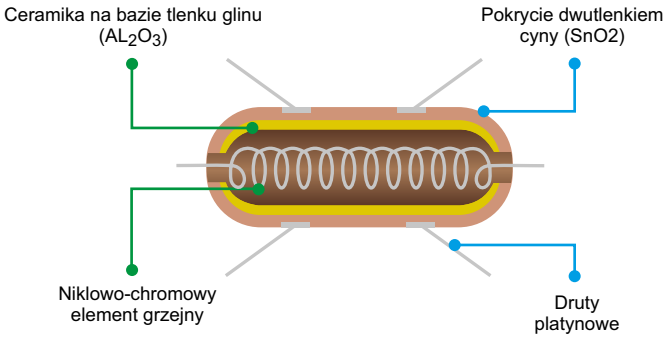
Ważne jest, aby pamiętać, że chociaż czujnik MQ-2 może wykrywać wiele różnych gazów, to nie jest w stanie wskazać dokładnie, który z nich ma określone stężenie lub jaki jest skład mieszaniny.

MQ-2 wymaga użycia wewnętrznej grzałki do wykrywania gazów. Ponieważ ma do czynienia z gazami palnymi, bardzo ważne jest bezpieczeństwo – dlatego sensor ma dwie warstwy bardzo cienkiej siatki ze stali nierdzewnej, owinięte wokół niego i znane jako „sieć antywybuchowa" (**fotografia tytułowa**). Siatka ta zapobiega spowodowaniu przez grzałkę pożaru lub wybuchu, jeśli pracuje ona w obecności gazów łatwopalnych. Oprócz zapewnienia bezpieczeństwa, siatka działa również jako filtr ochronny, blokujący przedostawanie się kurzu i cząstek stałych i pozwalając jedynie

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 1. Struktura wewnętrzna czujnika MQ-2 [3]



Rysunek 2. Element pomiarowy czujnika MQ-2 [3]

na penetrowanie wnętrza czujnika przez gazy. Siatka jest mocno utrzymywana na miejscu przez miedziany pierścień, który zaciska się wokół niej i łączy się z resztą korpusu czujnika.

Po ostrożnym usunięciu zewnętrznej siatki można zobaczyć wnętrze czujnika (**rysunek 1**). W jego sercu znajduje się element czujnikowy przymocowany do sześciu metalowych nóżek, które wystają z okrągłej, plastikowej podstawy. Nóżki są ułożone w gwiazdę. Spośród sześciu pinów dwie (oznaczone jako H) służą do podgrzewania elementu pomiarowego i są połączone z cewką wykonaną ze stopu niklowo-chromowego. Ta specjalna mieszanka metali dobrze przewodzi prąd i może wytrzymać bardzo wysokie temperatury bez topienia się lub pękania.

Pozostałe cztery wyprowadzenia (oznaczone A i B) odpowiadają za przenoszenie sygnałów elektrycznych z elementu pomiarowego do zewnętrznej elektroniki. Łączą się one z elementem pomiarowym za pomocą przewodów platynowych. Platyna jest stosowana ze względu na jej doskonałą przewodność elektryczną.

Sam element pomiarowy wygląda jak mała rurka (**rysunek 2**). Wykonany jest z ceramiki tlenku glinu (Al_2O_3), z cienką warstwą dwutlenku cyny (SnO_2). Kluczowym materiałem jest tutaj dwutlenek cyny, ponieważ reaguje chemicznie z gazami łatwopalnymi, powodując zmiany rezystancji, które czujnik może zmierzyć. Ceramiczna obudowa również spełnia ważną funkcję. Zapewnia równomierne rozprowadzanie ciepła z grzejnika i utrzymuje czujnik w odpowiedniej temperaturze roboczej.

Jak działa czujnik MQ-2?

Po włączeniu czujnik gazu MQ-2, zaczyna podgrzewać wewnętrzną warstwę półprzewodnika – dwutlenku cyny (SnO_2) – do wysokiej temperatury. W tych warunkach cząsteczki tlenu z powietrza adsorbują do powierzchni dwutlenku cyny. Te zaadsorbowane cząsteczki tlenu odciągają wolne elektrony od dwutlenku cyny, co tworzy „obszar zubożenia elektronów" w pobliżu powierzchni. To zaś sprawia, że dwutlenek cyny ma wysoką oporność.

Gdy gazy palne dostają się do czujnika, reagują z cząsteczkami tlenu, na powierzchni dwutlenku cyny. Taka reakcja chemiczna uwalnia elektrony, które były dotąd utrzymywane przez tlen. Gdy elektrony wracają do dwutlenku cyny, obszar zubożenia elektronów staje się mniejszy, a to redukuje opór, umożliwiając przepływ większego prądu przez czujnik.

Czujnik MQ-2 działa poprzez wykrywanie tych zmian w oporności elektrycznej. Im więcej jest gazu palnego, tym więcej cząsteczek tlenu reaguje, a oporność maleje. Umożliwia to nie tylko wykrywanie zarówno obecności, ale i pomiar stężenia gazu w powietrzu.

Moduły z czujnikami serii MQ

Moduły z czujnikami MQ są oferowane przez wielu producentów i dystrybutorów, zarówno krajowych, jak i zagranicznych. Z uwagi na jednakowy układ wyprowadzeń wymagają (w zasadzie) takiego samego, zewnętrznego układu elektrycznego. Dlatego ta sama płytka drukowana jest zwykle stosowana z wlutowanymi różnymi czujnikami z tej serii.

Niektóre moduły mają zastosowaną podstawkę, do której wkładany jest czujnik. Wtedy moduł może stanowić uniwersalną platformę dla różnych sensorów MQ. Oferowane są również same płytki drukowane (adaptery) do wlutowania omawianych elementów.



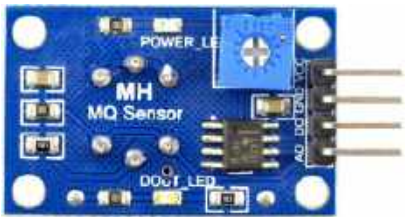
Fotografia 1. Moduł z czujnikiem MQ-2 firmy DFRobot [4]



Fotografia 2. Moduł Grove – Gas Sensor(MQ2) firmy SeedStudio [5]

Moduł Analog Gas Sensor MQ-2 (SEN127) firmy DFRobot [4] zawiera na płytce tylko czujnik, rezystor obciążenia (potencjometr 10 kΩ), kondensator odsprzęgający zasilanie 5 V i złącze w standardzie Gravity (**fotografia 1**). Moduły z czujnikami MQ3/4/6/7/8/9 są lutowane na takiej samej płytce drukowanej.

Moduł Grove – Gas Sensor (MQ-2) firmy SeeedStudio [5] zawiera to samo, co na poprzednio opisanej płytce, a dodatkowo ma podstawkę do włożenia czujnika oraz przetwornicę DC/DC, dostarczającą napięcie 5 V (**fotografia 2**).



Fotografia 3. Moduł modMQ-2 firmy Kamami [5]

Moduł modMQ-2 firmy Kamami [6] z czujnikiem MQ-2 (**fotografia 3**) ma wyjście analogowe oraz wyjście cyfrowe, wyzwalane przekroczeniem ustalonego progu czułości.

Najwięcej spośród oferowanych płytek zapewnia zgodność z modułem modMQ-2. Typowo różnią się one tylko nadrukami, czasami są w nich zastosowane trochę inne wersje elementów pasywnych. Standardowo nie jest także dostępny schemat ideowy. Układ elektryczny jest jednak taki sam, jak w przypadku modułu modMQ-7, opisanego w poprzednim artykule [1]. Sygnał wyjściowy z czujnika MQ-2, z obciążenia 4,7 kΩ, jest podawany na wyjście analogowe i wejście komparatora LM393 z regulacją poziomu komparacji



Fotografia 4. MQ-2 Gas Sensor firmy Waveshare [6]

eprasa.pl dfb64580ab

za pomocą potencjometru 10 kΩ. Grzejnik jest zasilany napięciem 5 V z szeregowym rezystorem 5,1 Ω.

Moduł MQ-2 Gas Sensor (SKU: 9532) firmy Waveshare [6] (**fotografia 4**) ma w zasadzie taki sam układ, jak moduł poprzedni. Tym razem jest jednak dostępna dokumentacja ze schematem. Dodatkowo układ ma zamontowaną przetwornicę DC/DC. Przy napięciu wejściowym 2,5…5 V daje ona stałe napięcie 5 V, niezbędne do zasilania czujnika. Niestety przetwornica ma bardzo duży prąd rozruchu (1,17 A), a pobór prądu w trakcie pracy z obciążeniem 150 mA ma formę szpilek prądowych 0,8 A. Powoduje to wprowadzanie sporych zakłóceń wstecznych (do źródła zasilania). Taka praca przetwornicy powoduje w sygnale wyjściowym zakłócenia szpilkowe o amplitudzie kilkudziesięciu mV. Oznacza to praktycznie nieprzydatność modułu do jakichkolwiek rzetelnych pomiarów.

Moduł modMQ-9 firmy Kamami z czujnikiem MQ-9 wykonuje pomiar stężenia metanu, propanu oraz tlenku węgla (10...10 000 ppm). Ma taki sam schemat i płytkę, jak moduł modMQ-2.

Czujniki z serii Fermion

Seria Fermion firmy DFRobot obejmuje wiele różnych typów czujników gazu, opracowanych z zastosowaniem technologii MEMS (HCHO, H_2, CO, CH_4, VOC, NH_3, NO_2, H_2S, EtOH, dym, różne zapachy). Charakteryzują się one niskim napięciem zasilania i małymi rozmiarami. Moduły SEN563-SEN574 mają taki sam układ płytki oraz pełną dokumentację czujnika oraz PCB.

Fermion: Detektor wielogazowy MEMS (SEN0440)

Moduł detektora wielogazowego MEMS (SEN0440) firmy DFRobot [7] opiera się na układzie MiCS-5524 firmy Amphenol SGX Sensortech, wykonanym w technologii MEMS (**fotografia 5**). Czujnik wykrywa stężenie i wyciek gazów, takich jak czad (CO), metan (CH_4), etanol (C_2H_5OH), propan (C_3H_8), butan (C_4H_{10}), wodór (H_2), siarkowodór (H_2S) i amoniak (NH_3). Czujnik wykrywa jedynie stężenie gazów w powietrzu, ale nie rozróżnia ich typu. Korzystając z niego, nie można zatem ustalić, który z gazów został wykryty.

Parametry czujnika MiCS-5524 [7]:

- zasilanie elementu pomiarowego: 4,9… 5,1 V,
- rezystancja elementu pomiarowego w czystym powietrzu (min./max.): 100/1500 kΩ,
- typowe zakresy pomiarowe:
  - od 1 ppm do 1000 ppm (tlenek węgla CO),
  - od 10 ppm do 500 ppm (etanol C_2H_5OH),
  - od 1 ppm do 1000 ppm (wodór H_2),
  - od 1 ppm do 500 ppm (amoniak NH_3),
  - > 1000 ppm (metan CH_4),
- czas odpowiedzi: < 20 s,
- zakres napięcia wyjściowego: 0…5 V,
- zasilanie grzejnika (typ): 2,4 V,
- rezystancja grzejnika (typ): 66 Ω,
- prąd grzejnika (typ): 32 mA,
- wymiary: 5×7×1,5 mm,
- trwałość: ≥ 2 lat (ciągłego stosowania).

Przy zastosowaniu typowego napięcia zasilania 5 V, do zasilania grzejnika wystarczy szeregowy rezystor 82 Ω. Rezystor obciążenia elementu pomiarowego musi natomiast mieć rezystancję większą niż 820 Ω.



Fotografia 5. Moduł detektora wielogazowego MEMS (SEN0440) [7]

Producent podaje, że czujnik jest przydatny do monitorowania jakości powietrza we wnętrzach, monitorowania oddechu oraz wczesnego wykrywania ognia. Producent nie podaje wymagania wstępnego wygrzewania czujnika po dłuższym magazynowaniu. Na forach dyskusyjnych zalecany jest jednak czas 3 minut.

Moduł SEN0440 ma tranzystor pracujący jako klucz zasilania 5 V (wyłączanie wysokim poziomem logicznym). Moduł pracuje z rezystancją obciążenia 91 kΩ (z równoległym kondensatorem 100 nF). Czujnik bardzo szybko reaguje na zmiany stężenia gazów pomiarowych. Napięcie wyjściowe może wzrosnąć nawet powyżej 4 V. Producent – firma DFRobot – podaje nawet zakres napięcia wyjściowego 0…5 V. Oznacza to kłopoty dla przetworników ADC z zasilaniem 3,3 V. Wysoka rezystancja wyjściowa powoduje zwiększoną wrażliwość na zakłócenia zewnętrzne.

Fermion: Detektor dymu MEMS (SEN0570)

MEMS Smoke Gas Detection Sensor (SEN0570) firmy DFRobot [8] bazuje na układzie GM-202B firmy Winsen (**fotografia 6**). Moduł wykrywania dymu (i alkoholu CH_5OH) korzysta z najnowocześniejszej technologii MEMS, dzięki której czujnik oferuje kompaktowe wymiary (13×13×2,5 mm), niskie zużycie energii, minimalną ilość wytwarzanego ciepła, a także krótkie czasy nagrzewania wstępnego i odpowiedzi na zmiany stężeń.

Parametry czujnika GM-202B [8]:

- zasilanie elementu pomiarowego: ≤ 24 V (standardowo 2,5 V),
- rezystancja elementu pomiarowego (Rs): 1...30 kΩ (przy 200 ppm CH_5OH),
- zakres pomiarowy: 10...1000 ppm (CH_5OH),
- zasilanie grzejnika (typ): 2,5±0,1 V,
- rezystancja grzejnika (typ): 80 Ω,
- prąd grzejnika (typ): ok. 17 mA (zmierzony),
- wymiary: 5×5×1,55 mm,
- trwałość: ≥ 5 lat (w powietrzu).



Fotografia 6. Moduł detektora dymu MEMS (SEN0570) [8]

Moduł SEN0570 pracuje z rezystancją obciążenia 4,7 kΩ. Przy wzroście koncentracji w powietrzu dymu (lub alkoholu) rezystancja czujnika Rs maleje. Oznacza to wzrost napięcia wyjściowego.

Moduł ma układ LDO dostarczający napięcie 2,5 V do zasilania grzejnika. Umożliwia to zasilanie modułu w zakresie 3,3…5 V. Należy jednak pamiętać, że element pomiarowy pracuje z napięciem wejściowym zasilania, a zatem wyjściowe napięcie pomiarowe jest zależne proporcjonalnie od napięcia zasilania. Oznacza to konieczność zastosowania stabilnego i czystego zasilania modułu.

Po długotrwałym przechowywaniu bez podłączonego napięcia należy wstępnie podgrzać czujnik, aby osiągnąć wewnętrzną równowagę chemiczną. Po przerwie krótszej niż miesiąc sugerowane jest wstępne podgrzewanie o czasie nie krótszym niż 48 godzin.

Fermion: Detektor tlenku węgla MEMS (SEN0564)

MEMS Carbon Monoxide CO Gas Detection Sensor (SEN0564) firmy DFRobot [9] jest wyposażony w układ GM-702B firmy Winsen (**fotografia 7**). Moduł wykrywania tlenku węgla (CO) z czujnikiem w technologii MEMS oferuje małe wymiary (13×13×2,5 mm), niskie zużycie energii (<20 mA), minimalne wytwarzanie ciepła, krótkie czasy nagrzewania wstępnego i odpowiedzi sygnałowej.

Parametry czujnika GM-702B [9]:

- zasilanie elementu pomiarowego: 2,5±0,1 V,
- rezystancja elementu pomiarowego (Rs): 1...30 kΩ (przy 100 ppm CO),

eprasa.pl dfb64580ab

- zakres pomiarowy: 5...5000 ppm (CO),
- zasilanie grzejnika (typ.): grzanie 2,5±0,1 V; pomiar 0,5±0,1 V,
- rezystancja grzejnika (typ.): 80 Ω,
- czas grzania: 60±1 s,
- czas pomiaru: 60±1 s,
- wymiary: 5×5×1,55 mm.



Fotografia 7. Moduł detektora tlenku węgla MEMS (SEN0564) [9]

Moduł SEN0564 ma układ LDO dostarczający napięcie 2,5 V do zasilania grzejnika i elementu pomiarowego, co pozwala na zasilanie modułu w zakresie 3,3…5 V. Czujnik pracuje z rezystancją obciążenia 10 kΩ.

Po długotrwałym przechowywaniu bez zasilania należy wstępnie podgrzać czujnik przez minimum 48 godzin.

Modyfikacja modułu SEN0564

Niestety moduł SEN0564 nie umożliwia wymaganego przełączania napięcia zasilania grzejnika czujnika GM-702B. Można to zrealizować poprzez dodanie dwóch tranzystorów MOSFET oraz trzech rezystorów (**rysunek 3**). Przy niskim poziomie na wejściu CTRL oba tranzystory są wyłączone i grzejnik czujnika GM-702B jest zasilany poprzez rezystor R3 (411 Ω), dzięki czemu napięcie na grzałce wynosi około 0,5 V. Podanie wysokiego napięcia na wejście CTRL włącza oba tranzystory i zasilanie grzałki jest pobierane bezpośrednio z LDO 2,5 V. Warto dodać, że grzałka ma nieliniową charakterystykę rezystancji względem napięcia.

Elementy zostały położone bezpośrednio na płytkę drukowaną i dolutowane do pól lutowniczych. Dodatkowe połączenia zostały wykonane przewodami.

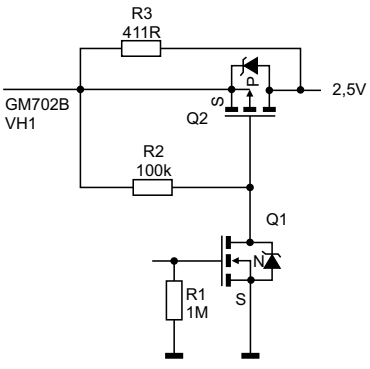
Moduł SEN0564 po modyfikacji pobiera z zasilania 3,3 V:

- w fazie grzania (H) ok. 17 mA – tranzystory włączone,
- w fazie pomiaru (L) ok. 5 mA prądu – tranzystory wyłączone.

Płytka RPi Pico 2 firmy Rasberry Pi

Mikrokontroler RP2350 zawiera dwa rdzenie Arm Cortex-M33, 150 MHz z obsługą obliczeń zmiennoprzecinkowych i DSP oraz dwa rdzenie RISC-V Hazard 3, 150 MHz. Nowe płytki Pico 2 i Pico 2W firmy Raspberry Pi z procesorem RP2350A są zgodne elektrycznie z płytkami Pico z pierwszej serii (Pico/Pico W). Dokładny opis jest zamieszczony w artykule „Płytka Raspberry Pi Pico 2/2W z procesorem RP2350” [10].

Pico 2 ma wbudowaną przetwornicę buck-boost, która dostarcza 3,3 V (do zasilania RP2350 i obwodów zewnętrznych) z szerokiego zakresu napięć wejściowych (od 1,8 do 5,5 V). Umożliwia to znaczną elastyczność w zasilaniu urządzenia z różnych źródeł, takich jak pojedyncze ogniwo litowo-jonowe lub 3 ogniwa AA połączone szeregowo. Najprostszym sposobem zasilania Pico 2 jest



Rysunek 3. Modyfikacja modułu SEN0564

podłączenie kabla do gniazdka micro USB. W nocie katalogowej Pico 2/2W jest pokazane, jak poprzez dodanie tranzystora MOS można zrealizować potrzymanie bateryjne zasilania płytki.

Zmodyfikowany moduł DFRobot I²C ADS1115

Moduł DFRobot I²C ADS1115 (DFR0553) firmy DFRobot [11] zawiera układ przetwornika analogowo-cyfrowego ADS1115. Zasilanie układu ADS1115 jest realizowane przez układ LDO typu LP5907MFX-3.3, dostarczający do 250 mA prądu przy napięciu 3,3 V. Przy spadku napięcia na tym układzie wynoszącym 50/250 mV dla 100/250 mA układ można zasilać napięciem z przedziału 3,55…5,5 V. Doskonale pasuje on do typowego zakresu zasilania z jednego ogniwa Li-Po. Układ ADS1115 obsługuje transmisję na łączu I²C. Moduł został nieco zmodyfikowany:

- na dolnej stronie płytki drukowanej należy przeciąć ścieżkę idącą do pinu 4 („+”) gniazdka P1,
- przewodem należy połączyć nóżkę 1 przełącznika S1 (oznaczenie 0x49) oraz katodę diody D1.

Wtedy pin 4 („+”) gniazdka P1 oraz piny 1–4 („+”) gniazdka P4 wyprowadzają regulowane, czyste napięcie 3,3 V. Do pracy z układem ADS115 została zastosowana biblioteka języka MicroPython [12].

Pico Inky Pack – moduł z wyświetlaczem e-Paper

Pico Inky Pack (PIM634) firmy Pimoroni to moduł z czarno-białym wyświetlaczem e-Paper o przekątnej 2,9” i rozdzielczości 296×128 pikseli, dedykowany do minikomputerów Raspberry Pi Pico oraz Raspberry Pi Pico W. Ma wbudowany kontroler, który realizuje komunikację za pomocą interfejsu SPI. Wyświetlacze e-Paper cechują się wysokim kontrastem wyświetlanego obrazu i pobierają prąd tylko podczas zmiany wyświetlanej treści. Moduł ma wbudowane trzy przyciski. Jest zasilany z szyny 3V3 modułu Pico. Sterowanie wyświetlaczami z poziomu RPi Pico w języku MicroPython jest możliwe przy użyciu zmodyfikowanej biblioteki graficznej Pico Graphics.

Ekspander szyny RPi Pico

Ekspandery szyny RPi Pico firmy Pimoroni wyposażone zostały w jedno standardowe złącze żeńskie do bezpośredniego wpięcia płytki z serii RPi Pico oraz zestawy męskich listew 2×20 pinów, które umożliwiają podłączenie dodatkowych modułów rozszerzeń. Etykiety pinów, umieszczone na górnej stronie płytki, znacznie ułatwiają prototypowanie. Ekspander Pico Decker (Quad Expander) (PIM555) ma cztery zestawy męskich listew, a Pico Omnibus (Dual Expander) PIM556 – dwa zestawy.

Dołączanie elementów do płytki RPi Pico 2

Układ został skompletowany z użyciem płytki Raspberry Pi Pico 2, modułu ADS1115, ekspandera szyny Pico Omnibus oraz wyświetlacza e-Paper typu Pico Inky Pack.

Do płytki Raspberry Pi Pico 2 można wlutować złącza goldpin. Najlepiej zastosować złącza z dłuższymi pinami. Wtedy po wpięciu płytki do ekspandera (Pico Omnibus) jest dodatkowo zachowany pełny dostęp do wszystkich zasobów płytki. Bezpośrednio do męskich listew ekspandera został dołączony moduł Pico Inky Pack.

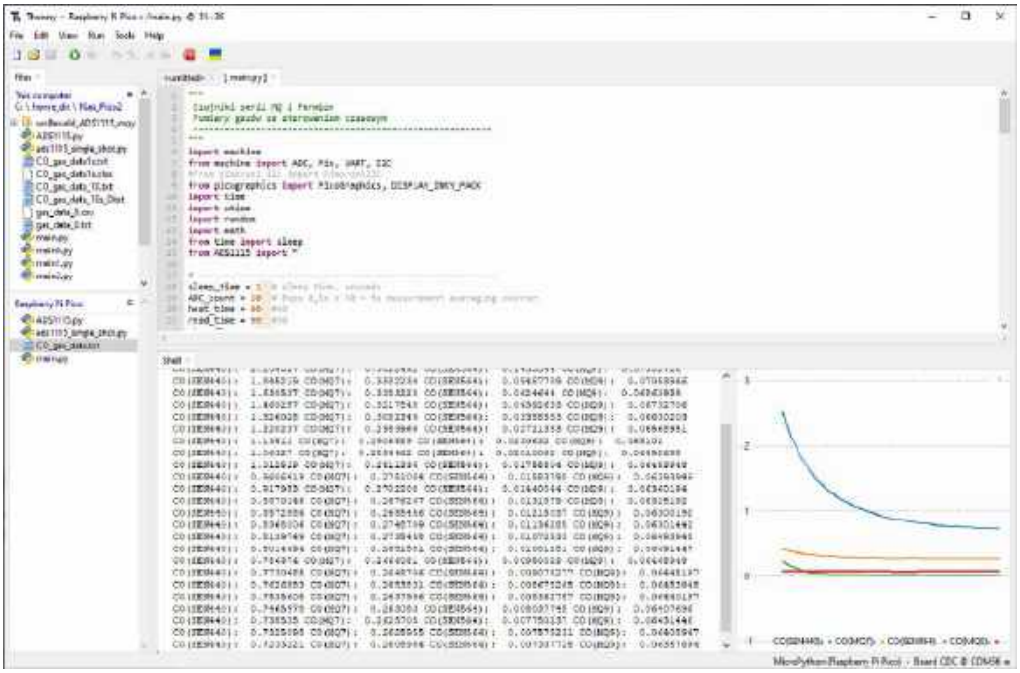
Moduł ADS1115 został dołączony do ekspandera z zastosowaniem standardowych kabelków BLS. Linie I²C modułu zostały dołączone do szyny I2C0 płytki Pico 2 (GP4 SDA, GP5 SCL).

Praca płytki Pico 2 z czujnikami serii MQ i Fermion

Przygotowanie środowiska programowego jest dokładnie opisane w artykule „Płytka Raspberry Pi Pico 2/2W z procesorem RP2350” [10]. W celu samodzielnego zbudowania opisywanego systemu należy pobrać i zainstalować najnowszy interpreter MicroPythona dla Pico 2 oraz kod aplikacji z pliku Gas_sensors.zip (https://tiny.pl/nq7pqgx8).

eprasa.pl dfb64580ab

W prototypie zostały zastosowane moduły SEN0564 (GP2, AIN3) i SEN0440 (GP3, AIN0), zasilane napięciem 3,3 V dostarczanym przez moduł ADS1115 oraz moduły MQ-7 (GP1, AIN2) i MQ-9 (GP1, AIN4), zasilane z szyny VBUS (5 V). Zastosowano sterowanie kluczowania modułów (GP1…3) z fazą grzania 60 s i fazą pomiaru 90 s. Przetwornik ADC pracuje w trybie pojedynczego pomiaru z najdłuższym możliwym czasem przetwarzania (125 ms). Każdy pomiar jest powtarzany 10 razy i uśredniany. Wyniki pomiarów w czterech kanałach są wysyłane do aplikacji Thonny i w postaci liczbowej pokazywane do okna Shell oraz (w postaci wykresu) do okna Plot. Przykładowy widok środowiska Thonny w trakcie pracy aplikacji pomiarowej pokazano na **rysunku 4**.

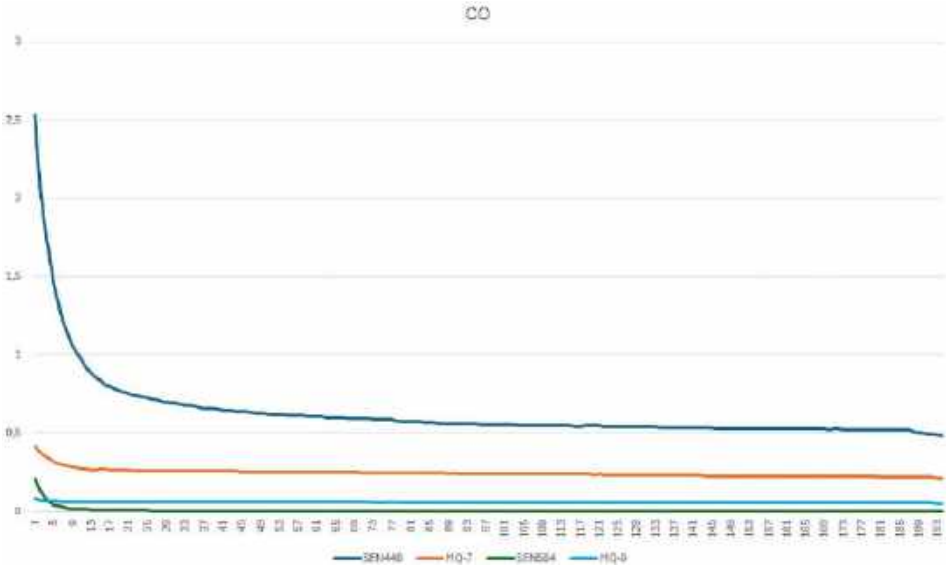


Rysunek 4. Thonny w trakcie pracy aplikacji pomiarowej

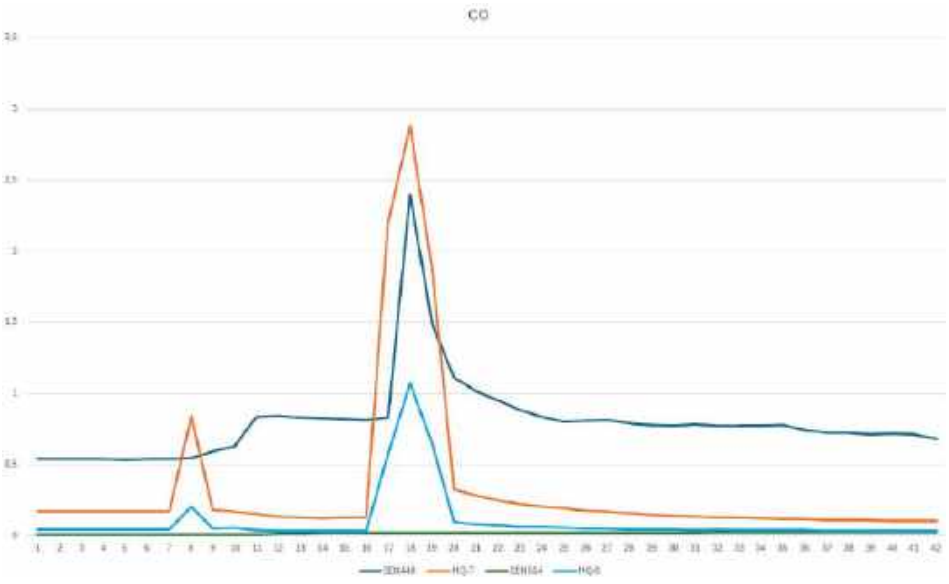
Dodatkowo wyniki są zapisywane do pliku CO_gas_data.txt. Umożliwia to późniejszą pełną analizę – szczególnie że pomiary są wykonywane w odstępach ponad 2,5 minuty, co oznacza długi czas zbierania danych.

Zastosowanie przetwornika ADS1115 ograniczyło liczbę kanałów jednoczesnego pomiaru do czterech. Pomiary były wykonywane co 2 min 35 s. Praca przetwornika ADC jest sygnalizowana diodą LED na płytce Pico 2.

Napięcia wyjściowe modułów z czujnikami z obu serii, po długim czasie magazynowania mogą być bardzo duże i wynosić ponad 4 V, co powoduje przekroczenie zakresu wejściowego napięcia przetwornika ADS1115, który wynosi maksymalnie VCC+0,3 V (czyli 3,6 V). Jednak po kilkugodzinnym wygrzewaniu czujników napięcie początkowe jest zdecydowanie niższe. Przykładowe wyniki pomiarów po 12 godzinach wstępnego wygrzewania i jednej dobie wyłączenia zasilania czujników pokazano na **rysunku 5**. Wydaje się, że najprostszym rozwiązaniem problemu po dłuższym nieużywaniu czujników jest ich wstępne wygrzewanie bez podłączania do wejść przetwornika ADC.



Rysunek 5. Praca czujników po dobie wyłączenia zasilania



Rysunek 6. Próby czujników z testerem CO

Podczas prac nad prototypem został przeprowadzony test czujników z zastosowaniem testera czujników CO w aerozolu [13], przeznaczonego do testowania detektorów tlenku węgla oraz czujników dymu tytoniowego. Umożliwia on proste i szybkie sprawdzenie prawidłowości działania czujnika CO.

eprasa.pl dfb64580ab

Testy przeprowadzono po 12 godzinach ciągłej pracy. Cztery czujniki zostały umieszczone obok siebie. W pierwszym teście gaz był rozpylany w powietrzu tuż obok czujników, bezpośrednio przed pomiarem nr 8 (**rysunek 6**). Następnie czujniki zostały umieszczone w woreczku strunowym z pozostawieniem małego otworu na rurkę zamocowaną na dozowniku. W drugim teście gaz był podawany do woreczka przez 3 sekundy bezpośrednio przed pomiarem nr 17. Do wizualnego obserwowania eksperymentów na bieżąco bardzo pomocny okaże się wykres (Plot) dostępny w środowisku Thonny.

Każdy z czujników reagował inaczej. Najszybciej na zmiany odpowiadał MQ-9. Napięcie pomiarowe szybko wracało także do wartości bliskiej początkowej. Podobnie sprawnie reagował sensor MQ-7. Czujnik SEN0440 zareagował na pierwszy test ze sporym opóźnieniem. Po obu testach raportował on przez długi czas podniesiony poziom stężenia (sztucznie zawyżone napięcie pomiarowe). Zmodyfikowany moduł czujnika SEN0564 w obu testach nie zareagował na CO. Dodatkowa próba z oryginalnym modułem zakończyła się tak samo. Wymaga to dokładniejszych badań. Za to dodatkowa próba z czujnikiem MQ-2 wypadła pozytywnie.

Tak bardzo proste warunki umożliwiają tylko sprawdzenie, czy czujnik reaguje na obecność CO. Wydaje się, że odpowiedź czujników dla małego stężenia CO może być różna przy różnej czułości.

Podsumowanie

Czujniki z serii MQ można bardzo tanio (za kilka złotych) kupić na chińskich portalach sprzedażowych. Ale już wiarygodne zastosowanie modułu z takim czujnikiem nie jest łatwe. Sensor wymaga czystego i dokładnego napięcia zasilania 5±0,1 V, przy dosyć dużym prądzie na poziomie ok. 160 mA. W obecnych systemach mikroprocesorowych z typowym zasilaniem 3,3 V nie jest to łatwe do zrealizowania. Czujniki MQ-7 i MQ-9 wymagają ponadto kluczowania zasilania grzałki, a fabryczne moduły w ogóle tego nie umożliwiają. Moduły z przetwornicami DC/DC na płytce w zasadzie nie nadają się do rozsądnego zastosowania z uwagi na poziom szumów.

Czujniki z serii Fermion w technologii MEMS są prostsze do zasilenia (3,3 V). Dane katalogowe obiecują też szybką i silną odpowiedź na wystąpienie mierzonych gazów. Jednak to również wymaga dokładniejszego sprawdzenia, zwłaszcza w testach porównawczych.

Przeprowadzone zostały bardzo proste eksperymenty z wykrywaniem gazu CO. Kolejny planowany eksperyment pomoże sprawdzić zachowanie tych czujników w porównaniu z nowoczesnym czujnikiem środowiskowym BME688.

Czujniki z serii MQ i Fermion mierzą stężenie gazu lub dymu w praktyce niemalże tylko w sposób jakościowy. Producenci ostrzegają, że moduły są przeznaczone do celów edukacyjnych i hobbystycznych. Nie ma gwarancji ich prawidłowego działania w zastosowaniach medycznych, ochronnych lub podobnych.

Warto dodać, że sensory reagują tylko na skład powietrza docierającego bezpośrednio do wnętrza czujnika. Tak więc czas i poziom reakcji czujnika zależy od miejsca jego umieszczenia, przepływu powietrza i innych czynników zewnętrznych.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

Literatura:

[1] Zastosowanie czujnika MQ-7 do pomiaru tlenku węgla (CO), EP 5/2025, https://ep.com.pl/projekty/moduly-w-aplikacjach/16506-internet-rzeczy-w-pomiarach-srodowiskowych-17-zastosowanie-czujnika-mq-7-do-pomiaru-tlenku-wegla-co
[2] Winsen MQ Sensor, https://www.winsen-sensor.com/mq-sensor.html
[3] How MQ2 Gas/Smoke Sensor Works? & Interface it with Arduino, 2025, Last Minute Engineers, https://lastminuteengineers.com/mq2-gas-senser-arduino-tutorial/#google_vignette
[4] Air Sensors, https://www.dfrobot.com/category-85.html
[5] Grove – Gas Sensor(MQ2) (SKU 101020055), https://www.seeedstudio.com/Grove-Gas-Sensor-MQ2.html
[6] modMQ-2 – moduł z czujnikiem stężenia gazów palnych oraz dymu, Kamami, https://kamami.pl/czujniki-gazow/211357-mod-mq-2-modul-z-czujnikiem-stezenia-gazow-palnych-oraz-dymu-5906623441082.html
[6] MQ-2 Gas Sensor (SKU:9529), Waveshare, https://www.waveshare.com/MQ-2-Gas-Sensor.htm
[7] Fermion: MEMS Multi-Gas Detector – CO/CH4/Ethanol Sensor (SEN0440), DFRobot, https://www.dfrobot.com/product-2419.html
[8] Fermion: MEMS Smoke Gas Detection Sensor (SEN0570), DFRobot, https://www.dfrobot.com/product-2698.html
[9] Fermion: MEMS Carbon Monoxide CO Gas Detection Sensor (SEN0564), DFRobot, https://www.dfrobot.com/product-2697.html
[10] Pytka Raspberry Pi Pico 2/2W z procesorem RP2350, „Elektronika Praktyczna" 3/2025, https://ep.com.pl/projekty/moduly-w-aplikacjach/16453-internet-rzeczy-w-pomiarach-srodowiskowych-15-plytka-raspberry-pi-pico-2-2w-z-procesorem-rp2350
[11] Gravity: I²C ADS1115 16-Bit ADC Module, DFR0553, DFRobot, https://www.dfrobot.com/product-1730.html
[12] ADS1115_mpy, A MicroPython module for the ADS1115 ADC. Wolfgang (Wolle) Ewald, https://github.com/wollewald/ADS1115_mpy
[13] AG Tester czujników CO, aerozol 400ml, AG Termopasty ART. AGT-212, https://kamami.pl/sprezone-powietrze/1184228-art-tagt-212-tester-czujnikow-co-400ml-5901764325000.html

REKLAMA



eprasa.pl dfb64580ab

Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce (8)

W poprzednich częściach tego cyklu omawialiśmy rozwiązania łączności bezprzewodowej oszczędzające energię. Moduły LoRa i odpowiednio dobrane anteny oferowały zasięgi zaczynające się od kilometra w linii wzroku. Z kolei Bluetooth Low Energy – mimo złożoności w warstwie protokołu – oferował wydajne rozwiązanie o zasięgu bardziej lokalnym. Jednakże wszystkie omawiane technologie łączy jedna cecha: wymóg posiadania stacji bazowej, która będzie odbierać i przekazywać dalej nasze dane. W sytuacji, gdy nasze energooszczędne urządzenie i stacja bazowa są relatywnie statyczne, nie stanowi to problemu. Co jednak zrobić w przypadku, gdy nasze urządzenie podróżuje po całym świecie? Jest i na to rozwiązanie. I o nim będzie mowa w ósmym odcinku cyklu „Oszczędzanie energii w teorii i w praktyce".



Poprzednie odcinki znajdują się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**



Wspomnianym rozwiązaniem jest sieć telefonii komórkowej, do której dostęp można uzyskać bardzo łatwo – nawet, jeśli pożądany jest dostęp na całym świecie. Dodanie takiej łączności do projektu nie jest zbyt trudne i nie wymaga żadnej dodatkowej certyfikacji (potwierdzenia zgodności ze standardami łączności radiowej) – na rynku dostępne są bowiem specjalne, certyfikowane moduły, a ich implementacja w projekcie jest relatywnie prosta. Czytelnik może zadać pytanie, który operator oferuje globalny dostęp do sieci komórkowej bez opłat roamingowych. Nie jest to żaden z operatorów znanych z reklam, ale o tym będzie mowa w dalszej części artykułu.

Krótko o sieci telefonii komórkowej

Autor zdaje sobie sprawę, iż większość Czytelników spotkała już się z opisem budowy i działania sieci komórkowej, gdyż takie informacje pojawiają się w każdym artykule poruszającym tematykę tej formy łączności. Mimo to skrócony opis zostanie dodany i tutaj – głównie dla tych, których ów temat jakimś sposobem do tej pory ominął.

Sieć telefonii komórkowej w swojej najbardziej podstawowej formie jest systemem łączności radiowej, w którym jedna stacja bazowa (wieża) łączy się z wieloma przenośnymi urządzeniami drogą radiową. Rozwiązania tego typu istniały od wielu dekad i były stosowane na przykład w branży transportowej czy przez różne służby. Ograniczeniem tych wczesnych systemów był zasięg stacji bazowej i przenośnego urządzenia – wyjście poza zasięg stacji uniemożliwiało prowadzenie łączności. Telefonia komórkowa rozwiązała ten problem budując wiele mniejszych stacji bazowych, każda z nich zaś pracowała na innej częstotliwości – tak wybranej, by sąsiednie wieże się wzajemnie nie zakłócały. Urządzenie przenośne zaś automatycznie łączyło się z najbliższą wieżą, a w chwili wychodzenia z zasięgu jednej stacji i wchodzenia w zasięg drugiej automatycznie zmieniało kanał, czego użytkownik nawet nie zauważał. Pierwotnie systemy te były całkowicie analogowe, a liczba realizowanych równolegle połączeń – mocno ograniczona. Ponadto same połączenia nie były szyfrowane.

Jeśli idzie o warstwę fizyczną łączności, to system telefonii komórkowej nie uległ zbyt wielu modyfikacjom – zmieniły się jedynie częstotliwości pracy i rodzaj modulacji. Jednak wraz z rozwojem technologii nastąpiła też zmiana w warstwie formatu i protokołu łączności. Urządzenie przenośne, czyli na przykład telefon komórkowy, otrzymało kartę SIM (ang. Subscriber Information Module – moduł informacji abonenta), czyli kartę zawierającą mikrokontroler(-y), pamięć EPROM i EEPROM/Flash. W pamięci EPROM zapisany jest numer IMSI (ang. International Mobile Subscriber Identity – międzynarodowa tożsamość abonenta mobilnego), 64-bitowy numer identyfikujący konkretne konto abonenckie. Ponadto karta zawiera też unikalny, 128-bitowy klucz kryptograficzny. Klucz ten jest używany do weryfikacji autentyczności karty. W momencie nawiązania łączności z siecią komórkową wysyłany jest do niej numer IMSI, a w odpowiedzi zostaje wygenerowana liczba losowa. Karta SIM używa jej – oraz klucza – do wygenerowania odpowiedzi, która porównywana jest z odpowiedzią wygenerowaną po stronie wieży. Po potwierdzeniu autentyczności następuje wygenerowanie kluczy szyfrujących dalszą łączność. Karta SIM zawiera też dane identyfikujące operatora, do którego sieci karta jest przypisana. Operatorzy tworzą własne sieci łączności komórkowej stawiając wieże – i ten właśnie numer pozwala urządzeniu łączyć się tylko z wieżami tej samej sieci, co karta SIM.

Sama karta SIM zawiera jeszcze dwa elementy, obecnie nieco zapomniane: pamięć na wiadomości oraz kontakty, a także sprzętowy silnik Java, z uproszczoną i ograniczoną wersją języka. Silnik ten stosowany jest przez operatorów do dostarczania dodatkowych usług, jak nieskomplikowane gry, aplikacje informacyjne i proste funkcje lokalizacji, oparte o położenie najbliższych wież. Dodatki te wciąż są dostępne, ale nie są obecnie zbyt popularne.

Warto jeszcze wspomnieć o dwóch aspektach działania kart SIM i sieci komórkowej z punktu widzenia operatora. Po pierwsze, jeśli karta SIM ulegnie uszkodzeniu, operator wymienia ją poprzez przypisanie nowego numeru IMSI, klucza kryptograficznego i fizycznej karty do konta abonenta. Normalnych kart SIM nie da się bowiem przeprogramować. W przypadku eSIM sytuacja ma się nieco inaczej, są to bowiem układy wbudowane bezpośrednio w urządzenie, z dedykowaną

eprasa.pl dfb64580ab

pamięcią na numer IMSI i klucz, które operator może zaprogramować zdalnie. Co ważne, klucza z tego układu też nie da się odczytać, ale można go nadpisać, gdy urządzenie trafi do nowego użytkownika.

Drugim, dla nas szczególnie istotnym aspektem, jest sposób współpracy między operatorami. Jeśli urządzenie z kartą SIM operatora znajdzie się poza zasięgiem jego sieci, na przykład w innym kraju, może połączyć się z lokalną siecią komórkową i wykorzystać ją w roli pośrednika w łączności z siecią operatora. Operatorzy obu sieci negocjują między sobą opłaty za pośrednictwo w tej łączności, które są przerzucane na użytkownika jako opłaty roamingowe. Skutkiem ubocznym jest też istnienie operatorów wirtualnych (MVNO – Mobile Virtual Network Operator – wirtualny operator sieci komórkowej), którzy nie mają własnej infrastruktury telekomunikacyjnej, ale wynajmują ją od innego operatora. Główni operatorzy wirtualni w Polsce korzystają z infrastruktury pojedynczych operatorów, ale niektórzy, mniej znani gracze na tym rynku, mają umowy z kilkoma operatorami posiadającymi własną infrastrukturę.

Karta SIM na cały świat

Załóżmy, iż potrzebne jest urządzenie przesyłające informację o lokalizacji z dowolnego miejsca na świecie. Urządzenie takie można wyposażyć w gotowy moduł GSM, ale stosując usługę typowego operatora telefonii komórkowej trzeba się liczyć z dość znaczącym kosztem takiego rozwiązania, zwłaszcza przy obecnych – niekiedy wysokich – opłatach roamingowych. Ponadto, by nie stracić ważności konta, należy też płacić abonament lub regularnie doładowywać konto w ofertach na kartę. Zakładając, że urządzenie potrzebuje przekazać jednorazowo 128 bajtów danych, nawet raz na minutę, to da 180 kB danych na dobę i trochę ponad 5,27 MB na miesiąc, co nawet przy najtańszej ofercie operatora na polskim rynku jest mało opłacalne w dłuższej perspektywie, zwłaszcza że typowe oferty zawierają pakiety od 1 GB na miesiąc (których nigdy nie wykorzystamy w tym zastosowaniu). Inaczej mówiąc – będą to pieniądze wyrzucone w błoto. Typowo 1800 złotych na 10 lat. Oczywiście klient biznesowy, potrzebujący wielu kart SIM do wielu urządzeń, może liczyć na znaczne zniżki i ulgi, nadal jednak koszty będą zbyt wysokie. Na szczęście istnieją operatorzy wirtualni, który oferują karty SIM korzystające z każdej dostępnej sieci komórkowej, gdzie ponosimy jednorazową opłatę, by mieć kartę ważną 10 lat, z pakietem danych skrojonym na nasze potrzeby. Typowa oferta 500 MB za około 120 złotych pozwala na przesyłanie około 100 bajtów danych co minutę przez 10 lat, czyli tyle, ile ważna będzie sama karta. Dla 128 b będzie to 7 lat i 10 miesięcy łączności. Optymalizując to, kiedy i jakie informacje przesyłamy, można też zwiększyć ilość tychże danych. W końcu nie musimy raportować lokalizacji co minutę, jeśli ta nie zmienia się np. przez kilka godzin.

Istnieje wiele firm oferujących karty SIM z pakietem danych dla branży IoT. Zwykle pakiet ten ma rozmiar 500 MB, ale istnieją też pakiety większe i mniejsze. Co ciekawe, porównując ceny podobnych kart w Polsce i w Chinach, nie widzimy różnicy. Ba, chińskie karty SIM na rynek UE kosztują więcej, niż karta globalna dostępna w Polsce. Warto też pamiętać, iż kartę można też doładować. Trzeba jednak wiedzieć, że tylko część kart oferuje opcję przesyłania wiadomości SMS, a ta funkcja może być pożądana. Inna sprawa to często stosowane limity miesięczne, typowo 10 MB, a i zdarzają się limity dzienne. Ponadto nie każda karta SIM będzie działać w każdej sieci, jeśli chodzi o transmisję danych. Dokładniej rzecz biorąc, karta SIM 3G może nie działać w sieci 4G, jeśli ta nie jest skonfigurowana w trybie kompatybilności wstecznej. Za to karta SIM 4G będzie kompatybilna wstecznie z sieciami 3G i 2G. Oczywiście wiąże się to z niższą prędkością transmisji, ale w naszym przypadku nie ma to większego znaczenia.

Warto też pamiętać, iż karta SIM może być ważna 10 lat, ale to nie jest gwarancją, iż pozostanie sprawna przez cały ten czas. Podobnie samo urządzenie może ulec awarii, jeszcze zanim skończy się ważność karty – szczególnie, jeśli jest to tracker narażony na trudne warunki atmosferyczne i wibracje. Projektując urządzenie należy zadbać o solidne wykonanie mechaniczne, hermetyczność obudowy lub/i powłoki konformalne na płytce drukowanej.

Płytka GSM/GPS AND Technologies BK-A7970 z modułem SIMCOM A7670E

Projektowanie własnego rozwiązania GSM z użyciem dedykowanych układów scalonych wymaga sporego doświadczenia z zakresu układów w.cz., a samo urządzenie musi przejść rygorystyczną certyfikację, zanim będzie dopuszczone do sprzedaży. Dlatego dużo lepszym rozwiązaniem jest użycie gotowego modułu, który realizuje wszystkie zadania związane z komunikacją radiową i ma już zapewnione wszystkie wymagane certyfikaty. Przykładem takiego rozwiązania jest pokazana na fotografii 1 płytka firmy AND Technologies, wyposażona w komplet potrzebnych elementów niezbędnych do pracy modułu SIMCOM A7670E, wliczając w to dwa gniazda nanoSIM, gniazda antenowe do anten GSM i GPS oraz elementy towarzyszące. Moduł taki jest niedrogim rozwiązaniem, a od strony użytkownika wymaga jedynie mikrokontrolera, który będzie się z nim komunikować przez interfejs UART za pomocą komend AT. Z drugiej jednak strony płytka firmy AND Technologies okazuje się nie do końca praktyczna w montażu: na płycie docelowego urządzenia należy mieć zarówno gniazdo goldpin 2,54 mm, jak i miejsce na kołek montażowy lub tuleję dystansową do umocowania modułu. Zwiększa to całkowitą grubość konstrukcji. Antenom należy też zapewnić dedykowane miejsca montażowe w obudowie urządzenia. Użycie samego modułu SIMCOM A7670E lub podobnego jest dużo łatwiejsze, gdyż wystarczy go do płytki przylutować, ale projektant musi uwzględnić wszystkie elementy peryferyjne, takie jak na przykład gniazdo (lub gniazda) SIM czy anteny (lub gniazda do nich). Z drugiej strony moduł oferuje też więcej interfejsów, niż wyprowadza gotowa płytka.

Moduł A7670E firmy SIMCOM obsługuje wszystkie pasma GSM i większość pasm LTE, w tym LTE FDD B20, powszechnie stosowane w Polsce. Nie wspiera natomiast technologii LTE TDD, która to dopiero jest wdrażana w naszym kraju. Moduł oferuje interfejs audio PCM, co pozwala zastosować go do budowy własnego telefonu komórkowego (Autor sam rozważał nawet taki projekt), choć płytka BK-A7670 nie udostępnia wyprowadzeń tego interfejsu.

Port USB pozwala za to użyć moduł jako peryferium do zwykłego komputera, umożliwia także kontrolowanie transceivera za pomocą komend AT – bez użycia adaptera – oraz aktualizację wewnętrznego oprogramowania modułu. Płytka z modułem wyprowadza dwa wejścia sterujące – jedno do usypiania modułu, drugie zaś do jego wyłączania. W zestawie z modułem znajdują się dwie anteny: jedna na pasma GSM/LTE, druga do odbioru sygnałów nawigacji satelitarnej. Znajdziemy też na niej regulator napięcia – sam moduł SIMCOM A7670E jest dostosowany do pracy z akumulatorami Li-Ion, Li-Po i $LiFePO_4$. Noty katalogowe płytki i samego modułu są bardzo ubogie w szczegóły, jeśli chodzi o pobór prądu, dlatego w przyszłości przeprowadzone zostaną dokładne pomiary.

Interfejs UART na płytce modułu ograniczony jest do linii Tx i Rx, ale moduł ma także linie potrzebne do pracy ze sprzętową kontrolą przepływu, co może być przydatne, jeśli chcemy wymieniać duże ilości danych. Prędkość transmisji wynosi 115200 bps.



Fotografia 1. Płytka BK-A7670 firmy AND Technologies zawiera wszystkie potrzebne komponenty do pracy modułu SIMCOM A7670E, dzięki którym można łączyć się z siecią GSM 4G/LTE. Zdjęcie pochodzi ze strony dystrybutora

eprasa.pl dfb64580ab

Komendy AT to standard, którego historia sięga lat osiemdziesiątych XX wieku. W 1981 roku firma Hayes Communications wprowadziła na rynek modem oferujący zbiór instrukcji, pozwalających na łatwe sterowanie modemem, nawiązywanie i przerywanie połączeń oraz przełączanie się między trybami poleceń i transferu danych. Zestaw poleceń Hayesa był i wciąż pozostaje popularnym rozwiązaniem sterowania zewnętrznymi modemami różnych typów. Popularne wśród hobbystów oraz spotykane często w automatyce domowej moduły ESP-01 z układami ESP8266 domyślnie używają właśnie komend AT Hayesa, choć obecne implementacje są mocno rozbudowane względem pierwotnej wersji. Wszystkie polecenia zaczynają się od liter AT, po których może pojawić się kilka kolejnych liter (odnoszących się do funkcji danego modelu) lub znak + i ciąg liter, czasem z następującymi po nim parametrami, które konfigurują i realizują połączenie. Zapoznajmy się z niektórymi z dostępnych poleceń, by móc w przyszłości nawiązać przykładowe połączenie. Pierwszą, podstawową komendą testową jest polecenie:

```
AT
```

Jeśli moduł działa poprawnie, zwraca do urządzenia nadrzędnego odpowiedź Ok i jest to domyślna odpowiedź na polecenia oznaczająca ich pomyślne wykonanie. Następne polecenia to:

```
ATE0
AT+CMEE=2
```

Pierwsze wyłącza lokalne echo, drugie ustawia tryb odpowiedzi modułu na bardziej szczegółowy. Następnie należy sprawdzić stan karty SIM:

```
AT+CPIN?
+CPIN: READY
Ok
```

Jeśli karta SIM wymaga podania kodu PIN, używa się polecenia:

```
AT+CPIN=<PIN>
```

Następnie warto sprawdzić siłę sygnału poleceniem:

```
AT+CSQ
+CSQ: <RSSI>,<BER>
Ok
```

gdzie <RSSI> to siła sygnału od 0 do 31, przy czym im wyższa wartość, tym lepiej, zaś <BER> to wskaźnik liczby błędów w transmisji (przyjmuje wartości od 0 do 7, przy czym im niższa wartość, tym mniej błędów). Sprawdzanie siły sygnału nie jest konieczne.

W celu zweryfikowania statusu połączenia z siecią LTE wystarczy podać polecenie:

```
AT+CEREG?
+CEREG: <n>,<status>
Ok
```

gdzie <n> to tryb pracy sieci (parametr ten przyjmuje wartości 0, 1 lub 2). O wiele istotniejszy jest drugi parametr, gdyż wskazuje on na stan rejestracji w sieci i przyjmuje wartości od 0 do 8. Wartości te mają następujące znaczenie:

0 – niezarejestrowany, moduł nie szuka sieci,
1 – zarejestrowany w domyślnej sieci,
2 – niezarejestrowany, ale moduł szuka sieci,
3 – rejestracja odrzucona,
4 – nieznany, może oznaczać brak zasięgu sieci,
5 – zarejestrowany do sieci w trybie roamingu,
6 – zarejestrowany, tylko wiadomości SMS,
7 – zarejestrowany, tylko wiadomości SMS w roamingu,
8 – tylko połączenia alarmowe.

Ten ostatni status oznacza zwykle, iż z jakiegoś powodu nie można korzystać w sposób normalny z sieci lub też nastąpiła awaria karty SIM. Jeśli moduł musi pracować w trybie 2G z siecią GPRS/EGPRS, odpowiednim poleceniem jest:

```
AT+CGREG?
+CGREG: <n>,<status>
Ok
```

Parametry są takie same, jak w przypadku AT+CEREG. W celu nawiązania połączenia należy najpierw skonfigurować opcje sieci, a następnie nawiązać połączenie:

```
AT+CGDCONT=1,"IP","<APN>"
AT+CGACT=1,1
```

lub:

```
AT+CGDCONT=1,"IP","<APN>"
AT+CGAUTH=1,1,"<login>","<hasło>"
AT+CGACT=1,1
```

Wartość <APN>, czyli Access Point Name, to nazwa punktu dostępu dla dla transmisji danych. Polecenie AT+CGAUTH wymagane jest wtedy, gdy trzeba podać nazwę użytkownika i hasło do sieci – nie zawsze jest to wymagane. Domyślną nazwą APN dla wielu operatorów, w tym operatorów globalnych kart SIM, jest Internet i zazwyczaj nie wymagają oni loginu i hasła. Inne możliwe nazwy APN to: globaldata, m²m.apn, iot.apn i tym podobne. Smartfony, w przeciwieństwie do modułów A7670 i innych, dysponują bazami danych APN i mogą wybrać odpowiednie parametry na podstawie kodu kraju (MCC) i sieci (MNC). Smartfony potrafią też uzyskać dane APN z sieci w chwili nawiązania zwykłego połączenia z siecią GSM/LTE. By zakończyć połączenie używamy polecenia:

```
AT+CGACT=0,1
```

Po aktywacji połączenia z siecią należy wskazać adres serwera, na który chcemy przekazać dane. Polecenie wygląda następująco:

```
AT+CIPOPEN=<ln>,"TCP","
<adres_serwera>",<port_serwera>
```

Jako nazwę serwera można użyć zarówno pełnego adresu, jak i numeru IP. Warto pamiętać, iż podane wcześniej wartości nawiązują połączenie z siecią IPv4. Wartość <ln> to numer połączenia i przyjmuje wartości od 0 do 9. Dzięki temu moduł może nawiązywać połączenia z kilkoma serwerami naraz. By wysłać dane używa się polecenia:

```
AT+CIPSEND=<ln>,<length>
```

Pole <ln> to numer połączenia, <length> zaś to opcjonalny parametr liczby bajtów do wysłania, przyjmujący wartości od 1 do 1500. Moduł odpowie znakiem >, co oznacza przejście w tryb transmisji danych. Jeśli podano liczbę bajtów, moduł będzie w tym trybie aż do przesłania zadanej liczby danych lub do otrzymania znaku kończącego transmisję: <Ctrl+Z>, czyli kod ASCII nr 26. By odczytać dane stosuje się polecenie:

```
AT+CIPRXGET=<m>,<ln>,<length>
```

Pierwsze pole to tryb odczytu:

0: tryb automatyczny – odpowiedź serwera jest wysyłana przez UART, jak tylko się pojawi,
1 – tryb ręczny, w którym moduł czeka na użytkownika, by ten pobrał dane z bufora.
2 – zwykły tryb odczytu,
3 – tryb odczytu HEX,
4 – służy do odczytu liczby bajtów pozostających w buforze.

Przykładowa sekwencja może wyglądać następująco:

```
AT+CIPRXGET=1
Ok
AT+CIPRXGET=4,0
+CIPRXGET: 4,0,25

Ok
AT+CIPRXGET=2,0,10
+CIPRXGET: 2,0,10,15
0123456789

Ok
AT+CIPRXGET=4,0
+CIPRXGET: 4,0,15

Ok
```


eprasa.pl dfb64580ab

Moduł na żądanie odczytu danych podaje najpierw informację o wybranym trybie, połączeniu, liczbie bajtów do odczytania i liczbie bajtów, jakie pozostaną w buforze. Potem transceiver przesyła dane. W trybie 2 bufor ma pojemność 1500 bajtów, a w trybie – 3 750 wartości szesnastkowych. Aby zakończyć połączenie TCP używa się polecenia:

AT+CIPCLOSE=<ln>

gdzie <ln> to oczywiście numer połączenia. Z kolei polecenie:

AT+CIPSTAT=<ln>

pozwala sprawdzić, ile bajtów zostało wysłanych i odebranych przez dane połączenie TCP, dla przykładu odpowiedź:

AT+CIPSTAT=0
+CIPSTAT: 100, 25

oznacza, że wysłano 100 bajtów, a odebrano 25 bajtów.

Omawiany moduł oferuje też specyficzne polecenia do obsługi protokołów SMTP, FTP czy HTTP. Opisane powyżej polecenia dotyczą protokołu TCP/UDP, choć skupiliśmy się jedynie na TCP. Warto jeszcze spojrzeć na komendy związane z modułem GPS. Polecenie:

AT+CGPS=<on>,<mode>

aktywuje nawigację i wybiera tryb pracy. Parametr <pn> przyjmuje wartości 0 lub 1, przy czym 1 włącza moduł. Parametr <mode> wybiera tryb pracy nawigacji. W trybie 1 moduł szuka sygnałów satelitów systemów GPS oraz GLONASS i na tej bazie oblicza pozycję. Tryb ten jest najbardziej energooszczędny, ale przy tym i najwolniejszy, zaś czas od aktywacji do uzyskania pozycji wynosi średnio około 30 sekund przy pierwszym uruchomieniu. Tryb 2 to tryb AGPS, w którym z sieci telefonii komórkowej pobierane są skorygowane dane co do pozycji satelitów, a także lokalizacja najbliższej wieży sieci komórkowej oraz dodatkowe informacje. Moduł dokonuje obliczeń za pomocą tych danych i dostarcza dokładniejszą informację o położeniu – nieco szybciej, niż w trybie pierwszym. Tryb 3 działa podobnie, ale moduł przekazuje „surowe" dane odebrane z satelitów, a sieć komórkowa dokonuje wszystkich obliczeń i zwraca dane o położeniu. Nas interesuje głównie tryb 1, gdyż nie chcemy nadwyrężać budżetu (zarówno w zakresie połączeń, jak i zapotrzebowania energetycznego). Z tym poleceniem powiązane są jeszcze dwie inne komendy:

AT+CGPSCOLD
AT+CGPSHOT

Pierwsza powoduje „zimny start" modułu GPS po użyciu polecenia AT+CGPS=0, druga zaś to „gorący start". Różnica między nimi polega na tym, że przy zimnym starcie moduł czeka, aż satelity nadadzą wszystkie niezbędne informacje o swoim położeniu, zanim zacznie obliczenia pozycji. Średni czas to wspomniane min. 30 sekund. W trybie gorącego startu moduł korzysta z danych, które zostały otrzymane przy poprzedniej sesji pracy modułu GPS. Przy „gorącym starcie" pozycja jest dostępna zwykle w mniej niż 5 sekund. Z trybem AGPS powiązane są dwa dodatkowe polecenia:

AT+CGPSURL="<adres>"
AT+CGPSSSL=<n>

Pierwsze polecenie wskazuje adres URL serwera AGPS, którego ma używać moduł. Drugie zaś pozwala włączyć (<n> = 1) lub wyłączyć (<n> = 0) użycie certyfikatu SSL w łączności z serwerem AGPS. Użycie certyfikatu chroni przed atakiem polegającym na przekazaniu modułowi błędnych danych AGPS celem zafałszowania jego położenia. Jeśli korzystamy z AGPS, warto stosować łączność SSL, jeśli tylko jest dostępna, choć szansa na to, iż konkretny lokalizator padnie ofiarą ataku typu GPS spoofing, jest raczej nikła. Kolejne polecenie:

AT+CGPSAUTO=<n>

włącza (<n> = 1) lub wyłącza (<n> = 0) automatyczny start odbiornika GPS w trybie 1 po załączeniu zasilania. Domyślnie tryb autostartu jest wyłączony. Inną ważną komendą jest:

AT+CGPSNNEA=<nmea>

Polecenie to konfiguruje, jakie informacje (zdania NMEA-0183) są przekazywane przy zapytaniu modułu o pozycję. Parametr <nmea> to 9-bitowe słowo konfiguracyjne, którego poszczególne bity pełnią następujące funkcje:

bit 0 – GPSGA – dane o położeniu: bieżący czas, szerokość i długość geograficzna, wysokość, stopień dokładności wyników, liczba widocznych satelitów,

bit 1 – GPRAMC – informacje rozszerzone: czas, status, szerokość i długość geograficzna prędkość, kurs, data, wariacja magnetyczna,

bit 2 – GPGSV – informacje o widocznych satelitach: oznaczenie, elewacja, azymut, stosunek siły sygnału do szumu,

bit 3 – GPGSA – tryb ustalania położenia satelitów, co określa błąd dokładności,

bit 4 – GPVTG – kierunek i prędkość ruchu na ziemi,

bit 5 – PQXFI – rozszerzone informacje o położeniu i jakości sygnałów,

bit 6 – GNGNS – dane o położeniu z systemu GLONASS,

bit 7 – GNGSA – to samo, co bit 3, ale dla systemu GLONASS,

bit 8 – GLGSV – dane satelitów GLONASS widzianych przez moduł.

Jeśli zależy nam na dokładnym położeniu, kursie i prędkości, rekomendowane jest zastosowanie polecenia:

AT+CGPSNMEA=17

Kolejne dwie komendy są stosowane razem, gdy używamy trybu AGPS:

AT+CGPSXE=1
AT+CGPSXD=1

Pierwsza włącza użycie pliku XTRA assist file, druga pobiera go z głównego serwera XTRA. Zmieniając wartość z 1 na 2 lub 3 można wybrać serwer drugorzędny lub trzeciorzędny. By pobrać plik, należy włączyć tryb transmisji danych.

Po skonfigurowaniu modułu przydałoby się w końcu dowiedzieć, gdzie nasze urządzenie się znajduje. Służą do tego dwa polecenia, na początek prostsze:

AT+CGPSINFO
AT+CGPSINFO=<t>

Jeśli użyjemy parametru <t> o wartości w zakresie 1...255, to moduł co t sekund będzie podawał pozycję. Jeśli t = 0, tryb ten pozostaje wyłączony. Wtedy pierwsze polecenie zwróci nam informację o położeniu. Format odpowiedzi wygląda tak:

AT+CGPSINFO
CGPSINFO: <lat>,<N/S>,<log>,<E/W>,<date>,
<UTC time>,<alt>,<speed>,<cpirse>
Ok

gdzie:

<lat> – wysokość geograficzna w formacie ddmm.mmmmmm,
<N/S> – oznaczenie wysokości: północna czy południowa,
<log> – szerokość geograficzna w formacie dddmm.mmmmmm,
<E/W> – oznaczenie szerokości: wschodnia czy zachodnia,
<date> – data w formacie ddmmyyyy,
<UTC time> – czas UTC w formacie hhmmss.s,
<alt> wysokość w metrach,
<speed> – prędkość w węzłach,
<cpirse> – kurs w stopniach.

Polecenia:

AT+CGPSINFOCFG
AT+CGPSINFO=<t>
AT+CGPSINFO=<t>,<nmea>

są analogiczne do polecenia AT+CGPSINFO z tą różnicą, że odpowiedź jest w formacie zdań NMEA-0183, przy czym parametr <nmea> możemy zdefiniować tak samo, jak w przypadku polecenia AT+CGPSNNEA.

Zakończenie

W tej części cyklu omówiony został przykładowy moduł GSM/GNSS wraz z opisem jego poleceń. W następnym odcinku przeprowadzimy praktyczną demonstrację jego użycia. Przy okazji też zademonstrowane zostaną pomiary poboru prądu dwoma metodami: z użyciem multimetru stołowego dobrej klasy oraz oscyloskopu i sondy różnicowej.

Paweł Kowalczyk, EP

eprasa.pl dfb64580ab

Pomiary zespołów głośnikowych (4)

W poprzednich odcinkach cyklu ćwiczyliśmy pomiar metodą MLS, czyli w tzw. polu dalekim. Przypomnijmy tylko krótko, że jest to dobry sposób na pomiar w warunkach amatorskich, nawet w pomieszczeniu mieszkalnym, przy spełnieniu pewnych wymogów – jednak również przy istotnym ograniczeniu zakresu częstotliwości, w którym daje on prawidłowe wyniki. Ustaliliśmy, że w praktyce, w zależności od odległości mikrofonu od głośnika i od najbliższej powierzchni odbijającej (jak też od dokładności, którą chcemy osiągnąć), zakres ten zaczyna się od 250...500 Hz. Jednak nawet w pomiarach amatorskich możemy ustalić przebieg charakterystyki również w zakresie niskich częstotliwości. Służy temu pomiar w tzw. polu bliskim.

Technika jest tutaj zupełnie inna, a wymagania lokalowe jeszcze mniejsze niż przy pomiarze MLS. Pomiar taki można przeprowadzić, z podobnym skutkiem, w zasadzie w każdych warunkach, nawet zupełnie przypadkowych, natomiast pewnym wyzwaniem jest obrobienie wyników w celu uzyskania charakterystyki odpowiadającej takiej, jaką zobaczylibyśmy w pomiarze w polu dalekim, w idealnych warunkach bezodbiciowych (w nieskończenie wielkiej, otwartej przestrzeni) lub chociażby w bardzo dużej komorze bezechowej. Jednak w zakresie najniższych częstotliwości, poniżej 100 Hz, gdzie komory bezechowe wprowadzają rezonanse (bo jednak powstają w nich odbicia bardzo długich fal), pomiar w polu bliskim jest najdokładniejszy. Ostatecznie chcemy zobaczyć charakterystykę w całym paśmie akustycznym i aby połączyć pomiar w polu bliskim z pomiarem MLS w prawidłowy sposób, musimy nad wstępnym wynikiem pomiaru w polu bliskim trochę popracować. Z kilku powodów trudno jest uzyskać bardzo wysoką dokładność, ale przy pewnej wprawie, w większości przypadków, błąd można ograniczyć do 1 dB. Inna sprawa, że – podobnie jak w przypadku pomiaru MLS – pojawiają się kwestie dyskusyjne, a wynik zależy też od poczynionych założeń. Do bardziej problematycznych kwestii szczegółowych przejdziemy później, na początku zacznijmy od podstaw.

A te znane są od wielu lat i nie będziemy tutaj odkrywać Ameryki. Doskonałą, klasyczną, wciąż aktualną (bo też aktualizowaną) pozycją literatury na ten temat jest „Testing Loudspeakers" amerykańskiego autora Josepha D'Appolito. Jest tam dokładnie omówiona teoria, której w całości nie będziemy tu przepisywać – walorem naszego cyklu ma być podejście praktyczne, oparte na doświadczeniu pomiarów ponad tysiąca zespołów głośnikowych, przeprowadzonych dla miesięcznika AUDIO. Dzięki temu możemy omawiać sytuacje typowe i nietypowe.

Podobnie jak w pomiarze w komorze bezechowej czy metodą MLS, celem pomiaru w polu bliskim jest uzyskanie charakterystyki samego głośnika (zespołu głośnikowego), wolnej od wpływu odbić. Dyskusja, czy takie założenie jest słuszne wobec faktu, że zespołów głośnikowych Hi-Fi słuchamy w pomieszczeniach zamkniętych, gdzie powstaje wiele odbić (mimo starań niektórych użytkowników o przygotowanie jak najlepszej akustyki), była już wcześniej zaprezentowana i na razie nie będziemy do niej wracać. Są też pomiary (jak RTA), które uwzględniają odbicia i które omówimy na końcu.



Poprzednie odcinki znajdują się pod adresem:
https://ulubionykiosk.pl/media

Sygnał pomiarowy, stosowany w pomiarze w polu bliskim, to klasyczna dla dawnych pomiarów analogowych sinusoida, płynnie przestrajana w funkcji częstotliwości, a w nowoczesnych systemach – tzw. sine sweep, czyli przemiatanie sinusoidą (określona częstotliwość w każdej próbce).

Pomiar w polu bliskim pozwala praktycznie na całkowite wyeliminowanie odbić. Dzięki ustawieniu mikrofonu bardzo blisko membrany (aby tylko membrana przy największych amplitudach nie uderzała w mikrofon; w praktyce stosuje się 1 cm) różnica ciśnień od głośnika i od odbić (nawet jeżeli pochodzą od niedalekich powierzchni, to są one w odległości wielokrotnie większej) faworyzuje promieniowanie bezpośrednie w takim stopniu, że ciśnienie od odbić leży na skali amplitudowej znacznie niżej, więc ma pomijalny wpływ. Nawet w przypadku, gdy głośnik niskotonowy znajduje się przy podłodze i ustawimy mikrofon na wysokości 10 cm, przy centrum membrany, to 10-krotnie większa odległość od podłogi oznacza 100-krotnie mniejsze ciśnienie. Inaczej mówiąc, poza pewnymi nietypowymi przypadkami (np. bas-refleks wyprowadzony przez dolną ściankę i promieniujący przez szczelinę między obudową a podłogą lub cokołem), wpływ odbić można zignorować. Głośnika (zespołu głośnikowego) nie trzeba ustawiać w żaden szczególny sposób, oddalać od podłogi, od ścian itd.; można do niego podejść z mikrofonem w każdym miejscu. Dlaczego więc tą wygodną metodą nie mierzymy charakterystyki w całym paśmie? W zależności od wielkości i rodzaju membrany powyżej kilkuset herców przestaje ona działać na zasadzie „sztywnego tłoka", a sama geometria membrany powoduje też, że fale krótsze dobiegają do mikrofonu w różnym czasie i charakterystyka jest skomplikowaną sumą fal o różnych fazach, biegnących z różnych części membran, w dodatku zmieniającą się pod różnymi kątami. W zakresie poniżej kilkuset herców zjawiska takie nie występują dla większości głośników i charakterystyka z dowolnej części membrany jest „reprezentatywna" dla charakterystyki z całości. Ponadto przy pomiarze w polu bliskim mikrofon znajduje się w różnych odległościach od różnych części membrany, co też powoduje przesunięcia w fazie (tym większe, im większe odległości i krótsze fale); aby ten efekt zignorować, należy utrzymywać częstotliwość graniczną takiego pomiaru zgodnie ze wzorem:

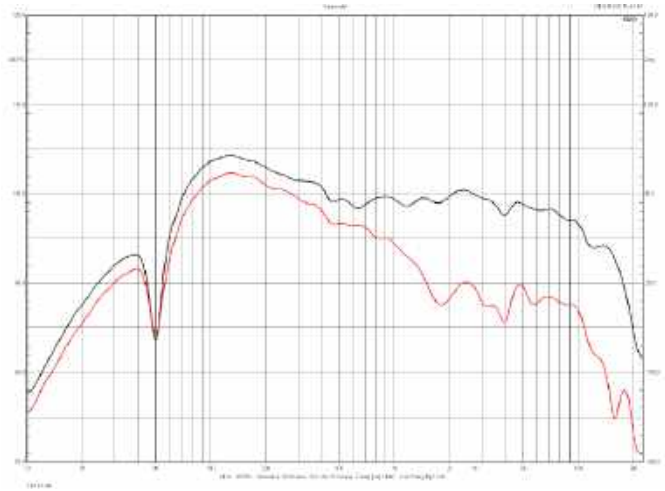
$$fmax + 10/d$$

(d – średnica membrany, fmax – częstotliwość [kHz]).

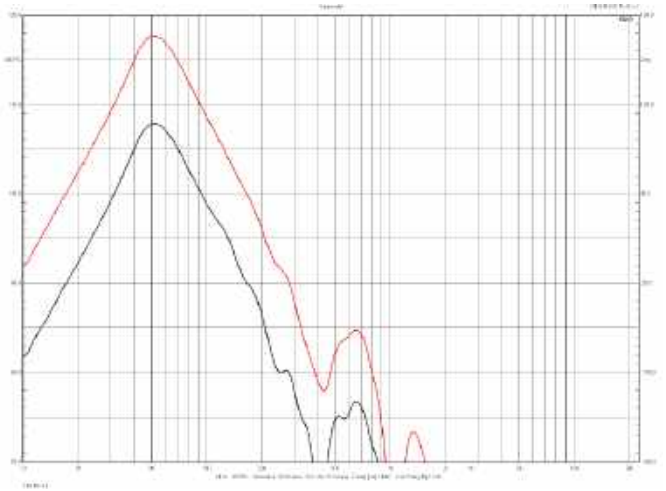
Dla dużych, 30-centymetrowych głośników niskotonowych o membranach o średnicy ok. 24 cm, granica ta wynosi więc ok. 400 Hz, a dla 18-centymetrowych, nisko-średniotonowych o membranach ok. 18 cm – w przybliżeniu 800 Hz. Dlatego też nie ma sensu pomiar tą metodą głośników wysokotonowych, gdyż dla 3-centymetrowej kopułki fmax będzie wynosić ok. 3 kHz, a to częstotliwość, przy której przetwornik wysokotonowy zwykle dopiero zaczyna swoją pracę w zespole. Zresztą nie taki jest cel pomiaru w polu bliskim – powyżej 1 kHz możemy mierzyć metodą MLS praktycznie bez żadnych problemów.

Nie należy jednak sięgać tak wysoko z pomiarem w polu bliskim również dlatego, że inaczej wygląda charakterystyka zespołu głośnikowego, złożonego z fizycznie oddalonych przetworników. Zarazem

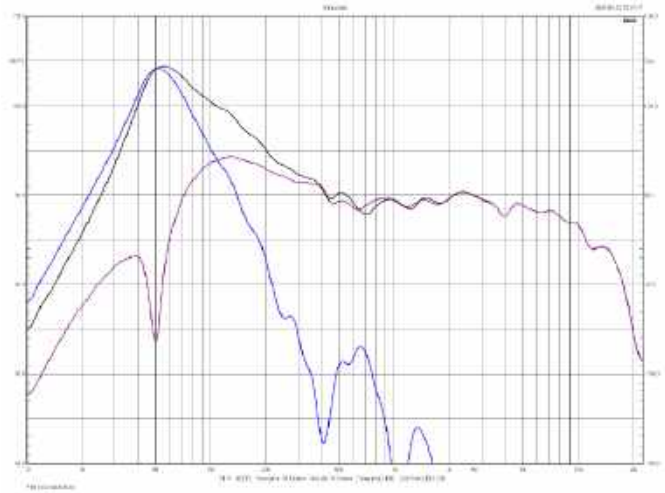
eprasa.pl dfb64580ab



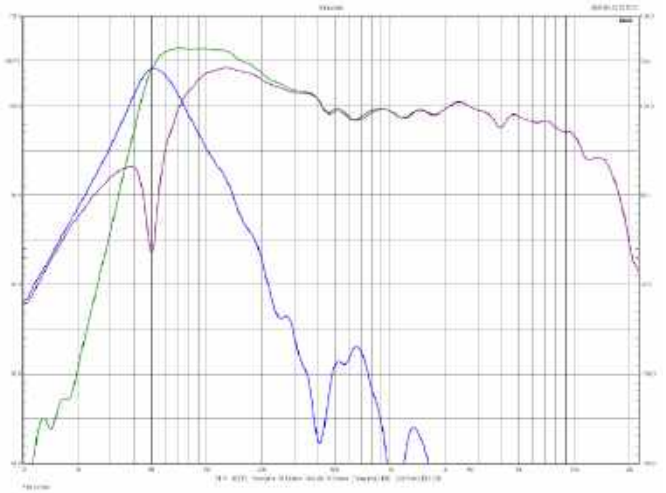
Rysunek 1. Charakterystyki zmierzone sinusoidą, w odległości 1 cm, w różnych punktach membrany – w jej centrum (czarna) i przy jej krawędzi (czerwona). Głośnik o średnicy 20 cm (membrana 14 cm)



Rysunek 2. Charakterystyki zmierzone sinusoidą, w płaszczyźnie otworu bas-refleks i wewnątrz tunelu



Rysunek 3. Charakterystyki głośnika zmierzone w pobliżu środka membrany, z odległości 1 cm (fioletowa) i w otworze bas-refleks (zmierzona w jego płaszczyźnie) – niebieska, obydwie bez korekcji poziomu, a także charakterystyka wypadkowa, obliczona przez system pomiarowy (czarna)



Rysunek 4. Charakterystyka głośnika zmierzona w pobliżu środka membrany, z odległości 1 cm (fioletowa), w otworze bas-refleks – zmierzona w jego płaszczyźnie (niebieska), z korekcją poziomu, a także charakterystyka wypadkowa, obliczona przez system pomiarowy (zielona)

oddalanie mikrofonu w pomiarze „w polu bliskim" nie daje korzyści. Zwiększa wpływ odbić, a nie poprawia obrazu charakterystyki poniżej częstotliwości granicznej; próba uzyskania za pomocą pomiaru sinusoidą prawidłowej charakterystyki powyżej częstotliwości granicznej (wyznaczonej jak wyżej), nawet pojedynczego głośnika (nie mówiąc o zespole głośnikowym), prowadzi do oddalania mikrofonu na odległość już tak dużą, że charakterystykę poważnie zaburza udział odbić w pomieszczeniu; dochodzimy do sytuacji, w której potrzebujemy komory bezechowej… tak jak kilkadziesiąt lat temu. I tutaj z pomocą, w przypadku pomiaru powyżej fmax, przychodzi metoda MLS, omawiana w poprzednich odcinkach.

Jeżeli ustalimy częstotliwość, powyżej której mamy prawidłowy pomiar metodą MLS, a poniżej – metodą w polu bliskim – to znaczy, że przy tej częstotliwości możemy obydwie części charakterystyki, zmierzone różnymi metodami, połączyć i uzyskać prawidłowy obraz charakterystyki w całym paśmie akustycznym.

Teoretycznie – w praktyce czekają na nas różne niespodzianki.

Jak jednak możemy połączyć część charakterystyki zmierzoną w odległości 1 cm z częścią zmierzoną w odległości 1 metra (albo nawet większej)? Przecież jest między nimi bardzo duża różnica ciśnień! Metody są dwie. Pierwsza, „szkolna" i pracochłonna, to przeliczenie ciśnienia uzyskanego w odległości 1 cm, na ciśnienie, jakie uzyskalibyśmy z tego samego źródła z odległości 1 m; jednocześnie wymaga to uwzględnienia powierzchni źródła. Wzoru jednak nie będziemy podawać, gdyż druga metoda jest łatwiejsza i żadnych wzorów nie wymaga. Po prostu korygujemy poziom uzyskany pomiarem w polu bliskim (jednak po pewnych operacjach na charakterystyce, o których napiszemy dalej) tak, aby obydwie części charakterystyki płynnie połączyły się przy wybranej częstotliwości (przy której obydwie są jeszcze prawidłowe, biorąc pod uwagę ich kształt).

Pierwsza sprawa do załatwienia przy pomiarze w polu bliskim to ustalenie liczby i rodzaju źródeł pracujących w zakresie niskich częstotliwości. Wszystkie musimy poddać niezależnym pomiarom, a potem wyniki tych pomiarów odpowiednio skorygować, dodać do siebie… i ewentualnie ponownie skorygować. To komplikacja tej metody, podczas gdy w pomiarze MLS jednym pomiarem obejmujemy pracę wszystkich źródeł zakresu średnio-wysokotonowego. Z kolei ułatwienie polega na tym, że w pomiarze niskich częstotliwości nie zajmujemy się pomiarami na różnych osiach, tak jak w pomiarze zakresu średnio-wysokotonowego; wynika to zarówno

eprasa.pl dfb64580ab

z samej metody pomiaru w polu bliskim, która na to nie pozwala, jak i ze specyfiki promieniowania niskich częstotliwości, które rozchodzą się falą w przybliżeniu kulistą (z wyjątkiem pewnych egzotycznych konstrukcji, np. dipoli) i różnice między charakterystykami na różnych osiach (gdybyśmy je zmierzyli np. w komorze bezechowej) byłyby niewielkie i w praktyce nieistotne.

Kształt obydwu jest podobny do ok. 600 Hz, spadek powyżej 600 Hz charakterystyki zmierzonej przy krawędzi wynika z większych przesunięć fazowych fal biegnących od bardziej oddalonych części membrany. Niższy poziom w całym paśmie również wynika z tego, że większa część membrany znajduje się dalej od mikrofonu. Jednak dla ustalenia samego kształtu charakterystyki w zakresie niskich częstotliwości, miejsce „przyłożenia" mikrofonu praktycznie nie ma znaczenia.

Obie krzywe praktycznie nie różnią się kształtem, natomiast włożenie mikrofonu do tunelu może być korzystne dla zmniejszenia wpływu promieniowania innych źródeł niskich częstotliwości, ewentualnie znajdujących się w pobliżu (czyli w praktyce – głośników niskotonowych). Kwestię ustalenia prawidłowego poziomu możemy rozwiązać za pomocą ustalenia właściwych relacji z charakterystyką głośnika niskotonowego, na podstawie znajomości mierzonej konstrukcji i ogólnych zasad działania systemu bas-refleks.

Takie złożenie i wyniki są nieprawidłowe, na skutek zbyt wysokiego poziomu z otworu bas-refleks, zarówno z powodu mniejszej odległości, jak i znacznie mniejszej powierzchni otworu w porównaniu do membrany. Właściwy poziom może zostać ustalony na podstawie obliczeń, uwzględniających powierzchnię otworu (lub membrany) i odległość mikrofonu; jest jednak inny sposób…

W klasycznych systemach bas-refleks ciśnienie z otworu na skraju pasma jest takie samo, jak ciśnienie z głośnika, więc wystarczy zbliżyć do siebie charakterystyki głośnika i otworu, aby uzyskać ich właściwe wzajemne położenie, a w konsekwencji – właściwy kształt charakterystyki wypadkowej. Jej poziom wciąż jest jednak arbitralny.

Musimy omówić jeszcze jeden wątek – korekty baffle-step (pisząc „korekta baffle-step", będziemy mieli na myśli uwzględnienie tego zjawiska w wyniku pomiaru, a nie jego „skorygowanie"). Otóż pomiar w polu bliskim „nie widzi" zjawiska, które występuje w działaniu praktycznie każdego zespołu głośnikowego; fale dłuższe od wymiarów przedniej ścianki obudowy „opływają" ją; połowa energii „ucieka" do tyłu, źródło przechodzi z warunków promieniowania w półprzestrzeni (2π) do pełnej przestrzeni (4π), co powoduje spadek o 6 dB. Zjawisko to zachodzi płynnie, zwykle w zakresie pierwszych kilkuset herców; im obudowa szersza – tym niżej, ale w praktyce poniżej 100...200 Hz charakterystyka jest już względnie „ustabilizowana" na poziomie o 6 dB niższym, niż wynikałoby to z pomiaru w polu bliskim i przeliczeń związanych z powierzchnią membrany i odległością mikrofonu od niej. Znaczenie tego zjawiska dla konstruowania zespołów głośnikowych jest ogromne, chociaż czasami ignorowane. W błąd mogą wprowadzać charakterystyki dostarczane przez firmy produkujące same przetworniki, które – zgodnie z własnymi standardami – mierzą przetworniki zainstalowane w bardzo dużych odgrodach (uzupełnionych z tyłu o duże, zamknięte komory); na charakterystykach zmierzonych w takich warunkach efekt baffle-step nie występuje, więc przenoszenie takich charakterystyk wprost do symulacji i poddawanie wirtualnemu filtrowaniu prowadzi do błędnych rozwiązań, z grubsza skutkujących zbyt niskim poziomem niskich częstotliwości. Z drugiej strony, wzmacniające niskie tony oddziaływanie pomieszczenia (odbiciami od dużych, bliskich powierzchni) w pewnym stopniu rekompensuje to zjawisko, chociaż nie doprowadza do wyrównania charakterystyki do takiego kształtu, jaki miałaby bez efektu baffle-step. Niektóre firmy prezentują charakterystyki zespołów głośnikowych z adnotacją „half-space", co jednak nie wiąże się ze zignorowaniem efektu baffle-step i pokazaniem charakterystyki skorygowanej do wersji „co by było, gdyby" (przednia ścianka była znacznie większa niż w rzeczywistości), ale podaniem dodatniej korekty parametru efektywności (czułości), czym zajmiemy się w jednym z kolejnych odcinków.

Korektę baffle-step pozwalają zastosować programy symulacyjne, które równocześnie uwzględniają inne zjawiska – odbicia wprowadzane przez krawędzie obudowy, powodujące dodatkowe zafalowania, nakładające się na spadek baffle-step. Należy wprowadzić wymiary przedniej ścianki i pozycję centrum głośnika, a system obliczy skorygowaną charakterystykę.

W przypadku konstrukcji, w których jest wiele źródeł niskich częstotliwości, każde z nich trzeba zmierzyć oddzielnie, a – dochowując najwyższej staranności – dla każdego oddzielnie poddać korekcie baffle-step; jednak z dopuszczalnym błędem w większości przypadków można uprościć procedurę i korektę baffle-step przeprowadzić tylko raz, na charakterystyce wypadkowej, uzyskanej z dodania charakterystyk poszczególnych źródeł, jednak z właściwie skorelowanym wzajemnym poziomem.

Korektę baffle-step obejrzymy już na następnych przykładach, gdzie będziemy łączyć pomiar w polu bliskim z pomiarem MLS.

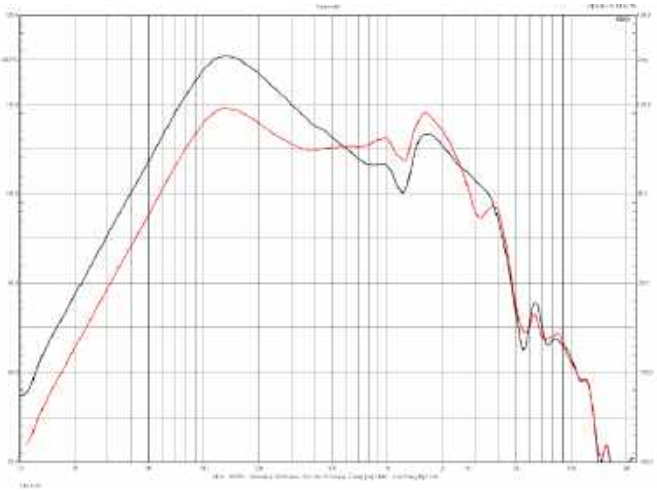


Przykłady łączenia pomiaru w polu bliskim z pomiarem MLS zaczynamy od konstrukcji prostej (chociaż i ona sprawi nam pewną niespodziankę). LS3/5A to mały, dwudrożny zespół głośnikowy w obudowie zamkniętej, z jednym głośnikiem nisko-średniotonowym. Wykorzystamy pomiary wykonane w teście AUDIO 11/2024, ale poddamy je specjalnej obróbce związanej z tematem tego artykułu, podobnie jak następne pomiary pochodzące z AUDIO.

Źródłem niskich częstotliwości jest tylko 12-centymetrowy głośnik nisko-średniotonowy; nie ma bas-refleksu, nie ma więc także tematu jego dopasowania.

Charakterystykę głośnika nisko-średniotonowego LS3/5A, zmierzona w polu bliskim, przed i po korekcie baffle-step, pokazano na **rysunku 5**. Krzywa po korekcie leży niżej niż przed korektą – już poniżej 550 Hz, ponieważ przednia ścianka jest mała (19 cm×30 cm) i do tyłu częściowo uciekają już fale poniżej tej częstotliwości; podobnie zachowywać się będą wszystkie podstawkowe konstrukcje (monitory) podobnej wielkości, chociaż końcowa charakterystyka zależy też od wielu innych czynników, w tym od tego, w jaki sposób i w jakim stopniu konstruktor skoryguje ten efekt, przywracając przynajmniej względne zrównoważone i nie pozwalając niskim tonom opadać, zwykle za pomocą odpowiedniego obniżenia poziomu

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 5. LS3/5A, charakterystyka głośnika nisko-średniotonowego, zmierzona w polu bliskim, przed (czarna) i po korekcie baffle-step (czerwona)

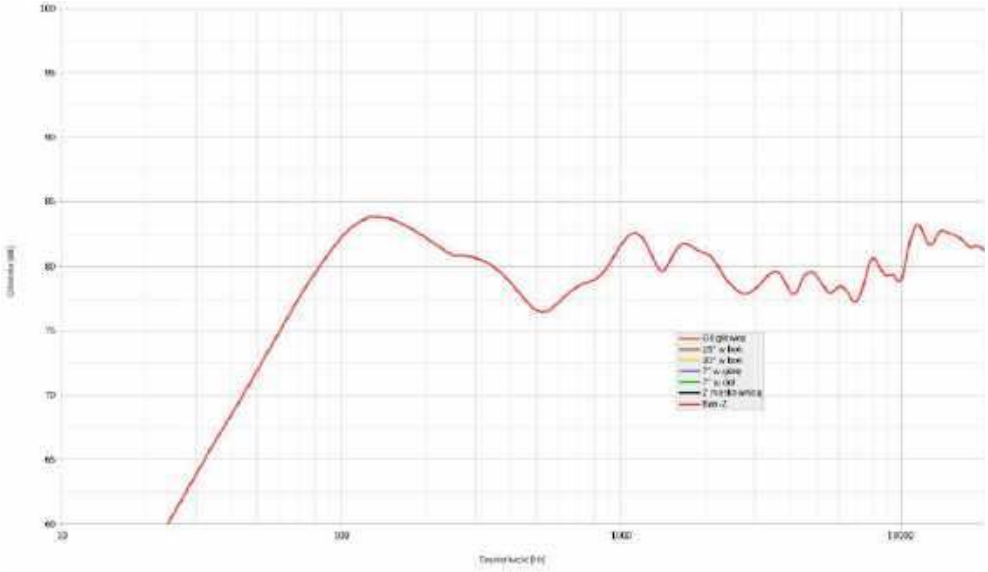
LS3/5A to słynny, mały monitor bliskiego pola, zaprojektowany przez inżynierów w BBC, produkowany w latach 70., 80. i 90. XX w. przez wiele brytyjskich firm; początkowo przeznaczony do zastosowań profesjonalnych, głównie do wozów transmisyjnych, zdobył dużą popularność i zaczął trafiać do audiofili, wśród których do dzisiaj jest bardzo szanowany. Ze względu na trudności technologiczne produkcji zaprzestano pod koniec XX wieku ale… po pewnym czasie został rewitalizowany przez kilku producentów, w odpowiedzi na wciąż duże zainteresowanie. Jak widać, charakterystyka jest daleka od liniowości, więc nie może uchodzić za wzorzec neutralności (nie mówiąc o dynamice czy rozciągnięciu niskich częstotliwości), mimo to wciąż jest kochany za szczególną barwę średnich tonów. Cena modeli wykonanych z dużą pieczołowitością względem oryginału przekracza 10 000 zł za parę (Rogers, Harbeth, Musical Fidelity), ale pojawiają się też konstrukcje które poza wielkością mają niewiele wspólnego z oryginałem, za to są znacznie tańsze… Aby każdy kto chce, mógł mieć swoje LS3/5A.

w zakresie średnio-wysokotonowym – co niestety obniży też średni poziom w całym paśmie.

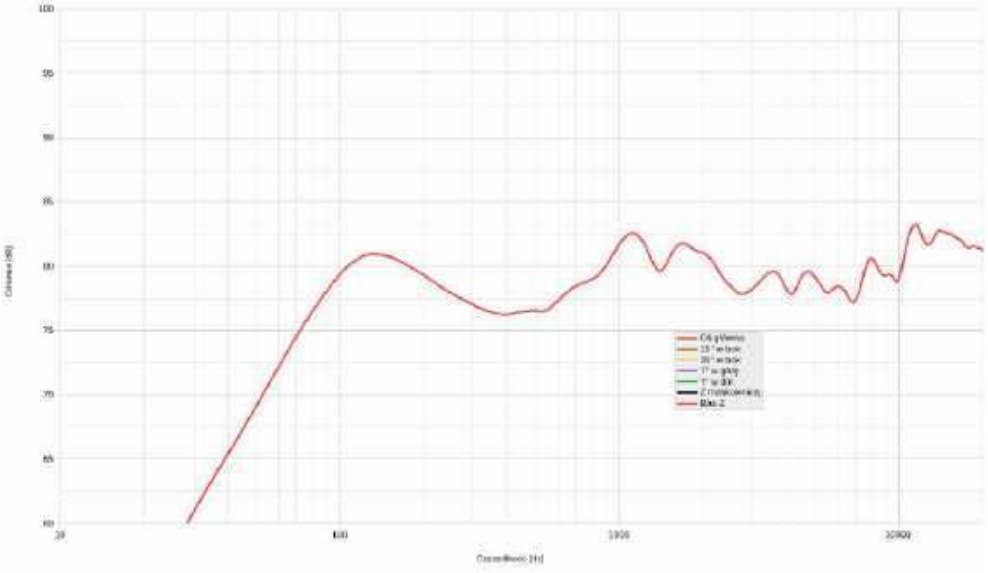
W zakresie 550 Hz...2,5 kHz charakterystyka po korekcie baffle-step (a więc rzeczywista) leży nawet wyżej niż przed korektą z powodu wzmacniającego wpływu odbić od krawędzi obudowy.

Ze względu na małą średnicę głośnika nisko-średniotonowego (średnica membrany to 10 cm), zgodnie z podanym wzorem, częstotliwość graniczna pomiaru w polu bliskim to dość wysoka wartość równa 1 kHz. Jednocześnie pomiar MLS został przeprowadzony w sposób, który zapewnia jego dostateczną dokładność już od 250 Hz. Mamy więc teoretycznie duży zakres częstotliwości, w którym możliwe jest połączenie charakterystyk z obydwu metod pomiaru.

Na **rysunku 6** pokazano połączenie przy 250 Hz, a na **rysunku 7** – przy 500 Hz. Niestety, wyniki dość wyraźnie się różnią; łączenie przy 500 Hz pokazuje poziom niskich tonów o 3 dB niższy niż łączenie przy 250 Hz; szukając powodów tej różnicy, warto zwrócić uwagę, że nawet skorygowany o baffle-step (a tym bardziej nieskorygowany) pomiar w polu bliskim nie ujawnia tak głębokiego, lokalnego osłabienia przy 500 Hz, jak pomiar MLS (przy 500 Hz poziom 76,5 dB), z którego jednak charakterystyka poniżej wychodzi



Rysunek 6. LS3/5A, charakterystyka w pełnym paśmie, uzyskana przez łączenie pomiarów w polu bliskim i MLS, przy 250 Hz



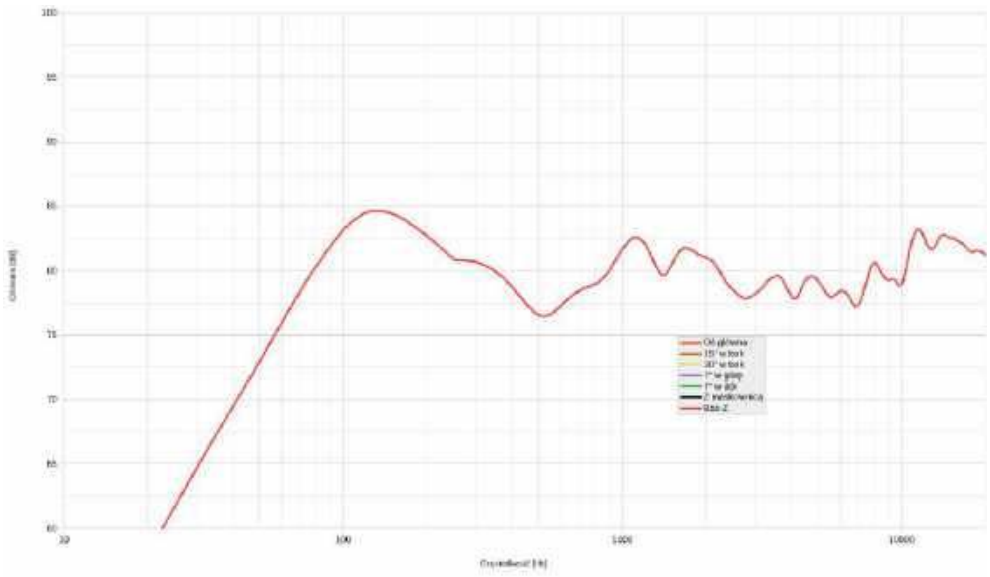
Rysunek 7. LS3/5A, charakterystyka w pełnym paśmie, uzyskana przez łączenie pomiarów w polu bliskim i MLS, przy 500 Hz

eprasa.pl dfb64580ab

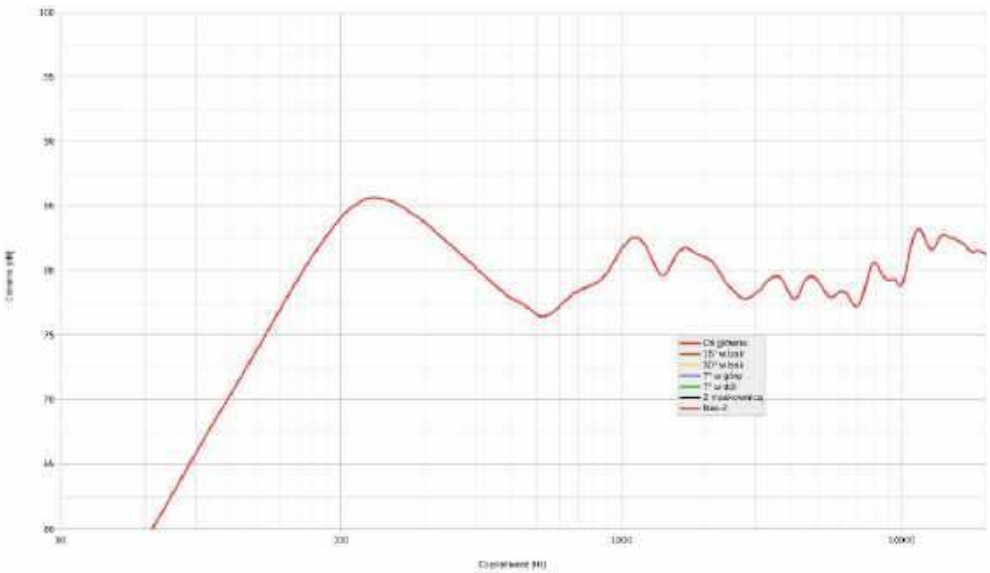
na dość wysoki poziom (przy 250 Hz poziom 81 dB). Dlatego łączenie w samym „dołku” wydaje się niewłaściwe – lepsze jest połączenie przy 250 Hz.

Na **rysunku 8** pokazujemy właśnie połączenie charakterystyk przy 250 Hz, ale bez korekty baffle-step. Wynik jest podobny jak ten z korektą (różnica poniżej 250 Hz to tylko 1 dB), ponieważ przy tak małych konstrukcjach i tak niskim łączeniu większa część efektu baffle-step jest już uwzględniona w części charakterystyki należącej do pomiaru MLS; widać to również na rysunku 5 – przy 250 Hz charakterystyka z baffle-step leży już 5 dB poniżej charakterystyki bez korekty, czyli brakuje tylko 1 dB do pełnej, 6-decybelowej „straty”.

Gdybyśmy jednak zrobili (bez korekty baffle-step) łączenie przy 500 Hz, to mimo że wychodzilibyśmy z niskiego dołka, na skutek znacznego wzrostu od 500 Hz do 130 Hz (charakterystyki zmierzonej w polu bliskim bez korekty), poziom niskich tonów byłby trochę zbyt wysoki.



Rysunek 8. LS3/5A, charakterystyka w pełnym paśmie, uzyskana przez łączenie pomiarów w polu bliskim (bez korekty baffle-step) i MLS, przy 250 Hz



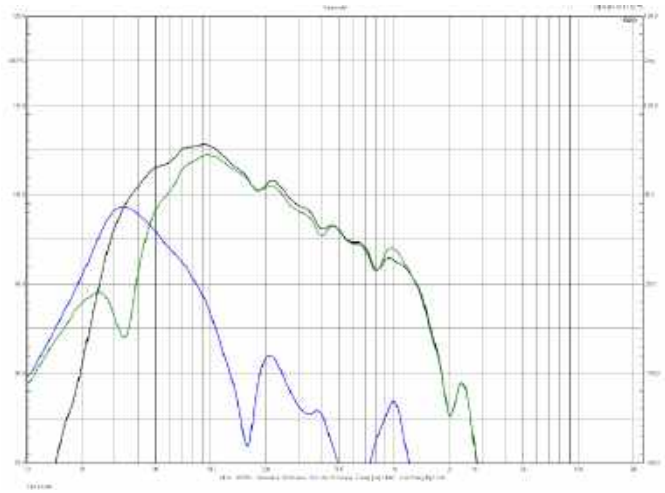
Rysunek 9. LS3/5A, charakterystyka w pełnym paśmie, uzyskana przez łączenie pomiarów w polu bliskim (bez korekty baffle-step) i MLS, przy 500 Hz



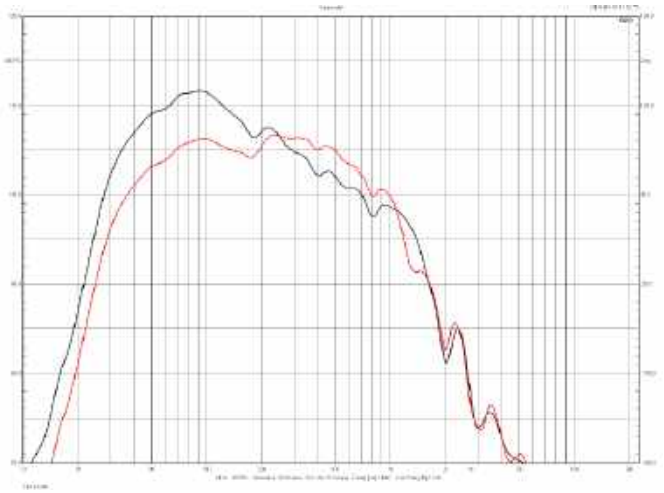
Drugi przykład to konstrukcja JBL 4349 (test w AUDIO 2/2024), z bardzo dużym, 30 cm głośnikiem nisko-średniotonowym w systemie bas-refleks; przednia ścianka z natury rzeczy też jest duża, ma wymiary 45 cm×74 cm. Konstrukcja typowa dla JBL-a, ale niekonwencjonalna na rynku Hi-Fi; rzadko tak duże głośniki stosowane są w układach dwudrożnych, ale w sukurs przychodzi tutaj też bardzo duży kompresyjny (tubowy) głośnik wysokotonowy. Częstotliwość podziału wynosi ok. 1 kHz, przypada więc w samym środku pasma, stąd jeden można określić jako nisko-średniotonowy, a drugi jako średnio-wysokotonowy.

Obudowa ma dwa wyloty systemu bas-refleks, umieszczone na przedniej ściance, w pobliżu głośnika. Są one wylotami z jednej komory jednego głośnika, mają takie same powierzchnie, tunele mają takie same długości, więc charakterystyki z obydwu są dokładnie takie same (i bardzo podobna byłaby charakterystyka z jednego otworu o dwa razy większej powierzchni i takim samym tunelu, strojąca obudowę do tej samej częstotliwości rezonansowej). Zresztą nawet gdy z jednej komory wyprowadzone

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 10. JBL 4349, charakterystyki źródeł niskich częstotliwości (głośnika – zielona, bas-refleks – niebieska), zmierzone w polu bliskim



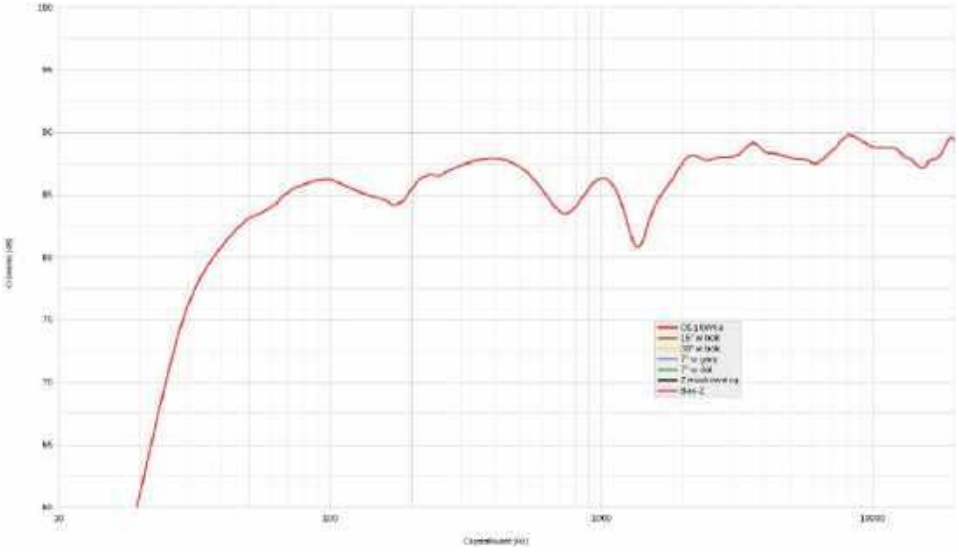
Rysunek 11. JBL 4349, charakterystyka wypadkowa źródeł niskich częstotliwości (głośnika i bas-refleksu), przed (czarna) i po korekcie baffle-step (czerwona)

są tunele o różnych powierzchniach i długościach (co zdarza się rzadko), to każdy z nich też promieniuje charakterystykę związaną ze wspólną podstawową częstotliwością rezonansową; różnić mogą się jednak rozkładem pasożytniczych rezonansów, pochodzących zarówno z wnętrza obudowy (fale stojące), jak i samych tuneli (tzw. rezonanse piszczałkowe). W takim przypadku, jak JBL 4349, wystarczy więc pomiar charakterystyki z jednego otworu, aby uzyskać jej prawidłowy kształt, natomiast poziom (w rzeczywistości o 6 dB wyższy z obydwu otworów niż z jednego) dopasujemy i tak metodą opisaną wcześniej – poprzez dopasowanie do charakterystyki głośnika na samym skraju pasma (gdzie głośnik i obydwa tunele wytwarzają takie same ciśnienia, ale w przeciwnych fazach).

A skoro posługujemy się taką metodą, to aby zminimalizować wpływ promieniowania z głośnika na pomiar charakterystyki z otworu, wkładamy mikrofon kilka centymetrów do środka tunelu, co – jak już wykazaliśmy – nie ma istotnego wpływu na kształt charakterystyki.

Na **rysunku 10** pokazano zmierzone i dopasowane w opisany sposób charakterystyki głośnika (zielona), otworów (niebieska) i – obliczoną przez system – charakterystykę wypadkową (czarna). Ta ostatnia przecina charakterystykę z otworów dokładnie przy częstotliwości, przy której głośnik ma wyraźnie odciążenie (wskazujące najdokładniej na częstotliwość rezonansową obudowy), w tym przypadku pokrywa się to z wierzchołkiem charakterystyki z otworów, ale tak wcale być nie musi – wierzchołek ten jest często przesunięty względem częstotliwości rezonansowej. Na charakterystyce z otworu widać też słabe rezonanse pasożytnicze (przy 200 Hz i 1 kHz). Charakterystyka głośnika opada stromo powyżej 1 kHz – tam sygnał jest już filtrowany dolnoprzepustowo przez filtr elektryczny w zwrotnicy. Ale musimy też pamiętać, że przy tak dużym głośniku prawidłowy kształt charakterystyki zmierzonej w polu bliskim sięga do ok. 400 Hz. Charakterystyka wypadkowa przecina więc charakterystykę z otworu, a jej nachylenie zmierza do 24 dB/okt. (nachylenie zboczy głośnika i otworu na skraju pasma to 12 dB/okt.). Poniżej częstotliwości rezonansowej fazy promieniowania głośnika i otworów szybko zmierzają do przeciwnych, na skutek czego wygaszają się. Natomiast powyżej częstotliwości rezonansowej głośnik i otwory pracują w zgodnej fazie, stąd charakterystyka wypadkowa leży najwyżej. System mierzy nie tylko charakterystykę amplitudową poszczególnych źródeł, ale również fazową (tutaj niepokazaną), stąd prawidłowo (z uwzględnieniem fazy) obliczona jest amplitudowa charakterystyka wypadkowa.

Na **rysunku 11** poddaliśmy ją korekcie baffle-step. Ponieważ mamy do czynienia z dużą obudową, efekt baffle-step występuje relatywnie nisko, charakterystyka z jego uwzględnieniem (czerwona) przecina charakterystykę zmierzoną (czarna) przy 240 Hz (a więc znacznie niżej niż w małych LS3/5A), a różnica osiąga 6 dB (pełny efekt baffle-step, połowa energii ucieka do tyłu) poniżej 100 Hz. Nie należy dać się zwieść wizualnemu wrażeniu, że poniżej 40 Hz różnica ulega zmniejszeniu i charakterystyki się



Rysunek 12. JBL 4349, charakterystyka w pełnym paśmie, uzyskana przez łączenie pomiarów w polu bliskim i MLS, przy 250 Hz

eprasa.pl dfb64580ab

zbliżają – na osi Y (ciśnienia) wciąż dzieli je 6 dB. Natomiast powyżej 230 Hz, aż do 1 kHz, charakterystyka po korekcie leży o 2...3 dB powyżej charakterystyki przed korektą, co należy przypisać wzmacniającym odbiciom od krawędzi obudowy.... Chociaż podstawowa teoria efektu baffle-step tego zjawiska nie uwzględnia.

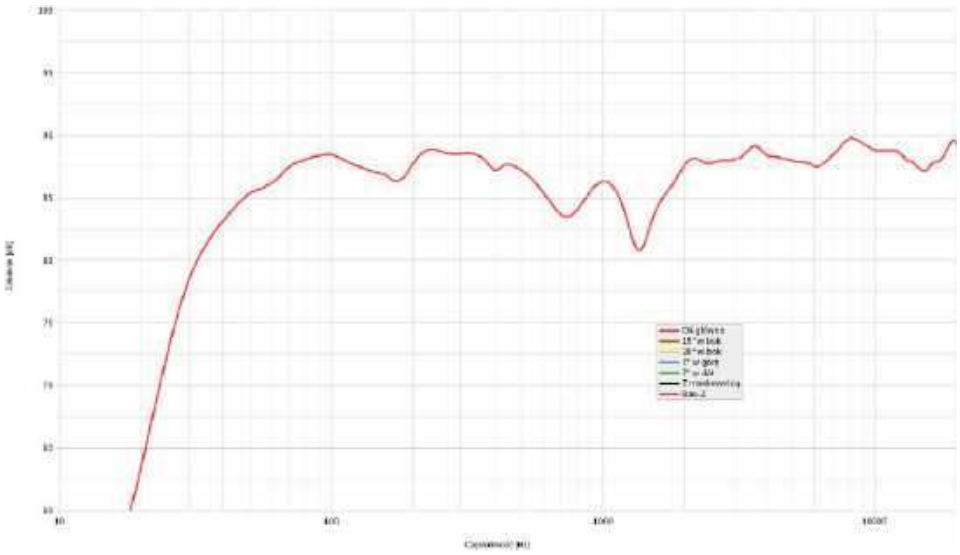
Nawet przed łączeniem z MLS widzimy, jak uwzględnienie efektu baffle-step wyrównało charakterystykę w zakresie 70...500 Hz, czyli w przedziale „ważności" pomiaru w polu bliskim tego głośnika.

Na **rysunku 12** pokazano łączenie charakterystyki wypadkowej z pola bliskiego (z korektą baffle-step) z charakterystyką MLS przy 250 Hz, a na **rysunku 13** – przy 500 Hz. Różnica między wynikami tych złożeń poniżej 250 Hz wynosi 2 dB, a łączenie przy 250 Hz teoretycznie powinno być bardziej prawidłowe dla tak dużego głośnika. A jednak łączenie przy 500 Hz, mimo że przekroczyliśmy częstotliwość graniczną (400 Hz), jest bardziej płynne, co również należy wziąć pod uwagę.

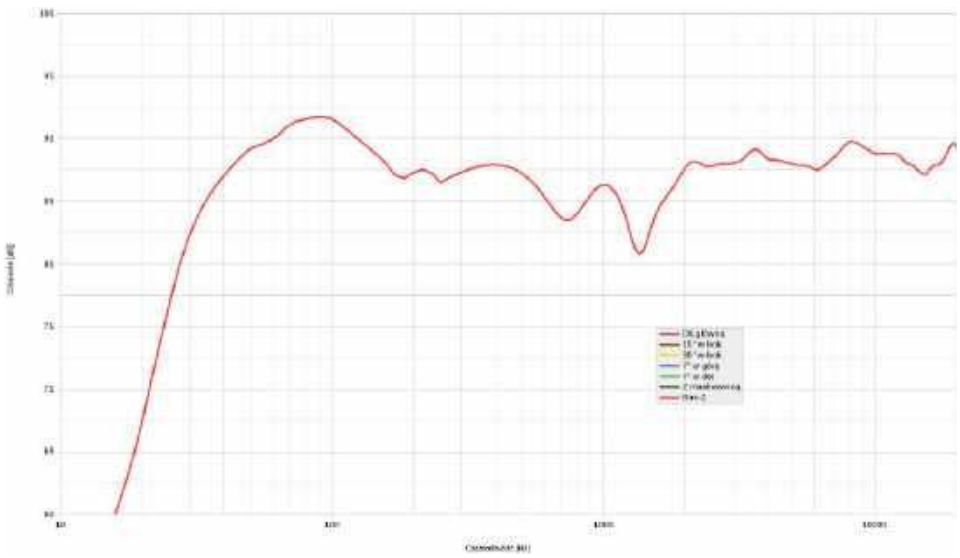
Na **rysunkach 14** i **15** pokazano efekty łączenia odpowiednio przy 250 Hz i 500 Hz, bez korekty baffle-step. Widać znacznie wyższy (zawyżony) poziom niskich tonów, zwłaszcza dla łączenia przy 500 Hz. Zawyżony, o ile naszym celem jest wyznaczenie charakterystyki podobnej do takiej, jaką zmierzylibyśmy w komorze bezechowej; w realiach pomieszczenia odsłuchowego poziom niskich tonów będzie bliższy temu, co widzimy na rysunku 14, a przy ustawieniu kolumn w narożniku – nawet na rysunku 15.

Za miesiąc zaprezentujemy kolejne przykłady pomiarów w polu bliskim i łączenia ich z pomiarem MLS – tym razem jednak zawierające nowe elementy układanki.

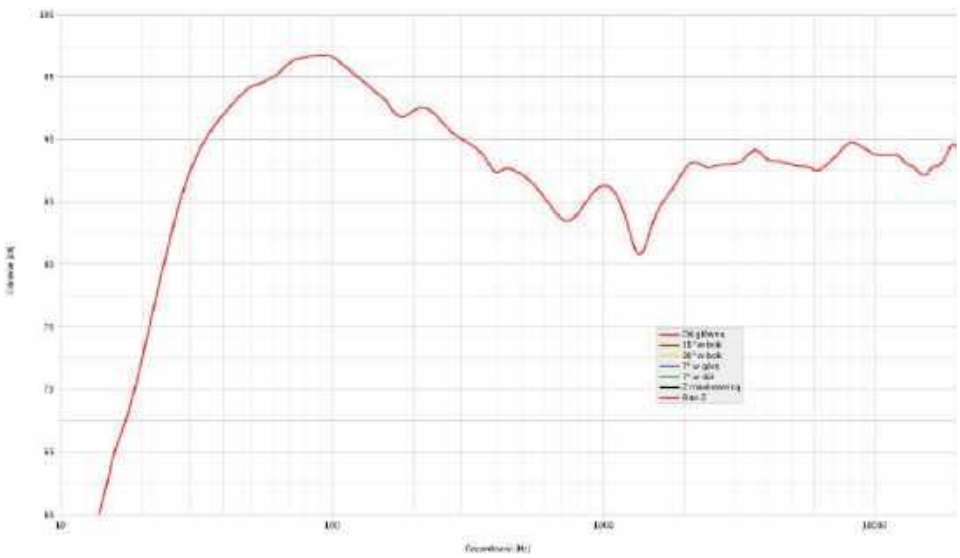
Andrzej Kisiel



Rysunek 13. JBL 4349, charakterystyka w pełnym paśmie, uzyskana przez łączenie pomiarów w polu bliskim i MLS, przy 500 Hz



Rysunek 14. JBL 4349, charakterystyka w pełnym paśmie, uzyskana przez łączenie pomiarów w polu bliskim (bez korekty baffle-step) i MLS, przy 250 Hz



Rysunek 15. JBL 4349, charakterystyka w pełnym paśmie, uzyskana przez łączenie pomiarów w polu bliskim (bez korekty baffle-step) i MLS, przy 500 Hz

eprasa.pl dfb64580ab



AT-AD269S
Mikroskop cyfrowy
z ekranem 10 cali,
powiększenie do 5000×,
5 obiektywów i endoskop
ANDONSTAR AD269S-M



AT-AD409PRO
Mikroskop do lutowania
z profesjonalnym
metalowym stojakiem,
ekran 10,1 cala,
powiększenie do 300×, HDMI
ANDONSTAR AD409Pro

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mikroskopy cyfrowe dla elektroników

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod **EP2505MC**

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



AT-AD246S-M
Mikroskop cyfrowy 7 cali
z powiększeniem:
60...240×, 18...720×,
1560...2040×
ANDONSTAR AD246S-M



AT-AD407
Mikroskop cyfrowy 7 cali,
powiększenie do 270×
ANDONSTAR AD407



AT-AD249S-M
Mikroskop cyfrowy 10 cali
z powiększeniem:
60...240×, 18...720×, 1560...2040×
ANDONSTAR AD249S-M



AT-AD210
Mikroskop cyfrowy 5...260×
z wyświetlaczem 10,1 cala
ANDONSTAR AD210



Układy i moduły radiowe

Współczesne urządzenia elektroniczne coraz częściej wymagają implementacji przynajmniej jednego protokołu komunikacji bezprzewodowej. Projektowanie własnego toru radiowego (RF) od zera bywa skomplikowane i czasochłonne. Na szczęście jednak konstruktorzy nie muszą zaczynać od zera – mogą skorzystać z gotowych modułów radiowych OEM, które – dzięki integracji niemal wszystkich niezbędnych podzespołów – umożliwiają proste i szybkie wdrożenie komunikacji radiowej w projektowanym urządzeniu. Podejście oparte na stosowaniu takich modułów znacząco skraca czas opracowania produktu i ułatwia spełnienie wymogów technicznych (np. norm radiowych), jednocześnie odciążając inżynierów od wielu żmudnych zadań projektowych, obliczeniowych i symulacyjnych, a także skracając proces testowania. Do czerwcowej odsłony „Elektroniki w Praktyce" przygotowaliśmy reprezentatywny przegląd nowoczesnych układów SoC oraz implementujących je modułów.

Inżynierowie projektujący urządzenia IoT, systemy łączności bezprzewodowej, a także innego rodzaju rozwiązania, w których konieczne jest zaimplementowanie komunikacji radiowej, mają dziś do dyspozycji bogaty wachlarz specjalizowanych, scalonych układów RF typu SoC (ang. *System-on-Chip*) i gotowych modułów komunikacyjnych. Pozwalają one szybko dodać do projektu funkcjonalność łączności bezprzewodowej, bez konieczności projektowania całego toru radiowego od zera.

Mało tego – w przypadku zastosowania modułu z wbudowaną anteną konstruktor PCB jest nawet zwolniony z przeliczania impedancji choćby jednej tylko ścieżki, gdyż do modułu wystarczy jedynie podłączyć zasilanie, zapewnić kilka niezbędnych elementów peryferyjnych i – oczywiście – wyprowadzić niezbędne interfejsy szeregowe, linie GPIO itp. Prosto, szybko i na temat – tak wygląda dziś projektowanie elektroniki.

Modularne podejście ma liczne zalety – skraca czas rozwoju produktu, upraszcza integrację nowych funkcji i redukuje ryzyko popełnienia (często kosztownych w skutkach, zwłaszcza gdy trzeba np. powtórzyć drogie badania EMC) błędów konstrukcyjnych. W efekcie, podobnie jak w przypadku innych komponentów OEM, na rynku dostępne są różnorodne moduły RF obsługujące wszystkie popularne standardy komunikacji: od sieci osobistych (o zasięgu porównywalnym ze skalą człowieka, czyli PAN, od ang. *Personal Area Network*), aż po systemy dalekiego zasięgu, obsługujące łączność z sieciami komórkowymi czy też satelitami.

Niniejszy artykuł prezentuje przegląd najważniejszych technologii radiowych – Bluetooth, Wi-Fi, GSM/LTE, NB-IoT, GNSS, LoRa czy ZigBee. W przypadku każdej z wymienionych technologii omawiamy najważniejsze zalety oraz podajemy dwa praktyczne przykłady: gotowego modułu oraz układu SoC realizującego niemal wszystkie zadania związane z obsługą funkcjonalności radiowych danego typu.

Bluetooth

Bluetooth to obecnie najpopularniejszy standard komunikacji krótkiego zasięgu, pracujący w nielicencjonowanym paśmie ISM 2,4 GHz. Technologia ta początkowo służyła do łączenia urządzeń peryferyjnych z komputerami i telefonami oraz prowadzenia prostej wymiany danych lub np. transmisji audio (tzw. Bluetooth Classic). Wprowadzenie nowego standardu Bluetooth Low Energy (BLE) znacząco obniżyło pobór mocy urządzeń implementujących połączenie radiowe, co umożliwiło budowę lekkich i kompaktowych urządzeń, zasilanych bateryjnie lub za pomocą miniaturowych akumulatorów – do tej grupy można zaliczyć nie tylko czujniki IoT, ale także m.in. elektronikę noszoną (ang. *wearable devices*), nowoczesne urządzenia medyczne i wiele innych. Coraz nowsze wersje

eprasa.pl dfb64580ab



Fotografia 1. Rodzina modułów Bluetooth Low Energy o nazwie NINA-B30 marki u-blox (https://t.ly/bIkgp)

standardu Bluetooth LE implementują kolejne ulepszenia, nowe tryby pracy, zróżnicowany zasięg i prędkość transmisji – a to wszystko przekłada się na funkcjonalność docelowych urządzeń.

Jako przykład popularnej rodziny modułów Bluetooth LE można wymienić serię NINA-B30 marki u-blox (**fotografia 1**). Poszczególne wersje różnią się rodzajem anteny, a co za tym idzie – także wymiarami PCB. Najmniejszy model (NINA-B301) ma wymiary 10,0×11,6 mm, zaś dwa pozostałe (NINA-B302 i NINA-B306) mają już wymiary 10,0×15,0 mm i są wyposażone w – odpowiednio – metalową antenę typu PIFA lub zintegrowaną antenę PCB, opracowaną de facto na licencji wykupionej od firmy Abracon. Więcej informacji na temat tej interesującej technologii, określanej mianem *Niche antennas*, można znaleźć na stronie internetowej Abracon, pod adresem: https://t.ly/GK7j6

Warto dodać, że firma u-blox opracowała także bliźniaczą rodzinę modułów o nazwie NINA-B31, która różni się od serii B30 obecnością fabrycznie zainstalowanego oprogramowania u-connectXpress, mającego na celu przyspieszenie prac nad implementacją łączności radiowej w docelowym urządzeniu. Seria B30 jest natomiast określana jako OpenCPU – to do konstruktora urządzenia należy bowiem samodzielne zaimplementowanie oprogramowania obsługującego zarówno łączność radiową, jak i – w przypadku, gdy docelowa aplikacja nie przewiduje zastosowania nadrzędnego mikrokontrolera – także wszystkie pozostałe funkcje produktu.

Obydwie serie bazują na tym samym układzie SoC – popularnym nRF52840 marki Nordic Semiconductor (**fotografia 2**). Układ ten integruje w swojej strukturze wydajny mikrokontroler z 64-megahercowym rdzeniem ARM Cortex-M4 i wbudowanym transceiverem 2,4 GHz zgodnym z Bluetooth 5.4. Do dyspozycji projektanta jest także wewnętrzny blok tagu NFC-A (do którego obsługi konieczne jest oczywiście podłączenie stosownej anteny). Ważną zaletą układów z serii nRF52 jest bardzo niski pobór prądu – SoC pobiera jedynie 52 µA/MHz podczas wykonywania programu z pamięci Flash, zaś w trybach obniżonego poboru mocy (bez podtrzymania zawartości pamięci RAM) wartość ta spada do 1,5 µA, a nawet 0,4 µA.

Wi-Fi

Wi-Fi to w istocie popularna nazwa całej rodziny standardów IEEE 802.11, opisujących zarówno warstwę fizyczną, jak i podwarstwę odpowiedzialną za adresowanie MAC bezprzewodowych urządzeń sieciowych. Stanowi niezastąpioną technologię lokalnych sieci radiowych (WLAN), zapewniającą wysoką przepustowość danych, niezbędną przede wszystkim w celu zapewnienia dostępu do szerokopasmowego Internetu. Obecnie moduły Wi-Fi działają nie tylko w podstawowym paśmie 2,4 GHz, ale także w zapewniającym lepszą przepustowość spektrum 5 GHz.



Fotografia 2. Układ nRF52840 (https://t.ly/fqHR1)

Wciąż nierozwiązaną wadą klasycznego Wi-Fi – w kontekście energooszczędnych urządzeń i systemów wbudowanych – jest dość wysoki pobór mocy (aktywny nadajnik/odbiornik pobiera nawet kilkaset mA), co utrudnia zasilanie bateryjne lub akumulatorowe. Dlatego też Wi-Fi nadal pozostaje stosowane głównie w projektach wymagających szybkiej transmisji danych i/lub bezpośredniej integracji z Internetem (np. kamery do monitoringu, urządzenia RTV obsługujące usługi streamingowe czy też – oczywiście – smartfony, tablety i wszelkiej maści komputery).

Sztandarowym przykładem rodziny modułów Wi-Fi jest niezwykle popularna seria ESP32. W chwili pisania niniejszego artykułu firma Espressif oferuje 39 modeli układów SoC, z czego 24 bazują na procesorze jednordzeniowym, a pozostałe 15 – na dwurdzeniowym. Układy różnią się szeregiem parametrów, wśród których warto wymienić:

- pamięć RAM: od 160 kB do 768 kB,
- pamięć ROM: od 0 (brak wbudowanej) do 576 kB,
- częstotliwość taktowania: od 96 MHz do 400 MHz.

Co ciekawe, wbrew pozorom nie wszystkie układy z rodziny ESP32 obsługują Wi-Fi – modele ESP32-H2FH2, ESP32-H2FH4, ESP32-H2FH2S, ESP32-H2FH4S pracują tylko z protokołem Bluetooth, zaś ESP32-P4NRW16 oraz ESP32-P4NRW32 to w istocie bardzo wydajne mikrokontrolery, pozbawione jednak jakichkolwiek wbudowanych transceiverów radiowych.

Jednym z ciekawszych układów SoC z oferty Espressif jest obecnie ESP32-PICO (**rysunek 1**). Układ obsługuje Wi-Fi 802.11b/g/n, Bluetooth v4.2 BR/EDR oraz Bluetooth LE i – co ciekawe – integruje w sobie nawet oscylator kwarcowy, niezbędne kondensatory, pamięć SPI Flash/PSRAM, a nawet obwód dopasowania impedancji w torze antenowym. W strukturze krzemowej znalazł się – oprócz wydajnego, 240-megahercowego, dwurdzeniowego procesora Xtensa LX6 – także obszerny zestaw bloków peryferyjnych, w tym szereg interfejsów komunikacyjnych (SPI, I²C, I²S, SDIO, UART, TWAI, Ethernet), przetworniki ADC i DAC, timery, interfejs czujników pojemnościowych oraz sprzętowy akcelerator kryptograficzny, wspierający szyfrowanie SHA, RSA, AES i zawierający generator liczb losowych. W niewielkiej obudowie LGA o wymiarach 7×7 mm znalazło się też 448 kB pamięci ROM, 520 kB SRAM oraz 16 kB dodatkowej pamięci SRAM współpracującej z RTC.

Układ ESP32-PICO może być wygodnie zastosowany w docelowym projekcie dzięki modułowi ESP32-PICO-V3-ZERO o wymiarach 16×23 mm, udostępniającym wszystkie niezbędne linie GPIO w formie wygodnej do lutowania w standardowych procesach rozpływowych z montażem automatycznym, a nawet – przy odrobinie wprawy – przy użyciu pozycjonowania ręcznego i gorącego powietrza lub podczerwieni (**rysunek 3**).

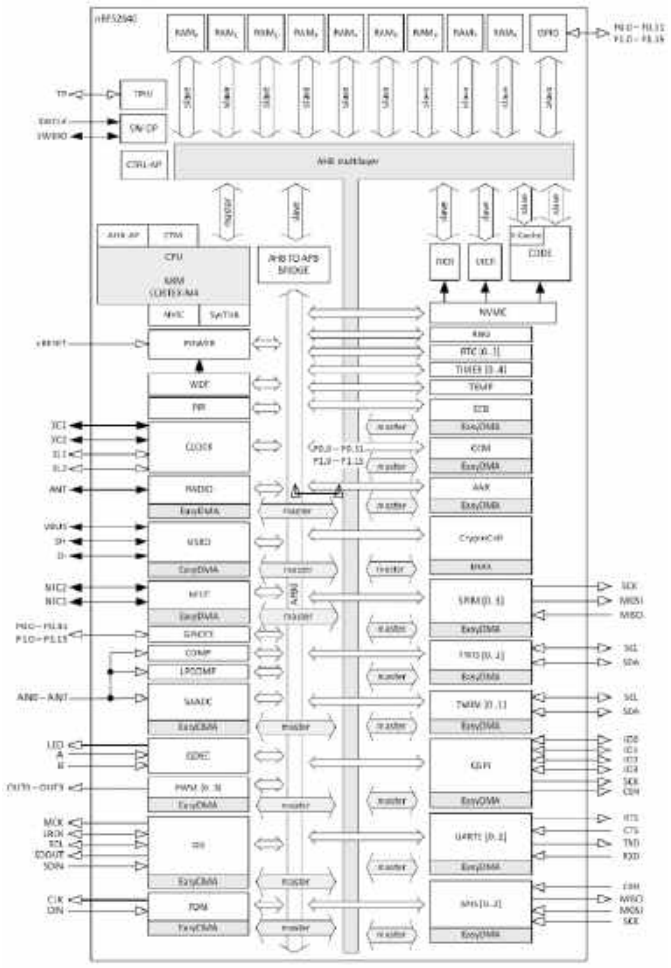
Sieci komórkowe

Technologie GSM, 3G, 4G czy 5G to standardy telefonii komórkowej, zapewniające szerokopasmową łączność na duże odległości z użyciem infrastruktury operatorów komórkowych. Zaletą tej

REKLAMA

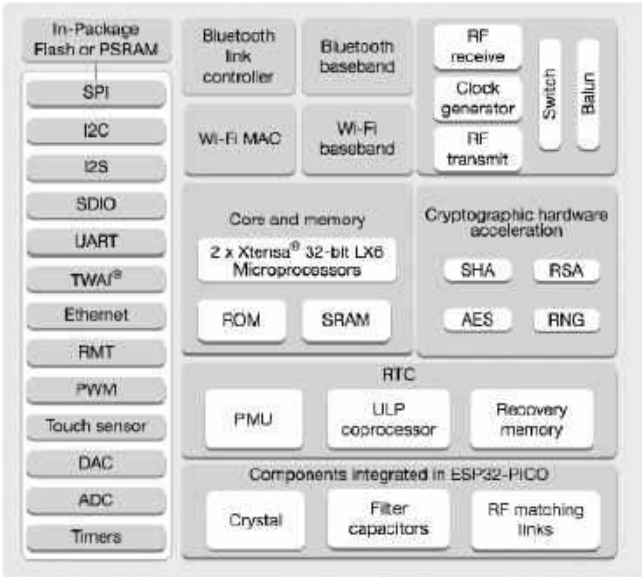


eprasa.pl dfb64580ab

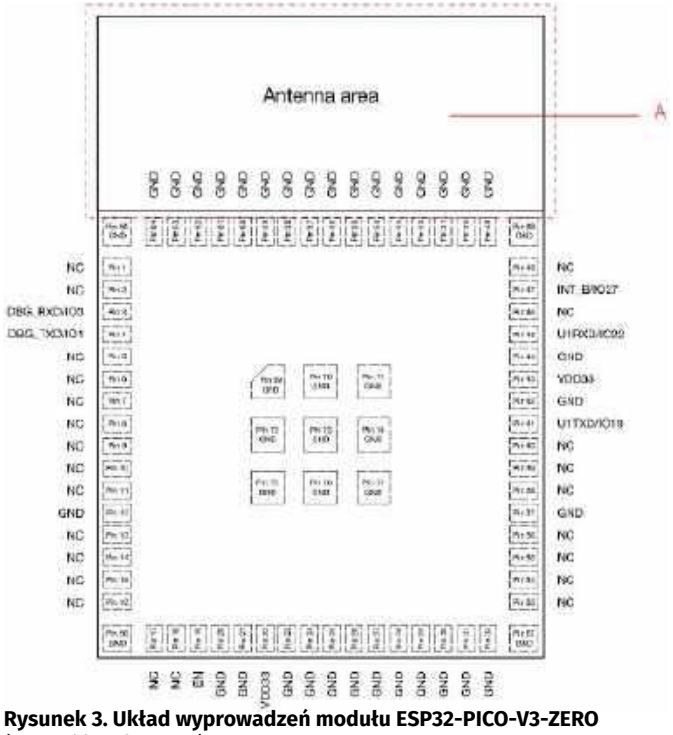


Rysunek 1. Schemat blokowy układu SoC typu nRF52840 marki Nordic Semiconductor (https://t.ly/mRMTQ)

technologii w przypadku systemów M2M/IoT jest globalny zasięg – urządzenie może komunikować się z dowolnego miejsca objętego siecią komórkową. Starsze generacje (2G/3G) oferują ograniczoną przepustowość i dość wysoki pobór energii, przez co nie nadają się zbyt dobrze do urządzeń o zasilaniu bateryjnym, np. małych czujników. Współczesne standardy – 4G, a od stosunkowo niedawna także 5G – znacznie zwiększyły zarówno prędkość komunikacji, jak i efektywność energetyczną, zwłaszcza w nowych trybach opracowanych z myślą o IoT. Technologie komórkowe oferują niezawodną,



Rysunek 2. Budowa układu ESP32-PICO (https://t.ly/zaX1R)



Rysunek 3. Układ wyprowadzeń modułu ESP32-PICO-V3-ZERO (https://t.ly/6WP0p)

dwukierunkową komunikację, praktycznie bez ograniczeń dystansu – idealną np. do lokalizatorów GPS z kartą SIM, systemów telemetrycznych, urządzeń pomiarowych wysyłających dane na serwer w chmurze itp.

W przypadku komunikacji poprzez sieć komórkową trudno znaleźć na rynku układy SoC, które realizowałyby podobnie szeroki zakres funkcji, co analogiczne układy przeznaczone do obsługi innych standardów, zwłaszcza krótkozasięgowych. Przeważnie dostępne są na rynku jedynie gotowe, zintegrowane moduły hybrydowe – takie, jak niezwykle popularny SIM800L (**fotografie 3** i **4**), który oprócz scalonego front-endu RF zawiera także wydajny procesor,



Fotografia 3. Popularny moduł GSM/GPRS SIM800L marki SIMCOM (https://t.ly/DAJlt)

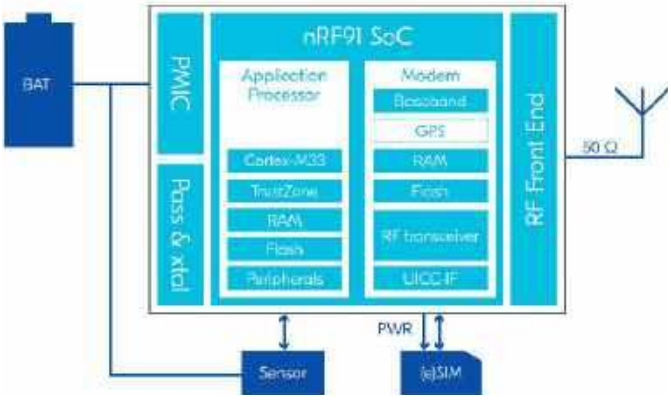


Fotografia 4. Widok wnętrza modułu SIM800L po zdjęciu ekranu (https://t.ly/fxrY5)

eprasa.pl dfb64580ab



Fotografia 5. Moduł SiP nRF9160 marki Nordic Semiconductor (https://t.ly/VQfdV)



Rysunek 4. Uproszczony schemat aplikacyjny układu nRF9160 (https://t.ly/8NVo-)

obsługujący stosy licznych protokołów komunikacyjnych i – oczywiście – komunikację z hostem (procesorem nadrzędnym).

NB-IoT (Narrowband IoT) to komórkowy standard LPWAN stworzony przez 3GPP z myślą o aplikacjach Internetu Rzeczy. W porównaniu z klasycznym LTE ograniczono tu szerokość pasma do zaledwie 200 kHz, co zmniejszyło prędkość transmisji do niewiele pomad 200 kb/s na rzecz zwiększenia zasięgu. Urządzenia NB-IoT mogą skutecznie transmitować dane wewnątrz budynków i w trudnych warunkach radiowych. Co ważne, sieć NB-IoT korzysta z istniejących stacji bazowych LTE. Zalety NB-IoT to przede wszystkim bardzo niski pobór energii, co wcześniej było nieosiągalne w sieciach komórkowych. NB-IoT nadaje się do aplikacji typu smart city, inteligentnych liczników (smart metering) itp.

Przykładowym układem SiP, który zawiera w swojej strukturze modem LTE-M/NB-IoT, jest nRF9160 marki Nordic Semiconductor (**fotografia 5**, **rysunek 4**). To wysoko zintegrowany moduł w obudowie LGA o wymiarach zaledwie 10,0×16,0×1,04 mm, zawierający 64-megahercowy procesor ARM Cortex-M33, 1 MB wbudowanej pamięci Flash oraz 256 kB pamięci RAM i obsługujący transmisję LTE-M, NB-IoT oraz pozycjonowanie z użyciem systemów satelitarnych GNSS (GPS i QZSS). Układ jest przeznaczony do aplikacji IoT wymagających łączności komórkowej przy zasilaniu bateryjnym.

GNSS

GNSS (ang. *Global Navigation Satellite Systems*) to ogólna nazwa systemów nawigacji satelitarnej, do których zalicza się amerykański GPS, rosyjski GLONASS, europejski Galileo, chiński BeiDou czy japoński QZSS. Odbiorniki GNSS określają pozycję, korzystając z sygnałów radiowych nadawanych przez satelity na orbitach okołoziemskich – przykładowo, w przypadku GPS stosowane jest m.in. tzw. pasmo L1 o częstotliwości nośnej 1575,42 MHz. Odbiornik dokonuje pomiaru czasu propagacji sygnału z przynajmniej kilku satelitów, co umożliwia wyznaczenie współrzędnych geograficznych. Układy GNSS nie zapewniają komunikacji dwukierunkowej (bo nie ma takiej potrzeby) – działają wyłącznie jako odbiorniki nasłuchujące sygnałów z satelitów. Minusem GNSS jest zależność od widoczności nieba – wewnątrz budynków sygnał satelitarny bywa niedostępny lub silnie osłabiony, co drastycznie wpływa na dokładność pozycjonowania.

W znakomitej większości typowych aplikacji stosowane są gotowe moduły GNSS z wbudowaną anteną ceramiczną lub złączem antenowym, które dostarczają dane o pozycji (a także wiele innych danych) w formacie NMEA do mikrokontrolera. Możliwość realizacji modułu geolokalizacyjnego jako odbiornik (a nie transceivera) wpływa nie tylko na uproszczenie całej struktury, ale także na rozmiary całości i – przede wszystkim – pobór mocy. Przykładem miniaturowego odbiornika GNSS może być MAX-M10M wspomnianej wcześniej marki u-blox (**fotografia 6**). Całość ma wymiary 10,1×9,7 mm, a dwa rzędy pinów typu *castellated* znacznie ułatwiają montaż – w tym nawet metodą manualnego lutowania punktowego. Deklarowana przez producenta dokładność pozycjonowania wynosi 1,5 m (przy użyciu sygnałów z dwóch lub więcej systemów GNSS jednocześnie, np. GPS+Galileo).



Fotografia 6. Moduł MAX-M10M marki u-blox (https://t.ly/qBYDI)

Wśród układów SoC obsługujących funkcję odbioru sygnałów z satelitarnych systemów pozycjonowania można wymienić model MediaTek MT3339 – kompletny, jednochipowy odbiornik GPS (L1) z wbudowanym podstawowym procesorem sygnałowym. Występuje on m.in. w modułach GPS takich jak Quectel L80. Zapewnia czułość w trybie śledzenia do –165 dBm, przy zachowaniu niewielkiego poboru mocy rzędu 18...25 mW (zależnie od trybu pracy). Całość – zarówno kompletny odbiornik RF, jak i kompletna część cyfrowa (oparta na procesorze ARM7) oraz analogowa (w tym wbudowany stabilizator LDO) – mieści się w obudowie o wymiarach zaledwie 4,3×4,3 mm.

LoRa

LoRa (Long Range) to technika komunikacji radiowej oparta na modulacji Chirp Spread Spectrum (CSS), umożliwiająca transmisję na duże odległości przy bardzo niskim poziomie sygnału. Pracuje ona w nielicencjonowanych częściach pasmach ISM, określanych jako Sub-1 GHz (typowo 433 MHz lub 868 MHz w Europie,

REKLAMA

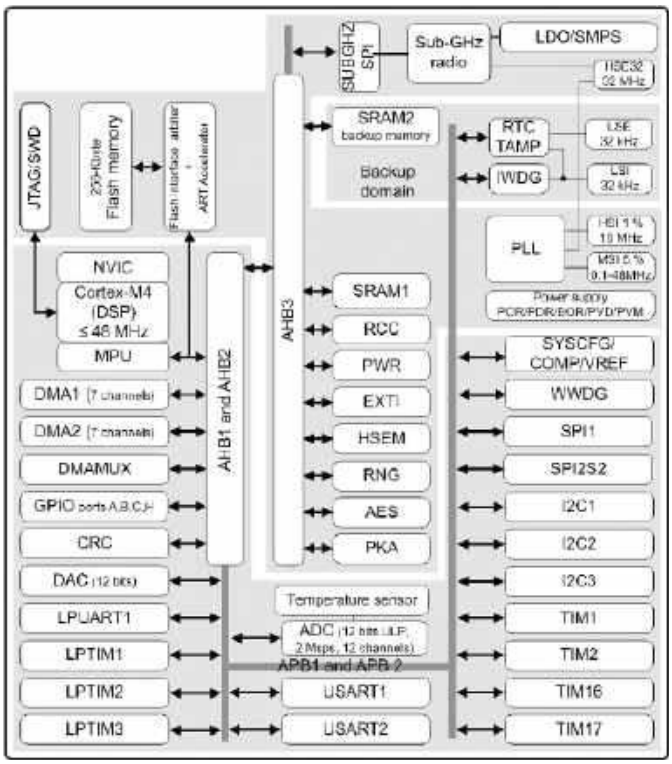


eprasa.pl dfb64580ab

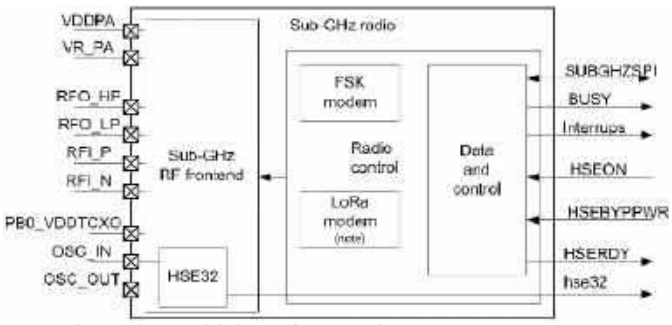
915 MHz w USA). LoRa cechuje się wyjątkowo wysoką czułością odbiornika i odpornością na interferencje kosztem niewielkiej przepustowości, dzięki czemu możliwe jest osiąganie zasięgów rzędu kilkunastu kilometrów przy niewielkiej mocy nadawania.

W praktyce LoRa jest używana głównie jako baza do budowy sieci w technologii LoRaWAN, będącej otwartym standardem LPWAN definiującym warstwę sieciową i aplikacyjną dla urządzeń LoRa. LoRaWAN umożliwia tworzenie rozległych sieci gwiaździstych z bramkami (ang. *gateway*) przekazującymi dane do chmury. Protokół ten jest silnie zoptymalizowany pod kątem energooszczędności – urządzenia mogą pozostawać uśpione przez większość czasu i budzić się tylko na krótką transmisję, co umożliwia wieloletnią pracę przy zasilaniu z baterii lub niewielkiego akumulatorka.

Interesującym przykładem serii układów SoC obsługujących protokół LoRa może być rodzina mikrokontrolerów „radiowych" marki ST Microelectronics o oznaczeniu STM32WLE5 – na pokładzie każdego z tych kompaktowych układów znalazł się 48-megahercowy mikrokontroler ARM Cortex-M4 wraz z kompletnym transceiverem LoRa, o zakresie obsługiwanych częstotliwości rozciągającym się od 150 MHz aż do 960 MHz. Zapewnia obsługę protokołów LoRaWAN, SigFox, W-Mbus i wielu innych – system jest w pełni otwarty i może pracować z wieloma różnymi rodzajami modulacji (oprócz klasycznej CSS, stosowanej w protokole LoRa, obsługuje też FSK, GFSK, MSK, GMSK oraz BPSK).



Rysunek 5. Schemat blokowy mikrokontrolera z serii STM32WLE5 (https://t.ly/Bf6Z_)



Rysunek 6. Schemat blokowy front-endu RF zastosowanego w mikrokontrolerach z serii STM32WLE5 (https://t.ly/Bf6Z_)

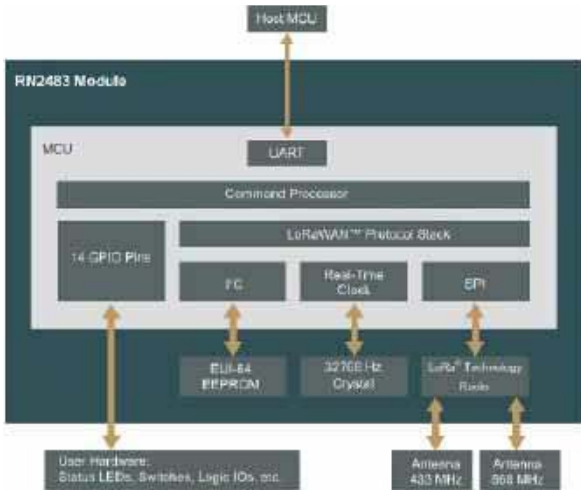
Microchip RN2483 (**fotografia 7**, **rysunek 7**) to z kolei gotowy moduł radiowy LoRaWAN o wymiarach 17,8×26,7×3,34 mm, pracujący na częstotliwościach 433 MHz oraz 868 MHz. Oprócz transceivera LoRa zawiera także wbudowany mikrokontroler, udostępniający interfejs UART z obsługą komend AT w celu łatwej integracji w docelowym systemie. Aplikacja sprzętowa modułu jest niezwykle prosta i w swojej podstawowej formie nie wymaga nawet zewnętrznych kondensatorów odsprzęgających zasilanie (**rysunek 8**). Deklarowany przez producenta zasięg, możliwy do uzyskania w podmiejskim terenie otwartym, wynosi nawet 15 km, zaś w przestrzeni zurbanizowanej dochodzi do 5 km. Maksymalny pobór prądu nie przekracza (w trybie nadawania i przy zasilaniu 3,6 V) 44,5 mA, zaś po uśpieniu spada do pojedynczych mikroamperów.



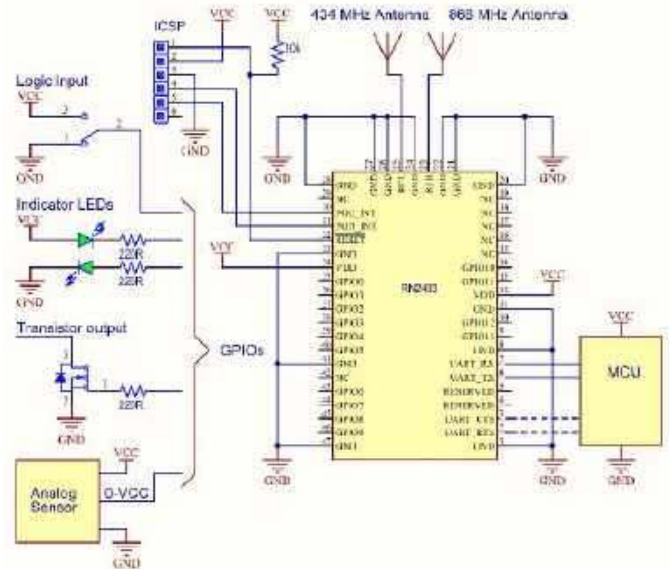
Fotografia 7. Moduł RN2483 marki Microchip (https://t.ly/Ybg9O)

ZigBee

ZigBee stanowi jeden z najpopularniejszych standardów sieci bezprzewodowych, opracowanych dla urządzeń IoT o niskim poborze mocy. Działa najczęściej w paśmie 2,4 GHz,



Rysunek 7. Uproszczony schemat blokowy modułu RN2483 (https://t.ly/Ybg9O)



Rysunek 8. Schemat aplikacyjny modułu RN2483 (https://t.ly/Ybg9O)

eprasa.pl dfb64580ab

choć może także pracować na częstotliwościach 868 lub 915 MHz. Kluczową cechą ZigBee jest obsługa topologii kratowej (Mesh) – poszczególne urządzenia (np. czujniki) pełnią jednocześnie funkcję routerów, przekazując sobie nawzajem pakiety, co efektywnie zwiększa zasięg całej sieci. ZigBee został zaprojektowany z myślą o automatyce budynkowej – inteligentnych instalacjach, sensorach i aktuatorach domowych, gdzie typowa odległość między węzłami wynosi zwykle do kilkunastu metrów (choć same moduły mogą osiągać wielokrotnie lepsze wyniki pod względem zasięgu). ZigBee jest protokołem otwartym, opracowanym i zarządzanym przez ZigBee Alliance, co umożliwia zachowanie kompatybilności pomiędzy urządzeniami różnych producentów.



Fotografia 8. Podstawowa wersja modułu Digi Xbee 3 (https://t.ly/wqugm)



Fotografia 9. Moduł Digi Xbee 3 w wersji ze złączami szpilkowymi i gniazdem antenowym SMA (https://t.ly/wqugm)

Do obsługi ZigBee powstała szeroka gama gotowych modułów. Do sztandarowych przedstawicieli tej kategorii produktów należą moduły Digi Xbee, które obecnie – w wersji 3 – oferują zarówno łączność zgodną z protokołem ZigBee (802.15.4), jak i BLE 4.2. Wbudowane w moduły mikrokontrolery mogą być programowane z użyciem środowiska Micropython. Teoretyczny zasięg transmisji dochodzi do 60 lub 90 m (zależnie od wersji) w terenie miejskim lub we wnętrzach budynków oraz do 1200/3200 m w otwartej przestrzeni. Moduły Digi Xbee 3 są oferowane w trzech wersjach: miniaturowej (z padami typu *castellated* – **fotografia 8**) oraz dwóch nieco większych (**fotografie 9** i **10**), montowanych za pomocą złączy szpilkowych lub padów krawędziowych o większym rastrze.

Opisane powyżej moduły bazują na nowoczesnym układzie SoC z serii EFR32MG marki Silicon Labs. Schemat blokowy przykładowego przedstawiciela tej rodziny – EFR32MG21 – pokazano na **rysunku 9**. Układ wspiera standardy Bluetooth LE (Bluetooth 5), ZigBee oraz Thread, a jego konstrukcja bazuje na 32-bitowym rdzeniu ARM Cortex-M33 (80 MHz), współpracującym z 1 MB pamięci Flash i 96 kB pamięci RAM. Wbudowany wzmacniacz RF pozwala na osiągnięcie mocy nadawania do 20 dBm. Wymiary układu (oferowanego w obudowie QFN) to 4×4 mm.



Fotografia 10. Moduł Digi Xbee 3 zamontowany na adapterze o zwiększonym rastrze padów (https://t.ly/wqugm)

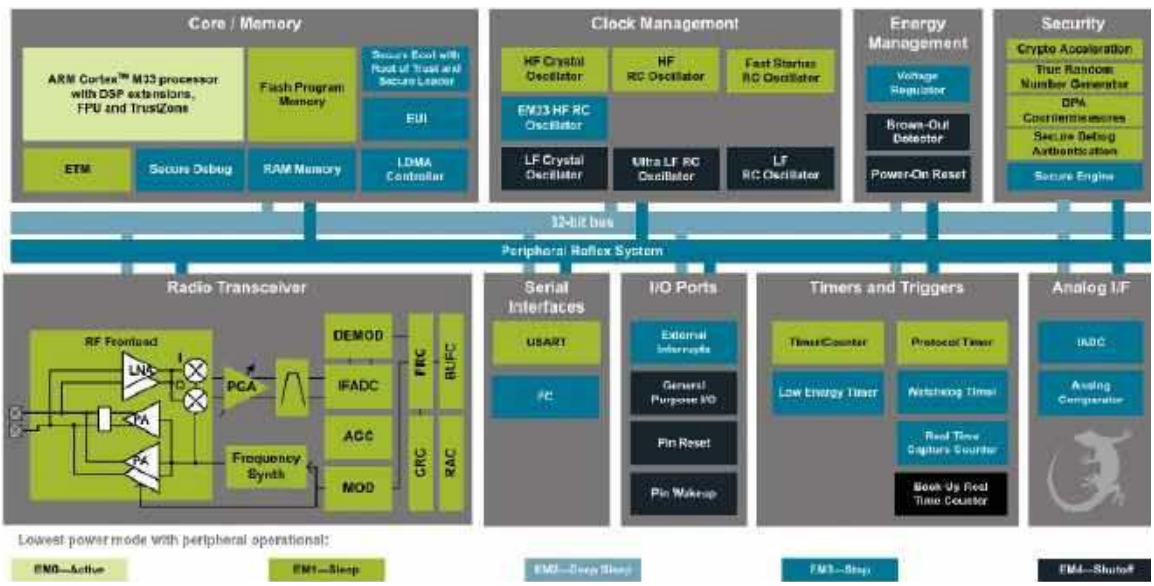
Podsumowanie

Współczesny rynek modułów radiowych jest napędzany w dużej mierze przez specjalizowane układy SoC i SiP, integrujące w swojej strukturze nie tylko rozbudowany tor radiowy, ale także wydajny procesor, najczęściej o architekturze ARM (rzadziej – RISC). Wysoki stopień integracji sprawia, że najbardziej zaawansowane układy nie wymagają prawie żadnych elementów dodatkowych – w skrajnych przypadkach można się obyć nawet bez kondensatorów odsprzęgających zasilanie (choć nawet w takich przypadkach warto je przewidzieć na płytce drukowanej, na wypadek ewentualnych problemów w zakresie EMC).

W ślad za samymi układami oraz modułami, w których są one zaimplementowane, idzie także wsparcie programistyczne – konstruktorzy urządzeń mają do dyspozycji biblioteki API, liczne przykładowe projekty, a nawet całe środowiska IDE. Tak jest chociażby w przypadku modułów produkowanych przez Espressif czy Nordic Semiconductor. Najnowsze moduły umożliwiają niezwykle szybkie i łatwe rozpoczęcie programowania z użyciem MicroPythona – Czytelników zainteresowanych tą tematyką zachęcamy do zapoznania się z kursem, który od maja 2025 r. prowadzimy na łamach „Elektroniki Praktycznej”.

W tym krótkim opracowaniu nie omówiliśmy szeregu innych technologii radiowych – takich, jak chociażby łączność i pozycjonowanie szerokopasmowe (UWB), protokół SigFox, rozmaite łącza bazujące na protokołach własnościowych (implementowane w paśmie ISM) czy też coraz powszechniej stosowane moduły radarowe, pracujące w pasmach rzędu kilkudziesięciu GHz. Tematyka łączności radiowej z pewnością powróci jednak na łamy EP – tym bardziej że żyjemy w czasach intensywnego rozwoju najnowocześniejszych standardów, opracowywanych dla branż IoT oraz IIoT i stale przesuwających granice maksymalnej przepustowości oraz energooszczędności.

inż. Przemysław Musz, EP



Rysunek 9. Schemat blokowy układu SoC z serii EFR32MG21 marki Silicon Labs (https://t.ly/Yj25w)

eprasa.pl dfb64580ab



TRZECIARĘKA ZD-11P
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką, ZD11P



TRZECIARĘKA ZD-11P-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką i lupą, ZD11P-1



TRZECIARĘKA SN-394
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk z lupą 50 mm, przykręcany do blatu Proskit SN-394

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Trzecia ręka

Rabat dla Czytelników EP
przy zakupie podaj kod EP2505TR
-3%

Rabat dla Prenumeratorów EP
przy zakupie podaj numer prenumeraty
-6%



TRZECIARĘKA ZD-11M-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – z uchwytem na szpulkę cyny, ZD11M-1



TRZECIARĘKA ZD-11M-2
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD11M-2



TRZECIARĘKA ZD-11M-3
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD-11M-3



TRZECIARĘKA ZD-11M
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt ZD11M



TRZECIARĘKA SN-392
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 90 mm, Proskit SN-392



TRZECIARĘKA
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 60 mm

eprasa.pl dfb64580ab

Programowanie w środowisku MicroPython (2)

Timery, przerwania i dioda WS2812

W tym odcinku kursu stworzymy prostą bibliotekę z własnymi funkcjami, a także zapoznamy się z obsługą przerwań i timerów w ESP32-S3 oraz diod ze sterownikiem WS2812. Napiszemy prosty program, który będzie zmieniał kolor świecenia diody, pracując przy tym całkowicie w tle.

Ile mamy pamięci?

Jak już wiemy z poprzedniego odcinka tego kursu, MicroPython korzysta z pamięci Flash mikrokontrolera do przechowywania plików. Możemy zapisywać pliki wykonywalne *.py, pliki uprzednio skompilowane *.mpy, a także pliki wszystkich innych typów. Nic nie stoi na przeszkodzie, by zainstalować dodatkowy dysk w postaci karty MicroSD lub pamięci EEPROM i na nim przechowywać dodatkowe pliki, jeżeli wbudowana pamięć nam nie wystarcza.

Przed wykonaniem skryptu *.py najpierw jest on kompilowany przez mikrokontroler. Tak powstaje bytecode, który zapisywany jest w pamięci RAM, a następnie może być on wykonany przez wirtualną maszynę MicroPythona. Ów bytecode może oczywiście tworzyć różne zmienne, tablice i inne obiekty, które również są przechowywane w pamięci RAM. Proces kompilacji i wykonywania programu jest szczegółowo opisany w dokumentacji MicroPythona, dostępnej pod adresem [2].

W pierwszej części tego odcinka napiszemy prosty moduł, który poda nam informacje o tym, ile wykorzystujemy pamięci Flash i RAM, a także ile zostało nam jeszcze wolnej pamięci. Przeanalizujmy kod zaprezentowany na **listingu 1**. Zawiera on tylko dwie funkcje.

W pierwszych dwóch liniach importujemy moduły, które będą nam potrzebne. Moduł os zawiera różne funkcje związane z systemem plików, zaś **gc** to *garbage collector*, czyli „odśmiecacz" pamięci RAM. Ten drugi jest domyślnie aktywny, a jego zadaniem jest wyszukiwanie oraz usuwanie nieużywanych zmiennych – po to, by zwolnić zajmowaną przez nie pamięć. Moduł gc zawiera różne funkcje do konfiguracji odśmiecania oraz informujące o zajętej i dostępnej pamięci RAM.

W linii 3 rozpoczynamy funkcję, której zadaniem jest wyświetlenie ilości miejsca w pamięci Flash zajmowanego przez wszystkie pliki, znajdujące się pod ścieżką określoną argumentem **path**. Domyślną wartością tego argumentu jest "", czyli katalog główny

```
# Plik mem_used.py
import os                                                    # 1
import gc                                                    # 2

def print_rom_used(path = „"):                               # 3
    stats        = os.statvfs(path)                          # 4
    block_size   = stats[0]                                  # 5
    total_blocks = stats[2]                                  # 6
    free_blocks  = stats[3]                                  # 7
    total_rom    = total_blocks * block_size
    used_rom     = (total_blocks - free_blocks) * block_size
    print(f"ROM: {used_rom} / {total_rom}")                  # 8

def print_ram_used():                                        # 9
    gc.collect()                                             # 10
    total_ram = gc.mem_alloc() + gc.mem_free()               # 11
    used_ram  = gc.mem_alloc()
    print(f"RAM: {used_ram} / {total_ram}")

if __name__ == „__main__":                                   # 12
    print_rom_used()
    print_ram_used()
```

Listing 1. Kod pliku mem_used.py



Pierwsza część artykułu znajduje się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

w systemie plików ESP32. Możliwość wskazania ścieżki przyda nam się w kolejnych odcinkach, kiedy będziemy tworzyć dyski na karcie MicroSD lub w pamięci EEPROM.

Funkcja **statvfs()** z modułu **os** zwraca krotkę, którą zapisujemy do zmiennej **stats** (linia 4). Zawiera ona różne informacje na temat systemu plików. Następnie, aby ułatwić sobie analizę tej krotki, przepiszemy kilka jej części składowych do zmiennych o nieco bardziej zrozumiałych nazwach. W linii 5 odczytujemy, jaki jest rozmiar bloku pamięci w bajtach, ile jest wszystkich dostępnych bloków na dysku (linia 6) i ile jest wolnych bloków (linia 7). Potem przeprowadzamy kilka prostych obliczeń, aby uzyskać ilość dostępnej i zajętej pamięci w bajtach. W linii 8 wyświetlamy wynik na konsoli, stosując f-string.

Kolejna funkcja wyświetli nam informację nt. dostępnej i zajętej pamięci RAM (linia 9). W linii 10 wywołujemy funkcję **collect()** z modułu **gc**. Zadaniem tej funkcji jest uruchomienie odśmiecacza, aby przeskanował pamięć i usunął wszystkie niepotrzebne obiekty. W dwóch kolejnych liniach funkcja **mem_alloc()** zwraca ilość zajętej pamięci, a **mam_free()** informuje nas o tym, ile pozostało wolnej pamięci.

Przechodzimy teraz do linii 12 zawierającej instrukcję if, która może nieco zaskoczyć osoby dopiero uczące się Pythona. Plik *.py da się bowiem załadować na dwa sposoby. Może on zostać zaimportowany przez inny moduł (w takiej sytuacji zmienna **__name__** przechowuje nazwę modułu zaimportowanego) lub uruchomiony bezpośrednio, np. klawiszem F5 w Thonny. W takiej sytuacji zmienna **__name__** ma wartość „__main__". Identycznie jest w przypadku plików boot.py oraz main.py, które są uruchamiane automatycznie po starcie systemu. Celem linii 12 jest sprawdzenie, czy plik został zaimportowany, czy też uruchomiony. W tej drugiej sytuacji zostanie wykonany kod pod instrukcją if, odpowiedzialny za wywołanie dwóch omówionych wcześniej funkcji.

Zapisz plik z listingu 1 w ESP32 pod nazwą mem_used.py, a następnie wciśnij F5. Powinieneś zobaczyć na konsoli komunikaty podobne do poniższych:

```
>>> %Run -c $EDITOR_CONTENT

MPY: soft reboot
ROM: 315392 / 6291456
RAM: 1648 / 8190464
```

Piny GPIO

Z obsługą pinów pierwszy raz zetknęliśmy się w poprzednim odcinku, lecz teraz przestudiujemy ten temat dokładniej. MicroPython pozwala zarządzać pinami GPIO na kilka różnych sposobów.

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab

Aby uzyskać dostęp do pinu, musimy najpierw stworzyć egzemplarz klasy **Pin** z modułu **machine**. W tym celu musimy najpierw tę klasę zaimportować poleceniem:

```
from machine import Pin
```

Następnie trzeba utworzyć instancje klasy Pin – po jednej na każdy pin, którego chcemy użyć. Możemy je przechowywać w zmiennych globalnych, a także przekazywać przez argumenty. Dostęp do pinu będziemy mieć tak długo, jak długo będzie istniała zmienna przechowująca instancję pinu.

Każdy pin (przynajmniej w MicroPythonie na ESP32) może pracować jako wejście, wyjście push-pull lub wyjście z otwartym kolektorem. Tworzymy te piny poniższymi instrukcjami:

```
pin0 = Pin(0, Pin.IN)
pin1 = Pin(1, Pin.OUT)
pin2 = Pin(2, Pin.OPEN_DRAIN)
```

Nic nie stoi na przeszkodzie, aby utworzyć kilka instancji, sterujących tym samym pinem GPIO. Pierwszy argument konstruktora to fizyczny numer pinu, zgodnie z dokumentacją używanego przez nas mikrokontrolera. Drugi to kierunek przepływu informacji. Istnieje możliwość, aby dodać trzeci argument, jeżeli chcemy uaktywnić wbudowany rezystor pull-up albo pull-down.

```
pin3 = Pin(3, Pin.IN, Pin.PULL_UP)
pin4 = Pin(4, Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)
```

Jeżeli pin ma być wyjściem, to możemy ustalić jego stan od razu podczas tworzenia obiektu, korzystając z argumentu **value**.

```
pin5 = Pin(5, Pin.OUT, value=0)
pin6 = Pin(6, Pin.OUT, value=1)
```

Wszystkie układy z rodziny ESP32 pozwalają ustawić także ogranicznik prądowy dla pinu pracującego jako wyjście. Mamy do dyspozycji cztery ustawienia, które należy przekazać za pomocą argumentu **drive**. **DRIVE_0** oznacza 5 mA, **DRIVE_1** to 10 mA, **DRIVE_2** daje 20 mA i jest to wartość domyślna, a **DRIVE_3** umożliwia pobranie z pinu nawet 40 mA.

```
pin7 = Pin(7, Pin.OUT, drive=Pin.DRIVE_0)
pin8 = Pin(8, Pin.OUT, drive=Pin.DRIVE_1)
pin9 = Pin(9, Pin.OUT, drive=Pin.DRIVE_2)
pin10 = Pin(10, Pin.OUT, drive=Pin.DRIVE_3)
```

Jeżeli zajdzie potrzeba, aby zmienić konfigurację istniejącego pinu, wówczas musimy posłużyć się metodą **init**.

```
pin10.init(Pin.IN, Pin.PULL_DOWN)
```

Istnieją dwa sposoby odczytywania stanu danej linii GPIO. Oba zwracają wartość 1 lub 0, którą można zapisać w jakiejś zmiennej lub przekazać do funkcji jako argument. Drugi sposób jest lepszy, ponieważ wykonuje się odrobinę szybciej.

```
pin0.value()
pin0()
```

Aby zmienić stan pinu pracującego jako wyjście, należy skorzystać z metody **value**, **on**, **off** lub podać żądany stan w nawiasie, od razu za nazwą zmiennej. Ostatni wymieniony sposób jest najszybszy.

```
pin1.value(1)
pin1.value(0)
pin1.on()
pin1.off()
pin1(1)
pin1(0)
```

Aby pin wywoływał przerwanie, musimy skorzystać z metody **irq** i przekazać do niej dwa argumenty. Pierwszym jest nazwa funkcji (koniecznie bez nawiasów!), która zostanie wywołana w momencie zgłoszenia przerwania. Drugim jest wybór rodzaju zbocza wywołującego przerwanie (rosnące, opadające lub oba).

```
pin0.irq(gpio_int, Pin.IRQ_RISING)
pin0.irq(gpio_int, Pin.IRQ_FALLING)
pin0.irq(gpio_int, Pin.IRQ_RISING | IRQ_FALLING)
```

To już wszystkie najważniejsze informacje na temat klasy **Pin**. Zawiera ona jeszcze kilka szczegółów, jakich nie omówiłem, ale nie są one szczególnie istotne. Pełną dokumentację klasy znajdziesz pod adresem [3].

Timery

Układy ESP32 mają cztery sprzętowe timery, ponumerowane od 0 do 3. Aby z nich skorzystać, musimy najpierw zaimportować klasę Timer z modułu machine.

```
from machine import Timer
```

Kolejnym krokiem, podobnie jak w przypadku pinów GPIO, jest utworzenie instancji tej klasy. W konstruktorze podajemy numer timera, którego będziemy używać.

```
tim = Timer(0)
```

Tak utworzoną instancję możemy skonfigurować i uruchomić za pomocą metody **init**. Zwróć uwagę, że wszystkie argumenty muszą być nazwane. Argument **mode** decyduje o trybie pracy timera. Możliwe opcje to: **Timer.ONE_SHOT**, czyli praca jednorazowa (po zgłoszeniu przerwania timer sam się wyłączy) oraz **Timer.PERIODIC**, w którym timer zgłasza przerwania cyklicznie tak długo, aż zostanie wyłączony ręcznie. Argument **period** to czas odliczania w milisekundach. Ostatni argument **callback** to nazwa funkcji, która ma zostać wywołana w momencie zgłoszenia przerwania.

```
tim.init(mode=Timer.ONE_SHOT, period=1000,
callback=timer_int)
tim.init(mode=Timer.PERIODIC, period=1000,
callback=timer_int)
```

Można także utworzyć instancję timera i od razu ją skonfigurować:

```
tim0 = tim.Timer(0, mode=Timer.ONE_SHOT, period=1000,
callback=timer_int)
tim1 = tim.Timer(1, mode=Timer.PERIODIC, period=1000,
callback=timer_int)
```

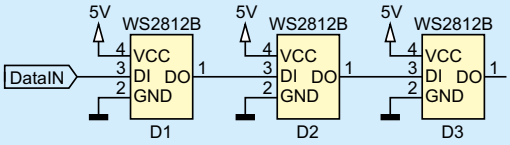
Aby zatrzymać timer w dowolnym momencie, należy wywołać metodę deinit.

```
tim.deinit()
```

Pełna dokumentacja klasy Timer dostępna jest pod adresem [4].

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 1. Przykład połączenia kilku diod WS2812

Dioda WS2812 (NeoPixel)

Omówimy teraz działanie diody WS2812. Jest to bardzo popularny element i zapewne większość Czytelników już o nim słyszała. W środku diody znajdują się struktury świecące na czerwono, zielono i niebiesko oraz wbudowany, cyfrowy sterownik, do którego wystarczy wysłać informację o żądanym kolorze świecenia. Możemy łączyć ze sobą bardzo dużo takich diod w łańcuch (zobacz przykładowy schemat na **rysunku 1**), a każda z nich może świecić innym kolorem. Co bardzo ważne z praktycznego punktu widzenia, do sterowania diodami potrzebny jest tylko jeden pin procesora, niezależnie od liczby diod połączonych w łańcuchu.

Na początku musimy zaimportować moduł **neopixel**. Nazwa ta została wdrożona przez firmę Adafruit dla produkowanych przez nią gadżetów bazujących na diodach WS2812.

```
import neopixel
```

Następnie trzeba utworzyć instancję pinu, który steruje łańcuchem diod. Kolejnym krokiem jest utworzenie obiektu **NeoPixel**, do którego przekazujemy utworzony wcześniej pin oraz liczbę diod w łańcuchu. W poniższym przykładzie pin GPIO 0 steruje dziesięcioma diodami WS2812.

```
wspin = Pin(0, Pin.OUT)
ws2812 = neopixel.NeoPixel(wspin, 10)
```

Można to zrobić także w jednej linijce kodu.

```
ws2812 = neopixel.NeoPixel(Pin(0, Pin.OUT), 10)
```

Tak powstaje obiekt, wewnątrz którego znajduje się lista zawierająca informacje o składowych RGB wszystkich diod (dokładniej rzecz ujmując, jest to obiekt typu **bytearray**, ale nie wchodźmy w takie szczegóły). Aby ustawić kolor diody, musimy składowe RGB objąć nawiasami okrągłymi, tworząc krotkę, a następnie zapisać ją na liście, podając numer wybranej diody w nawiasach kwadratowych. Każda ze składowych może świecić w jednym z 256 stopni jasności, gdzie 0 oznacza całkowite wyłączenie, a 255 świecenie z pełną jasnością.

```
ws2812[0] = ( 0, 0, 0)              # dioda nie świeci
ws2812[1] = (255, 0, 0)             # kolor czerwony
ws2812[2] = ( 0, 255, 0)            # kolor zielony
ws2812[3] = ( 0, 0, 255)            # kolor niebieski
ws2812[4] = (255, 255, 255)         # kolor biały
```

Na razie żadna dioda jeszcze nie świeci. Trzeba bowiem przesłać dane do sterowników WS2812, wywołując metodę write.

```
ws2812.write()
```

Gdybyśmy potrzebowali odczytać liczbę diod w łańcuchu, możemy to zrobić na dwa sposoby:

```
ws2812.n
len(ws2812)
```

A jeżeli z jakiegoś powodu potrzebujemy dostać się do „surowych" danych bufora pamięci, wówczas musimy odczytać lub zapisać zmienną **buf**. Więcej informacji na temat klasy NeoPixel znajdziesz pod adresem [5].

Ćwiczenia praktyczne

Napiszemy teraz testowy program, którego celem jest zademonstrowanie procesu inicjalizacji i ustawiania koloru diody WS2812. Wykorzystamy diodę znajdującą się na płytce ESP32-S3-DevKit-C (w rzeczywistości jest tam zamontowana dioda typu SK68XXMINI-HS, ale steruje się nią identycznie jak WS2812). Ponadto skonfigurujemy przycisk zainstalowany fabrycznie na płytce w taki sposób, aby jego naciśnięcie wywoływało przerwania. W procedurze przerwania od przycisku będzie losowany kolor diody, po czym zostanie ustawiony timer, który wygeneruje kolejne przerwanie po dwóch sekundach. Dioda zostanie następnie wyłączona w procedurze przerwania od timera.

Przeanalizujmy kod z **listingu 2**, który prezentuje zawartość pliku interrupt_demo.py. Plik rozpoczynamy od zaimportowania potrzebnych modułów: **mem_used** (w linii 1), który stworzyliśmy wcześniej oraz **neopixel**, pozwalający sterować diodą WS2812. W kolejnej linii importujemy moduł **random**, który służy do generowania liczb losowych. Finalnie z modułu **machine** importujemy klasy **Pin** oraz **Timer**.

Plik interrupt_demo.py zawiera tylko dwie funkcje oraz cztery linijki kodu, które nie są ani funkcjami, ani klasami. Wykonują się one przy każdym uruchomieniu tego pliku. Przejdźmy do linii 10. W tym miejscu tworzymy obiekt klasy **Pin**, zaimportowany z modułu machine i zapisujemy do zmiennej **button**. Jak nietrudno się domyślić, będzie on służył do obsługi przycisku, znajdującego się na płytce ESP32-S3-DevKit-C. W nawiasach przekazujemy trzy argumenty do konstruktora klasy. Są to:

1. fizyczny numer pinu w układzie ESP32-S3, do którego podłączony jest przycisk (czyli pin GPIO 0),
2. kierunek przepływu informacji (pin ma być wejściem),
3. zezwolenie na podłączenie rezystora pull-up, wbudowanego w strukturę ESP32-S3. W tym przypadku moglibyśmy pominąć ten argument, ponieważ na płytce znajduje się fizyczny rezystor pull-up, zawsze podciągający pin 0 niezależnie od konfiguracji programowej.

W linii 11 wywołujemy metodę **irq** obiektu **button**. W momencie wystąpienia przerwania ma zostać wywołana funkcja **button_int**.

```
# Plik interrupt_demo.py

import mem_used                                                    # 1
import neopixel
import random
from machine import Pin, Timer

def timer_int(source):                                             # 2
    print(f"Przerwanie od {source}")

    led[0] = (0, 0, 0)
    led.write()

def button_int(source):                                            # 3
    print(f"Przerwanie od {source}")                               # 4

    r = random.randint(0, 255)                                     # 5
    g = random.randint(0, 255)
    b = random.randint(0, 255)

    led[0] = (r, g, b)                                             # 6
    led.write()                                                    # 7

    print(f"Wylosowany kolor to: {led[0]}")                        # 8

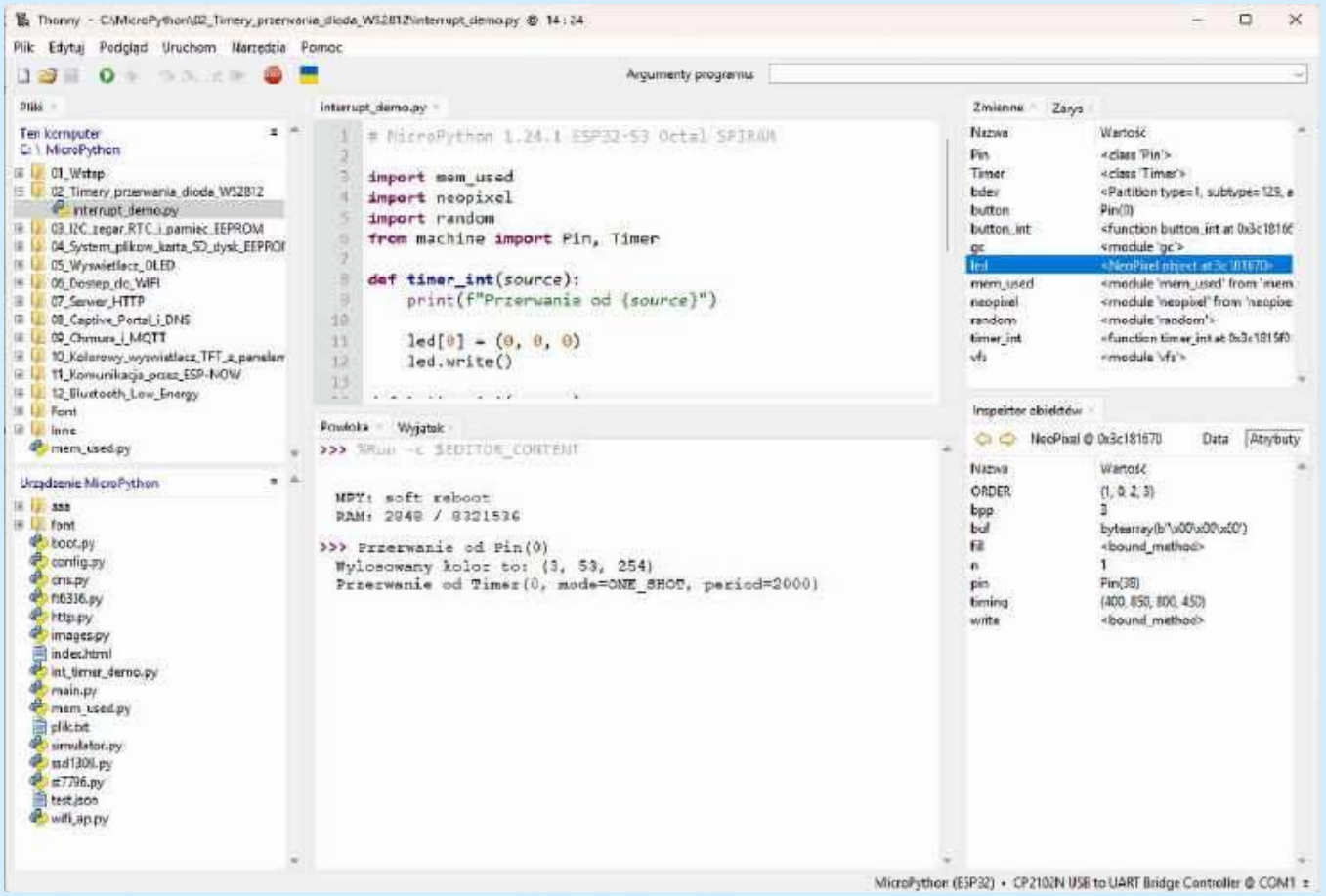
    Timer(0, mode=Timer.ONE_SHOT, period=2000, callback=timer_int) # 9

button = Pin(0, Pin.IN, Pin.PULL_UP)                               # 10
button.irq(button_int, Pin.IRQ_FALLING)                            # 11
led = neopixel.NeoPixel(Pin(38, Pin.OUT), 1)                       # 12
mem_used.print_ram_used()                                          # 13
```

Listing 2. Kod pliku interrupt_demo.py

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 2. Efekt działania programu z niniejszego odcinka kursu

Przycisk ma rezystor pull-up, zapewniający stan wysoki w momencie, gdy klawisz nie jest wciśnięty. Zatem przerwanie musi być wywoływane zboczem opadającym i dlatego w drugim argumencie podajemy wartość **Pin.IRQ_FALLING**.

Przejdźmy do linii 12, w której tworzymy egzemplarz klasy **NeoPixel** z modułu **neopixel**, odpowiedzialnego za sterowanie diodami WS2812. Do konstruktora tej klasy przekazujemy dwa argumenty. Pierwszym jest egzemplarz klasy Pin, sterujący pinem GPIO 38 (ponieważ do niego podłączona jest dioda WS2812). Drugi argument określa, ile znajduje się połączonych diod w łańcuchu – na płytce mamy tylko jedną taką diodę.

Tak utworzony obiekt zapisujemy do zmiennej **led**.

Na koniec, w linii 13, wywołujemy funkcję wyświetlającą ilość pozostałej pamięci RAM. Funkcja ta pochodzi z modułu **mem_used**, którą znamy już z listingu 1.

Omówmy teraz procedurę obsługi przerwania od przycisku, która zaczyna się z linii 3. Wygląda jak zupełnie normalne funkcja, jednak ma dwa ograniczenia. Pierwsze z nich polega na tym, że funkcja musi przyjmować jeden argument będący obiektem zgłaszającym przerwanie (dzięki temu można zrobić jedną funkcję obsługującą przerwania od wielu źródeł, która sama może rozpoznać, co ją wywołało). W naszym przykładzie jest to argument **source**, choć jego nazwa może być dowolna. Drugim ograniczeniem jest to, że funkcja nie powinna zwracać żadnej wartości. Umieszczenie instrukcji return co prawda nie spowoduje błędu, ale nie da też żadnego efektu. Poza tym, w przerwaniach nie zaleca się korzystania z operacji tworzących nowe zmienne lub zmieniających rozmiar, np. przez dodanie elementu do listy. Lepiej korzystać ze zmiennych, które już istnieją i tylko zmienić ich wartość.

Linia 4 ma za zadanie wyświetlić komunikat informujący użytkownika o tym, że zostało zgłoszone przerwanie (oraz o tym, skąd ono pochodzi). W tej linii wyświetlimy funkcją **print** zawartość zmiennej **source**. Znajduje się tam obiekt **button** klasy **Pin**, który utworzyliśmy w linii 10. Uzyskamy taki sam efekt, jak przy użyciu zapisu print(button).

Następnie, w linii 5 i kolejnych losujemy jasność koloru czerwonego, zielonego i niebieskiego. Korzystamy w tym celu z funkcji **randint** z modułu **random**. W argumentach funkcji podajemy zakres, wewnątrz którego ma znajdować się wylosowana liczba, tzn. od 0 do 255.

Linia 6 pokazuje, w jaki sposób możemy sterować kolorem poszczególnych diod w łańcuchu. Diody numerowane są od 0. Indeks diody, której kolor chcemy ustawić, podajemy w nawiasach kwadratowych w taki sam sposób, jakby obiekt **led** był listą. Składowe RGB musimy scalić w krotkę, obejmując je nawiasami okrągłymi.

Kolejnym krokiem w linii 7 jest odświeżenie diod WS2812. W tym celu wywołujemy metodę **write()** z obiektu **led**. Dioda zacznie świecić natychmiast po przetransmitowaniu danych, co trwa ułamek sekundy. Następnie wyświetlamy na konsoli informację o tym, jaki kolor został wylosowany (linia 8).

Dioda WS2812 ma świecić się przez dwie sekundy. Aby odmierzyć czas, skorzystamy z timera. W linii 9 tworzymy instancję obiektu **Timer** z modułu **machine**. Konstruktor tego obiektu przyjmuje cztery argumenty. Są to:

1. numer timera – w przykładowym kodzie jest timer 0, ale można użyć dowolnego,
2. argument **mode** – tryb pracy. Chcemy aby timer wyłączył się po zgłoszeniu przerwania, zatem podajemy **Timer.ONE_SHOT**,
3. argument **period** – okres timera w milisekundach,
4. argument **callback** – nazwa funkcji, która ma zostać wywołana w momencie zgłoszenia przerwania od timera.

Zwróć uwagę, że numer timera to argument pozycyjny i zawsze musi być podany jako pierwszy, a argumenty **mode**, **period** i **callback** przekazywane są z wykorzystaniem

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab

słów kluczowych, których nie możemy pominąć (ale za to możemy je wpisać w dowolnej kolejności).

Konstruktor klasy **Timer** zwraca egzemplarz konstruowanej klasy, którą moglibyśmy zapisać w jakiejś zmiennej, jednak tego nie robimy, ponieważ w naszym przykładowym kodzie nie potrzebujemy mieć dostępu do metod tejże instancji.

Pozostaje już tylko omówić przerwanie od timera, które zaczyna się od linii 2. Jest ono bardzo podobne do przerwania od przycisku. Różni się tylko tym, że – zamiast losować kolory – wszystkie składowe zerujemy, co w rezultacie powoduje, że dioda WS2812 przestaje świecić.

Gotowe! W programie Thonny naciśnij przycisk F5. Program zostanie przesłany i uruchomiony. Na konsoli zobaczysz tylko informację o pamięci RAM, a zaraz pod nią pojawi się wiersz poleceń interpretera, w którym możemy wpisywać dowolne komendy. Naciśnij przycisk BOOT na płytce ESP32-S3-DevKit-C. Dioda zaświeci się na losowo wybrany kolor i po dwóch sekundach zgaśnie. Na konsoli wyświetlą się komunikaty takie, jak pokazane na **rysunku 2**.

Kody z dzisiejszego odcinka kursu możesz znaleźć w repozytorium autora na GitHubie, dostępnym pod adresem [1].

W następnym odcinku zobaczymy, jak w MicroPythonie obsługuje się interfejs I²C na przykładzie zegara czasu rzeczywistego DS1307 oraz pamięci EEPROM typu AT24C32.

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com

Zobacz więcej:
- Repozytorium kursu na GitHubie
  https://github.com/leonow32/micropython
- Jak dokładnie działa MicroPython?
  https://docs.micropython.org/en/latest/reference/constrained.html
- Dokumentacja klasy Pin
  https://docs.micropython.org/en/latest/library/machine.Pin.html
- Dokumentacja klasy Timer
  https://docs.micropython.org/en/latest/library/machine.Timer.html
- Dokumentacja klasy NeoPixel
  https://docs.micropython.org/en/latest/library/neopixel.html

REKLAMA

Pobierz bezpłatnie multimedialne dodatki do tego wydania „Elektroniki Praktycznej”

Projekty, miniprojekty, materiały do artykułów i kursów oraz wiele innych!

* Kupiłeś magazyn w Ulubionym Kiosku lub masz prenumeratę? Multimedialne dodatki będą odblokowane automatycznie!

* Zakupiłeś czasopismo u zewnętrzenego dystrybutora? Odblokuj bibliotekę multimediów samodzielnie.

Szczegóły na UlubionyKiosk.pl/media

Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego (3)

Moduły rozszerzeń do zestawu DSP1701A_DSP_MK2

Płytka bazowa DSP1701A_DSP_MK2 umożliwia bezpośrednią obróbkę sygnału analogowego. W podstawowej wersji do dyspozycji mamy dwa wejścia oraz cztery analogowe wyjścia liniowe. Jeżeli aplikacja wymaga większej liczby wejść lub wyjść, konieczna jest obróbka sygnału cyfrowego w standardzie SPDIF/Toslink lub cyfrowe opóźnianie sygnału, konieczne staje się skorzystanie ze złączy interfejsu I²S/TDM (oznaczonych jako I2SI/I2SO) oraz sięgnięcie po odpowiednie moduły rozszerzeń.

W artykule opisano moduły rozszerzające funkcjonalność DSP1701A_DSP_MK2 o:

- DSP1701A_AD_PCM1809 – dwa liniowe wejścia analogowe (I²S),
- DSP1701A_ADCTDM_TAA5242 – cztery liniowe wejścia analogowe (TDM),
- DSP1701A_DACTDM_TAD5142 – cztery liniowe wyjścia analogowe (TDM),
- DSP1701A_SPDIF_IN_ASRC – moduł odbiornika SPDIF/Toslink z konwerterem częstotliwości próbkowania ASRC,
- DSP1701A_SPDIF_OUT_DIT4192 – moduł nadajnika SPDIF/Toslink,
- DSP1701A_ASRC4192 – moduł ASRC
- DSP1701A_TPA505x – moduł stereofonicznej, cyfrowej linii opóźniającej.

Schemat blokowy zestawu, ilustrujący przepływ sygnałów audio, sterujących oraz połączenia pomiędzy poszczególnymi modułami rozszerzeń, pokazano na **rysunku 1**.



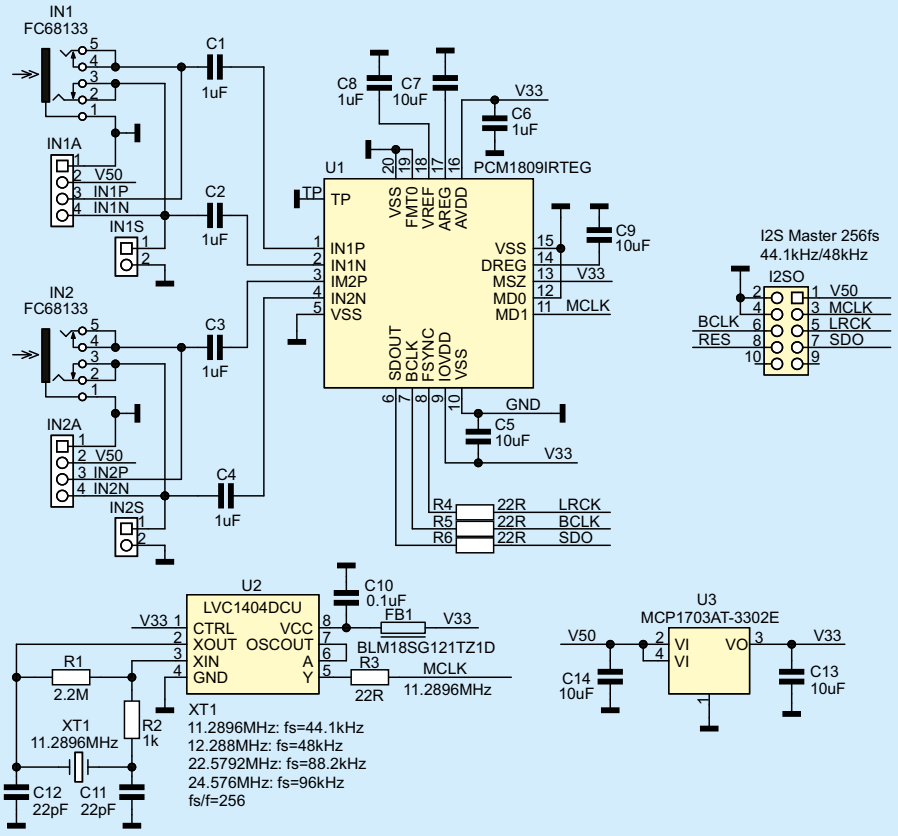
Rysunek 1. Schemat blokowy płytki bazowej DSP1701A_DSP_MK2

Poprzednie odcinki znajdują się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

Podstawowym rozszerzeniem DSP1701A_DSP_MK2 jest uzupełnienie o dodatkowe dwa wejścia analogowe, oparte na przetworniku A/D typu PCM1809 (Texas Instruments). Schemat ideowy modułu DSP1701A_AD_PCM1809 zaprezentowano na **rysunku 2**.

Przetwornik PCM1809 ma różnicowe wejścia analogowe o czułości (w trybie różnicowym) 2 V_{rms} (Z_{we}=10 kΩ). Linowy sygnał różnicowy (zbalansowany) doprowadzony jest do złączy IN1A/2A, na których dostępne jest także zasilanie 5 V oraz do gniazd mini jack 3,5 mm (zbalansowany mono). W przypadku obróbki sygnału niezbalansowanego konieczne jest założenie zwór IN1S/2S łączących z masą jedno z wejść różnicowych IN1N/2N przetwornika U1. Dane z przetwornika do procesora DSP przesyłane są magistralą I²S, której typowe przebiegi pokazano na **rysunku 3**. PCM1809 skonfigurowany jest sprzętowo do pracy w trybie master, czyli generuje sygnały zegarowe LRCK/BCLK dla procesora.

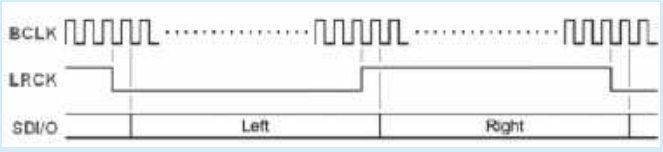
Aby zapewnić zgodność z pierwszą wersją płytki bazowej, moduł uzupełniony został o generator sygnału



Rysunek 2. Schemat ideowy modułu rozszerzenia DSP1701A_AD_PCM1809

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

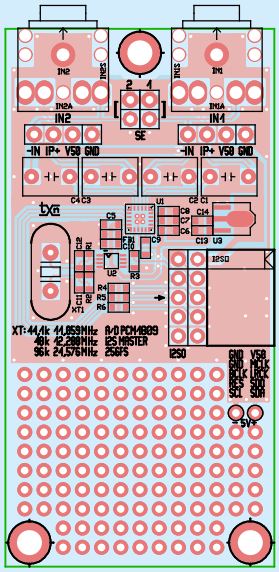
eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 3. Ramka formatu I²S

zegarowego MCLK oparty na układzie U2 typu LVC1404, który zawiera obwód oscylatora współpracującego z kwarcem oraz bramkę buforową. W zależności od użytej częstotliwości próbkowania należy zastosować kwarc XT1 o częstotliwości równej 256×fs, tj. 11,2896 MHz przy 44,1 kHz, a 12,288 MHz przy 48 kHz. Podobnie jak w przypadku płytki bazowej, polecam zastosowanie podstawki pod kwarc, ułatwiającej manipulację częstotliwościami fs podczas prototypowania. PCM1809 ma wbudowane filtry dolno- i górnoprzepustowe, zależne od częstotliwości fs. Filtr górnoprzepustowy, separujący m.in. składową stałą, ma częstotliwość odcięcia 0,00025×fs (12 Hz przy 48 kHz). Filtr dolnoprzepustowy (linowa faza) pracuje z częstotliwością 0,454×fs (około 21,8 kHz przy fs=48 kHz) i tłumieniem powyżej 70 dB. Należy zwrócić uwagę na częstotliwości odcięcia filtru górnoprzepustowego przy wyższych częstotliwościach próbkowania (88,2 kHz, 96 kHz), które wypadają w paśmie użytecznym audio i przy 96 kHz wynoszą 24 Hz. W zależności od zastosowania może być to pożądana cecha użytkowa (np. odcięcie najniższych częstotliwości w subwooferze) lub problem – gdy zależy nam na pełnym paśmie przenoszenia. Układ zasilany jest napięciem 3,3 V z lokalnego stabilizatora U3. Moduł z płytką bazową połączony jest złączem I2SO i montowany z lewej strony płytki bazowej do złącza I2SI. Moduł nie wymaga uruchamiania, rozmieszczenie elementów na dwustronnej płytce drukowanej pokazano na **rysunku 4**, a zmontowany moduł na **fotografii 1**.

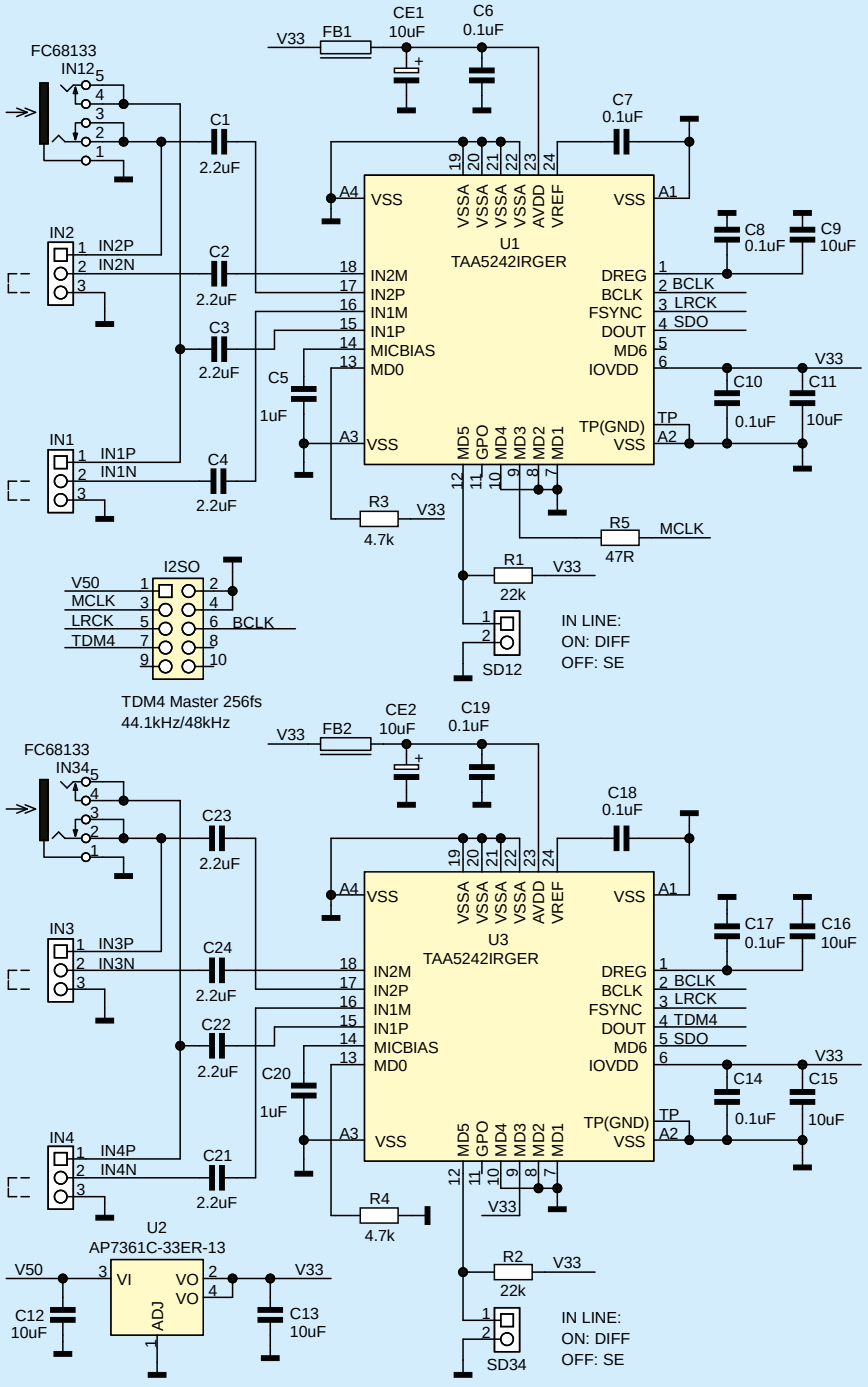
Gdy cztery wejścia analogowe to zbyt mało dla naszej aplikacji, należy użyć modułu DSP1701A_ADCTDM_TAA5242 z czterema wejściami liniowymi. Mamy wtedy do dyspozycji sumarycznie



Rysunek 4. Rozmieszczenie elementów DSP1701A_AD_PCM1809



Fotografia 1. Zmontowany moduł DSP1701A_AD_PCM1809



Rysunek 5. Schemat ideowy modułu rozszerzenia DSP1701A_ADCTDM_TAA5242

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

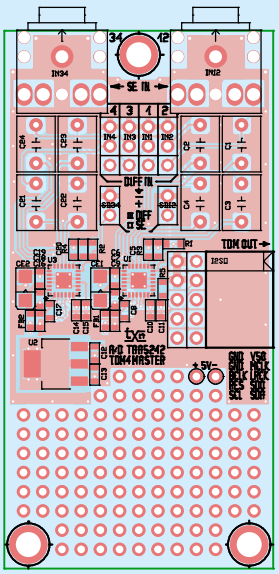
eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 6. Przykładowa ramka TDM

sześć wejść, co umożliwia już tworzenie prostych aplikacji miksujących sygnały z różnych źródeł. Moduł DSP1701A_ADCTDM_TAA5242, którego schemat ideowy pokazano na **rysunku 5**, używa do komunikacji z DSP interfejsu TDM4 (multipleksowanego czasowo), dzięki któremu dane z czterech przetworników wysłane są tylko jedną linią sygnałową. Oszczędza to zasoby wyprowadzeń oraz – w przypadku naszego zestawu – upraszcza podłączenie.

ADAU1701 zapewnia obsługę interfejsu slave TDM8 (do ośmiu kanałów audio), przyporządkowaną do interfejsu szeregowego dostępnego na wyprowadzeniu SDI0. Opisywany przetwornik wykorzystuje dwa układy przetworników TAA5242 z najnowszej linii A/D i D/A audio firmy Texas Instruments. Każdy z układów U1/U3 obsługuje dwa kanały przetwornika A/D. Konfigurację wejść określa się położeniem zwór SD12/34 podłączonych do wejść MD5 przetworników. Przy zwartej zworze (stan niski na MD5) przetworniki przełączają obwody wejściowe do współpracy z sygnałem różnicowym, a napięcie należy doprowadzić do złączy IN1...4. Rozwarta zwora



Rysunek 7. Rozmieszczenie elementów DSP1701A_ADCTDM_TAA5242



Fotografia 2. Zmontowany moduł DSP1701A_ADCTDM_TAA5242

Wykaz elementów:

DSP1701A_AD_PCM1809
Rezystory: (SMD 0603, 1%)
R1: 2,2 MΩ
R2: 1 kΩ
R3...R6: 22 Ω

Kondensatory:
C1...C4: foliowy 1 µF (THT, R=5 mm, 7,2 × 5,0 mm)
C5, C7, C9, C13, C14: 10 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
C6, C8: 1 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
C10: 0,1 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
C11, C12: 22 pF (SMD 0603, 16 V, NP0)

Półprzewodniki:
U1: PCM1809IRTEG (WQFN20_4x4P0.5)
U2: SN74LVC1404DCUR (VSSOP8_050)
U3: MCP1703AT-3302E (SOT-89)

Pozostałe:
FB1: dławik ferrytowy BLM18SG121TZ1D (SMD 0603)
I2SO: gniazdo kątowe 2×5 pin żeńskie (ZL263-10DG)
IN1, IN2: gniazdo jack 3,5 mm stereo, czerwone (FC68133)
IN1A, IN2A: złącze SIP 1×4 pin, proste, 2,54 mm
IN1S, IN2S: złącze SIP 1×2 pin, proste, 2,54 mm
XT1: kwarc HC49U niski 11,2896 MHz, dobrać odpowiednio do fs (patrz opis)

DSP1701A_ADCTDM_TAA5242
Rezystory: (SMD 0603, 1%)
R1, R2: 22 kΩ
R3, R4: 4,7 kΩ
R5: 47 Ω

Kondensatory:
C1...C4, C21...C24: foliowy 2,2 µF
(THT, R=5 mm, 7,2 × 5,0 mm)
C5, C20: 1 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
C6...C8, C10, C14, C17...C19: 0,1 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
C9, C11...C13, C15, C16: 10 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
CE1, CE2: tantalowy 10 µF (SMD A 3216, 10V)

Półprzewodniki:
U1, U3: TAA5242IRGER (VQFN24_050RGE)
U2: AP7361C-33ER-13 (SOT-223)

Pozostałe:
FB1, FB2: dławik ferrytowy BLM18AG121SN1D (SMD 0603)
I2SO: gniazdo kątowe 2×5 pin żeńskie (ZL263-10DG)
IN1...IN4: złącze SIP 1×3 pin, proste, 2,54 mm
IN12, IN34: gniazdo jack 3,5 mm stereo, czerwone (FC68133)
SD12, SD34: złącze SIP 1×2 pin, proste, 2,54 mm

DSP1701A_DACTDM_TAD5142
Rezystory:
R1, R2: 22 kΩ (SMD 0603, 1%)
R3, R4: 4,7 kΩ (SMD 0603, 1%)
RP1, RP2: drabinka 4×330 Ω (CRA06S08)

Kondensatory:
C1, C2, C13, C14: 1 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
C3, C6, C9, C12: 0,1 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
C4, C5, C7, C8, C10, C11: 10 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
CE1, CE6: tantalowy 10 µF (SMD A 3216, 10V)
CE2...CE5: elektrolityczny 47 µF (THT R=5 mm, D=2 mm)

Półprzewodniki:
U1, U2: TAD5124IRGER (VQFN24_050RGE)
U3: AP7361C-33ER-13 (SOT-223)

Pozostałe:
FB1, FB2: dławik ferrytowy BLM18AG121SN1D (SMD 0603)
I2SI: gniazdo kątowe 2×5 pin żeńskie (ZL263-10DG)
OUT1...OUT4: złącze SIP 1×3 pin, proste, 2,54 mm
OUT12, OUT34: gniazdo Jack 3,5 mm stereo, zielone (FC68133)
SD1, SD2: złącze SIP 1×2 pin, proste, 2,54 mm

DSP1701A_SPDIF_IN_ASRC
Rezystory: (SMD 0603, 1%)
R1: 75 Ω
R2: 3 kΩ
R3, R4, R6...R11: 47 kΩ
R5: 2,2 kΩ
R12: 2,2 MΩ
R13: 1 kΩ
R14...R18: 22 Ω

Kondensatory:
C1, C6, C9, C10, C13...C15, C18, C19: 0,1 µF
(SMD 0603, 10 V, X7R)
C2, C11, C12: 22 pF (SMD 0603, 16 V, NP0)
C3...C5: 10 nF (SMD 0603, 10 V, X7R)
C7: 1 nF (SMD 0603, 16 V, NP0)
C8: 22 nF (SMD 0603, 10 V, X7R)
C16, C17: 10 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
CE1, CE2: tantalowy 10 µF (SMD A 3216, 10V)

Półprzewodniki:
LD1: dioda LED (SMD 0603)
U1: CS8416K-CZZ (TSSOP28L_065)
U2: SRC4192IDB (SSOP28_065)
U3, U6: 74LVC1G07GW.125 (TSSOP5)
U4: SN74LVC1404DCUR (VSSOP8_050)
U5: AP7361C-33ER-13 (SOT-223)

Pozostałe:
ERR, SP: złącze SIP 1×2 pin, proste, 2,54 mm
FB1, FB2: dławik ferrytowy BLM18SP601SN1D (SMD 0603)
FB3, FB4: dławik ferrytowy BLM18SG121TZ1D (SMD 0603)
FS0, FS1, GDL, INSEL, PD: złącze SIP 1×3 pin, proste, 2,54 mm
I2S0: gniazdo kątowe 2×5 pin żeńskie (ZL263-10DG)
SPDIF: gniazdo RCA do druku ekranowane (RCA_PCB_CC134/RCA-105K)
TOSLINK: odbiornik Toslink (FCR6842031R)
XT: kwarc 11,2896 MHz, HC49U niski, dobrać odpowiednio do fs (patrz opis)

DSP1701A_SPDIF_OUT_DIT4192
Rezystory: (SMD 0603, 1%)
R1: 0 Ω
R2: 360 Ω
R3: 91 Ω
R4...R8: 22 Ω

Kondensatory: (SMD 0603)
C1...C4: 0,1 µF (X7R, 10 V)
C5...C7: 10 µF (X7R, 10 V)

Półprzewodniki:
U1: DIT4192IPW (TSSOP28_065)
U2: MCP1700T-3302MB (SOT-89)

Pozostałe:
CK0, CK1, MS, OUT: złącze SIP 1×3 pin, proste, 2,54 mm
FB1: dławik ferrytowy BLM18SP601SN1D (SMD 0603)
I2SI: gniazdo kątowe 2×5 pin żeńskie (ZL263-10DG)
SPDIF: gniazdo RCA do druku, ekranowane (RCA_PCB_CC134/RCA-105K)
TOSLINK: odbiornik TOSLINK (FCR6842031T)
TS1: transformator DA101MC

DSP1701A_TPA505x
Kondensatory: (SMD 0603)
C1, C2: 0,1 µF (10 V, X7R)
C3, C4: 10 µF (10 V, X7R)

Półprzewodniki:
U1: TPA5052RSA (QFN16_065)
U2: TPA5050RSA (QFN16_065) – opcjonalnie zamiast U1
U3: AP7361C-33ER-13 (SOT-223)

Pozostałe:
A0...A2, D0...D4, SDO: złącze SIP 1×3 pin, proste, 2,54 mm
I2S: złącze SIP 1×6 pin, proste, 2,54 mm
I2SO: gniazdo kątowe 2×5 pin żeńskie (ZL263-10DG)

DSP1701A_ASRC4192
Rezystory: (SMD 0603, 1%)
R1: 2,2 MΩ
R2: 1 kΩ
R3, R4: 22 Ω
RP1: drabinka 4×22 Ω (CRA06S08)

Kondensatory: (SMD 0603)
C1, C4, C5: 0,1 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
C2, C3: 22 pF (SMD 0603, 10 V, NP0)
C6, C7: 10 µF (SMD 0603, 10 V, X7R)
CE1: tantalowy 10 µF (SMD B 3528)

Półprzewodniki:
U1: SN74LVC1404DCUR (VSSOP8_050)
U2: SRC4192 (SSOP28)
U3: AP7361C-33ER-13 (SOT-223)

Pozostałe:
FB1, FB2: dławik ferrytowy BLM18SG121TZ1D (SMD 0603)
FMI, FMO, FS0, FS1, GDL, WL: złącze SIP 1×3 pin, proste, 2,54 mm
I2SI: złącze kątowe 2×5 pin, męskie 2,54 mm (IDC10H)
I2SO: gniazdo kątowe 2×5 pin, żeńskie
2,54 mm (ZL263-10DG)
XT1: kwarc 11,2896 MHz, HC49U niski, dobrać odpowiednio do fs (patrz opis)

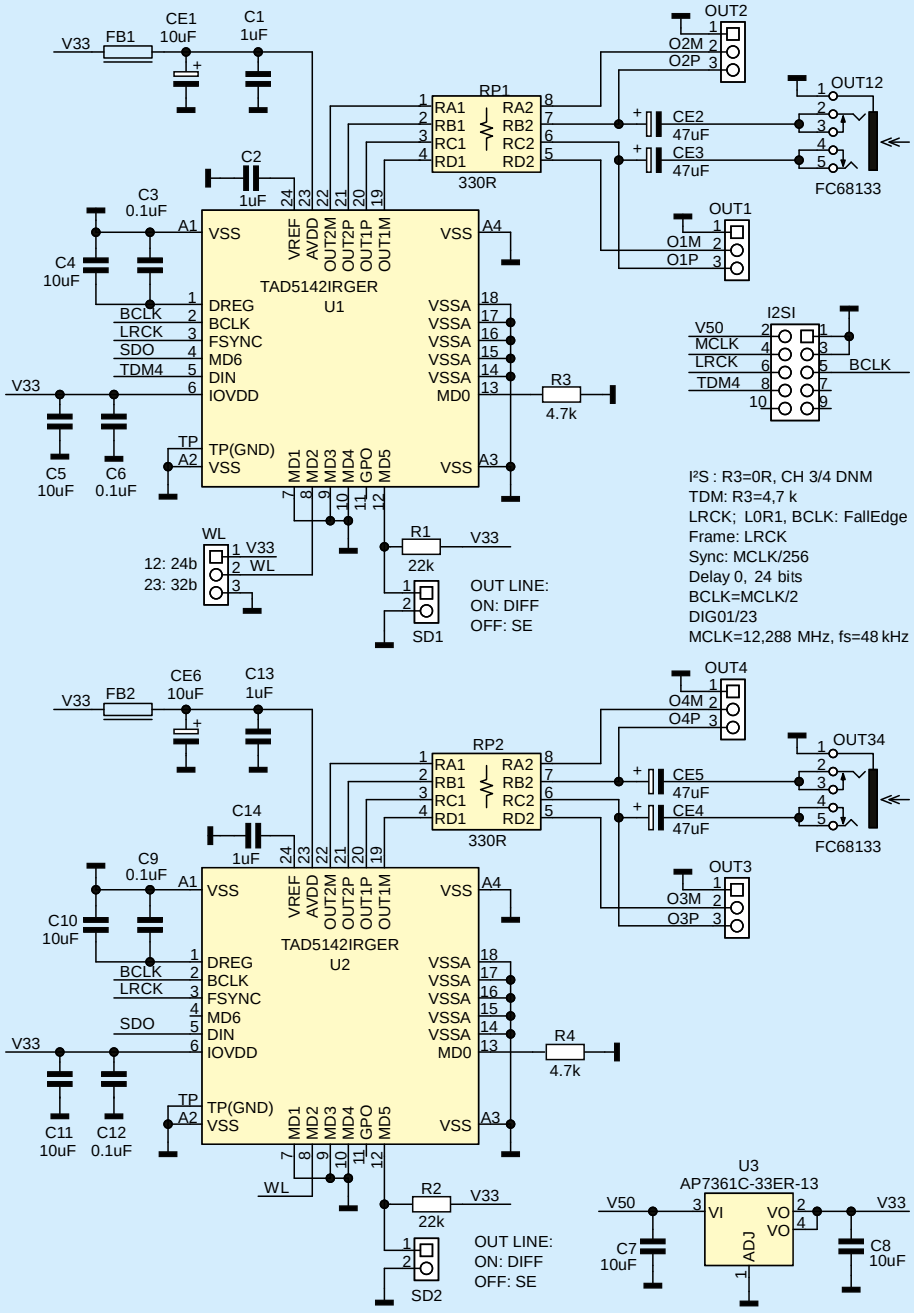
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab

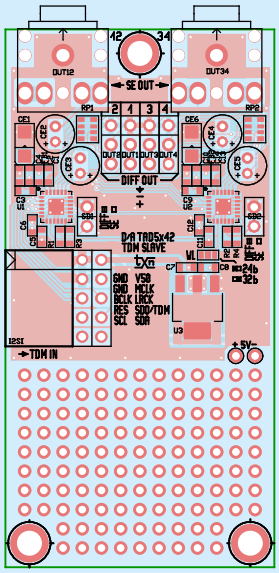
ustala tryb niezbalansowany – w tej konfiguracji sygnał należy doprowadzić do gniazd IN12/34 (stereo) oraz założyć zwory pomiędzy wyprowadzenia 23 na opowiadających złączach IN1...4. Czułość wejść w trybie różnicowym wynosi 2 V_{rms} (Z_{we}=5 kΩ). Ustawienia trybu wejść są niezależne dla każdego przetwornika A/D. Za konfigurację trybu TDM odpowiada wyprowadzenie MD0. Zwarcie tej linii do masy poprzez rezystor 4,7 kΩ włącza tryb *slave* TDM układu (U3), a do szyny zasilania – tryb *master* TDM (U1). Moduł korzysta z sygnału zegarowego MCLK z płytki bazowej, taktującego przetwornik U1. Sygnały LRCK, BCLK są wspólne (generuje je master U1), a sygnał danych SDO z U1 doprowadzony jest do wejścia MD6 U3, które stanowi wejście kaskady TDM. Wyjściowy sygnał TDM4 dostępny jest natomiast na wyprowadzeniu SDO U2. Dane z układu master U1 zajmują 3 i 4 slot TDM, czyli są doklejane na końcu ramki TDM przez układ *slave* U3. Każdy kanał zajmuje 32 bity/64 cykle zegara BCLK. Przykładową ramkę TDM pokazano na **rysunku 6**.

Pozostałe elementy zapewniają filtrację i odsprzęganie zasilania. Moduł zasilany jest napięciem 3,3 V z lokalnego stabilizatora LDO U2. Podobnie jak PCM1809, układ TAA5242 ma wbudowane filtry dolno- i górnoprzepustowe, zależne od częstotliwości fs. Filtr górnoprzepustowy (IIR), separujący m.in. składową stałą, ma częstotliwość odcięcia 1 Hz przy fs=48 kHz. Filtr dolnoprzepustowy o linowej charakterystyce fazowej pracuje z częstotliwością 0,454×fs (około 21,8 kHz przy 48 kHz) i tłumieniem powyżej 80 dB. Moduł z płytką bazową połączony jest złączem I2SO i montowany z lewej strony płytki bazowej do złącza I2SI. Moduł nie wymaga uruchamiania, rozmieszczenie elementów na czterowarstwowej płytce drukowanej pokazano na **rysunku 7**, a zmontowany moduł na **fotografii 2**.

Ostatnim opracowanym modułem przeznaczonym do obróbki sygnału analogowego jest czterokanałowy przetwornik D/A, który – razem z czterema wyjściami zastawu DSP1701A_DSP_MK2 – daje możliwość realizacji m.in. aktywnych, trójdrożnych zestawów głośnikowych. Moduł używa dwóch przetworników TAD5142 lub TAD5242 (zgodny z tym pierwszym pod względem układu wyprowadzeń, ale mający



Rysunek 8. Schemat ideowy modułu rozszerzenia DSP1701A_DACTDM_TAD5142



Rysunek 9. Rozmieszczenie elementów DSP1701A_DACTDM_TAD5142



Fotografia 3. Zmontowany moduł DSP1701A_DACTDM_TAA5142

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

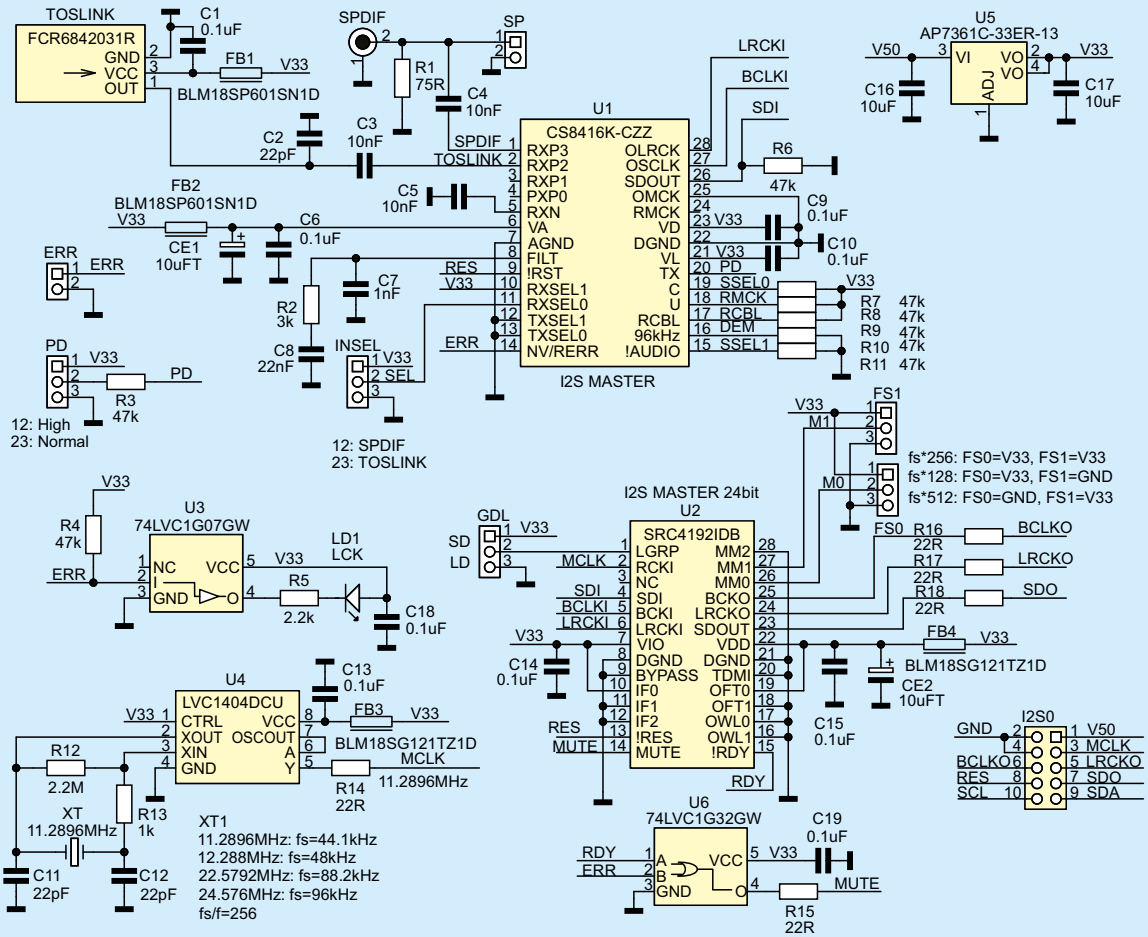
eprasa.pl dfb64580ab

nieco lepsze parametry audio od TAD5142) z najnowszej linii układów audio Texas Instruments. Schemat ideowy modułu pokazano na **rysunku 8**.

Każdy z układów U1, U2 obsługuje dwa kanały audio. Przetworniki oferują konfigurowalne stopnie wyjściowe z możliwością użycia trybu różnicowego (zbalansowanego) i niesymetrycznego (niezbalansowanego), wybieranego zworą SD1/2 (zwora zwarta – tryb różnicowy, zwora rozwarta – tryb niesymetryczny). W zależności od konfiguracji sygnał wyjściowy różnicowy dostępny jest na złączach OUT1...4, a niesymetryczny – na gniazdach OUT12/34 typu mini jack 3,5 mm stereo. Sygnał cyfrowy audio do przetworników, podobnie jak w przypadku modułu A/D, korzysta ze standardu TDM4, ale w trybie *slave*, tj. wszystkie sygnały zegarowe generowane są przez DSP. Układy U1, U2 pracują w trybie *slave* w kaskadzie TDM, która określona jest konfiguracją i wartością rezystorów R3, R4. Możliwy jest wybór długości słowa 24/32 bitów za pomocą zwory WL (domyślnie 32 bity, zwarte 2–3). Pozostałe elementy odsprzęgają zasilanie, lokalny stabilizator U3 dostarcza napięcie 3,3 V do zasilania przetworników. Jeżeli nie potrzebujemy wszystkich czterech kanałów, można zmontować przetwornik DA w wersji dwukanałowej, pomijając elementy kanału 3/4 i zwierając rezystor R3 zworą 0 Ω – konfiguruje to standardowy tryb I²S slave. Moduł z płytką bazową połączony jest złączem I2SI i montowany z prawej strony płytki bazowej do złącza I2SO. Moduł nie wymaga uruchamiania, rozmieszczenie elementów na czterowarstwowej płytce drukowanej pokazano na **rysunku 9**, a zmontowany moduł – na **fotografii 3**.

Procesor ADAU1701 nie ma wbudowanego odbiornika/nadajnika standardu SPDIF, powszechnie używanego do połączeń pomiędzy urządzeniami cyfrowego audio. Aby umożliwić obróbkę sygnału cyfrowego w standardzie przewodowym SPDIF lub optycznym (TOSLINK), opracowane zostały dwa moduły: odbiornika DSP1701A_SPDIF_IN_ASRC oraz nadajnika DSP1701A_SPDIF_OUT_DIT4192. Schemat tego pierwszego widać na **rysunku 10**.

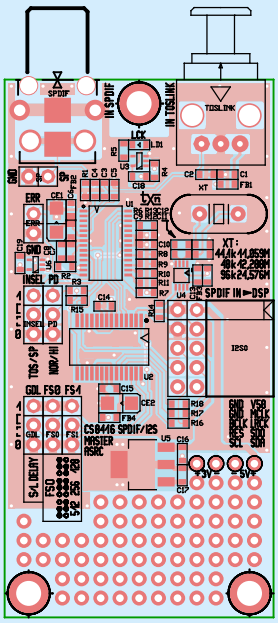
Moduł bazuje na układzie scalonego odbiornika SPDIF – U1 typu CS8416K. Wbudowany w U1 multiplekser wejść umożliwia – za pomocą zwory INSEL – wybór pomiędzy wejściem cyfrowym SPDIF (gniazdo RCA) a odbiornikiem optycznym w standardzie TOSLINK (FCR684203R). Interfejs wyjściowy CS8416K skonfigurowany jest w tryb *master* I²S. Zwora PD określa konfigurację wbudowanego detektora fazy: w stanie niskim detektor (zwarte 2–3) odświeżany jest wolniej, zapewniając synchronizację i odtwarzanie generowanego przez CS8416K sygnału MCLK z fs z zakresu 32 kHz...108 kHz. Domyślnie zwora PD ustawia stan wysoki (zwarte 1–2), zapewniając szybką synchronizację detektora i współpracę z sygnałami do 192 kHz, a sygnał MCLK generowany przez CS8416K nie jest używany. U1 sygnalizuje poprawność odbieranych danych cyfrowych (synchronizację) sygnałem ERR, który używany jest do potwierdzenia odbioru danych diodą LCK (buforowaną przez U3). Sygnał ERR dostępny jest na złączu o tej samej nazwie i może zostać przykładowo zastosowany do wyciszania lub wprowadzenia współpracujących układów w tryb obniżonego poboru mocy, gdy nie są odbierane żadne dane. Dla zwiększenia funkcjonalności modułu wyposażony został w konwerter częstotliwości próbkowania (ASRC), bazujący na układzie U2 typu SRC4192 (lub zamiennie SRC4190, o nieco gorszych parametrach, ale z identycznym układem wyprowadzeń). Interfejs wejściowy z sygnałami SDI, LRCKI, BCLKI, U2 pracuje w trybie *slave*, odbierając dane z odbiornika U1, a interfejs wyjściowy U2 z sygnałami SDO, LRCKO, BCLKO pracuje w trybie *master*, generując



Rysunek 10. Schemat ideowy modułu DSP1701A_SPDIF_IN_ASRC

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

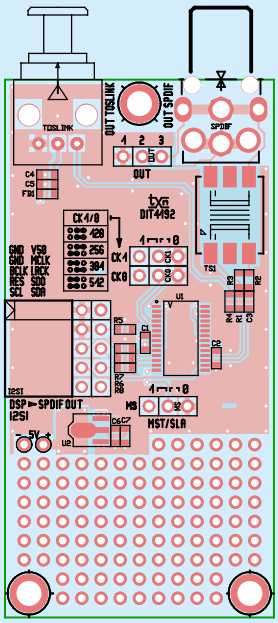
eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 11. Rozmieszczenie elementów DSP1701A_SPDIF_IN_ASRC



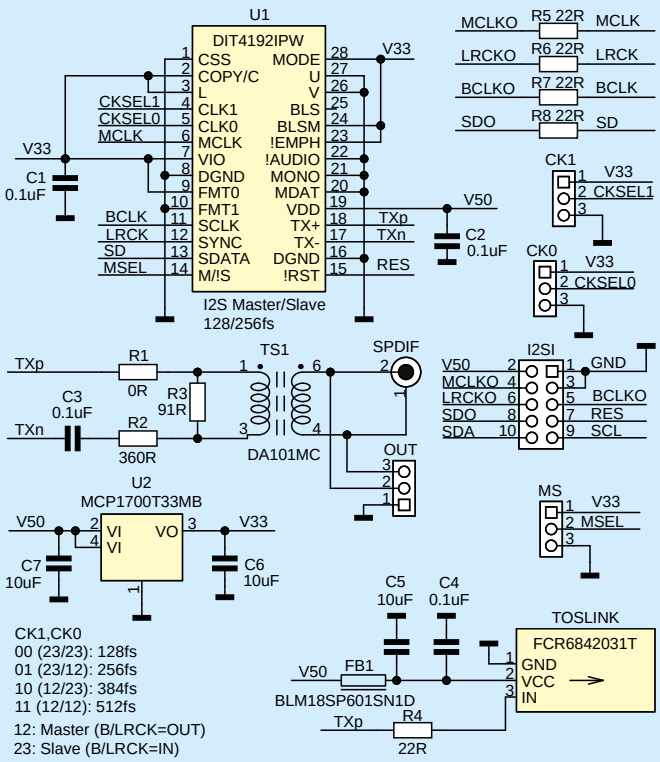
Fotografia 4. Zmontowany moduł DSP1701A_SPDIF_IN_ASRC



Rysunek 13. Rozmieszczenie elementów DSP1701A_SPDIF_OUT_DIT4192



Fotografia 5. Zmontowany moduł DSP1701A_SPDIF_OUT_DIT4192



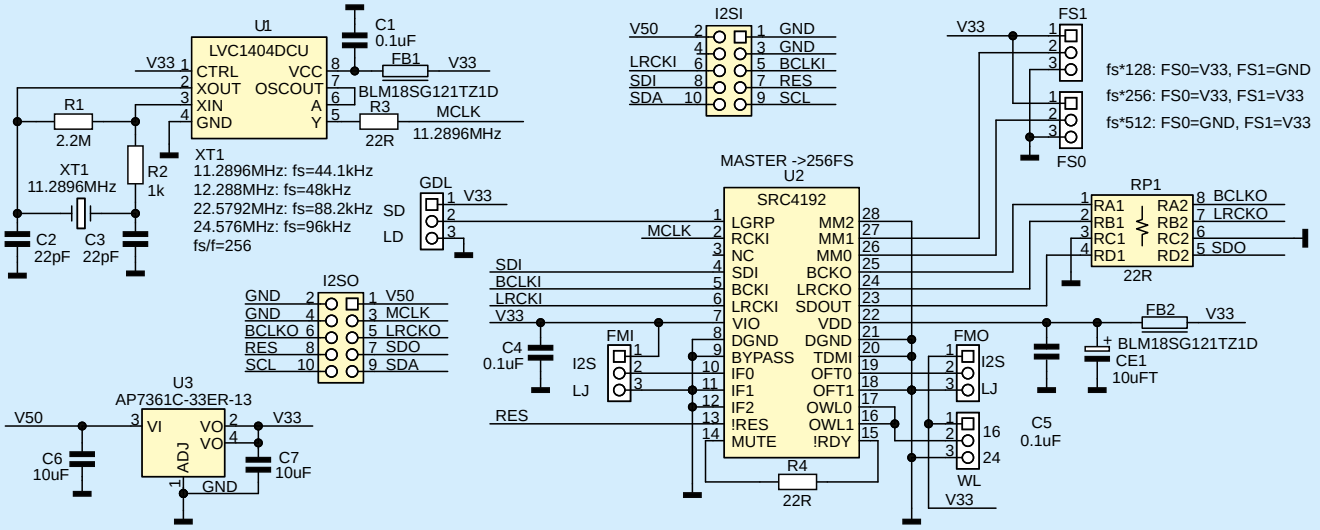
Rysunek 12. Schemat ideowy modułu DSP1701A_SPDIF_OUT_DIT4192

dane dla procesora DSP. Układ U2 wymaga zewnętrznego generatora sygnału zegarowego MCLK, w module zrealizowany jest on na układzie U4 typu LVC1404 – specjalizowanym generatorze współpracującym z kwarcem XT. Podobnie jak w przypadku pozostałych modułów, częstotliwość próbkowania fs zależna jest od wybranej częstotliwości kwarcu XT (domyślnie jest to kwarc 12,288 MHz przy fs=48 kHz). Sygnał MCLK doprowadzony jest także do procesora DSP, zapewniając synchroniczność z sygnałami danych cyfrowych. Zwory FS0,1 umożliwiają wybór krotności fs 128/256/512. Domyślnie przy współpracy z ADAU1701 ustawiana jest krotność 256 dla fs równej 48 kHz. Zwora GDL określa opóźnienie grupowe filtru ASRC, w położeniu 2–3 (stan wysoki) wybierane jest mniejsze opóźnienie (32 próbki), a w pozycji 1–2 (stan niski) większe (64 próbki). U2 ma obwód wyciszania MUTE, który aktywowany jest gdy układ ASRC nie jest gotowy do wystawiania przeliczonych danych lub gdy wystąpi błąd w odbiorniku. Sygnały RDY, ERR są sumowane za pomocą bramki U6, sterującej wyprowadzeniem MUTE. Stabilizator LDO U5 zapewnia zasilanie 3,3 V układu. Moduł połączony jest z płytką bazową złączem I2SO i montowany z lewej strony, do złącza I2SI. Układ nie wymaga uruchamiania, rozmieszczenie elementów na czterowarstwowej płytce drukowanej pokazano na **rysunku 11**, a zmontowany moduł – na **fotografii 4**.

Schemat modułu nadajnika DSP1701A_SPDIF_OUT_DIT4192 pokazano na **rysunku 12**. Całość została oparta na układzie nadajnika SPDIF – U1 typu DIT4192. W zastosowanej konfiguracji

REKLAMA

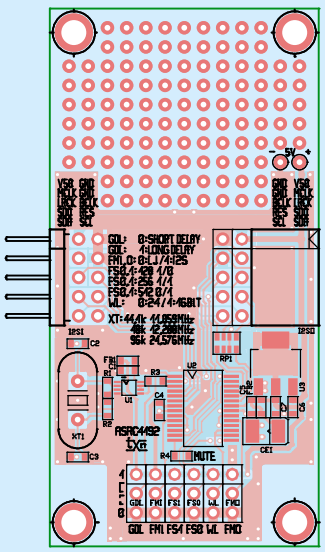




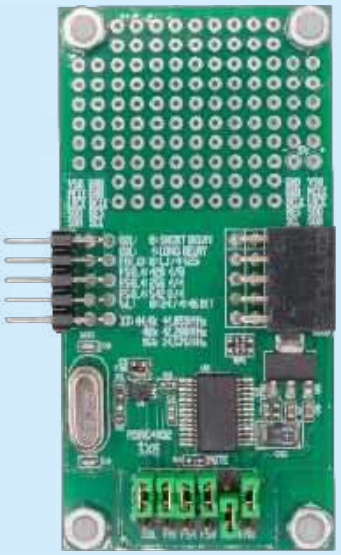
Rysunek 14. Schemat ideowy modułu DSP1701A_ASRC4192

konwertuje on dwukanałowy sygnał I²S do standardu SPDIF. Sygnał dostępny jest w dwóch standardach: przewodowym (po separacji galwanicznej transformatorem TS1) na gnieździe RCA SPDIF i złączu OUT oraz optycznym, dostępnym przez nadajnik TOSLINK typu FCR6842031T. Zwora MS konfiguruje tryb *master*/*slave* układu DIT4192, domyślnie zwarte piny 2–3 ustawiają tryb *slave*. Zwory CK0,1 określają krotność fs, domyślnie 256×fs (zwora CK1: zwarte 2–3, CK0: zwarte 1–2). Stabilizator U2 dostarcza zasilanie 3,3 V do całego układu. Moduł połączony jest z płytką bazową złączem I2SI i montowany z jej prawej strony, do złącza I2SO. Moduł nie wymaga uruchamiania, rozmieszczenie elementów na czterowarstwowej płytce drukowanej pokazano na **rysunku 13**, a zmontowany moduł na **fotografii 5**.

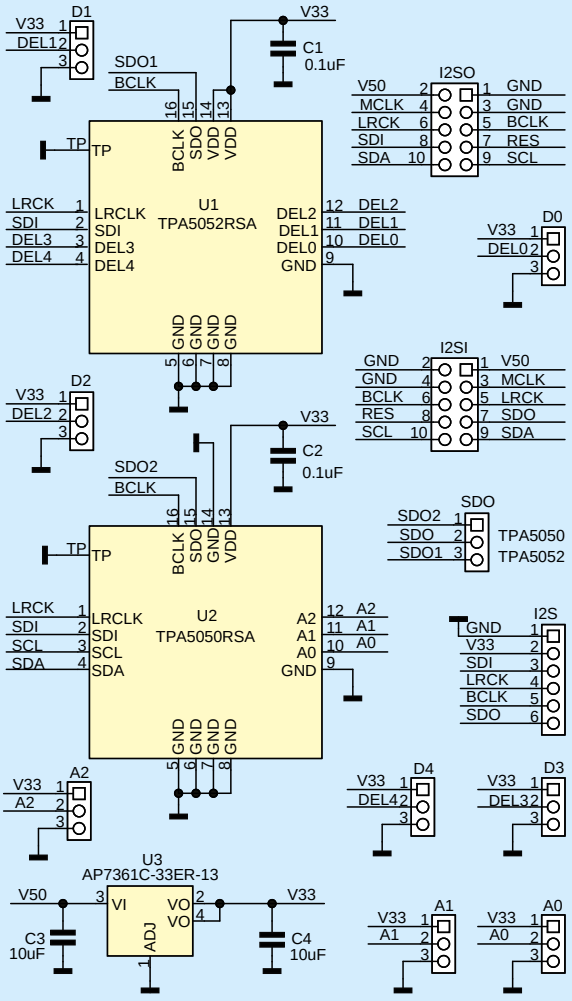
Pochodną modułu odbiornika SPDIF jest wydzielony moduł konwertera częstotliwości próbkowania (ASRC) DSP1701A_ASRC4192, którego schemat pokazano na **rysunku 14**. Moduł jest niezbędny, gdy źródło sygnału stanowi urządzenie z interfejsem cyfrowym o częstotliwości fs zmiennej lub stałej, ale różnej od skonfigurowanej w procesorze DSP, np. przy współpracy z Raspberry Pi, modułami audio HDMI/I²S lub odbiornikami USB/I²S. Moduł umożliwia – oprócz zmiany krotności próbkowania zworami FS0/1, tak jak w odbiorniku SPDIF – dodatkową zmianę formatu odbieranych (zwora FMI) i wysyłanych danych (zwora FMO) do formatu I²S lub LJ (dane w ramce wyrównane do lewej). Ponadto istnieje możliwość ustalenia długości słowa na 16/24 bity zworą WL. Układ uzupełnia lokalny generator częstotliwości taktowania U1, współpracujący z kwarcem XT1 (zasady doboru częstotliwości są analogiczne do tych w opisanych wcześniej modułach). Port wejściowy ASRC pracuje w trybie slave, port wyjściowy w trybie master z ustalanym fs (zworami FS0/1). Napięcie zasilania 3,3 V dostarcza lokalny stabilizator



Rysunek 15. Rozmieszczenie elementów DSP1701A_ASRC4192



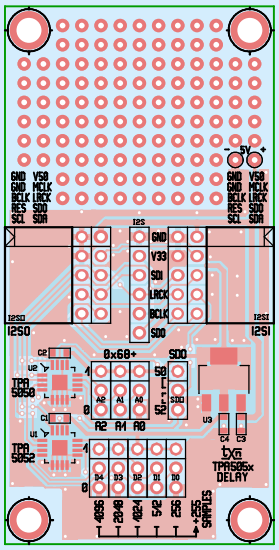
Fotografia 6. Zmontowany moduł DSP1701A_ASRC4192



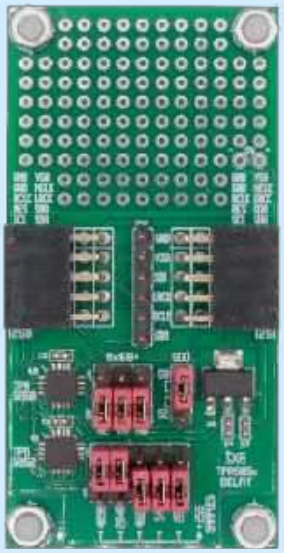
Rysunek 16. Schemat ideowy modułu DSP1701A_TPA505x

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 17. Rozmieszczenie elementów DSP1701A_TPA505x



Fotografia 7. Zmontowany moduł DSP1701A_TPA505x

LDO U3. Moduł połączony jest z płytką bazową złączem I2SO i montowany z jej lewej strony do złącza I²SI. Sygnały I²S/LJ z urządzenia zewnętrznego doprowadzone są do złącza szpilkowego I2SI. Na złącze I2SI wyprowadzone jest także zasilanie 5 V, które może służyć do zasilania współpracującego układu (po uwzględnieniu uwag o obciążalności szyny 5 V na płytce bazowej).

Moduł nie wymaga uruchamiania, rozmieszczenie elementów na dwustronnej płytce drukowanej pokazano na **rysunku 15**, a zmontowany moduł na **fotografii 6**.

Ostatni z modułów rozszerzeń to blok cyfrowego opóźnienia sygnału. ADAU1701, ze względu na ograniczone zasoby, ma niewielkie możliwości opóźniania sygnału. W przypadku wykorzystania go do budowy efektów do instrumentów muzycznych, takich jak Delay, Echo lub zwrotnic sygnału, gdzie zależy nam na opóźnieniu sygnału, możliwe jest wykorzystanie zewnętrznej cyfrowej linii opóźniającej. Schemat modułu DSP1701A_TPA505x przedstawiono na **rysunku 22**.

W module zastosowano układy opóźnienia stosowane w odbiornikach TV do synchronizacji dźwięku z obrazem (tzw. *Lip Sync Delay*). Moduł przewiduje możliwość wlutowania dwóch typów układów o identycznym zakresie opóźnienia w obu kanałach (do 170 ms przy fs=48 kHz): TPA5052, którego czas opóźnienia ustalany jest sprzętowo zworami D0...D4 aż do 8191 próbek (z krokiem co 255 próbek) oraz TPA5050, którego czas opóźnienia konfigurowany jest programowo poprzez magistralę I²C. W przypadku TPA5050 zwory A0...2 umożliwiają ustalenie adresu magistrali 0x68...0x6F. Zwora SDO wybiera aktywny układ opóźnienia. Oba układy obsługują format I²S, dane wejściowe SDI po opóźnieniu dostępne są na wyprowadzeniu SDO. Do poprawnej pracy wymagane jest doprowadzenie sygnałów taktujących LRCK, BCLK oraz danych SDI poprzez złącze I2SO. Opóźnione dane SDO oraz niezmienione sygnały LRCK, BCLK dostępne są na złączu I²SI oraz I²S. Napięcie zasilania 3,3 V pochodzi z lokalnego stabilizatora LDO U3. Sposób podłączenia modułu zależy od aplikacji – trzeba zdecydować, czy mamy zamiar opóźniać dane przed, czy po obróbce (lub w pętli sprzężenia DSP). Narzuca to właściwą stronę, z której moduł łączony jest z płytką bazową.

Moduł nie wymaga uruchamiania, rozmieszczenie elementów na dwustronnej płytce drukowanej pokazano na **rysunku 16** a zmontowany moduł – na **fotografii 7**. Jeżeli nie przewidujemy używania któregoś ze sposobów sterowania opóźnieniem, to odpowiednie elementy można pominąć przy montażu.

Praktyczny sposób korzystania z modułów opisany zostanie w jednym z kolejnych odcinków kursu.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA

UWAGA! Tylko prenumeratorzy czasopism „Elektronika dla Wszystkich”, „Elektronika Praktyczna”, „Świat Radio” oraz „Elektronik” mogą korzystać z atrakcyjnych rabatów w Sklepie AVT:

- ✓ do 50% na wydania specjalne czasopism Wydawnictwa AVT
- ✓ 20% na kity w wersji A (płytki drukowane do projektów AVT)
- ✓ 10% na pozostałe wersje kitów: (A+, B, C, D)
- ✓ 10% na książki
- ✓ 5% na pozostałe produkty z oferty sklepu

Ponadto każdy prenumerator ww. czasopism korzysta z rabatów od 30% do 50% na zakup czasopism z oferty www.UlubionyKiosk.pl

KLUB AVT ELEKTRONIKA

Jak uzyskać rabat? Podczas zamówienia powołaj się na swój numer prenumeraty – otrzymasz go mailowo po zakupie prenumeraty wraz z kartą członkowską Klubu AVT-Elektronika.

Regulamin Klubu AVT-Elektronika znajdziesz na stronie https://sklep.avt.pl/klub-avt-elektronika

eprasa.pl dfb64580ab

Kurs DSP Audio, czyli SigmaDSP dla każdego (4)

Interfejs użytkownika

W czwartej części kursu, na podstawie projektu przykładowego, pokazane zostaną metody zmiany parametrów bloków używanych w aplikacji.

Do przeprowadzenia testów, oprócz zapoznania się z poprzednimi odcinkami kursu, konieczne będzie przygotowanie części sprzętowej, tj. płytki bazowej DSP1701A_DSP_MK2, która zawiera wszystkie niezbędne do testów elementy manipulacyjne (takie jak przyciski, przełączniki i potencjometry – z wyjątkiem enkodera obrotowego, który trzeba przygotować oddzielnie). Wymienione elementy są niezbędne do zmiany parametrów aplikacji DSP z użyciem wbudowanych linii GPIO i przetwornika A/D. Oprócz tego oczywiście niezbędne będzie źródło sygnału analogowego, wzmacniacz z głośnikami oraz okablowanie mini jack stereo 3,5 mm/RCA (w zależności od standardu podłączonych urządzeń).

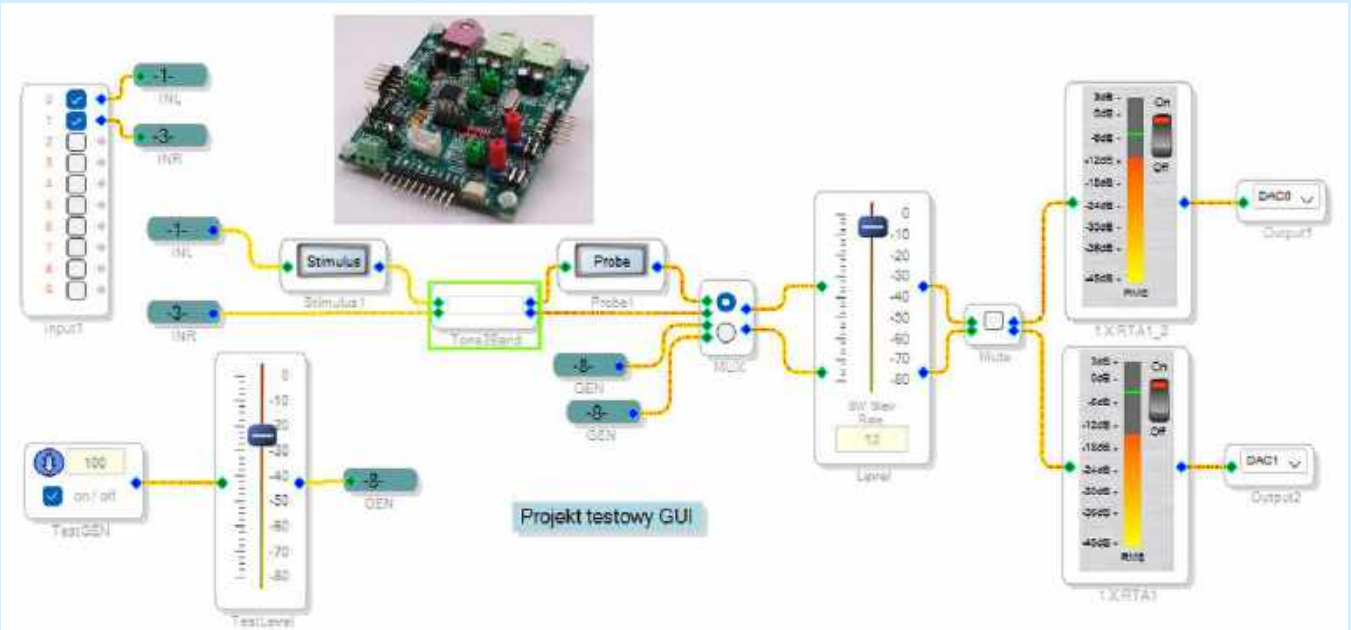
Do parametryzacji aplikacji (bo przecież niezmiernie rzadko zdarza się, by program nie wymagał dostrojenia, zmiany lub korekty parametrów) wykorzystywane są trzy metody. Pierwszą jest użycie środowiska SigmaStudio i bezpośrednie sterowanie aplikacją za pomocą elementów manipulacyjnych, w które wyposażone są bloki funkcjonalne – takich jak przyciski, przełączniki, pokrętła lub suwaki. Pozwala to w intuicyjny sposób wpływać na obrabiany sygnał audio. Drugą metodą jest zastosowanie kontrolek graficznego interfejsu użytkownika GUI, konfigurowanego podczas tworzenia aplikacji. Interfejs użytkownika może być ograniczony tylko do niezbędnych elementów manipulacyjnych. Takie rozwiązanie zmniejsza ryzyko błędnej konfiguracji i upraszcza obsługę w porównaniu z metodą pierwszą – szczególnie gdy aplikacja jest bardziej skomplikowana (hierarchiczna).

Obie metody wymagają stałej komunikacji płytki DSP1701A_DSP_MK2 ze środowiskiem SigmaStudio poprzez programator USBi, co w przypadku pracy samodzielnej procesora DSP jest niestety mało użyteczne. W tym przypadku niezbędne jest użycie metody trzeciej, czyli zmiany parametrów DSP poprzez wyprowadzenia GPIO i A/D za pomocą fizycznych przełączników, przycisków, potencjometrów lub enkoderów. W analogiczny sposób można sygnalizować wewnętrzny stan sygnału, np. za pomocą diod LED podłączonych do GPIO lub zastosować do sterowania układów zewnętrznych, takich jak multipleksery wejść, obwody stand-by, wyciszania itp.

Przykład użycia pierwszej, „podstawowej" metody parametryzacji opisany został w aplikacji testowej z części drugiej kursu, omawiającej środowisko SigmaStudio.

Przykładem praktycznego wykorzystania drugiej metody parametryzacji z zastosowaniem graficznego interfejsu użytkownika będzie projekt testowy ADAU1701_MK2_Cz4_ProjektTestowyGUI. Jest to prosty tor audio z regulacją poziomu, wyciszaniem oraz trójpasmowym regulatorem barwy dźwięku, zawierający generator sygnału testowego, którego schemat pokazano na **rysunku 1**. Schemat uzupełniono o mierniki poziomu sygnału oraz bloki Stimuls/Probe, umożliwiające wizualizację obliczonej charakterystyki przenoszenia, przydatnej do sprawdzenia działania manipulatorów.

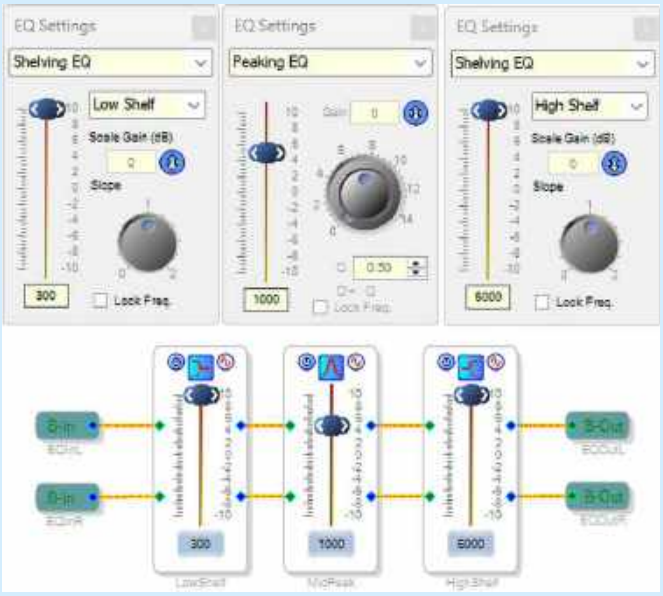
W celu zwiększenia czytelności schematu regulator barwy Tone3Band narysowany został z użyciem schematu hierarchicznego. Schemat bloku wraz z konfiguracją zaprezentowano na **rysunku 2**. Korektory niskich i wysokich częstotliwości ustawione są jako „półkowe", co odpowiada klasycznej regulacji barwy tonów niskich i wysokich, w której regulowany jest poziom pasma poniżej



Rysunek 1. Projekt testowy interfejsu GUI

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie **https://ulubionykiosk.pl/media**

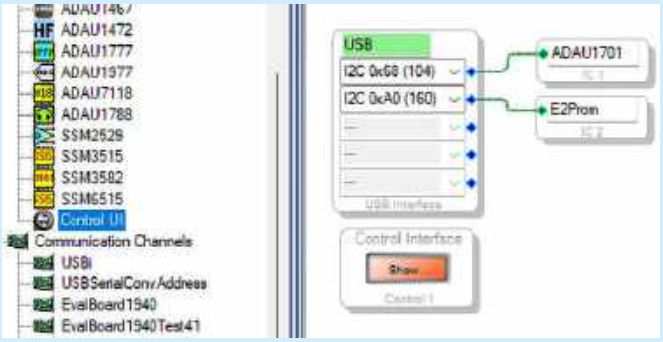
eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 2. Schemat regulatora barwy dźwięku

lub powyżej ustalonej częstotliwości. Regulator tonów średnich ma natomiast postać klasycznego regulatora podbijającego/osłabiającego wybraną częstotliwość.

W tej postaci schemat należy skompilować i wgrać do pamięci procesora DSP. Oczywiście po uruchomieniu aplikacji, do jej parametryzacji możliwe jest zastosowanie pierwszej metody, polegającej na bezpośrednim użyciu manipulatorów bloków funkcjonalnych. Po sprawdzeniu ich działania przechodzimy do zakładki *Hardware Configuration*, gdzie do obszaru roboczego przeciągamy blok interfejsu użytkownika *Control UI*. Znajduje się on w bibliotece *Processors* (*ICs*/*DSPs*) zakładki *Tree ToolBox*, zgodnie z **rysunkiem 3**.



Rysunek 3. Blok interfejsu użytkownika Control UI



Rysunek 4. Bloki interfejsu użytkownika z wyedytowanymi nazwami



Rysunek 5. Konfiguracja ekranu manipulatorów UI



Rysunek 6. Konfiguracja elementów manipulacyjnych UI



Rysunek 7. Skonfigurowany interfejs z manipulatorami do generatora testowego

Możliwe jest użycie kilku bloków *Control UI*, co pozwala podzielić interfejs użytkownika zgodnie z realizowaną funkcją. Domyślnie blok nazwany jest (dość nieintuicyjnie) Control 1, ale nazwę – na bardziej czytelną dla użytkownika – można zmienić, klikając lewym klawiszem myszy w polu opisu, co pokazano na **rysunku 4**.

Po wybraniu pola *Show* otrzymujemy dostęp do ekranu konfiguracyjnego manipulatorów. Domyślnie możemy umieścić w nim do 2×5 manipulatorów, ale jeżeli ta liczba nie jest wystarczająca, to za pomocą menu *Edit\Rows\Insert Row* dodajemy dodatkowy rząd. Analogicznie kolejny rząd manipulatorów można usunąć zgodnie z **rysunkiem 5**. Niestety nie można zmniejszyć liczby manipulatorów poniżej domyślnej 2×5, co w prostszych aplikacjach generuje niepotrzebne, puste miejsca na ekranie konfiguracyjnym.

Każde z pól może zostać przypisane do jednego z czterech elementów manipulacyjnych, takich jak: pokrętło (*Knob*), suwak (*Slider*), przełącznik (*Switch*), przycisk (*Button*), zgodnie z **rysunkiem 6**. W celu dodania manipulatora wybieramy menu podręczne, dostępne po naciśnięciu małego trójkącika w górnym lewym narożniku danego pola.

Pola interfejsu użytkownika uzupełniamy, dodając następujące elementy:

- pokrętło, które będzie służyć do regulacji poziomu sygnału testowego,
- przycisk służący do wyłączenia generatora,
- przełącznik wybierający sygnał z generatora testowego lub z wejścia audio A/D.

Po konfiguracji interfejs użytkownika powinien wyglądać jak na **rysunku 7**. Dla poprawy czytelności należy zmienić domyślne nazwy bloków, podobnie jak w przypadku *Control UI*.

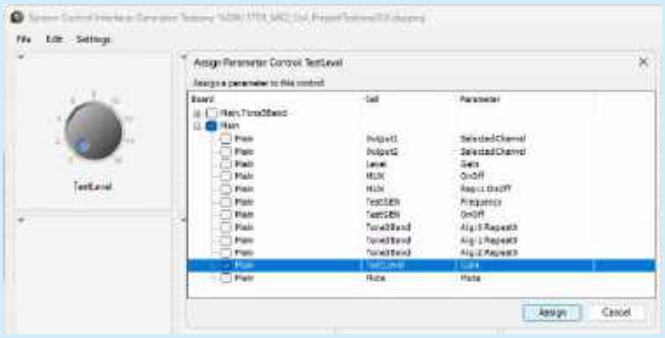
W następnej kolejności należy powiązać manipulator z regulowanym parametrem. Po przypisaniu elementu zostaje udostępnione menu: przypisania (*Assign*), właściwości (*Properities*) oraz usunięcia (*Delete*) elementu manipulacyjnego (**rysunek 8**).



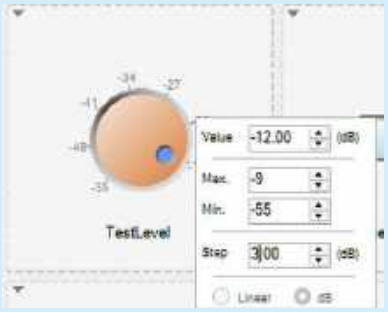
Rysunek 8. Menu podręczne konfiguracji manipulatora

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

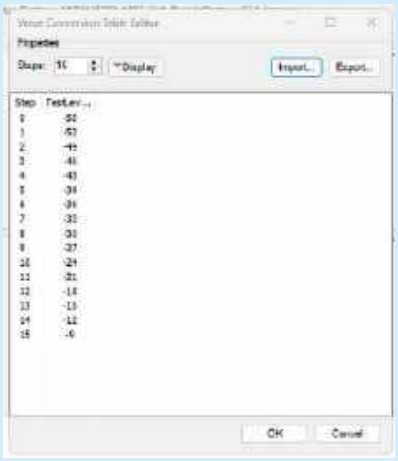
eprasa.pl dfb64580ab



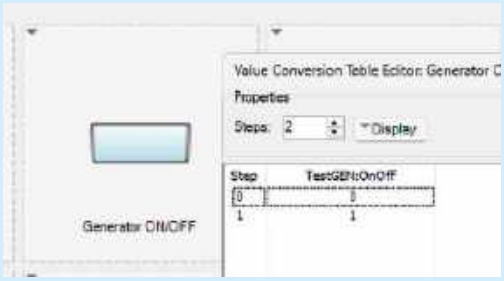
Rysunek 9. Powiązanie parametru z elementem manipulacyjnym



Rysunek 11. Konfiguracja opisu skali pokrętła regulacji



Rysunek 10. Konfiguracja kroków regulacji



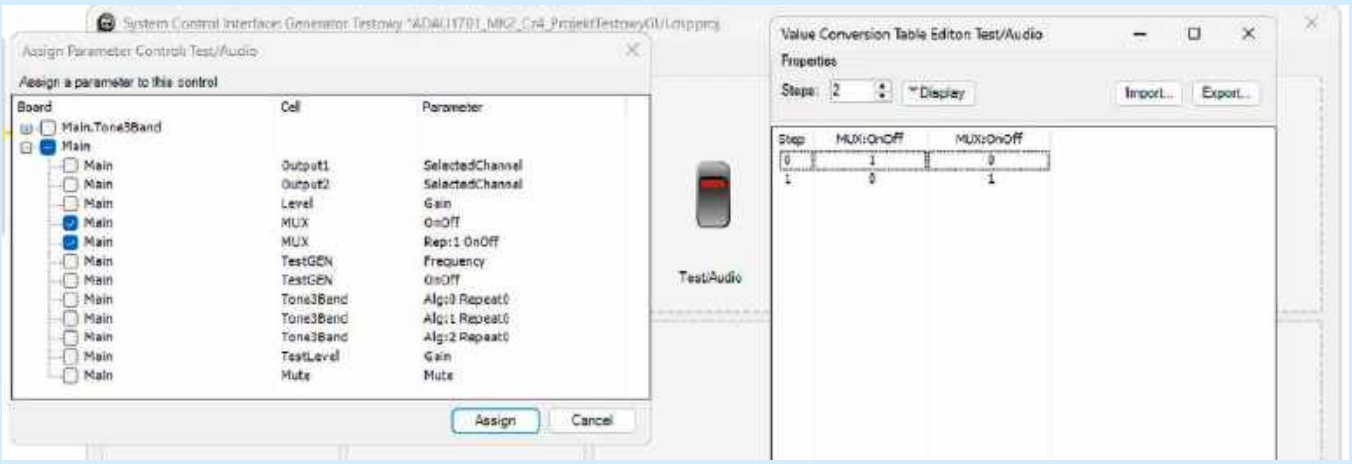
Rysunek 12. Powiązanie parametru z przyciskiem

Kolejno musimy przypisać do elementu parametr, który będzie nim regulowany. W przypadku regulacji poziomu jest to parametr Gain z głównego schematu Main i elementu TestLevel. W przypadku schematów hierarchicznych każdy schemat ma parametry zgrupowane w rozwijanej liście o nawie zgodnej z nazwą schematu. Wybór parametru pokazano na **rysunku 9**. Pewnym problemem przy bardziej skomplikowanych blokach są braki w dokumentacji, zarówno jeżeli chodzi o opis parametrów, jak i ich regulowany zakres – wtedy niestety pozostaje metoda prób i błędów lub poszukiwanie w zasobach internetowych.

Po wyborze parametru automatycznie przechodzimy do okienka pokazanego na **rysunku 10**, w którym definiujemy zakres regulacji, określając liczbę kroków oraz wartość parametru w każdym z nich (dostępne także z menu podręcznego Properties).

Przy mniejszej liczbie parametrów można zrobić to, wprowadzając odpowiednie nastawy i ręcznie edytując tablicę. Krok zerowy odpowiada najmniejszej wartości parametru. Przy powtarzalnych elementach manipulacyjnych, np. suwakach regulacji poziomu, możliwe jest jednorazowe zdefiniowanie parametrów, zapisanie ich na dysku opcją *Export* i ponowne przypisanie przygotowanego pliku opcją *Import* do pozostałych zdefiniowanych elementów. Zapisane pliki znajdują się w katalogu głównym projektu. Wartości zmiennych zapisywane są w pliku tekstowym (w formacie csv, ale z rozszerzeniem *.txt) i można je edytować dowolnym edytorem, przygotowując je wcześniej np. w arkuszu kalkulacyjnym. Jest to wygodne przy większej licznie kroków lub kilku zmienianych jednocześnie parametrach. W przypadku kilku parametrów w pliku kolejne kolumny zawierają się w nawiasach klamrowych. Jeżeli liczba kroków regulacji nie zgadza się z liczbą linii w pliku, jest automatycznie uzupełniana wartościami zerowymi, a jeżeli wartości jest więcej niż kroków, to nadmiarowe wpisy są ignorowane.

Jeżeli manipulator nie jest już potrzebny w interfejsie użytkownika, można usunąć go opcją *Delete* z menu podręcznego. Należy zwrócić uwagę na brak powiązania pomiędzy wartościami parametru w krokach regulacji a opisem w interfejsie użytkownika. Przykładowo poziom sygnału regulowany jest w zakresie od –55 dB do –9 dB w krokach 3 dB, a pokrętło ma domyślny opis w postaci numerów kroku 0...16. Należy to zmienić, klikając pokrętło lewym przyciskiem myszy i odpowiednio „synchronizując” zakres regulacji z opisem pokrętła – zgodnie z **rysunkiem 11**.



Rysunek 13. Konfiguracja przełącznika sterującego multiplekserem

eprasa.pl dfb64580ab

W identyczny sposób definiowany jest element suwak (*Slider*), który stanowi po prostu zmienioną formę graficzną elementu pokrętła (*Knob*).

Kolejnym elementem jest przycisk ON/OFF generatora, który konfigurujemy zgodnie z **rysunkiem 12**. Za włącznie i wyłączenie generatora odpowiada parametr TestGEN: OnOff, który należy powiązać w przyciskiem. Parametr ten przyjmuje tylko dwie wartości: 0 – generator wyłączony, 1 – generator włączony.

Ostatnią możliwością manipulacji parametrami generatora jest sterowanie multiplekserem przełączającym sygnał z wejścia analogowego lub z generatora. W tym celu do elementu typu przełącznik należy przypisać parametry: MUX:OnOff, MUX:Rep1 OnOff i określić „kroki" (stany) przełączania multipleksera, zgodnie z **rysunkiem 13**. Edytor *Value Conversion Table editor* umożliwia podstawową edycję zawartości komórek, dodawanie, usuwanie, kopiowanie i zmianę kolejności aktywnych kolumn. W celu aktywacji opcji edycji kolumn należy kliknąć prawym klawiszem myszki nagłówek z opisem kolumny.

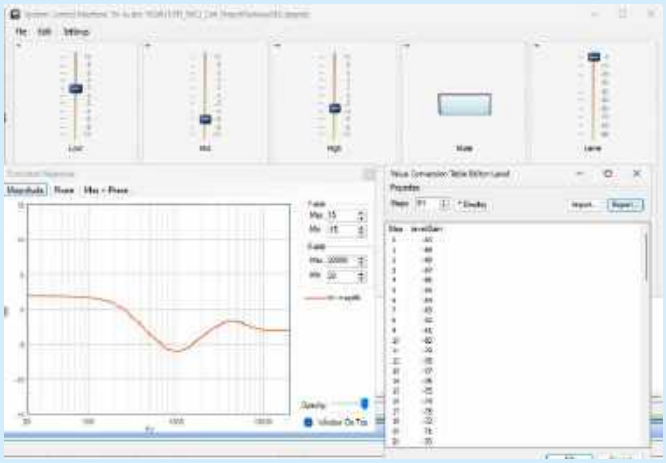
Po przypisaniu elementów można – a nawet należy – przetestować ich działanie. Każda modyfikacja wartości parametru w interfejsie użytkownika *Control UI* powinna zmieniać działanie układu oraz położenia odpowiadających manipulatorów na schemacie (w przeciwnym kierunku powiązanie nie działa).

Dodatkową opcją jest możliwość podglądu parametrów zapisywanych z interfejsu użytkownika do DSP. Po wyborze z menu *Settings* opcji *Enable Data Capture* – która w czasie rzeczywistym wyświetla w okienku *Capture* dane wysyłane do DSP (po zmianie ustawień elementów manipulacyjnych z bloku *Control UI*, analogicznie jak to ma miejsce w przypadku korzystania z manipulatorów w blokach funkcyjnych) – pojawia się automatycznie komunikat o możliwym spowolnieniu działania środowiska w trybie *Capture*.

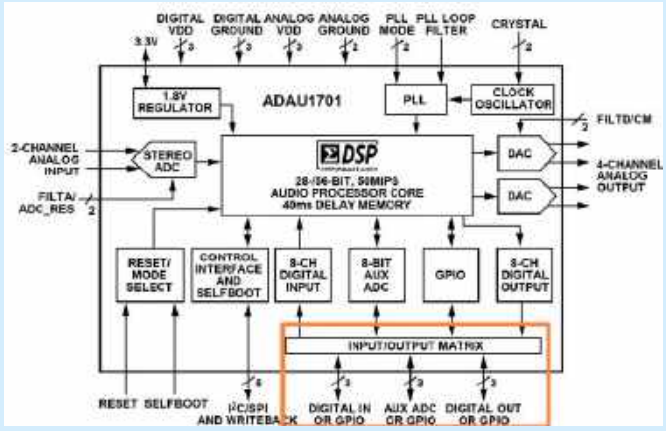
Aplikacja z przygotowanym interfejsem użytkownika może w razie potrzeby zostać zabezpieczona przed nieautoryzowaną modyfikacją przy użyciu opcji *Freeze* z Menu *Action\Freeze Schematic* (CTRL+F). Można też ukryć zawartość bloków funkcjonalnych, klikając blok prawym klawiszem myszy i wybierając opcję *Disable This Control*, a następnie podając hasło odblokowujące. Po ukryciu wszystkich bloków i ochronie hasłem, użytkownikowi pozostaje „pusty" schemat i możliwość korzystania tylko ze zdefiniowanych elementów z GUI, co po pierwsze chroni nasze pomysły, a po drugie zapobiega modyfikacji parametrów krytycznych, których użytkownik nie powinien zmieniać. Odblokowanie elementu do ponownej edycji wykonujemy, klikając prawym klawiszem myszy w obrębie bloku, co wywołuje menu podręczne *Enable This Control*. Po wybraniu tej opcji poproszeni zostaniemy o podanie hasła odblokowującego element. Należy pamiętać, że interfejs użytkownika nie zmienia schematu aplikacji DSP, która musi zostać przygotowana i przetestowana przed konfiguracją interfejsu UI, będącego tylko dodatkową nakładką służąca do zmiany parametrów.

W identyczny sposób należy skonfigurować drugi interfejs, odpowiedzialny za regulację toru analogowego, w skład którego wchodzą trzy suwaki regulatora barwy tonu, przycisk wyciszania i suwak regulacji głośności. Sterowaniu podlegają parametry *Boost* bloków Main.Tone3Band LowShelf, MidPeak, HighShelf oraz Mute bloku *Mute* i *Gain* bloku Level. W przypadku tego ostatniego bloku, w celu uzyskania precyzyjnej regulacji, liczba kroków zwiększona została do 91, a dane dla pliku Volume.txt wygenerowane zostały w arkuszu kalkulacyjnym. Po zmianie opisów oraz skali elementów interfejs jest gotowy do użycia (**rysunek 14**). Poprawne działanie regulacji barwy tonu można sprawdzić za pomocą bloków *Stimuls/Probe*.

Po zapisaniu, kompilacji i załadowaniu projektu mamy możliwość obsługi aplikacji zarówno z poziomu elementów schematu,



Rysunek 14. Skonfigurowany interfejs użytkownika toru audio



Rysunek 15. Interfejs GPIO ADU1701

jak i z okna interfejsu użytkownika. Okienko interfejsu może zostać zamknięte przyciskiem na belce tytułowej, ponowne jego wywołanie następuje po naciśnięciu klawisza *Show* bloku *Control UI*. Konfiguracja okienka UI może zostać zapisana w pliku *.xml – wraz z parametrami – po wyborze opcji *Save*/*SaveAs* z menu okna interfejsu.

Trzecią metodą wpływania na aplikację DSP jest użycie interfejsu GPIO. Procesor ADAU1701, którego schemat blokowy przypominamy na **rysunku 15**, wyposażony jest w programowalny interfejs GPIO, przeznaczony do współpracy z zewnętrznymi elementami manipulacyjnymi, takimi jak przełączniki, przyciski czy enkodery oraz elementami sygnalizującymi lub sterującymi. Wbudowany przetwornik A/D GPIO przeznaczony jest do obsługi potencjometrów lub analogowego sygnału sterującego. Umożliwia to prostą realizację interfejsów użytkownika w trybie pracy samodzielnej DSP, bez konieczności zastosowania zewnętrznego procesora sterującego.

Interfejs GPIO składa się z dwunastu wyprowadzeń MP0...11, w tym czterech wejść analogowych MP2,3,7,8 o 8-bitowej rozdzielczości. Wyprowadzenia GPIO współdzielone są z cyfrowymi interfejsami szeregowymi audio, na co należy zwrócić uwagę podczas projektowania układu. Dla ułatwienia prototypowania płytka DSP1701A_DSP_MK2 wyposażona została w podstawowe elementy manipulacyjne podłączone do GPIO, zgodnie ze schematem z **rysunku 16**. Na płytce umieszczono dwa potencjometry, interfejs enkodera, dwa przyciski i przełącznik DIP oraz dwie buforowane diody LED. Każdy z elementów ma odpowiadającą zworę umożliwiającą odłączenie od wyprowadzenia GPIO, jeżeli jest ono używane do realizacji innej funkcji. Złącze GPIO umożliwia wyprowadzenie sygnałów MP1,2,3,7,8,9 wraz z zasilaniem 3,3 V do zewnętrznych układów współpracujących z DSP. Pozostałe wyprowadzenia GPIO,

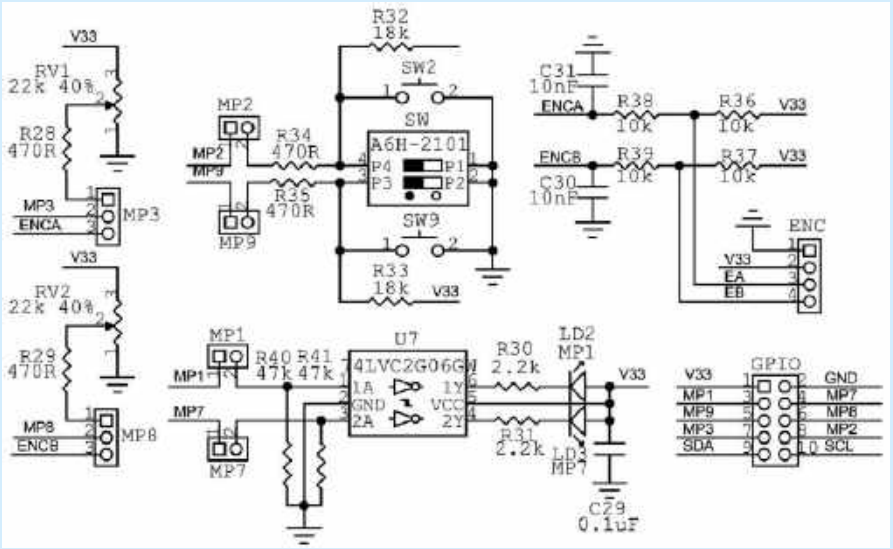
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab

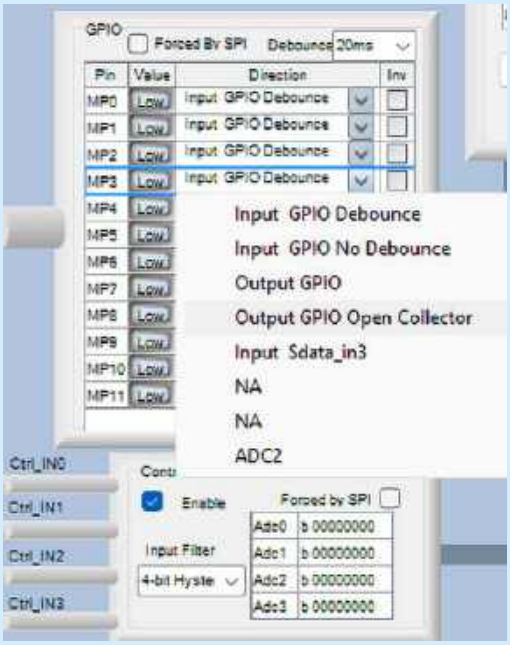
realizujące w DSP1701A_DSP_MK2 funkcję interfejsów cyfrowych audio, dostępne są na złączach I2SI, I2SO.

Obsługa interfejsu GPIO wspierana jest przez elementy biblioteczne SigmaStudio z biblioteki *GPIO Conditioning*. W pierwszej kolejności należy jednak skonfigurować część sprzętową DSP w zakładce *Hardware Configuration*. Listę dostępnych opcji pokazano na **rysunku 17**. Wbudowany przetwornik A/D musi przed użyciem zostać załączony opcją *Enable*, a ponadto trzeba określić sposób filtrowania sygnału wejściowego *Input Filter* – do wyboru jest histereza 4/5 bitów lub brak histerezy i wyłączenie filtru.

Wyprowadzenia GPIO, w trybie pracy w roli wejścia cyfrowego *Input GPIO*, mają wbudowany wewnętrzny rezystor podciągający o wartości około 15 kΩ. Podczas konfiguracji można aktywować wbudowany filtr eliminujący drgania styków *Input GPIO Debounce*, o czterech ustawianych czasach uśredniania (5, 10, 20, 40 ms) dla grupy wejść GPIO. Warto dodać, że wyprowadzenie MP8 ma błąd w implementacji sprzętowej i może zachowywać się nieprawidłowo (brak odczytu stanu wyprowadzenia), jeżeli skonfigurowane jest jako wejście z eliminacją drgań styku – niestety, nie ma możliwości rozwiązania problemu, więc linii tej należy używać w innej konfiguracji (np. do obsługi potencjometru). W trybie wyjścia cyfrowego możliwy jest wybór konfiguracji przeciwsobnej (*Push-Pull Output GPIO*) lub otwartego kolektora (*OC Output GPIO Open Collector*). Wydajność prądowa wyprowadzeń jest niewielka (do 2 mA), dlatego na płytce DSP1701A_DSP_MK2 – w roli buforów LED – zastosowano bramki z serii 1G06. Szeregowe rezystory 470 Ω, podłączone do elementów manipulacyjnych, chronią przed skutkami błędnej konfiguracji GPIO. Przy wykorzystaniu większej liczby wyjść należy pamiętać o sumarycznym pobieranym prądzie i każdorazowo zalecane jest użycie buforów lub pośredniego tranzystora sterującego. Napięcie doprowadzone do GPIO nie może przekraczać 3,3 V, także w przypadku wyjść OC (w ich przypadku może być jednak niższe, co ułatwia sprzęganie z układami zasilanymi np. napięciem 1,8 V czy 2,5 V, oczywiście z zewnętrznym rezystorem podciągającym).



Rysunek 16. Schemat podłączenia wbudowanych elementów interfejsu GPIO



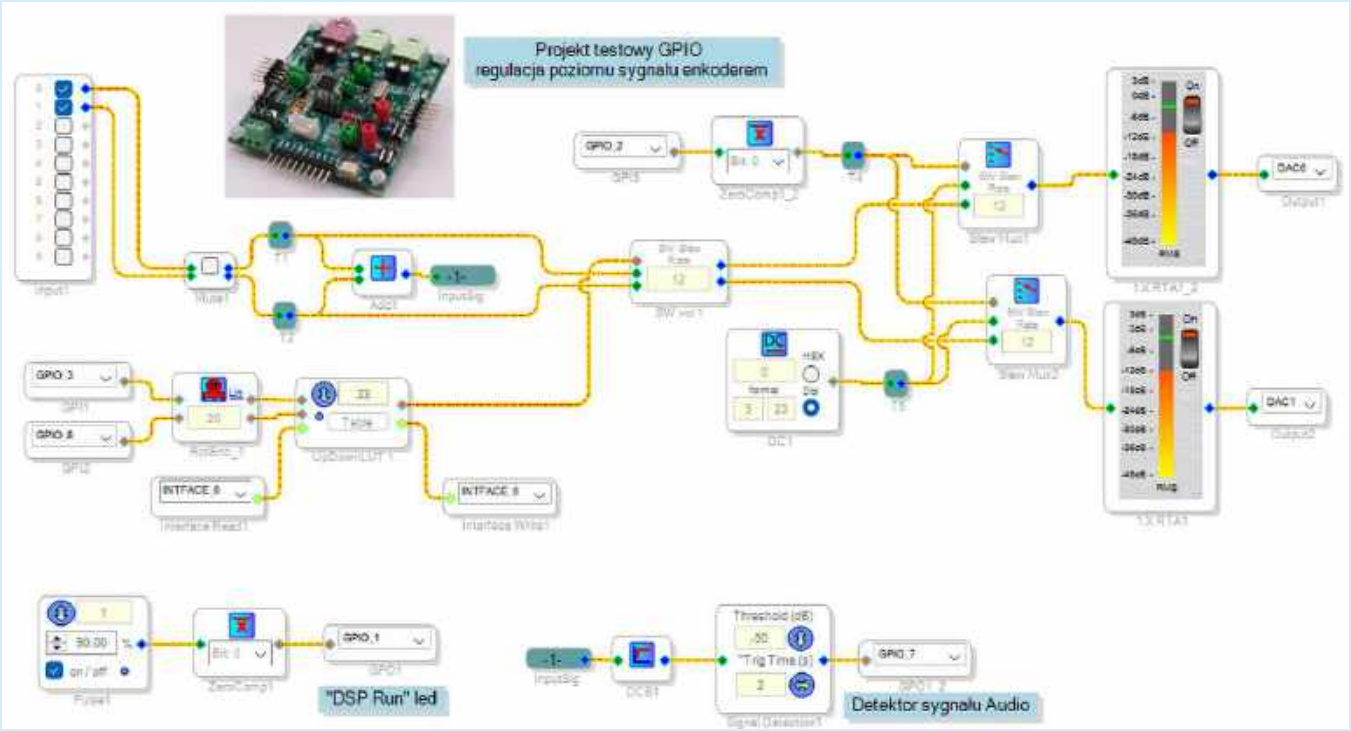
Rysunek 17. Konfiguracja sprzętowa GPIO

Tabela 1. Zestawienie funkcjonalności GPIO

	Tryb GPIO			Złącze GPIO		Złącze I²SI		Złącze I2SO	
	ADC	Serial (I²S,LJ,RJ)	TDM	Pin	Funkcja MB	Pin	Funkcja	Pin	Funkcja
MP0		SDATA_IN0	TDM_IN			8	SDI TDMI		
MP1		SDATA_IN1		3	Led MP1				
MP2	ADC1	SDATA_IN2		8	SW2, SW P1(1-4)				
MP3	ADC2	SDATA_IN3		7	RV1, ENC A				
MP4		INPUT_LRCLK slave				6	LRCKI		
MP5		INPUT_BCLK slave				5	BCLKI		
MP6		SDATA_OUT0	TDM_OUT					7	SDO TDMO
MP7		SDATA_OUT1		7	LED MP7				
MP8	ADC3	SDATA_OUT2		6	RV2, ENC B				
MP9	ADC4	SDATA_OUT3		5	SW9, SW P2(2-3)				
MP10		OUTPUT_LRCLK master/slave						5	LRCKO
MP11		OUTPUT_BCLK master/slave						6	BCLKO

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 18. Schemat aplikacji ADAU1701_MK2_Cz4_ProjektTestowyGPIO_ENC.dspproj

UWAGA: GPIO pracują w standardzie napięciowym 3,3 V, przekroczenie tego napięcia trwale uszkodzi procesor DSP.

Wbudowany, pomocniczy przetwornik A/D ma 4 kanały o rozdzielczości 8 bitów, zakres napięć wejściowych to 0...3,0 V, co w przybliżeniu daje krok 12 mV/bit, przy rezystancji wejścia ok. 30 kΩ. Wejście ma charakterystykę liniową, najlepiej współpracuje z potencjometrem lub źródłem napięcia o liniowej charakterystyce zmian. Jeżeli wymagana jest zmiana charakterystyki regulacji, to powinna być ona realizowana na drodze programowej w DSP, np. przez tablice wartości LUT. Zapewni to najwyższą dokładność regulacji i pełne wykorzystanie rozdzielczości A/D. Interfejs GPIO domyślnie taktowany jest sygnałem fs, co nie znaczy, że należy używać go w roli przetwornika sygnału audio (uniemożliwia to zbyt mała rozdzielczość, a także brak połączenia z rdzeniem audio DSP). Jest to często spotykany błąd przy pierwszych projektach – A/D GPIO służy tylko i wyłącznie do podłączenia elementów manipulacyjnych, w żadnym przypadku do obsługi sygnału audio. Podczas projektowania własnego systemu istotne jest ponadto odpowiednie przyporządkowanie wyprowadzeń, szczególnie interfejsów cyfrowych, które „blokują" sporą część pinów GPIO – w tym AD – możliwą do wykorzystania przez interfejs użytkownika. Gdy aplikacja używa wszystkich pinów wyprowadzonych na złącze GPIO, nie ma przeciwwskazań do zastosowania pozostałych MPxx (wyprowadzonych na złącza I2SI, I2SO). Kompletne zestawienie funkcjonalności GPIO zebrano w **tabeli 1**.

Do przetestowania obsługi interfejsu GPIO przygotowane zostały dwie aplikacje:

- *ADAU1701_MK2_Cz4_ProjektTestowyGPIO_ENC.dspproj*
- *ADAU1701_MK2_Cz4_ProjektTestowyGPIO_POT.dspproj*

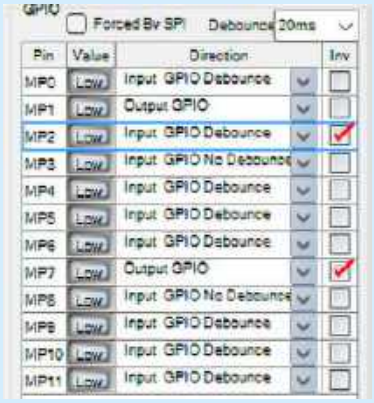
Pierwsza prezentuje podstawową obsługę GPIO i interfejs enkodera obrotowego do zmiany poziomu sygnału. Schemat aplikacji widać na **rysunku 18**.

Jak wspominano wcześniej, SigmaStudio ma przygotowane bloki funkcjonalne współpracujące z interfejsem GPIO/A/D. W bibliotece *IO\GPIO* znajdują się bloki wejścia *General Purpose Input*, *Auxiliary ADC Input*, *General Purpose Output*, służące do obsługi wyprowadzeń GPIO. W odróżnieniu od bloków Input/Output dla wejść/wyjść audio, punkt połączeniowy bloku zaznaczony jest kolorem czerwonym, co wskazuje jednoznacznie na sygnał sterujący/kontrolny, który nie powinien był łączony z sygnałami toru audio. Także pozostałe bloki funkcjonalne, m.in. regulatory poziomu, multipleksery itp., które przeznaczone są do pracy z zewnętrznym sygnałem sterującym, mają wejścia sterujące wyróżnione kolorem czerwonym. Przykładowa aplikacja ADAU1701_MK2_Cz4_ProjektTestowyGPIO_ENC.dspproj realizuje bardzo prosty tor sygnału audio – to tylko regulator poziomu i obwód wyciszania. Sygnał audio z wejść analogowych doprowadzony jest do bloku regulatora poziomu *SW Vol*1, a stąd do multiplekserów *Slew Mux*1,2 i następnie do wyjść audio. Dobrą praktyką podczas tworzenia aplikacji jest wysterowanie diody LED, sygnalizującej pracę DSP. W tym celu użyto bloku generatora sygnału o zmiennym wypełnieniu *Pulse1*, w którym zadana jest częstotliwość 1 Hz i wypełnienie sygnału 90% – sygnał z wyjścia generatora doprowadzono do komparatora *ZeroComp1*. Komparator ten porównuje dane wejściowe w dowolnym formacie do wartości 0, sygnalizując stanem „1" każdy sygnał wejściowy różny od 0. W naszym przypadku służy to do uzyskania wartości binarnej bezpośrednio sterującej wyprowadzeniem cyfrowym GPIO1, do którego podłączona jest dioda LED MP1. Drugą dobrą praktyką jest wskazywanie obecności sygnału audio w torze. W tym celu sygnały obu kanałów są sumowane w bloku *Add* i doprowadzone do bloku detektora sygnału *Signal Detection1*. Ten zaś poprzedzony jest filtrem DC *Blocking DCB1*, odcinającym składową stałą z wyjścia przetwornika A/D audio. Zadaniem bloku detektora sygnału jest ustawienie wyjścia na czas określony na 2 sekundy, po detekcji sygnału o poziomie szczytowym przekraczającym –60 dB. Wartości można oczywiście dobrać do własnych wymogów. Wyjście detektora steruje diodą MP7. Aby uzyskać negację stanu wyjścia MP7, by dioda sygnalizowała obecność, a nie brak sygnału audio, wykorzystano możliwość sprzętowej inwersji stanu w konfiguracji sprzętowej, zgodnie z **rysunkiem 19**. W taki nieskomplikowany sposób można sterować wyjściami GPIO.

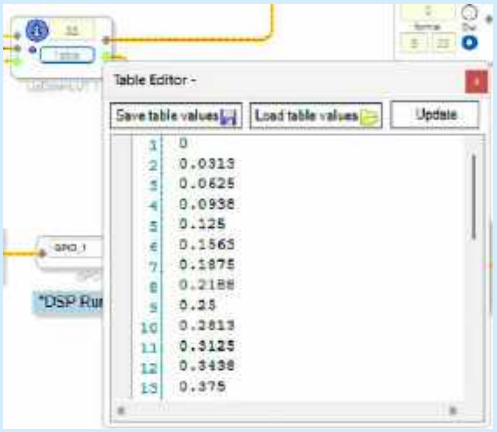
Do obsługi enkodera zastosowano blok funkcjonalny *Rotary Encoder* z biblioteki *GPIO Conditioning*, konwertujący sygnał dwufazowy A/B styków enkodera na sygnał indeksu Up/Down sterujący regulatorem poziomu. Dodatkowe bloki *Interface Read*/*Write* służą

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab



Rysunek 19. Konfiguracja GPIO aplikacji ADAU1701_MK2_Cz4_ProjektTestowyGPIO_ENC.dspproj



Rysunek 20. Tablica sterująca regulatorem poziomu

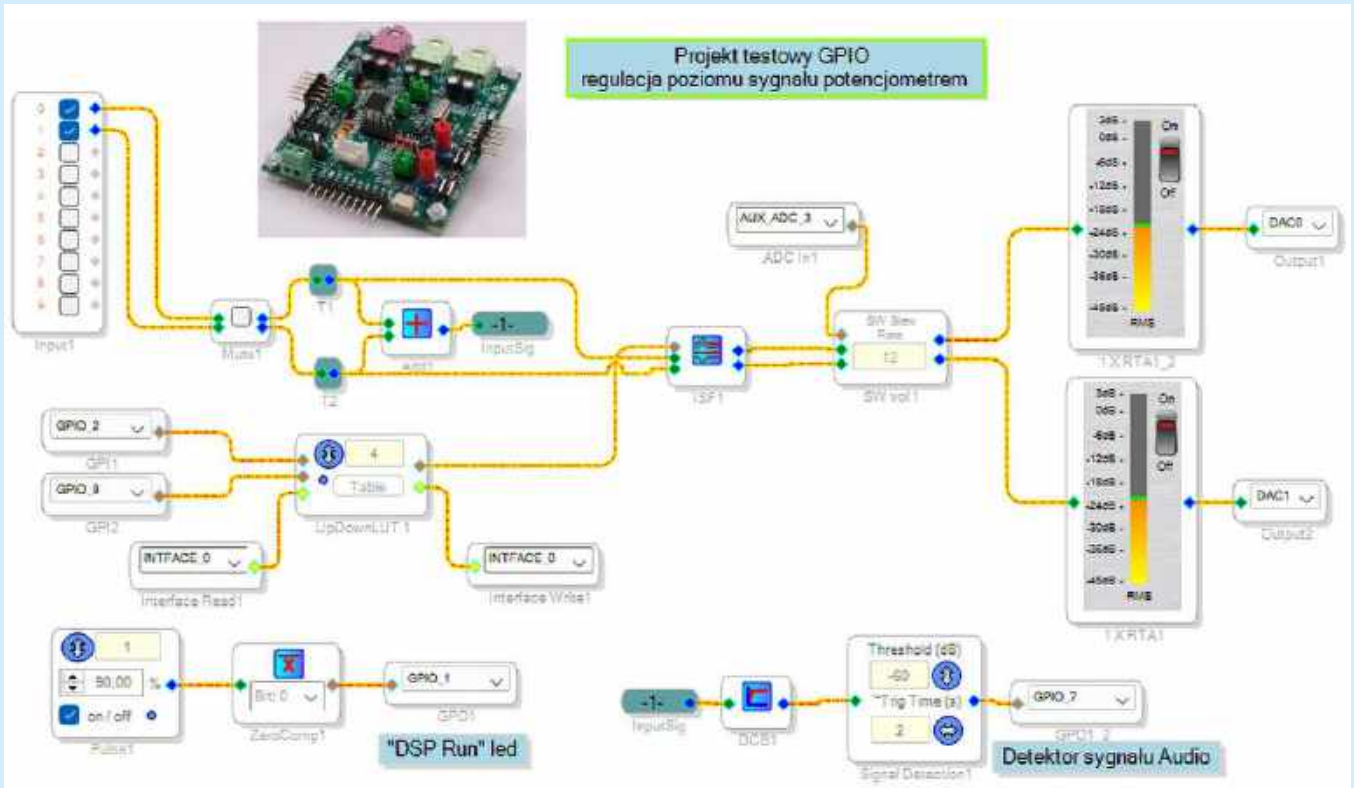
do zapisu/odczytu aktualnych parametrów do pamięci EEPROM, zapewniając „podtrzymanie" parametru po wyłączeniu (*Interface write*) i ponownym włączeniu zasilania (*Interface read*). Kroki regulacji określone zostają tablicą regulatora. Podobnie jak poprzednio, tablica może zostać stworzona w zewnętrznym programie i wczytana do bloku (**rysunek 20**). Po każdej zmianie należy zaktualizować wartość przyciskiem *Update*. Regulacja za pomocą tablicy pozwala na uzyskanie różnych charakterystyk regulacji w zależności od wartości poszczególnych kroków.

Ostatnim elementem toru audio jest blok wyciszania. Ze względu na brak odpowiedniego bloku przystosowanego do sterowania sygnałem zewnętrznym, trzeba wspomagać się różnymi równoważnymi rozwiązaniami, np. mnożeniem sygnału przez wartość 0 lub użyciem multiplekserów, jak to zaproponowano w przykładzie. Oba multipleksery (z uwagi na brak multipleksera stereo z płynnym narastaniem sygnału) *Slew Mux*1,2 sterowane są wspólnym sygnałem pochodzącym z MP2. Podobnie jak w poprzednim przypadku, sygnał sterujący podany jest przez komparator zera i negowany sprzętowo. Przy zwolnionym przycisku MP2 wybierane są wejścia audio, zaś po naciśnięciu wybierane są wejścia multipleksera, do których doprowadzono sygnał 0 z bloku stałej *DC*1. Taka operacja wycisza wyjścia audio. Realizacja z użyciem multiplekserów zapewnia też mechanizm powolnego narastania sygnału podczas przełączania wejść (*Slew*).

Przed przetestowaniem aplikacji należy założyć zwory MP1,2,7, zaś MP3,8 przełożyć w położenie ENC. Do złącza ENC trzeba podłączyć typowy enkoder obrotowy (wyprowadzenia EA, EB, GND), np. typu ECW1J-B24.

Druga aplikacja ADAU1701_MK2_Cz4_ProjektTestowyGPIO_POT.dspproj do zmiany poziomu sygnału używa potencjometru, a dwa przyciski pozwalają na wybór charakterystyk przenoszenia filtra. Schemat aplikacji pokazano na **rysunku 21**.

Tor sygnałowy – podobnie jak w poprzedniej aplikacji – jest bardzo prosty. Sygnał z wejścia trafia do bloku konfigurowalnych filtrów *General 2nd Order Index Selectable* z biblioteki *Filters*, o wybieranej indeksem charakterystyce przenoszenia. Filtr skonfigurowany jest do wyboru czterech charakterystyk, zgodnie z **rysunkiem 22**. Następnie sygnał trafia do bloku regulacji poziomu, a stąd do wyjść przetwornika D/A. Pozostałe bloki pełnią funkcje identyczne jak w projekcie z enkoderem: dioda MP1 sygnalizuje aktywność DSP, dioda MP7 – obecność sygnału audio.



Rysunek 21. Schemat aplikacji ADAU1701_MK2_Cz4_ProjektTestowyGPIO_POT.dspproj

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab

Do wyboru charakterystyki filtru służą przyciski połączone do wyprowadzeń MP2,9. Ich naciśnięcia indeksują tablicę bloku UpDownLUT. Przyciski działają w trybie Up/Down, bez cykliczności, tzn. niezależnie od liczby naciśnięć indeksowanie zatrzyma się na minimalnej (0) lub maksymalnej wartości (3). Wybór aktualnej charakterystyki filtru indeksowany w przykładzie liczbami od 0...3 określa wartość liczbowa całkowita w formacie (28.0), jednakże w tabeli bloku Up/DownLUT1 z **rysunku 23** należy wpisać wartości w formacie dziesiętnym (5.23), co wymaga przeliczenia:

$$n5.23 = n28.0 \times 2^{-23}$$

Stąd nieco nieintuicyjne – na pierwszy rzut oka – wartości. Wszystkie dane audio i większość parametrów są reprezentowane w DSP przy użyciu formatu dziesiętnego (5.23), zaś przeważająca liczba sygnałów związanych z interfejsem GPIO jest reprezentowana w formacie całkowitym (28.0), co podyktowane jest większym zakresem dopuszczalnych przyjmowanych wartości. W tabeli wartość indeksu jest reprezentowana w formacie całkowitym 28.0, podczas gdy dane wyjściowe mają format dziesiętny 5.23. Wprowadza to nieco zamieszania i na początku pracy z DSP jest częstą przyczyną problemów przy uruchamianiu aplikacji, gdyż część sterowanych zewnętrznie bloków akceptuje dane bezpośrednio w formacie 28.0 z interfejsu GPIO, a część wymaga przeliczenia do formatu 5.23. Dla „ułatwienia" kompilator nie ostrzega o niezgodnych formatach danych sterujących, więc poszukiwanie przyczyny nieprawidłowego (lub całkowitego braku) działania aplikacji bywa czasochłonne. W przypadku generowania danych w arkuszu kalkulacyjnym należy zwrócić szczególną uwagę na separator dziesiętny, który musi być kropką, a nie przecinkiem – inaczej dane zostaną zaimportowane bez ostrzeżenia, ale wartości nie będą prawidłowo sterowały blokami. Zawsze przy wczytywaniu danych z pliku do tabeli warto zweryfikować jej zawartość.

Blok regulatora poziomu sterowany jest bezpośrednio danymi z przetwornika A/D (ADC3) skojarzonego z wyprowadzeniem MP8. Po skompilowaniu i załadowaniu aplikacji, przyciskami MP2,9 wybieramy charakterystykę filtru, a potencjometrem RV2 regulujemy poziom sygnału.

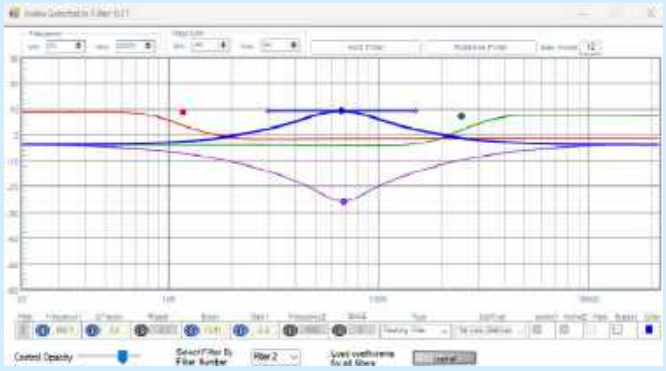
Obie opisane w tym odcinku kursu aplikacje są wprowadzeniem do samodzielnego wykorzystania możliwości sterowania pracą DSP za pomocą interfejsu GPIO. Podczas tworzenia własnej aplikacji każdy z bloków sterowanych sygnałem zewnętrznym wymaga sprawdzenia zakresu i typu zmiennej sterującej. Po sprawdzeniu formatu należy opracować element pośredni, odpowiadający za prawidłowe sterowanie z GPIO.

Warto zapoznać się z notą aplikacyjną AN-951, opisującą w szerszym zakresie typowe aplikacje implementujące sterowanie GPIO oraz sięgać do pomocy programu i opisu bloków dostępnych pod adresami:

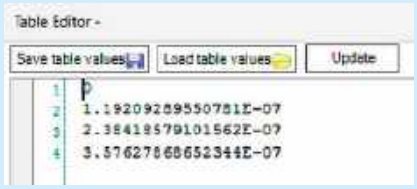
- https://wiki.analog.com/resources/tools-software/sigmastudio
- https://wiki.analog.com/resources/tools-software/sigmastudio/usingsigmastudio/virtualcontrolinterface
- https://wiki.analog.com/resources/tools-software/sigmastudio/usingsigmastudio/numericformats
- https://wiki.analog.com/resources/tools-software/sigmastudio/toolbox/gpioconditioning

Uzupełnienie: formaty liczbowe w ADAU1701

Procesor ADAU1701 używa znormalizowanego formatu liczb A,B, gdzie A liczba bitów części całkowitej po lewej stronie przecinka, B liczba bitów części ułamkowej po prawej stronie. Wymiana danych z rdzeniem DSP jest 24-bitowa, a 4 dodatkowe bity są dodawane dla zwiększenia marginesu przesterowania (headroom). Kolejne 4 bity służą do utworzenia pełnych 4 bajtów (32 bity). W DSP 28 bitów może być wykorzystane w różny sposób, np. sygnał audio jest praktycznie zawsze reprezentowany w formacie dziesiętnym 5.23 (czasem okrojonym do 5.19), a sygnały sterujące w formacie całkowitym 28.0.



Rysunek 22. Konfiguracja filtru ISF1



Rysunek 23. Tablica sterowania wyborem filtru ISF1

Przykładowa reprezentacja liczb dziesiętnych (ujemne są przedstawiane w kodzie U2) w formacie 5.23, odpowiadającym reprezentacji binarnej:
dla liczb dodatnich:

```
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 = 0.0
0000 0100 0000 0000 0000 0000 0000 = 0.5
0000 1000 0000 0000 0000 0000 0000 = 1.0 (0 dBfs)
..
0111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 = (16.0 – 1 LSB)
```

dla liczb ujemnych (U2):

```
1000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 = -16.0
..
1111 1000 0000 0000 0000 0000 0000 = -1.0
1111 1100 0000 0000 0000 0000 0000 = -0.5
1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 = (1 LSB poniżej 0.0)
```

W przypadku zapisu liczby w formacie 5.23 do portów szeregowych audio lub bezpośrednio do przetwornika DAC liczba zostanie obcięta do wartości 0 dBfs.

Przykładowa reprezentacja liczb całkowitych dodatnich (ujemne są przedstawiane w kodzie U2, ale DSP i Sigma Studio ich nie wykorzystuje) w formacie 28.0, odpowiadającym reprezentacji binarnej:

```
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 = 0
0000 0000 0000 0000 0000 0000 0001 = 1
...
0000 1000 0000 0000 0000 0000 0000 = 8388608
0111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 = 134217727 (2^27 – 1)
(maksymalna liczba dodatnia 28.0)
```

Gdy konieczne jest przeliczenie pomiędzy formatami, można zastosować wzory:

$$n5.23 = n28.0 \times 2^{-23},\ n28.0 = n5.23 \times 2^{23}$$

Po tych drobnych kwestiach formalnych, niezbędnych przy tworzeniu własnych aplikacji, zapraszamy już teraz do lektury kolejnej części kursu.

Adam Tatuś, EP

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl dfb64580ab

koktajl niusów



Długoterminowe wsparcie firmy Rochester Electronics dla rodziny procesorów MPC860/MPC855

Procesory z rodziny MPC860/MPC855, oparte na architekturze PowerPC i wyposażone w bloki peryferyjne znane m.in. z układów NXP QUICC (Quad Integrated Communications Controller), od ponad 20 lat znajdują zastosowanie w rozwiązaniach wymagających długich cykli życia i niezawodnej łączności.

Z uwagi na utrzymujące się zapotrzebowanie na te układy, firmy NXP Semiconductors oraz Rochester Electronics podjęły współpracę w celu zapewnienia długoterminowego wsparcia dla klientów produkujących urządzenia oparte na procesorach MPC860/MPC855. Celem jest zagwarantowanie dostępności tych produktów tak długo, jak będą potrzebne na rynku.

Firma Rochester Electronics uzyskała wyłączność na zakup pozostałych zapasów procesorów MPC860/MPC855 od firmy NXP oraz przejęła licencję na ich dalszą produkcję, montaż i testowanie. Oznacza to możliwość kontynuowania dostaw również po zakończeniu produkcji przez oryginalnego producenta.

W ofercie Rochester Electronics znajdą się pełne zamienniki MPC860/MPC855, w tym rozwiązania kompatybilne z oryginałami w zakresie układu wyprowadzeń (pin-to-pin). Dzięki temu integratorzy systemów nie będą musieli wprowadzać zmian konstrukcyjnych ani modyfikować istniejących rozwiązań.

Wszystkie nowe układy będą w pełni zgodne ze specyfikacjami technologicznymi dotyczącymi produkcji, montażu oraz testowania. Dodatkowo, w celu zabezpieczenia płynnego przejścia na nową linię produkcyjną, zapewniona zostanie ograniczona pula oryginalnych procesorów do wykorzystania w okresie przejściowym.

https://www.rocelec.pl/aktualności/mpc860-i-mpc855-firmy-nxp

Najnowsza rodzina procesorów Intel Xeon 6

Intel zaprezentował nową rodzinę procesorów Xeon 6, której rynkowa premiera miała miejsce 24 lutego 2025 roku. To najbardziej wszechstronna linia CPU w historii firmy, stworzona z myślą o obsłudze złożonych zadań w obszarach takich, jak sztuczna inteligencja (AI), obliczenia wysokowydajnościowe (HPC), infrastruktura chmurowa, aplikacje przetwarzania brzegowego czy urządzenia sieciowe.

Procesory Xeon 6 bazują na sprawdzonej architekturze x86, zapewniającej stabilność, kompatybilność i wysoką skalowalność. W nowej odsłonie architektura została wzbogacona o rdzenie typu Performance (P-cores) do zadań wymagających maksymalnej mocy obliczeniowej oraz Efficient (E-cores), zoptymalizowane pod kątem energooszczędności. Takie połączenie umożliwia dynamiczne zarządzanie wydajnością i zużyciem energii – kluczowe w środowiskach chmurowych, hiperskalerach i infrastrukturze telekomunikacyjnej.



Xeon 6 wyróżnia się znakomitym stosunkiem wydajności do kosztów operacyjnych. Dzięki technologii vRAN Boost wybrane modele procesorów są szczególnie efektywne w zastosowaniach sieciowych i brzegowych, zapewniając optymalne działanie nawet w wymagających i niestabilnych środowiskach, w których inne rozwiązania mogą zawodzić. Rodzina Xeon 6 to platforma nowej generacji – zaprojektowana, by sprostać przyszłym wyzwaniom w obszarze obliczeń, przetwarzania danych i sztucznej inteligencji.

https://tiny.pl/mj99gd-0

Czteropunktowy ściemniacz ścienny ZigBee FS2WDM – elastyczne sterowanie oświetleniem bezprzewodowym



Czteropunktowy ściemniacz ZigBee FS2WDM to rozwiązanie stworzone z myślą o wygodnym i niezawodnym zarządzaniu jednokolorowym oświetleniem w przestrzeniach domowych. Urządzenie pracuje w standardzie komunikacyjnym ZigBee, który charakteryzuje się niskim zużyciem energii i wysoką responsywnością, co sprawia, że idealnie sprawdza się w nowoczesnych systemach automatyki domowej.

Dzięki pełnej łączności z ekosystemem ZigBee, ściemniacz FS2WDM może obsługiwać do 30 opraw oświetleniowych podzielonych na dwie grupy, oferując płynną regulację natężenia światła bez potrzeby stosowania centralnego koordynatora. Zgodność z szeroką gamą urządzeń ZigBee Gateway oraz jednokolorowymi oprawami oświetleniowymi zapewnia swobodę konfiguracji, a sam proces instalacji i parowania jest szybki i nieskomplikowany. Obsługa funkcji TouchLink pozwala na łatwe łączenie z kompatybilnymi produktami oświetleniowymi bezpośrednio z poziomu samego ściemniacza.

Zasilany wymienną baterią typu CR2450 model FS2WDM oferuje funkcję stałego monitoringu stanu zasilania. System regularnych, bezprzewodowych aktualizacji oprogramowania (OTA) co 120 minut dba o jego bieżące funkcjonowanie i kompatybilność z innymi urządzeniami w sieci. Dodatkową zaletą produktu jest możliwość wyboru wersji wyposażonej w 2, 4 lub 8 przycisków, co pozwala dostosować urządzenie do indywidualnych potrzeb użytkownika oraz charakteru przestrzeni, w której ma być używane.

FS2WDM to propozycja dla osób, które oczekują prostoty obsługi, niezawodnego działania i elastyczności w sterowaniu oświetleniem, bez konieczności rezygnacji z estetyki oraz funkcjonalności.

https://tiny.pl/q44frwxw

eprasa.pl dfb64580ab

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 7/2025

„Bomba” wielofunkcyjna



Każdy, kto oglądał hollywoodzkie filmy, wie, jak (zdaniem filmowców) powinna wyglądać bomba zegarowa. Duże, czerwone wyświetlacze siedmiosegmentowe LED, mnóstwo przewodów wokół płytki zawierającej masę komponentów elektronicznych i całość przyczepiona paskami taśmy klejącej do lasek dynamitu. Również czerwonego. Jeszcze groźniej taki sprzęt wygląda, jeżeli zawiera nieopisane złącza i przyciski.

Dla tych, którzy chcieliby mieć taki gadżet w swoim pokoju, prezentujemy niniejszy układ. Wygląda jak bomba, odmierza czas jak bomba, ale w rzeczywistości to praktyczny zegar z budzikiem, timerem i termometrem w jednym!

Projekt idealny dla miłośników klimatów gamingowych (którzy lubią dekoracje rodem ze swoich ulubionych strzelanek), a także fanów książek w klimacie postapokaliptycznym. Może też stanowić uzupełnienie rozgrywki ASG lub paintballowej jako bomba, którą trzeba rozbroić przed upływem zadanego czasu (w trybie timera).

Temat numeru: Kable i przewody w urządzeniach elektronicznych



Choć we współczesnej elektronice coraz większą rolę odgrywają rozwiązania bezprzewodowe i miniaturyzacja (a więc także postępująca integracja całych systemów w ramach układów scalonych czy niewielkich modułów), wciąż nie sposób przecenić roli klasycznych połączeń kablowych. Przewody i kable to nie tylko podstawowy element fizycznego łączenia modułów i urządzeń, ale też newralgiczny punkt konstrukcji wpływający na niezawodność, bezpieczeństwo i odporność zakłóceniową urządzenia. W artykule przyglądamy się najważniejszym typom przewodów stosowanych w elektronice – zarówno w urządzeniach konsumenckich, jak i przemysłowych czy medycznych. Omawiamy ich konstrukcję, zastosowania, właściwości elektryczne i mechaniczne, a także kryteria doboru kabli do konkretnych zastosowań.

Elektronika w praktyce: Czujniki gazu, dymu i jakości powietrza



Zagadnienia związane z jakością powietrza, bezpieczeństwem pożarowym czy detekcją gazów niebezpiecznych zyskały w ostatnich latach na znaczeniu, tak w rozwiązaniach przemysłowych, jak i domowych. Na rynku dostępna jest szeroka gama czujników, które pozwalają wykrywać obecność gazów palnych, tlenku węgla, dymu, a także mierzyć parametry takie jak stężenie pyłów zawieszonych (PM2,5/PM10), poziom lotnych związków organicznych (VOC) czy wilgotność i temperatura. W artykule prezentujemy przegląd popularnych sensorów gazu, dymu i jakości powietrza, omawiamy zasady ich działania, a także wyzwania związane z ich integracją w systemach elektronicznych – takie jak kalibracja, stabilność pomiarów, czas reakcji czy dobór interfejsów komunikacyjnych.

Technologie wokół elektroniki: Bezodpadowe technologie wytwarzania elementów metalowych lub pokrytych metalem

W budowaniu urządzeń, zwłaszcza w fazie miniaturyzacji prototypu, często zachodzi potrzeba uzyskania elementów sztywnych lub wytrzymałych mechanicznie. Tych cech nie mają jednak standardowe wydruki z tworzyw termoplastycznych (wytworzone w technologii FDM) lub żywicznych. Opisane w artykule technologie i metody uzyskiwania wytrzymałych części z metalu lub pokrytych metalem wiążą się z różnymi progami wejścia, zarówno pod względem kosztów, jak też złożoności procesu. W niniejszym opracowaniu prezentujemy najważniejsze informacje na temat relatywnie dostępnych technologii, w szczególności korzystających z budżetowych metod addytywnych, a także obecnego w handlu sprzętu używanego.

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

ARROW 12
AKSOTRONIK 65
AVT SPV 15, 33, 61, 68
BORNICO 63
COMPUTER CONTROLS 9, 18
CONRAD ELECTRONIC 39, 92
ELTRONIKA 42, 43
FINDER 30, 31
HAMMOND 7
MICROCHIP 5, 40
SEMICON 37

Miesięcznik **„Elektronika Praktyczna”** (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.

Wydawnictwo:
AVT Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: redakcja@ep.com.pl, www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Przemysław Musz

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, Bożena Krzykawska, Grzegorz Krzykawski

Stali współpracownicy:
Lucjan Bryndza, Nikodem Czechowski, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Paweł Kowalczyk, Henryk Kowalski, Rafał Kozik, Michał Kurzela, Jakub Nowicki, Szymon Panecki, Adam Sobczyk, Damian Sosnowski, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Jakub Tyburski, Robert Wołgajew

Uwaga!
Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

DTP, redakcja strony internetowej www.ep.com.pl:
MAD Sp. z o.o.

Prenumerata w Wydawnictwie AVT
www.ulubionykiosk.pl lub tel. 22 257 84 22 (godz. 10.00–14.00)
e-mail: prenumerata@avt.pl

Copyright AVTKorporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11

Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej”. mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”. jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”.

eprasa.pl dfb64580ab



All parts of success

CONRAD

eprasa.pl dfb64580ab