

ZŁĄCZA ELEKTRONICZNE, WIĄZKI I KABELE • ŁĄCZNOŚĆ BEZPRZEWODOWA

www.ep.com.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA + FTP

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● Czerwiec ● 6/2020 ●

ELEKTRONIKA
PRAKTYCZNA

EP W TOKU
NA EP.COM.PL

tylko Prenumeratorzy
mają dostęp do artykułów przed ich publikacją w EP

inspirujące, użyteczne projekty

Kosmiczna myszka DIY • Laserowy system zabezpieczeń na Raspberry Pi • μ Scale – waga elektroniczna • Niskonapięciowy regulator mocy AC • System uruchomieniowy dla układów z procesorami STM • Pomiar pulsu z użyciem płytki micro:bit • Mikrointerfejs użytkownika dla Pi Zero • Czterokanałowy uniwersalny izolator sygnałów cyfrowych • Miniaturowa czujka ruchu do Raspberry Pi, Arduino i nie tylko • Moduł interfejsu ethernet dla Arduino MKR Zero • Expander I/O z interfejsem I²C

podzespoły, sprzęt, aplikacje

Silniki BLDC. Zaawansowane metody sterowania • Digilent Genesys ZU – rekonfigurowalna, wieloprocessorowa platforma SoC do aplikacji AI i Embedded Vision

tutoriale

Jak napisać aplikację mobilną poprzez UART • Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora. Modulacja PWM • Łączność bezprzewodowa • Sieci bezprzewodowe • Jak dobierać złącza elektroniczne do projektowanych urządzeń • Farnell odmienia edukację w Norwegii korzystając z platformy super:bit • Impulsy EMP/HEMP. Zagrożenia i metody ochrony • Ochrona instalacji PV

kursy

Eksperymenty z FPGA • Systemy dla Internetu Rzeczy. Cyfrowe czujniki pyłów

OCHRONA PRZED IMPULSAMI EMP/HEMP

TEMAT NUMERU



18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR

ISSN 1230-3526 Indeks 357677



9 771230 352207

0 6 >

PRENUMERUJ!

Standardowe ceny prenumerat:

- roczna – 207,90 zł (1 wydanie gratis)
- dwuletnia – 340,20 zł (6 wydań gratis)

Po latach nawet ZA PÓŁ CENY!

Wieloletni Prenumerat po kilku latach nieprzerwanej prenumeraty zyskuje **DO 50% ZNIŻKI**. Jeśli prenumerujesz EP, wszystkie dane nt. swojej prenumeraty znajdziesz teraz po zalogowaniu na www.avt.pl/prenumerata. Co szczególnie ważne – znajdziesz tam również propozycje przedłużenia Twojej prenumeraty, które uwzględniają przysługujące Ci zniżki.



PREZENT
do każdej opłaconej
prenumeraty:
koszulka lub płyta

Prenumerata	bez zniżki lojalnościowej	ze zniżką lojalnościową, jeżeli prenumerujesz nieprzerwanie			
		od roku	od 2 lat	od 3 lat	od 5 lat
roczna	207,90 zł 1 wydanie gratis	189,00 zł 2 wydania gratis	170,10 zł 3 wydania gratis	151,20 zł 4 wydania gratis	
dwuletnia		340,20 zł 6 wydań gratis		283,50 zł 9 wydań gratis	226,80 zł 12 wydań gratis

E-prenumerata, czyli **NAJSZYBSZY DOSTĘP**

Uzyskaj dostęp do najnowszego numeru – nawet 5 dni przed ukazaniem się pisma w kioskach!

Prenumerata roczna wersji cyfrowej (PDF) kosztuje 151,00 zł (2 e-wydania gratis), dwuletnia – 271,80 zł (6 e-wydań gratis).

Prenumeratorki wersji drukowanej za równoległe e-wydania płacą jedynie 20% ceny: opłata za e-prenumeratę równoległą wynosi 36,20 zł/rok i 72,40 zł/2 lata.

Korzystaj też z innych **przywilejów PRENUMERATORA**

- **prezent** - każdorazowo opłacenie prenumeraty jest premiowane prezentem. W tym numerze są to do wyboru:
 - koszulka z logo EP (roz. L, XL)
 - lub
 - płyta Esperanza Spalding „Emily's D+Evolution”. Zamów swój prezent mailowo – prenumerata@avt.pl.
- do 50% zniżki w Sklepie AVT (szczegóły na www.avt.pl/klub-elektronika)
- prenumeratorki mają od 30 do 50% zniżki na zakupy na www.UlubionyKiosk.pl (wystarczy podczas zamówienia powołać się na swój numer prenumeraty)
- jeśli zamawiasz prenumeratę drukowaną na www.avt.pl po raz pierwszy lub przedłużasz ją po zalogowaniu do swojego Panelu Prenumeratora, otrzymasz kody rabatowe na bezpłatne pobranie e-wydań z oferty www.UlubionyKiosk.pl (szczegóły na www.avt.pl)

Zamów prenumeratę EP w dogodny sposób:

- na www.avt.pl • poprzez wpłatę na konto: AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, ING Bank Śląski 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013 • mailowo: prenumerata@avt.pl

Administratorem Twoich danych osobowych jest AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, prenumerata@avt.pl.

Przetwarzamy Twoje dane, aby móc wysłać Ci nasze czasopisma w formie drukowanej lub elektronicznej oraz inne towary (np. prezenty), a także w innych prawnie usprawiedliwionych celach, w tym marketingu bezpośredniego naszych produktów i usług (tzw. uzasadniony interes administratora). Podanie danych jest dobrowolne, ale niezbędne do zrealizowania zamówienia na prenumeratę.

Twoje dane osobowe przekazujemy Poczcie Polskiej, która dostarcza do Ciebie przesyłki. Bez Twojej zgody nie prześlemy i nie będziemy dokonywać obrotu (nie użyczymy, nie sprzedamy) Twoich danych osobowych innym osobom lub instytucjom. Twoje dane osobowe możemy przekazać jedynie podmiotom uprawnionym do ich uzyskania na podstawie obowiązującego prawa (np. sądy lub organy ścigania) – ale tylko na ich żądanie w oparciu o stosowną podstawę prawną. Będziemy przetwarzać Twoje dane osobowe przez 5 lat od zakończenia roku obrotowego, w którym wystąpiła ostatnia płatność. Dane osobowe do celów marketingowych będziemy przetwarzać do czasu wycofania przez Ciebie zgody na przetwarzanie lub do czasu usunięcia danych.

Informujemy, że masz prawo do żądania od administratora dostępu do Twoich danych, ich sprostowania, usunięcia, ograniczenia ich przetwarzania, wniesienia sprzeciwu wobec przetwarzania Twoich danych lub ich przenoszenia. W każdej chwili możesz odwołać zgodę na przetwarzanie Twoich danych osobowych oraz możesz zażądać, by Twoje wszystkie dane zostały przez nas usunięte.

Jeśli to jest wojna...

Pandemia, którą przeżywamy, porównywana jest często do wojny. To oczywista przesada, ale co mają powiedzieć mieszkańcy Mediolanu, w którym od koronawirusa straciło życie więcej ludzi niż od bombardowań tego miasta w drugiej wojnie światowej. Spójrzmy na sprawę z innej strony.

Wojna to nie tylko śmierć, pożoga i bezmiar niewyobrażalnych okropności i cierpień. Jak cokolwiek by to niefortunnie zabrzmiało, wojna to również czas przyspieszonego rozwoju nauki i techniki. Odkrycia i wynalazki dokonane podczas drugiej wojny światowej zdefiniowały kierunki rozwoju cywilizacji technicznej na następnych 50 lat. To nie tylko technika jądrowa (bomba atomowa), technika raketowa, awiacja (samoloty odrzutowe), radar (wynalazek magnetronu), pierwsze komputery, ale również wiele drobniejszych, a jakże wartościowych wynalazków. Nalewając benzynę do kanistra, nie zdajemy sobie sprawy, że kanister to wynalazek niemiecki dokonany na zamówienie Hitlera. W latach siedemdziesiątych miałem honor współpracować w Wojskowej Akademii Technicznej z charyzmatycznym profesorem Józefem Kosackim, którego ręczny wykrywacz min w 1941 roku był wprowadzony na uzbrojenie angielskiej armii i był stosowany jeszcze 50 lat po wojnie (w wojnie 1991 roku nazywanej przez Amerykanów Gulf War). Wynalazek porucznika Kosackiego, służącego w Polskich Siłach Zbrojnych w Anglii, znakomicie przyspieszył pokonanie niemieckich pól minowych w piaszczystych pustyniach i walcie przyczynił się do zwycięstwa w batalii afrykańskiej 8. Armii generała Montgomery'ego. Trzeba przyznać, że wojna fantastycznie stymuluje rozwój nauki i techniki. Posłużmy się tym faktem jako kryterium oceny aktualnej pandemicznej sytuacji.

Jeśli to jest wojna..., to powinniśmy obserwować przyspieszone tempo pojawiania się i wdrażania nowych odkryć i wynalazków. Na pewno ma to miejsce w biotechnologii, gdzie trwa światowy wyścig z czasem w laboratoriach pracujących nad szczepionką na COVID-19. Skuteczne remedium w wojnie z wirusem (szczepionka lub lekarstwo) może odegrać rolę podobną do zastosowania penicyliny w drugiej wojnie światowej.

A co się dzieje w technice, w szczególności w elektronice? Oj, dzieją się rzeczy ważne. W pierwszej fazie epidemii konstruktorzy rzucili się do konstruowania respiratorów. W internecie można znaleźć dziesiątki mniej lub bardziej udanych konstrukcji amatorskich, wystarczy wprowadzić frazę Lung Ventilation Projects. Kolejnym problemem, rozwiązywanym na poziomie konstrukcji profesjonalnych, stało się testowanie ludzi w celu wykrywania zarażonych. Już w lutym i marcu firmy ścigały się na szybkość i niezawodność prototypowych urządzeń elektronicznych do testowania na COVID-19. Gdy Bosch pokazał urządzenie wykonujące test w czasie 2,5 godziny, to następne konstrukcje skracaly ten czas najpierw do 45 minut, potem do pół godziny, a nawet do 15 minut. Są to proste, przenośne urządzenia typu lab-on-chip z kasetą na próbkę biologiczną. Kluczowym elementem jest biosensor w postaci tranzystora ISFET (*Ion Sensitive FET*), czyli tranzystor MOS, w którym bramkę stanowi warstwa absorbująca jony zamiast warstwy metalu. Sygnały z biosensora wmontowanego w czip CMOS są przekazywane bezprzewodowo do aplikacji w smartfonie lub do chmury, by poddać je analizie przez algorytm wykrywający obecność wirusa. Za pomocą urządzeń lab-on-chip już wkrótce będzie można wykonywać miliony testów miesięcznie.

Bardzo dynamicznie rozwijają się technologie rozpoznawania poleceń głosowych (VUI – *Voice User Interface*) i śLEDzenia lokalizacji obiektu (Contact Tracking). W „nowej normalności” unikamy dotykania czegokolwiek, więc wszelkie przyciski i wyłączniki w miejscach publicznych (np. windy) będą zastępowane przez akcesoria VUI reagujące na polecenia głosowe. Natomiast Contact Tracking służy ustalaniu potencjalnych zakażeń spowodowanych przez śLEDzoną osobę, która okazała się „pozytywna”. Zaprzęgnięty jest do tego cały arsenał technologii bezprzewodowych (RFID, Bluetooth, GPS, Wi-Fi) oraz układów IoT (*Internet of Things*). Szczególnym zagadnieniem jest ochrona pracowników służby zdrowia przez zdalną ocenę stanu pacjenta „ubranego” w układy IoMT (*Internet of Medical Things*), które monitorują i przesyłają, gdzie trzeba, podstawowe parametry (puls, temperatura, itp.), aby ograniczyć możliwość zarażenia lekarza (pielęgniarki) przez kontakt z pacjentem.

Trochę to wszystko straszne i ponure. Rozwój technologii przyspieszył w kierunku odzierania nas z prywatności i odczłowieczenia kontaktów. A to tylko pół roku wojny z wirusem. Druga wojna światowa trwała prawie 6 lat. Oj, żebyśmy nie wykrakał.



Niestaw Kurasinski

PS 27 maja. Liczba ofiar COVID19 w USA przekroczyła 100 000. To więcej niż łączne straty ludzkie USA w trzech wojnach: w Korei, Wietnamie i Iraku.

Nie przeocz

Nowe podzespoły.....	6
Mistrzostwa Polski w Lutowaniu Renex Soldering Championship 2020.....	13
Koktajl niusów.....	14
Dodaj do obserwowanych	17

Projekty soft

Kosmiczna myszka DIY	21
Laserowy system zabezpieczeń na Raspberry Pi.....	24

Projekty

μScale – waga elektroniczna	30
Niskonapięciowy regulator mocy AC.....	34
System uruchomieniowy dla układów z procesorami STM	39

Moduły w aplikacjach

Pomiar pulsu z użyciem płytki micro:bit.....	44
--	----

Miniprojekty

Mikrointerfejs użytkownika dla Pi Zero	48
Czterokanałowy uniwersalny izolator sygnałów cyfrowych.....	51
Miniaturowa czujka ruchu dla Raspberry Pi, Arduino i nie tylko.....	52
Moduł interfejsu ethernet dla Arduino MKR Zero	54
Expander I/O z interfejsem I ² C	55

Temat numeru:

Ochrona przed impulsami EMP/HEMP

Impulsy EMP/HEMP. Zagrożenia i metody ochrony	57
Ochrona instalacji PV	60

Prezentacje

Digilent Genesys ZU – rekonfigurowalna, wieloprocessorowa platforma SoC do aplikacji AI i Embedded Vision	62
Farnell odmienia edukację w Norwegii korzystając z platformy super:bit.....	64

Notatnik konstruktora

Jak napisać aplikację mobilną poprzez UART (3)	70
Symulacja i pomiar, czyli LTSpice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (11). Modułacja PWM.....	74



Kosmiczna myszka DIY

Wiele rodzajów specjalizowanego oprogramowania, zwłaszcza CAD (Computer Aided Design – projektowanie wspomagane komputerowo), CAM (Computer Aided Manufacturing – komputerowe wspomaganie wytwarzania) czy EDA (Electronic Design Automation – automatyzacja projektowania elektronicznego), może współpracować ze specjalnymi manipulatorami ułatwiającymi obsługę. Specjalne „myszki 3D” pozwalają np. manipulować wirtualnymi przedmiotami w przestrzeni projektu.

Wybór konstruktora:

Łączność bezprzewodowa.....	80
Sieci bezprzewodowe	88
Jak dobierać złącza elektroniczne do projektowanych urządzeń	95

Poradnik implementacji

Silniki BLDC (3). Zaawansowane metody sterowania.....	66
---	----

Kursy

Eksperymenty z FPGA (7)	100
Systemy dla Internetu Rzeczy (38).	
Cyfrowe czujniki pyłów.....	107

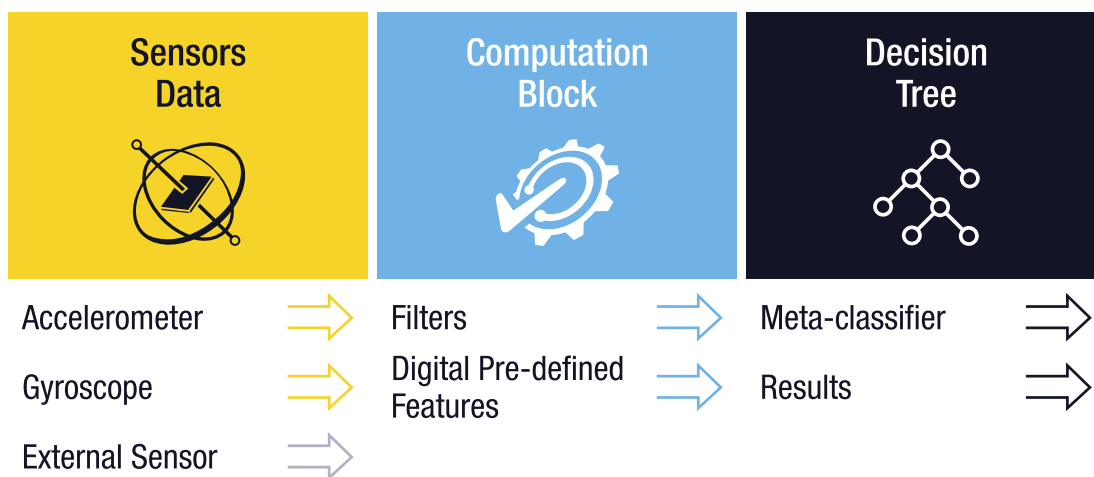
Prenumerata	2
Od wydawcy.....	3
Konkurs	69
KAP	42, 73
Kramik i rynek	79
Hity następnego numeru	115

Sensory MEMS z podsystemem Machine Learning Core



Mniejszy pobór mocy, mniej potrzebnej pamięci i mniej potrzebnej mocy obliczeniowej

Zintegrowany konfigurowalny system akwizycji danych z MEMS



Podstawowe cechy sensorów LSM6DSOX, LSM6DSRX, ISM330DHCX:

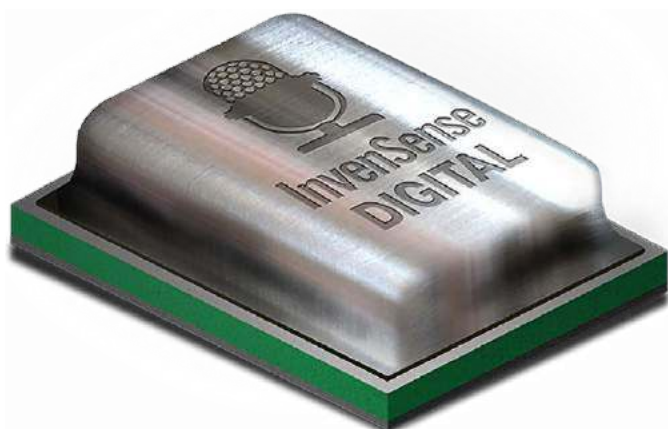
- sensory MEMS 6DoF
- zintegrowane: akcelerometr 3D i żyroskop 3D
- wyposażone w konfigurowalne podsystemy *Machine-Learning*
- wyposażone w interfejsy MIPI-I3C, I2C i SPI
- wstępna obróbka sygnałów za pomocą filtrów, programowanego automatu stanów i drzewa decyzyjnego *if-then-else*
- obniżają pobór mocy systemu MCU/MPU
- ułatwiają implementacje rozwiązań *real-time*
- przystosowane do współpracy ze środowiskami: Weka, Rapidminer, Matlab, Python



life.augmented

nowe podzespoły

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



Energooszczędny mikrofon PDM o zakresie dynamicznym 107 dB

Mikrofon PDM T5818 firmy TDK Invensense wyróżnia się najszerszym zakresem dynamicznym spośród wszystkich tego typu komponentów, dostępnych obecnie na rynku, wynoszącym 107 dB przy poborze prądu 590 μ A w trybie wysokiej jakości. Pozwala to na rejestrowanie dźwięku zarówno w bardzo cichych, jak i głośnych środowiskach pracy, np. w systemach rozpoznawania komend głosowych w aktywnych głośnikach.

Model T5818 charakteryzuje się poziomem przeciążenia akustycznego (AOP) równym 135 dB SPL i stosunkiem sygnału do szumu 66 dBA. Udostępnia dwa tryby pracy: High Quality i Low Power, którym odpowiada pobór prądu odpowiednio 590 μ A i 215 μ A. Może być też przełączany w tryb uśpienia, w którym pobór prądu zmniejsza się do 8 μ A. Zapewnia skuteczne tłumienie tętnień zasilania (PSR równy -98 dB). Szerokość pasma przenoszenia dla tego modelu rozciąga się od 40 Hz do 20 kHz.

Może znaleźć zastosowanie m.in. w smartfonach, matrycach mikrofonowych, tabletach, słuchawkach Bluetooth, laptopach i systemach



alarmowych. Jest produkowany w obudowie SMD o wymiarach 3,5×2,65×0,98 mm.

Najważniejsze parametry:

- pobór prądu: 590 μ A (High Quality), 215 μ A (Low Power),
- pasmo: 40 Hz...20 kHz,
- AOP: 135 dB SPL,
- SNR: 66 dBA,
- PSR: -98 dB FS,
- wyjście: PDM (pulse density modulation).

<https://bit.ly/2xqLsEn>



12-kanalowy sterownik diod LED do samochodowych systemów oświetleniowych

NCV7685 to 12-kanalowy sterownik diod LED do samochodowych systemów oświetlenia zewnętrznego i wewnętrznego, wyposażony w 12 programowalnych źródeł prądowych dołączonych do wspólnej masy. Umożliwia ustawienie 128 różnych współczynników PWM niezależnie dla poszczególnych kanałów. Częstotliwość przebiegu PWM można programować do poziomu 1200 Hz, a maksymalny prąd wyjściowy kanału wynosi 60 mA i może być programowany pojedynczym zewnętrznym rezystorem.

Układ NCV7685 zawiera interfejs I²C do komunikacji z mikrokontrolerem. Udostępnia też tryb autonomiczny, w którym użytkownik ma możliwość zaprogramowania dwóch konfiguracji statycznych przełączanych napięciem na wejściu CONF. W każdym z kanałów znajduje się detektor rozwarcia wyjścia z opcjonalnym trybem automatycznej regeneracji. Jeśli w którymś z kanałów zostanie wykryte rozwarcie, pozostałe mogą zostać wyłączone w zależności od zaprogramowanych ustawień. Układ zawiera wejście Output Enable, wyjście napięcia referencyjnego 3,3 V/1 mA przewidziane do współpracy np. z zewnętrznym czujnikiem oraz zabezpieczenie termiczne



REKLAMA

OBWODY DRUKOWANE

- płytki jednostronne i dwustronne
- płytki na podłożu aluminiowym
- testy elektryczne płytek
- pokrycia płytek: cyna, cyna/ołów, złoto



Faldruk S.A.

Faldruk s.c., 05-462 Emów, ul. Wiązowska 2E
tel. +48 22 872 43 01, 612 67 76, +48 698 468 850
biuro@faldruk.pl, www.faldruk.pl

SITODRUK NA
OBUDOWACH





Twórz projekty z użyciem układów FPGA PolarFire®

Zestawy rozwojowe do bezproblemowego prototypowania aplikacji



Układy FPGA PolarFire® pobierają najniższą w branży moc zasilania w klasie układów o średniej gęstości, zapewniają bezpieczeństwo wymagane dla klasy układów wojskowych i charakteryzują się wyjątkową niezawodnością. Oferujemy do nich szeroką gamę zestawów programistycznych, które ułatwiają ocenę możliwości i funkcji rodziny FPGA PolarFire. Dzięki temu można szybko rozpocząć pracę nad prototypowaniem aplikacji. Zapewniamy również przystępne przewodniki projektowe, noty aplikacyjne i przykładowe projekty, aby przyspieszyć Twój moment pojawienia się z produktem na rynku.

- PolarFire FPGA Video and Imaging Kit: Zawiera dwie kamery 4K i liczne interfejsy do wyświetlaczy do wysokowydajnej oceny przetwarzania i renderowania obrazów w wysokiej rozdzielczości
- PolarFire Evaluation Kit: W pełni funkcjonalna platforma programistyczna z układem FPGA 300K LE PolarFire, 4 GB wbudowanej pamięci DDR4, złącza: SMA, klatkowe SFP, krawędziowe PCIe® i RJ45
- PolarFire Splash Kit: Tańsza płytką rozwojową obsługująca szybkie protokoły i realizująca pomiar mocy

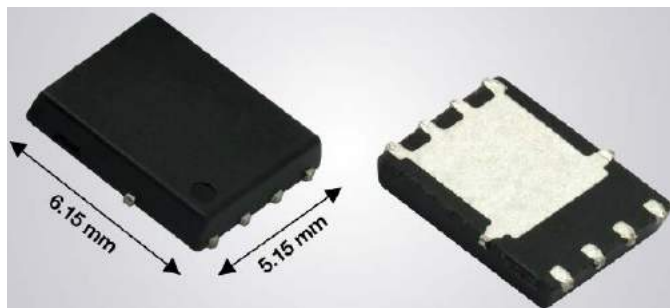
Dowiedz się więcej o tym, jak rozpocząć prototypowanie swoich aplikacji już dzisiaj.

www.microchip.com/design-centers/fpgas-and-plds



i podnapięciowe. Zapewnia małą emisję elektromagnetyczną przy pracy oscylatora w trybie Spread Spectrum. Jest dostępny w obudowie SSOP24-EP.

<http://bit.ly/36Km9ch>



80-woltowy tranzystor MOSFET o rekordowo małym współczynniku FOM

SiR680ADP to N-kanalowy tranzystor MOSFET o rekordowo małym współczynniku FOM ($R_{DS(on)} \times Q_g$), decydującym o małych stratach przy pracy impulsowej. Jest produkowany w procesie TrenchFET Gen IV i zamknięty w obudowie PowerPAK SO-8 o powierzchni 6,15×5,15 mm. Charakteryzuje się napięciem przebicia 80 V i dopuszczalnym prądem ciągłym drenu wynoszącym 125 A i 100 A przy temperaturze obudowy odpowiednio 25°C i 70°C. Może znaleźć zastosowanie w wielu aplikacjach konwersji mocy DC/DC i AC/DC w zasilaczach serwerowych, systemach solarnych, układach napędowych elektronarzędzi oraz w przełącznikach zasilania. Współczynnik FOM tego modelu jest mniejszy o 12% niż najbliższego odpowiednika oraz o 23% niż tranzystorów TrenchFET wcześniejszej generacji.

Podstawowe parametry:

- $R_{DS(on)}$: typ. 2,88 mΩ @ 10 V,
- Q_g : 55 nC,
- COSS: 614 pF,
- VGS: 20 V,
- IDM: 300 A (100 μs).

<http://bit.ly/2kulw4r>

Kondensatory MLCC do elektroniki samochodowej w obudowach 0510 flip-chip

Firma TDK zaprezentowała pierwszą na rynku serię kondensatorów ceramicznych MLCC zamykanych w obudowach 0510 (EIA 0204) typu flip-chip, przeznaczonych do zastosowań w elektronice samochodowej. Są to kondensatory z kwalifikacją AEC-Q200.



REKLAMA

BORNICO

Teraz większe MOŻLIWOŚCI

bornico.com.pl

■ montaż kontraktowy elektroniki

■ projektowanie urządzeń i systemów

Zakład Elektroniczny BORNICO

ul. Małczyńska 25

26-600 Radom

tel. +48 48 365 58 22

bornico@bornico.com.pl

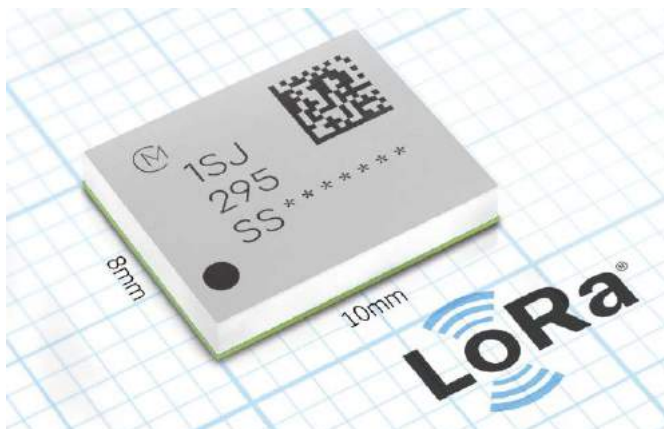


Oznaczenie	Wymiary	Di-elektryk	Napięcie znamionowe	Pojemność
CGAEA1X7R1H473M	0,52×1,00×0,30 mm	X7R	50 V	47 nF
CGAEA2X7R1E473M		X7R	25 V	47 nF
CGAEA1X7T0J104M		X7T	6,3 V	100 nF
CGAEA3X7T0G104M	0,58×1,10×0,58 mm	X7T	4 V	100 nF
CGAEB1X7T0G105M		X7T	4 V	1 μF

Nadają się do tłumienia szumów i odsprężania zasilania, pozwalając zredukować liczbę komponentów i wymaganą powierzchnię płytki drukowanej.

Seria CGAE obejmuje kondensatory o pojemności od 47 nF do 1 μF, produkowane na napięcia znamionowe od 4 do 50 V. W odróżnieniu od klasycznych kondensatorów MLCC, zastosowano w nich układ wyprowadzeń typu flip-chip z elektrodami umieszczonymi na dłuższych krawędziach obudowy. Zapewnia to krótszą ścieżkę prądową, a w konsekwencji mniejsze wartości ESR i ESL.

<http://bit.ly/2OPPEmF>

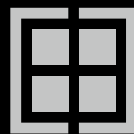


Najmniejszy na rynku moduł komunikacyjny LoRa

Murata wprowadza do oferty najmniejszy na rynku moduł komunikacyjny LoRa, którego dodatkową zaletą jest energooszczędna praca. Model 1SJ został zrealizowany na bazie transceivera 2. generacji SX1262 produkcji Semtech oraz mikrokontrolera STM32L0 (z rdzeniem ARM Cortex-M0+) produkcji STMicroelectronics. Ponadto do jego wyposażenia należy przełącznik w.c.z., oscylator TCXO, przetwornik A/C, zestaw linii GPIO oraz 192 kB pamięci Flash i 20 kB pamięci RAM. Do komunikacji lokalnej przewidziano interfejsy UART, I²C, SPI i USB.

Model 1SJ jest zamykany w obudowie o wymiarach 10×8×1,6 mm. Nadaje się do zastosowań we wszelkiego typu miniaturowych urządzeniach produkowanych wielkoseryjnie, wymagających bezpiecznej transmisji danych na dużą odległość przy małym poborze prądu. Dzięki dużej wewnętrznej pamięci oferuje niezbędne zasoby dla warstwy aplikacyjnej. Pobór prądu może być ograniczony nawet do 1,3 μA w trybie oszczędnościowym z aktywnym zegarem RTC, co umożliwia nawet kilkuletnią pracę na pojedynczej baterii. Zakres dopuszczalnych temperatur pracy układu rozciąga się od -40 do +85°C. Zakres zastosowań obejmuje zarządzanie zasobami,





mierniki zużycia mediów, rolnictwo, systemy inteligentnego budynku oraz aplikacje przemysłowe. Obsługa zakresu częstotliwości ISM od 868 do 915 MHz umożliwia pracę modułu w wielu regionach geograficznych, w tym na terenie Europy, USA, Indii i Chin.

<http://bit.ly/2MJM9NK>



Hermetyczna dioda nadawcza 850 nm o długim czasie bezawaryjnej pracy

Nowa dioda nadawcza podczerwieni FDE851HLBF firmy OMC wyróżnia się długim czasem bezawaryjnej pracy w ciężkich warunkach przemysłowych. Jest to dioda o dużej intensywności, pracująca na długości fali 850 nm, zaprojektowana do współpracy ze światłowodami wielomodowymi w systemach transmisji danych, czujnikach, enkoderach i aparaturze pomiarowej. Jest zamykana

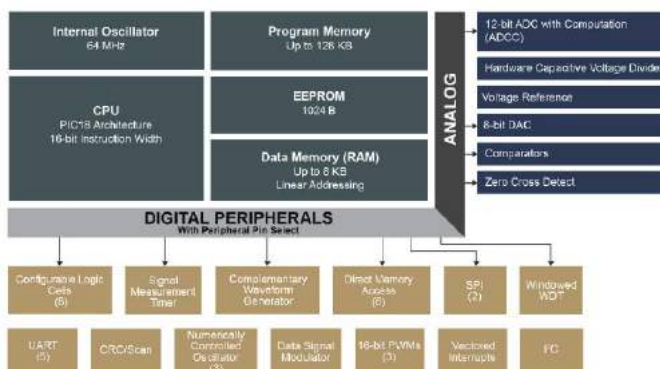


w hermetycznej obudowie typu TO ze szklanym okienkiem optycznym, zapewniającym ochronę wewnętrznych obwodów przed wpływem narażeń atmosferycznych. Krótkie czasy narastania/opadania umożliwiają pracę z sygnałami o częstotliwości kilkudziesięciu MHz. Wewnętrzna optyka skupia wiązkę światła do małego punktu, zapewniając efektywne sprzężenie optyczne ze szklanymi światłowodami wielomodowymi o średnicy już od 50 μm . Przy prądzie polaryzacji 100 mA dioda zapewnia typową moc optyczną 30 μW wprowadzaną do światłowodu 50/125.

<https://bit.ly/2WUDMTr>



PIC18 Q43 Block Diagram



Nowa rodzina mikrokontrolerów PIC18 z rozbudowanym zestawem peryferiów CIP

Przy realizacji systemów mikroprocesorowych często tzw. wąskim gardłem opóźniającym wprowadzanie produktów na rynek

REKLAMA

Elementy high-tech do Twoich innowacji

Zakręć kołem

Jako jeden z wiodących dystrybutorów elementów elektronicznych, oferujemy na całym świecie szeroki wachlarz produktów, kompetentne wsparcie techniczne podczas opracowywania i projektowania produktów, indywidualne rozwiązania logistyczne oraz kompleksowe usługi serwisowe.

- Półprzewodniki
- Wyświetlacze i tablice
- Elementy elektroniczne bierne
- Technologie pamięci
- Elementy elektromechaniczne
- Technologie bezprzewodowe

Informacje o RUTRONIK: +48 (32) 461 2000

Committed to excellence



www.rutronik.com

i ograniczającym ich osiągi okazuje się oprogramowanie. Dlatego też w mikrokontrolerach nowej rodziny PIC18-Q43 firmy Microchip powiększono zestaw wbudowanych peryferiów CIP (*Core Independent Peripherals*), co pozwala realizować sprzętowo wiele zadań wykonywanych wcześniej programowo, włączając w to obsługę pętli sterujących.

Szeroki zestaw funkcji peryferyjnych oferuje użytkownikom większą wszechstronność i łatwość tworzenia niestandardowych funkcji sprzętowych za pomocą łatwych w użyciu narzędzi programistycznych. Konfigurowalne bloki peryferyjne są połączone w sposób pozwalający zapewnić praktycznie zerowe opóźnienia przy współdzieleniu danych, wejść logicznych i sygnałów analogowych bez potrzeby wprowadzania dodatkowego kodu.

Peryferia CIP w odróżnieniu od typowych tego typu obwodów dają dodatkową możliwość obsługi sprzętowej różnego typu zadań bez konieczności interwencji ze strony jednostki CPU. Należą do nich m.in. timery, modulatory PWM, przetworniki A/C z wbudowanym blokiem obliczeniowym (ADCC), bloki logiki programowalnej CLC oraz interfejsy szeregowo UART, SPI i I²C. Wymienione tu bloki CLC pracują poza ograniczeniami czasowymi narzucanymi przez oprogramowanie, przyspieszając wykonywanie takich zadań, jak generowanie przebiegów czy pomiary parametrów czasowych.

Mikrokontrolery rodziny PIC18-Q43 nadają się idealnie do aplikacji pracujących w czasie rzeczywistym (urządzenia AGD, systemy alarmowe, układy napędowe i przemysłowe, systemy oświetleniowe, IoT), pozwalając zmniejszyć przestrzeń na płycie drukowanej i liczbę podzespołów, ograniczyć koszty oraz skrócić czas wprowadzania produktów na rynek. Mikrokontrolery rodziny PIC18-Q43 są obecnie dostępne w 9 wersjach różniących się pojemnością pamięci programu i danych oraz liczbą wyprowadzeń. Ich ceny hurtowe zaczynają się od 0,64 USD.

<http://bit.ly/2IKmsBN>

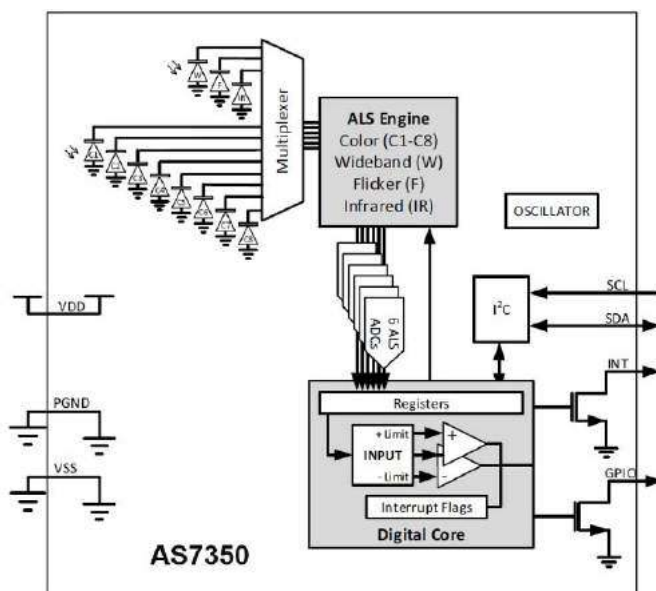
Superkondensator litowo-jonowy o pojemności 100 F

Firma Taiyo Yuden powiększa rodzinę superkondensatorów litowo-jonowych Lithosion o nowy model oznaczony symbolem LIC1840RH3R8107. Jest to superkondensator o pojemności 100 F, wyróżniający się szerokim zakresem dopuszczalnych temperatur pracy do 105°C (większym o 20°C niż w przypadku wersji standardowych, np. LIC1840RS3R8107 o identycznych parametrach).



Nadaje się do zastosowań jako awaryjne źródło zasilania do ochrony danych m.in. w serwerach, rejestratorach danych i miernikach inteligentnych. Jest zamykany w cylindrycznej obudowie o średnicy 18 mm i wysokości 40 mm.

<https://bit.ly/2yXia0X>



11-kanalowy czujnik widma optycznego do aparatów fotograficznych w smartfonach klasy high-end

Dla wielu konsumentów parametry aparatu fotograficznego są decydującym czynnikiem przy wyborze telefonu komórkowego klasy premium. Szczegółowo analizują oni pod tym kątem poszczególne modele, kierując się profesjonalnymi testami i recenzjami użytkowników. Nowy czujnik widma optycznego AS7350 z oferty firmy AMS wykrywa i identyfikuje zewnętrzne źródła światła, dając precyzyjnie dane dotyczące balansu bieli we wszystkich warunkach oświetleniowych. Jest to obecnie najbardziej zaawansowany czujnik ALS (*ambient light sensor*) dostępny na rynku, zapewniający niezrównaną jakość obrazu nawet w scenach o wysokim kontraście kolorów.

AS7350 identyfikuje dowolny rodzaj źródła światła, w tym światło dzienne, żarowe, jarzeniowe, wszystkie rodzaje diod LED oraz ich dowolną kombinację. Zawiera 11 kanałów, w tym 8 równomiernie rozmieszczonych w zakresie widzialnym oraz 3 kanały pomocnicze: Clear, Flicker i NIR – wszystko to umieszczane w obudowie LGA o wymiarach 3,1×2,0×1,0 mm. Kanał Flicker wykrywa źródła sztucznego światła o częstotliwości migotania od 50 Hz do 3 kHz i więcej, w zależności od implementacji.

<http://bit.ly/2vpZiWn>



REKLAMA

ZAJRZYZJ NA TE STRONY

GAMMA
www.gamma.pl
info@gamma.pl
PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE

P www.piekarz.pl
części elektroniczne
sprzedaz@piekarz.pl tel. 22 599 49 70

RENEX www.renex.com.pl
RENEX www.ipctraining.pl
RENEX www.reneline.pl

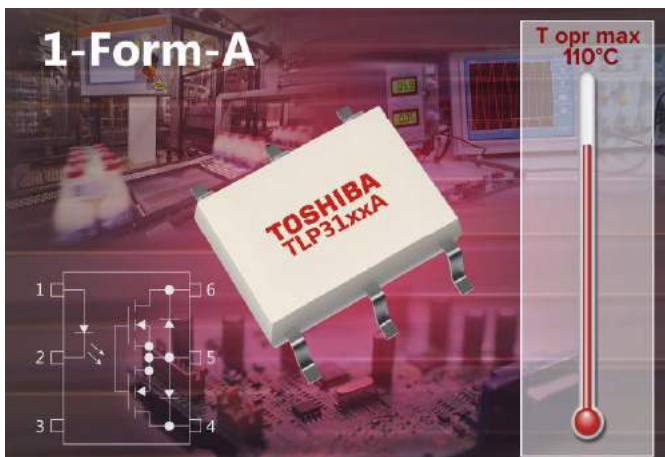


Tanie 20- i 40-watowe zasilacze sieciowe do montażu na płytkach drukowanych

Firma XP Power uzupełnia ofertę tanich zasilaczy sieciowych serii VCE do montażu na płytkach drukowanych. Do wcześniejszych modeli o mocy znamionowej 3, 5 i 10 W dołączają obecnie wersje: 20-watowa (ozn. VCE20), zamknięta w obudowie o wymiarach 63,5×30,5×21,8 mm i 40-watowa (VCE40) o wymiarach 85×35,1×27,7 mm. Zawierają one filtr EMC, kondensator podtrzymujący i bezpiecznik, co eliminuje część komponentów współpracujących. Pracują z napięciem zasilania z zakresu od 85 do 305 VAC i z zaprogramowanym fabrycznie napięciem wyjściowym 3,3, 5, 9, 12, 15, 24 i 48 VDC. Zapewniają sprawność sięgającą 85% i nie wymagają montażu radiatorów.

Konwertery VCE spełniają wymogi międzynarodowych standardów bezpieczeństwa IEC60950-1, IEC/UL/EN62368-1 i IEC60335-1 dla urządzeń ITE i domowych. Charakteryzują się izolacją wejście-wyjście do 3 kV AC i bardzo małym poborem mocy w trybie standby, wynoszącym około 300 mW. Są objęte 3-letnią gwarancją.

<https://bit.ly/35UKTV0>



Wysokoprądowe fotoprzekaźniki 1-Form-A do pracy w warunkach przemysłowych

Toshiba powiększa ofertę fotoprzekaźników przeznaczonych do pracy w warunkach przemysłowych o trzy nowe modele 1-Form-A: TLP3106A, TLP3107A i TLP3109A, mogące stanowić zamienniki przekaźników mechanicznych. Produkowane są w najnowszym procesie Trench U-MOS IX zapewniającym małą rezystancję $R_{DS(on)}$ wynoszącą odpowiednio 30, 40 i 65 mΩ. Wszystkie trzy nadają się do pracy w zakresie temperatur otoczenia od -40 do +110°C i są zamykane w 6-pinowych obudowach SOP6 o wymiarach 7,0×6,3×2,1 mm. Charakteryzują się izolacją min. 1500 V rms. Maksymalne napięcie wyjściowe i maksymalny prąd ciągle obciążenia wynoszą 30 V/4,5 A dla TLP3106A, 60 V/4 A dla TLP3107A i 100 V/3 A dla TLP3109A. Zakres dopuszczalnych prądów impulsowych to 9...13,5 A.

<http://bit.ly/2FVrsKD>



Przekaźniki miniaturowe w przeźroczystej obudowie

Podgląd stanu pracy przekaźników



- izolacja wzmocniona 5 000 V AC pomiędzy cewką a stykami,
- zwiększona wytrzymałość elektryczna przerwy zestykowej, oddzielenie pełne: **RM84** zestyki 2Z, **RM85/RM87** zestyk 1Z,
- wysokość tylko 15,7 mm,
- obciążenie znamionowe do 16 A,
- wysoka odporność na prąd pełzający CTI 250,
- montaż w gniazdach z zaciskami śrubowymi, zaciskami Push-in oraz na płytkach drukowanych.

Biurowa Obsługa Klienta: tel. 68 47 90 822, 850
sprzedaz@relpol.com.pl, www.relpol.com.pl

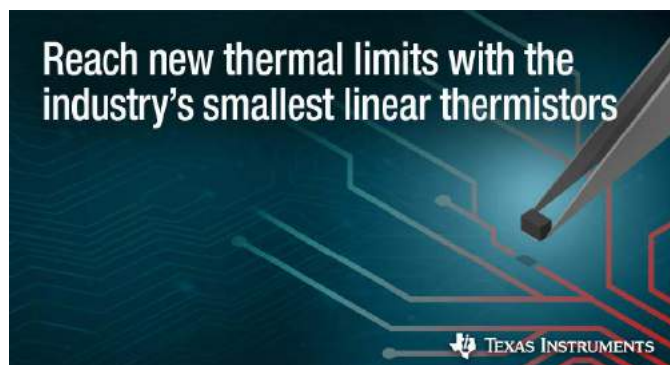


Dwukierunkowe transile dużej mocy

Firma ProTek Devices wprowadza do oferty serię dwukierunkowych transili dużej mocy, zapewniających tłumienie przepięć w obwodach AC i DC. Transile serii PHCR występują w ośmiu wersjach różniących się napięciem znamionowym, wynoszącym od 440 VAC/620 VDC dla modelu PHCR660-1.0 do 660 VAC/880 VDC dla modelu PHCR880-10. Zapewniają bardzo małą pojemność rzędu 5 pF i prąd wsteczny równy 5 A. Ich napięcie progowe wynosi w zależności od wersji 1100 lub 1300 V, a maksymalne natężenie impulsu prądowego 8/20 μ s od 1 kA (PHCR660-1.0) do 10 kA (PHCR880-10).

Transile serii PHCR są zamykane w niepalnych (UL 94V-0) obudowach o wymiarach 63,5×22,6×17,0 mm. Mogą pracować w zakresie temperatur otoczenia od -55 do +150°C.

<https://bit.ly/2ZcKp6H>



Najmniejsze na rynku termistory liniowe o dużej czułości i dokładności

Termistory NTC są szeroko stosowane ze względu na niską cenę, jednak ich parametry ulegają znacznemu pogorszeniu w wysokich temperaturach, co zwiększa wymogi odnośnie do kalibracji i wydłuża czas projektowania. Nowe termistory liniowe TMP61, TMP63 i TMP64 z oferty Texas Instruments są dostępne w podobnej cenie, natomiast pozwalają skrócić czas projektowania i ograniczyć liczbę komponentów. Zapewniają dużą niezawodność i dokładność pomiaru w temperaturze przekraczającej +80°C, co jest istotne w aplikacjach przemysłowych i motoryzacyjnych, gdzie otrzymywanie precyzyjnych odczytów w czasie rzeczywistym jest kluczowe dla zapewnienia ochrony i prawidłowego działania systemu.

Termistory NTC zapewniają mniej dokładne odczyty temperatury ze względu na niską czułość i dużą tolerancję rezystancji w skrajnych temperaturach. Aby to zrekompensować, często wykonuje się kalibrację w trzech punktach w całym zakresie temperatur pracy lub używa się wielu termistorów do monitorowania różnych zakresów. Może to jednak nadal generować niewiarygodne odczyty, co w konsekwencji powoduje konieczność wyłączania systemów przed osiągnięciem ich rzeczywistej granicy termicznej. Liniowość i duża dokładność nowych termistorów pozwalają na przeprowadzanie kalibracji jednopunktowej,



co ułatwia projektowanie. Dodatkowo charakteryzują się one bardzo małym dryftem temperaturowym, wynoszącym typowo 0,5%.

Dzięki wyeliminowaniu konieczności stosowania dodatkowych obwodów linearyzacyjnych i redundantnych termistorów NTC nowe termistory z oferty TI pozwalają ułatwić projektowanie, obniżyć koszty systemu i zmniejszyć rozmiar układu płytki drukowanej o co najmniej 33% w porównaniu z klasycznymi termistorami NTC. Ponadto ich powierzchnia jest 10-krotnie mniejsza niż innych modeli, co pozwala na umieszczenie ich bliżej punktów pomiarowych i skrócenie czasu reakcji.

Termistory TMP61, TMP63 i TMP64 są produkowane w obudowach chipowych rozmiaru 0402 i 0603. Ich ceny zaczynają się od 0,05 USD przy zamówieniach 1000 sztuk.

Użytkownicy mogą skorzystać z narzędzia projektowego, dostępnego na portalu TI, pozwalającego łatwo obliczyć wartości rezystancji w danych temperaturach. Dostępne są tu również przykładowe kody i metody konwersji.

<http://bit.ly/2kuoTZ9>



200-watowe wzmacniacze mocy w.cz. na pasmo 20 MHz...18 GHz

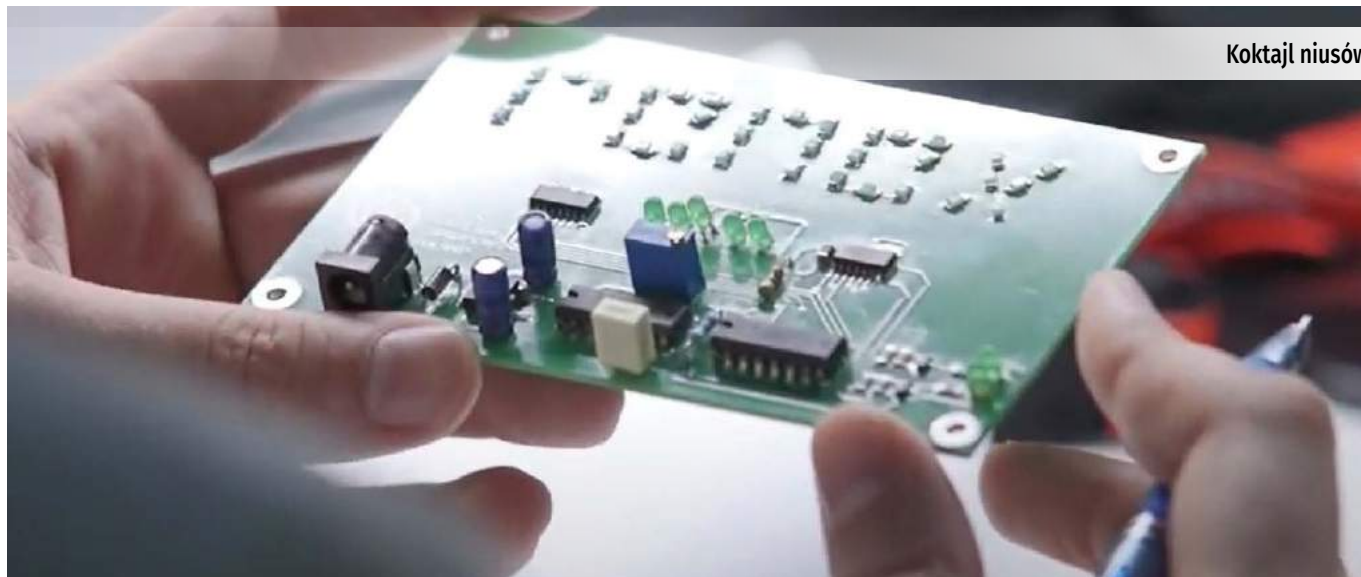
Do oferty firmy Fairview Microwave wchodzi nowa seria szerokopasmowych wzmacniaczy mocy FMAM50xx, występujących w 18 wersjach pokrywających w sumie zakres częstotliwości od 20 MHz do 18 GHz. Są to wzmacniacze klasy AB o bezwarunkowej stabilności, produkowane w technologii GaN, LDMOS lub VDMOS. Zapewniają wzmocnienie do 53 dB i maksymalną moc od 10 do 200 W przy granicy nasycenia. W zależności od wersji wzmacniacze FMAM50xx zawierają wejścia i wyjścia sygnałowe SMA/SMA lub SMA/N-Type. Wejście polaryzacji oraz linie sterujące TTL wyprowadzono na złączu D-sub. Pozostałe parametry:



- sprawność (PAE): do 40%,
- zawartość harmoniczných: -25...-10 dBc,
- napięcie zasilania: 22...28 V,
- impedancja wejściowa/wyjściowa: 50 Ω ,
- zakres temperatur pracy: -20...+60°C.

W ofercie Fairview Microwave dostępne są też dwa typy radiatorów z wbudowanymi wentylatorami, zapewniających optymalną temperaturę korpusu w aplikacjach wymagających najwyższej niezawodności.

<https://bit.ly/2WT8v3h>



Mistrzostwa Polski w Lutowaniu Renex Soldering Championship 2020

Renex Group nawiązała współpracę partnerską z PTAK Warsaw Expo, w ramach której Piąta Edycja Mistrzostw Polski w Lutowaniu – RSC 2020 – zostanie zorganizowana wspólnie z targami Warsaw Industry Week w Nadarzynie w dniach 3...5 listopada 2020 roku.

Mistrzostwa Polski w Lutowaniu – Renex Soldering Championship, są corocznym wydarzeniem branżowym, które uzyskało ogromne uznanie i zainteresowanie wśród polskich specjalistów produkcji i naprawy podzespołów elektronicznych i wpisało się na stałe w kalendarz wydarzeń branży elektronicznej. Organizatorem wydarzenia od samego początku jego istnienia jest Renex Group – jedna z największych i najdłużej działających polskich firm z branży elektronicznej, która w tym roku połączyła siły z PTAK Warsaw Expo – jedną z najprężniej działających polskich spółek wyspecjalizowanych w organizacji wydarzeń targowych. Jak zapowiadają organizatorzy, dzięki nawiązaniu współpracy, dla uczestników wydarzenia, zarówno zawodników, jak i widzów, oznacza to jeszcze więcej emocji i atrakcji w jednym miejscu, w ramach najszybciej rozwijających się targów przemysłowych w Polsce.

Zawodnicy rywalizować będą w dwóch kategoriach:

1. Młodzieżowy Mistrz Polski w Lutowaniu – gdzie uczestnikami będą uczniowie i studenci szkół technicznych,
2. Mistrz Polski w Lutowaniu – gdzie rywalizować będą przedstawiciele firm przemysłu elektronicznego.

Na zwycięzców mistrzostw czekają wartościowe nagrody rzeczowe w postaci profesjonalnych urządzeń, narzędzi i wyposażenia dla



elektroników oraz nagrody pieniężne. Zdobywcy tytułu Mistrza Polski w Lutowaniu Grupa Renex, będąca sponsorem i organizatorem reprezentacji Polski, zapewni dodatkowo przygotowania do zawodów oraz pokrycie kosztów transportu i pobytu na Mistrzostwach Europy i Świata.

W tej formule Mistrz Polski z 2017 roku – pan Grzegorz Szymańczuk zdobył tytuł Mistrza Europy. Mistrzostwa Polski w Lutowaniu RSC 2020 pokażą nam wkrótce, która z firm może szczerzyć się Mistrzem Polski w Lutowaniu oraz być może przyszłym Mistrzem Europy lub Świata.

O rejestracji i kolejnych planowanych atrakcjach w ramach wydarzenia organizatorzy będą informować na stronie wydarzenia www.rsc.zone oraz w mediach społecznościowych wydarzenia. „Elektronika Praktyczna” jest jednym z patronów medialnych tego wydarzenia.



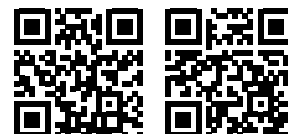
Arduino & Raspberry Pi Day w wersji online

Kolejna edycja Arduino & Raspberry Pi została w tym roku przełożona i odbędzie się w zupełnie odmienionej formule. Panująca sytuacja epidemiologiczna sprawiła, że spotkanie odbędzie się online.

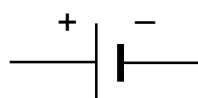
Warsztaty, prelekcje oraz konkurs odbędą się przez Internet. Wszystko będzie streamowane za pomocą Facebooka oraz YouTube.

Wydarzenie przeznaczone jest zarówno dla osób, które nigdy jeszcze nie słyszały o Arduino i Raspberry Pi, a są ciekawe, jak w prosty sposób można połączyć elektronikę i programowanie w projekty zmieniające nasze otoczenie, jak i dla pasjonatów, którzy pragną zgłębić i przekazywać wiedzę o tych platformach.

Aktualne informacje na temat spotkania można znaleźć pod adresami: <https://bit.ly/36zxcX6>, <http://bit.ly/2V9a6mq>.



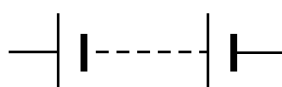
koktajl niusów



cell



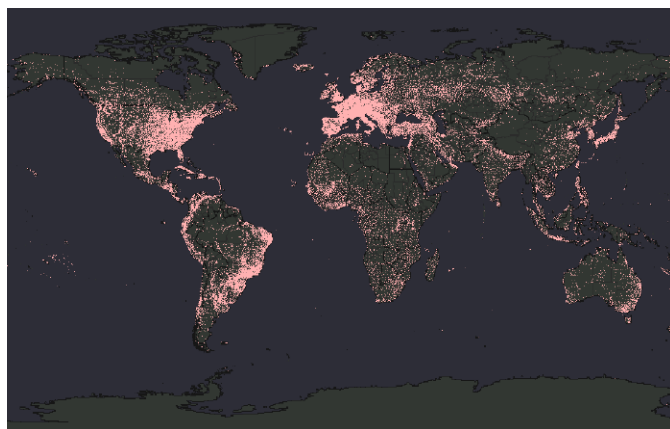
battery (2 cells)



battery (many cells)

O symbolu baterii

Na schematach elektrycznych najczęściej stosowany jest symbol, który w rzeczywistości oznacza szeregowo połączone dwa (symbol środkowy) lub więcej ogniw (symbol na dole). Samo ogniwo (symbol na górze), wbrew potocznemu rozumieniu, baterią nie jest. To drobność, o której elektronicy zapominają, na tle poważniejszych w elektronice problemów. Niech to będzie okazja do przypomnienia, lub uzupełnienia wiedzy, by nie tracić czasu na szukanie takich rzeczy.



Mapa nadajników FM na świecie

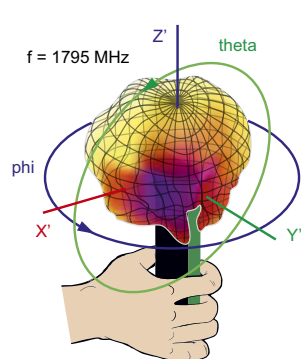
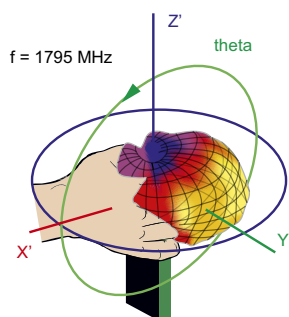
Gdyby pokazać zbiorczo wszystkie nadajniki cywilnych, analogowych sygnałów radiowych modulowanych częstotliwościowo, to mapa rozmieszczenia będzie taka, jak na rysunku.

Widoczne jest duże zróżnicowanie koncentracji, nie zaskakuje przy tym jej obniżenie na terenach słabiej zaludnionych. Nie podajemy ich całkowitej liczby – odsyłamy na stronę: <https://www.fmlist.org/>, która wymienia nadajniki według krajów. W Polsce jest ich jedynie 1183 – mało jak na cały świat.

Źródło: <https://bit.ly/2Lg0X5c>, <https://bit.ly/2WlhZ8H>

Ludzka dłoń, a charakterystyka anteny

Obiekty znajdujące się w pobliżu anteny wpływają na propagację fal radiowych. Czy wiecie, że ludzkie dłonie to doskonały „reflektor” wspomnianych fal, zwiększający kierunkowość oraz zasięg anteny? Na rysunku, po lewej stronie widoczny jest brak promieniowania przez dłoń (kierunkowość), i wąski listek główny, czyli większy zysk energetyczny anteny (zasięg).



Jednak nie polecamy „poprawiać” w ten sposób jakiejkolwiek anteny, zwłaszcza tej od telefonu komórkowego, którego tył byłby zasłaniany w trakcie rozmowy. To niepraktyczne, a nawet szkodliwe – sygnał bowiem musi wtedy przejść przez głowę, jako że dłoń blokuje „okrężne” drogi. Telefon należy trzymać tylko za dolną krawędź – wówczas charakterystyki anten będą takie, jak po prawej stronie rysunku, a sygnał będzie rozpraszany również „poza głowę”. Nie ma przy tym znaczenia jego częstotliwość.

Źródło: <https://bit.ly/2WYKJmP>

Kto jest „ojcem” tranzystora MOSFET?

Odpowiedź brzmi: to pokazany na fotografii, zamieszkały w Stanach Zjednoczonych Egipcjanin Mohamed Mohamed Atalla (arab. دةلل الطع دم دم دم), zwany również „Martin” M. Atalla oraz „John” M. Atalla. Był inżynierem firmy Bell Telephone Laboratories (od 1949 do 1962 roku), następnie kierownikiem laboratorium półprzewodników i dyrektorem ds. badań półprzewodników firmy Hewlett-Packard (od 1962 do 1969 roku). Następnie był dyrektorem oraz wiceprezesem działu Mikrofal i Optoelektroniki firmy Fairchild Semiconductor (od 1969 do 1972 roku), oraz założycielem firmy Ultimaco Atalla (zwanej początkowo Atalla Techno-vations i Atalla Corporation), zajmującej się kryptografią i bezpieczeństwem danych, której przewodniczył w latach 1972...1990. Już na emeryturze stał się założycielem firmy TriStata Security, opracowującej zabezpieczenia w internecie, której przewodniczył w latach 1996...1999, oraz prezesem firmy A4 System zajmującej się systemami bezpieczeństwa dla uczelni, instytucji państwowych i użytkowników komercyjnych, w latach 2003...2009 (do czasu śmierci).

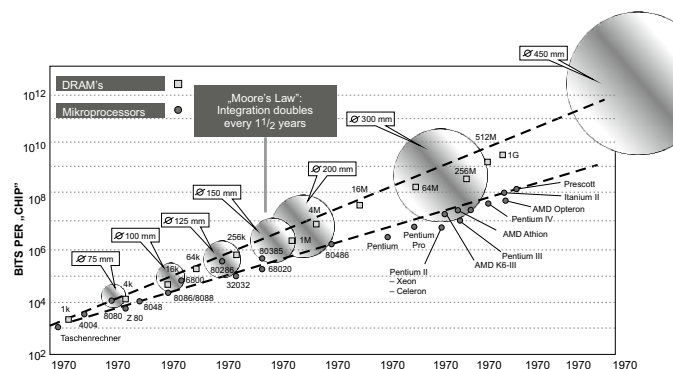


Wspomniany tranzystor stworzył z koreańskim inżynierem (także zamieszkałym w Stanach Zjednoczonych) Dawonem Khangem w 1959 roku. Ponadto wykonał z nim pierwsze diody Schottky’ego (rok 1962),

które potem udoskonalił (lata 1962...1963). Prowadził prace nad diodami elektroluminescencyjnymi (lata 1962...1972), które zastosowano w wyświetlaczach (rok 1968), i zaproponowano ich użycie w roli czytników optycznych (rok 1971), oraz prowadził badania nad zastosowaniem arsenku galu, arsenofosforu galu i arsenku indu, w podłożu przyrządów półprzewodnikowych wysokich częstotliwości, na potrzeby analizatorów widm i analizatorów sieci elektrycznych (lata 1962-1969). Ponadto wniósł istotny wkład w systemy bezpieczeństwa.

To bardzo utalentowana osoba, w dodatku pracowita, mająca wkład w naprawę wielu dziedzinach techniki. Oby stanowiła inspirację do nieustannego rozwoju, nawet tego w elektronice. Nie ma znaczenia pochodzenie Europa, Azja czy Afryka – osiągnięcia są w końcu od nich niezależne!

Źródło: <https://bit.ly/2yOkR4T>, <https://bit.ly/3cmW1aP>



Średnice wafl krzemowych

Jeżeli jesteście ciekawi jak się zmieniała w czasie średnica wafl krzemowych (zawierających układy scalone), to spójrzcie na rysunek. Jak widać, zaczęło się od 75 mm, które najpierw rosło o 25 mm co 4 lata (od 1974 do 1986 roku), następnie o 50 mm (od 1986 do 1988 roku), potem o 100 mm (od 1988 do 1998 roku), i wreszcie o 150 mm (od 1998 do 2013 roku), by na chwilę obecną (2020 rok) zatrzymać się na 450 mm.

Skąd taki intensywny wzrost? Wynika z tempa przyrostu złożoności procesorów i pamięci DRAM, które przybrało na sile w połowie lat osiemdziesiątych XX wieku (przerzywane linie na rysunku), kiedy program „gwiazdnych wojen” prezydenta USA Ronalda Reagana, rzucający wyzwanie ZSRR i blokowi wschodniemu, odniósł największy sukces. Skutkiem czego, zapotrzebowanie na układy trwale rosło i wymusiło optymalizację w procesie produkcji, przez zmniejszenie liczby wafl krzemowych – taniej jest bowiem użyć mniej „szerszych” brył krzemu, aniżeli więcej „węższych”.

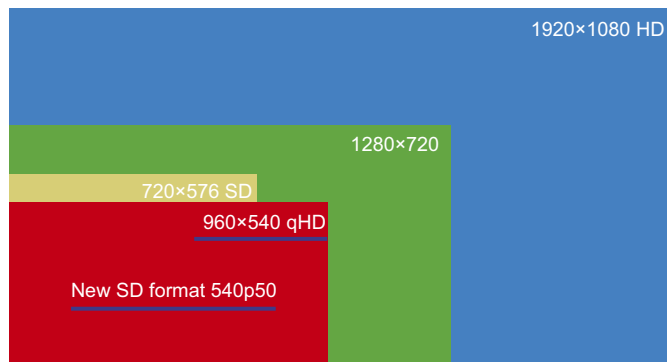
Wielkość 450 mm to na razie (2020 rok) wartość „teoretyczna” – nie weszła ona bowiem jeszcze do produkcji z powodu większych niż zakładano kosztów wdrożeniowych, których popyt na układy scalone dotąd nie zrównoważył (wykonano jedynie pojedynczy wafl, aby pokazać, że jest to możliwe). Obecnie używa się wafl o średnicy 200 i 300 mm. Firma Intel podjęła decyzję o stosowaniu drugiej do 2023 roku. Mimo to, są już prowadzone prace nad waflami o średnicy 600 mm, jednak tylko teoretycznie.

Źródło: <https://bit.ly/3ckSOIU>

„Mobilna” rozdzielczość HD

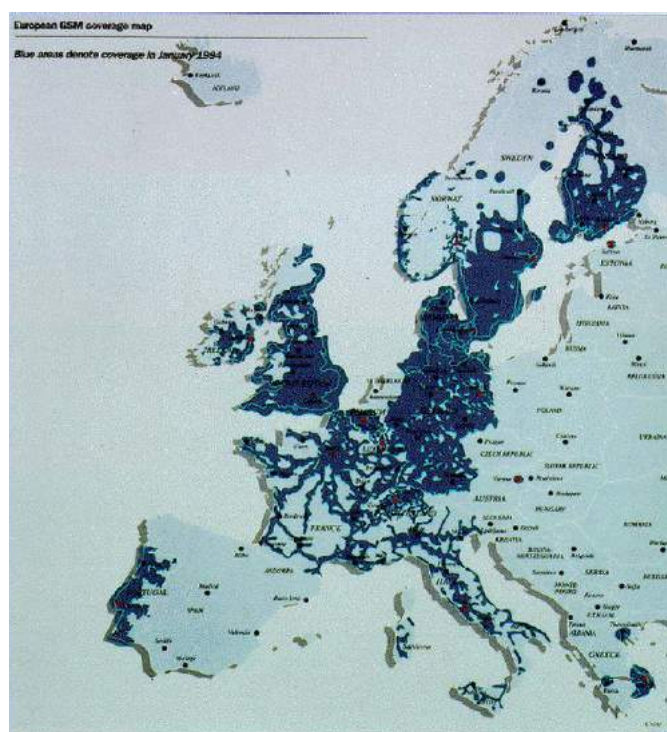
Poza rozdzielczością Full HD (1920×1080 pikseli) i HD 720 (1280×720 pikseli) jest jeszcze jedna, zwana qHD (*quarter HD* – ćwierć HD). Jak łatwo się domyślić, jest to 960×540 pikseli. Niektórzy pewnie już o niej słyszeli. Warto wiedzieć, że jest podstawą wielu smartfonów, m.in.: Xperii C firmy Sony, o wyświetlaczu 5 cali i Sensation firmy HTC z wyświetlaczem o przekątnej 4,3 cala, jest też stosowana w konsoli PlayStation Vita.

Taka rozdzielczość jest odpowiednia dla urządzeń przenośnych (stad przymiotnik „mobilna” w tytule), stanowi kompromis między



rozmiarem ekranu, a jakością obrazu. Jednak nie należy jej mylić z rozdzielczością QHD (*Quad HD* – poczwórne HD) lub inaczej 2K, która wynosi cztery razy HD 720, tzn. 2560×1440 pikseli.

Nie jest to najmniejsza rozdzielczość HD, jest jeszcze rozdzielczość nHD (*ninth of a Full HD* – jedna dziewiąta Full HD), równa 640×360 pikseli, używana np. w smartfonie 808 PureView firmy Nokia.



Sieć GSM „wstecz”

Zasięg sieci komórkowej drugiej generacji (2G) w Europie, w 1994 roku pokazano na rysunku. Jak widać, była obecna w niemal całej Europie Zachodniej, tj.: w Andorze, Belgii, Danii, Francji, Irlandii, Liechtensteinie, Luksemburgu, Niemczech, Portugalii, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii i we Włoszech, w prawie całej Skandynawii, tj. w Finlandii, Norwegii i Szwecji, oraz w Grecji. Jedynie Dania była w całości nią pokryta.

Początki sieci sięgają 1 lipca 1991 roku, kiedy premier Finlandii Harri Holkeri zadzwonił do burmistrza fińskiego miasta Tampere Kaarina Suonio. Łatwo zauważyć jak szybko się rozwinęła – 2,5 roku na tak znacznym obszarze. Dla porównania, w Polsce sieć GSM rozpoczęła działanie 16 września 1996 (czyli 5 lat później), za sprawą operatora Polska Telefonia Cyfrowa (w skrócie PTC), obecnie T-Mobile Polska (właściciel sieci Era GSM, od 2011 roku T-Mobile.pl) – pierwszego, który wyprzedził w tym względzie operatora Polkomtel (właściciela sieci Plus GSM) o 2 tygodnie! Jej budowa na kontynencie trwała do początku XXI wieku, w Polsce za datę końcową przyjmuje się lata 2002...2003, nie wliczając operatora P4 (właściciela sieci Play), który pojawił się później (gdy sieć już istniała).

Jakby nie patrzeć, nasz kraj trafił na odpowiedni czas po upadku komunizmu – przynajmniej telefonem komórkowym mogliśmy dołączyć „na równych zasadach” do reszty świata i to bez znacznego opóźnienia.

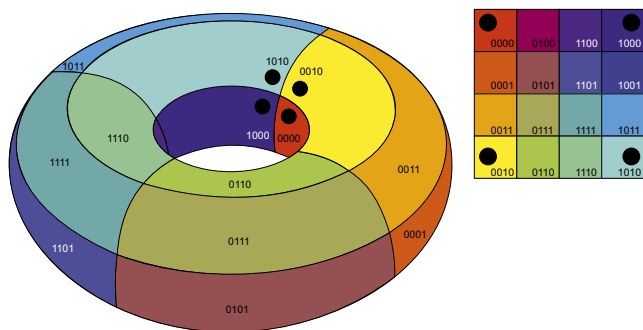
Źródło: <https://bit.ly/2LkAeEF>



Dyspozytornia pogotowia ratunkowego czasów PRL-u

Na fotografii została pokazana dyspozytornia z czasów schyłkowego PRL-u (rządy gen. Jaruzelskiego). Jak widać, jest skromna: dwa telefony stacjonarne z tarczą, radiostacja i papierowa księga do odnotowywania zgłoszonych przypadków. Miejsce przeznaczone tylko dla jednej osoby! Słowem „bieda” i to wspierana „krajowymi” (awaryjnymi) wyrobami niskiej jakości.

W tamtym kryzysowym czasie, nie było nowoczesnego, zagranicznego sprzętu. Dyspozytornia bardziej przypomina amatorską radiostację krótkofalarską, którą obecnie każdy sobie może sprawić i to znacznie lepszą. Gdy się nie ma takich możliwości, a PRL takich nie dawał, wtedy zostają rozwiązania najprostsze, choć nie najlepsze. Zdjęcie wykonano w 1988 roku w Sierpcu (ówczesne województwo płockie, a obecnie województwo mazowieckie). Niech będzie lekcją, jak „zacofany” był komunizm.



Siatka Karnaugh w innym ujęciu niż zwykle

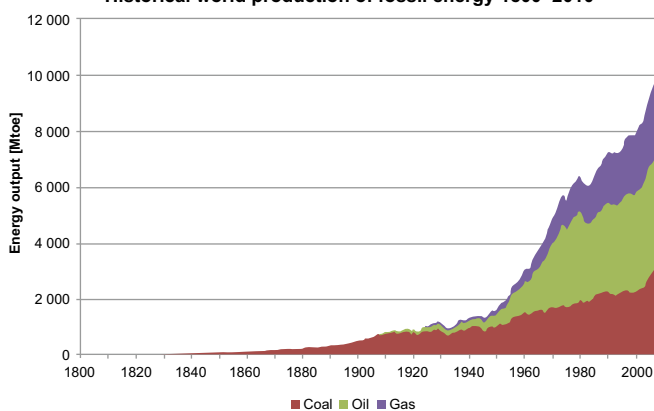
Czy wiecie, że to niezastąpione w minimalizacji form boolowskich, opisujących działanie układów cyfrowych narzędzie, można pokazać jako figurę geometryczną? Spójrzcie na rysunek – chodzi o torus czyli pierścień w kształcie pączka z dziurką. Po co go używać? Aby łatwiej grupować sąsiednie termy na lewym i prawym brzegu siatki, wliczając jej rogi. Trudno jest to robić na siatce, zwłaszcza gdy jest się początkującym elektronikiem (to zresztą częsty problem, który wielu zniechęca). To fantastyczna „pomoc dydaktyczna”, która pozwala tę siatkę lepiej zrozumieć.

źródło: <https://bit.ly/2SV2Qsl>

Paliwa kopalniane, a energia elektryczna

Znaczna część prądu elektrycznego jest wytwarzana z paliw kopalnianych. Na wykresie pokazano udział węgla kamiennego (na czerwono), ropy naftowej (na zielono) oraz gazu ziemnego (na fioletowo). Oś

Historical world production of fossil energy 1800–2010



pionowa to wartość opała paliw wyrażona w tonach oleju ekwiwalentnego (Mtoe – Megatons oil equivalent) – jedna wynosi 11,63 MWh (megawatogodzin) lub 41,868 GJ (gigadżuli).

Okazuje się, że to nie pierwszy surowiec dominuje ale ten drugi – ropa naftowa, i to od lat. Skoro ropy potrzeba tak dużo, a nawet więcej z każdym rokiem, staje się częstym powodem konfliktów na świecie.

Źródło: <https://bit.ly/3fAyy7X>

Długość fali radiowej

Przeprowadźmy jej szybkie rachunki na przykładzie Programu I Polskiego Radia emitowanego na falach długich na częstotliwości 225 kHz (rysunek). To nic nowego, ale warto ćwiczyć sprawność w tego rodzaju obliczeniach po to, aby wykonywać je z „automatu”. To dobre zajęcie na czasy pandemii, ale na początek proponujemy zajrzeć na stronę: <https://bit.ly/2Lk3nQw>.

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$v = 300000 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$f = 225 \text{ kHz} = 2,25 \cdot 10^5 \text{ Hz}$$

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2,25 \cdot 10^5 \text{ Hz}} = 1333 \text{ m}$$

Czy tego wcześniej nie było?

Komputery osobiste pojawiły się w latach osiemdziesiątych XX wieku i już w tamtym czasie były osoby, które negowały ten wynalazek, mimo jego faktycznej namacalności.



Jedną z nich był pewien szwedzki dziennikarz (fotografia), który w 1984 roku stwierdził, że nie potrafi sobie wyobrazić, by „pecet” służył do czegoś więcej niż do obliczeń (nagranie z jego udziałem jest dostępne pod adresem: <https://bit.ly/35Q9x4i>).

Pomimo upływu lat ludzkie zachowania się nie zmieniają. Około 30..40 lat temu były komputery osobiste, jeszcze wcześniej (ponad 100 lat temu) elektryczność, a dzisiaj telefonia piątej generacji (5G). Człowiek unika gwałtownych, rewolucyjnych zmian, które całkowicie wywracają do góry nogami jego życie. Na szczęście młodsze pokolenia zazwyczaj „wychowują” się z nowymi technologiami i są do nich przyzwyczajone. Zatem pozostaje tylko cierpliwie poczekać. Za kilka lat nikt nie będzie pamiętał o „szkodliwości” 5G, tak jak teraz nikt nie upiera się, że komputer to tylko „liczydło”.

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.

Retro zegar elektroniczny z germanowymi elementami półprzewodnikowymi

Prezentowany projekt to wersja „neovintage” projektu #YetAnother(Discrete)Clock zawierająca w jak największym stopniu oryginalne, bardzo stare części elektroniczne. Autor projektu, Yann Guidon, dołożył starań, aby zbudować swoją konstrukcję z naprawdę niespotykanych elementów retro, takich jak germanowe diody i tranzystory.

„Wyobraź sobie, że jesteś na początku XX wieku, z ówczesną technologią, ale z całą dzisiejszą wiedzą na temat elektroniki. Co byś zrobił?”, pyta w opisie konstrukcji na portalu Hackaday.io autor konstrukcji. Narzuca kilka wstępnych założeń projektowi:

- Rezystory i kondensatory są dobrze znane i w tamtych czasach wytwarzane już w pełni przemysłowo;
- Piezoelektryczność była badana przez Pierre'a i Jacques'a Curie w latach 80. XIX wieku. W latach 20. XX wieku pierwsze oscylatory zostały zaprojektowane przez Pierca, a w 1927 roku pierwszy zegar synchronizowany kwarcem został zbudowany przez Warrena Marrisona i J.W. Hortona w Bell Labs;
- Diody ostrzowe również były znane na początku XX wieku;
- Elektroluminescencja została zaobserwowana po raz pierwszy w diodzie ostrzowej w 1907 roku. Rzeczywista produkcja diod LED rozpoczęła się w latach 60. XX wieku;
- Tranzystor bipolarny został zbudowany w 1947 roku (mniej więcej jednocześnie w Bell Labs i we Francji).

Powiedzmy, że jesteśmy w latach 50. XX wieku i otrzymaliśmy pewne fundusze na projekt elektroniczny. Wykonanie zegara półprzewodnikowego byłoby całkiem logicznym pomysłem, szczególnie że bramki logiczne są odporne na wady pierwszych tranzystorów, takie jak wysoki upływ, niskie wzmocnienie i duży rozrzut parametrów elementów fabrycznych. Wczesne komputery, produkowane z elementów dyskretnych, w istocie budowane były z tranzystorów niskiej jakości.

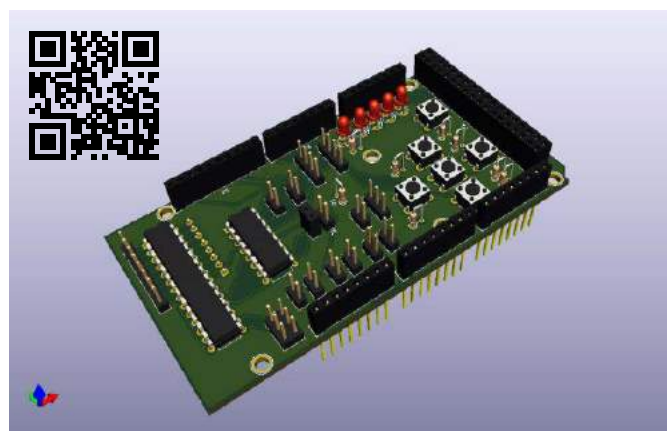
Pobór prądu takiego zegara jest wyższy niż wersji wykonanej z tranzystorów MOSFET, ale nadal to mniej niż moc pochłaniana przez typowe lampy próżniowe. Autor ustanowił sobie dodatkowo pewne ograniczenia projektowe:



- Stare/zabytkowe części wszędzie tam, gdzie jest to możliwe;
- Zasilanie 4,5 V z baterii alkalicznych (więc zużycie energii powinno być utrzymywane na niskim poziomie, a napięcie zasilania powinno zawierać się między 4 a 5 V).
- Tranzystory germanowe PNP jako główny rodzaj zastosowanych elementów, chociaż w niektórych miejscach użycie NPN jest naprawdę wymagane.
- Oscylator kwarcowy niskiej częstotliwości jako dyskretny źródło zegara.

Układ zestawiono ze zbudowanych z dyskretnych elementów liczników Johnsona, na bazie prostych przerzutników. Bezpośrednio sterują one diodami LED, co wymagało adaptacji typowych rozwiązań, gdyż nie ma dostępnych konwerterów cyfrowych na wyświetlacze siedmiosegmentowe, które byłyby odpowiednio retro. Źródłem sygnału taktującego jest rezonator kwarcowy 18 kHz w szklanej rurce próżniowej. Inne, wolniejsze, też są brane pod uwagę, w zależności od dostępności.

<https://bit.ly/2LYFM8l>



Artichoke LettuceLab – shield do Arduino ułatwiający konstrukcję robotów

Artichoke LettuceLab to moduł (shield) dla płytek w formacie Arduino, który przeznaczony jest do konstrukcji małych robotów. Moduł ten ma, w założeniu, ułatwić i przyspieszyć budowę niewielkich konstrukcji. Został wyposażony w sterownik zdolny napędzać dwa silniki (lub jeden silnik krokowy). Ma miejsce na wyświetlacz LCD sterowany poprzez interfejs I²C oraz możliwość podłączenia szerokiego spektrum elementów wejścia i wyjścia:

- ultradźwiękowy czujnik odległości,
- fotorezystor,
- sterowanie do 6 świateł (2× światła przednie, 2× kierunkowskazy i 2× światła tylne),
- sterowanie do pięciu dodatkowych diod LED,
- ekspander MCP23017, który pozwala dodać dodatkowych 16 linii GPIO.

Aby skonstruować robota, wystarczy tylko podłączyć opisany shield do Arduino i już mamy wszystkie elementy, potrzebne do sterowania prostym pojazdem. Projekt jest cały czas w fazie rozwojowej, więc warto monitorować jego postępy.

<https://bit.ly/2zhtd5n>

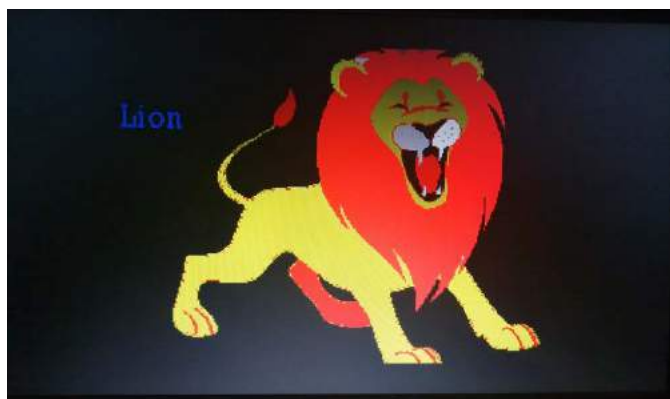


Konkurs Instructables na projekty oparte na Arduino

Portal Instructables, jak niemal co roku, zorganizował konkurs na projekty elektroniczne, zawierające moduły Arduino. W tegorocznym konkursie, który kończy się 22 czerwca 2020 roku, mogą wziąć udział dowolne projekty, które będą zrealizowane z użyciem elementów ekosystemu Arduino.

W momencie pisania artykułu na konkurs nadesłano 32 prace. Gdy będziecie czytać ten numer „Elektroniki Praktycznej”, konkurs może być już rozstrzygnięty. Warto zajrzeć na stronę portalu Instructables, aby sprawdzić, która konstrukcja najbardziej spodobała się jury. Nagrodą za pierwsze miejsce w konkursie jest warta 500 dolarów karta podarunkowa do Amazona. Drugie i trzecie miejsce nagrodzone ma być bonem o wartości, odpowiednio, 250 i 150 dolarów (przygotowano odpowiednio trzy i pięć takich nagród). Dodatkowo, sędziowie mogą przyznać nagrodę jury o wartości 250 dolarów wybitnemu, ich zdaniem, projektowi i dziesięć nagród po 50 dolarów innym wyróżniającym się projektom.

<https://bit.ly/3d0GVIn>



Lion CPU – 16-bitowy procesor zbudowany od podstaw w FPGA

Lion to nazwa procesora i komputera opracowanych przez Theodoulosa Liontakisa z Aten w Grecji. Jego procesor to kompletna, 16-bitowa jednostka stworzona w VHDL zupełnie od podstaw. Projekt rozpoczął się od chęci nauki języka VHDL i eksploracji układów programowalnych. A co jest lepsze do nauki tworzenia i konfiguracji układów logicznych niż stworzenie własnego procesora?

Po zaprojektowaniu samego procesora autor postanowił wokół niego zbudować kompletny komputer, podobny do domowych maszyn z wczesnych lat 80. XX wieku. Aby tego dokonać, niezbędny był własny kontroler wideo, moduł komunikacji UART, a także assembler na tę platformę. Następnym krokiem było przeniesienie kompilatora Tiny Basic, aby możliwe było łatwiejsze pisanie aplikacji.



Autor nie poprzestał na tych pierwszych krokach. Cały czas rozwija swoją konstrukcję. Po zrealizowaniu podstawowych założeń dodał obsługę SPI, karty SD (wraz z obsługą systemu plików FAT) oraz prostą kartę dźwiękową z trzema kanałami dźwięku i jednym do generowania szumu. Dodał również kolejny kompilator Javy (Java Grinder), który został przeportowany na platformę Lion. W Javie napisano prostą grę Astro dla komputera Lion.

Następnie została dodana możliwość wyświetlania grafiki, co było szczególnie przydatne w grach. Pozwala na wyświetlanie do 16 kolorów w rozdzielczości 320×200 pikseli. Obsługiwana jest również grafika wektorowa ze sprzętowym wsparciem do rysowania linii z 10-bitową rozdzielczością. Moduł grafiki wektorowej ma wbudowany 12-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy (DAC) oraz 4 kB własnej pamięci.

Obecna specyfikacja systemu:

- 16-bitowy procesor Lion taktowany zegarem 50 MHz,
- 8 kB pamięci ROM,
- 56 kB pamięci RAM,
- 32 kB pamięci video RAM,
- 4 kB pamięci RAM dla modułu grafiki wektorowej,
- 12 kB pamięci na sprity,
- 64 kB stronicowanej pamięci RAM (możliwość obsłużenia do 8 stron – 512 kB pamięci!)
- Wsparcie dla kart SD z systemem plików FAT i wolumentem do 30 MB,
- Dwa porty joysticka,
- Port szeregowy,
- VGA,
- Wejście PS/2 dla klawiatury.

Komputer ten jest cały czas rozwijany, więc warto dodać go do obserwowanych i sprawdzać co jakiś czas, o jakie kolejne funkcje rozbudowany został procesor i komputer Lion. Jeśli chcecie samodzielnie zbudować ten komputer, to projekt zoptymalizowano dla płytki Mi-STER z Cyclone V (5CEFA2F23I7).

<https://bit.ly/2XsMwkc>

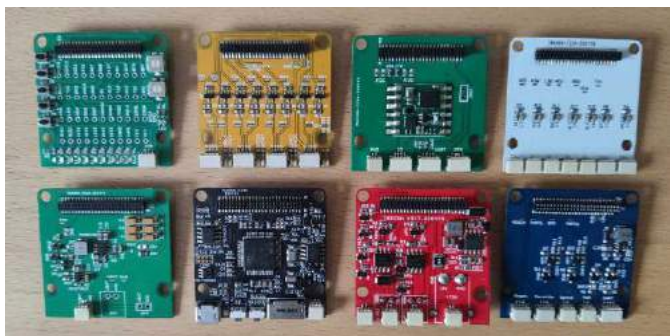
Moduł pyEC – kompatybilna z pyBoard płytka do rowerów elektrycznych

PyEC to uniwersalna płytka kompatybilna ze standardem narzuconym przez pyBoard, która może komunikować się z prawie wszystkimi elementami elektrycznego roweru. W rzeczywistości jest to bardziej moduł ogólnego przeznaczenia, zdolny do wykonywania całej gamy cyfrowych zadań elektronicznych.

Jeśli nie znasz pyBoard, jest to płytka oparta na mikrokontrolerach STM32, która jest oprogramowana jedną z wersji języka Python dla mikrokontrolerów, microPythonem.

W rowerze elektrycznym możesz podłączyć wszystkie przełączniki i wejścia do pyEC. Następnie wszystkie wyjścia mogą być podłączone do tego samego modułu. Na tym poziomie można dodać do układu





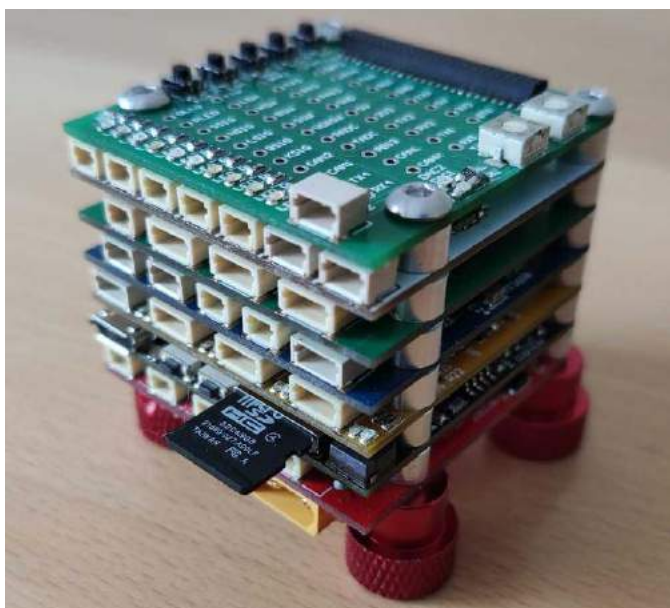
logikę – złożone sterowanie, wyświetlanie czy rejestrację danych na karcie SD. Urządzenie może działać jako system bezpieczeństwa wykrywający sabotaż (wykrywanie ruchu) lub może uzyskiwać informacje z kontrolera silnika i BMS (układ zarządzający akumulatorem). Pozwala zbudować wyświetlacz, komunikować się ze wszystkim w rowerze i stworzyć niestandardowe systemy sterowania opisane w microPythonie.

Ideą pyEC jest to, że w systemie roweru istnieje wiele połączonych ze sobą warstw. Wszystko zoptymalizowane jest tak, aby zapewnić tylko potrzebną funkcjonalność i nic, czego nie potrzebujesz. Płyta główna lub „warstwa”, jak je nazwano w ramach projektu, to główna płytka, kompatybilna z pyBoard v1.1. Ma ona wiele możliwości, zapakowanych w niewielki moduł o wymiarach 40×40 mm. Ma 50-pinowe złącze do komunikacji między warstwami, interfejs CAN, wzmacniacz operacyjny, buzzer, diody LED, gniazdo karty SD, przełączniki dla użytkownika i do resetowania oraz oczywiście wyjście USB do debugowania i ładowania nowych programów.

Większość połączeń i funkcjonalności została przeniesiona na inne warstwy. Warstwa kontrolna robi dokładnie to, na co wskazuje nazwa – kontroluje wszystkie inne warstwy z poziomu wbudowanego mikrokontrolera. Sama z siebie, bez dodatkowych warstw, może po prostu mrugać i wydawać dźwięki.

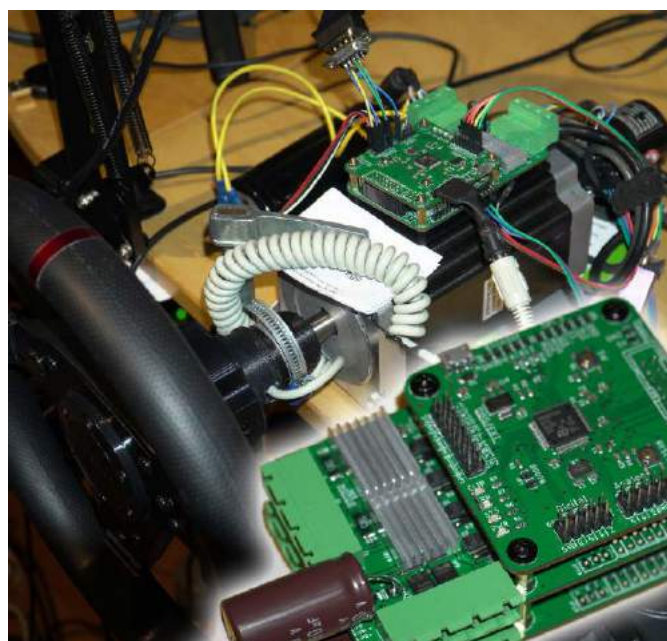
W ramach projektu zaplanowano następujące warstwy:

- Warstwa kontrolna – płytka kompatybilna z pyBoard v1.1 z USB, kartą SD, buzzerem, przełącznikami dla użytkownika i do resetowania oraz z diodą LED RGB.
- Warstwa szeregową – ma 4 porty szeregowy wraz z diodami LED RX/TX do łatwego debugowania. Ma też konwertery poziomów 3,3/5 V.
- Warstwa wejść – oferuje 5 wejść cyfrowych i 2 wejścia analogowe, wszystko z opcjonalnymi dzielnikami napięcia do skalowania wejść.



- Warstwa zasilania (moduł zasilania) – wejście 12 V, wyjście 5 V, 2 wyjścia dużej mocy i 3 wyjścia sterowane cyfrowo o niskiej mocy.
- Warstwa 'Kelly' – przetwornica podwyższająca napięcie do 24 V, wyjścia DAC, wyjścia cyfrowe i UART. Zaprojektowany do sterowników silników Kelly KLS-S.
- Warstwa podtrzymania baterijnego – zapewnia ładowanie ogniwa litowo-polimerowego i oferuje stabilne wyjście 5 V z podtrzymaniem baterijnym.
- Warstwa IMU – jest to moduł inercyjny IM Motion, podłączony przez I²C lub port szeregowy. Zapewniono porty wejściowe dla GPS i bezpośredni dostęp do mikrokontrolera.
- Warstwa testowa – ma wszystkie piny z warstwy kontrolnej, a także przyciski i diody LED na pinach wejścia i wyjścia oraz potencjometry dołączone do ADC. Pozwala na łatwe prototypowanie i testowanie rozwiązań stworzonych w oparciu na ekosystemie pyEC.

<https://bit.ly/2WYjyti>



Open FFBoard – otwarta płytka do konstrukcji systemów force feedback

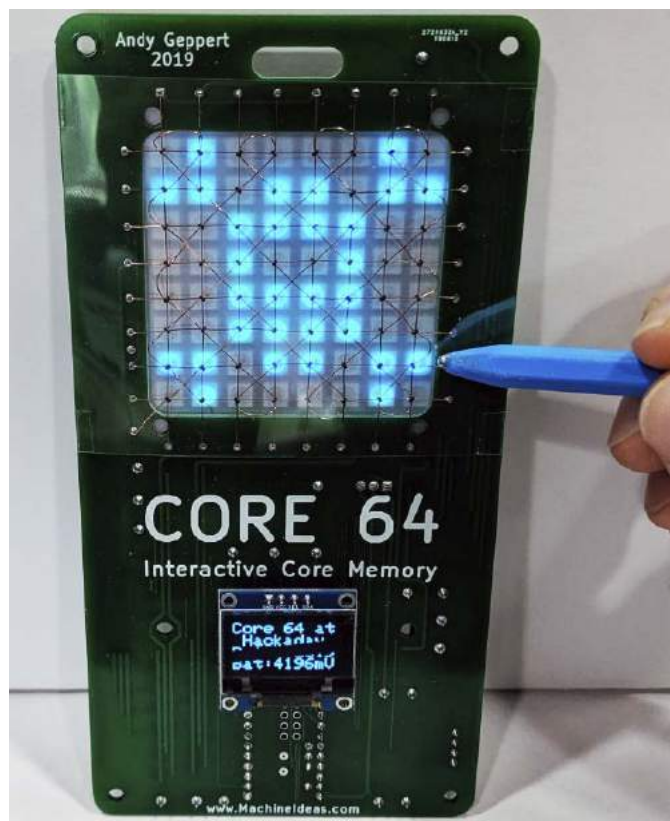
Celem tego projektu jest stworzenie prostego i niedrogiego interfejsu do systemów sprzężenia zwrotnego siły dla silników krokowych i serwomechanizmów. Moduł jest adresowany do hobbystów jako alternatywa dla drogich opcji komercyjnych. System pozwala na przykład, na samodzielne zbudowanie kierownicy do gier komputerowych, wyposażonej w sprzężenie mechaniczne – system force feedback – o wysokiej dokładności i responsywnej sile sprzężenia zwrotnego. Oczywiście, tylko wyobrażenia ogranicza zastosowania tego systemu.

Na rynku istnieje kilka komercyjnych kierownic z systemem force feedback niższej klasy zabawkowej i szereg wyższej klasy symulatorów. Są one bardzo drogie i często nie można ich modyfikować lub mają własny drogi ekosystem, ograniczający ich zastosowania tylko do niektórych gier. Sensowne jest zatem skupienie się na prostym interfejsie dla systemów sprzężenia zwrotnego siły.

Opisywany tu FFBoard to platforma w pełni open source, która oferuje wsparcie dla społeczności budującej samodzielnie kontrolery do gier komputerowych i nie tylko. Kontroler ten ma zapewnić modułową architekturę z wymiennymi sterownikami silnika oraz referencyjną płytką sterownika silnika, opartą na TMC4671. Stanowi interfejs USB HID do koderów, przycisków i pedałów. Jego oprogramowanie można modyfikować dla różnych sterowników silników i wyjść sterujących.

<https://bit.ly/2LXIItqA>





Core 64 – interaktywny wyświetlacz wykorzystujący pamięć ferrytową

Niektórzy z nas może pamiętają takie zabawki – panele, po których rysowało się magnetycznym ołówkiem. Teraz możemy skonstruować podobne urządzenie, ale w wersji cyfrowej. W dodatku, korzystając z technologii, która była popularna na samym początku rozwoju komputerów – pamięć ferrytowa.

Raczej niewielu czytelników zastosowało pamięć ferrytową w swoich konstrukcjach. Opisany projekt umożliwia jej użycie, a także bezpośrednią interakcję za pomocą magnetycznego ołówka. W ten sposób można dowiedzieć się, w jaki sposób działa ten rodzaj pamięci. Diody LED pod spodem ożywiają rdzenie w zupełnie nowy sposób. Dzięki kompatybilności z Arduino można samodzielnie zaprojektować bardziej złożone interakcje rdzeni i świateł.

Jest to jeden z tych pomysłów, który wydaje się zbyt prosty, ale trzeba tak naprawdę zrealizować go samodzielnie, aby w pełni zrozumieć jego zalety. W oparciu na opiniach, jakie otrzymał autor konstrukcji, Andy Geppert, od osób, które skorzystały z prototypu, zdecydował się upublicznić i doszlifować projekt, by mógł zostać szerzej wykorzystany.

Prototyp urządzenia miał 32 rdzenie i pokazał, że system działa dokładnie tak, jak zaplanowano. Obecna wersja układu zawiera 64 rdzenie w układzie 8x8, stąd nazwa – Core 64. Umożliwia rysowanie w pamięci ferrytowej za pomocą prostego magnesu. W najprostszym trybie pracy pozwala rysować na „ekranie” w postaci matrycy LED RGB za pomocą rysika magnetycznego. Rysowanie bezpośrednio zmienia stan pamięci w poszczególnych rdzeniach, które działają jak statyczna pamięć RAM ekranu. W teorii to bardzo proste, ale samo w sobie jest bardzo fascynujące, szczególnie gdy zdamy sobie sprawę, że manualnie zapisujemy bity w pamięci RAM. Ten tryb wspiera zasadniczo tylko monochromatyczne wyświetlanie obrazu,

Drugi tryb działania umożliwia znacznie szerszy zakres interakcji. Rdzenie działają jak nakładka dotykowa na ekranie LED RGB, pełniąc tylko funkcję wejścia do układu, a pamięć RAM ekranu jest

zrealizowana w programie. Tak można zrealizować o wiele więcej funkcjonalności sterowania ekranem, na przykład możliwość rysowania po ekranie w kolorze. W ten sposób ekran zamienia się też w detektor strumienia magnetycznego, pozwalający na ograniczone obrazowanie np. pola wokół magnesu.

Dla osób, które nie są zaznajomione z fizycznymi podstawami działania pamięci ferrytowej, jest to doskonały sposób na ich poznanie. Polaryzacja każdego rdzenia opisana może być jako CW lub CCW (w kierunku ruchu wskazówek zegara bądź przeciwnie). Pamięć odczytywana jest elektrycznie – przez każdy koralik przechodzą trzy druciki. Dwa z nich służą do wyboru konkretnego koralika (kolumna, rząd), a trzeci do odczytu – pomiaru pola. Rysik magnetyczny nie zmienia biegunowości rdzenia w określonym kierunku. Zamiast tego hamuje dokonany już zapis w czasie odczytu poprzez utrzymywanie rdzenia w ustalonej polaryzacji, tak aby drucik czujnikowy nie widział efektu zmiany polaryzacji, gdy rdzeń jest zapisywany. Wynika z tego, że siła pola magnetycznego w drucikach nie jest wystarczająca, aby przemóc pole magnesu rysika. Układ działa bardzo dobrze w tym trybie pracy, ale wymaga ciągłego skanowania matrycy, aby zobaczyć miejsce przyłożenia rysika.

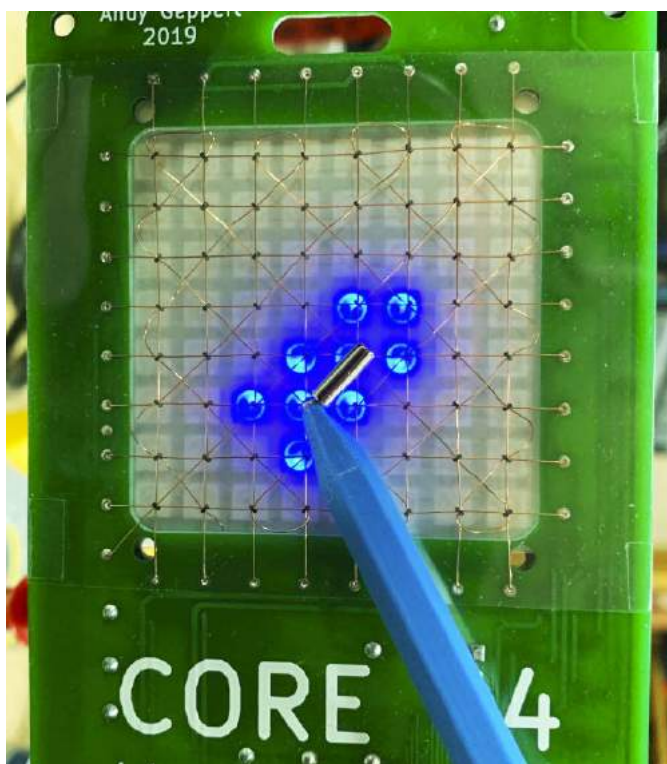
Zastosowanie mikrokontrolera w systemie jest świadomą decyzją, która zwiększa elastyczność sterowania diodami LED i możliwości oferowane przez pamięć ferrytową. Dzięki temu można opracować własne algorytmy sterowania i mieć pełną kontrolę nad każdym drutem w matrycy rdzenia, aby w pełni wiedzieć, co się dzieje.

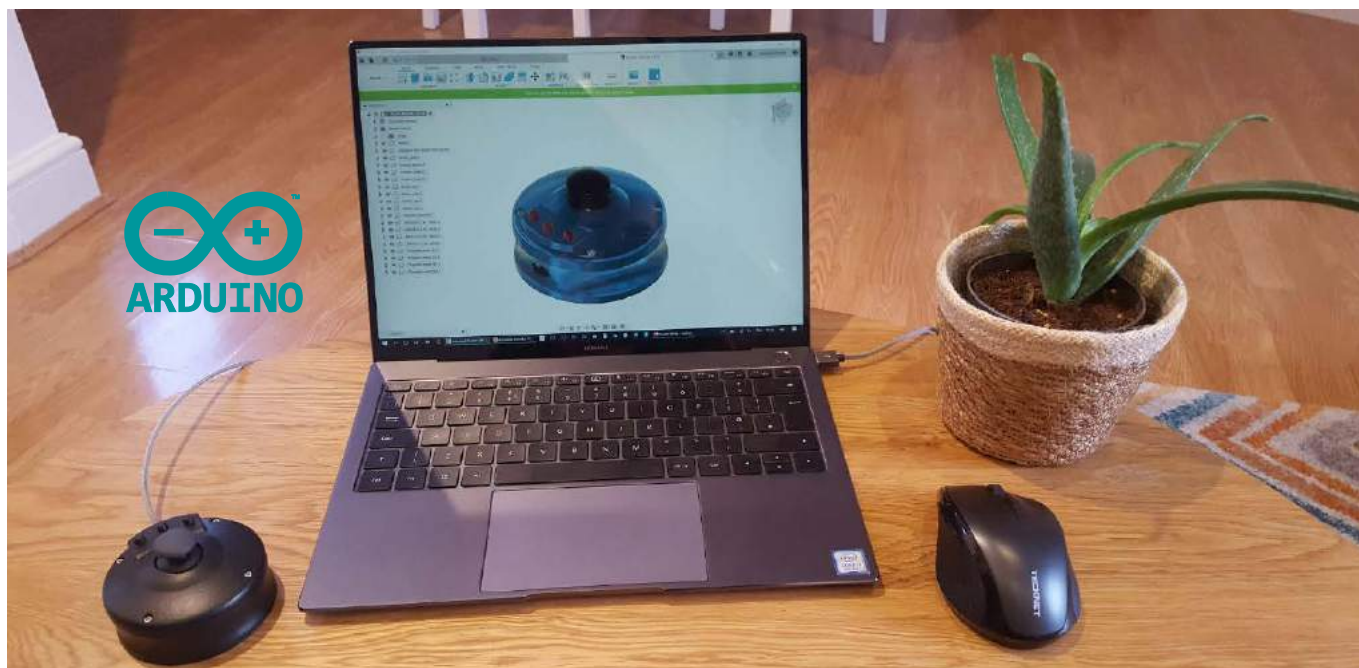
Autor zamierza rozszerzyć układ o szereg dodatkowych sensorów, które także mogą być sterowane przez magnetyczny rysik. Są to halltrony, które będą działać jako przyciski skrótów, przypisywane przez użytkownika, oraz kontaktrony, które również zostaną wykorzystane jako dodatkowe przyciski.

Kolejnym dodatkiem do systemu jest powiększenie zdolności komunikacyjnych. Z jednej strony autor chciałby dodać możliwość komunikacji bliskiego pola (NFMI), a z drugiej fizyczne złącze w standardzie SAO (1°C, 3,3 V i dwie linie GPIO) m.in. dla wyświetlaczy OLED czy elektronicznych kompasów. Finalnie planuje także dodanie sprzężenia haptycznego za pomocą głośnika lub silnika wibracji, podobnego do instalowanych we współczesnych smartfonach.

<https://bit.ly/2X4bMyI>

<https://bit.ly/2X16OCn>





Kosmiczna myszka DIY

Wiele rodzajów specjalizowanego oprogramowania, zwłaszcza CAD (Computer Aided Design – projektowanie wspomagane komputerowo), CAM (Computer Aided Manufacturing – komputerowe wspomaganie wytwarzania) czy EDA (Electronic Design Automation – automatyzacja projektowania elektronicznego), może współpracować ze specjalnymi manipulatorami ułatwiającymi obsługę. Specjalne „myszki 3D” pozwalają np. manipulować wirtualnymi przedmiotami w przestrzeni projektu.

Duże pakiety narzędziowe do projektowania urządzeń mechanicznych i elektronicznych oraz inne programy wykorzystujące wirtualną przestrzeń 3D często mogą być obsługiwane za pomocą zwykłej myszki i klawiatury. Jednak znacznie wygodniejsze jest obsługiwanie tych programów za pomocą specjalnych urządzeń wejściowych, które są wyposażone w większą liczbę stopni swobody oraz przyciski do często używanych skrótów czy narzędzi. Na **fotografii 1** pokazano

urządzenie firmy 3Dconnexion – SpaceNavigator, który jest wyposażony w aż sześć stopni swobody ruchu manipulatora, co pozwala z łatwością nawigować w trójwymiarowym środowisku pracy.

Urządzenia takie znacznie przyspieszają i ułatwiają prace nad projektami 3D. Niestety, mają także wady. Jedną z nich jest wysoka cena. W poniższym artykule opiszemy, jak w relatywnie prosty sposób można wykonać taki manipulator usprawniający nawigację w środowisku 3D. Dzięki zastosowaniu łatwo dostępnych modułów i druku 3D stworzenie takiego manipulatora nie jest kosztowne, a dzięki wykorzystaniu platformy Arduino można go dostosować do współpracy z niemalże każdym pakietem 3D.

Na **rysunku 1** pokazano projekt urządzenia Space Mouse, opisanego w dalszej części artykułu. Urządzenie jest wyposażone w mechaniczny joystick, zapewniający trzy osie swobody, trzy dodatkowe programowalne przyciski oraz dodatkowy przycisk wyzwalany naciśnięciem joysticka. Opisany projekt został pomyślnie przetestowany przez jego autora w programach takich jak Fusion 360 czy Inventor firmy Autodesk. Jednak z łatwością można go dostosować do potrzeb innych programów, a nawet rozbudować o dodatkowe przyciski i inne wejścia, zgodnie z naszymi potrzebami.



Fotografia 1. Urządzenie wejściowe SpaceNavigator z sześcioma stopniami swobody (commons.wikimedia.org)



Rysunek 1. Projekt manipulatora DIY Space Mouse

Listing 1. Fragmenty szkicu programu Arduino dla myszki Space Mouse

```

#include <Mouse.h>
#include <Keyboard.h>
...
void setup(){
  // Ustawia piny analogowe jako wejścia
  pinMode(horzPin, INPUT);
  pinMode(vertPin, INPUT);
  // Ustawia pin przycisku joysticka jako wejście
  pinMode(selPin, INPUT);
  // Ustawia pin przycisku 1 jako wejście
  pinMode(b1Pin, INPUT);
  // Ustawia pin przycisku 2 jako wejście
  pinMode(b2Pin, INPUT);
  // Ustawia pin przycisku 3 jako wejście
  pinMode(b3Pin, INPUT);
  // Podciąganie przycisków do góry
  digitalWrite(selPin, HIGH);
  digitalWrite(b1Pin, HIGH);
  digitalWrite(b2Pin, HIGH);
  digitalWrite(b3Pin, HIGH);
  // Krótkie opóźnienie na ustabilizowanie się układu
  delay(1000);
  // Zebranie wartości bazowych joysticka
  vertZero = analogRead(vertPin); ka
  horzZero = analogRead(horzPin);
  // Inicjalizacja emulacji myszy
  Mouse.begin();
  // Inicjalizacja emulacji klawiatury
  Keyboard.begin();
}

void loop(){
  unsigned long currentMillis = millis();
  // Odczyt pozycji pionowej
  vertValue = analogRead(vertPin) - vertZero;
  // Odczyt pozycji poziomej
  horzValue = analogRead(horzPin) - horzZero;

  // Jeżeli naciśnięto przycisk 1
  if ((digitalRead(b1Pin) == 0) && (!b1flag)){
    b1flag = 1;
    used = 1;
    if (used != lastused){
      Keyboard.write(f8key);
    } else {
      Keyboard.write(f9key);
      used = 0;
    }
  } else if (digitalRead(b1Pin) && (b1flag)){
    b1flag = 0;
  }
  lastused = used;
  // Jeżeli naciśnięto przycisk 2
  ...
  // Jeżeli naciśnięto przycisk 3
  ...

  // Jeżeli naciśnięto przycisk joysticka
  if ((digitalRead(selPin) == 0) && (!mouseClickFlag)){
    presstime = currentMillis;
    registertime = 1;
    mouseClickFlag = 1;
    pressed = 1;
    mode = 1;
  } else if ((digitalRead(selPin)
    && (mouseClickFlag)
    && (registertime))){
    releasetime = currentMillis;
    registertime = 0;
    mouseClickFlag = 0;
    pressed = 0;
    mode = 0;

    // Sprawdza długość czasu naciśnięcia
    diff = (releasetime - presstime);
    // Wybór trybu w zależności od czasu naciśnięcia
    if(diff < interval){
      Keyboard.write(f6key);
    }
  }

  switch(mode){ // Wybór trybu
    case 0:
      // Powrót do bazowej orientacji myszy
      invertMouse = -1;
      // Pozycja 2, zamiast 0, redukuje fluktuacje pomiędzy odczytami
      if ( (vertValue > 2) || (vertValue < (-2)) ){
        Keyboard.press(f4key);
        Mouse.press(MOUSE_LEFT);
        // Ruch myszą w osi Y z wciśniętym F4
        Mouse.move(0, (invertMouse * (vertValue / sensitivity)), 0);
        moved=1;
      }
      if ( (horzValue > 2) || (horzValue < (-2)) ){
        Keyboard.press(f4key);
        Mouse.press(MOUSE_LEFT);
        // Ruch myszą w osi X z wciśniętym F4
        Mouse.move((invertMouse * (horzValue / sensitivity)), 0, 0);
        moved=1;
      }
      if ( (vertValue <= 2)
        &&(vertValue >= (-2))
        &&(horzValue <= 2)
        &&(horzValue >= (-2))){
        // Jeżeli joystick jest w bazowej pozycji,
        // puszczamy klawisze i naciskamy ESC, by powrócić
        Keyboard.releaseAll();
        Mouse.release(MOUSE_LEFT);
      }
    }
  }
}

```

Budowa manipulatora

Do budowy urządzenia potrzebne nam będą:

- Arduino Leonardo/Pro Micro (nic nie stoi na przeszkodzie, by przenieść kod na inną platformę z ekosystemu Arduino, jeśli potrzebujemy np. większej liczby wejść czy dodatkowych funkcji),
- moduł joysticka z dwoma osiami ruchu i przyciskiem,
- trzy przyciski np. typu microswitch,
- śruby M2,5×6 z łbem z gniazdem imbusowym,
- inserty gwintowane M2,5 do tworzyw sztucznych,
- śruby M1,5 i odpowiednie podkładki,
- kynar lub inny drobny przewód do połączenia ze sobą wszystkich elementów.

Potrzebny będzie również dostęp do lutownicy oraz do drukarki 3D.

Układ mechaniczny i obudowa

Konstrukcja mechaniczna manipulatora jest prosta. Obudowa składa się z dwóch części – podstawy, która mieści wszystkie elementy, i pokrywy, która zamyka konstrukcję. Dodatkowo potrzebne są drobne elementy wewnętrzne, ich kształt będzie zależał od wybranych do projektu przycisków.

Na **rysunku 2** pokazano wizualizację 3D drukowanych elementów. W procesie drukowania ustawiono rozdzielczość warstwy na 0,12 mm dla wszystkich części z wyjątkiem górnej pokrywy, której rozdzielczość druku wynosi 0,06 mm, aby uzyskać gładkie wykończenie bezpośrednio z drukarki. By proces był dokładniejszy, kosztem czasu trwania druku, nie należy przekraczać prędkości ruchu ekstrudera powyżej 40 mm/s. Pliki STL, potrzebne do druku elementów układu, dostępne są na stronie projektu (link znajduje się na końcu artykułu).

Montaż

Pierwszym krokiem w montażu jest instalacja modułu Arduino w podstawie. Podstawka ma miejsce przygotowane do umieszczenia goldpinów, co ułatwia zamontowanie modułu. Należy po prostu wepchnąć 4 lub więcej pinów do wydruku i umieścić płytkę na górze. Aby zamocować ją na stałe, można piny przylutować, jednak należy wykonać to szybko, aby nie roztopić wydruku 3D w tym miejscu.

Następnie należy podłączyć przyciski i moduł joysticka. Za pomocą cienkiego przewodu należy podłączyć przyciski szeregowo do wspólnej linii masy (GND) i doprowadzić trzy pojedyncze przewody do wejść cyfrowych Arduino o numerach 7, 8 i 9. Aby uniknąć zewnętrznych rezystorów, podciągnięcie tych wejść do linii zasilania zrealizowano wewnętrznie w mikrokontrolerze.

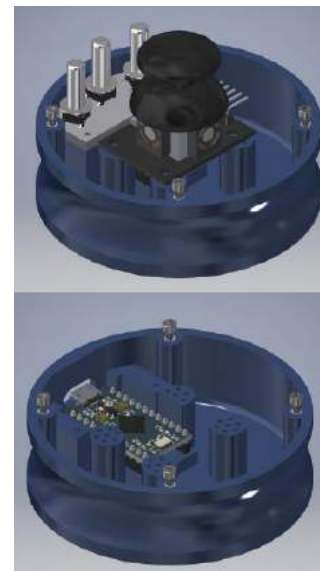
Płytkę przycisków wyposażoną jest w niewielkie otworki przeznaczone do ich montażu. Aby umieścić w nich microswitche,

Listing 1. cd.

```

        if(moved==1){
            Keyboard.write(esc);
            moved=0;
        }
    }
    break;
    case 1:
        // Mysz odwrócona do przybliżania
        invertMouse = 1;
        if ( (vertValue > 2) || (vertValue < (-2)) ){
            Keyboard.press(f3key);
            Mouse.press(MOUSE_LEFT);
            // Ruch myszą w osi Y z wciśniętym F3
            Mouse.move(0, (invertMouse * (vertValue / sensitivity)), 0);
            moved=1;
        }
        if ( (vertValue <= 2)
            &&(vertValue >= (-2))
            &&(horzValue <= 2)
            &&(horzValue >= (-2))) {
            Keyboard.releaseAll();
            Mouse.release(MOUSE_LEFT);
            if(moved==1){
                Keyboard.write(esc);
                moved=0;
            }
        }
    }
    break;
}
// Opóźnienie, które reguluje czas pomiędzy komunikatami do komputera, by system
// działał wolniej
delay(10);
}

```



Rysunek 2. Wizualizacja 3D zmontowanych elementów Space Mouse

wystarczy delikatnie rozgrzać ich piny i na ciepło wepchnąć w podstawkę. Dzięki temu tworzywo zmieknie i przyciski zostaną na trwałe zatopione w płytce. Gdy przyciski będą gotowe, należy umieścić cały moduł w podstawie i zamocować go za pomocą dwóch śrub 1,5 mm.

Teraz możemy podłączyć moduł joysticka do Arduino (VCC do VCC, GND do GND, X do A0, Y do A1 i przycisk do wejścia cyfrowego 10). Następnie joystick można umocować w podstawie za pomocą śrub 1,5 mm i małych podkładek. Podstawka została zaprojektowana z wieloma otworami do montażu modułu joysticka, aby możliwe było zastosowanie różnych modułów, dostępnych na rynku. Nie różnią się one od siebie elektrycznie, ale często mają różne rozstawy otworów montażowych.

Ostatnim krokiem jest osadzenie w podstawce gwintowanych insertów, które posłużą do przykręcenia pokrywy. Elementy te należy wepchnąć na swoje miejsce za pomocą gorącej lutownicy – ciepłe inserty roztopią lokalnie tworzywo podstawy i gładko wsuną się na miejsce. Po zastąpieniu plastiku całość będzie sztywna i wytrzymała. Po osadzeniu insertów można założyć pokrywę i przykręcić ją czterema śrubami M2,5×6. Obudowę można pomalować farbą, jeśli nie podoba nam się wygląd surowego wydruku. Na **rysunku 3** pokazano zdjęcia z poszczególnych etapów montażu.

Oprogramowanie

Space Mouse działa jako emulator myszy i klawiatury, podłączonych do komputera przez USB. W ten sposób wysyła do komputera komendy, takie jak skróty klawiszowe. Oprogramowanie układowe myszki może wymagać dostosowania do wymagań używanych przez nas narzędzi.

Pokazany na **listingu 1** fragment programu definiuje w bardzo rozbudowany sposób poszczególne parametry i funkcje przycisków. Dzięki temu z łatwością można go dostosować do swoich potrzeb, np. zmieniając funkcje (i wysyłane skróty klawiszowe) poszczególnych elementów urządzenia.

W pakietach mechanicznych firmy Autodesk program z listingu 1 realizuje następujące funkcje

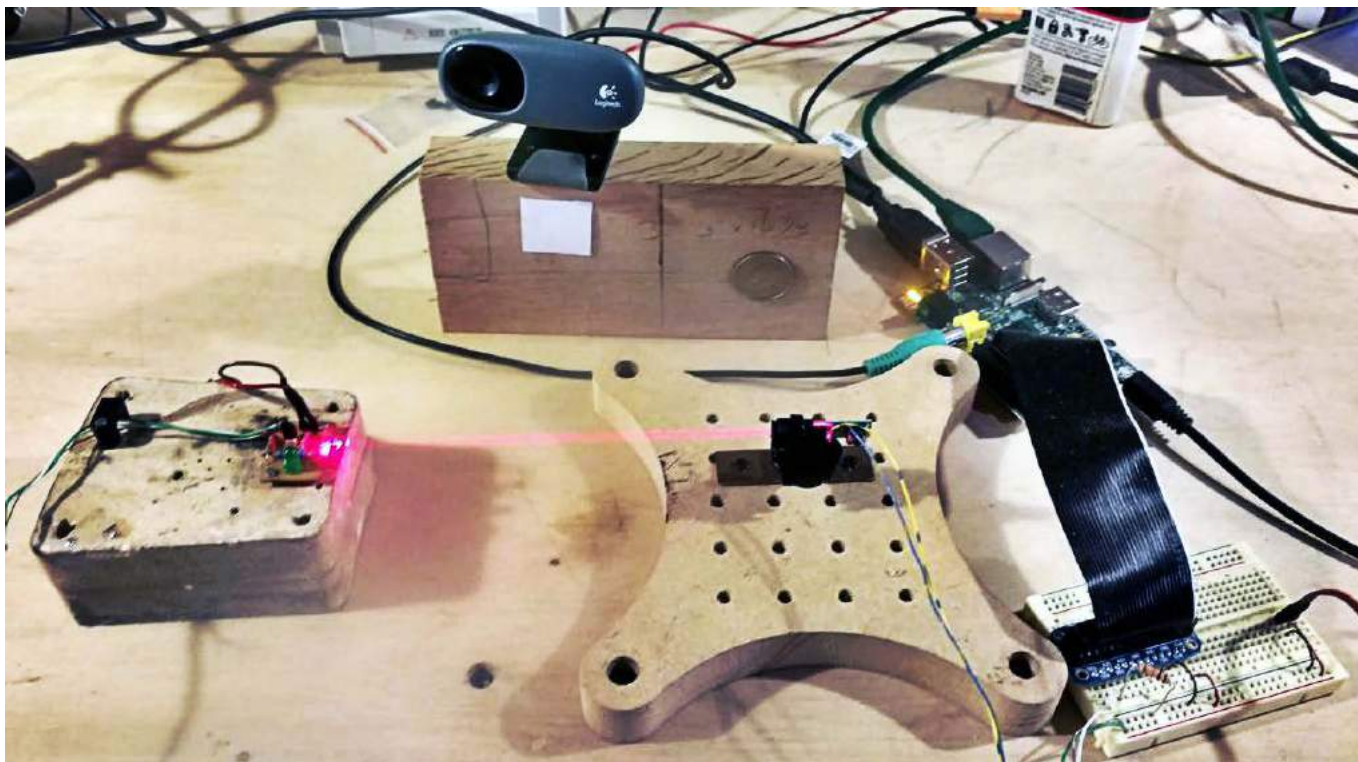
- ruch joysticka = obracanie kamery,
- szybkie naciśnięcie joysticka = powrót do bazowej pozycji kamery,
- naciśnięcie i ruch joysticka = przybliżanie kamery,
- przycisk 1 = włączenie przekroju,
- przycisk 2 = pokazanie/schowanie więzów,
- przycisk 3 = kasowanie.

Nikodem Czechowski, EP

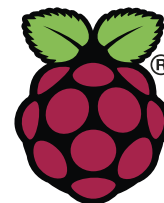
Źródło: <https://bit.ly/2A0YqcV>



Rysunek 3. Poszczególne etapy montażu myszki



Laserowy system zabezpieczeń na Raspberry Pi



Istnieje wiele sensorów, przeznaczonych do detekcji wtargnięcia w systemach alarmowych, jednym z nich są bariery optyczne. W artykule zaprezentowano barierę laserową, wyposażoną w komputer jednopłytkowy Raspberry Pi, która zaalarmuje użytkownika poprzez e-mail oraz udostępni strumień wideo z nadzorowanego miejsca.

Projekt składa się z trzech osobnych podsystemów: komputera jednopłytkowego Raspberry Pi, laserowej bariery optycznej i komputera do zdalnej obsługi i monitorowania systemu. Celem projektu jest wykrywanie wtargnięcia intruza na chroniony teren, a następnie zaalarmowanie obserwującego system użytkownika oraz udostępnienie podglądu nadzorowanego miejsca.

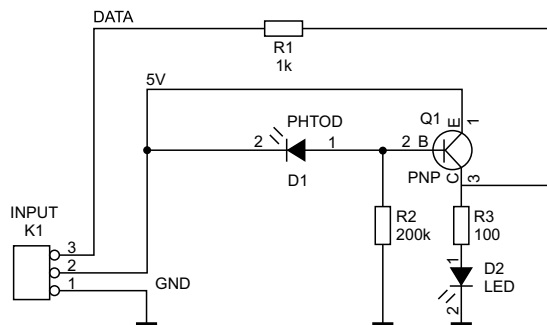
Bariery optyczne (laserowe i inne) doskonale sprawdzają się do monitorowania nawet dużego terenu, gdyż nie wymagają skomplikowanej instalacji – wymagane są tylko dwa punkty, które nawet nie muszą być połączone ze sobą elektrycznie. Taki system może się sprawdzić np. jako detektor monitorujący teren zielony, ogród czy podwórze.

Aby zrealizować projekt, nie trzeba mieć ogromnej wiedzy elektronicznej, konieczna jest znajomość podstaw elektroniki i posługiwania się lutownicą. Wartościowa będzie natomiast umiejętność z zakresu programowania w Pythonie, w szczególności na Raspberry Pi i obsługa tego komputera jednopłytkowego z poziomu terminalu.

Potrzebne komponenty

Aby zbudować opisane poniżej urządzenie, potrzebne są następujące elementy:

- Co najmniej jeden działający komputer jednopłytkowy Raspberry Pi. Autor projektu użył pierwszego modelu w wersji B z zainstalowanym Raspbianem Wheezy. Projekt będzie działał również dobrze z innymi wersjami Raspbiana;
 - Zewnętrzne źródło zasilania dla Raspberry Pi. Układ może pobierać dosyć duży prąd podczas pracy, w związku z czym potrzebny jest zasilacz o odpowiedniej mocy. Zbyt niska moc zasilacza może powodować ciężkie do debugowania problemy z Raspberry Pi;
 - Wskaźnik lub dioda laserowa. Nie ma wielkich wymagań co do lasera, wystarczy tutaj prosty i tani czerwony wskaźnik laserowy. Interesuje nas taki, którego długość emitowanej fali wynosi w przybliżeniu 630...680 nm;
 - Kamera na USB. Dowolna kamerka współpracująca z Raspberry Pi będzie odpowiednia. Warto wybrać taką, która będzie łatwa w montażu i integracji z systemem.
- Dodatkowo potrzebne będą:
- płytki uniwersalna lub płytka stykowa, na której wykonamy układy,
 - dioda LED,
 - oporniki o rezystancji 100 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω i zawierający się w zakresie od 200 do 1000 k Ω ,
 - tranzystor 2N4403 lub zamiennik,



Rysunek 1. Schemat sensora promienia lasera

- fotodiody odpowiednia do pasma pracy lasera, na przykład PDB-C142-ND.

Układ można również zmontować na odpowiedniej płycie drukowanej (pliki projektowe dostępne są na stronie z projektem), ale z uwagi na prostotę układu nie jest to konieczne.

Oprócz powyższych materiałów przydadzą się także pewne narzędzia (fizyczne i programistyczne):

- Hub USB, jeśli chcemy do Raspberry Pi podłączyć większą liczbę urządzeń (np. kamer lub kamerę, klawiaturę i mysz);
- Multimetr lub oscyloskop (najlepiej oba);
- Synergy (<https://bit.ly/3dq8hYK>) zainstalowane na Raspberry Pi, które pozwala kontrolować mysz i klawiaturę Raspberry Pi za pomocą innego, zdalnego komputera. Oprogramowanie to sporo upraszcza jeżeli chodzi o obsługę komputera, zwłaszcza jeżeli preferujemy zdalną konfigurację lub po prostu nie przepadamy za pracą bezpośrednio na Raspberry Pi;
- MobaXterm (<https://bit.ly/3dq7abe>), również zainstalowane na Raspberry Pi – pozwoli na zdalne sterowanie komputerem i manipulowanie plikami poprzez SSH.

Uruchomienie Raspberry Pi

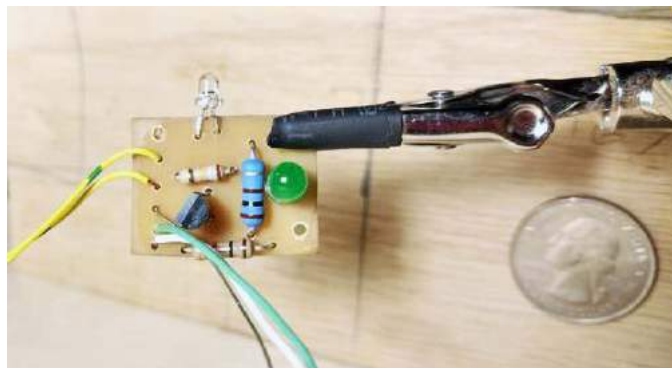
Zanim rozpoczniemy testy z laserem, trzeba przebić się przez kilka warstw oprogramowania. Dobrą praktyką jest zacząć od czystego systemu operacyjnego, zatem zainstaluj na karcie nowy obraz systemu operacyjnego.

Nawet jeśli nie jest możliwe zainstalowanie systemu operacyjnego od nowa, należy upewnić się, że Raspbian, jaki mamy na pokładzie komputera jednopłytkowego, jest w najnowszej wersji. Aby zaktualizować system i zainstalowane pakiety w terminalu, należy wpisać:

```
sudo apt-get update
```

Laserowy system detekcji

Przystępujemy do montażu detektora promienia laserowego. Układ można zmontować na płycie uniwersalnej lub płycie stykowej. Na **rysunku 1** pokazano schemat detektora. Jest on zasilany napięciem 5 V, które może być pobierane z zewnętrznego zasilacza lub bezpośrednio z pinów złącza GPIO Raspberry Pi. Zastosowano fotodiody jako przełącznik do wyzwolenia tranzystora. Tranzystor wzmacnia niewielką



Fotografia 1. Zdjęcie zmontowanego sensora promienia lasera



Fotografia 2. Dolutowana zwora, zastępująca przycisk chwilowy w module lasera

zmianę napięcia na fotodiodzie na sygnał cyfrowy, który Raspberry Pi może odczytać poprzez pin GPIO.

Komputer jednopłytkowy pobiera sygnał z punktu pomiędzy rezystorem 100 Ω a diodą LED, sygnalizującą stan układu. Na **fotografii 1** pokazano zmontowany sensor.

Modyfikacja lasera do zasilania zewnętrznego

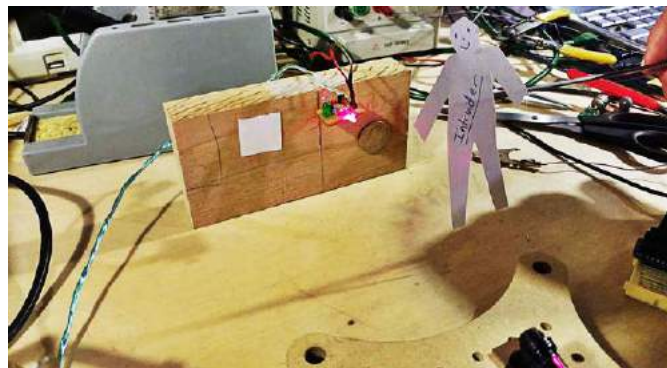
Kolejnym krokiem jest zbudowanie źródła światła dla bariery laserowej. Zastosujemy tutaj komercyjny wskaźnik laserowy. Konieczne są jednak pewne modyfikacje tego urządzenia, by możliwe było zasilanie z zewnętrznego zasilacza. Należy wykonać następujące czynności:

1. Rozbierz wskaźnik, wyjmując moduł laserowy (wraz z optyką) z obudowy urządzenia. Robiąc to, należy zwrócić uwagę na ustawienie zacisków akumulatora względem elektroniki lasera.
2. Odlutuj sprężynę, łączącą akumulator i przycisk chwilowy wskaźnika.
3. Pomiędzy punktami, gdzie znajdował się przycisk, wlotuj przewód. W ten sposób, gdy zasilanie lasera zostanie włączone, automatycznie się on załączy (**fotografia 2**).
4. Przylutuj przewody do dodatniego i ujemnego bieguna zasilania modułu laserowego. Zależnie od konstrukcji lasera punkty te mogą być w różnych miejscach, dlatego też należy dokładnie prześledzić ścieżki zasilania i zdobyć się na odrobinę inżynierii wstecznej. Po poprawnym podłączeniu zasilania laser powinien od razu zaświecić.
5. Ostatnim krokiem jest umieszczenie lasera na słupku montażowym, co pozwoli z łatwością pozycjonować go w gotowym systemie, by wycelować w odbiornik.
6. Finalnie dobrze jest zabezpieczyć elektronikę lasera np. klejem na ciepło i odpowiednią obudową.

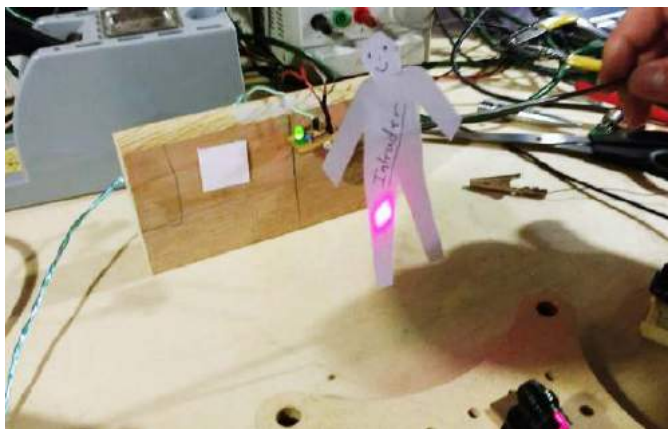
Testowanie systemu

Możemy teraz przetestować barierę laserową. W pierwszej kolejności należy podłączyć laser do zasilania (5 V) np. na płytce stykowej, którą dołączymy do Raspberry Pi lub zasilacza USB. Laser, po podaniu zasilania, powinien od razu zacząć emitować. Jeśli nie, sprawdźmy wykonane wcześniej połączenia i poprawmy ewentualne błędy.

Teraz możemy przetestować obwód detekcji. Skierujmy laser na fotodiody, jak pokazano na **fotografii 3**. Dioda LED powinna zgasnąć,



Fotografia 3. Testowo zestawiona bariera laserowa



Fotografia 4. Test bariery laserowej – laser zastąpiony

sygnalizując, że wiązka jest aktywna. W momencie, gdy przesłoniemy wiązkę laserową, jak na **fotografii 4**, dioda LED na module detektora powinna ponownie się zapalić.

Podłączenie kamery internetowej do Raspberry Pi

Po uruchomieniu optycznej zapory laserowej możemy podłączyć do Raspberry Pi kamerę na USB, która będzie uruchamiana sygnałem z bariery laserowej. Rozpoczynamy od podłączenia kamery do portu USB. System powinien automatycznie wykryć i zainstalować kamerę wraz z niezbędnymi sterownikami. My musimy tylko doinstalować narzędzie MJPG-Streamer, które służy do strumieniowego przesyłania wideo. W tym celu musimy pobrać kod źródłowy i zbudować całą aplikację, postępując zgodnie z dalszym opisem.

W pierwszej kolejności musimy pobrać i zainstalować zależności, które wymagane będą podczas kompilacji i działania MJPG-streamera. W tym celu w terminalu wpisujemy:

```
sudo apt-get install libjpeg8-dev imagemagick
libv4l-dev
```

Następnie musimy dodać brakujący plik *videodev.h*. Dostępny jest on w systemie pod zmienioną nazwą (*videodev2.h*), więc aby usatysfakcjonować budowany pakiet, wystarczy stworzyć dowiązanie symboliczne:

```
sudo ln -s /usr/include/linux/videodev2.h /usr/
include/linux/videodev.h
```

Finalnie możemy pobrać kody źródłowe. Możemy to zrobić, pobierając bezpośrednio spakowaną paczkę z kodem:

```
cd ~
wget http://sourceforge.net/code-snapshots/svn/m/mj/
mjpg-streamer/code/mjpg-streamer-code-182.zip
```

Paczkę można pobrać też m.in. przez przeglądarkę spod linku <https://bit.ly/36dyczM>. Następnie należy ją rozpakować:

```
unzip mjpg-streamer-code-182.zip
cd mjpg-streamer-code-182/mjpg-streamer
```

Możemy także ściągnąć ją bezpośrednio z repozytorium SVN. W tym celu musimy zainstalować klienta Subversion, jeśli go jeszcze nie mamy:

```
sudo apt-get install subversion
```

I wtedy możemy pobrać aktualne kody źródłowe:

```
cd ~
```

```
svn co https://svn.code.sf.net/p/mjpg-streamer/code/
mjpg-streamer/ mjpg-streamer
cd mjpg-streamer
```

Niezależnie od wybranego sposobu mamy teraz kod źródłowy aplikacji, który możemy zbudować. W tym celu wpisujemy w terminalu (będąc w folderze z pobranym kodem):

```
make mjpg_streamer input_file.so output_http.so
```

Po zbudowaniu aplikacji możemy ją zainstalować. Poniższe komendy kopiują wszystkie potrzebne pliki do folderów systemowych:

```
sudo cp mjpg_streamer /usr/local/bin
sudo cp output_http.so input_file.so /usr/local/lib/
sudo cp -R www /usr/local/www
```

Teraz możemy sprawdzić, czy kamera i program do przesyłania strumienia wideo działają. W pierwszej kolejności uruchamiamy kamerę:

```
mkdir /tmp/stream
raspistill --nopreview -w 640 -h 480 -q 5 -o /tmp/
stream/pic.jpg -tl 100 -t 9999999 -th 0:0:0 &
```

A następnie MJPG-Streamer – kamera już zapisuje obrazy, więc wystarczy uruchomić strumień wideo:

```
LD_LIBRARY_PATH=/usr/local/lib mjpg_streamer -i „in-
put_file.so -f /tmp/stream -n pic.jpg” -o „output_
http.so -w /usr/local/www”
```

Aby obejrzeć strumień wideo, trzeba wejść na stronę <http://localhost:8080>, jeżeli oglądamy wideo z poziomu Raspberry Pi, albo <http://<numer-IP-Raspberry Pi>:8080>, jeśli strumień chcemy oglądać ze zdalnej maszyny.

Po zakończonej instalacji pozostaje nam tylko posprzątać, to jest usunąć wykorzystany do kompilacji kod źródłowy.

```
cd ../../
rm -rf mjpg-streamer-182
```

Lub skasować go z innego miejsca, jeśli pobieraliśmy źródło z innej lokalizacji lub korzystaliśmy z SVN-a.

Finalnie uruchamiamy MJPG-streamer w docelowej konfiguracji: `mjpg_streamer -i „./input_uvc.so -y /dev/video0” -o „./output_http.so -w ./www -p 8081”`

To polecenie skonfiguruje i uruchomi strumień wideo na porcie 8081 przy użyciu źródła *video0*. Jeśli chcesz uruchomić wiele kamer internetowych, wprowadź ponownie powyższe polecenie, ale zmień *video0* na np. *video1* i *8081* na *8082*. W ten sposób kolejne kamery transmitować będą strumień na kolejnych portach. Oczywiście nazwy urządzeń w systemie można zmienić, według stanu na naszym urządzeniu, a port również dobrać można do własnych potrzeb. Stan działania systemu sprawdzamy tak jak powyżej, wchodząc na stronę www.

Integracja sprzętu

Teraz można podłączyć do Raspberry Pi wszystkie elementy. Na razie laser zasilamy z Raspberry Pi, ale docelowo możliwe jest jego zewnętrzne zasilanie, zwłaszcza że może być umieszczony dosyć daleko od detektora z komputerem. Do Raspberry Pi podłączamy także detektor. Wyjście sensora laserowego podpinamy do pinu 25 portu GPIO komputera jednopłytkowego. Dodatkowo, musimy ściągnąć tę linię opornikiem do masy. Można to zrealizować z pomocą rezystora 10 kΩ, ale każdy inny o podobnej rezystancji będzie dobry. Teraz można przystąpić do programowego wykrywania zmiany stanu laserowej bariery optycznej.

REKLAMA

Prenumerujesz Elektronikę Praktyczną?

Zaloguj się na swoje konto Prenumeratora (www.avt.pl/uzytkownik)

i pobierz ZA DARMO e-wydania kilkudziesięciu czasopism z serii **#CzasNaCzytanie**

Prenumeratę zamówisz na www.avt.pl/prenumerata

eprasa.pl 6e481ab610



Programowe monitorowanie lasera

Do przetestowania bariery optycznej wystarczy nam prosty program, który monitoruje stan linii GPIO i podaje informacje o zmianach w terminalu. Skrypt ten napisany jest w Pythonie, który potrzebuje do obsługi linii GPIO odpowiednich bibliotek. Aby je zainstalować, w linii komend wpisujemy:

```
sudo apt-get install python-rpi.gpio python3-rpi.gpio
```

Następnie tworzymy plik `read_pin.py` i nadajemy odpowiednie uprawnienia, by możliwe było jego uruchomienie. Finalnie, otwieramy plik za pomocą edytora tekstowego, aby móc wprowadzić jego zawartość:

```
touch read_pin.py
chmod 777 read_pin.py
nano read_pin.py
```

Skrypt pokazany jest na **listingu 1**. Po jego skopiowaniu do pliku `read_pin.py` możemy uruchomić skrypt, wpisując w terminalu:

```
sudo python3 read_pin.py
```

Jeśli wszystko pójdzie dobrze skrypt będzie czekał na wykrycie obiektu w barierze optycznej. Gdy laser zostanie zasłonięty, skrypt wydrukuje informacje w terminalu. Aby wyłączyć skrypt należy nacisnąć Ctrl+C.

Strona internetowa do monitorowania obrazu wideo

Teraz musimy skonfigurować interfejs do przeglądania obrazu z kamery internetowej. W tym kroku należy zainstalować serwer WWW Apache. W pierwszej kolejności uruchamiamy instalację poleceniem:

```
sudo apt-get install apache2
```

Po zainstalowaniu można wpisać w przeglądarce na komputerze *localhost* i wyświetlić stronę powitalną Apache. Jeśli po raz pierwszy konfigurujesz serwer sieciowy, najlepiej jest skonfigurować komputer jednopłytkowy tak, aby miał statyczny adres IP, tj. tak, by router zawsze przypisywał mu ten sam adres IP. Dodatkowo, jeśli chcemy mieć dostęp do systemu z zewnątrz sieci, konieczne jest skonfigurowanie przekierowania portów na routerze tak, by port(y) ze strumieniem wideo były dostępne z zewnątrz sieci lokalnej.



Fotografia 5. Przykładowy widok strony internetowej, prezentującej strumień wideo z kamery podłączonej do Raspberry Pi

Listing 1. Kod skryptu monitorującego stan linii GPIO

```
laser_1_input = 25 # ta zmienna przechowuje numer pinu, gdzie podłączony jest sensor lasera
import RPi.GPIO as GPIO # biblioteka potrzebna, by mieć dostęp do pinów GPIO
import time # biblioteka z funkcją do usypiania skryptu (sleep)

def laser_a_rising_event(channel):
    # Jest to funkcja, która jest uruchamiana, gdy wiązka lasera
    # zostanie przerwana - na zadanym pinie pojawi się zbocze opadające
    print("Function Called")
    # oczekiwanie mające na sprawdzenie, czy sygnał przerwania jest nadal obecny
    time.sleep(.2)
    if GPIO.input(laser_1_input):
        # jeżeli pin jest nadal w stanie niskim, to na pewno przerwano barierę laserową
        hr = time.strftime("%H", time.localtime()) # godzina
        min = time.strftime("%M", time.localtime()) # minuta
        sec = time.strftime("%S", time.localtime()) # sekunda
        print("Tripped @ ",hr,":",min,":",sec)
    else:
        print("False positive")
    return

print("Setting Up Pins")
# konfiguracja konwencji nazywania pinów
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
# ustaw skonfigurowany pin jako wejście
GPIO.setup(laser_1_input,GPIO.IN)
# ustaw wartości domyślne dla detekcji zdarzeń
GPIO.remove_event_detect(laser_1_input)
# dodaj nowe zdarzenie i jego callback
GPIO.add_event_detect(laser_1_input,GPIO.RISING,callback=laser_a_rising_event)
print("Waiting For Event")

while True:
    time.sleep(.1) # bierne oczekiwanie, by nie zajmować niepotrzebnie procesora

try:
    time.sleep(1) # bierne oczekiwanie, by nie zajmować niepotrzebnie procesora
except KeyboardInterrupt:
    GPIO.cleanup() # zwolnienie zasobów GPIO
    exit()
```

Listing 2. Kod minimalistycznej strony internetowej

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<link rel="stylesheet" href="/mystyle.css">
</head>
<title>Strumień wideo</title>
<body class="home">
<hr class="top"></hr>
<h1 class="black">Strumień wideo</h1>
<hr class="top"></hr>
<div class="content">
<p class="bodytext" align="center">
Podgląd na żywo z kamery w Raspberry Pi.
<br>
</img></a>
Jeśli nie wyświetla się żaden obraz, kamera jest odłączona lub MJPG-
Streamer niewłaściwie skonfigurowana. Upewnij się też, że podano poprawny adres IP i numer portu.
</p>
</div>
</body>
</html>
```

Na **listingu 2** zaprezentowano typową, minimalistyczną stronę internetową, której można użyć do wyświetlania strumienia wideo. Strona korzysta z arkusza stylów CSS *mystyle.css*, który pobrać można ze strony z projektem. Jego brak sprawi, że strona korzystać będzie z domyślnego wyglądu, bez formatowania. Pliki musimy umieścić w folderze strony *www*, którego adres skonfigurowany jest w pliku konfiguracyjnym Apache. Domyślna lokalizacja to *cd/var/www*. Jeśli chcemy zmienić ich lokalizację, to konieczna jest edycja pliku konfiguracyjnego Apache; wpisujemy w terminalu:

Tabela 1. Kluczowe parametry skryptu do wysyłania alertów na e-mail

Nazwa parametru w skrypcie	Znaczenie
<code>your_ip</code>	Adres IP Raspberry Pi
<code>your_ip_optional_port</code>	Port, na którym działa Apache
<code>port_to_camera</code>	Port, gdzie dostępny jest strumień wideo z kamery
<code>sending_email_username</code>	Nazwa użytkownika konta, z którego wysyłany jest e-mail
<code>sending_email_password</code>	Hasło użytkownika konta, z którego wysyłany jest e-mail
<code>to</code>	Adres, na jaki ma być wysłany alert

```
sudo nano /etc/apache2/
sites-enabled/000-default
```

W pliku zmieniamy `/var/www/` na zadaną przez nas lokalizację. Autor zmienił ją na `/home/pi/Desktop/www/`.

Po zapisaniu zmian i skopowaniu plików do zdefiniowanego folderu można przejść do przeglądarki internetowej, gdzie wpisujemy adres IP Raspberry Pi. Naszym oczom powinna ukazać się strona, taka jak na **fotografii 5**. Jeśli chcemy zmodyfikować stronę, na przykład, by wyświetlać więcej strumieni wideo, należy powiększyć bloki `<img>`, uzupełniając je informacjami takimi jak adres IP i numer portu, gdzie dostępny jest strumień wideo.

E-mailowe alerty

Kolejnym elementem systemu zabezpieczeń, jaki dodamy, jest możliwość wysyłania alertów przez wiadomości e-mail. System będzie wysyłał e-mail na predefiniowany adres w momencie, gdy jakiś obiekt zasłoni laser w barierze. Skrypt napisany w Pythonie, pokazany na **listingu 3**, pozwala realizować to zadanie.

Na potrzeby działania skryptu dobrze jest założyć osobne konto e-mail, gdyż wymaga ono zdjęcia pewnych zabezpieczeń, aby mógł korzystać z serwera SMTP. W skrypcie jest szereg miejsc do edycji i wprowadzenia własnych parametrów. Najważniejsze z nich zapisane są w **tabeli 1**.

Parametr `your_ip_optional_port` najprawdopodobniej będzie pusty, chyba, że twój serwer Apache działa na porcie innym niż domyślny 80. Autor dodał ten parametr, ponieważ na standardowym porcie działa już inny serwer, więc Raspberry Pi oferuje usługę Apache na porcie 8080. Z kolei `port_to_camera` jest portem, na którym strumień wideo nadaje MJPG-Streamer.

Po uzupełnieniu tych zmian na początku skryptu uruchom program, wprowadzając następujące polecenie w terminalu (gdzie `send_mail.py` to nazwa skryptu):

```
sudo python3 send_mail.py
```

Jeśli wszystko zostało skonfigurowane poprawnie, to skrypt wyśle e-mail na wskazany adres, w treści umieszczając zdjęcie z kamery. Możliwe jest zmodyfikowanie

Listing 3. Skrypt do wysyłania alertów na e-mail

```
#!/usr/bin/python3
import smtplib
import urllib.request
import time
import os
from email.mime.text import MIMEText
from email.mime.multipart import MIMEMultipart
from email.mime.image import MIMEImage

# Adres IP Raspberry Pi
your_ip = "192.168.0.177"
# Port, na którym działa Apache
your_ip_optional_port = "8080"
# Port, gdzie dostępny jest strumień wideo z kamery
port_to_camera = "8081"
# Nazwa użytkownika konta, z którego wysyłany jest e-mail
sending_email_username = "your_email_username"
# Hasło użytkownika konta, z którego wysyłany jest e-mail
sending_email_password = "your_password"
# Adres, na jaki ma być wysłany alert
to = "receiving_email@gmail.com"

try:
    print("create email")
    msg = MIMEMultipart()
    msg['Subject'] = "OMFG Intruder!"
    msg['From'] = "Laser Security System"
    msg['To'] = "OneBadApple"
    msg.preamble = "this is the preamble"

    html = """\
    <html>
    <head></head>
    <body>
    <p> Warning! Laser trip wire was triggered.
    <br>The snapshot below was taken at the time of the event.
    <br>To view a live stream of the camera click on the picture or the link.

    <br>
    <br>
    <a href="http://""" + your_ip + your_ip_optional_port + """/index.html">
    
    </a>
    <br>
    <br>
    <a href="http://""" + your_ip + your_ip_optional_port + """/index.html">
    Show me the intruder!
    </a>
    </p>
    </body>
    </html>
    """

    print("take snapshot")

    # Jeśli skrypt wiesz się na kolejnej linii, to upewnij się,
    # że plik /etc/network/interfaces zawiera następujące linie:
    # auto lo
    # iface lo inet loopback

    file = urllib.request.urlopen("http://" + your_ip + port_to_camera + "/?action=snapshot").read()
    print("format image")
    msgImage = MIMEImage(file)
    print("done format image")

except Exception:
    print("couldnt read image")
    os.system("ifdown eth0")
    time.sleep(2)
    os.system("ifup eth0")
    exit()

    print("build the email")
    msgImage.add_header('Content-ID', '<image1>')
    msg.attach(msgImage)

    html_part = MIMEText(html, "html")
    msg.attach(html_part)

    print("send the email")
    mserv = smtplib.SMTP()
    # zakomentuj tę linię, jeśli chcesz wyczyścić okno terminala
    # to wyjście przydaje się głównie do debugowania
    mserv.set_debuglevel(1)
    mserv.connect('smtp.gmail.com', 587)

    print("successful connection")

    mserv.ehlo()
    mserv.starttls()

    print("log into sending email")
    mserv.login(sending_email_username, sending_email_password)
    print("successful login")

    mserv.sendmail(sending_email_username, to, msg.as_string())
    mserv.close()
    print("sent email")
    os._exit(0)
except Exception as e:
    print(e)
    print("Could not send mail for laser!")
    print("Check network connection.")
    os._exit(0)
```

Listing 4. Skrypt automatycznie uruchamiający wszystkie podprogramy i kamerę internetową systemu alarmowego

```
#!/bin/bash
cd /home/pi/Desktop/security
sudo python3 read_pin_with_mail.py &
cd /home/pi/Desktop/mjpg-streamer/mjpg-streamer
./mjpg_streamer -i "input_uvc.so -y /dev/video0" -o "output_http.so -w ./www -p 8081" &
```

treści e-maila, aby zawierał dodatkowe informacje lub więcej zdjęć z większej liczby kamer (pamiętaj, aby dodać odpowiednio więcej numerów portów, gdzie wyświetlane są strumienie wideo).

Teraz, gdy komputer jest już w stanie wysyłać wiadomości e-mail, należy całość zautomatyzować tak, by za każdym razem, gdy laser był wyłączany, wysyłany był alert e-mail. Należy w tym celu zmodyfikować skrypt `read_pin.py` z listingu 1, dopisując do niego nową funkcję uruchamiania skryptu do wysyłania poczty. Dodatkowa linia wygląda w następujący sposób:

```
sm_pid = os.spawnlp (os.P_NOWAIT, "/usr/bin/python3", "python3", "/home/pi/Desktop/security/send_mail.py")
```

Funkcja ta uruchomi skrypt `send_mail.py` równolegle ze skryptem obsługującym barierę laserową. Asynchroniczne uruchamianie tego skryptu jest celowe, ponieważ skrypt do wysyłania wiadomości e-mail pracuje nawet kilka sekund i więcej, i może blokować działanie skryptu obsługi sensora laserowego do momentu zakończenia wysyłania wiadomości e-mail. Nie stanowi to problemu dla systemu z pojedynczą kamerą, ale jeśli w układzie ma być wiele kamer i wiele sensorów, to konieczne jest wykrywanie wszystkich sytuacji z nimi związanych.

Zmienna `sm_pid` będzie zawierać PID procesu (numer identyfikacyjny procesu w systemie) uruchamianego przez to polecenie. Sprawdzając ten PID w dalszej części kodu można sprawdzić, czy wykonywanie skryptu zostało zakończone (i np. mamy do czynienia

z kolejnym zakłóceniem bariery, czy to nadal ta sama sytuacja i nie ma potrzeby uruchamiania skryptu do wysyłania e-maila ponownie).

Skrypt inicjalizujący system po włączeniu komputera

Na tym etapie projekt jest w większości ukończony. Ostatnim krokiem jest uproszczenie uruchamiania systemu za pomocą prostego skryptu, który automatycznie uruchomi wszystkie jego elementy – wszystkie podprogramy i skonfiguruje kamerę internetową. Skrypt bashowy, pokazany na **listingu 4**, można uruchomić podczas uruchamiania systemu, edytując plik `/etc/rc.local` w systemie Raspbian. Musisz zmienić rozszerzenie pliku i być może będziesz musiał zmodyfikować skrypt, aby zawierał odpowiednie ścieżki, jeśli umieścisz skrypty w innym miejscu.

Podsumowanie

Powyższy system tak naprawdę składa się z szeregu niezależnych komponentów, które można zastosować we własnych projektach. Bariere optyczną można wykorzystać w innym systemie zabezpieczeń, podobnie jak skrypt wysyłający e-maile czy strumieniowanie wideo do sieci. Jakkolwiek system ten jest pewną funkcjonalną całością, to może być również źródłem pomysłów do innych konstrukcji bazujących na Raspberry Pi.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło: <https://bit.ly/2LHPKL2>

REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

Autoryzowany dystrybutor Altium w Polsce

Altium 365

Jedyna na świecie platforma w chmurze, wspomagająca projektowanie i wymianę danych projektów PCB. Bezproblemowo dostępna z Altium Designer lub dowolnego urządzenia podłączonego do internetu.

Bezpłatna dla posiadaczy Subskrypcji Altium.



**SUPER CENY
SUPER RABATY**

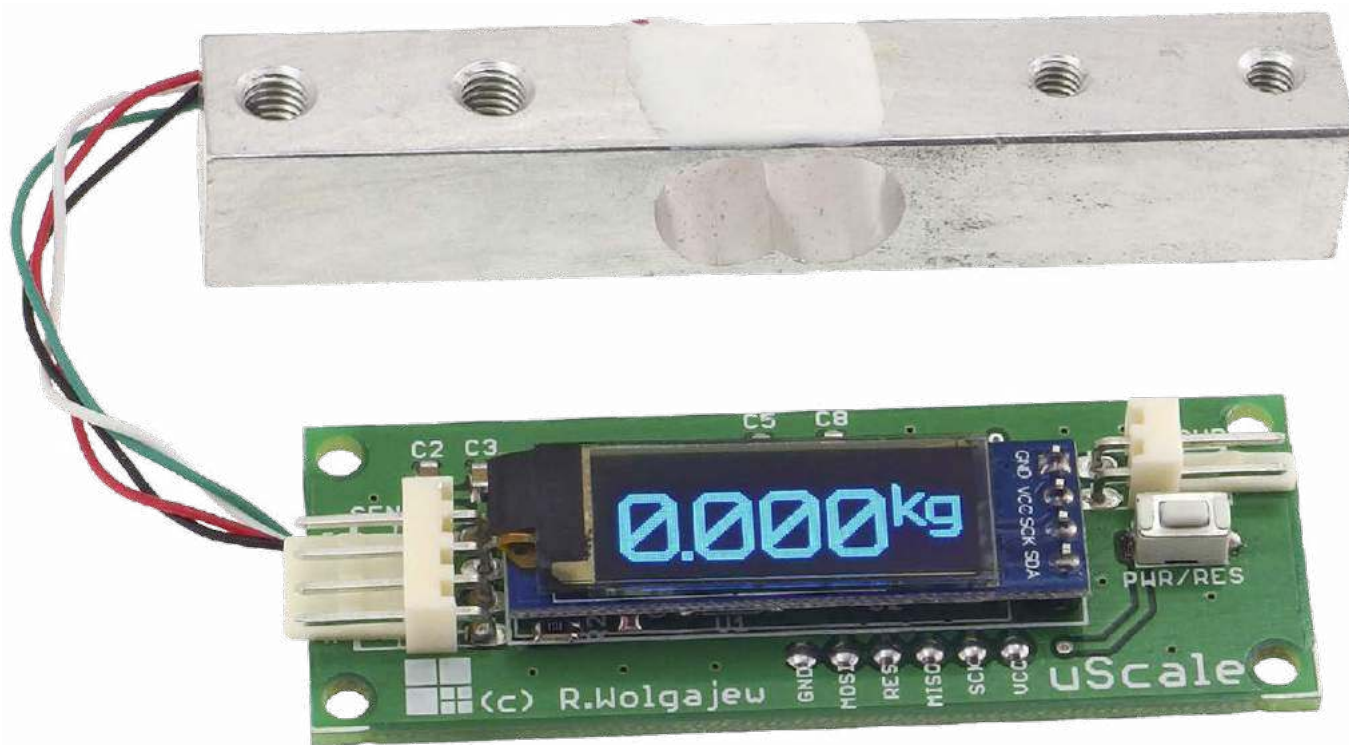
Altium 365 dla posiadaczy Altium Designer **GRATIS**

AD20 + A365

Computer Controls Sp. z o.o.
Bielsko-Biała, ul. Budowlanych 1

tel.: +48 (33) 485 94 90

e-mail: info@ccontrols.pl
www.ccontrols.pl



μScale

– waga elektroniczna

Popularne i niedrogie belki tensometryczne skonfigurowane w układzie mostka Wheatstone'a stosowane są w elektronicznych układach do pomiaru masy, siły czy naprężeń. Są to typowe peryferia używane w tego rodzaju urządzeniach, a ich duża popularność wynika z prostoty budowy, dokładności oraz niskiej ceny. W artykule zaprezentowano układ prostej elektronicznej wagi kuchennej zbudowanej na bazie takiego elementu.

Schemat projektu o nazwie μScale został pokazany na **rysunku 1**. Zaprojektowano bardzo prosty system mikroprocesorowy, którego sercem jest niewielki mikrokontroler firmy Microchip (dawniej Atmel) typu ATtiny44. Układ ten jest odpowiedzialny za programową implementację interfejsu I²C, przy użyciu którego realizuje obsługę wbudowanego wyświetlacza OLED stanowiącego element graficznego interfejsu użytkownika oraz za obsługę szeregowego interfejsu standardu SPI, za pomocą którego komunikuje się z układem precyzyjnego, 24-bitowego przetwornika pomiarowego pod postacią układu HX711.

Układ HX711

Jest specjalizowanym przetwornikiem ADC, produkcji firmy Avia Semiconductor, przeznaczonym do układów pomiarowych z czujnikami tensometrycznymi. Charakteryzuje się następującymi, wybranymi cechami użytkowymi:

- dwa niezależne, różnicowe kanały wejściowe,
- zintegrowany, niskoszumowy wzmacniacz PGA o regulowanym wzmocnieniu (128×, 64× lub 32×),
- zintegrowany stabilizator zasilający czujnik tensometryczny i przetwornik ADC,
- wbudowany oscylator niewymagający zewnętrznych elementów dyskretnych,
- prosty, szeregowy interfejs sterujący,
- konfigurowalna częstotliwość pomiarów (10 lub 80 razy na sekundę),
- szeroki zakres napięć zasilających (2,6...5,5 V),
- tryb powerdown o niskim zapotrzebowaniu na energię (0,3 μA).

Takie parametry sprawiają, że układ HX711 idealnie wpisuje się w potrzeby niniejszej aplikacji, dostarczając konstruktorowi kompletny i bardzo dokładny front-end pomiarowy. Na **rysunku 2** pokazano wygląd obudowy naszego peryferium wraz z opisem

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-5775

Podstawowe parametry:

- zakres pomiarowy: 0...5000 g (zależny od zastosowanej belki tensometrycznej, max. 10 kg),
- częstotliwość odświeżania pomiaru: 5x/s,
- napięcie zasilania: 4,5...10 V,
- prąd obciążenia: 45 mA.

Projekty pokrowne na www.media.avt.pl:
AVT-5177 Waga elektroniczna (EP 3/2009)

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 wylutować 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 wylutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji

Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:

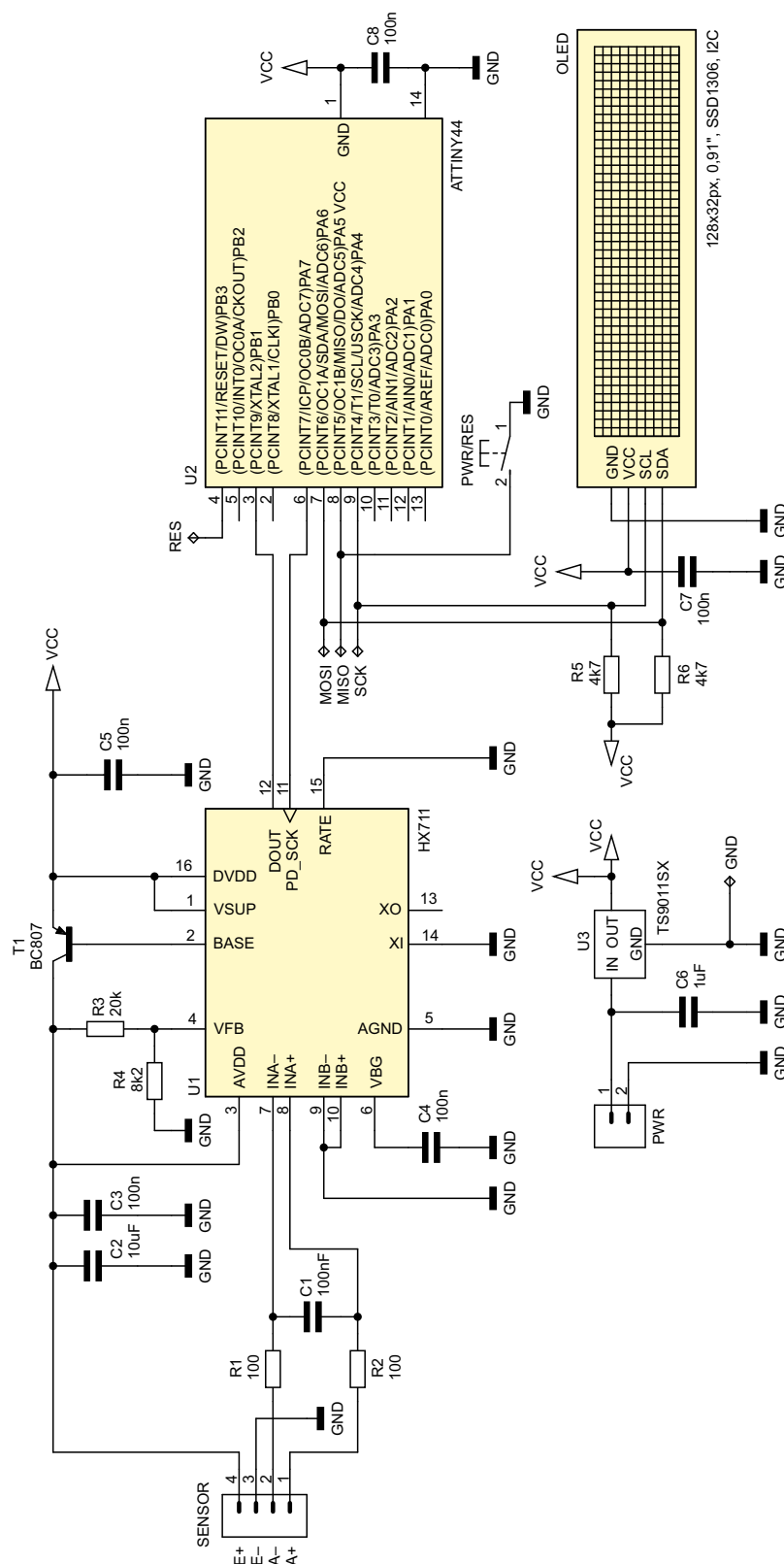
- wersja [A+] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!

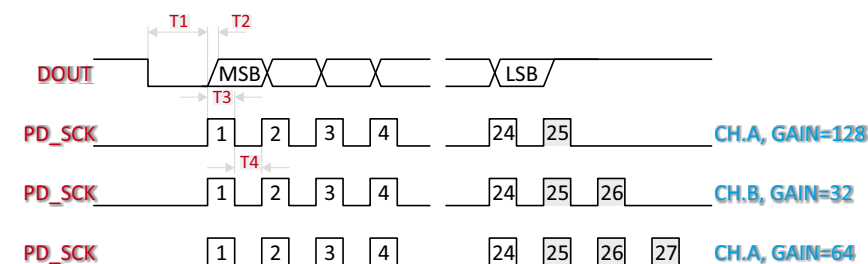
<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

poszczególnych wyprowadzeń, zaś w **tabeli 1** opisano ich funkcje.

Komunikacja z układem HX711 odbywa się przy udziale szeregowej magistrali sterującej zbliżonej funkcjonalnością do znanej ze świata mikrokontrolerów magistrali SPI. Stosowne przebiegi sterujące jego pracą pokazano na **rysunku 3**. Przesyłane są 3 bajty danych składające się na 24-bitową wartość pomiarową, przy czym transmisja rozpoczyna się zawsze od bitu MSB. I na tym w zasadzie kończą się podobieństwa do magistrali SPI. Dalej generowanych jest od jednego do trzech taktów zegara, których liczba decyduje, jaki kanał (A lub B) i z jakim wzmocnieniem będzie transmitowany



Rysunek 1. Schemat ideowy urządzenia µScale



Rysunek 3. Przebiegi na liniach interfejsu sterującego pracą układu HX711

Wykaz elementów:

Rezystory (SMD0805):

R1, R2: 100 Ω
R3: 20 kΩ 1%
R4: 8,2 kΩ 1%
R5, R6: 4,7 kΩ

Kondensatory (SMD0805):

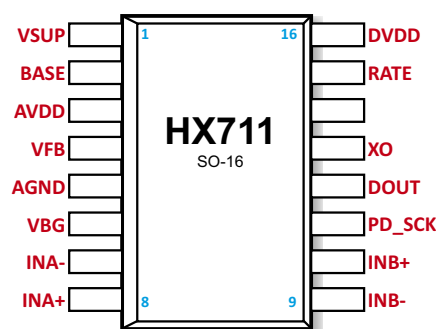
C1, C3...C5, C7, C8: ceramiczny X7R 100 nF
C2: ceramiczny X7R 10 µF
C6: ceramiczny X7R 1 µF

Półprzewodniki:

T1: BC807 (obudowa SOT23)
U1: HX711 (SO-16)
U2: ATtiny44 (S0IC14)
U3: TS9011SCX (SOT23)
OLED: wyświetlacz OLED 128×32 px, 0,91", sterownik SSD1306, magistrala I²C, wymiary 38×12 mm

Pozostałe:

PWR/RES: mikroprzełącznik SMD typu DTSM31NB
SENSOR: gniazdo męskie kątowe 4 pin (NS25-W4K)
PWR: gniazdo męskie kątowe 2 pin (NS25-W2K)
Belka tensometryczna 5 kg (MAVIN NA27)



Rysunek 2. Rysunek obudowy układu HX711 wraz z opisem poszczególnych wyprowadzeń

podczas kolejnej transmisji danych. Te dodatkowe takty zegara ustawiają aktywny kanał wraz z jego wzmocnieniem podczas kolejnej transmisji danych. Trzeba przyznać, że jest to dość osobliwe rozwiązanie, ale skuteczne. Warto również zaznaczyć, że domyślnie po włączeniu zasilania wybierany jest kanał A ze wzmocnieniem równym 128.

Specyfikację czasów dla poszczególnych przebiegów sterujących pokazano w tabeli 2. Warto zwrócić uwagę na zakres dopuszczalnych wartości dla czasu T3. Określono tutaj maksymalną wartość dla czasu logicznej jedynki sygnału zegarowego równą 50 µs. Wynika to z innej osobliwości sterowania pracą

REKLAMA

Tabela 1. Opis funkcjonalności poszczególnych wyprowadzeń układu HX711

Numer Pinu	Nazwa	Funkcja
1	VSUP	Zasilanie wbudowanego regulatora napięcia zasilania
2	BASE	Wyjście wbudowanego regulatora napięcia zasilania
3	AVDD	Zasilanie bloku analogowego układu
4	VFB	Wejście wbudowanego regulatora napięcia zasilania
5	AGND	Masa bloku analogowego układu
6	VBG	Wyjście napięcia referencyjnego do podłączenia kondensatora
7	INA-	Wejście odwracające kanału A
8	INA+	Wejście nieodwracające kanału A
9	INB-	Wejście odwracające kanału B
10	INB+	Wejście nieodwracające kanału B
11	PD_SCK	Wejście power-down/wejście zegarowe magistrali danych
12	DOUT	Wyjście danych magistrali danych
13	XO	Wejścia do podłączenia opcjonalnego rezonatora kwarcowego
14	XI	
15	RATE	Wejście wyboru częstotliwości pomiarów (0: 10 Hz, 1: 80 Hz)
16	DVDD	Zasilanie bloku cyfrowego układu

Tabela 2. Specyfikacja czasów dla poszczególnych przebiegów sterujących układu HX711

Symbol	Min [μs]	Typ [μs]	Max [μs]
T1	0,1		
T2			0,1
T3	0,2	1	50
T4	0,2	1	

naszego peryferium. Czas dłuższy niż 60 μs powoduje przełączenie układu HX711 w tryb niskiego poboru energii power-down. Dość oryginalne rozwiązanie, choć trzeba przyznać, że skuteczne. W tym momencie znamy już wszystkie szczegóły dotyczące naszego ciekawego peryferium.

Program sterujący

Zaczynamy od pliku nagłówkowego, w ramach którego zdefiniowano wszystkie niezbędne ustawienia portów (**listing 1**). Dalej, na **listingu 2**, pokazano funkcję inicjalizacyjną sterownika HX711, która oprócz ustawienia stanów domyślnych portów sterujących, dokonuje wstępnej

konfiguracji układu. Warto zaznaczyć, że jako argument funkcja inicjalizacyjna przyjmuje jedną z trzech wartości wzmocnienia zdefiniowaną w pliku nagłówkowym.

Kod funkcji pozwalającej na odczyt wartości zmierzonej przez układ HX711 pokazano na **listingu 3**. Podobnie jak poprzednio, funkcja przyjmuje jako argument jedną z trzech wartości wzmocnienia zdefiniowaną w pliku nagłówkowym. Warto również zauważyć, że funkcja hx711read() korzysta z innej, prostej funkcji narzędziowej o nazwie hx711isReady(), której zadaniem jest sprawdzenie gotowości układu HX711 do przesłania zmierzonych wartości. Ciało

Listing 2. Funkcja inicjalizacyjna

```
void hx711init(uint8_t Gain){
    //Init pins
    PD_SCK_SET_AS_OUTPUT;
    PD_SCK_SET_LOW;

    DOUT_SET_AS_INPUT;
    DOUT_PULL_UP;

    //Set the channel
    //and the gain
    //for the next reading
    hx711read(Gain);
}
```

Listing 3. Funkcja odczytująca wartość zmierzona

```
uint32_t hx711read(uint8_t Gain){
    uint32_t Value = 0;

    //Wait for HX711 being ready
    while(!hx711isReady());

    //Read all 24 bits starting from MSB
    for(uint8_t i = 0; i < 24; ++i){
        Value <<= 1;
        PD_SCK_SET_HIGH;
        _delay_us(1);
        if(DOUT_READ) Value++;
        PD_SCK_SET_LOW;
        _delay_us(1);
    }

    //Set the channel and
    //the gain for the next reading
    for(uint8_t i = 0; i < Gain; ++i){
        PD_SCK_SET_HIGH;
        _delay_us(1);
        PD_SCK_SET_LOW;
        _delay_us(1);
    }

    return Value;
}
```

wspomnianej funkcji narzędziowej pokazano na **listingu 4**.

Na koniec – funkcja sterująca trybami mocy układu HX711, której kod pokazano na **listingu 5**.

Obliczenia

Zgodnie z tym, co napisano na wstępie, układ HX711 mierzy napięcie na zaciskach spolaryzowanej belki tensometrycznej oznaczonych jako A-/A+, po czym algorytm mikrokontrolera przelicza to napięcie na masę, jaką obciążono ten element. Wzorem niezbędnym do przeliczenia zmierzonego napięcia na masę jest wzór funkcji liniowej:

$$y = ax + b$$

gdzie:

y – wartość pokazywana na wyświetlaczu OLED [g],

x – napięcie mierzone poprzez wbudowany w układ HX711 przetwornik ADC,

Listing 4. Funkcja, której zadaniem jest sprawdzenie gotowości układu HX711 do przesłania danych

```
uint8_t hx711isReady(){
    //HX711 returns 0 when ready
    return DOUT_READ == 0x00;
}
```

Listing 5. Funkcja sterująca trybami mocy układu HX711

```
//0: powdown, 1: normal operation
void hx711setPower(uint8_t Power){
    if(Power) PD_SCK_SET_LOW;
    else PD_SCK_SET_HIGH;
    _delay_us(60);
}
```

Listing 1. Plik nagłówkowy sterownika

```
//Avia HX711 driver. Copyright Robert Wołgajew 2020

//Power Down and Serial Clock Input Port
#define PD_SCK_PORT PORTA
#define PD_SCK_DDR DDRA
#define PD_SCK_NR PA7

#define PD_SCK_SET_HIGH PD_SCK_PORT |= (1<<PD_SCK_NR)
#define PD_SCK_SET_LOW PD_SCK_PORT &= ~(1<<PD_SCK_NR)
#define PD_SCK_SET_AS_OUTPUT PD_SCK_DDR |= (1<<PD_SCK_NR)

//Serial Data Output Port
#define DOUT_PORT PORTB
#define DOUT_DDR DDRB
#define DOUT_PIN PINB
#define DOUT_NR PB1

#define DOUT_SET_AS_INPUT DOUT_DDR &= ~(1<<DOUT_NR)
#define DOUT_PULL_UP DOUT_PORT |= (1<<DOUT_NR)
#define DOUT_READ (DOUT_PIN & (1<<DOUT_NR))

#define GAIN_128 0x01 //Channel A, Gain = 128
#define GAIN_64 0x03 //Channel A, Gain = 64
#define GAIN_32 0x02 //Channel B, Gain = 32
```

Ustawienia Fuse-bitów:
 CKSEL3...0: 0010
 SUT1...0: 10
 CKDIV8: 10
 CKOUT: 1
 DWEN: 1
 EESAVE: 0

a, b – współczynniki funkcji liniowej.

Zatem niezbędne jest wyznaczenie współczynników a i b funkcji liniowej. Aby tego dokonać, należy znaleźć dwa punkty znajdujące się na wykresie szukanej funkcji liniowej. Załóżmy, że znamy dwie wartości napięcia mierzonego przez przetwornik HX711, odpowiadające masom 0 g i 1000 g. Te dwie wartości napięcia oznaczamy odpowiednio jako x_0 i x_1 , zaś odpowiadające im wskazania urządzenia µScale jako y_0 i y_1 . Otrzymujemy wzory:

$$a = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}$$

gdzie:

y_1 – wartość pokazywana na wyświetlaczu OLED dla masy 1000 g równa 1000,

y_0 – wartość pokazywana na wyświetlaczu OLED dla masy 0 g równa 0,

x_1 – napięcie mierzone poprzez wbudowany przetwornik ADC dla masy 1000 g,

x_0 – napięcie mierzone poprzez wbudowany przetwornik ADC dla masy 0 g.

$$b = -ax_0$$

gdzie:

a – obliczony powyżej współczynnik kierunkowy funkcji liniowej.

Podstawiając powyższe wzory, otrzymujemy:

$$y = ax - ax_0 = a(x - x_0) + 1000 \frac{(x - x_0)}{x_1 - x_0}$$

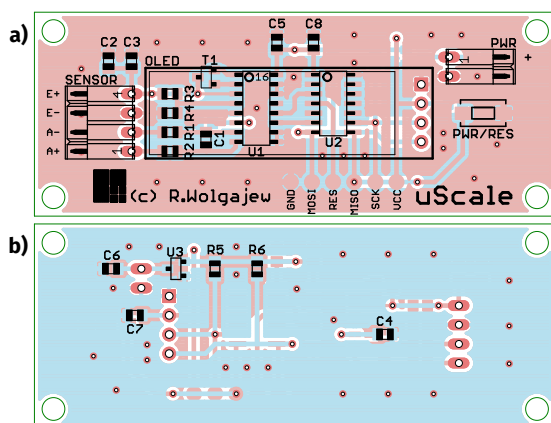
gdzie:

y – wartość pokazywana na wyświetlaczu OLED [g],

x – napięcie mierzone poprzez wbudowany przetwornik ADC.

Montaż i uruchomienie

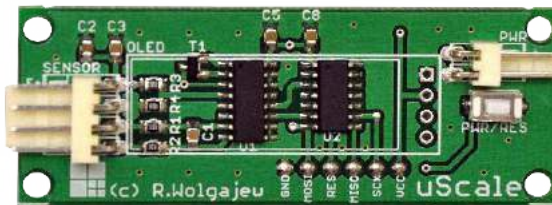
Schemat montażowy urządzenia pokazano na **rysunku 4**. Zaprojektowano dwustronną, niewielką płytkę drukowaną, która kształtem jest zbliżona do zastosowanego



Rysunek 4. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów: a) strona TOP, b) strona BOTTOM



Rysunek 5. Sposób podłączenia belki tensometrycznej do urządzenia µScale



Fotografia 1. Zmontowane urządzenie µScale tuż przed przylutowaniem wyświetlacza OLED

wyświetlacza OLED, a dodatkowo udostępnia niezbędne otwory montażowe. Warto również podkreślić, że dla zminimalizowania rozmiaru obwodu drukowanego przewidziano tutaj montaż elementów po obu stronach laminatu.

Aplikację urządzenia rozpoczynamy od warstwy BOTTOM, gdzie przylutowujemy układ scalony U3 oraz elementy bierne. Następnie przechodzimy na warstwę TOP, na której montaż rozpoczynamy od wlutowania układów scalonych U1 oraz U2. Proces ten najłatwiej wykonać przy użyciu stacji lutowniczej na gorące powietrze (tzw. hot air) i odpowiednich stopów lutowniczych. Jeśli nie dysponujemy tego rodzaju sprzętem, można również zastosować metodę z wykorzystaniem typowej stacji lutowniczej z użyciem dobrej jakości cyny z odpowiednią ilością topnika oraz dość cienkiej plecionki rozlutowniczej.

Następnie lutujemy pozostałe elementy dyskretnie, a na końcu mikroprzełącznik PWR/RES oraz gniazda podłączeniowe SENSOR i PWR. Z uwagi na zagęszczenie wyprowadzeń układów scalonych przed pierwszym podłączeniem układu do zasilania należy jeszcze raz sprawdzić jakość wykonanych połączeń. Wspomniana kontrola będzie znacznie łatwiejsza, jeśli zmontowaną płytkę przemyjemy alkoholem izopropylowym w celu wypłukania nadmiaru kalafonii lutowniczej.

Na samym końcu, do tak przygotowanej płytki, montujemy wyświetlacz OLED, zwyczajnie lutując jego wyprowadzenia w przeznaczone do tego celu pola lutownicze (należy sprawdzić polaryzację zasilania), gdyż połączenia elektryczne zapewniają mu jednocześnie wystarczająco stabilny montaż mechaniczny. Na **fotografii 1** pokazano zmontowane urządzenie tuż przed przylutowaniem wyświetlacza OLED.

Belkę tensometryczną podłączamy do gniazda SENSOR, posiłkując się schematem z **rysunku 5**.

2.350^{kg}

Rysunek 6. Wygląd graficznego interfejsu użytkownika urządzenia µScale w trybie normalnym

2.350%

Rysunek 7. Wygląd graficznego interfejsu użytkownika urządzenia µScale w trybie kalibracji

Poprawnie zmontowany układ powinien działać tuż po włączeniu zasilania.

Obsługa urządzenia

Po włączeniu zasilania (gniazdo PWR) urządzenie pracuje w trybie pokazywania wartości mierzonej (masy) przez układ HX711, przy czym ekran w tym trybie odświeżany jest 5 razy na sekundę. Aby wartość pokazywana na wyświetlaczu odzwierciedlała rzeczywistą masę, jaką obciążamy belkę tensometryczną, niezbędna jest kalibracja urządzenia.

Kalibracja ta przebiega w dwóch krokach. W pierwszym z nich określamy wartość odpowiadającą masie 0 g. W drugim kroku określamy z kolei wartość odpowiadającą masie 1000 g. W tryb kalibracji wchodzimy poprzez długie naciśnięcie przycisku PWR/RES, przy czym już w momencie jego naciśnięcia belka tensometryczna powinna pozostać nieobciążona (0 g), gdyż wciśnięciu i przytrzymaniu przycisku PWR/RES towarzyszy automatyczne zapisanie wartości zmierzonej odpowiadającej masie 0 g. Następnie obciążamy belkę tensometryczną masą 1000 g i ponownie wciskamy i przytrzymujemy przycisk PWR/RES. W tym momencie urządzenie zapisze w nieulotnej pamięci EEPROM mikrokontrolera wartość zmierzoną odpowiadającą masie 1000 g, po czym wyjdzie z trybu kalibracji. Każdorazowe krótkie przyciśnięcie przycisku PWR/RES powoduje z kolei włączenie/wyłączenie urządzenia. Wygląd graficznego interfejsu użytkownika urządzenia µScale w trybie normalnym pokazano na **rysunku 6**, zaś na **rysunku 7** wygląd stosownego interfejsu w trybie kalibracji.

Rober Wołgajew, EP

Niskonapięciowy regulator mocy AC

Do regulacji mocy odbiornika w obwodach prądu przemiennego – zwłaszcza rezystancyjnego – można zastosować układ ściemniacza z triakiem. Niestety, ze względu na specyfikę pracy, nie zadziała z niskimi napięciami o wartości skutecznej 12 V czy 24 V. Prezentowany układ jest polecany właśnie do takich obwodów.



Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-5771

Podstawowe parametry:

- regulacja fazowa mocy odbiorników zasilanych napięciem przemiennym,
- praca przy napięciu zasilania 12...24 V AC,
- przystosowany do częstotliwości 50 Hz,
- czytelny wyświetlacz LED wskazujący przesunięcie czasowe w załączaniu triaka (w procentach),
- regulacja przy użyciu potencjometru liniowego,
- brak izolacji galwanicznej obwodu wykonawczego od masy układu,
- pobór prądu: 35...50 mA (przy zasilaniu 12 V).

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- AVT-5664 Uniwersalny moduł regulacji mocy AC (EP 4/2019)
- AVT-5643 Mikroprocesorowy regulator mocy z oscyloskopem (EP 2/2019)
- AVT-3218 Regulator mocy z wyświetlaczem LCD (Edw 3/2018)
- AVT-2623 Uniwersalny regulator mocy (EP 12/2016)
- AVT-1860 Wzmocniony regulator mocy odbiorników 230 V AC (EP 8/2015)
- AVT-1813 Regulator wentylatora z silnikiem klatkowym (EP 8/2014)
- AVT-5360 Falownik 1-fazowy (EP 9/2012)
- AVT-1613 Regulator obrotów wentylatora 230 V z silnikiem indukcyjnym (EP 4/2011)
- AVT-5067 Grupowy regulator mocy (EP 10/2002)
- AVT-2210 Najprostszy regulator mocy 230 V (EP 3/1997)
- AVT-1007 Regulator obrotów silnika elektrycznego (EP 8/1994)

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 wstawić 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 wstawione w płytkę PCB)
• wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
• wersja [Aa] – płytkę drukowaną [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 <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

Regulacja mocy urządzeń zasilanych napięciem sinusoidalnie zmiennym o niskiej wartości skutecznej nie należy do zadań trywialnych. Najprostszym podejściem do rozwiązania tego problemu jest sterowanie fazowe, którego idea sprowadza się do opóźnienia załączenia obciążenia po odpowiednim czasie od przejścia napięcia przez zero. Im większy czas tego opóźnienia, tym mniejsza będzie moc wydzielona, ponieważ cała z pozostałej części sinusoidy będzie miała mniejszą wartość. Intuicyjnie rzecz ujmując, chodzi o zasilanie sterowanego układu wykonawczego kawałkami sinusoidy: im mniejszy kawałek (krótszy czas załączenia t_{ZAL}), tym mniejsza będzie moc – co obrazuje **rysunek 1**.

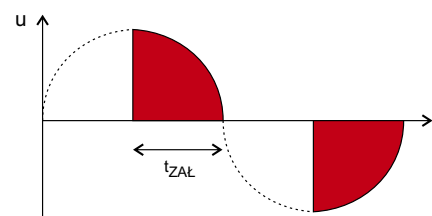
Takiej funkcjonalności nie można zrealizować w postaci kilkuelementowego „ściemniacza żarówek”, który wykorzystuje opóźnienie wprowadzane przez kondensator ładujący się za pośrednictwem rezystora o zmiennej wartości. Kluczowym elementem w takim układzie jest diak, który zaczyna przewodzić po naładowaniu kondensatora do określonej wartości napięcia. Produkowane obecnie diaki (typu DB3 i DB4 oraz pokrewne) mają napięcia zapłonu rzędu 30 V, przez co zupełnie nie nadają się do aplikacji niskonapięciowych.

Opóźnienie załączania triaka trzeba więc zrealizować w inny sposób.

Opisany układ umożliwia realizację takiego sterowania, dając użytkownikowi jeszcze jedną możliwość, której nie mają bardzo proste „ściemniacze”. Został wyposażony w wyświetlacz wskazujący procentową wartość czasu trwania załączenia triaka. Im mniejszą wartość wskazuje, tym krócej przewodzi triak, więc i mniejsza jest dostarczana do obciążenia moc.

Budowa i działanie

Schemat ideowy układu znajduje się na **rysunku 2**. Można w nim wyodrębnić kilka istotnych bloków. Napięcie przemiennie, którym ma być zasilane obciążenie oraz układ dołącza się do zacisków złącza J1. Jest prostowane jednopółkawkowo w celu zachowania



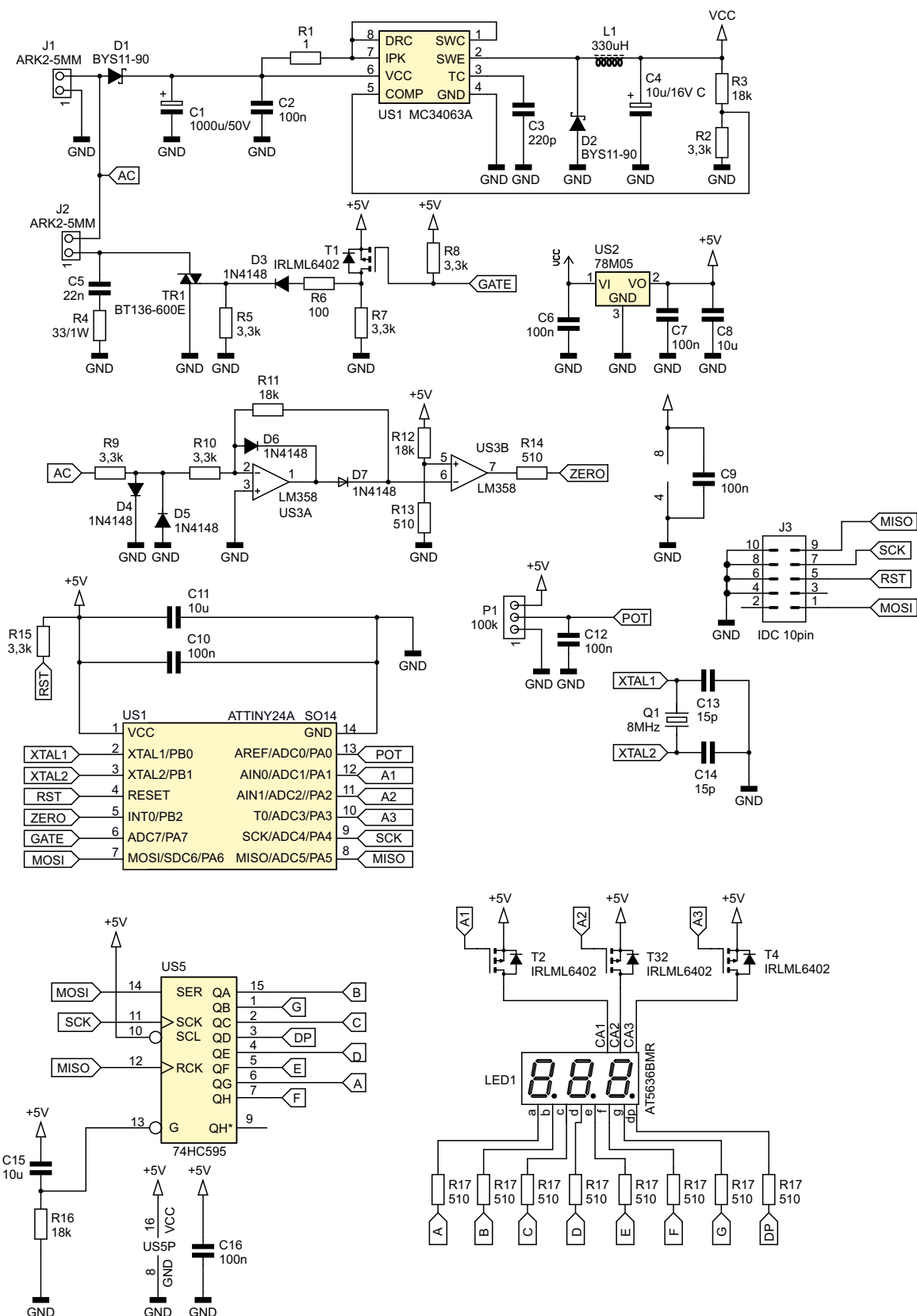
Rysunek 1. Idea regulacji fazowej

połączenia jednego z doprowadzeń z masą układu. Kondensator C1 ma znaczną pojemność po to, aby spadek napięcia na jego zaciskach pomiędzy kolejnymi impulsami doładowującymi go nie był znaczący.

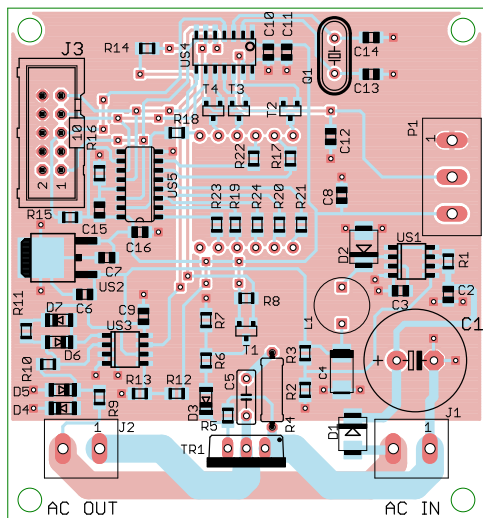
Silnie tętniące, ale już wyprostowane napięcie trafia na wejście przetwornicy obniżającej, która została wykonana na tanim

i popularnym układzie MC34063A. Napięcie wyjściowe ustalają rezystory R2 i R3 na wartość około 8 V, co pozwala na prawidłową pracę zarówno przy zasilaniu napięciem przemiennym 12 V, jak i 24 V. W układzie znajduje się również liniowy stabilizator napięcia dodatniego, typu 78M05, który dostarcza napięcie 5 V dla części sterującej.

Triak TR1 załącza obciążenie podłączone do zacisków złącza J2. Jego załączenie w tym układzie odbywa się poprzez podanie na bramkę dodatniego potencjału, względem anody A1. Rezystor R6 ogranicza wartość tego prądu, a rezystor R3 zapobiega samorzutnemu załączaniu się triaka. Między anodami triaka został umieszczony



Rysunek 2. Schemat ideowy układu



Rysunek 3. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki, strona BOTTOM

prosty układ R4, C5, który pochłania energię przepięć, mogących powstać podczas przełączania obciążeń o charakterze indukcyjnym. Dioda D3 umożliwia przepływ prądu tylko w jedną stronę: od drenu tranzystora T1 w stronę bramki. Rezystor R7 zapewnia drogę dla prądu drenu T1, a R8 utrzymuje go w stanie wyłączenia. Dzięki temu krótkotrwałe obniżenie potencjału bramki tranzystora T1 powoduje szybkie i pewne załączenie triaka, ponieważ prąd wpływający do jego bramki wynosi ok. 35 mA.

Prąd jest „wlewany” do bramki triaka niezależnie od kierunku przepływu prądu między jego anodami. Oznacza to pracę w kwadrancie pierwszym (potencjał A2 ujemny, G dodatni) i czwartym (potencjał A2 dodatni, G dodatni). O ile pierwszy kwadrant jest naturalnym obszarem pracy triaka, o tyle nie każdy umożliwia pewne załączenie

w czwartym kwadrancie – elementy tego typu są przez producentów oznaczane jako „4Q”. Użyty w prototypie BT136-600G zalicza się do tej grupy.

Napięcie zasilające o wartości 8 V jest potrzebne do prawidłowej pracy detektora przejścia napięcia przez zero, który jest wykonany w oparciu na podwójnym wzmacniaczu operacyjnym typu LM358 (US3). Napięcie przemienne jest najpierw ograniczane do amplitudy około 0,7 V, co odbywa się przy użyciu prostego, dwudiodowego układu limitera. Wzmacniacz US3A pracuje jako idealny prostownik dwupołówkowy, z jednym zastrzeżeniem: dolna i górna połówka sygnału wejściowego nie przechodzi przez układ jednakowo. Połówka ujemna jest odwracana i wzmacniana około 5,5-krotnie, czyli jej wartość szczytowa wyniesie ok. 3,9 V. Natomiast dolna połówka przechodzi bez wzmacniania, gdyż diody D6 i D7 blokują wtedy pracę wzmacniacza.

Wykrywanie minimów uzyskanego sygnału unipolarnego oznacza odnajdywanie punktów przejścia przez zero. Najprostszą metodą jest porównywanie wartości chwilowej sygnału z jakimś ustalonym potencjałem. Tę właśnie opcję wykonuje wzmacniacz US3B, pracujący w otwartej pętli sprzężenia zwrotnego – działa więc jak komparator. Potencjał odniesienia ustalają rezystory R12 i R13 na wartość ok. 140 mV. Wyjście komparatora steruje wejściem mikrokontrolera. Ponieważ układ US3 jest zasilany napięciem wyższym niż 5 V, prąd płynący przez wejście mikrokontrolera został ograniczony rezystorem R14.

W roli mikrokontrolera zastosowano układ ATtiny24A, którego niewielka pamięć jest w zupełności wystarczająca do realizacji tego zadania. Częstotliwość sygnału zegarowego

została ustabilizowana poprzez zastosowanie zewnętrznego rezonatora kwarcowego o częstotliwości 8 MHz. Było to konieczne, ponieważ układ wykonuje operację krytyczną czasowo: załączanie triaka w ściśle określonym momencie. Do komunikacji programatora z mikrokontrolerem zostało przewidziane złącze J3, na które wyprowadzono sygnały niezbędne dla ISP (In System Programming), w standardzie KANDA.

Zadawanie wymaganego opóźnienia załączenia bramki triaka odbywa się poprzez obracanie osi potencjometru P1. Został włączony jako dzielnik napięcia zasilającego mikrokontroler, którego jest również potencjałem odniesienia dla wbudowanego przetwornika analogowo-cyfrowego. Zatem wynik konwersji jest zawsze wprost proporcjonalny do aktualnego kąta obrotu osi. Kondensator C12 ogranicza pasmo dla szumów i zakłóceń, zaburzających pracę przetwornika.

Do wyświetlania nastawionej wartości opóźnienia służy prosty, trzycyfrowy wyświetlacz LED. Z uwagi na ograniczoną liczbę wyprowadzeń układu ATtiny24A, jego sterowanie musi odbywać się w trybie multiplexowym. Poszczególne segmenty są załączane przez rejestr przesuwany typu 74HC595. Jego wejście aktywujące jest sterowane przez układ R16, C15, którego zadaniem jest krótkotrwałe utrzymanie wszystkich ośmiu wyjść rejestru w stanie wysokiej impedancji przez krótką chwilę od włączenia zasilania. Zapobiega to nieestetycznemu mignięciu niektórych segmentów do momentu rozpoczęcia wykonywania programu przez mikrokontroler, zanim zostanie ustalona zawartość tego rejestru. Prądy poszczególnych segmentów wynoszą ok. 6 mA, więc prąd całej cyfry może wynieść nawet 48 mA.

Wykaz elementów:

Rezystory:

R1: 1 Ω SMD0805
R2, R5, R7...R10, R15: 3,3 kΩ SMD0805
R3, R11, R12, R16: 18 kΩ SMD0805
R4: 33 Ω/1 W THT
R6: 100 Ω SMD0805
R13, R14, R17...R24: 510 Ω SMD0805
P1: 100 kΩ jednoobrotowy THT

Kondensatory:

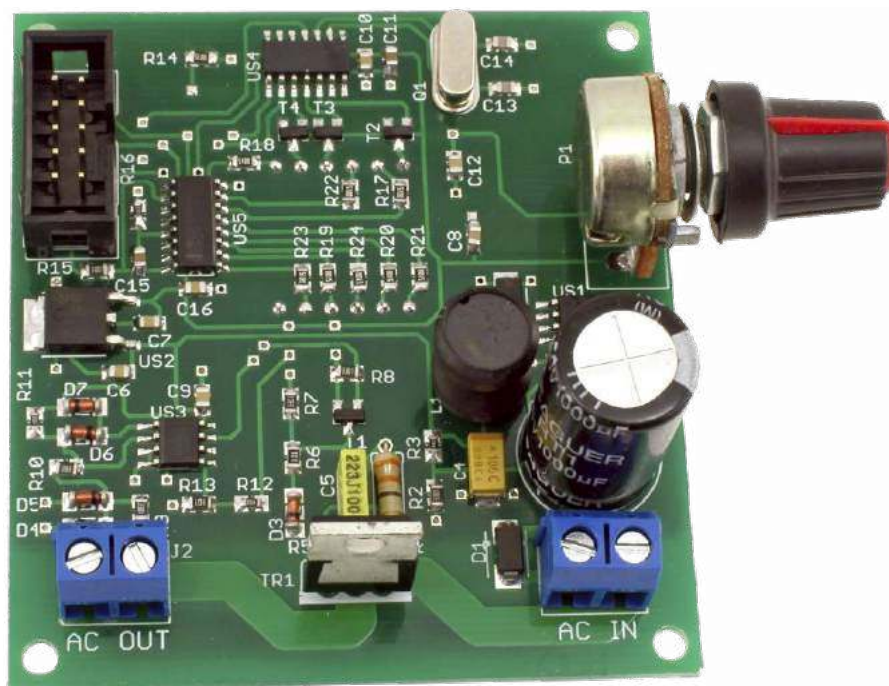
C1: 1000 μF/50 V THT raster 5 mm
C2, C6, C7, C9, C10, C12, C16: 100 nF 50 V SMD0805
C3: 220 pF SMD0805
C4: 10 μF 16V SMD C tantalowy
C5: 22 nF 63 V MKT raster 5 mm
C8, C11, C15: 10 μF 16V SMD0805
C13, C14: 15 pF SMD0805

Półprzewodniki:

D1, D2: BYS11-90
D3...D7: 1N4148 MiniMELF
LED1: AT5636BMR
T1...T4: IRLML6402
TR1: BT136-600E T0220
U1: MC34063A S08
U2: 78M05 DPAK
U3: LM358 S08
U4: ATtiny24A S014
U5: 74HC595 S016

Inne:

J1, J2: ARK2/500
J3: IDC 10 pin 2,54 mm THT proste
L1: 330 μH pionowy
Q1: 8 MHz THT niski



Fotografia 1. Widok zmontowanego układu od strony BOTTOM

Dlatego cyfry są załączane za pośrednictwem dodatkowych tranzystorów MOSFET, na których spadek napięcia w stanie przewodzenia jest minimalny.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 65×70 mm, której wzór ścieżek oraz schemat

montażowy pokazuje **rysunek 3**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe.

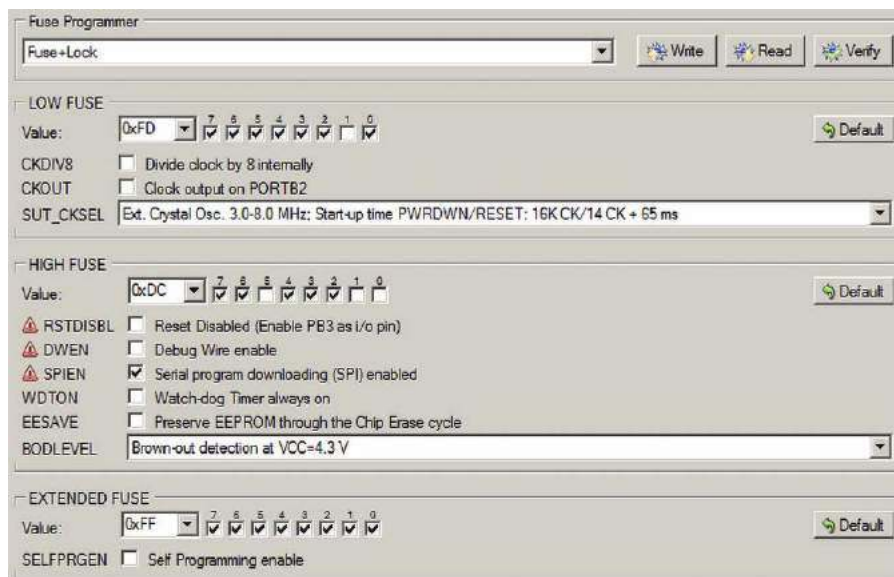
Montaż najlepiej rozpocząć od przylutowania wszystkich elementów powierzchniowych, ponieważ znajdują się po jednej stronie płytki. Następnie warto przejść do elementów w obudowach do montażu przewlekane, które również znajdują się po spodniej (BOTTOM) stronie płytki, czyli R2, Q1, C5, J1, J2, L1, J3, skończywszy na kondensatorze C1. Na samym końcu należy włutować wyświetlacz LED1, który, jako jedyny, musi być umieszczony na wierzchniej stronie płytki (TOP).

Potencjometr P1 można włutować po dowolnej stronie płytki lub wyprowadzić go na niezbyt długich przewodach w dogodnym miejscu na obudowie urządzenia. Zmontowany układ prototypowy pokazuje **fotografia 1** – potencjometr został włutowany po spodniej stronie płytki, aby konstrukcja była bardziej zwarta.

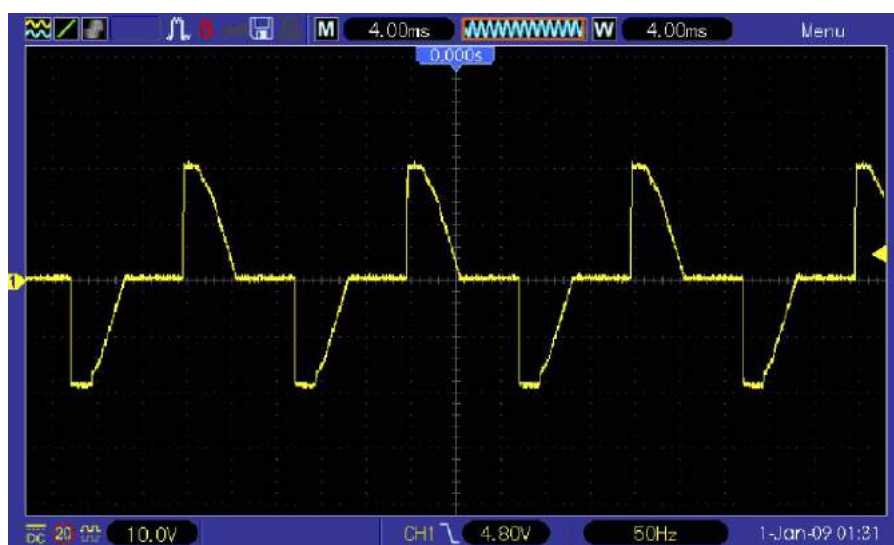
Zmontowany układ należy zaprogramować, używając gotowego wsadu pamięci Flash. Ustawienia bitów zabezpieczających mikrokontrolera ATtiny24A należy ustawić następująco: Low Fuse = 0xFD, High Fuse = 0xDC. Szczegóły pokazuje **rysunek 4**, zawierający zrzut z okna programu BitBurner. Taka konfiguracja bitów zabezpieczających uruchomi generator wzbudzający zewnętrzny rezonator kwarcowy oraz ustawi próg zadziałania zabezpieczenia Brown-out na 4,3 V.

Podczas programowania układ należy zasiląć, doprowadzając napięcie o odpowiedniej wartości do zacisków złącza J1. Należy przy tym pamiętać, że jeden z zacisków złącza J1 jest połączony z masą układu, a tym samym – z masą programatora. Na potrzeby samego programowania może być to również napięcie stałe, o wartości z zakresu 15...40 V. Prawidłowo zmontowany oraz zaprogramowany układ nie wymaga dalszych czynności uruchomieniowych i jest gotowy do pracy.

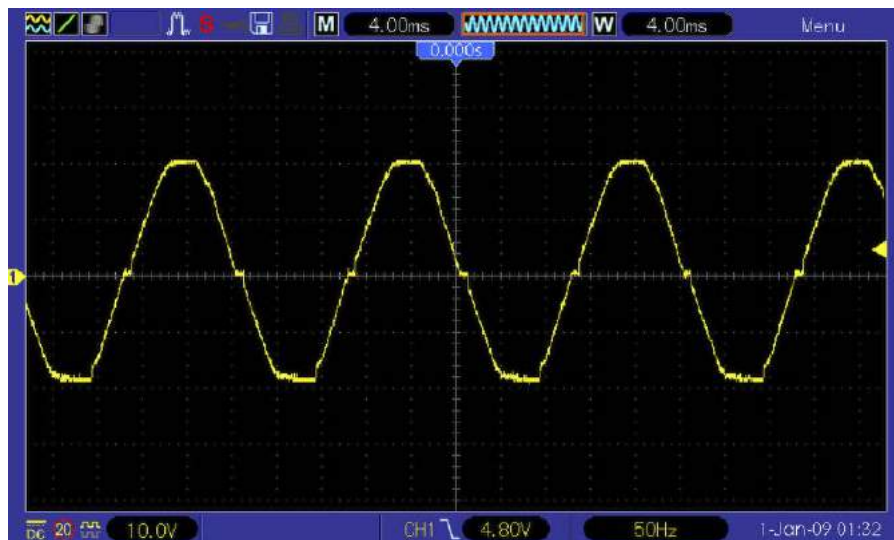
Zasilanie, np. transformator sieciowy, należy dołączyć do zacisków J1, a obciążenie, np. żarówka, do zacisków J2. Maksymalny prąd obciążenia determinuje



Rysunek 4. Konfiguracja bitów zabezpieczających w programie BitBurner



Rysunek 5. Przebieg napięcia na obciążeniu: triak załączony przez 50% okresu



Rysunek 6. Przebieg napięcia na obciążeniu: triak załączony przez 99,9% okresu

REKLAMA

KAMAMI www.kamami.pl

wszystko
o mikrokontrolerach

STM32

sprawdź naszą ofertę
na **KSIĄŻKI**
i **eBOOKI**

wytrzymałość prądową triaka oraz ścieżek i złączy ARK. Triak BT136-600E może przetrwać do 4 A (wartość skuteczna), ścieżki ok. 8 A (przy grubości miedzi 35 μm i podniesieniu temperatury o 20°C), zaś złącza ok. 10 A. Triak można wymienić np. na BT137-600E, który wytrzyma prąd o wartości skutecznej 8 A. Istotne jest, aby miał tzw. czułą bramkę (*sensitive gate*), co ułatwi jego wyzwalanie – w przypadku tego triaka czułość bramki wynosi 10 mA. W każdej sytuacji należy zadbać o prawidłowe chłodzenie triaka. Moc wydzielana na nim będzie tym większa, im większa będzie część okresu, przez którą przewodzi.

Eksploatacja

Układ prototypowy został przetestowany przy zasilaniu napięciem o wartości ok. 12 V wartości skutecznej i pod obciążeniem rezystancyjnym. Przy użyciu oscyloskopu zostały wykreślone (przy tej samej podstawie czasu i czułości toru Y) przebiegi napięcia na zaciskach obciążenia przy ustawieniu 50% (**rysunek 5**) i 99,9% (**rysunek 6**) czasu trwania triaka w stanie przewodzenia.

Można na nich zobaczyć, zwłaszcza na rysunku 6, zniekształcenie przebiegu napięcia, które przypomina zniekształcenie skrośne znane ze wzmacniaczy klasy B. Ta chwilowa „nieczułość” triaka jest spowodowana dwiema przyczynami.

Pierwszą z nich jest niewielki margines, jaki układ pozostawia między wykryciem przejścia napięcia przez zero a załączeniem bramki triaka. Ten margines służy zapobieganiu przypadkowemu wyzwalaniu triaka w sytuacji, gdy nie uległ on jeszcze całkowicie wyłączeniu po poprzednim półokresie. Analogiczny margines został wprowadzony przy bardzo małych wartościach czasu trwania stanu załączenia, aby nie dochodziło do tzw. przeciągania stanu załączenia na następny okres.

Druga z nich jest bardziej prozaiczna: spadek napięcia na przewodzącym triaku wynosi ok. 1,4 V (napięcie przewodzenia dwóch złączy p-n). Jeżeli wartość chwilowa napięcia zasilającego nie przekroczyła tej wartości, nie dojdzie do załączenia triaka.

Listing 1. Fragmenty kodu programu realizujące regulację fazową

```
//załączenie bramki triaka
#define GATE_ON PORTA&=0b01111111
//wyłączenie braki triaka
#define GATE_OFF PORTA|=0b10000000
//wartość pobrana z ADC z zakresu 0 - 1023
volatile uint16_t adc = 0;
//stan pracy układu:
volatile uint8_t state = 0;
//1 - rozpoczęcie odliczania po wykryciu przejścia przez zero
//2 - załączenie bramki po odliczeniu odpowiedniego opóźnienia
//0 - stan spoczynkowy, oczekiwanie na impuls z detektora
//wartość do załadowania dla Timer1
volatile uint32_t tim1_cnt = 0;
//-----
// OBSŁUGA DETEKCJI ZERA
ISR(EXT_INT0_vect){
    //załadowanie obliczonego wcześniej opóźnienia
    TCNT1 = tim1_cnt;
    TCCR1B = (1 << CS11); //preskaler przez 8
    state = 1; //rozpoczęcie odliczania
}
//-----
// OBSŁUGA BRAMKI TRIAKA
ISR(TIM1_OVF_vect){
    //po zakończeniu załączenia bramki triaka
    if(state == 2){
        GATE_OFF; //wyłącz bramkę triaka
        TCCR1B = 0; //wyłącz Timer1
        state = 0; //przejście w stan spoczynku
    }
    //po zakończeniu odmierzenia opóźnienia
    if(state == 1){
        GATE_ON; //załącz bramkę triaka
        TCNT1 = 65531; //załaduj do odmierzenia ok. 4us
        state = 2; //oczekuj na zakończenie impulsu
    }
}
//-----
// GŁÓWNA FUNKCJA PROGRAMU
int main(void){
    //przerwanie INT0 (od zbocza narastającego)
    //do wykrywania przejścia przez zero
    MCUCR = (1 << ISC01) | (1 << ISC00);
    GIMSK = (1 << INT0);
    //przerwanie TIM1 do generowania impulsów opóźniających
    //oraz załączających bramkę triaka
    TIMSK1 |= (1 << TOIE1);
    sei(); //aktywacja systemu przerwań
    while(1){
        //wartości ustalone doświadczalnie
        tim1_cnt = 55880 + (adc * 9.149);
    }
}
```

W aplikacjach zasilanych napięciem sieciowym, gdzie wartość szczytowa przekracza 300 V, ta dolegliwość jest mało znacząca.

Dla ciekawskich

Najważniejsze fragmenty kodu programu znajdują się na **listingu 1**. Został napisany w języku C i skompilowany przy użyciu AVR-GCC. Impulsy oznaczające przejście napięcia sieciowego przez zero są wykrywane za pomocą przerwania INT0. W momencie wykrycia takiego impulsu uruchamiany jest licznik TIMER1, po czym układ czeka na przepełnienie. Kiedy ono nastąpi, załączana jest bramka triaka, a do rejestru TCNT1 ładowana jest taka wartość, jaka

zapewni przepełnienie po upływie około 4 μs . Tyle wystarczy, aby prawidłowo załączyć triak. Kiedy nastąpi kolejne przepełnienie, sygnalizujące koniec odliczania tego czasu, TIMER1 jest wyłączany tak samo, jak bramka triaka.

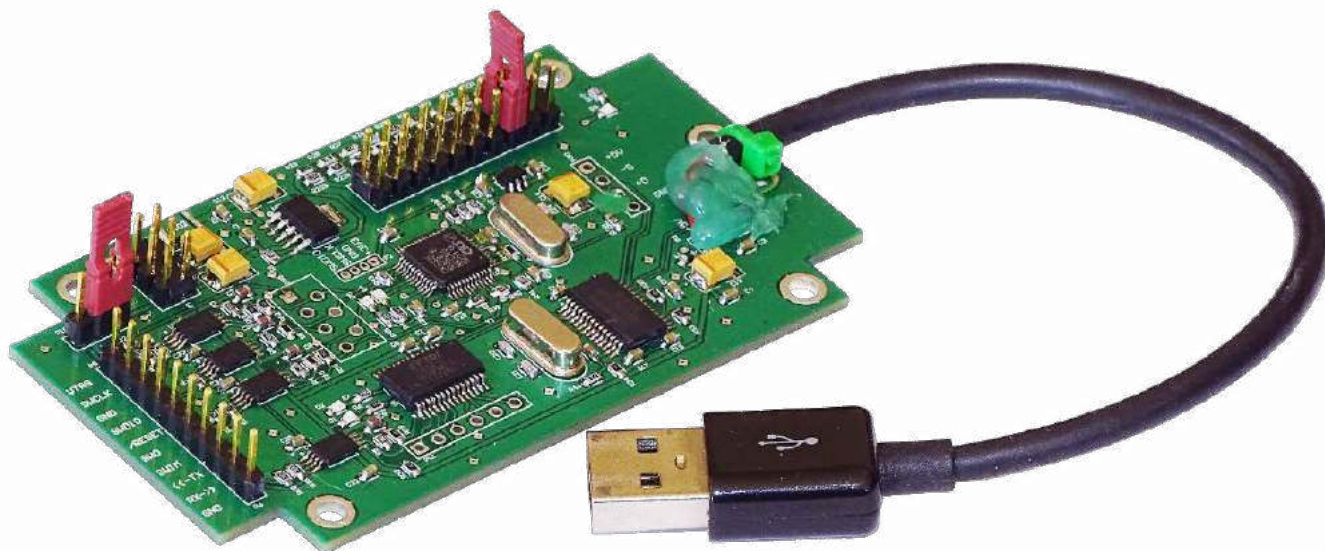
Wyniki konwersji z ADC są uśredniane (ten fragment nie znajduje się na **listingu 1**) oraz przeliczane na zadaną wartość opóźnienia w pętli głównej, ponieważ nie jest to czynność krytyczna czasowo. Współczynniki do konwersji wartości pobranej z ADC na wartość opóźnienia zostały dobrane doświadczalnie.

Michał Kurzela, EP

Chcesz czytać nasze najnowsze artykuły jeszcze przed wydrukowaniem w EP?

Zajrzyj na

www.ep.com.pl/EPwtoku



System uruchomieniowy dla układów z procesorami STM

Prezentowany układ realizuje funkcje programatora i debuggera układów STM8 i STM32, a dodatkowo zawiera również zasilacz stabilizowany o nastawnym napięciu wyjściowym oraz wirtualny port szeregowy. Istotną cechą systemu jest użycie tylko jednego portu USB oraz możliwość uruchamiania układów z zasilaniem od 1,2 do 4,4 V.

W dotychczasowej praktyce autor, do uruchamiania układów z procesorami STM, używał programatora-debuggera kompatybilnego z ST-LINK/V2, osobnego interfejsu wirtualnego portu szeregowego oraz zasilacza stabilizowanego sterowanego z portu USB. Wszystkie te elementy wymagały trzech portów USB. Jednak w komputerach często brakuje odpowiedniej liczby tego typu złączy, a część jest zazwyczaj zajęta przez inne urządzenia. Konieczność użycia huba powodowała powstawanie dość sporej plątaniny kabli i połączeń.

Budowa i działanie

Pełny schemat prezentowanego układu pokazano na **rysunku 1**. Zasilacz został zbudowany w oparciu na liniowym stabilizatorze napięcia MCO1824_ADJ (VR2). Dobór napięcia odbywa się za pomocą zwory ustawianej w jednej z dziesięciu pozycji złącza P4. Wartości tych napięć można ustalić przez dobór rezystorów R1 oraz sumy oporności R2x+R22x zgodnie ze wzorem:

$$U_{out} = 0,41(R1/(R2x+R22x)+1)[V]$$

Użycie dwóch rezystorów połączonych szeregowo R2x i R22x pozwala na uzyskanie odpowiedniej dokładności napięcia z zastosowaniem oporników o tolerancji 5%. Stosując inne wartości niż zaznaczono na schemacie, użytkownik może wybrać inny zestaw napięć, niż ten pokazany na rysunku 1. Maksymalne napięcie, na jakie się zdecydowano (4,2 V), nie jest typowe dla układów mikroprocesorowych, jednak może posłużyć np. do podładowania małego akumulatora litowego.

Napięcie stabilizowane dostępne jest na złączu P1. Na tym samym złączu dostępne jest również pełne napięcie interfejsu USB zabezpieczone bezpiecznikiem polimerowym F1 (300 mA). Wydajność stabilizatora napięcia wynosi również około 300 mA, jednak przy niższych napięciach wyjściowych należy wziąć pod uwagę ograniczenie wydzielanej w stabilizatorze mocy i grzanie się układu.

Wirtualny port szeregowy zbudowano bazując na układzie firmy FTDI typu FT232RL (U1). Nie wymaga zastosowania rezonatora

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-5772

Podstawowe parametry:

- użycie jednego portu USB do uzyskania, funkcja programatora-debuggera kompatybilnego z ST-LINK/V2 dla układów STM32 (interfejs SWD z sygnałem SWO) oraz STM8 (interfejs SWIM),
- wirtualny port szeregowy w oparciu na układzie firmy FTDI,
- zasilacz stabilizowany o nastawnym napięciu od 1,2 do 4,2 V (10 wartości) i wydajności prądowej do 300 mA,
- możliwość uruchamiania układów o napięciu pracy od 1,2 do 4,4 V.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- AVT-5726 Rysino – płytka ewaluacyjna z FPGA Intel MAX10 (EP 11/2019)
- AVT-5574 Płytki ewaluacyjne dla STM32F2/F4/F7 do celów SDR i nie tylko (EP 2/2017)
- AVT-5529 Zestaw uruchomieniowy z mikrokontrolerem ATXMEGA256A3U (EP 2/2016)
- AVT-1875 Kieszonkowa płytka prototypowa (EP 8/2015)
- AVT-1772 Płytki uruchomieniowe z mikrokontrolerem Precision32 (EP 9/2013)

*** 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

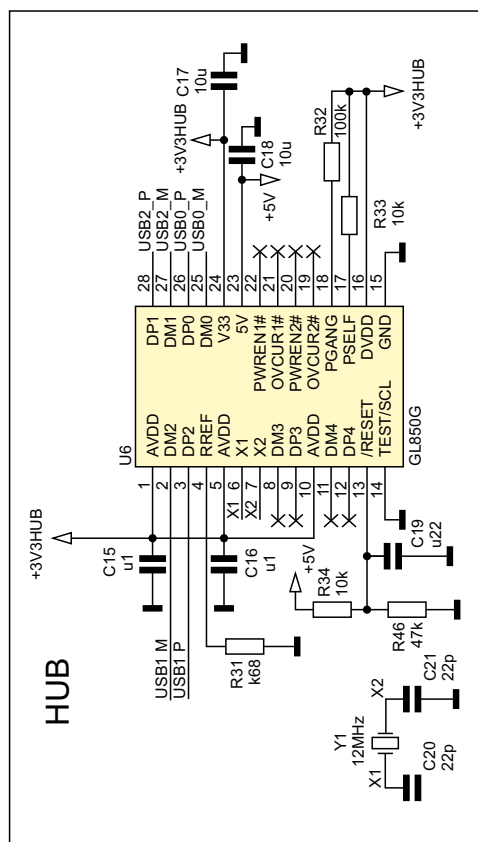
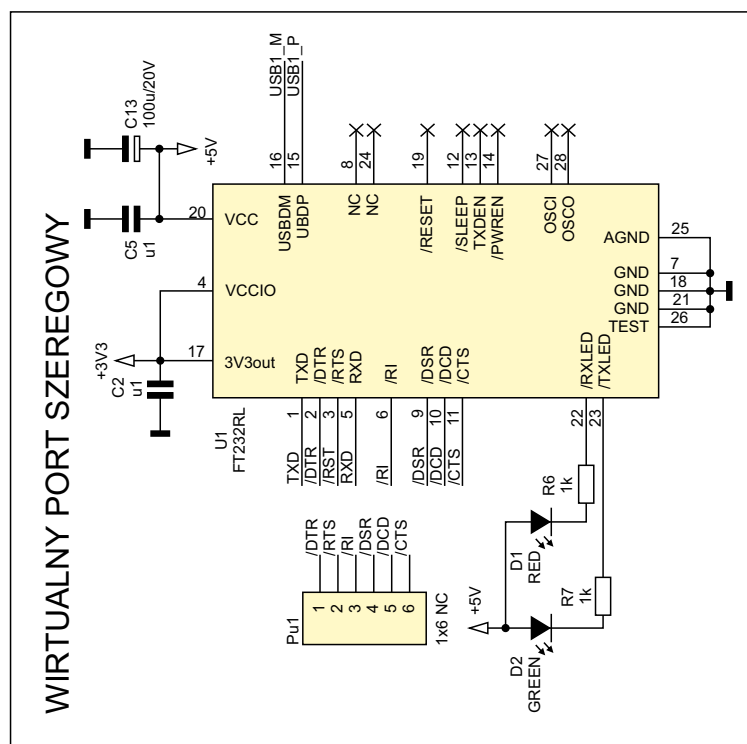
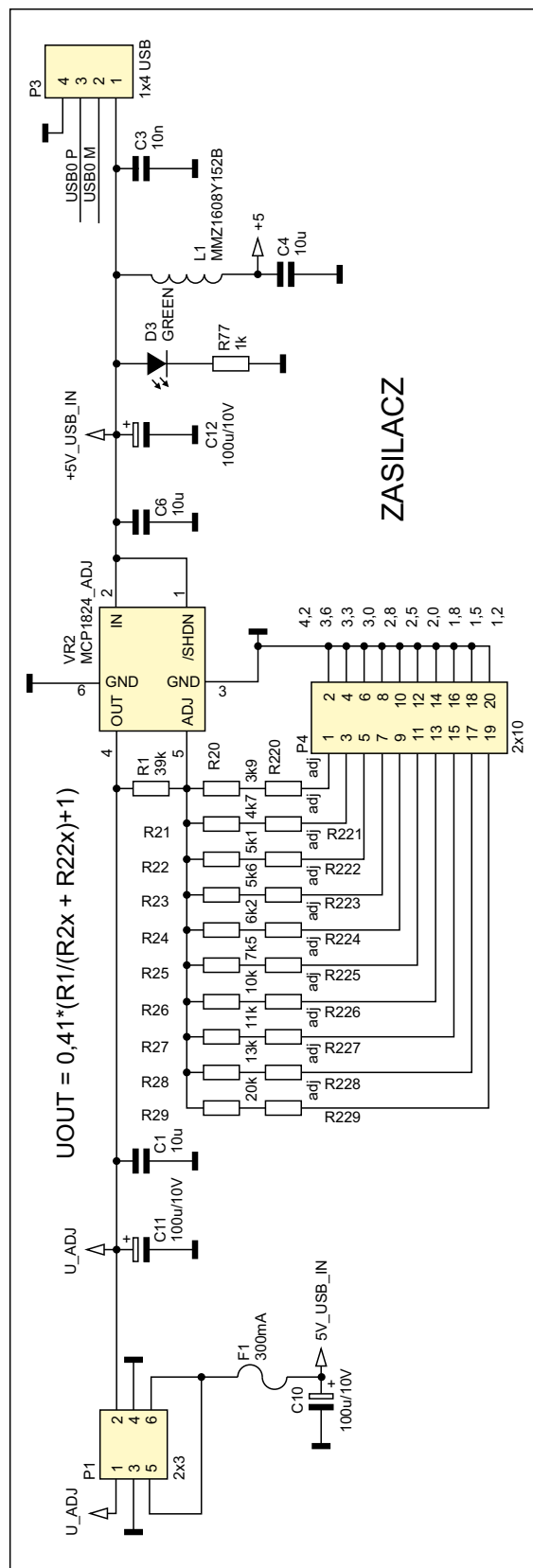
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! <http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

kwarcowego oraz ma wszystkie sygnały portu szeregowego. W prezentowanym układzie potrzebne są tylko sygnały TX i RX podłączone do translatora napięć, ale pozostałe sygnały mogą być udostępnione na złączu Pu1 – jednak tylko w logice 3,3 V. Zgodnie z notą aplikacyjną układu zastosowano dwie diody LED do sygnalizacji nadawania i odbioru

sygnałów. Jako huba USB użyto układu scalonego GL850G w jego podstawowej konfiguracji bez dodatkowej pamięci konfiguracyjnej.

Sercem układu jest programator-debugger zbudowany w oparciu na procesorze STM32F103 (U7). Zastosowano układ wylutowany z programatora kompatybilnego z ST-LINK/V2 (**fotografia 1**). Programatory

te są stosunkowo tanie i dostępne w wielu sklepach internetowych. Mniej zaawansowani czytelnicy, którzy czują respekt przed wylutowywaniem procesora, mogą wykonać konstrukcję mniej estetyczną, pokazaną na **fotografii 2**, gdzie płytke programatora po odlutowaniu złącz USB i IDE przylutowano do złącz Pu3 i Pu4 (intencjonalnie

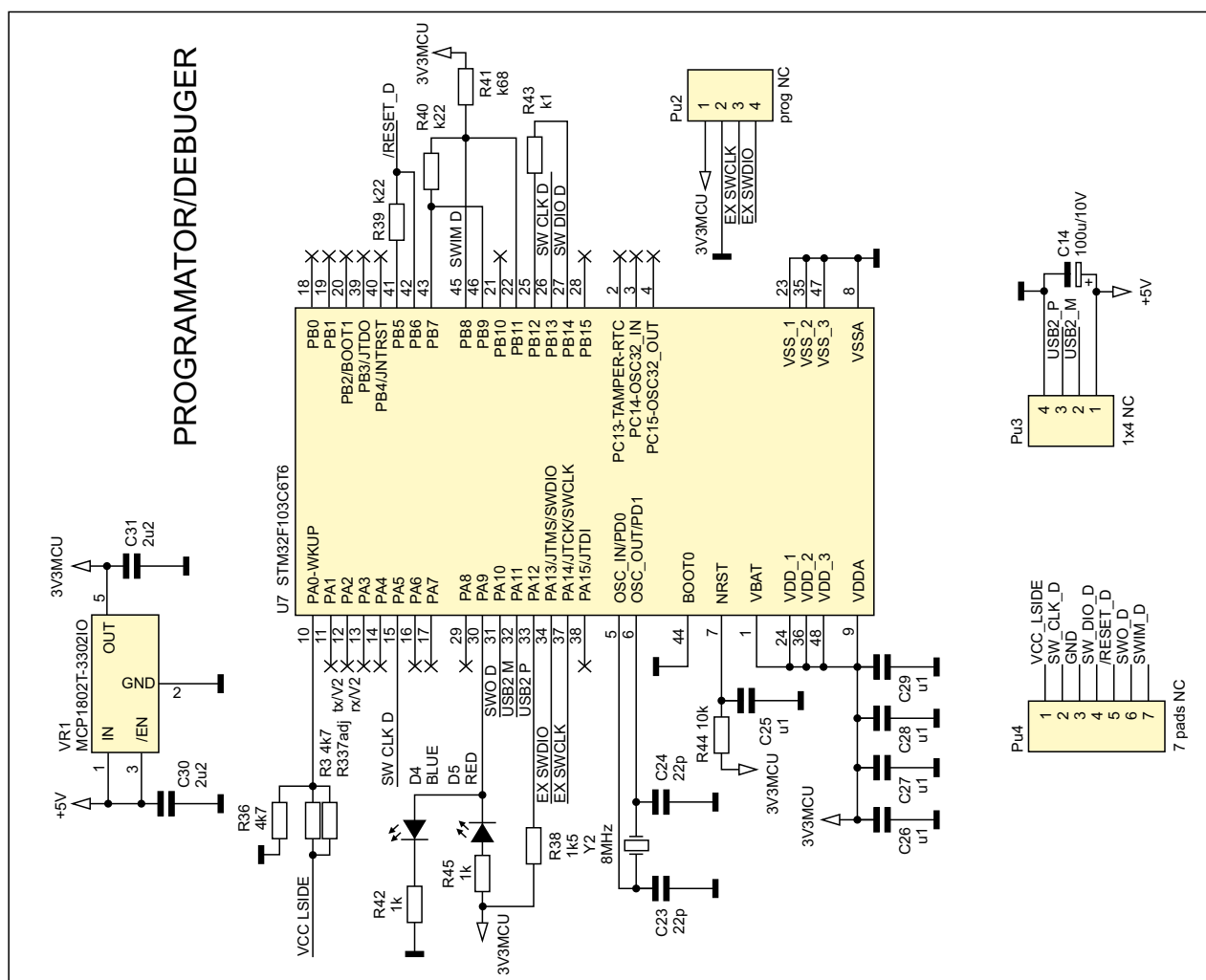
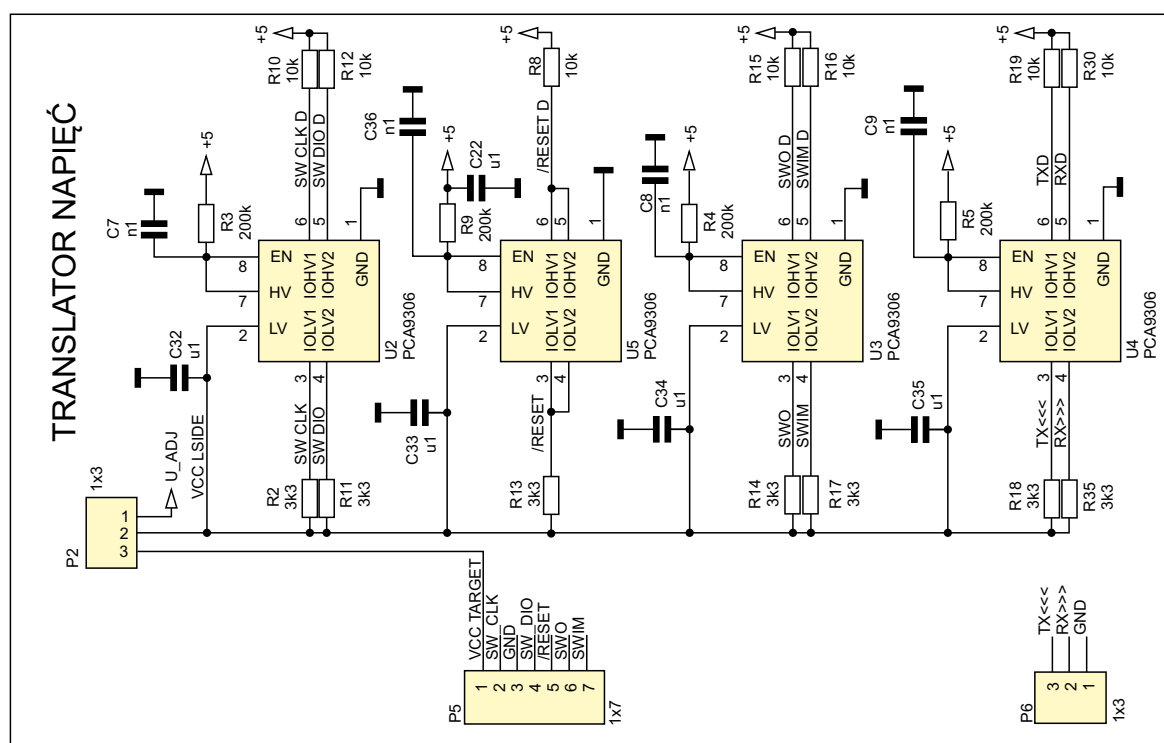


Rysunek 1. Schemat ideowy układu

w tym celu umieszczonych) za pomocą przewodów. Natomiast konstruktorzy bardziej zaawansowani mogą zastosować procesor

niezaprogramowany i zaprogramować go samodzielnie, używając do tego złącza Pu3 (opis i program można znaleźć w Internecie).

Oprogramowanie programatora ma jednak ciekawe dodatkowe własności, których nie wykorzystano w modelu z fotografii 3. Okazuje



Rysunek 1. Schemat ideowy układu – cd.



Fotografia 1. Programator-debugger kompatybilny z ST-LINK/V2 zastosowany w projekcie

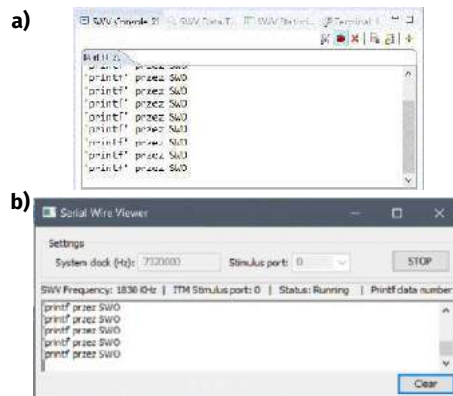


Fotografia 2. Sposób montażu programatora-debuggera dla mniej zaawansowanych

się, że na pinie 31 jest udostępniony sygnał SWO (Serial Wire Output), który może posłużyć za dodatkowy interfejs do debugowania uruchamianych systemów. Wystarczy stosować w uruchamianym układzie procedury `printf()`. **Rysunki 2a i 2b** pokazują odbiór tych sygnałów w programach *STM32 ST-LINK Utility* oraz

Atollic True Studio. Układ programatora korzysta również z wejścia analogowego na pinie 10 do pomiaru napięcia zasilania. W układzie pierwotnym wejście jest podłączone do zasilania (3,3 V) poprzez dzielnik rezystancyjny o współczynniku 1/2 (na wielu schematach są to oporniki 10 kΩ lub 4,7 kΩ). W prezentowanym systemie dzielnik połączono z napięciem układu docelowego. Przykłady odczytu tego napięcia pokazano na **rysunkach 3a i 3b**, (program *STM32 ST-LINK Utility*). Ponieważ odczytywana wartość była nieco zaniżona, zastosowano dodatkowy rezystor R337≈20·R37, który pozwolił uzyskać prawidłowe odczyty. Na rysunkach 3a i 3b widać też, że prezentowany system pracuje z maksymalną częstotliwością komunikacji, wynoszącą 4 MHz.

Sygnały programatora-debuggera: SWD, SWIM oraz sygnały TX i RX portu szeregowego są dostępne na złączach P5 i P6. Część tych sygnałów jest dwukierunkowa, a część jednokierunkowa. Jednak w celu ujednolicenia układu zdecydowano się na zastosowanie jednakowych, dwukierunkowych translatorów napięcia typu PCA9306. Pierwotna strona tych układów może być podłączona



Rysunek 2. Odbiór sygnału SWO: a) w programie STM32 ST-LINK Utility, b) w programie Atollic True Studio

bezpośrednio do zasilania uruchamianego układu (zwora P2 w pozycji 2-3) lub do zasilacza stabilizowanego (P2 w pozycji 1-2). Napięcie po stronie wtórnej wynosi 5 V, co pozwala na uruchamianie układów z napięciem zasilania do 4,4 V (o 0,6 V mniej niż napięcie strony wtórnej: ok. 5 V). Minimalne napięcie dla strony pierwotnej wynosi 1,2 V. Należy zwrócić uwagę, że wtórna strona translatorów

Zestaw startowy z serii STM32 Nucleo-32

Dzięki uprzejmości firmy Kamami, mamy dla czytelników EP zestaw startowy z serii STM32 Nucleo-32 wyposażony w mikrokontroler STM32L031. Płytki ewaluacyjne z serii Nucleo-32 wyposażone są w debugger ST-Link i złącze zgodne z Arduino Nano. Dostępne są dla nich biblioteki oraz przykłady, współpracują z ARM mbed.

Wybrane parametry modułu:

- Mikrokontroler STM32L031K6T6 w 32-wyprowadzeniowej obudowie
- Złącze zgodne z Arduino nano
- Współpraca ze środowiskiem ARM mbed
- Wbudowany debugger ST-LINK/V2 ze złączem SWD
- Trzy diody LED
- Przycisk reset
- Współpraca ze środowiskami: IAR, Keil, GCC

Klub Aplikantów Próbek

to inicjatywa redakcji „Elektroniki Praktycznej”. W kontaktach z firmami redakcja często otrzymuje do przetestowania próbki podzespołów, modułów, a nawet całych urządzeń elektronicznych. Są to zwykle najnowsze typy/modeli produktów na rynku. Z chęci podzielenia się z Czytelnikami tymi próbkami zrodziła się inicjatywa pod nazwą Klub Aplikantów Próbek.

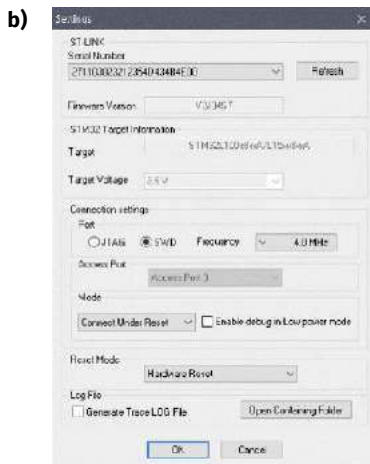
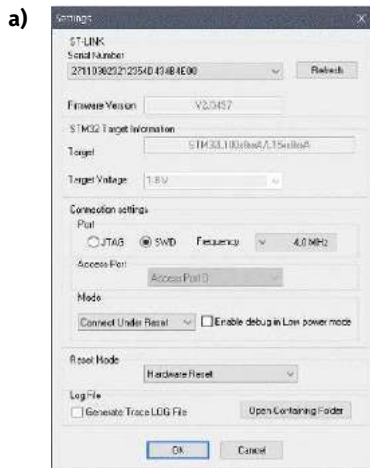
Członkiem KAP może stać się każdy, kto zgłosi chęć przetestowania próbki. Wykaz i krótki opis próbek, którymi dysponuje redakcja EP, można znaleźć na stronie ep.com.pl/nawosci/kap. Wystarczy wybrać próbkę i zaplanować jej zastosowanie. Następnie należy wysłać wiadomość na adres: damian.sosnowski@ep.com.pl (Redaktor Prowadzący) z prośbą o przesłanie bezpłatnej próbki, opisując swój pomysł oraz podając dane do wysyłki.



www.ep.com.pl/kap

Mile widziane, choć nieobowiązkowe, jest też przysłanie do redakcji EP opisu wykonanej aplikacji próbek. Najciekawsze opisy opublikujemy na naszej stronie ep.com.pl lub na łamach „Elektroniki Praktycznej”.

Z uwagi na ograniczoną liczbę dostępnych próbek i niemałe zainteresowanie nimi, prosimy o opisanie swojego pomysłu na projekt na naszym forum internetowym, w dziale poświęconym Klubowi Aplikantów Próbek <http://bit.ly/2qeN28e>. Ponadto, by dodatkowo zwiększyć swoje szanse należy polubić fanpage „Elektroniki Praktycznej” na Facebooku (<http://bit.ly/2WygFO9>) oraz udostępnić post, w którym opisujemy rozdawane próbki. W przypadku podobnie interesujących pomysłów na projekty, będziemy uwzględniać to jako dodatkowe kryterium wyboru.



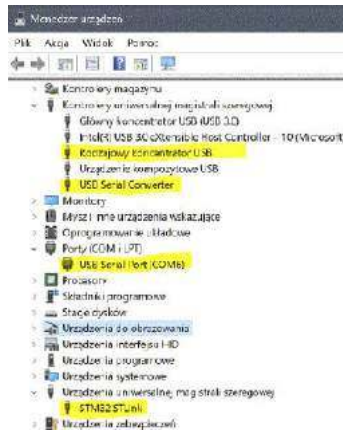
Rysunek 3. Odczyt napięcia układu docelowego zasilanego napięciem: a) 1,8 V, b) 3,6 V oraz inne ustawienia widziane w STM32 ST-LINK Utility

o napięciu 5 V współpracuje poprawnie z procesorem programatora i układem FT232, mimo że te zasilane są napięciem 3,3 V.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowano na dwustronnej płytce PCB o wymiarach 50×87 mm, której schemat wraz z rozmieszczeniem elementów pokazano na **rysunku 4**. Mechanicznie zaprojektowano płytkę tak, aby pasowała do obudowy Z-118 firmy Kradex.

Podłączenie układu z komputerem wykonano za pomocą krótkiego (15 cm) kabla zakończonego wtyczką typu A. Tak



Rysunek 5. Zmiany widoczne w menedżerze urządzeń (dla Windows 10) po podłączeniu układu do komputera

wykonane połączenie, bez dodatkowych złączy i kabli o niewielkiej długości, zapewnia zminimalizowanie spadku napięcia zasilania.

Zmontowany prawidłowo układ powinien działać bez dodatkowych zabiegów. Należy tylko dobrać rezystory R220...R229 tak, aby napięcia stabilizowane przez układ VR2 miały prawidłowe wartości oraz R337 tak, aby napięcie odczytane w programie STM32 ST-LINK Utility (rysunek 3) wskazywało poprawną wartość.

Po podłączeniu układu do komputera w menedżerze urządzeń powinny pojawić się nowe wpisy zaznaczone na **rysunku 5** (widok dla Windows 10), co będzie świadczyło o jego prawidłowym funkcjonowaniu. Poprawność funkcjonowania układu sprawdzono w programach STM32 ST-LINK Utility, Atollic True Studio oraz STM32CubeIDE.

Na koniec jeszcze dodatkowa uwaga. W prezentowanym układzie zastosowano procesor z układu kompatybilnego z ST-LINK/V2. Możliwe jest również zastosowanie procesora z płytek uruchomieniowych STM. Niektóre z nich, np. układy Nucleo, mają dodatkowo wirtualny port szeregowy (VCP – Virtual Comm Port – wersja ST-LINK/V2.1). Takie rozwiązanie pozwoliłoby zrezygnować z układu FT232 i huba, ale układy

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD 0603)

R1: 39 kΩ
R2, R11, R13, R14, R17, R18, R35: 3,3 kΩ
R3, R4, R5, R9: 200 kΩ
R6, R7, R42, R45, R77: 1 kΩ
R8, R10, R12, R15, R16, R19, R26, R30, R33, R34: 10 kΩ
R20: 3,9 kΩ
R21, R36, R37: 4,7 kΩ
R22: 5,1 kΩ
R23: 5,6 kΩ
R24: 6,2 kΩ
R25: 7,5 kΩ
R27: 11 kΩ
R28: 13 kΩ
R29: 20 kΩ
R31, R41: 680 Ω
R32, R44: 100 kΩ
R38: 1,5 kΩ
R39, R40: 220 Ω
R43: 100 Ω
R46: 47 kΩ
R220...R229, R337: dobierane wartości – opis w tekście

Kondensatory: (SMD0603 o ile nie zaznaczono inaczej)

C1, C4, C6, C17, C18: 10 μF
C2, C5, C15, C16, C22, C25, C26, C27, C28, C29, C32, C33, C34, C35: 100 nF
C3: 10 nF
C7, C8, C9, C36: 100 pF
C19: 220 nF
C20, C21, C23, C24: 22 pF
C30, C31: 2,2 μF
C10, C11, C12, C13, C14: 100 μF/10 V tantalowy SMB

Półprzewodniki:

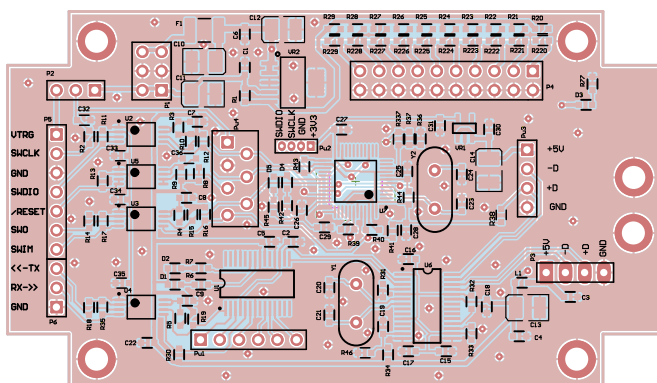
D1, D5: LED czerwona SMD0603
D2, D3: LED zielona SMD0603
D4: LED niebieska SMD0603
U1: FT232RL
U2...U5: PCA9306DTR2G
U6: GL850G
U7: STM32F103C6T6 (z programatora kompatybilnego z ST-LINK/V2)
VR1: MCP1802T-3302IO
VR2: MCP1824_ADJ

Pozostałe:

Y1: rezonator kwarcowy 12 MHz
Y2: rezonator kwarcowy 8 MHz
L1: koralik ferrytowy 1500 Ω/100 MHz/300 mA, np. MMZ1608Y152B w obudowie SMD0603
F1: bezpiecznik polimerowy 300 mA, np. 0ZCG0030FF2C w obudowie SMD1812
P1: złącze kołkowe 2,54 mm 2×3
P2: złącze kołkowe 2,54 mm 1×3
P4: złącze kołkowe 2,54 mm 2×10
P5: złącze kołkowe 2,54 mm 1×7
P6: złącze kołkowe 2,54 mm 1×3
Kabel USB o długości 10...20 cm z wtyczką typu A
Obudowa Z-118 (Kradex)

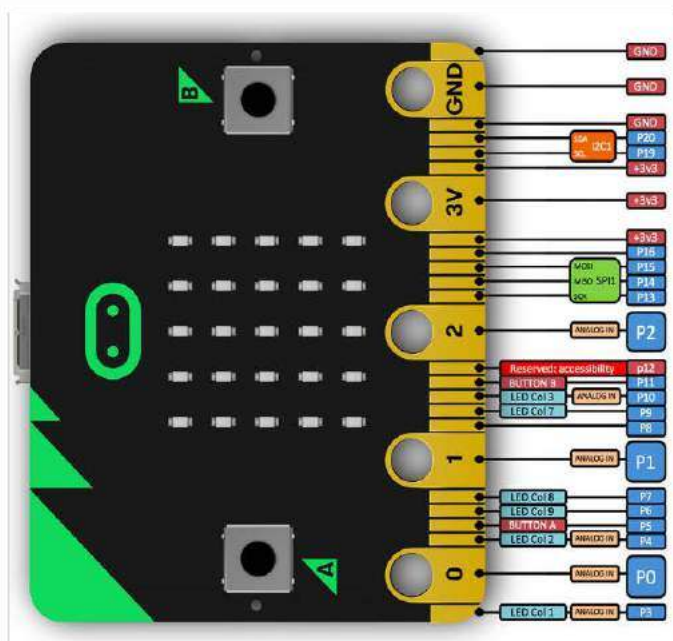
te programują albo procesory STM32 (interfejs SWD), albo STM8 (interfejs SWIM) w zależności typu obsługiwanego procesora, co może być pewną niedogodnością.

JSW



Rysunek 4. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów





Pomiar pulsu z użyciem płytki micro:bit

Micro:bit to niewielka, bogato wyposażona płytka ewaluacyjna, dzięki której każdy może szybko zaimplementować prototypy urządzeń wykonujących naprawdę zaawansowane funkcje, bez poświęcania wielu godzin na pisanie programu. W prezentowanym projekcie pokazano praktyczne zastosowanie płytki micro:bit – jako urządzenie do pomiaru pulsu.

Micro:bit to programowalna „płytkarozwojowa” zaprojektowana przy udziale BBC i Nordic Semiconductor. Zawiera 32-bitowy procesor oraz wiele urządzeń peryferyjnych (**rysunek 1**): wyświetlacz z 25 diodami LED, przyciski, interfejsy analogowe i cyfrowe, czujnik temperatury i światła, akcelerometr, kompas, moduł transmisji radiowej, Bluetooth i interfejs USB. Jednak najważniejszy jest cel, jaki realizuje – micro:bit to moduł, z którego mogą korzystać dzieci i młodzież podczas nauki programowania i projektowania układów elektronicznych, nauki robotyki, budowy gier i prototypowania. Wraz z webowym i natywnym środowiskiem programistycznym może być obsługiwany nawet przez osoby, które nie mają pojęcia o programowaniu, a chcą od czegoś zacząć.

Podłączoną do komputera, za pomocą kabla USB, płytkę programujemy, dosłownie „wrzucając” napisane programy tak, jak na pamięć USB (**rysunek 2**). Program możemy napisać w przeglądarce internetowej lub w dedykowanej aplikacji, przy użyciu jednego z kilku języków programowania: graficznego blokowego języka programowania MakeCode (takiego jak Scratch), JavaScript, microPython lub C++. Sceptycy powinni wiedzieć, że korzystając z MakeCode, każdy może szybko zaimplementować prototypy urządzeń wykonujących naprawdę zaawansowane funkcje, bez poświęcania wielu godzin na programowanie. Urządzenie doskonale nadaje się zarówno do nauki programowania dla najmłodszych, jak i do eksperymentowania w zaciścu domowych czy uniwersyteckich laboratoriów. Jeśli potrzebujesz kontrolera do laboratoryjnego

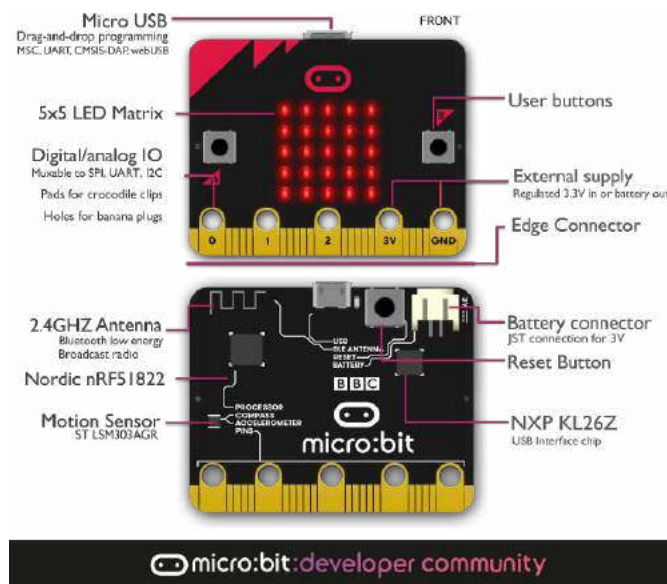


Farnell
AN AVNET COMPANY

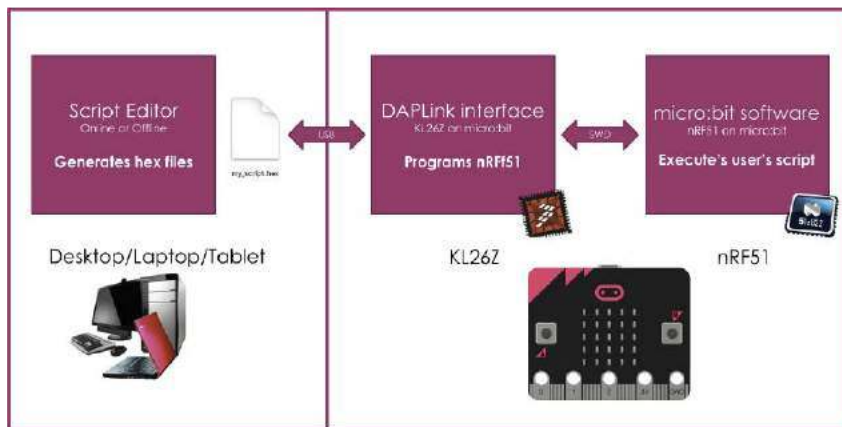
Więcej informacji:
Moduł micro:bit
otrzymaliśmy dzięki
uprzejmości firmy
Farnell
<https://bit.ly/2MmG1J2>



prototypu i nie jesteś elektronikiem i programistą embedded, to micro:bit jest właśnie dla Ciebie.

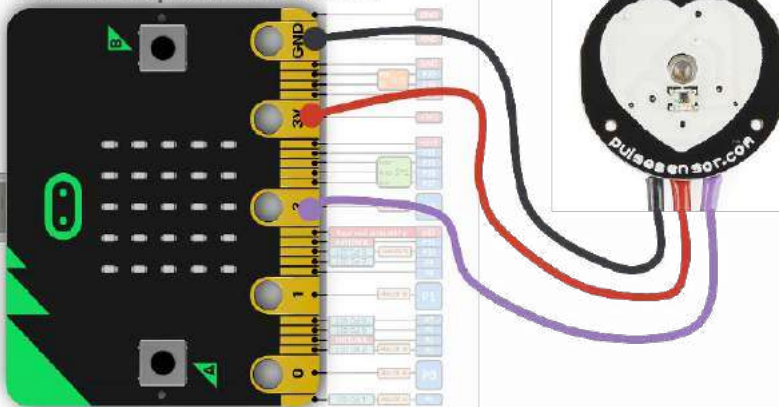


Rysunek 1. Peryferia płytki micro:bit



Rysunek 2. Programator wbudowany w płytkę micro:bit

life signal measurement
micro:bit + pulsesensor.com



Rysunek 3. Sposób dotłączenia czujnika pulsu

Pomiar pulsu

Do zbudowania monitora pulsu użyłem płytki micro:bit oraz optycznego detektora tętna pulsesensor.com. Lista wszystkich potrzebnych komponentów jest następująca:

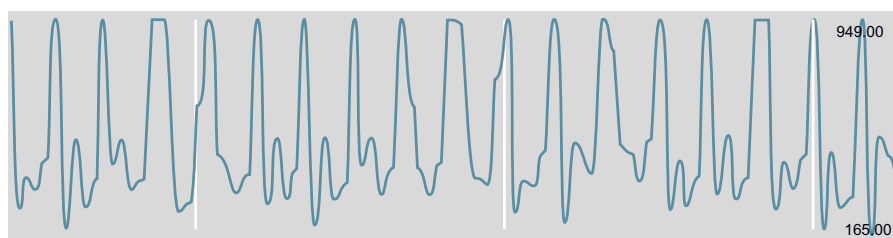
1. Płytkę micro:bit – <https://bit.ly/2LW2cXV>,
2. Czujnik pulsu PulseSensor – <https://bit.ly/2XrtRoN>,
3. Trzy przewody do płytek z zakończeniem żeńskim z jednej strony i haczykiem z drugiej,
4. Zasilacz z wtyczką USB micro-B (czyli zasilacz używany do ładowania wielu telefonów komórkowych),
5. Opcjonalnie adapter do układu micro:bit, by łatwiej było podłączyć przewody.

Optyczny detektor pulsesensor.com przymocowuje się do palca. Urządzenie prześwieca opuszek palca

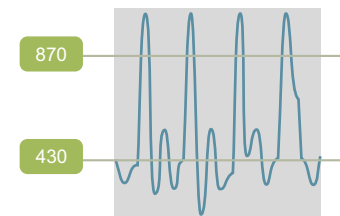
intensywnym światłem i monitoruje, jaka jego ilość powraca do detektora. Krew przepływająca w naczyniach krwionośnych pochłania światło. Możemy zaobserwować, że w jednej chwili do detektora powraca więcej światła, a w innej chwili mniej. Tak wygląda obserwacja przebiegu tętna.

Detektor ma 3 wyprowadzenia. Dwa służą do zasilania, a jeden jest wyjściem analogowym, na którym pojawia się sygnał napięciowy proporcjonalny do poziomu światła odbieranego przez detektor. Wyjście analogowe można podłączyć bezpośrednio do interfejsów analogowych mikrokontrolerów. Ja podłączyłem sygnał do płytki micro:bit tak jak na schemacie z **rysunku 3**.

Micro:bit może dzielić zasilanie z urządzeniami peryferyjnymi, więc poprzez przewody doprowadzone jest także zasilanie detektora optycznego. Interfejs



Rysunek 4. Przebieg sygnału z czujnika pulsu



Rysunek 5. Wyznaczone wartości graniczne potrzebne do wykrywania impulsów

analogowo-cyfrowy P2 płytki micro:bit odczytuje sygnał reprezentujący tętno.

Uwaga: detektor pulsesensor.com jest bardzo wrażliwy na ruch (ruch generuje zakłócenia). Ważny jest też wybór miejsca pomiaru pulsu i nacisk przy mocowaniu detektora.

Działanie programu

Na stronie internetowej <https://bit.ly/2ZwQhaV> można znaleźć najprostszy algorytm odczytu sygnału tętna z czujnika, przeznaczony dla micro:bit. W prezentowanym projekcie pokazałem więcej możliwości tego układu. Dzięki połączeniu USB pomiędzy micro:bit a komputerem PC możliwa jest graficzna prezentacja sygnału pulsu. Środowisko programistyczne micro:bit umożliwia odbieranie danych z USB i prezentowanie ich w konsoli przeglądarki lub w dedykowanym programie w postaci liczb i wykresów. Możliwe jest też zapisywanie odebranych danych do plików CSV, dla dalszej analizy. W naszym przypadku na wykresie prezentowanym w konsoli można zaobserwować przebieg mierzonego pulsu. Natomiast wartość pulsu jest prezentowana na wyświetlaczu LED. Na **rysunku 4** pokazano wykres sygnału analogowego, który jest odbierany z czujnika. Wykres reprezentuje przebieg mierzonego tętna. Zaobserwowany przebieg nie jest tak precyzyjny jak na monitorach EKG, ale daje możliwość obserwacji i pomiaru pulsu.

Sygnał elektryczny na wejściu analogowym micro:bit może mieć wartość w zakresie 0...3 V. Natomiast zmienna reprezentująca wartość odczytywanego sygnału może mieć wartość całkowitą z przedziału od 0 do 1023. Dla przebiegu z **rysunku 4** określono minimalną i maksymalną wartość zarejestrowanego sygnału. Sygnał ten obniżył się do minimalnej wartości 165 i osiągnął maksymalną wartość 949. Metodą prób i błędów zdefiniowano dwa decyzyjne poziomy sygnału odbieranego z pulsometru (**rysunek 5**):

1. Gdy poziom sygnału z pulsometru wzrośnie powyżej wartości 870, program zapisuje aktualny czas tego zdarzenia, uznając, że wykryty został impuls. Od tego ważnego momentu program nie będzie poszukiwał kolejnego wzrostu sygnału powyżej poziomu 870, aż do czasu, gdy poziom sygnału z pulsometru spadnie poniżej poziomu 430.

2. Gdy sygnał obniży się poniżej poziomu 430, program znów będzie czekał, aż poziom sygnału wzrośnie powyżej 870, by zapisać czas pojawienia się kolejnego impulsu. Na tej podstawie obliczany jest upływ czasu (delta) pomiędzy pierwszym wykrytym impulsem, a kolejnym. Wyliczona delta umożliwi, w następnym kroku, wyznaczenie pulsu.

W sygnale z pulsometru często obserwowane są zakłócenia. Po wzroście sygnału powyżej poziomu 870 sygnał może, w krótkim czasie, wielokrotnie opadać nieznacznie poniżej tego poziomu i znów wzrastać powyżej. Taki rodzaj zakłóceń mógłby powodować błędne wyniki. Dlatego niezbędne było określenie drugiego progu decyzyjnego o wartości 430, poniżej którego musi spaść sygnał, zanim rozpocznie się oczekiwanie na kolejny impuls tętna (rysunek 6).

Algorytm precyzyjnego obliczania tętna z pewnością może być bardziej dokładny. Zaprezentowany w projekcie sposób wybrano jako kompromis pomiędzy jakością pomiaru pulsu a stopniem skomplikowania algorytmu i liczbą warunków w programie. Metoda wykrywania impulsu i zapisywania czasu, w którym impuls został wykryty, umożliwia obliczenie upływu czasu pomiędzy dwoma następującymi po sobie impulsami (rysunek 7) z prostego wzoru:

$$\text{delta_t} = \text{time2} - \text{time1}$$

gdzie:

time2 – to moment, w którym wykryto najnowszy impuls,

time1 – to moment, w którym wykryto impuls poprzedni.

Po obliczeniu upływu czasu pomiędzy impulsami możliwe jest obliczenie pulsu, który jest definowany jako liczba uderzeń serca podczas jednej minuty. Funkcja *Running time*, zastosowana w programie, zapisuje czas, w którym została wywołana, wyrażony w milisekundach. Obliczony upływ czasu również wyrażony jest w milisekundach. Dla poprawności obliczeń dzielimy liczbę 60 000 (jedna minuta to 60 000 milisekund) przez wyliczony upływ czasu, czyli *delta_t*. Na rysunku 8, który pokazuje algorytm blokowy, można zobaczyć sposób obliczania pulsu na podstawie upływu czasu. Zmienne w blokowym środowisku programowania micro:bit mogą przyjmować tylko wartości całkowite. Dlatego przy obliczaniu wyniku dzielenia uwzględniono poprawkę na resztę z dzielenia.

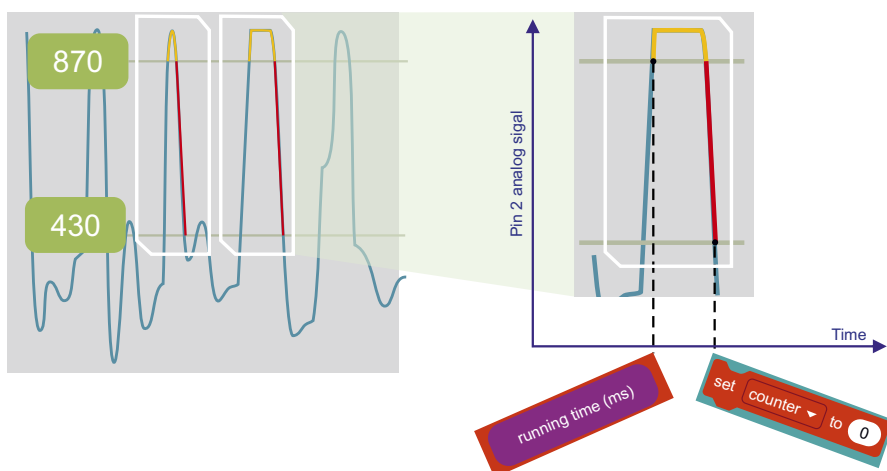
Na rysunku 8 został pokazany program w postaci graficznej, podzielony na 5 głównych bloków. Jeden wykonywany jest przy starcie aplikacji. Cztery pozostałe to pętle, które wykonywane są równoległe i, co mało elegancko, nie zawierają żadnych pauz. Na rysunku 9 pokazano listę używanych w programie zmiennych. Choć zmienne w programie blokowym nie wymagają specjalnej formy

deklaracji, to dobrze wcześniej przemyśleć ich liczbę i nazwy. Na listingu 1 pokazany jest ten sam program w języku JavaScript.

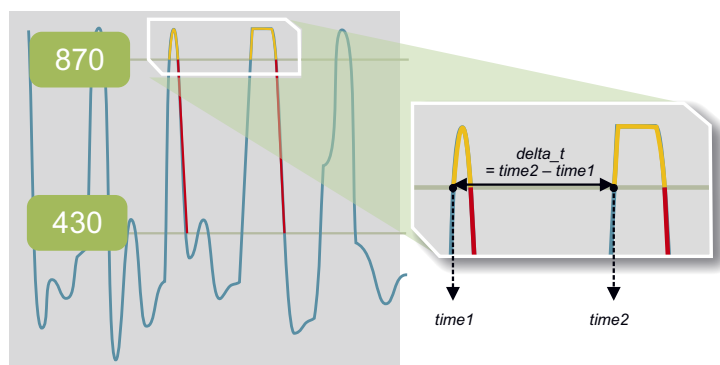
Programiści mogą szybko przełączać się pomiędzy widokiem programowania blokowego a widokiem umożliwiającym podgląd i programowanie w języku JavaScript. Oba tryby pracy można łączyć. Jeśli brakuje nam jakiegos bloku i łatwiej taką funkcję napisać

w JavaScript, to można właśnie tak zrobić. Dopisana funkcja czy linia kodu, po przełączeniu do trybu programowania blokowego, będzie zaprezentowana na oddzielnym bloku włączonym sekwencyjnie do całego programu.

Blok „On Start” to fragment programu wykonywany tylko raz jako pierwszy zaraz po uruchomieniu urządzenia. Zawiera funkcję pokazującą na wyświetlaczu LED



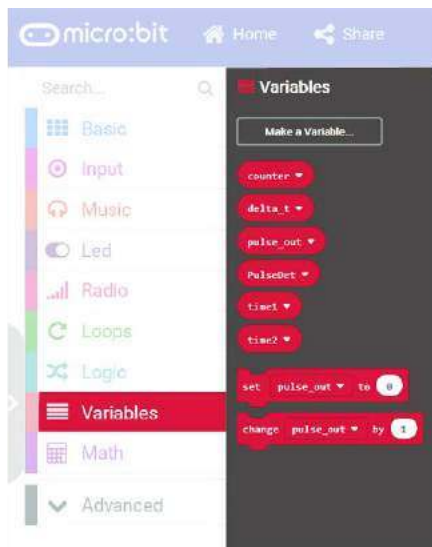
Rysunek 6. Działanie metody niwelowania zakłóceń



Rysunek 7. Sposób obliczania czasu pomiędzy impulsami



Rysunek 8. Graficzna postać programu sterującego



Rysunek 9. Zmienne użyte w programie

napis powitalny „Puls_____”. Pozostałe cztery bloki programu to pętle, które wykonywane są „równolegle”.

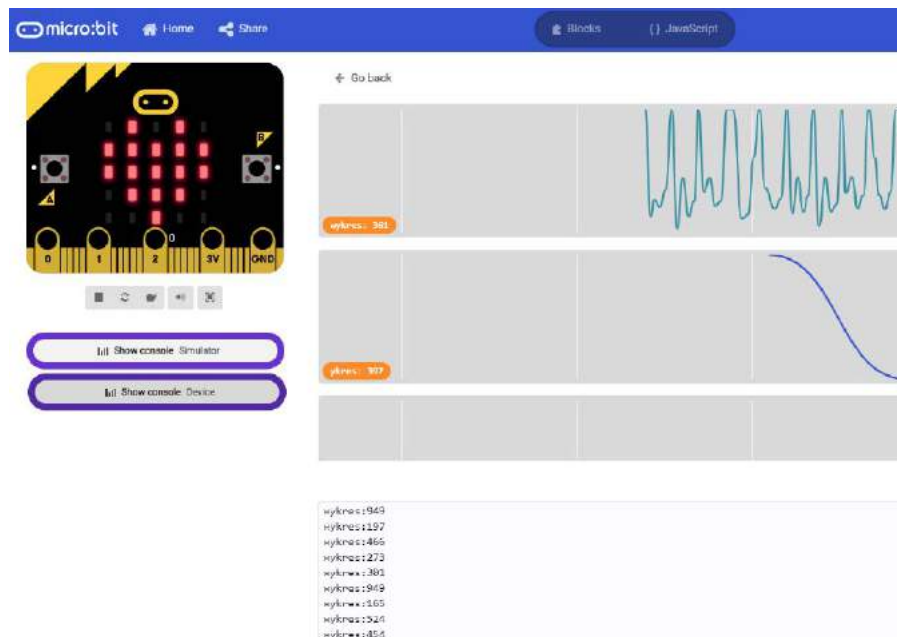
Pierwsza pętla odpowiada za odczyt wartości sygnału z pulsometru. Jest konstruowana z bloku „forever”, czyli jest wykonywana nieprzerwanie. Czujnik jest podłączony do interfejsu analogowo-cyfrowego na pinie P2 układu micro:bit. Funkcja „analog read pin P2” umożliwia odczyt wartości tego sygnału. Odczytana wartość zapisywana jest w zmiennej *PulseDet*.

Druga pętla jest wykonywana jako jeden z trzech scenariuszy. Scenariusze są wybierane w zależności od wyniku instrukcji warunkowej *if*. Pierwszy scenariusz jest wykonywany przy jednoczesnym spełnieniu dwóch warunków:

- wartość zmiennej *counter* jest równa 0,
- wartość sygnału z pulsometru zapisana w zmiennej *PulseDet* jest większa od 870.

Spełnienie obu warunków oznacza, że wykryto rosnące zbrocze impulsu. Czas wystąpienia tego zdarzenia jest zapisywany w zmiennej *time2*, a czas poprzedniego impulsu jest przenoszony do zmiennej *time1*. W kolejnym kroku wyliczana jest *delta_t*, upływ czasu pomiędzy impulsami. Warto zauważyć, że po uruchomieniu programu pierwszy wyliczony puls obarczony będzie błędem, ponieważ zmienna *time1* będzie zawierała wartość 0. W kolejnym kroku zmienna *counter* uzyskuje wartość 1. Dzięki temu upływ czasu pomiędzy impulsami i puls nie będą obliczane, dopóki wartość sygnału nie spadnie poniżej 430. Dopiero wtedy wartość zmiennej *counter* znów przyjmie 0.

Następnie wyliczany jest puls. Do zmiennej *pulse_out* zapisywana jest wartość reprezentująca puls, wyliczona jako liczba czasów pomiędzy dwoma impulsami, jaka zmieści się w jednej minucie. Wynikiem operacji dzielenia może nie być liczba całkowita. Dlatego w programie dodano poprawkę,



Rysunek 10. Konsola środowiska programistycznego

która pozwala uniknąć błędu zapisu liczby zmiennoprzecinkowej do zmiennej *pulse_out*. Pozbycie się ułamków było możliwe z wykorzystaniem funkcji *remainder of* wyliczającej resztę z dzielenia. Wartość ta jest odejmowana od 60000 milisekund a następnie wynik jest dzielony przez zmienną *delta_t*. Dzięki temu do zmiennej *pulse_out* zawsze trafi wartość całkowita. Po wyliczeniu pulsu program kończy wykonywanie pierwszego scenariusza.

Drugi możliwy scenariusz dla pętli nr 2 będzie wykonany przy spełnieniu warunków:

- wartość zmiennej *PulseDet* reprezentującej poziom sygnału z pulsometru jest mniejsza lub równa 430,
- wartość zmiennej *counter* wynosi 1.

Wartość zmiennej *counter* ustalana jest na 1 w chwili, w której sygnał z pulsometru przekroczył wartość 870. Dla wyeliminowania zakłóceń czas kolejnego impulsu nie będzie zapisywany, dopóki wartość sygnału nie obniży się do 430. Przy spełnieniu tych warunków wartość zmiennej *counter* ustawiana jest na 0. Od tego momentu znów możliwa jest rejestracja czasu wystąpienia impulsu, którego poziom wzrośnie powyżej 870.

Trzeci scenariusz wystąpi, gdy żaden z wcześniejszych scenariuszy nie zostanie wykonany, a jego zadanie to ponowne wykonanie pętli od początku.

Kolejny blok programu to trzecia pętla odpowiedzialna za wyświetlanie wartości pulsu na wyświetlaczu LED płytki micro:bit. Na ekranie

prezentowana jest wartość zmiennej *pulse_out* na przemian z ikoną obrazującą serce.

Ostatni blok programu realizuje przesyłanie wartości sygnału pulsometru do komputera PC lub innego urządzenia podłączonego do USB płytki micro:bit. W nieskończonej pętli funkcja *serial write value* wysyła tekst zawierający ciąg znaków składający się ze słów: „Pulse diagram”, oraz wartości ze zmiennej *PulseDet*. Dzięki temu w konsoli środowiska programistycznego można obserwować wykres prezentujący zmienność poziomu sygnału z pulsometru w funkcji czasu. Widok konsoli można uruchomić, klikając na przycisk Show console device (rysunek 10). Przycisk ten pojawia się tylko wtedy, gdy program korzysta z funkcji *serial write value* oraz gdy micro:bit podłączony jest do komputera. Pełny kod programu dostępu jest pod adresem <https://bit.ly/2zjGXN1>.

Jan Ekiel
jan.ekiel@likims.com

Listing 1. Program realizujący pomiar pulsu, zapisany w języku JavaScript

```
let time1 = 0
let delta_t = 0
let time2 = 0
let PulseDet = 0
let pulse_out = 0
basic.showString("Puls_____")
let counter = 0
basic.forever(function () {
  basic.showNumber(pulse_out)
  basic.showIcon(IconNames.Heart)
})
basic.forever(function () {
  PulseDet = pins.analogReadPin(AnalogPin.P2)
})
basic.forever(function () {
  serial.writeValue("Pulse diagram", PulseDet)
})
basic.forever(function () {
  if (PulseDet > 870 && counter == 0) {
    time2 = input.runningTime()
    delta_t = time2 - time1
    time1 = time2
    counter = 1
    pulse_out = (60000 - 60000 % delta_t) / delta_t
  } else if (PulseDet <= 430 && counter == 1) {
    counter = 0
  }
})
```

Mikrointerfejs użytkownika dla Pi Zero



Prezentowana płytko rozszerza funkcjonalności Raspberry Pi Zero (i nie tylko) o graficzny wyświetlacz OLED i czteropolową klawiaturę dotykową oraz umożliwia wyprowadzenie magistrali I²C do urządzeń zewnętrznych.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-5773

Podstawowe parametry:

- wyświetlacz OLED 128x64 ze sterownikiem SSD1306,
- czteropolowa klawiatura dotykowa z kontrolerem IS31SE5104,
- komunikacja poprzez interfejs I²C,
- zasilanie i sygnały GPIO są w standardzie 3,3 V.

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD0603 1%)
 R1, R5: 510 Ω
 R6, R7, R8: 2,2 kΩ
 R9: 100 Ω
 R10: 10 kΩ
 R11: 1 MΩ

Kondensatory:

C1, C2, C7: 0,1 μF SMD0603
 C3, C6, C8: 2,2 μF SMD0603
 C9: 10 μF SMD0603
 C11: 10 μF SMD3216 tantalowy

Półprzewodniki:

LD1: LED SMD0603
 DISP: wyświetlacz OLED 128x64, 30 pin, REX012864MXPP3N
 U1: IS31SE5104 S016

Inne:

A44...A47, A3C, A3D: zworka 0 Ω SMD0402
 PI: WE610310243021 2,54 mm SMT Bottom Entry 10 pin
 I2C: Złącze JST 4 pin 1 mm, kątowe
 I2CA: Złącze JST 4 pin 2 mm, kątowe

Uwagi! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

Wymagana umiejętności lutownicza!
 Podstawowa wersja zestawu jest wersją [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 wylutować 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 wylutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] - płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji
- Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] - płytkę drukowaną [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 <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

Płytko jest zgodna z każdą wersją Raspberry Pi, ale mechanicznie dopasowana jest do Pi Zero, tworząc z nim zgrany zestaw o niewielkich rozmiarach. Sygnały na złączu GPIO, których używa moduł, zestawiono w tabeli 1.

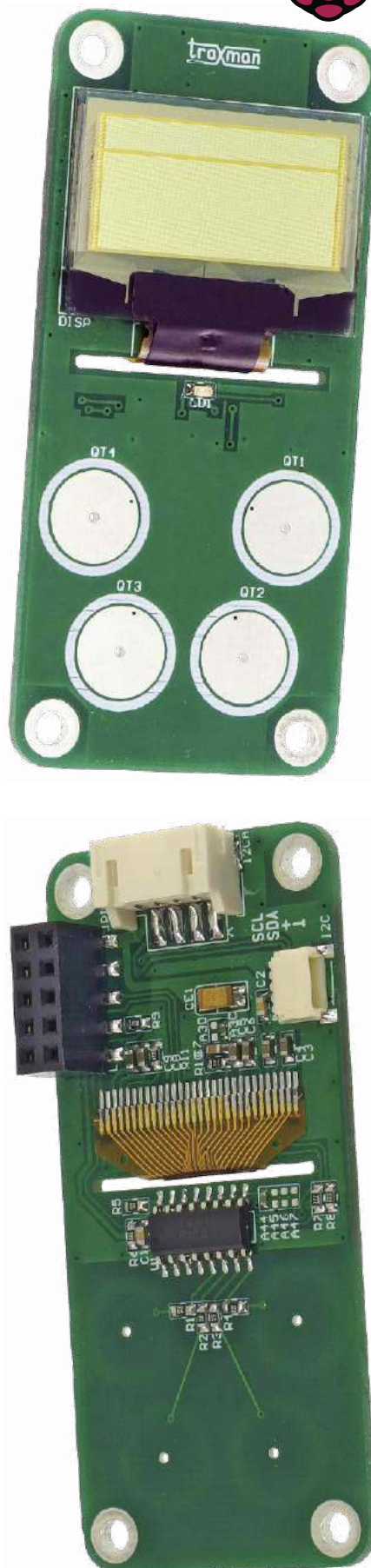
Budowa i działanie

Schemat płytki rozszerzeń pokazano na rysunku 1. Wybrany wyświetlacz OLED 128x64 typu REX012864MXPP3N, pomimo

niewielkich rozmiarów (przekątna 0,96"), cechuje się dużą jasnością i czytelnością wyświetlanej treści. W zależności od podtypu może wyświetlać w kolorze białym, niebieskim, żółtym lub żółto-niebieskim (wyróżnione pierwsze 16 wierszy). Wyświetlacz jest bardzo prosty w aplikacji, wymaga tylko kondensatorów C2, C3 dla pompy ładunkowej, C5, C6, C8, C9 do odsprężnienia zasilania oraz rezystora R11 ustalającego prąd pikseli. Wbudowany sterownik SSD1306 skonfigurowany jest do pracy z interfejsem I²C. Ze względu na popularność wyświetlacza do jego obsługi dostępnych jest sporo gotowych bibliotek (C, Python, Arduino), co znacząco ułatwia pierwsze uruchomienie. Zworkami A3C, A3D możliwe jest ustawienie adresu bazowego 0x3C, 0x3D wyświetlacza.

Uzupełnieniem wyświetlacza jest czteropolowa klawiatura dotykowa. Jako jej kontroler został wybrany układ IS31SE5104 ISSI. Jest to jeden z najprostszych w aplikacji, przystępnych cenowo i pewnie działających ze znanych mi układów obsługujących klawiatury dotykowe. Komunikacja U1 z systemem nadrzędnym odbywa się podobnie jak w przypadku wyświetlacza przez magistralę I²C. Zworkami A44...A47 można wybrać adres bazowy kontrolera 0x44...0x47. U1 może generować sprzętowe przerwanie po wykryciu dotknięcia pola, jeżeli chcemy wykorzystać sygnał INT, na płytce lutujemy rezystory R6, R9, polaryzujące wyjście INTB U1. Sygnał przerwania dostępny jest na GPIO4. Wyjścia OUT, typu OD, sygnalizujące sprzętowo aktywny dotyk, połączone są równolegle i sterują diodą LD1, gdy którekolwiek z pól jest dotknięte.

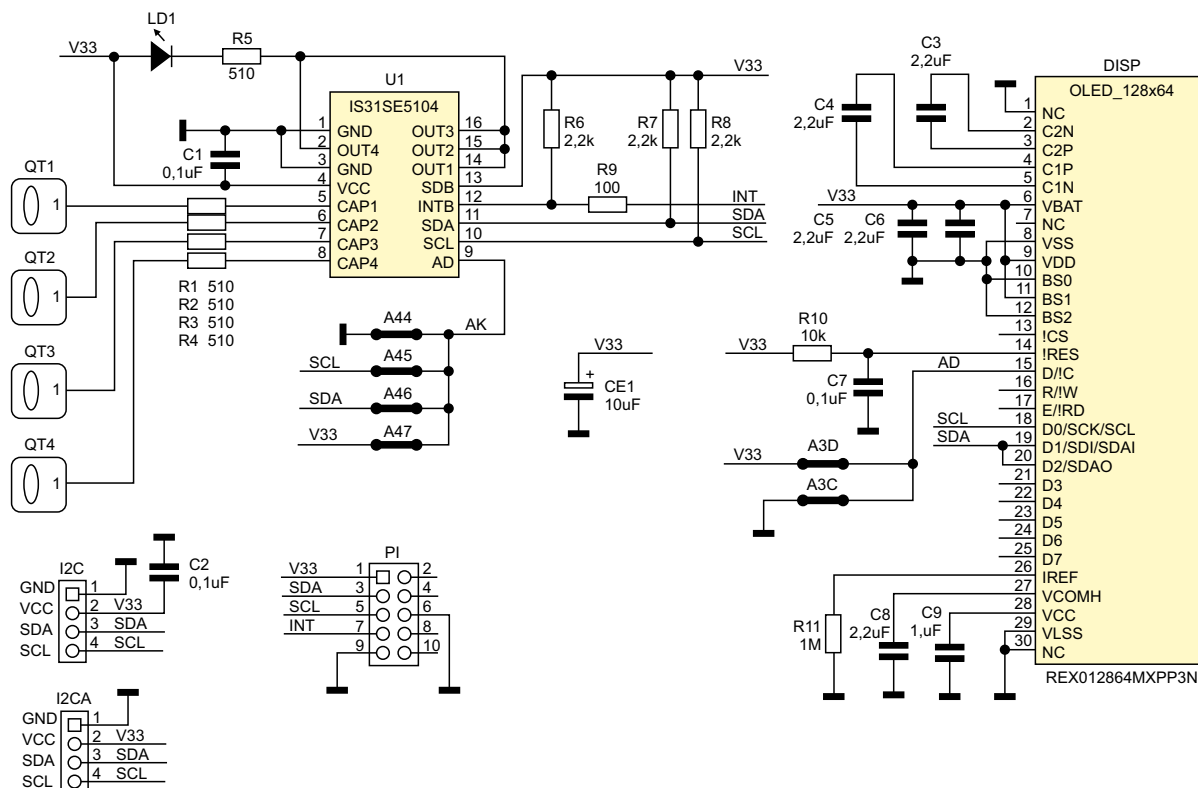
Dla ułatwienia połączenia z innymi płytkami uruchomieniowymi lub wyprowadzenia magistrali I²C z Pi, płytko ma dwa złącza I²C, I2CA w standardzie JST PH 2,00 mm i JST SM 1,00 mm zgodnie z wcześniej opisanymi płytkami rozszerzeń I²C. Złącze PI GPIO zostało okrojone do pierwszych 10 pinów, które używane są do zasilania płytki napięciem 3,3 V z Pi oraz doprowadzają magistralę I²C.



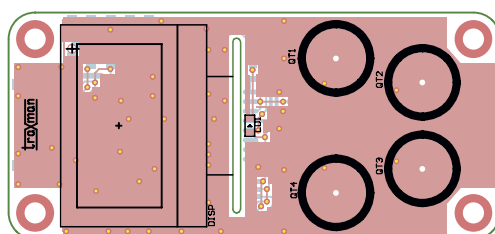
Fotografia 1. Widok zmontowanej płytki

Tabela 1. Przyporządkowanie sygnałów GPIO

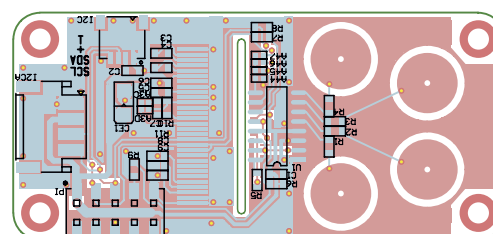
Pin	Funkcja	Pin
P1-01	3,3 V	P1-02
P1-03	GPIO2(SDA)	P1-04
P1-05	GPIO3(SCL)	P1-06
P1-07	GPIO4(INT)	P1-08
P1-09	GND	P1-10



Rysunek 1. Schemat mikrointerfejsu użytkownika



Rysunek 2. Schemat płytki PCB z rozmieszczeniem elementów, strona TOP



Rysunek 3. Schemat płytki PCB z rozmieszczeniem elementów, strona BOTTOM

UWAGA: w przypadku wykorzystania z innymi płytkami uruchomieniowymi należy pamiętać, że zasilanie i sygnały GPIO są w standardzie 3,3 V. Doprowadzenie wyższego napięcia spowoduje uszkodzenie modułu.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunkach 2 i 3**. Montaż nie wymaga dokładnego opisu.

Wyświetlacz polecam zamontować jako element ostatni, po wcześniejszym podklejeniu go do płytki cienką samoprzylepną taśmą dwustronną. Taśmę elastyczną z OLED należy przełożyć przez wyfrezowany otwór w PCB i delikatnie dolutować do pól od spodu płytki unikając jej ostrego zginania. Wyświetlacz jest dość kruchy, warto więc zachować ostrożność podczas użytkowania. Płytkę montowaną jest do Pi za pomocą czterech tulejek M2,5×8. Zmontowaną płytkę pokazano na **fotografii 1**.

Przed podłączeniem do Pi na płytce należy ustalić adresy wyświetlacza i kontrolera,

pamiętając, że jednocześnie może być wlutowana tylko jedna zwora A44...A47 ustalająca adres U1 oraz A3C lub A3D ustalająca adres. Domyślnie ustawione powinny być A44 i A3C.

Uruchomienie układu wymaga drobnej konfiguracji Pi. Najlepiej sprawdzić, czy dysponujemy aktualną wersją oprogramowania. W razie konieczności należy zaktualizować system do najnowszej wersji oraz upewnić się, czy załączona jest obsługa magistrali I²C. Jeżeli nie jest zainstalowany pakiet i2c-tools, należy go pobrać, bo niezbędny jest do szybkiego sprawdzenia modułu:

```
sudo apt-get install i2c-tools
```

Po zainstalowaniu w pierwszej kolejności sprawdzamy w konsoli prawidłowe działanie I²C:

```
sudo i2cdetect -y 1
```

Prawidłową detekcję wyświetlacza (0x3c) oraz kontrolera (0x4d) pokazano na **rysunku 4**. Układ pod adresem 0x04 to procesor z interfejsu Grove Pi Zero niewchodzący w skład mikrointerfejsu, a podłączony do mojego Pi Zero. Dla sprawdzenia działania OLED mogę polecić bibliotekę Adafruit Python Library dostępną w repozytorium:

https://github.com/adafruit/Adafruit_Python_SSD1306.git, którą należy pobrać i zainstalować wraz z bibliotekami zależnymi:

```
sudo apt install -y python3-dev
sudo apt install -y python-imaging
python3-smbus i2c-tools
sudo apt install -y python3-pil
sudo apt install -y python3-pip
sudo apt install -y python3-setuptools
```

REKLAMA

Kameleon
STM32L4 Board

Kompletna platforma do nauki programowania

www.kameleonboard.org STM32

Tabela 2. Mapa rejestrów IS31SE5104

Adres	Nazwa	Funkcja	Wartość domyślna
0x00	Configuration Register	Konfiguracja układu, tryb pracy i czułość	0x00
0x01	Channel Control Register	Aktywacja poszczególnych kanałów	0xFF
0x02	State Register 1	Rejestry stanu pól dotykowych odczyt. Bieżący (chwilowy) stan pola dotykowego, stan nie jest zapamiętywany – jeżeli odczyt nastąpi po deaktywacji dotyku, wartość odczytana wynosić będzie 0	0x00
0x03	State Register 2	Rejestr zmiany stanu pól. Wartości rejestru są kasowane po odczycie i odświeżane po każdej zmianie stanu pola dotykowego	0x00
0x04	Interrupt register	Rejestr konfiguracji przerwania	0x00

```
sudo apt install -y python3-rpi.gpio
```

Przed uruchomieniem przykładów w katalogu *Examples* warto ustawić w każdym z plików rozdzielczość 128×64, zgodną z zastosowanym wyświetlaczem, co pokazano na **rysunku 5**, komentując linię:

```
# 128x32 display with hardware I2C:
#disp = Adafruit_SSD1306.SSD1306_128_32(rst=RST)
# 128x64 display with hardware I2C:
disp = Adafruit_SSD1306.SSD1306_128_64(rst=RST)
```

Teraz można już przetestować wyświetlacz jednym z przykładów z katalogu *Examples* np. `python3 stats.py`

Dla sprawdzenia działania kontrolera klawiatury dotykowej użyjemy narzędzia z pakietu `i2c-tools`. W większości przypadków układ zadziała już po włączeniu zasilania na domyślnej konfiguracji; każde dotknięcie pola zasygnalizowane jest zaświeceniem LD. Mapę rejestrów IS31SE5104 pokazano w **tabeli 2**, natomiast dokładne znaczenie poszczególnych bitów znajdziemy w dokumentacji układu.

Przerwanie na wyprowadzeniu INTB (aktywny stan niski) generowane jest po każdej detekcji dotyku, kasowane jest (stan wysoki) zgodnie z ustawieniami rejestru 0x04 lub po każdym odczycie rejestru zmiany stanu 0x03. Przykładową konfigurację (4 pola aktywne, normalna czułość) wraz z odczytami przy aktywacji pól wykonujemy następującymi poleceniami:

- konfiguracja IS31SE5104 (wszystkie pola aktywne, normalna czułość)
`i2cset -y 1 0x44 0x00 0x00`
`i2cset -y 1 0x44 0x01 0xFF`
- odczyt stanu pola

```
pi@raspberrypi:~$ i2cdetect -y 1
    0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
00:  --  --  --  --  04  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
10:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
20:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
30:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  3c  --  --  --
40:  --  --  --  --  44  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
50:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
60:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
70:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
pi@raspberrypi:~$
```

Rysunek 4. Sprawdzenie adresów magistrali I²C

```
mc [root@raspberrypi]:/home/pi/Adafruit_Python_SSD1306/examples
GNU nano 3.2 /home/pi/Adafruit_Python_SSD1306/examples/stats.py Modified
# Beaglebone Black pin configuration:
# RST = 'P9_12'
# Note the following are only used with SFI:
# DC = 'P9_15'
# SPI_PORT = 1
# SPI_DEVICE = 0

# 128x32 display with hardware I2C:
#disp = Adafruit_SSD1306.SSD1306_128_32(rst=RST)

# 128x64 display with hardware I2C:
disp = Adafruit_SSD1306.SSD1306_128_64(rst=RST)

# Note you can change the I2C address by passing an i2c_address parameter like
# disp = Adafruit_SSD1306.SSD1306_128_64(rst=RST, i2c_address=0x3C)

# Alternatively you can specify an explicit I2C bus number, for example
# with the 128x32 display you would use:
# disp = Adafruit_SSD1306.SSD1306_128_32(rst=RST, i2c_bus=2)
```

Rysunek 5. Zmiana rozdzielczości wyświetlacza

- `i2cget -y 1 0x44 0x02` np. `0x01` (aktywny dotyk, pole QT1)
- odczyt zmiany stanu pola
`i2cget -y 1 0x44 0x03` np. `0x0d` (stan zmieniły pola QT4, QT3, QT1)

Jeżeli wszystko działa bez zarzutu, można moduł zastosować we własnej aplikacji.

Adam Tatuś, EP
adam.tatus@ep.com.pl

REKLAMA



KITy AVT na wideo <http://bit.ly/2ScLZTy>

O KIT-ach AVT przeczytasz również na Facebooku <http://bit.ly/2BjVMN7>

Czterokanałowy uniwersalny izolator sygnałów cyfrowych

Minimoduł umożliwia galwaniczną separację czterech sygnałów cyfrowych pracujących z maksymalną prędkością 100 Mbps. W module zastosowano nowoczesny układ ISO7841 z rozbudowanej rodziny izolatorów oferowanych przez Texas Instruments.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-5774

Podstawowe parametry:

- separacja galwaniczna 4 kanałów,
- maksymalna prędkość każdego kanału: 100 Mbps,
- wbudowana przetwornica separująca zasilanie o mocy 0,65 W,
- zasilanie 3,3/5 V.

Wykaz elementów:

C1, C3: 0,1 μ F SMD0603
C2, C4: 10 μ F SMD0603
U1: ISOW7841DWE S016W (lub ISOW784x w zależności od aplikacji)
J1, J2: Listwa SIP3 2 mm + zwora
J3: Listwa SIP6 2,54 mm

* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

Wymagana umiejętność lutowania!

Podstawowy zestaw AVT jest wersją [B] nazywaną 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.

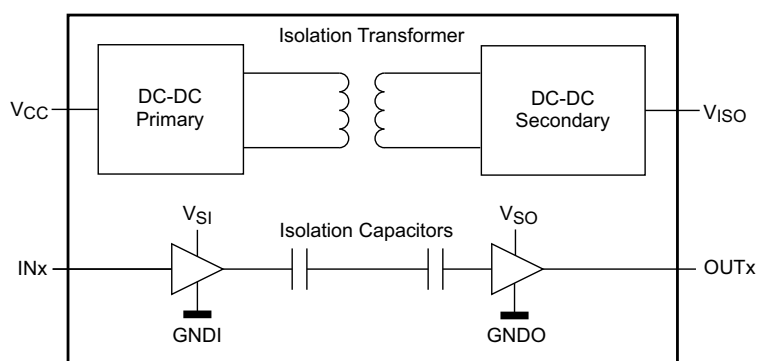
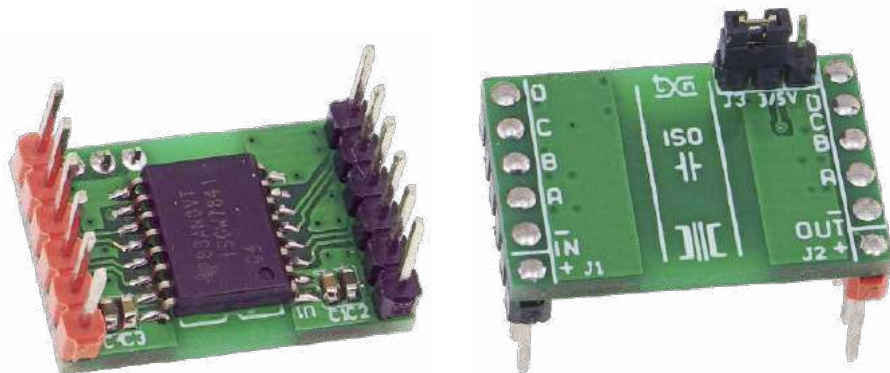
Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji
- wersja [UK] – płytkę drukowaną z zaprogramowanymi dodatkowymi wersjami
- wersja [A*] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja

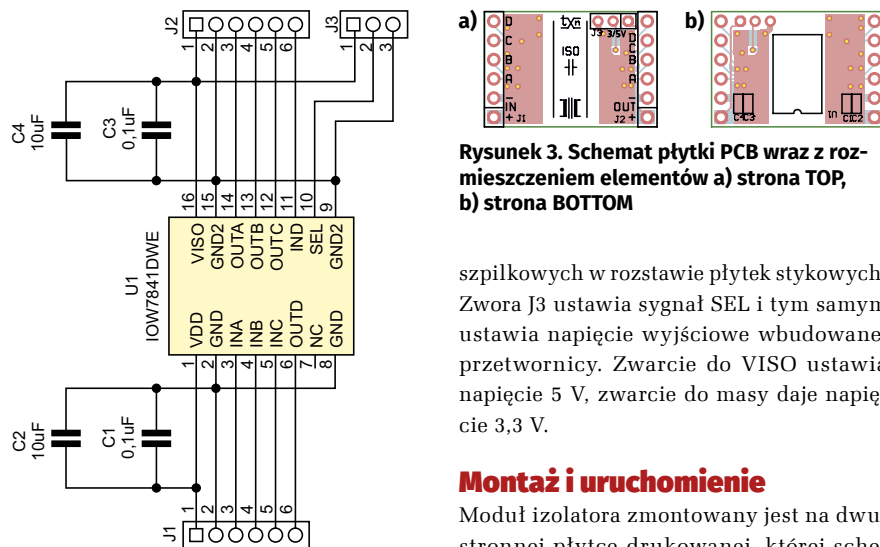
• wersja [UK] – zaprogramowany układ
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja na załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!
<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

Schemat wewnętrzny układu pokazano na **rysunku 1**. Układ zawiera wszystkie elementy niezbędne do realizacji izolowanej transmisji 4 kanałów cyfrowych wraz z wbudowaną przetwornicą separacyjną o ustalonym napięciu wyjściowym 3,3/5 V. Przetwornica może dostarczyć do 0,65 W, co umożliwia i upraszcza zasilanie, także separowanego układu, np. przetwornika ADC. Układ zasilany jest napięciem 3,3/5 V i dostępny jest w obudowie SOIC-W16. W obrębie rodziny ISOW784x zgodnej wyprowadzeniami i obudową możliwy jest wybór kierunku transmisji:

- ISOW7840, 4 kanały wejściowe, 4 DI,
- SOW7841, 3 wejściowe, 1 wyjściowy, 3 DI/1 DO,
- ISOW7842, 2 wejściowe, 2 wyjściowe, 2 DI/2 DO,
- ISOW7843, 1 wejściowy, 3 wyjściowe, 1 DI/3 DO,
- ISOW7844, 4 wyjściowe, 4 DO.



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny ISOW784x (za notą Texas Instruments)



Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów a) strona TOP, b) strona BOTTOM

Rysunek 2. Schemat ideowy układu

Wejście rozumiane jest jako pin od strony pierwotnej zasilania układu.

Budowa i działanie

Schemat modułu został pokazany na **rysunku 2**. Rozwiązanie nie odbiega od proponowanego w karcie aplikacyjnej i składa się z układu ISOW7841 oraz kondensatorów odsprężających. Konfiguracja z 3 torami wejściowymi i jednym wyjściowym jest odpowiednia np. do izolacji magistrali SPI. Sygnały i zasilane doprowadzone są do złączy

szpilkowych w rozstawie płytek stykowych. Zwora J3 ustawia sygnał SEL i tym samym ustawia napięcie wyjściowe wbudowanej przetwornicy. Zwarcie do VISO ustawia napięcie 5 V, zwarcie do masy daje napięcie 3,3 V.

Montaż i uruchomienie

Moduł izolatora zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat wraz z rozmieszczeniem elementów pokazuje **rysunek 3**. Montaż jest typowy i nie wymaga opisu. Zmontowany moduł pokazano na fotografii tytułowej, nie wymaga uruchamiania i jest gotowy do pracy po konfiguracji napięcia wyjściowego i podłączeniu zasilania. Układ wymaga zasilania 3,3/5 V, praca w trybie podwyższenia napięcia (wejście 3,3 V, wyjście 5 V) jest możliwa, ale nie jest polecana przez producenta.

Adam Tatus
adam.tatus@ep.com.pl

Miniaturowa czujka ruchu dla Raspberry Pi, Arduino i nie tylko

Gdy w budowanych aplikacjach zachodzi konieczność wykrycia ruchu lub obecności osoby, tak jak w systemach alarmowych, automatyki domowej czy sterowania oświetleniem, najłatwiej zastosować pasywną czujkę podczerwieni PIR. Dostępna jest szeroka gama czujników, lecz zwykle wymagają one dostarczenia napięcia 12 V, co komplikuje układ zasilania.

Prezentowana miniaturowa czujka ruchu zasilana jest napięciem 3...5 V, pobiera nie więcej niż 200 μ A (bez LED), a wyjście sygnału może być podłączone bezpośrednio do wyprowadzeń GPIO, co gwarantuje bezproblemową pracę z komputerkami SBC i płytkami uruchomieniowymi Arduino, MSP, STM itp.

Budowa i działanie

Schemat modułu został pokazany na rysunku 1. Moduł bazuje na czujniku PIR typu



EKMC1603xx (Panasonic), którego budowę wewnętrzną pokazano na rysunku 2. Czujnik zawiera układ detekcji podczerwieni, wzmacniacz i komparator, sam przetwornik PIR ma wbudowaną soczewkę dobraną do sposobu montażu i zasięgu. Dostępne są trzy kolory obudowy: czarny, biały i kremowy pozwalające dopasować się

do estetyki otoczenia. Przykładowe czujniki z rodziny PaPIRs zostały pokazane na rysunku 3. Czujniki EKMC to wykonanie podstawowe ogólnego zastosowania, EKMB zoptymalizowano pod kątem obniżonego poboru mocy, a AMN pod kątem detekcji punktowej i detekcji niewielkich przemieszczeń. Zestawienie wybranych parametrów

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-5776

Podstawowe parametry:

- dostępnych wiele typów czujników o różnych charakterystykach,
- regulowany impuls sygnalizujący zadziałanie,
- zasilanie napięciem 3.5 V,
- pobór prądu 200 μ A (bez LED).

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD0805 1%)

- R1: 100 k Ω
- R2: 51 k Ω
- R3: 1 M Ω
- R4: 887 k Ω
- R5: 2,2 k Ω
- R6: 100 Ω
- RV: 500 k Ω potencjometr 3296W

Kondensatory:

- C1, C2: 0,1 μ F/10 V SMD0805
- CE1: 2,2 μ F/10 V SMDA

Półprzewodniki:

- IR: Czujnik PIR EKMC1603
- LD: LED 3 mm czerwona
- U1: LTC6993CS6-2 TSOT23-6

Inne:

- FB: koralik ferrytowy BLM21BD272SN1L SMD0805
- TMP: kikapropozycja TACT
- ZW: listwa SIP2 2 mm + zwzora
- OUT: złącze 2 mm 4 pin

Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

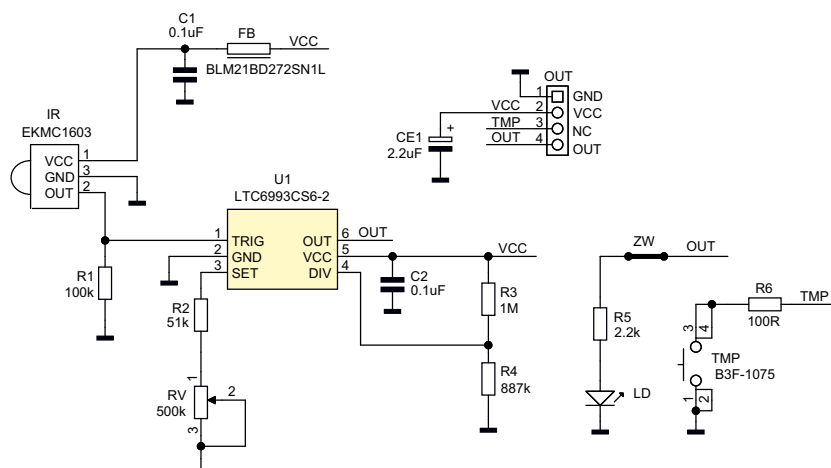
wymagana umiejętność lutowania!

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 wstawić w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

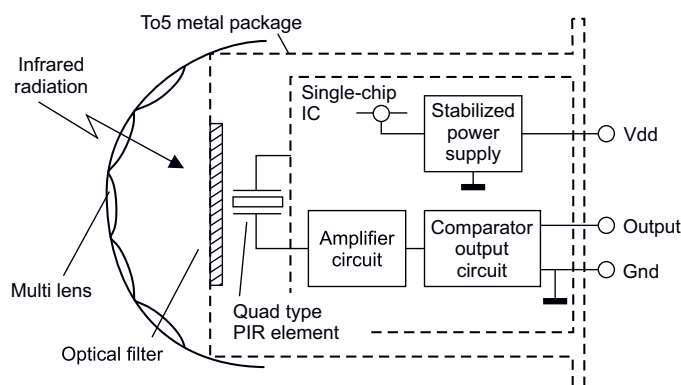
Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] - zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wstawione w płytkę PCB)
 - wersja [A] - płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
 - wersja [Aa] - płytkę drukowaną [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!

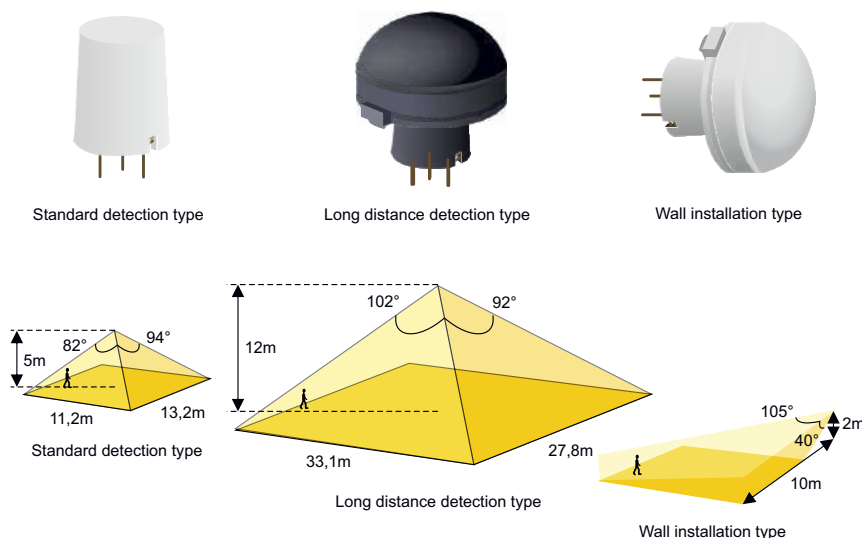
<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Rysunek 1. Schemat modułu miniaturowego czujnika ruchu



Rysunek 2. Budowa wewnętrzna czujnika cyfrowego z rodziny PaPIRs (za notą producenta)



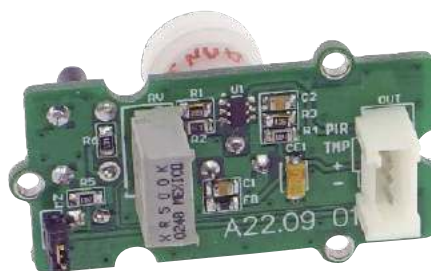
Rysunek 3. Przykładowe czujniki z rodziny PaPIRs

ułatwiające dobór czujników PaPIRs zestawiono w tabeli 1.

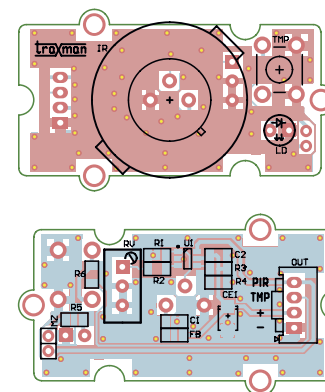
Wszystkie czujniki mają zunifikowaną obudowę TO-5 i rozkład wyprowadzeń, co ułatwia wybór czujnika najlepiej dostosowanego do wymogów aplikacji, bez zmian w płytce drukowanej. Do poprawnej aplikacji wymagają tylko odprężenia zasilania.

Dla zwiększenia uniwersalności modułu na płytce wbudowano multiwibrator z przedłużaniem impulsu o regulowanym, za pomocą potencjometru RV, czasie trwania. Dla wartości ze schematu jest to ok. 2,1...23 s. Zmieniając R4 na 681 kΩ, można ten czas skrócić do ok. 0,26...2,88 s. Na płytce znalazło się też miejsce na przycisk chwilowy TMP, umożliwiający w razie potrzeby

realizację funkcji sabotażu oraz diodę LD sygnalizującą zadziałanie czujnika. Zwróć uwagę, że można odłączyć sygnalizację w celu zmniejszenia poboru prądu do ok. 200 μA. Po zastosowaniu podstawki pod czujnik PIR (typ 575-91743103 Mouser) możliwa jest wymiana



Fotografia 1. Zmontowany moduł



Rysunek 4. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów a) strona TOP, b) strona BOTTOM

czujnika bez lutowania, co jest przydatne podczas eksperymentów. Warto jednak zachować ostrożność, gdyż są to elementy wrażliwe na ładunki ESD.

Montaż i uruchomienie

Minimoduł zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej. Rozmieszczenie elementów pokazano na rysunku 4. Układ zmontowany ze sprawnych elementów nie wymaga uruchamiania, należy tylko dobrać typ czujnika i ustawić czas impulsu wyjściowego. Zmontowany moduł pokazano na fotografii 1. Układ po włączeniu zasilania wymaga ok. 30 s na ustabilizowanie się czujnika PIR, przez ten czas zadziałania mogą być przypadkowe i powinny być zignorowane.

Adam Tatuś, EP
adam.tatus@ep.com.pl

Tabela 4. Zestawienie wybranych parametrów czujników PaPIRs

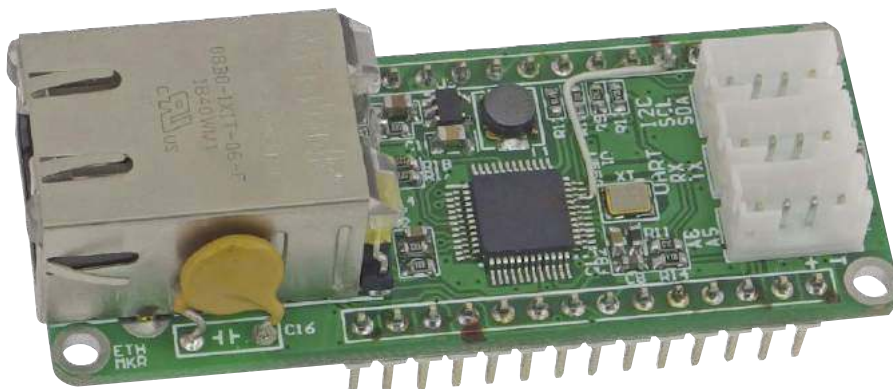
Oznaczenie	Typ	Pobór prądu	Kolor	Zasięg	Poziomy kąt detekcji	Pionowy kąt detekcji	Liczba stref detekcji
EKMC1601111	standard	170 μA	white	5 m	94°	82°	64
EKMC1601112	standard	170 μA	black	5 m	94°	82°	64
EKMC1601113	standard	170 μA	pearl white	5 m	94°	82°	64
EKMC1603111	daleki zasięg	170 μA	white	12 m	102°	92°	92
EKMC1603112	daleki zasięg	170 μA	black	12 m	102°	92°	92
EKMC1603113	daleki zasięg	170 μA	pearl white	12 m	102°	92°	92
EKMC1604111	naścienny	170 μA	white	12 m	40°	105°	68
EKMC1604112	naścienny	170 μA	black	6 m	40°	105°	68
EKMC1604113	naścienny	170 μA	pearl white	3 m	40°	105°	68
AMN31112	standard	170 μA	white	5 m	100°	82°	64
AMN31111	standard	170 μA	black	5 m	100°	82°	64
AMN32112	detekcja niewielkich przemieszczeń	170 μA	white	2 m	92°	92°	104
AMN32111	detekcja niewielkich przemieszczeń	170 μA	black	2 m	92°	92°	104
AMN33112	detekcja punktowa	170 μA	white	5 m	22°	38°	24
AMN33111	detekcja punktowa	170 μA	black	5 m	22°	38°	24
AMN34112	daleki zasięg	170 μA	white	10 m	110°	93°	80
AMN34111	daleki zasięg	170 μA	black	10 m	110°	93°	80

Moduł interfejsu Ethernet do Arduino MKR Zero

Prezentowana płytkę umożliwia połączenie Arduino MKR Zero ze światem IoT za pomocą sieci Ethernet i realizację prostych aplikacji internetowych. Bazuje na popularnym kontrolerze WIZ5500 firmy Wiznet, który oficjalnie wspierany jest przez środowisko Arduino.

Budowa i działanie

Schemat układu został pokazany na rysunku 1. Aplikacja modułu nie odbiega od karty katalogowej. Komunikacja z procesorem odbywa się poprzez interfejs SPI z zachowaniem połączeń zgodnych z płytką MKR. Układ U1 taktowany jest oscylatorem kwarcowym XT o częstotliwości 25 MHz. Zasilanie 3,3 V dostarczone jest przez układ przetwornicy obniżającej U3 typu ADP2108AUJ. Jako gniazdo RJ45 zastosowano



Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-5777

Podstawowe parametry:

- bazuje na popularnym kontrolerze WIZ5500,
- wspierany przez środowisko Arduino,
- komunikacja z procesorem poprzez interfejs SPI,
- zasilanie 3,3 V.

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD0603 1%)

R1, R2: 330 Ω
R3, R4, R5, R6: 49,9 Ω
R7: 12,4 kΩ
R8: 1 MΩ
R9, R10, R11: 10 kΩ
R12, R13, R14: 100 Ω
R15, R16, R17, R18: 22 Ω

Kondensatory:

C1, C11, C12, C13, C14, C15: 0,1 μF SMD0603
C2, C3, C4, C8: 10 nF SMD0603
C5, C6: 18 pF SMD0603
C7: 4,7 μF SMD0805
C9, C10: 10 μF SMD0805
C16: 1 nF/1 kV kondensator ceramiczny 5 mm
CE1, CE2: 10 μF/10 V kondensator tantalowy A

Półprzewodniki:

U1: W5500 (LQFP48)
U3: ADP2108AUJZ (SOT-23-5)

Inne:

A56, I2C, UART: złącze PH B4PHKS 2 mm 4 pin
ETH: gniazdo RJ45 z transformatorem 08B01X1T06
FB1, FB2, FB3: koralik ferrytowy 600 Ω 0,3 A SMD0603
L1: dławik mocy SMD HPI0420-2R2
MKR: złącze SIPI14 2,54 mm
XT: kwarc 25 MHz 3,2x2,5 mm

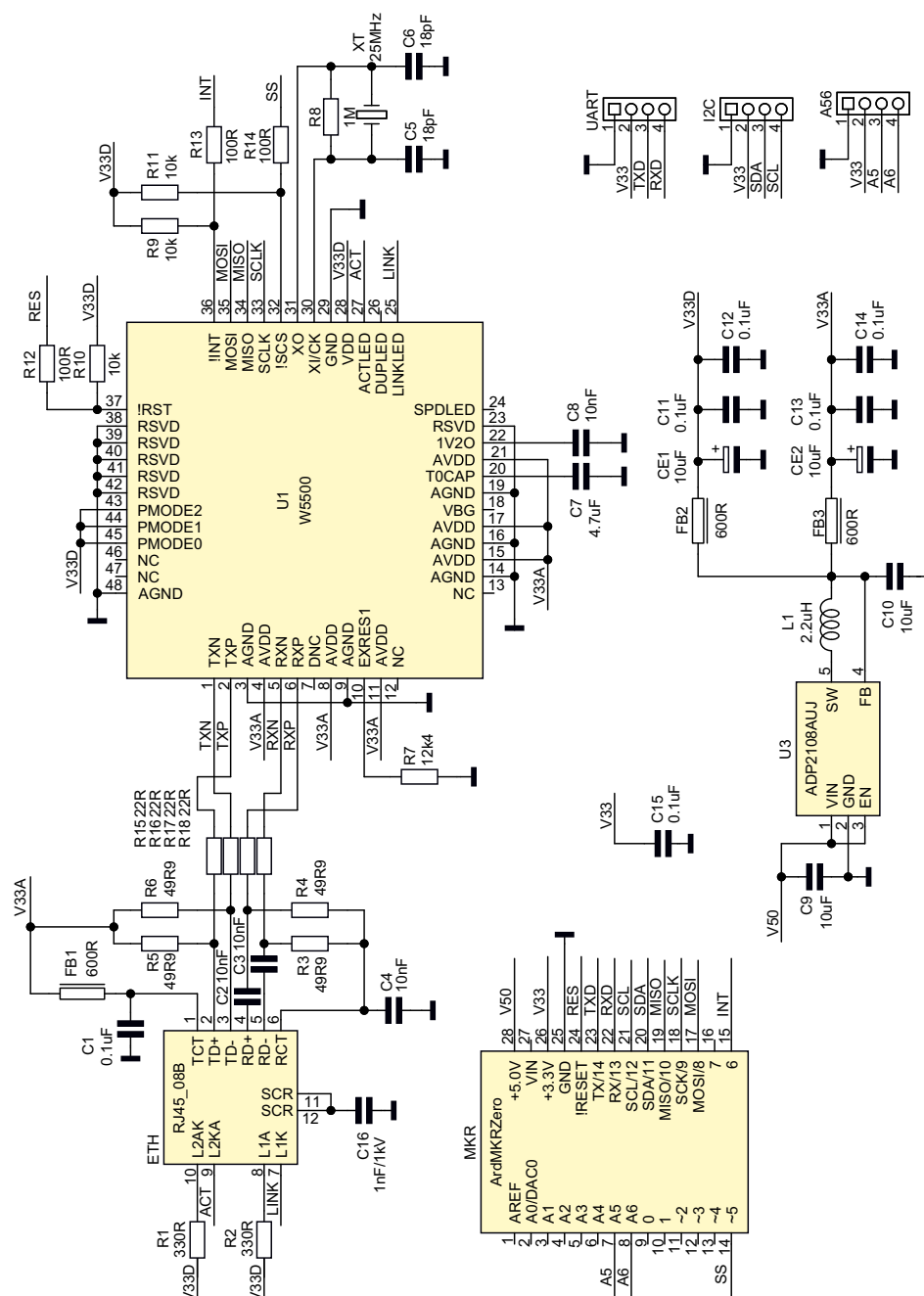
* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania!

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 wzlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

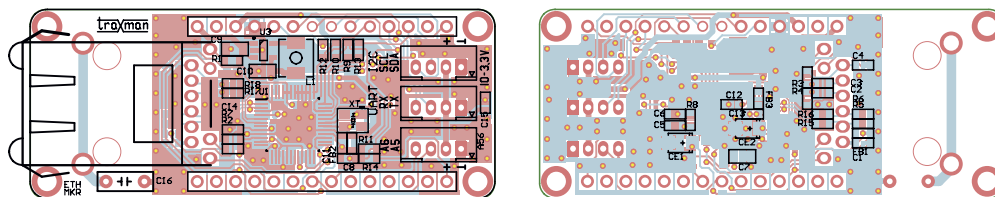
Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wzlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji
- wersja [A*] – płytkę drukowaną [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 <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytki drukowanej (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Rysunek 1. Schemat ideowy układu



Rysunek 2. Schemat płytki PCB z rozmieszczeniem elementów: a) strona TOP, b) strona BOTTOM

modułu 08B01X1T06 zintegrowany z transformatorem i LED, sygnalizującymi stan interfejsu.

Dla zwiększenia funkcjonalności modułu i ułatwienia komunikacji z modułami rozszerzeń i czujników na złącza wyprowadzono port szeregowy UART, magistralę I²C oraz dwa piny analogowe A56.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, rozmieszczenie elementów zostało pokazane na **rysunku 2**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga opisu. Zmontowany moduł pokazano na fotografii tytułowej i **fotografii 1**. Ze względu na wysokość gniazda RJ45 moduł nie jest „stackowalny” i musi być montowany jako pierwszy na górze kanapki. Po prawidłowym montażu moduł jest od razu gotowy do pracy.

Adam Tatus

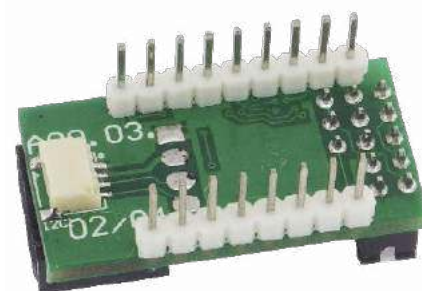
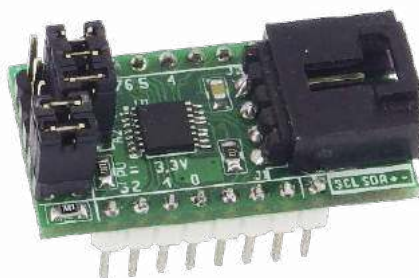
adam.tatus@ep.com.pl

Fotografia 1. Zmontowany moduł

Ekspander I/O z interfejsem I²C

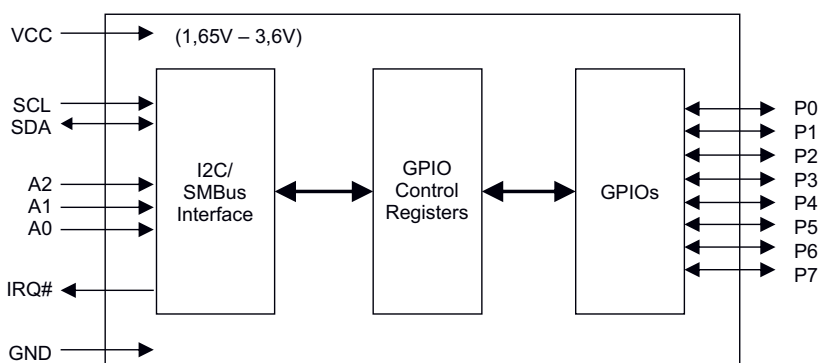
Prezentowany moduł jest ekspanderem GPIO sterowanym z magistrali I²C, o znacznie większej funkcjonalności niż popularny PCF8574. Zastosowany układ XRA1200 (Maxlinear) daje duże możliwości konfiguracji i pracuje przy napięciu 1,65...3,6 V, dzięki czemu jest odpowiedni m.in. dla Raspberry Pi czy STM32.

Układ daje możliwość definiowania kierunku każdego z wyprowadzeń IO, sterowania rezystorami podciągającymi, konfiguracji buforów wyjściowych w trybie trójstanowym oraz elastycznej konfiguracji generowanych przerwań. Schemat wewnętrzny układu XRA1200 został pokazany na **rysunku 1**. Układ dostępny jest w dwóch wersjach: XRA1200 z załączonymi oraz XRA1200P z domyślnie wyłączonymi po resecie rezystorami podciągającymi.



Budowa i działanie

Schemat ideowy modułu został pokazany na **rysunku 2**. Oprócz układu U1-XRA1200(P) zawiera trzy zworki A0...A2 umożliwiające ustalenie adresu oraz zworkę PU umożliwiającą odłączenie rezystorów podciągających I²C – R1, R2. Pełna adresacja U1 umożliwia zastosowanie do 32 układów na jednej magistrali, w module ustawienie adresów jest ograniczone do 8 zgodnie z **tabelą 1**. Adresy nie pokrywają się z popularnym PCF8574,



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny XRA1200

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.media.avt.pl

W ofercie AVT* AVT-----

Podstawowe parametry:

- wyjścia mogą być obciążone prądem do 8 mA,
- wejścia tolerują napięcie 5 V,
- zasilanie napięciem z zakresu 1,65...3,6 V.

Wykaz elementów:

R1, R2, R3, R4, R5, R6: 4,7 kΩ SMD0805
C1, C2: 0,1 μF SMD0805
LD1, LD2: LED SMD0805
U1: ADUM1250ARZ S08
I2CA1, I2CA0: złącze EH4 kątowe
I2CB1, I2CB0: złącze SIP4 proste męskie
I2CCI, I2CCIA, I2CCO, I2CCOA: złącze JST 2 mm proste
I2CD1, I2CDI1, I2CD0, I2CD01: złącze Grove proste
I2CE1, I2CE0: złącze JST4 1 mm
I2CG1, I2CG0: złącze śrubowe 2,54 mm
MPT0.5/4-2.54

*** 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] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji
Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
• wersja [A*] – płytkę drukowaną [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 <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

Tabela 1. Adresacja układu XRA1200(P)

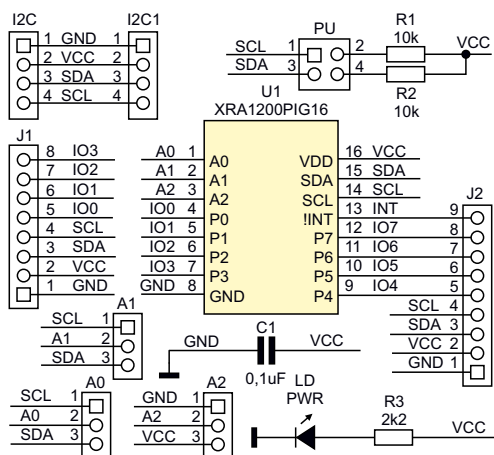
A2	A1	A0	Adres
GND	SCL	SCL	0x30 (0011 000X)
GND	SCL	SDA	0x32 (0011 001X)
GND	SDA	SCL	0x34 (0011 010X)
GND	SDA	SDA	0x36 (0011 011X)
VCC	SCL	SCL	0x38 (0011 100X)
VCC	SCL	SDA	0x3A (0011 101X)
VCC	SDA	SCL	0x3C (0011 110X)
VCC	SDA	SDA	0x3E (0011 111X)

można więc stosować ekspandery na jednej magistrali.

Sygnały GPIO doprowadzone są do złączy J1 i J2, dodatkowo wyprowadzono sygnał przerwania J2-9. Wyjścia mogą być obciążone prądem do 8 mA w każdym ze stanów logicznych, co umożliwia bezpośrednie sterowanie niskoprądowymi LED zarówno stanem niskim, jak i wysokim, pod warunkiem nieprzekraczania traconej w układzie mocy (200 mW). PCF8574 ma większą wydajność prądową tylko dla stanu niskiego. Sygnały magistrali I²C i zasilanie doprowadzone są do czteropinowego złącza typu EH – I²C zgodnego z Arduino oraz do złącza I2C1 JST o rozstawie 1 mm.

Uwaga: niektóre fabryczne kable EH4 mają przeplot 1-4,2-3, aby je wykorzystać, należy zamienić kolejność wyprowadzeń w jednym złączu EH.

Moduł może być zasilany napięciami z zakresu 1,65...3,6 V. Dioda LD sygnalizuje obecność zasilania. Wyprowadzenie IO XRA1200 tolerują napięcie 5 V, ale należy zachować ostrożność podczas konfiguracji układu.



Rysunek 2. Schemat modułu I2C_DIO8

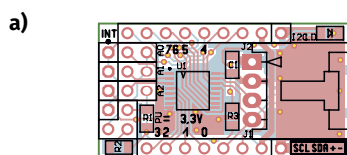


Tabela 2. Rejestry konfiguracyjne XRA1200(P)

Subadres	Nazwa rejestru	Funkcja	Typ	Ustawienia domyślne
0x00	GSR	Stan wejść GPIO	odczyt	0xFF
0x01	OCR	Rejestr kontroli wyjść	odczyt/zapis	0xFF
0x02	PIR	Rejestr polaryzacji wejść 0 – brak negacji, 1 – negacja wejścia	odczyt/zapis	0x00
0x03	GCR	Konfiguracja typu GPIO 0 – wyjście, 1 – wejście (domyślne)	odczyt/zapis	0xFF
0x04	PUR	Konfiguracja rezystorów PullUp 0 – PullUp wyłączony, 1 – PullUp załączony	odczyt/zapis	0x00 (XRA1200) 0xFF (XRA1200P)
0x05	IER	Kontrola przerwań	odczyt/zapis	0x00
0x06	TSCR	Kontrola wyjść TriState 0 – wyjście bezpośrednie, 1 – wyjście trójstanowe	odczyt/zapis	0x00
0x07	ISR	Status przerwań dokładny opis w nocie	odczyt	0x00
0x08	REIR	Konfiguracja przerwań zbocze narastające	odczyt/zapis	0x00
0x09	FEIR	Konfiguracja przerwań zbocze opadające	odczyt/zapis	0x00
0x0A	IFR	Filtr wejściowy układu przerwań	odczyt/zapis	0xFF

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej. Rozmieszczenie elementów zostało pokazane na **rysunku 3**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga opisu. Zmontowany moduł pokazuje fotografia tytułowa.

Konstrukcja mechaniczna modułu umożliwia bezproblemową współpracę z płytkami stykowymi lub prototypowymi, zalecam stosowanie długich (30...40 mm) złączy SIP, wlutowanych tak, aby wyprowadzenia wystawały po obu stronach płytki drukowanej. Taki sposób montażu umożliwia wygodne stosowanie modułu w płytkach stykowych, ułatwia wyprowadzenie sygnałów oraz rozszerzanie magistrali I²C.

Sterowanie układem

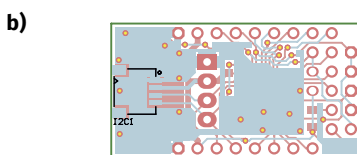
XRA1200(P) ma osiem rejestrów ustalających tryb pracy GPIO oraz konfigurujących przerwania; skrócony opis rejestrów pokazano w **tabeli 2**, pełny opis dostępny jest w karcie katalogowej. Dla szybkiego sprawdzenia działania modułu można podłączyć do Raspberry

Pi i użyć funkcjonalności biblioteki i2c-tools. Po ustawieniu adresu bazowego zwozami A0...A2 moduł powinien być widoczny po odczycie magistrali poleceniem `i2cdetect -y 1`, co pokazano na **rysunku 4** (ustawiony adres bazowy 7-bitowy 0x1F). Poniżej kilka przydatnych poleceń:

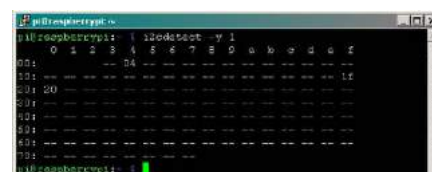
- Stan wejść może być odczytany bez dodatkowej konfiguracji (przy ustawieniach domyślnych) poleceniem: `i2cget -y 1 0x1F 0x00`
- Wejścia mogą zostać zanegowane poleceniem: `i2cset -y 1 0x1F 0x02 0xFF`
- Ustawienie wyprowadzeń jako wyjścia wykonujemy poleceniem: `i2cset -y 1 0x1F 0x03 0x00`
- Stan wyjść zmieniamy poleceniem: `i2cset -y 1 0x1F 0x01 0xFF`
- Ustawienie wyjścia w stan wysokiej impedancji: `i2cset -y 1 0x1F 0x06 0xFF`
- Odczyt stanu rejestru wyjściowego GPIO: `i2cget -y 1 0x1F 0x00`

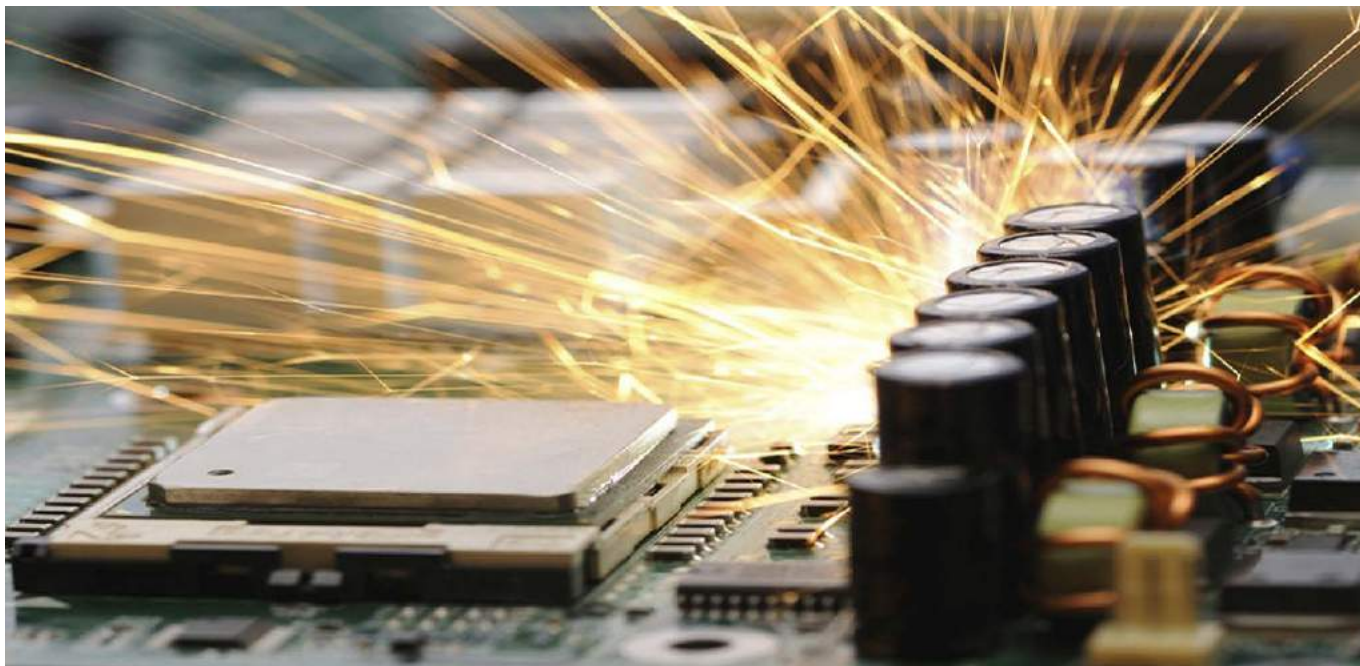
W przypadku ustawienia wyjść w tryb tri-State, odczyt rejestru GSR może różnić się od fizycznego stanu wyprowadzeń, warto o tym pamiętać.

Adam Tatus
adam.tatus@ep.com.pl



Rysunek 3. Schemat płytki PCB z rozmieszczeniem elementów: a) strona TOP, b) strona BOTTOM

Rysunek 4. Detekcja XRA1200 na magistrali I²C



Impulsy EMP/HEMP

Zagrożenia i metody ochrony

Silne impulsy elektromagnetyczne, zarówno występujące naturalnie, jak i te, które mogą być wywoływane sztucznie i na przykład celowo używane jako broń, stanowią poważne zagrożenie dla urządzeń elektronicznych. Mogą destabilizować pracę krytycznych infrastruktur: energetycznej, informatycznej i komunikacyjnej, wpływając na kluczowe dla funkcjonowania społeczeństw i gospodarek dziedziny, takie jak przemysł, transport, służba zdrowia czy bankowość. W artykule skupiamy się na jednej z podgrup tego typu zaburzeń – impulsach EMP/HEMP (electromagnetic pulses/high altitude EMP). Opiszemy ich specyfikę, dotyczące normy oraz środki ochrony.

Do kategorii HEMP zaliczane są zaburzenia EMP, które powstały w wyniku zdetonowania bomby atomowej na bardzo dużej wysokości, od kilkudziesięciu do kilkuset kilometrów nad powierzchnią Ziemi. Takiemu wybuchowi towarzyszy emisja promieniowania gamma. Oddziałuje ono na cząsteczki rozrzedzonego powietrza w najwyższych warstwach atmosfery, wybijając z atomów elektrony oraz rozpędzając je do prędkości stanowiącej nawet około 90% prędkości światła. Ponieważ na dużej wysokości gęstość powietrza jest mniejsza, te ujemnie naładowane cząstki mogą poruszać się dużo swobodniej. Przez to intensywność oddziaływania promieniowania gamma jest większa. Następnie rozpędzone elektrony, pod wpływem ziemskiego pola magnetycznego, formują się w strumieniu, wytwarzając przy tym silne promieniowanie elektromagnetyczne destrukcyjne dla urządzeń elektronicznych.

Jaki jest zasięg zaburzeń HEMP?

Zasięg oddziaływania impulsu elektromagnetycznego typu HEMP, w zależności od liczby bomb, siły ich ładunku i wysokości detonacji, może obejmować ogromny obszar, o promieniu od setek do tysięcy kilometrów od epicentrum wybuchu atomowego, przechodzący przez

terytoria wielu krajów oraz różne strefy czasowe. To sprawia, że zagrożenie, w zależności od miejsca detonacji, może się stać międzynarodowym problemem.

Zostało to potwierdzone w latach 60. ubiegłego wieku. Przeprowadzono wówczas eksperyment, który polegał na zdetonowaniu bomby termojądrowej nad Oceanem Spokojnym na wysokości 400 kilometrów. Wybuch wywołał impuls elektromagnetyczny, który spowodował uszkodzenie urządzeń elektrycznych na Hawajach oddalonych od epicentrum eksplozji o około 1,5 tysiąca kilometrów. Skutki tego impulsu HEMP były odczuwalne nie tylko na Ziemi. Awarii, z powodu uszkodzenia paneli fotowoltaicznych przez sztucznie powstały pas radiacyjny, uległo również kilka satelitów.

Czy zagrożenie impulsem HEMP jest realne?

Na co dzień, w normalnych warunkach, detonacja bomby nuklearnej na dużej wysokości nad powierzchnią Ziemi wydaje się mało prawdopodobna. Przez to wiedza na temat związanych z tym zagrożeń nie jest powszechna. Jednakże, w związku z chociażby aktywnością terrorystów czy ambicjami państw, które pomimo sprzeciwów ze strony społeczności międzynarodowej rozwijają swój potencjał nuklearny, nie powinno się ich lekceważyć.

W podobny sposób jak impulsy EMP/HEMP destabilizująco na infrastrukturę krytyczną mogą oddziaływać naturalnie występujące zaburzenia elektromagnetyczne kształtujące pogodę kosmiczną. Do tych zaliczane są: koronalne wyrzuty masy oraz burze geomagnetyczne/zaburzenia geomagnetyczne.

Składowa E1 impulsu HEMP

Impuls HEMP ma trzy składowe: E1, E2 i E3 (rysunek 1). Różnią się one częstotliwością, energią oraz przebiegiem w czasie. Od tych cech zależy ich oddziaływanie na urządzenia elektroniczne.

Pierwsza składowa, która jest efektem wytrącenia elektronów z atomów przez promieniowanie gamma zaraz po wybuchu, jest bardzo krótka i szybka. Czas narastania wynosi w tym przypadku 20 ns, natomiast 50% wartości szczytowej jest osiągane w ciągu 500 ns. Natężenie pola elektrycznego składowej E1 sięga 50 kV/m, przy

szczytowej gęstości mocy przekraczającą 6 MW/m². Może ona wywołać przepływ prądu o natężeniu sięgającym 2,5 kA. Ze względu na takie parametry tradycyjne ochronniki odgromowe mogą okazać się nieskutecznym zabezpieczeniem.

Składowa E2

Składowa E2 impulsu HEMP przypomina zaburzenie generowane w czasie bliskiego wyładowania atmosferycznego, chociaż ma mniejszą moc. Wartość szczytowa prądu sięga 250 A. Składowa E2 ma większą energię niż E1, lecz jest bardziej od niej rozłożona w czasie. Częstotliwość wynosi 20 kHz – dla porównania w przypadku impulsu E1 mieści się w przedziale od 1 MHz do 300 MHz. Zaburzenia składowej E2 są tłumione w przewodach o długości krótszej niż 200 metrów.

Wystarczające zabezpieczenie przed składową E2 powinna stanowić ochrona odgromowa. Należy jednak zauważyć, że w chwili jej wystąpienia może ona już nie być skuteczna, jeżeli odgromniki, jak i inne elementy zabezpieczające, wcześniej zostały zniszczone przez impuls E1 albo nie zdążyły się po nim zregenerować i nie zapewniają odpowiedniej ochrony przed kolejnym zaburzeniem. Poza tym impuls E2, inaczej niż piorun, nie oddziałuje punktowo. Składowa E2 powstaje wówczas, gdy emitowane są neutrony rozpraszające promieniowanie gamma.

Składowa E3

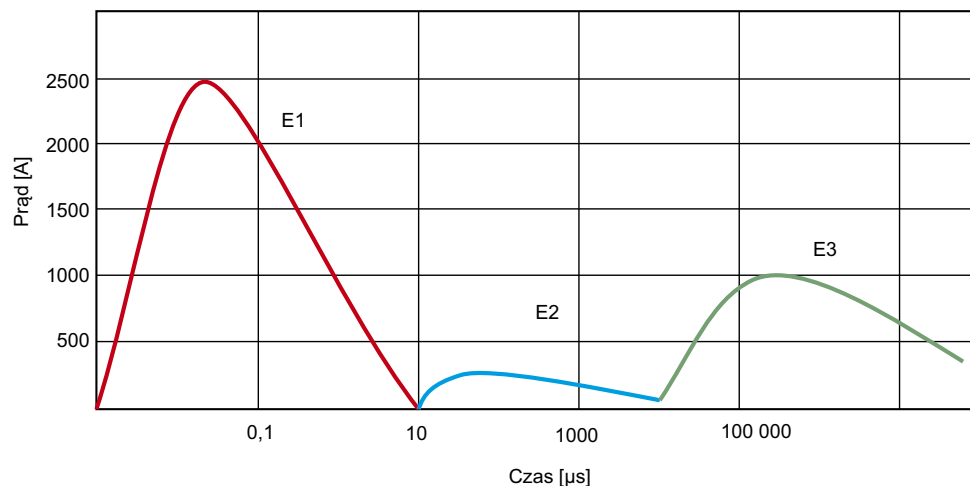
W porównaniu do komponentów E1 i E2, składowa E3 trwa dłużej – typowo od kilkudziesięciu do nawet kilkuset sekund i nie narasta tak szybko. Powstaje na skutek odpowiedzi ziemskiego pola magnetycznego na zaburzenie o dużej energii spowodowane wybuchem jądrowym. Impuls E3 bywa porównywany do bardzo silnej burzy geomagnetycznej, podobnie jak to zjawisko może bowiem indukować w długich przewodach prąd o bardzo dużym natężeniu. Dlatego na jego oddziaływanie narażone są przede wszystkim linie energetyczne (w tym podziemne).

Podsumowując, impuls HEMP stanowi zagrożenie przede wszystkim ze względu na złożoność – zawiera składowe o dużej energii i krótkim czasie trwania, które powodują powstawanie zaburzenia ze składowymi wysokoczęstotliwościowymi, na które wrażliwsze są urządzenia elektroniczne i komponenty, w których energia zaburzenia jest rozłożona w czasie. Te są groźniejsze dla większych systemów i instalacji elektrycznych. Przez to ochrona przed impulsami HEMP, żeby była skuteczna, powinna być kompleksowa.

Normy wojskowe a cywilne

Zagrożenia związane z wystąpieniem impulsu HEMP oraz wymogi w zakresie testowania odporności na niego i środków ochronnych budynków, infrastruktury elektrycznej i sprzętu zostały opisane m.in. w normach wojskowych. Przykładami takich norm są: MIL-STD-188-125-1/MIL-STD-188-125-2 oraz DEF-STAN-59-188-1/DEF-STAN-59-188-2.

Chociaż są to ważne opracowania, nie są one najodpowiedniejsze, jeśli chodzi o ochronę obiektów i wyposażenia cywilnego i w przemyśle. Zawarte w nich wytyczne są dopasowane do specyfiki zastosowań wojskowych oraz rządowych o krytycznym znaczeniu. Przeważnie wymagają bezwzględnej ciągłości działania wszystkich obiektów/instalacji/urządzeń. W zastosowaniach cywilnych natomiast z reguły dopuszczalne jest, żeby funkcjonowanie sprzętu zostało chwilowo zakłócone przez zaburzenie HEMP, o ile może on później powrócić do pełnej sprawności.



Rysunek 1. Impuls HEMP i jego trzy składowe: E1, E2 i E3

Podobnie jest w obiektach przemysłowych. Często nie jest konieczne zapewnienie bezwzględnie nieprzerwanej pracy wszystkich obiektów/instalacji/urządzeń. Zazwyczaj liczba systemów czy serwerów o znaczeniu krytycznym jest ograniczona, także pod względem terytorialnym do określonych części zakładu, a nawet wyłącznie do niektórych pomieszczeń. W związku z tym poziom ochrony w tych zastosowaniach nie musi być aż tak wysoki, jak w wojskowych.

Ważna norma IEC

Warto przy tym zwrócić uwagę na jeszcze jedną kwestię. Kompleksowe wdrożenie zaleceń norm wojskowych jest zwykle kosztowne oraz czasochłonne. Dlatego, dla oszczędności, spośród zapisanych w nich wymagań spełniane są tylko niektóre. Nie zawsze jest to dobrym rozwiązaniem, ponieważ standardy te nie zostały opracowane do wybiórczego stosowania. W związku z tym takie podejście może się odbić negatywnie na całościowym poziomie ochrony i jej skuteczności.

Powyższe ograniczenia norm wojskowych w zastosowaniach cywilnych/przemysłowych skłoniły organizację IEC do opracowania odpowiedników tych dokumentów właśnie do takich zastosowań. Przykładami są: IEC 61000-4-24 oraz IEC 61000-5-10. W pierwszym z wymienionych standardów, który zasadniczo dotyczy ochrony przed zaburzeniami przewodzonymi, została wprowadzona m.in. klasyfikacja poziomów ochrony. Wyróżniono trzy stopnie.

IEC 61000-4-24

Poziom trzeci, najwyższy, to odpowiednik stopnia ochrony zakładanych w standardach MIL-STD-188-125-1 oraz DEF-STAN-59-188-1, powinien być zatem zapewniony w obiektach wojskowych i innych, o podobnie wysokich wymaganiach. Poziom drugi jest rekomendowany w krytycznych zastosowaniach cywilnych/przemysłowych. Poziom pierwszy natomiast wtedy, gdy wymagania są niższe albo pewien stopień ochrony jest już zapewniony, bez konieczności wprowadzania dodatkowych rozwiązań.

W normie IEC 61000-4-24 można także znaleźć wymagania dla filtrów HEMP chroniących przed zaburzeniami przewodzonymi. Na przykład zalecane wartości szczytowego prądu resztkowego filtrów 250 V przy obciążeniu znamionowym 2 Ω dla składowej E1 dla poziomów 3, 2, 1 powinny wynosić odpowiednio: 353, 50 oraz 10 A.

W tytułowym dokumencie wprowadzone nie zostały określone poziomy ochrony przed zaburzeniami promieniowanymi, jednak przyjmuje się w tej kwestii pewne zalecenia. I tak w zakresie częstotliwości od 1 MHz do 1 GHz na poziomie 3 typowo wymagana jest skuteczność ekranowania 80 dB, na poziomach 1 i 2 60 dB w przypadku nowych budynków oraz 40 dB dla poziomów 1 i 2 w budynkach istniejących.

Ochrona w praktyce

Na rysunkach 2 oraz 3 zostały pokazane przykładowe konfiguracje systemów ochrony przed zaburzeniami HEMP. Pierwszy z nich jest lokalny, natomiast drugi kilkustopniowy.

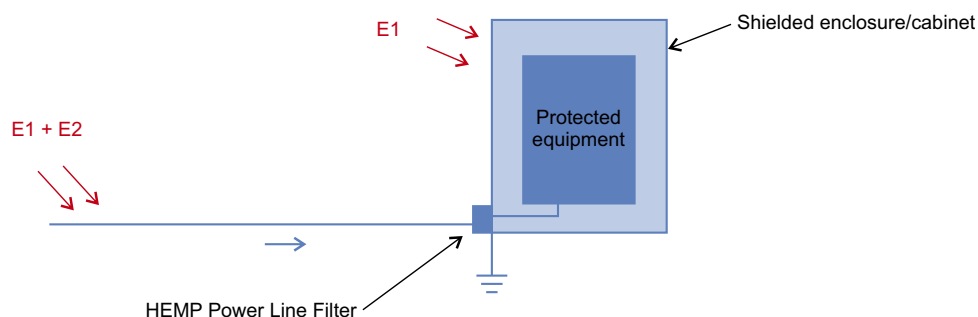
W pierwszym przypadku dla poszczególnych urządzeń (lub zbiorczo dla ich liczbowo niewielkiej grupy) stosowane są indywidualne zabezpieczenia w postaci obudowy o skuteczności ekranowania 80 dB (poziom 3) lub 40...60 dB (poziomy 1/2) oraz filtru HEMP zapewniającego wymagany stopień ochrony przed zaburzeniami przewodzonymi na poziomie 3, 2 albo 1.

Na rysunku 3 pokazano rozwiązanie, w którym oprócz dodatkowych środków ochrony w postaci ekranowanych obudów i filtrów HEMP korzysta się z tych zapewnianych przez dany budynek. Przykładowo w budynkach z prętami zbrojeniowymi skuteczność ekranowania wynosi typowo kilkanaście dB, można zatem oczekiwać zmniejszenia natężenia pola elektrycznego składowej E1 z 50 kV/m do poniżej 10 kV/m. Umieszczenie urządzenia w obudowie zapewniającej skuteczność ekranowania na poziomie 40 dB zmniejszyłoby tę wartość do poniżej 100 V/m, zaś przy 60 dB do mniej niż 10 V/m. Sprzęt prawdopodobnie byłby bezpieczny, oczywiście pod warunkiem zamontowania także odpowiednich filtrów HEMP.

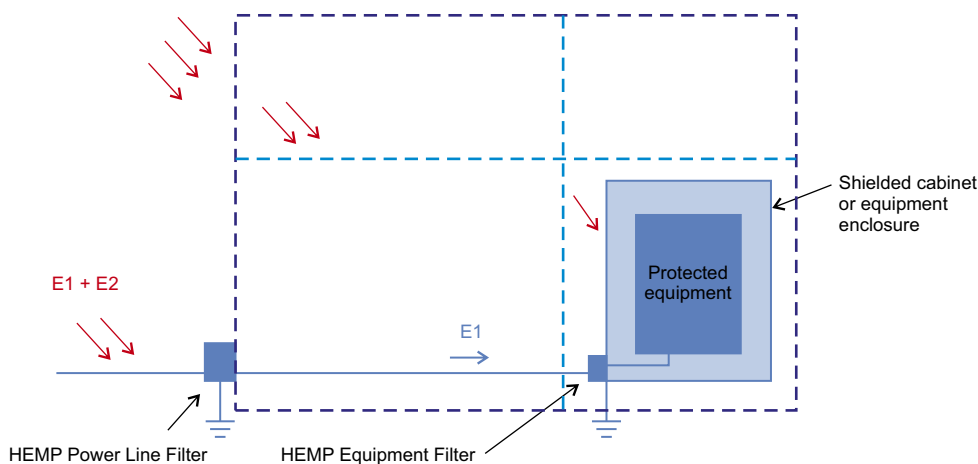
Pierwszym stopniem ochrony powinien być filtr HEMP w punkcie doprowadzenia zasilania do budynku. Blokuje on zaburzenia przewodzone indukowane od składowych E1 oraz E2 impulsu HEMP. Dodatkową ochroną każdego urządzenia będzie filtr HEMP tłumiący resztkowe zaburzenia przewodzone od składowej E1.

Filtry HEMP

Na rynku dostępne są zarówno filtry HEMP spełniające wymagania norm wojskowych, jak i do zastosowań cywilnych/przemysłowych, zgodne z normą IEC 61000-4-24. Komponenty tego typu w czasie normalnej pracy powinny się charakteryzować wysoką impedancją, dzięki której nie wpływają na pracę chronionych obwodów.



Rysunek 2. Ochrona lokalna. HEMP power line filter – filtr HEMP, protected equipment – chronione urządzenie, shielded enclosure cabinet – obudowa ekranowana



Rysunek 3. Ochrona kilkustopniowa. Shielded cabinet or equipment enclosure – obudowa ekranowana, HEMP power line filter, HEMP equipment filter – filtr HEMP, protected equipment – chronione urządzenie

W momencie wystąpienia zaburzenia, po przekroczeniu napięcia zadziałania ochronnika, jego impedancja maleje. W rezultacie komponenty filtru zwierają zaburzenie, absorbując jego energię. Dopóki napięcie nie spadnie poniżej progu przełączenia, niebezpieczny impuls jest tłumiony.

Poziom tłumienia wymagany w filtrach HEMP można uzyskać dzięki warystorom z tlenków metali MOV (*Metal Oxide Varistor*). Są to elementy o nieliniowej charakterystyce rezystancji, co oznacza, że przy niskim napięciu mają dużą rezystancję, a gdy przekroczą ono pewną wartość progową, specyficzną dla danego rodzaju warystora, ich rezystancja szybko maleje. Co więcej, rezystancja wpływu warystorów MOV maleje w funkcji częstotliwości, dzięki czemu przy wyższych częstotliwościach uzyskać można większe tłumienie.

Monika Jaworowska

REKLAMA

Wstąp do Klubu AVT Elektronika

będiesz miał prawo do korzystania z szeregu przywilejów:

- do 50% zniżki w Sklepie AVT
- darmowe prenumeraty Wydawnictwa AVT
- do 50% zniżki w Ulubionym Kiosku
- Zapraszamy do zapoznania się z zasadami Klubu!

<http://bit.ly/2GaDwtQ>



Ochrona instalacji PV

Artykuł, w zwięzły sposób, opisuje podstawowe metody ochrony instalacji PV przed przepięciami powodowanymi przez takie zjawiska, jak wyładowania atmosferyczne. Działania w instalacjach prądu stałego o napięciu kilkuset woltów wymagają zastosowania odpowiedniej aparatury.

Popularność instalacji fotowoltaicznych, zwanych instalacjami PV, spowodowała rozwój ochronników i zabezpieczeń DC klasy 1 i 2. Zanim przejdziemy do omówienia ich budowy, należy zastanowić się, jakie ograniczenia wnoszą prąd stały.

Bezpieczniki

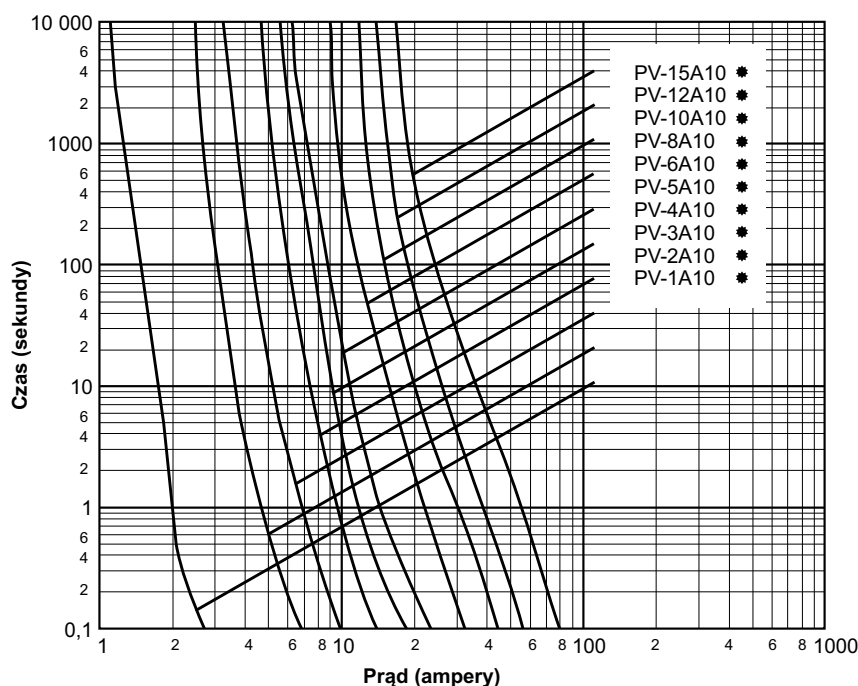
Na **fotografii 1** zostały pokazane 3 bezpieczniki. Są to (od prawej strony): standardowy bezpiecznik sieciowy 230 V, następnie bezpiecznik dla prądu przemiennego na 1000 V oraz bezpiecznik dla prądu stałego. Nie bez powodu bezpiecznik DC ma takie wymiary. **Przerwanie prądu stałego wiąże się z powstaniem łuku elektrycznego do przerwania którego potrzebny jest zwiększony dystans.** Nie występuje tutaj efekt samoczynnego gaszenia jaki ma miejsce przy prądzie przemiennym przy przejściu napięcia przez 0 (zero). Dodatkowo bezpieczniki stosowane do zabezpieczania instalacji PV powinny mieć charakterystykę typu gPV. Typoszeręg takich charakterystyk pokazano na **rysunku 1**. W porównaniu do zabezpieczeń typu „B” lub „C” charakterystyka gPV przebiega bardziej stromo. Wynika to z warunków pracy paneli, gdzie I_{mpp} (prąd mocy maksymalnej) wynosi zaLEDwie kilkanaście procent mniej niż prąd zwarcia I_{sc} .

W instalacjach PV podobnie jak dla sieci energetycznych, wyróżniamy ochronniki typu 1 i 2. Ograniczniki typu 1 służą do zabezpieczania przed przepięciami o wysokiej wartości prądu udarowego wywołwanymi bezpośrednim uderzeniem pioruna. Ograniczniki typu 2 mają za zadanie ochronę przed przepięciami o mniejszej energii np. indukowanym w przewodach w wyniku wyładowania doziemnego w okolicy. Istnieją także ochronniki kombinowane, czyli łączące typ 1 i 2 w jednej obudowie. Wymagania wobec typów 1 i 2 różnią się znacznie. Dobrze obrazuje to **rysunek 2**, na którym są na siebie nałożone poszczególne przepięcia w ujęciu przez normy.

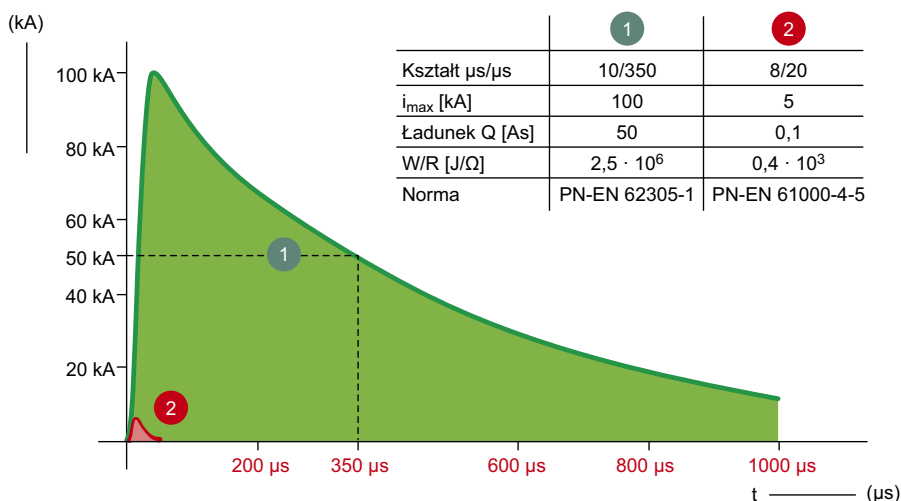
Dla bezpośredniego uderzenia pioruna przyjmuje się prąd ogranicznika do 100 kA i kształt udaru 10/350 μs . Natomiast dla przepięcia indukowanego norma mówi o średnim prądzie ochronnika na poziomie 5 kA i kształcie impulsu 8/20 μs . W związku z tak dużą różnicą w prądzie, który musi odprowadzić ochronnik dla typu 1, stosuje się elementy ucinające, a dla typu 2 elementy ograniczające.



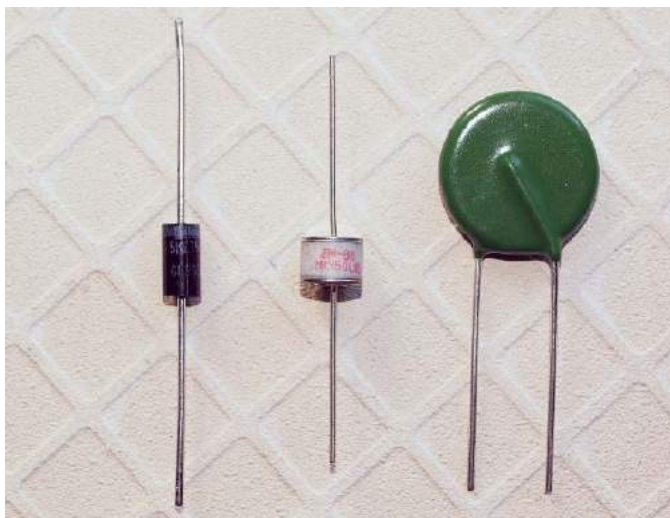
Fotografia 1. Bezpieczniki do różnych zastosowań



Rysunek 1. Typoszeręg charakterystyk gPV



Rysunek 2. Przepięcia w ujęciu przez normy



Fotografia 2. Składowe elementy ograniczników

Elementy ograniczników

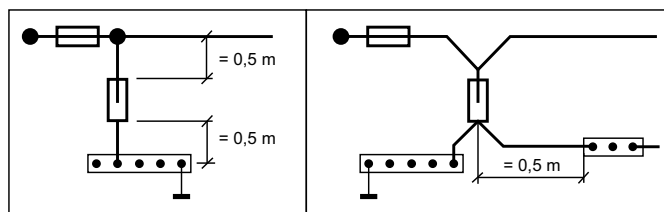
Na **fotografii 2** pokazano składowe elementy ograniczników w wykonaniu handlowym. Pośrodku widzimy iskiernik gazowy, który swoim działaniem przypomina wysokoprądową neonówkę. Przy normalnym napięciu pracy iskiernik stanowi przerwę w obwodzie i charakteryzuje się bardzo dużą rezystancją powyżej $10\text{ G}\Omega$ oraz znikomą pojemnością, maksymalnie kilka pF. Dopiero wzrost napięcia powyżej progu zadziałania powoduje przejście iskiernika najpierw w fazę jonizacji a następnie w etap wyładowania łukowego. Faza łuku elektrycznego charakteryzuje się występowaniem niewielkiego napięcia na elektrodach iskiernika pomimo przewodzenia prądu wielu kA. Można przyjąć, że w tej fazie iskiernik stanowi zwarcie i obcina przepięcie do poziomu około 20 V. Końcową fazą pracy iskiernika jest gaszenie.

Niestety w instalacjach DC nie występują naturalne predyspozycje do samoczynnego gaszenia łuku i dlatego też ograniczniki typu 1, poza iskiernikiem, zazwyczaj zawierają element termiczny. Widoczny po prawej (fotografia 2) warystor jest podstawowym elementem ochronników typu 2. Warystor należy do grupy elementów ograniczających przepięcia. Warystor jest elementem półprzewodnikowym wykonanym najczęściej w technologii tlenkowo-cynkowej. Dla znamionowego napięcia pracy stanowi prawie przerwę. Wraz ze wzrostem przepięcia zmniejsza swoją impedancję jednak nigdy do stanu zwarcia, a energię uderu prądowego wytraca w formie ciepła $I^2 \cdot R$. Po ustaniu przepięcia warystor wraca do stanu spoczynkowego, gdzie nieestety przepływa przez niego niewielki prąd upływu rzędu 0,1 mA, który powoduje starzenie się warystora. Proces degradacji warystorów dodatkowo nasila polaryzacja napięciem stałym i podniesiona temperatura pracy. Dlatego należy co kilka lat kontrolować ograniczniki typu 2.

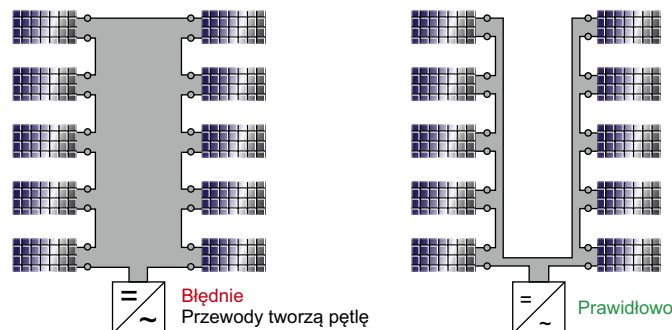
Trzecim elementem zabezpieczającym, widocznym na fotografii 2, jest transil. Diody lawinowe (jak czasem nazywane są transile) rzadko służą do budowania ograniczników typu 2. Słabo radzą sobie z prądami powyżej wartości znamionowej i najczęściej już po jednym wyładowaniu ulegają uszkodzeniu. Natomiast znajdują liczne zastosowanie przy zabezpieczaniu linii sterujących i komunikacyjnych. Szybkością zadziałania rzędu ps (piko sekund) zdecydowanie wyprzedzają warystory, a tym bardziej powolne iskierniki gazowe.

Uziemienie

Ograniczniki są jednym ze składników skutecznej ochrony przeciwprzepięciowej. Nie mniej ważne jest uziemienie o sprawdzonej (zmierzonej) impedancji oraz właściwe okablowanie. Na **rysunku 3** pokazano dwie zalecane wersje połączeń. Przy tym skuteczniejszą ochronę zapewnia podłączenie „V”, gdzie punktem wspólnym przewodów są zaciski ogranicznika.



Rysunek 3. Zalecane wersje połączeń



Rysunek 4. Dwa przypadki połączenia paneli na potaci dachowej

Poza prowadzeniem przewodów, istotne jest zachowanie zalecanych przekrojów. Sprawdźmy co się stanie gdy dla prądu 25 kA (znamionowego dla jednego bieguna ochronnika klasy 1) w ramach oszczędności połączenie z uziomem wykonamy przewodem $2,5\text{ mm}^2$ zamiast wymaganego 16 mm^2 . Przewodność miedzi $\sigma = 0,018\text{ }\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, co przy 10 m przewodu $2,5\text{ mm}^2$ daje 72 m Ω , a dla 16 mm^2 – 11 m Ω . Przy prądzie 25 kA wystąpi odpowiednio 1,8 kV i 275 V spadku napięcia! Zaskakujące 1,5 kV różnicy zapewne zdecydują o przetrwaniu zabezpieczonego sprzętu.

Poprawne prowadzenie przewodów to również unikanie wszelkich pętli, szczególnie tych o dużej powierzchni. Potencjalnie najłatwiej o błąd podczas łączenia paneli. Na **rysunku 4** zostały pokazane dwa przypadki dla paneli umieszczonych po obu stronach połaci dachowej. Poprzez prowizoryczną oszczędność i skrócenie połączenia pomiędzy 5 a 6 panelem powstaje spora pętla, w której indukować się będzie napięcie przy każdym wyładowaniu.

Dobór ograniczników

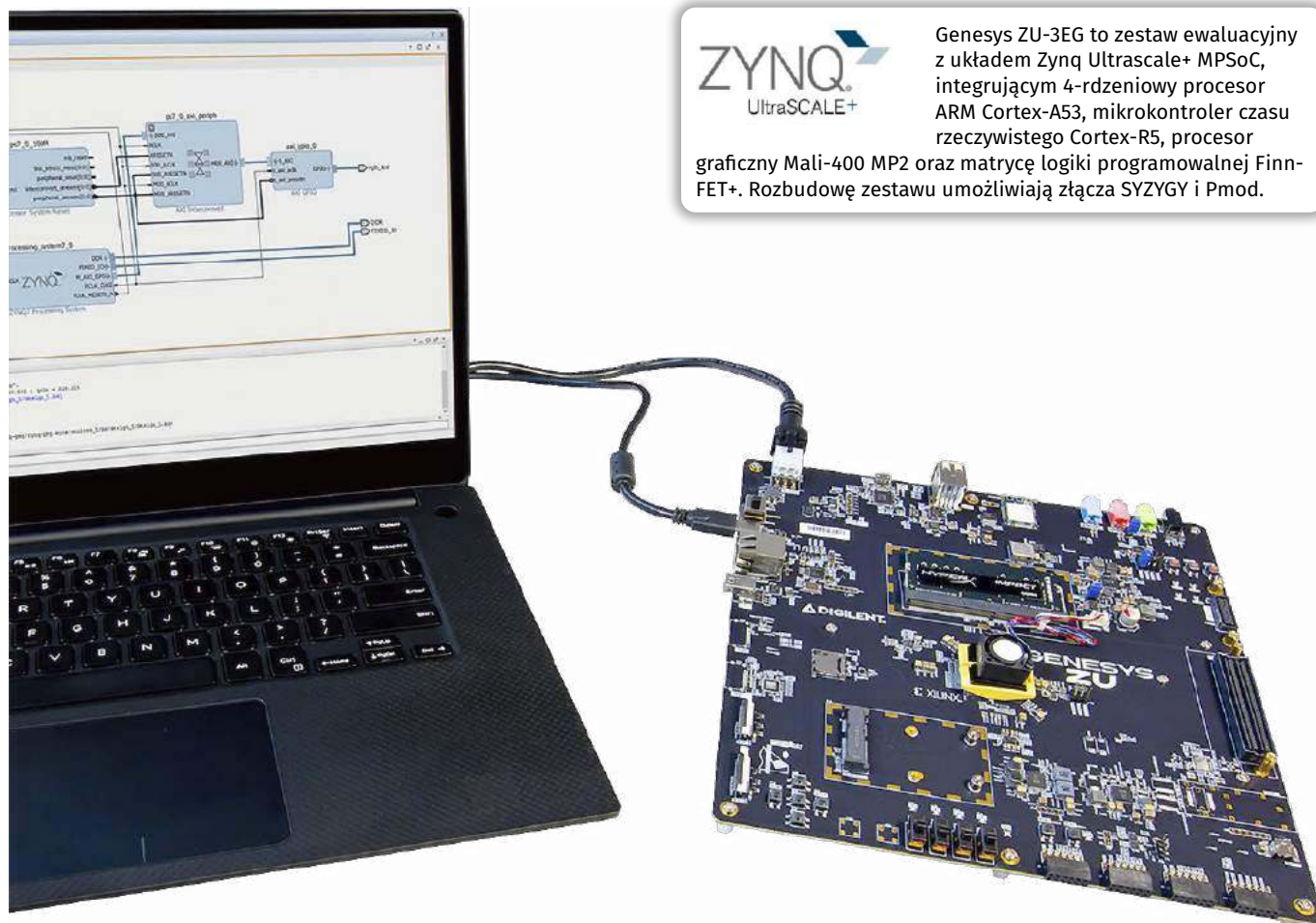
Ostatnim i budzącym szereg dyskusji aspektem ochrony instalacji PV jest dobór ograniczników i typ ochrony. Jeśli budynek, na którym zamontowane są panele PV, ma instalację odgromową i nie ma separacji ok. 1 m pomiędzy zwodami odgromowymi a elementami instalacji PV (wliczając w to przewody), to należy zastosować ograniczniki typu 1, ew. 1+2.

Podobnie należy postąpić, jeśli instalacja PV zabudowana jest na dachu przewodzącym prąd, np. pokrytym blachodachówką. Dodatkowo zaleca się wykonanie połączenia wyrównawczego pomiędzy stelażem PV a zwodem piorunochronu. Wszelkie połączenia ograniczników powinny być wykonane jako 16 mm^2 . Przy braku instalacji odgromowej i gdy ryzyko bezpośredniego wyładowania jest niewielkie (np. wyznaczone metodą toczącej się kuli) można zastosować ochronniki typu 2.

Podsumowanie

Rynek zapewnia dość szeroki wybór ochronników dla napięć stałych, choć oferta nie jest tak różnorodna, jak dla napięć przemianowych. Niemniej warto znaleźć ochronnik stałonapięciowy dopasowany do zabezpieczanej instalacji, kierując się zasadą $U_p \geq 1,2 \cdot U_{oc}$. Ponieważ falownik jest punktem wspólnym instalacji AC i DC, ważne jest prawidłowe zabezpieczenie falownika również po stronie sieciowej. Minimum to ogranicznik typu 2 dla każdej z faz + N.

Michał Stach
michal.stach@elportal.pl



ZYNQ
UltraSCALE+

Genesys ZU-3EG to zestaw ewaluacyjny z układem Zynq UltraScale+ MPSoC, integrującym 4-rdzeniowy procesor ARM Cortex-A53, mikrokontroler czasu rzeczywistego Cortex-R5, procesor graficzny Mali-400 MP2 oraz matrycę logiki programowalnej FinFET+. Rozbudowę zestawu umożliwiają złącza SYZYGY i Pmod.

Digilent Genesys ZU

rekonfigurowalna, wieloprocessorowa platforma SoC do aplikacji AI i Embedded Vision

Zestaw Genesys ZU, bazujący na zaawansowanym układzie Zynq UltraScale+ MPSoC firmy Xilinx, jest jedną z najbardziej zaawansowanych platform sprzętowych, opracowanych i produkowanych przez firmę Digilent. Ogromna moc obliczeniowa zastosowanego układu SoC oraz bogate wyposażenie „pokładowe” zestawu powodują, że nawet wymagające aplikacje robotyczne, AI czy Embedded Vision mogą być wygodnie implemmentowane, w czym dodatkowo pomaga bogata biblioteka bezpłatnych IP core’ów.

Zestaw Genesys ZU (**fotografia 1**) jest nowością w ofercie produkcyjnej firmy Digilent, bazującą na niezwykle wyrafinowanych układach z rodziny Zynq UltraScale+ MPSoC z podrodziny EG. Jest to jeden z najnowszych zestawów w ofercie produkcyjnej Digilent, przeznaczony zarówno do użycia w laboratoriach szkolnych i uczelniowych, jak i w laboratoriach przemysłowych pracujących nad systemami obróbki i analizy wideo czy SDR.

Więcej informacji:

Wyłącznym, autoryzowanym dystrybutorem edukacyjnym zestawów firmy Digilent w Polsce jest firma KAMAMI, www.kamami.pl



Kilka słów o sprzęcie

W układach Zynq UltraScale+ MPSoC EG zintegrowano 4-rdzeniowy procesor Cortex-A53, 2-rdzeniowy system real-time bazujący na rdzeniach Cortex-R5, koprocessor graficzny ARM Mali-400 MP2 oraz rekonfigurowalną matrycę FPGA.

Część rekonfigurowalna układu FPGA oferuje użytkownikom 154 tysiące komórek logicznych, 360 bloków wspomagających obliczenia DSP, a także 7,6 Mb konfigurowalnej pamięci RAM. Układy Zynq UltraScale+ MPSoC są także wyposażone w standardowe periferia komunikacyjne i szybkie interfejsy komunikacyjne, jak PCIe (przystosowane do montażu dysku SSD lub modemu LTE z kartą SIM), mSATA, USB3.1, Ethernet 1 Gb czy moduł Wi-Fi (ATWINC1500).

Wysoką wydajność mikroprocesorowej części systemu zapewnia pamięć RAM DDR4, która domyślnie ma pojemność 4 GB. Ponieważ

jest montowana w zestawie jako moduł SODIMM, w razie konieczności można dostosować jej pojemność do wymogów aplikacji.

Prezentowany zestaw został wyposażony w dwa interfejsy MIPI-CSI dla kamer wideo oraz 2-lane'owy DisplayPort 1.2a, dzięki któremu można wygodnie dołączyć monitor do systemu testowego. Fanów systemów multimedialnych z pewnością ucieszy fakt wbudowania w zestaw kompletnego kodeka audio z rodziny SigmaDSP firmy Analog Devices, który jest wyposażony w stereofoniczny wzmacniacz słuchawkowy.

Standardowym wyposażeniem zestawu jest złącze SYZYGY, za pomocą którego do układu SoC można dołączyć specjalne karty rozszerzeń, przykładowymi rozwiązaniami z oferty firmy Digilent są szybkie (częstotliwość próbkowania do 100 MHz), 14-bitowe przetworniki: A/C ZmodADC1410 (**fotografia 2**) oraz C/A ZmodDAC1411 (**fotografia 3**). Alternatywą dla SYZYGY jest klasyczne złącze rozszerzeń FMC, w przypadku mniej zaawansowanych modułów peryferyjnych użytkownicy mogą korzystać także z czterech złączy Digilent Pmod.

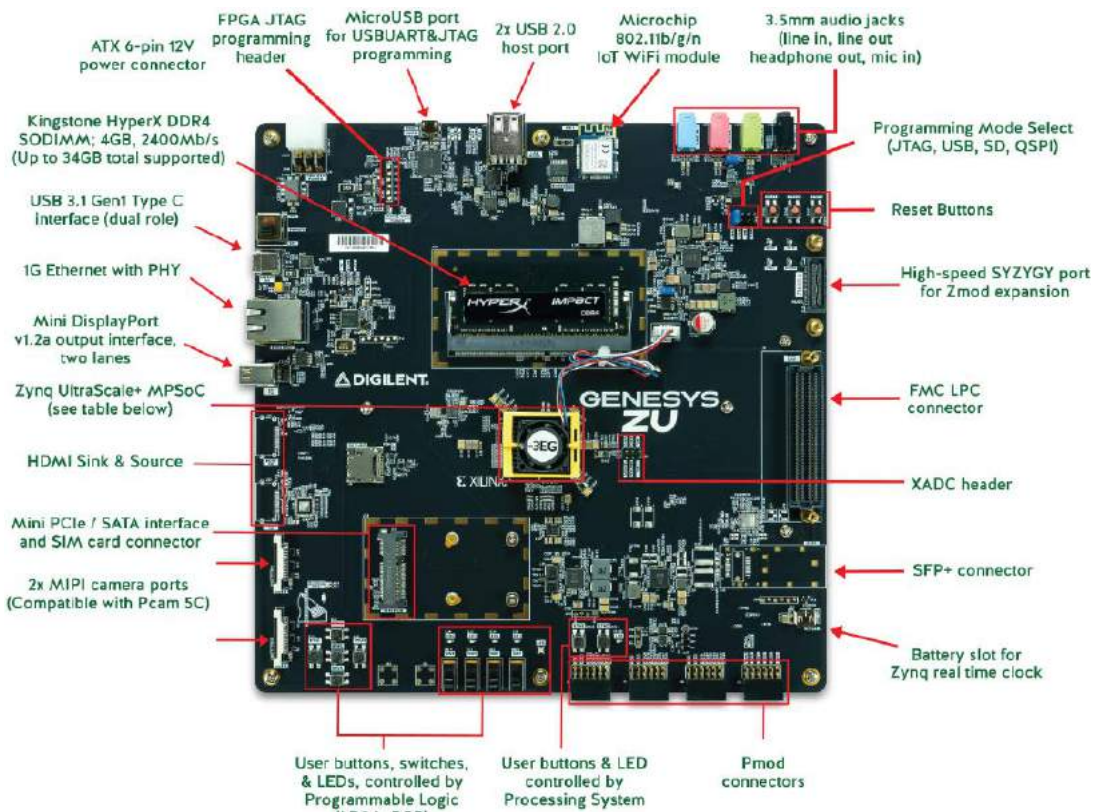
Zestaw Genesys ZU wyposażono też w mniej spektakularne elementy, jak na przykład złącze karty SD, przełączniki i diody LED spełniające funkcję sprzętowego interfejsu użytkownika, 3-portowy hub USB 2.0, ekspandery portów: IO i I²C, a także pamięć Flash SPI.

Kilka słów o oprogramowaniu i bezpłatnych IP

Firma Digilent przygotowała dla użytkowników zestawu Genesys ZU system operacyjny Petalinux, znany z innych zestawów bazujących na układach Xilinx Zynq. Z myślą o użytkownikach zamierzających korzystać z zaawansowanych peryferiów implementowanych w FPGA, producent przygotował i udostępnił bezpłatne IP core'y. Ich zestawienie znajduje się w **tabeli 1**, są udostępnione w formacie zgodnym z popularnym środowiskiem Vivado.

Tabela 1. Zestawienie IP core'ów udostępnionych bezpłatnie użytkownikom zestawu Digilent Genesys ZU w środowisku Vivado WebPack 2020.1 (w większości dostępne już od wersji Vivado 2019.1)

Interfejs	IP support
DDR4 memory controller	PS hard-core, WebPACK built-in
MIPI CSI-2/Pcam	PL soft-core, MIPI CSI Controller Subsystems
DisplayPort controller	PS hard-core, WebPACK built-in
Ethernet 1G	PS hard-core, WebPACK built-in
USB 2.0/3.0	PS hard-core, WebPACK built-in
PCIe Root/Mini PCIe	PS hard-core, WebPACK built-in
SATA/mSATA	PS hard-core, WebPACK built-in
Wi-Fi/SPI controller	PS hard-core, WebPACK built-in, open-source Linux driver



Fotografia 1. Wygląd zestawu Genesys ZU-3EG

Jak widać, producent przygotował zaawansowane bloki funkcjonalne, dzięki którym obsługa wyrafinowanych interfejsów komunikacyjnych nie wymaga od użytkownika ogromnych nakładów pracy.

Podsumowanie

Prezentowany w artykule zestaw Genesys ZU na pewno nie jest platformą startową dla każdego konstruktora, który chciałby poznać tajniki aplikowania układów System-on-a-Chip w praktyce. Wynika to zarówno ze znacznego rozbudowania sprzętowego zestawu, stopnia skomplikowania zastosowanego układu SoC, jak i możliwości sprzętu i przygotowanego przez producenta oprogramowania.

Dzięki dostępnemu bezpłatnie oprogramowaniu narzędziowemu (Vivado WebPack), IP core'om, przygotowanym przez producenta do natychmiastowego użycia, systemowi operacyjnemu Linux (dostępnemu dla obydwo domen MPU), a także dużym możliwościom rozbudowy sprzętowej, zestaw Genesys ZU jest (biorąc pod uwagę jego możliwości) tanim i bardzo elastycznym narzędziem do badania szerokiej gamy zaawansowanych rozwiązań programowo-sprzętowych. Duża moc obliczeniowa SoC oraz wbudowane interfejsy wideo predestynują zestaw do ewaluacji aplikacji wizyjnych, z kolei szybkie interfejsy różnicowe wyprowadzone na złącza FMC i SYZYGY poszerzają listę możliwych aplikacji niemalże po horyzont wyobraźni użytkowników. Możliwości zbliżenia się do tego horyzontu życzymy każdemu konstruktorowi.



Fotografia 2. Wygląd ekspandera SYZYGY ZmodADC1410 – 14-bitowego przetwornika A/C o częstotliwości próbkowania do 100 MHz



Fotografia 3. Wygląd ekspandera SYZYGY ZmodDAC1411 – 14-bitowego przetwornika C/A o częstotliwości próbkowania do 100 MHz

Farnell odmienia edukację w Norwegii korzystając z platformy super:bit

Norwegia wykazuje bardzo progresywne podejście do wykorzystania technologii w szkołach, w celu przygotowania dzieci do życia w nowym, bardziej zorientowanym na technikę środowisku pracy. Światowe Forum Ekonomiczne (The World Economic Forum) ocenia, że 65% dzieci, które rozpoczęły edukację w szkole podstawowej w 2016 roku, będzie wykonywać zawody, które teraz jeszcze nie istnieją. Instytucje edukacyjne na całym świecie zaczynają przykładać większą wagę do nauczania nowych umiejętności, które pozwolą przygotować dzieci na taką zmianę. Umiejętności rozwiązywania problemów i zdolność do logicznego, obliczeniowego myślenia są uznawane za kluczowe, by zredukować różnice pomiędzy lepiej i gorzej wykształconymi osobami oraz by rozwijać innowacje wśród młodych liderów jutra.

Centrum Naukowe Inspiria w Norwegii znajduje się w sercu tego trendu. Jego celem jest wprowadzanie nauczania zdolności rozwiązywania problemów wśród dzieci w wieku 11 i 12 lat. Koncentruje się na użyciu nowoczesnych technologii i elektroniki. Projekt tworzy ścieżkę, dzięki której nauczyciele mogą rozwinąć swoje rozumienie elektroniki. To dzięki niej można nauczyć się takich kluczowych umiejętności, jak zdolność do tzw. myślenia obliczeniowego. A tymczasem w klasach szkolnych zastosowanie technologii w odniesieniu do realnych scenariuszy stanowi nową, praktyczną i zabawną metodę nauczania dzieci.

Współpracując z norweskim rządem oraz w ramach partnerstwa z firmą Farnell, Inspiria dokonała milowego skoku w rozwoju umiejętności myślenia obliczeniowego, dzięki wykorzystaniu zestawu super:bit. W Norwegii przekazano szkołom ponadpodstawowym już 2700 zestawów super:bit – opracowanych, skompletowanych i rozdyskrebowanych przez firmę Farnell. Aby usprawnić wdrożenie i wesprzeć nauczycieli, Inspiria przeprowadziła szereg szkoleń, w ramach których omawiano podstawowe zagadnienia związane z programowaniem i pokazywano, jak zaplanować interaktywne lekcje. Nauczyciele, którzy biorą udział w takim szkoleniu, otrzymują zestaw super:bit, który mogą zabrać do swoich szkół, by w praktyce realizować to, czego się nauczyli.



Więcej informacji:

Farnell

tel. 00800 121 29 67

info-pl@farnell.com, <https://pl.farnell.com>



Odpowiedź na stanowiącą wyzwanie ofertę

Inicjatywa micro:bit jest częścią światowego ruchu, którego celem jest stworzenie zabawnego, interaktywnego środowiska, dzięki któremu młodzież będzie mogła uczyć się programowania i elektroniki. Inspiria chciała połączyć to narzędzie z innymi technologiami, by opracować nową generację materiałów pomagających w nauczaniu. Na początku projektu inne zastosowane technologie nie były jeszcze skonkretyzowane, a w niektórych przypadkach nawet nie były jeszcze dostępne na rynku.

Jak dotąd Farnell wyprodukował i sprzedał ponad 4,5 miliona płytek micro:bit. Dzięki doświadczeniu jako globalny dystrybutor elektroniki, jest jedyną firmą, która dysponuje odpowiednim technicznym i komercyjnym potencjałem, by zrealizować omawiany projekt. Wiedza własnego zespołu Farnella na temat płytek micro:bit, umiejętności pracowników oraz istniejąca sieć dostawców to zestaw wartości, które pozwoliły na zaprojektowanie, zdobycie i wyprodukowanie wszystkich potrzebnych elementów. Co więcej, Farnell ma doświadczenie i możliwości, które pozwoliły na zrealizowanie tych wszystkich planów w szybkim tempie. Pierwsze dostawy zestawów super:bit zostały wysłane w trzy miesiące po podpisaniu kontraktu.

Opracowanie zestawu super:bit

Każdy zestaw super:bit składa się z 15 kluczowych komponentów, takich jak: płytka micro:bit, kable USB i uchwyt na baterie, specjalnie zaprojektowane roboty Bit:BotXL z fabrycznie przyłutowanym, wysoce odpornym i niezawodnym czujnikiem ultradźwiękowym oraz z uchwytem na długopis. W zestawie znajduje się też pasek NeoPixel LED ze zintegrowanymi sterownikami RGB (czerwony, zielony i niebieskim) dla każdej z diod oraz serwonapędy 180/360°. Wśród innych komponentów można znaleźć brzęczki i krokodyłki, służące do podłączania przewodów. Cały zestaw jest dostarczany w ułatwiającym przechowywanie plastikowym pudełku, zdatnym do recyklingu.

Farnell ściśle współpracował z organizacją Inspiria, by mieć pewność, że komponenty dostarczane w zestawie odpowiadają



pierwotnym założeniom projektu i nadają się do zastosowania w edukacji dzieci. Zespół inżynierski Farnella zmodyfikował standardowy projekt taśm LED tak, by wyposażać je w 400-milimetrowe przewody, które pozwolą dzieciom w wieku szkolnym na łatwe podłączenie paska LED-owego do płytki micro:bit z użyciem krokodylków. Podobnie Farnell zadbał o zredukowanie ryzyka powstawania szkodliwych wyładowań elektrostatycznych, wynikających z posługiwania się komponentami przez dzieci. W tym celu dodał do LED-ów odpowiednie rezystory. Co więcej, wszystkie komponenty zostały zapakowane w antystatyczne torebki Farnella.

Dzięki zestawom super:bit wyprodukowano największą liczbę robotów, przygotowanych z myślą o pojedynczym projekcie edukacyjnym. Wybór odpowiedniego robota miał krytycznie ważne znaczenie. Inspiria miała ograniczoną wiedzę na temat tego, co jest dostępne na rynku i to właśnie Farnell pomógł wybrać odpowiedni model. Wymagania Inspirii determinowały, że potrzebny jest przyjazny dla użytkownika robot, który przetrwa pracę w klasie szkolnej. Farnell współpracował bezpośrednio z firmą 4tronix – właścicielem praw do robota Bit:Bot oraz z firmą Embest, by zmodyfikować, zaprojektować i wyprodukować odpowiednią wersję, model Bit:BotXL, wyposażony w standardzie w sensor ultradźwiękowy i uchwyt na długopis. Dzięki wykorzystaniu własnych mocy produkcyjnych Farnell mógł zapewnić niezwykle wysoką jakość wyrobów, wymagany zestaw funkcji i komponenty, które pozwalają na uzyskiwanie powtarzalnych efektów – co jest niezwykle ważne w środowisku edukacyjnym.

Funkcje i długowieczność wbudowane w projekt

Oprócz spełniania celów edukacyjnych, Inspirii zależało także, by zestaw był funkcjonalny i mógł z powodzeniem przetrwać przez dłuższy czas. Został zaprojektowany tak, by mieć niewielkie wymiary i by można go było z łatwością umieścić na półce w klasie szkolnej, a więc by nie przeszkadzał, gdy nie jest w użytku. Co więcej, w zestawie klasowym znalazła się przestrzeń na przechowywanie dodatkowych materiałów edukacyjnych, takich jak mazaki, programy lekcji i inne komponenty przydatne do nauki programowania.

Farnell przygotował pudełko na cały sprzęt, wykonane z certyfikowanego plastiku, nadającego się do recyklingu. Zminimalizował też wykorzystanie innych plastikowych elementów. W zestawie znalazły się również kartonowe nakładki i pudełka, wszystkie wykonane z materiałów pochodzących już z recyklingu. Dbłość o środowisko zapewniono też w całym łańcuchu dostaw – komponenty zostały zapakowane w opakowania mieszczące taką liczbę produktów, jaka potrzebna jest akurat do zestawów, by zredukować liczbę indywidualnych opakowań. Natomiast całe zestawy zostały dostarczone do Inspirii w opakowaniach wykonanych z odzyskanego kartonu.

Logistyka na najwyższym poziomie

Farnell współpracował ze swoim dotychczasowym partnerem, by skompletować zestawy i dostarczyć je w wyznaczone miejsca. To właśnie dzięki temu partnerstwu udało się zapewnić bezbłędną jakość



w trakcie całego procesu pakowania, a także dotrzymać obiecanych terminów dostaw i zmieścić się w ramach czasowych, zaplanowanych na wdrażanie projektu. Udało się to zrealizować pomimo wyzwań, jakie stawiały połączenia logistyczne w Norwegii, w której sieć dróg opiera się w dużej mierze o wybrzeże.

Prototyp dla edukacji elektroniki

Zestaw super:bit ma na celu przede wszystkim rozwijanie umiejętności myślenia obliczeniowego oraz zdolności rozwiązywania problemów przez dzieci w wieku 11 i 12 lat. Jednakże przy okazji kształci dużą grupę nauczycieli, odpowiednio przygotowanych, by inspirować całe pokolenie dzieci. Dlatego tak ważne dla sukcesu całego projektu były wstępne szkolenia dla nauczycieli, które pozwoliły im wykształcić pewność siebie w odniesieniu do technologii poprawiających doświadczenia edukacyjne dzieci. Projekt super:bit może tak naprawdę stanowić początek rewolucji w edukacji w Norwegii, a firma Farnell już teraz pracuje nad wyprodukowaniem kolejnych zestawów dla szkół w tym kraju, które chciałyby rozwinąć techniki edukacyjne w różnych klasach.

Farnell pomógł zrealizować liczne projekty, wspierające nauczanie przedmiotów ścisłych i technicznych w oparciu swoich na produktach. Współpracuje z rządami i instytucjami edukacyjnymi na całym świecie. Geir Endregard, Chief Executive Officer Centrum Naukowego Inspirii, powiedział: „Bardzo się cieszymy, że to właśnie Farnell wygrał międzynarodowy przetarg na dostawy sprzętu na potrzeby realizowanego w Norwegii projektu super:bit. Firma ta wykazuje niezmiernie profesjonalne podejście i jesteśmy szczególnie zadowoleni z wagi, jaką przykładają do wysokiej jakości produktów, a także do zapewnienia ich dużej wytrzymałości i możliwości stosowania w klasach w kolejnych latach. Warto też dodać, że od strony logistycznej wszystko było zorganizowane we wzorcowy sposób. Mamy nadzieję, że w przyszłości będziemy mogli powiększyć wybór produktów w ramach rodziny super:bit w Norwegii, a być może także rozszerzyć tę inicjatywę na inne państwa”.

Farnell zrealizował ten projekt, bazując na 80 latach doświadczenia w globalnej dystrybucji komponentów oraz na swojej silnej sieci zaopatrzenia. Dostarczanie projektów na potrzeby edukacji wymaga też dużej elastyczności. Farnell zajął się produkcją płytek micro:bit już w momencie premiery tego projektu w 2016 roku, gdy współpracował z BBC, by zrealizować kampanię „Make it Digital”, wysyłając milion płytek micro:bit do brytyjskich szkół. Połączenie umiejętności, doświadczenia i wiedzy sprawia, że Farnell jest w stanie wykonywać unikalne projekty, które zainspirują całe pokolenie.



Silniki BLDC (3)

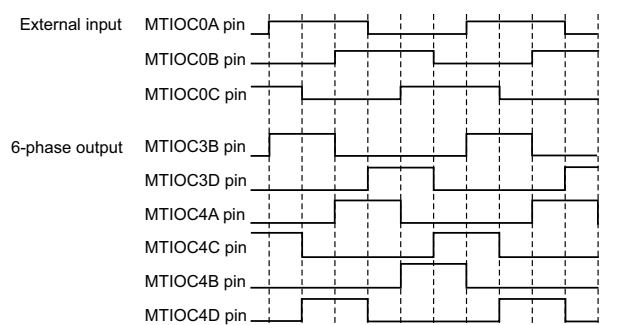


Zaawansowane metody sterowania

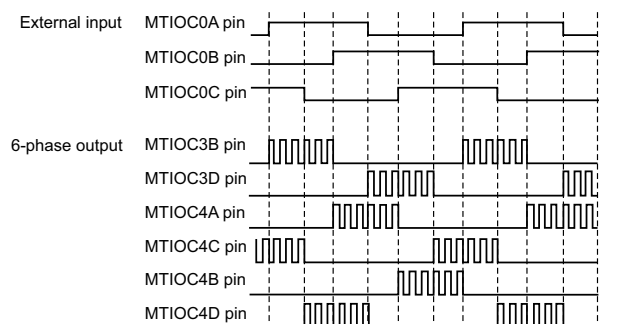
Sterowanie pracą silnika BLDC nie jest zadaniem łatwym. Jeżeli mamy możliwość swobodnej regulacji napięcia w każdej z faz, to można regulować prędkość obrotową silnika, zmniejszając lub zwiększając prąd wszystkich faz. Można też kształtować przebieg prądów w fazach po to, aby prąd sterujący miał przebieg sinusoidalny i stosować sterowanie trójfazowe. Wtedy każda z faz silnika jest zasilana napięciem sinusoidalnym przesuniętym w fazie o 120° . Dzięki temu silnik pracuje płynniej i jest cichszy, ale znacznie komplikują się algorytmy sterowania i regulacji.

Złożoność algorytmów wynika z tego, że drivery muszą w czasie rzeczywistym dostarczać 3 różne prądy fazowe. Dodatkowo w algorytmach regulacji PID ze sprzężeniem zwrotnym bardzo trudno jest przetwarzać trójfazowe sygnały sinusoidalne. Jedną z metod zaradczych jest sterowanie wektorowe. Przy sterowaniu wektorowym 3-fazowe zmienne prądy stojana są matematycznie przekształcone na pojedynczy wirujący w czasie wektor prądowy. Do obliczeń stosuje się zmierzoną wartość dwu prądów fazowych i wyliczenie trzeciego (suma 3 prądów fazowych jest równa zero). Te wartości są poddane transformacjom Clarke'a i Parka.

Istotną cechą sterowania wektorowego jest to, że przetransformowany wektor prądowy ma 2 składowe: jedna z nich wyznacza wielkość momentu obrotowego, a druga pole magnetyczne wirnika.



■ When TGCRA (TGCRB).BDC = 1, TGCRA (TGCRB).N = 0, TGCRA (TGCRB).P = 0, TGCRA (TGCRB).FB = 0, and output active level = high



■ When TGCRA (TGCRB).BDC = 1, TGCRA (TGCRB).N = 1, TGCRA (TGCRB).P = 1, TGCRA (TGCRB).FB = 0, and output active level = high

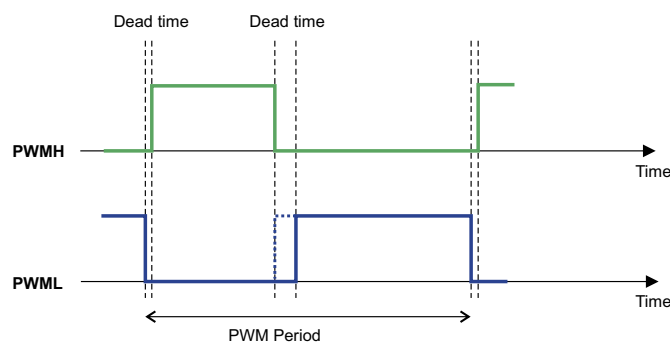
Rysunek 16. Sterowanie PWM fazami silnika BLDC na podstawie sygnałów z czujnika Halla

Możliwość wyizolowania i regulacji składowej odpowiadającej za składową momentu umożliwia sterowanie silnikiem BLDC sterowanym trójfazowym prądem przemiennym tak jak silnikiem stałoprądowym. W praktyce można ustawić stałe pole magnetyczne i w pętli PID regulować wektor momentu tak, by prędkość obrotowa silnika była stała. Sterowanie wektorowe wymaga precyzyjnej informacji o położeniu wału silnika z czujników optycznych.

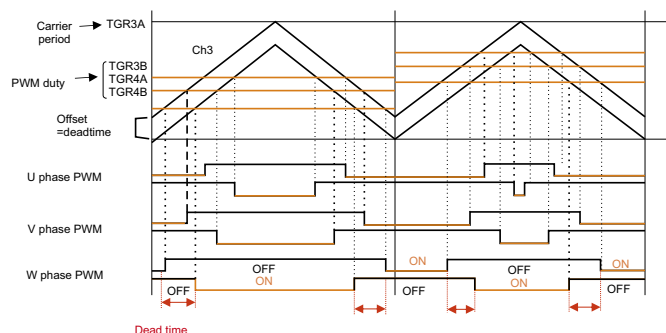
Zastosowanie sterowania wektorowego pociąga za sobą konieczność wykonywania szybkich obliczeń „on line” za pomocą szybkich mikrokontrolerów z wbudowanymi jednostkami zmiennoprzecinkowymi i procesorami DSP. Mikrokontrolery zorientowane na sterowanie silnikami mają wbudowany szereg specjalizowanych układów peryferyjnych, które bardzo ułatwiają kontrolowanie silnika. Wiele czynności sterowniczych i kontrolnych jest wykonywanych przez zaawansowane układy peryferyjne. Odciąża to rdzeń mikrokontrolera i upraszcza tworzenie i testowanie oprogramowania sterowników.

Jednym z przykładów silnego zorientowania na sterowanie silnikami BLDC są mikrokontrolery rodziny RX66T produkowane przez firmę Renesas. Jednym z podstawowych układów peryferyjnych jest bardzo uniwersalny układ licznikowy MTU3d. Jest zbudowany z 8 konfigurowalnych kanałów z 16-bitowymi licznikami MTU0, MTU1, MTU2, MTU3, MTU4, MTU5, MTU6, MTU7 i MTU9.

W trapezowym, najprostszym rodzaju sterowania drivery dostarczające napięcia zasilającego fazy silnika są sterowane w sposób pokazany na **rysunku 7** w pierwszej części cyklu artykułów. Moment przełączania faz jest określany przez czujniki Halla umieszczone na wale wirnika lub przez algorytmy wykrywania położenia w układach bezczujnikowych. Jedną z konfiguracji kanałów licznikowych MTU3d (tryb Complementary Mode) umożliwia całkowicie sprzętowo



Rysunek 17. Przebiegi komplementarne PWM z czasami dead time



Rysunek 18. Sterowanie 3 faz silnika BLDC – 2 MTU3 i MTU4 – kanały modułu MTU3d

sterowanie komutacją zasilania faz na podstawie sygnałów z czujników Halla. Na trzy wydzielone wejścia mikrokontrolera podawane są sygnały z czujników Halla, a na 6 wyjściach są „gotowe” sygnały sterujące tranzystorami drivera. Na **rysunku 16** pokazano 2 konfiguracje pracy MTU3d w trybie Complementary Mode wykorzystującym kanały MTU3 i MTU4.

Czas martwy

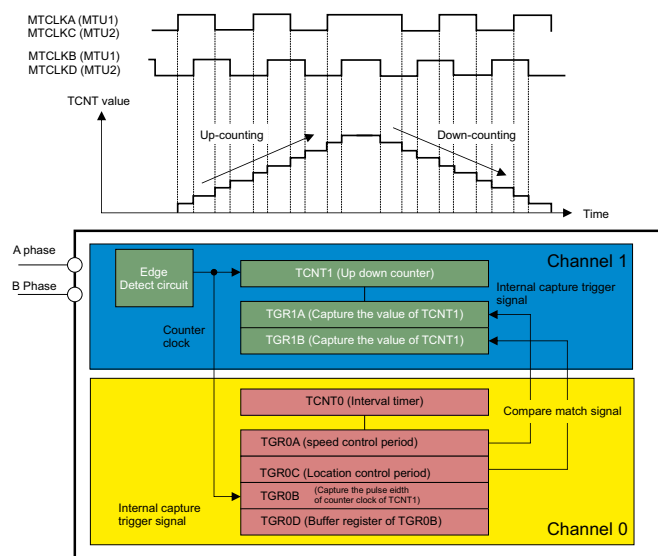
Jednym z typowych problemów sterowania komplementarnymi sygnałami PWM driverami silnika z wykorzystaniem układów mostkowych z tranzystorami MOS jest możliwość krótkotrwałego wprowadzenia w przewodzenie obu tranzystorów zasilania fazy. Pojemności pasywnicze w układach bramek powodują, że przy szybkich przełączeniach jeden tranzystor jest jeszcze załączony, mimo że sygnał bramki go wyłącza, a drugi tranzystor jest już włączony. W wyniku powstaje krótkotrwałe zwarcie źródła zasilania przez oba tranzystory. Może tak się zdarzyć na przykład przy sterowaniu pokazanym na rysunku 16. Żeby tego uniknąć, w układach PWM wprowadza się pojęcie czasu martwego (dead time). Układy licznikowe generujące komplementarne przebiegi PWM często mają możliwość programowania czasu martwego zależnie od częstotliwości przełączania i użytych tranzystorów. Na **rysunku 17** pokazano przebieg PWM z czasami dead time, a na **rysunku 18** sposób generowania trzech przebiegów komplementarnych z czasami dead time do sterowania trzema fazami silnika BLDC z wykorzystaniem dwu kanałów modułu MTU3d. Wartość współczynnika wypełnienia dla kolejnych faz określają wartości wpisane do rejestrów TGR3B, TGR4A i TGR4B.

Prędkość i kierunek

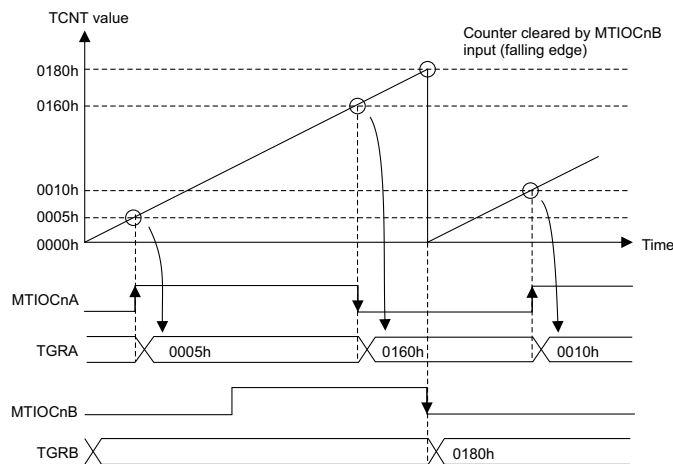
Do określania prędkości obrotowej i kierunku wirowania wirnika mogą być wykorzystywane enkodery. Moduły MTU1 i MTU2 mogą niezależnie pracować jako 16-bitowe liczniki zliczające różnicę faz pomiędzy dwoma zewnętrznymi sygnałami zegarowymi podawanymi na wejścia mikrokontrolera. MTU1 i MTU2 można połączyć kaskadowo i powstanie wtedy jeden 32-bitowy licznik.

W 16-bitowym trybie zliczania różnicy faz licznik TCNT jest inkrementowany lub dekrementowany zależnie od różnicy faz dwu zewnętrznych sygnałów zegarowych. Tymi sygnałami zewnętrznymi mogą być wyjścia dwufazowego enkodera określającego prędkość i kierunek wirowania wału silnika BLDC. Kiedy licznik TCNT się przepełni, to zależnie od tego, czy licznik zliczał w dół, czy w górę, ustawiane są dwie różne flagi przerwania i zgłaszane są przerwania.

Dostępnych jest 5 różnych trybów zliczania. W przypadku użycia klasycznego enkodera do pomiaru kierunku obrotu i prędkości obrotowej



Rysunek 19. Określanie kierunku wirowania i prędkości obrotowej



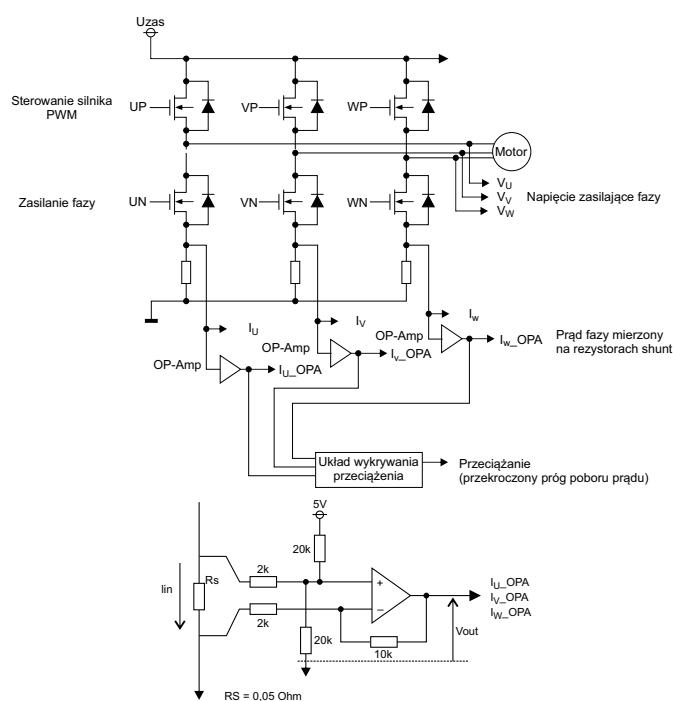
Rysunek 20. Kanał licznika pracujący w trybie Capture

może być użyty tryb 1. Na **rysunku 19** pokazano zliczanie w trybie 1 i pokazano blokowo zasadę określania kierunku wirowania i prędkości obrotowej. Do pomiaru szerokości impulsu z enkodera i w konsekwencji prędkości obrotowej używa się licznika pracującego w trybie capture. Przykład takiego zastosowania został pokazany na **rysunku 20**.

Zabezpieczenie przed przeciążeniem

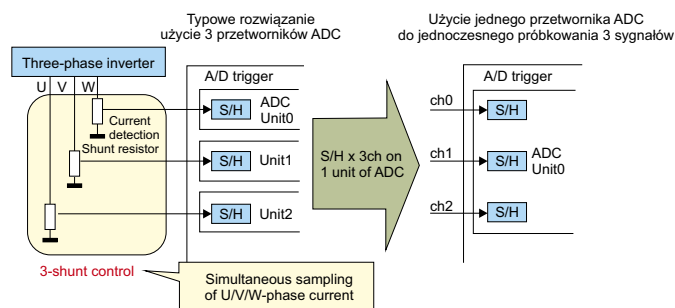
Sterowniki do sterowania silnikami BLDC powinny być wyposażone w układy zabezpieczające przed mechanicznym przeciążeniem silnika i w konsekwencji jego uszkodzeniem. Układy zabezpieczające chronią również obwody mocy układu sterowania oraz zasilacz. Stan przeciążenia najłatwiej jest wykryć, mierząc prąd pobierany w obwodach uzwojeń stojana. Technicznie jest to realizowane przez dołączenie szeregowych rezystorów pomiarowych (*shunt resistor*) w obwód zasilania mostka tranzystorowego drivera silnika.

Na **rysunku 21** pokazano przykładowy układ pomiaru prądu i sygnalizacji jego przekroczenia w trzech fazach (materiały firmy Renesas). Spadek napięcia na rezystorze R_s , proporcjonalny do płynącego prądu w obwodzie zasilania fazy, jest wzmacniany przez wzmacniacz operacyjny i poddawany konwersji przez przetworniki analogowo-cyfrowe.



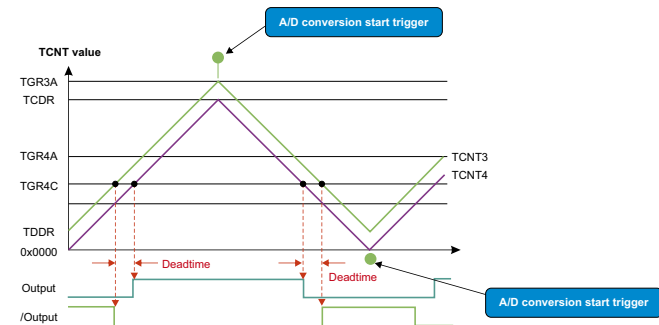
Rysunek 21. Przykładowy układ pomiaru i sygnalizacji przekroczenia prądu zasilającego silnik

Jednoczesne próbkowanie spadków napięć z trzech rezystorów shunt przez jeden moduł ADC



Rysunek 22. Przetwornik ADC i przebiegi konwersji dla trzech wejść AN000, AN001 i AN 002

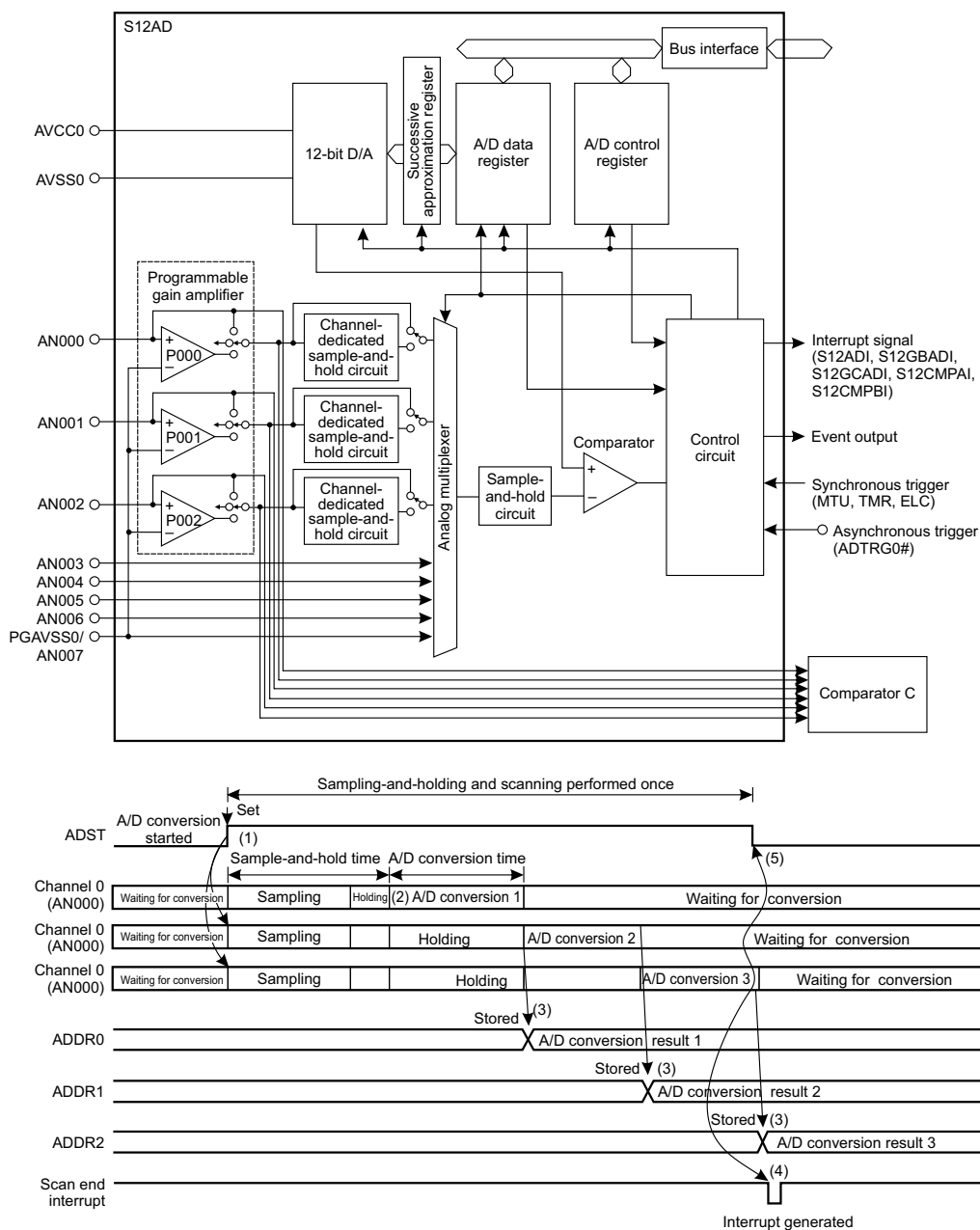
Pomiar poboru prądu w każdej z faz osobno jest potrzebny w układach sterowania wektorowego. Spotykane jest też uproszczone rozwiązanie z jednym wspólnym rezystorem R_s dla wszystkich faz. Potrójny układ pomiarowy pokazany na rysunku 21 wymaga trzech torów wzmacniaczy i trzech przetworników ADC. W przypadku, kiedy do pomiaru napięć BEMF w układach bezczujnikowych



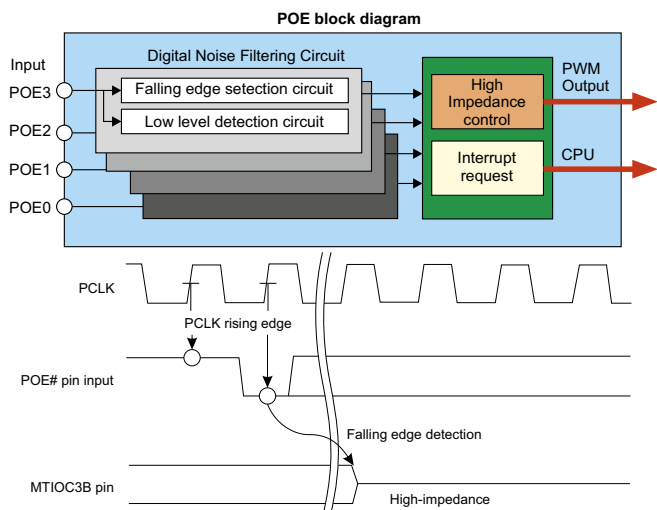
Rysunek 24. Wyzwalanie pomiaru w środku fazy duty cycle

wykorzystujemy przetwornik ADC zamiast komparatorów, również musimy użyć 3 modułów ADC. Dostępne są rozwiązania, które pozwalają użyć do jednoczesnego pomiaru napięcia w trzech fazach jednego przetwornika ADC (**rysunek 22**).

W mikrokontrolerach rodziny RX66T firmy Renesas moduł przetwornika ma na trzech liniach wejściowych zabudowane wzmacniacze o programowanym wzmocnieniu PGA. Napięcia z wyjścia PGA są również podawane na wejścia komparatorów. W torze tych linii



Rysunek 23. Porównanie dwu metod pomiaru prądu w fazach silnika BLDC



Rysunek 25. Blokowanie wyjść PWM przez moduł POE

wejściowych są umieszczone wyzwalane układy Sample and Hold. Próbkę napięcia zapamiętane w układach Sample and Hold są po zakończeniu czasu próbkowania T_{hold} kolejno konwertowane na postać cyfrową przez jeden moduł konwertera ADC (rysunek 23).

Zasilanie silnika sygnałem PWM powoduje, że nie można wykonać pomiaru prądu w dowolnym momencie cyklu i musi być wykonany w fazie duty cycle. Układ przetwornika ADC mikrokontrolerów RX66T ma możliwość wyzwalania pomiaru w połowie fazy duty cycle każdego z sygnałów komplementarnych PWM, tak jak to zostało pokazane na rysunku 24. Przekroczenie dopuszczalnego prądu powoduje reakcję układu generującego przebieg PWM. Zmniejszana jest

długość cyklu pracy (duty cycle) lub wyjścia PWM przechodzą w stan wysokiej impedancji. Wiele modułów PWM ma sprzętowe wejście sygnalizacji awarii. Wymuszenie na nim stanu aktywnego powoduje przejście w stan wysokiej impedancji wszystkich wyjść modułu PWM. Układy RX66T mają wbudowany specjalny moduł POE blokujący sygnały PWM z modułu MTU3d (rysunek 25).

Podsumowanie

Zastosowanie sprzętowych modułów peryferyjnych znacznie upraszcza układy sterowania silnikiem. Kiedy mamy do dyspozycji układ PWM z wejściem kontrolującym stany awaryjne, przetwornik ADC i kilka liczników można zbudować prosty i prawidłowo działający układ stepowania nawet przy zastosowaniu 8-bitowego rdzenia. W sprzyjających warunkach możliwe jest zaimplementowanie algorytmu sterowania PI. Jednak przy większych wymaganiach może się to okazać niewystarczające.

W układach sterowania trójfazowymi sinusoidalnymi napięciami zasilającymi może być wymagane sterowanie wektorowe. Wtedy potrzebna będzie wydajna jednostka z modułem sprzętowego wykonywania szybkich obliczeń zmiennoprzecinkowych FPU i jednostka DSP. Stosuje się wówczas wydajne 16-bitowe lub 32-bitowe mikrokontrolery potrafiące wykonywać wyliczenia niezbędne do sterowania wektorowego w trybie on line.

Sterowanie silnikami BLDC nie jest banalne. Wymaga określonych zasobów sprzętowych i programowych. W wielu zastosowaniach zalety BLDC na tyle przeważają nad silnikami szczotkowymi, że ich stosowanie nawet za cenę konieczności użycia skomplikowanego sterownika jest celowe i opłacalne.

Tomasz Jabłoński, EP

KONKURS

Wygraj płytkę Microchip PIC-BLE Development Board

Firma Microchip organizuje dla czytelników „Elektroniki Praktycznej” konkurs, w ramach którego można wygrać płytkę Microchip PIC-BLE Development Board (model DT100112). Co więcej, wszyscy uczestnicy, którzy nie dostaną płytki, otrzymają kupon na 20% procentową zniżkę i darmową wysyłkę, na zakup jednej z płytek deweloperskich.

Płytkę PIC-BLE Development Board czyni rozwijanie aplikacji bezprzewodowych prostym i szybkim. Łączy w sobie mikrokontroler PIC16LF18456, należący do rodziny XLP (eXtreme Low Power), zapewniający bezpieczeństwo element kryptograficzny ATECC608A CryptoAuthentication i moduł Bluetooth Low Energy – model RN4870.

Płytkę ma wbudowany interfejs USB, który zapewnia wygodną łączność z komputerem przez wirtualny port UART. Pozwala to na bardzo proste programowanie, poprzez przeciąganie elementów. Co więcej



ma wbudowany pełny programator i debugger PKoB nano, obsługiwane przez środowisko Microchip MPLAB X IDE.

Płytkę można kontrolować za pomocą urządzenia mobilnego, przez interfejs Bluetooth, z użyciem aplikacji LightBlue. Można do niej podłączyć również kilkadziesiąt różnych czujników i elementów wykonawczych, dostępnych poprzez rozszerzenia serii mikroBUS.

Aby wziąć udział w konkursie wystarczy zarejestrować się pod adresem: <https://bit.ly/3dbf9j8>





Jak napisać aplikację mobilną poprzez UART (3)

W trakcie procesu tworzenia urządzeń elektronicznych projektanci napotykają szereg, zdawałoby się, nierozwiązywalnych problemów, z którymi muszą sobie sprawnie poradzić. Wracającym niezwykle często, niczym bumerang, kłopotem jest zorganizowanie interfejsu użytkownika HMI (Human Machine Interface). Wymagania są niejednokrotnie sprzeczne: wysoki poziom estetyki, ergonomii użytkowania i elastyczność funkcjonalna w opozycji do minimalnych kosztów oraz krótkiego czasu wdrożenia. Skłania to do poszukiwania nowych rozwiązań będących optymalnym kompromisem rozcinającym ten gordyjski węzeł.

W drugiej części artykułu uruchomiliśmy komunikację z modulem BBMobile i poznaliśmy komendy, które pozwalają sterować jego pracą. Pora na szczegółowe przedstawienie kontrolerek oraz omówienie procesu projektowania i testowania aplikacji mobilnych budowanych poprzez UART. Zrobimy to, przechodząc pełny proces tworzenia projektu o roboczej nazwie REMOTE SWITCH. Finalnie będzie on umożliwiał bezprzewodowe sterowanie dowolnym urządzeniem elektrycznym z dowolnego urządzenia mobilnego z wykorzystaniem z technologii BLE.

Kontrolki

Kontrolki są podstawowym budulcem aplikacji. Po wyświetleniu na ekranie interfejsu przesłanego w postaci kodu JSON pozwalają prezentować informacje przesłane do portu UART oraz przyjmować i przekazywać do mikrokontrolera dane wprowadzane przez użytkownika. Podstawowe typy kontrolerek wraz z ich opisem i sposobem definiowania zestawiono w tabeli 1. Tabele 2 i 3 zawierają natomiast cechy kontrolerek, których użyjemy w tworzonym projekcie. Wszystkie

Tabela 1. Podstawowe typy kontrolerek budujących interfejs aplikacji

Kontrolka	Opis	Definicja JSON
Button	Przycisk monostabilny	„ty”: „Button”
TogButton	Przełącznik dwustanowy	„ty”: „TogButton”
TextView	Kontrolka wyświetlająca tekst	„ty”: „TextView”
EditText	Kontrolka służąca wprowadzaniu danych liczbowych lub alfanumerycznych	„ty”: „EditText”
Spinner	Pole wyboru wielokrotnego	„ty”: „Spinner”
ProgBar	Pasek postępu	„ty”: „ProgBar”

dostępne kontrolki opisane są szczegółowo w dokumentacji modułu BBMobile dostępnej w Internecie.

Stwórzmy teraz opis (w języku JSON) wszystkich kontrolerek, które budować będą interfejs użytkownika projektowanej aplikacji 'REMOTE SWITCH'. Skorzystanie z zaprezentowanych tabel 2 i 3 bardzo ułatwi to zadanie. Zaczniemy od kontrolki będącej tytułem aplikacji. Kod JSON został pokazany na listingu 1. To nieedytowalne pole tekstowe – kontrolka typu TextView – co definiuje linia 2. Ponieważ w trakcie działania aplikacji nie zamierzamy zmieniać żadnego z parametrów tej kontrolki, pominiemy nadawanie jej nazwy, aby skrócić finalną długość kodu. W linii 3 zdefiniowany został tytułowy tekst aplikacji, a linia 4 określa składowe RGB jego koloru – biały. Przed tekstem 'REMOTE SWITCH' wstawiona została na ekranie dodatkowa

Listing 1. Kod opisujący kontrolkę typu TextView będącej tytułem aplikacji

```

1 {
2   "ty": "TextView",
3   "te": "\nREMOTE SWITCH",
4   "tc": "255, 255, 255",
5   "ts": "30",
6   "w": "1"
7 }
```

Tabela 2. Cechy kontrolki typu przycisk monostabilny – Button

Kontrolka: Button		„ty”:”Button”
NAZWA POLA	MNEMONIK	OPIS
Type	ty	Określa typ kontrolki. W tym przypadku jest to ‘Button’ – przycisk jednostanowy
Name	n	Umożliwia nadanie unikalnej nazwy kontrolce służącej do jej identyfikacji w aplikacji, np. ”b1”
Text	te	Ustawia wyświetlany na guziku tekst, np. ”OK”
Text Color	tc	Definiuje składowe RGB koloru tekstu, np. ”255.255.255” określa kolor biały
Text Size	ts	Określa rozmiar tekstu, np. ”30”
Text Style	tl	Ustawia styl wyświetlanego tekstu, np. ”bold”, ”italic”, ”bolditalic”
Background	bg	Definiuje składowe RGB koloru tła kontrolki, np. ”255.0.0” określa kolor czerwony
Weight	w	Definiuje wielkość kontrolki jako ułamkową część całości widoku, gdzie licznik ułamka to wartość parametru ‘w’, a mianownik to suma wartości parametrów ‘w’ wszystkich kontrolki znajdujących się w layoutcie
EnabLED	en	Wartość 0 – kontrolka nieaktywna (nie reaguje na dotknięcie), wartość 1 – kontrolka aktywna

Tabela 3. Cechy kontrolki nieedytowalnego pola tekstowego – TextView

Kontrolka: TextView		„ty”:”TextView”
NAZWA POLA	MNEMONIK	OPIS
Type	ty	Określa typ kontrolki. W tym przypadku jest to ‘TextView’ – nieedytowalne pole tekstowe
Name	n	Umożliwia nadanie unikalnej nazwy kontrolce służącej do jej identyfikacji w aplikacji, np. ”t1”
Text	te	Ustawia wyświetlany w polu tekst, np. ”Hello World”
Text Color	tc	Definiuje składowe RGB koloru tekstu, np. ”255.255.255” określa kolor biały
Text Size	ts	Określa rozmiar tekstu, np. ”30”
Text Style	tl	Ustawia styl wyświetlanego tekstu, np. ”bold”, ”italic”, ”bolditalic”
Background	bg	Definiuje składowe RGB koloru tła kontrolki, np. ”255.0.0” określa kolor czerwony
Weight	w	Definiuje wielkość kontrolki jako ułamkową część całości widoku, gdzie licznik ułamka to wartość parametru ‘w’, a mianownik to suma wartości parametrów ‘w’ wszystkich kontrolki znajdujących się w layoutcie

pusta linia (‘\n’) dla osiągnięcia lepszego efektu wizualnego. Linia 5 określa rozmiar wyświetlanego tekstu, natomiast kolejna rozmiar całego obiektu TextView jako ułamek wielkości całego interfejsu. Ponieważ kontrolka jest strukturą JSON, musi rozpoczynać ją i kończyć nawias: linie 1 i 7.

Kod drugiej kontrolki TextView, będącej podtytułem aplikacji pokazano na **listingu 2**. Jej budowa jest identyczna jak tej już omówionej. Trzecia kontrolka TextView, opisana **listingiem 3**, ma nowe cechy: w linii 3 zdefiniowano jej nazwę, aby możliwe było modyfikowanie cech podczas działania aplikacji. Ustawiono też styl wyświetlanego tekstu jako pogrubiony (linia 7). **Listing 4** zawiera najkrótszą możliwą definicję kontrolki TextView z określeniem

jedynie jej wielkości. Będzie przydatna do wypełnienia dolnej części ekranu interfejsu.

Ostatnie dwie kontrolki opisane są kolejno **listingami 5 i 6**. To kolorowe obiekty typu ‘Button’ (b1 i b2) z białymi napisami odpowiednio ‘ON’ i ‘OFF’.

Jak poukładać kontrolki na ekranie

Projektowanie interfejsu użytkownika można wyobrazić sobie jako umieszczanie mniejszych pudełek w większych, a tych w jeszcze większych i na końcu wszystkiego tego w największym pudle, które mieści cały widok interfejsu. Tymi pudełkami są layouty.

Layout jest strukturą opisującą sposób ułożenia elementów znajdujących się w jej wnętrzu. Mogą to być zarówno kontrolki

Listing 2. Kod opisujący kontrolkę typu TextView będącą podtytułem aplikacji

```
1 {
2   „ty”:”TextView”,
3   „te”:”Kontroluj zdalnie z Bluetooth Low Energy”,
4   „tc”:”174,174,174”,
5   „ts”:”20”,
6   „w”:”1”
7 }
```

Listing 3. Kod opisujący kontrolkę typu TextView z możliwością modyfikacji treści

```
1 {
2   „ty”:”TextView”,
3   „n”:”t1”,
4   „te”:”- - OFF - -”,
5   „tc”:”255,255,255”,
6   „ts”:”35”,
7   „tl”:”bold”,
8   „w”:”1”
9 }
```

Listing 4. Najkrótsza możliwa definicja kontrolki TextView z określeniem jedynie jej wielkości

```
1 {
2   „ty”:”TextView”,
3   „w”:”3”
4 }
```

Listing 5. Kod opisujący kontrolkę typu Button – „ON”

```
1 {
2   „ty”:”Button”,
3   „n”:”b1”,
4   „te”:”ON”,
5   „tc”:”255,255,255”,
6   „bg”:”3,96,164”,
7   „ts”:”25”
8 }
```

Listing 6. Kod opisujący kontrolkę typu Button – „OFF”

```
1 {
2   „ty”:”Button”,
3   „n”:”b2”,
4   „te”:”OFF”,
5   „tc”:”255,255,255”,
6   „bg”:”0,62,120”,
7   „ts”:”25”
8 }
```

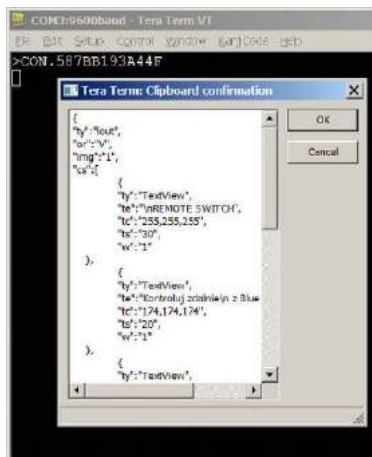
Listing 7. Kod opisujący prosty interfejs użytkownika

```
1 {
2   „ty”:”layout”,
3   „or”:”v”,
4   „bg”:”255,255,255”,
5   „cs”:[{0_1}, {0_2}, {0_3}]
6 }
```

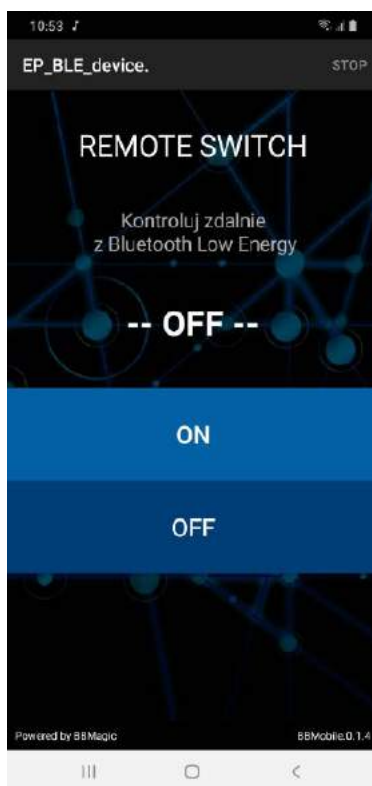
(podstawowe elementy funkcjonalne interfejsu), jak też inne layouts (zawierające np. kontrolki w innym układzie – horyzontalnym lub wertykalnym).

Schemat kodu JSON opisujący prosty interfejs użytkownika pokazano na **listingu 7**. Jest to uniwersalny schemat, na bazie którego budowane są wszystkie aplikacje. Linie 1 i 6 obejmują nawiasami cały opis interfejsu użytkownika. W linii 2 zdefiniowano typ obiektu jako 'layout'. Linia 3 definiuje, w jaki sposób zorganizowane będzie jego wnętrze. Wybrać można jeden z dwóch wariantów: ułożenie wertykalne ("or":"v") lub horyzontalne ("or":"h"). Linia 4 definiuje składowe RGB koloru tła layoutu, będzie on biały. Jako tło można też użyć jednej z siedmiu wbudowanych grafik ponumerowanych od 1 do 7. W takim przypadku linia 4 zmieni swoją postać np. na „img”:"1". Kolejna, linia 5 jest tablicą definiującą zawartość layoutu czyli całego interfejsu. W tym przykładzie tablica komponentów ("cs" – components) zawiera symbolicznie przedstawione trzy obiekty: O_1, O_2 i O_3.

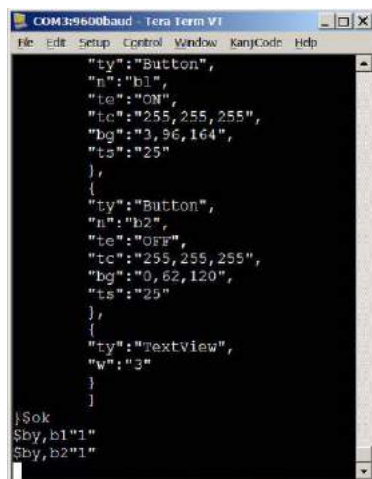
Mając powyższą wiedzę, wracamy teraz do projektowanej aplikacji 'REMOTE SWITCH'. Wszystkie zdefiniowane uprzednio kontrolki ułożymy na ekranie jedna pod drugą. Użyjemy zatem layoutu wertykalnego z **listingu 8** i zobaczymy, jaki otrzymamy efekt końcowy. Naciskamy 'START' w prawym górnym rogu aplikacji BBMobile i z listy urządzeń wybieramy 'EP_BLE_device'. Na ekranie terminalu pojawi się informacja o zestawionym połączeniu. Kopiujemy teraz przygotowany kod z **listingu 8** (Ctrl+C), a następnie klikamy prawym przyciskiem myszy w oknie terminalu i potwierdzamy wysłanie danych przyciskiem 'OK' (**rysunek 1**).



Rysunek 1. Wystanie kodu za pomocą terminalu



Rysunek 2. Widok interfejsu użytkownika



Rysunek 3. Komunikaty wysyłane przez interfejs po dotknięciu kontrolki Button

Listing 8. Kod opisujący layout aplikacji

```
{
  "ty": "layout",
  "or": "v",
  "img": "1",
  "cs": [
    {
      "ty": "TextView",
      "te": "REMOTE SWITCH",
      "tc": "255,255,255",
      "ts": "30",
      "w": "1"
    },
    {
      "ty": "TextView",
      "te": "Kontroluj zdalnie\n z Bluetooth Low Energy",
      "tc": "174,174,174",
      "ts": "20",
      "w": "1"
    },
    {
      "ty": "TextView",
      "n": "t1",
      "te": "-- OFF --",
      "tc": "255,255,255",
      "ts": "35",
      "tl": "bold",
      "w": "1"
    },
    {
      "ty": "Button",
      "n": "b1",
      "te": "ON",
      "tc": "255,255,255",
      "bg": "3,96,164",
      "ts": "25"
    },
    {
      "ty": "Button",
      "n": "b2",
      "te": "OFF",
      "tc": "255,255,255",
      "bg": "0,62,120",
      "ts": "25"
    },
    {
      "ty": "TextView",
      "n": "3",
      "w": "3"
    }
  ]
}
```

Kod JSON został właśnie wysłany przez UART do modułu i dalej do aplikacji BBMobile. Jeśli był poprawnie skopiowany i wklejony, to w odpowiedzi otrzymujemy krótkie '\$ok', a na ekranie smartfona ukazuje się długo wyczekiwany widok – nasz interfejs (**rysunek 2**).

Kontrolowanie aplikacji

Interfejs jest gotowy. Do pełni szczęścia pozostało jeszcze opanowanie komunikacji z powstałym graficznym interfejsem. Jest ona tak prosta i intuicyjna, że każdy, kto choć przez chwilę trzymał palce na klawiaturze, zrozumie w mig jej meandry. Dotknijmy button z napisem 'ON' (nazwanego 'b1'), a następnie z napisem 'OFF' (nazwanego 'b2'). Na ekranie terminalu pojawiają się kolejne komunikaty, jak pokazuje **rysunek 3**.

Konwencja komunikatu zdarzeniowego jest następująca: najpierw znaki '\$by,' a następnie nazwa kontrolki, która została uruchomiona i na koniec w cudzysłowie wartość zdefiniowana przez nas



Rysunek 4. Efekt zmiany parametru 'tc'

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
\$set,	t1	:	te	=	-- ON --	tc	=	"0,150,0"	"\r\n"

Rysunek 5. Konwencja poleceń modyfikujących parametry kontrolki

kontrolka button sygnalizuje jedynie 'tapnięcie' w ekran, wartość ta jest zawsze równa 1.

Wyślijmy teraz do interfejsu komendy:

```
$set,t1:te="-- ON --"
$set,t1:tc="0,150,0"
```

Możemy wpisać je bezpośrednio z klawiatury i zatwierdzić enterem lub wkleić tak, jak poprzednio zrobiliśmy to z kodem JSON. Pierwsza komenda zmienia wartość parametru 'te' (wyświetlany tekst) w kontrolce, którą nazwaliśmy 't1'. Komenda druga zmienia w tej samej kontrolce wartość parametru 'tc' odpowiedzialnego za kolor tekstu. Efekt ich zadziałania pokazuje **rysunek 4**. Powyższych zmian w interfejsie możemy również dokonać za pomocą jednej komendy:

```
$set,t1:te="-- ON --"tc="0,150,0"
```

Zastosowaną konwencję poleceń modyfikujących parametry kontrolki podsumowano graficznie na **rysunku 5**. Jako pierwszy mamy ciąg znaków '\$set,' (pole 1), a następnie nazwę kontrolki, której parametry zamierzamy zmienić (pole 2). Nazwę tę nadaliśmy jej w definicji zawartej w kodzie JSON (listing 8). Dalej dwukropek (pole 3)

i nazwę pierwszej modyfikowanej cechy odnalezionej w tabeli 4 (pole 4). Dalej znak przyrównania (pole 5) oraz w cudzysłowie nową wartość modyfikowanej cechy (pole 6). W tym miejscu polecenie mogłoby zostać zakończone znakami "\r\n", ale możliwe jest również kontynuowanie komendy. Mamy zatem nazwę kolejnej modyfikowanej cechy w tej samej kontrolce 't1' (pole 7), znak przyrównania (pole 8) i nową wartość (pole 9). Każda komenda powinna kończyć się znakami powrotu karetki i nowej linii (pole 10).

Możliwe jest dalsze rozbudowywanie polecenia poprzez dodanie po przecinku nazwy kolejnej kontrolki wraz z cechami do modyfikacji. Przykładowe polecenie, które modyfikuje cztery cechy (te, tc, ts, i bg) trzech różnych kontrolki: t1, b1 i b2, wygląda następująco:

```
$set,t1:te="-- ON --"tc="0,150,0",b1:ts="30",b2:
:bg="100,100,100"
```

Podsumowanie

Interfejs mamy już zaprojektowany, a komunikację przetestowaną. Pozostaje zrobić ten ostatni krok: zaszyć przesyłanie struktury JSON i komunikatów sterujących w małym mikrokontrolerze. Tym zajmujemy się w kolejnej części publikacji.

Mariusz Żądło
iram@poczta.onet.pl

Płytki rozwojowa ESP32-DEVKITC-V4

Dzięki uprzejmości firmy Soyter Components, mamy dla czytelników EP płytkę rozwojową ESP32-DEVKITC-V4 do zastosowań w IoT z modułem Wi-Fi typu ESP-WROOM-32.

Płytki rozwojowa pozwala na wykorzystanie możliwości układu ESP32 firmy Espressif, który umożliwia łatwą realizację komunikacji poprzez Wi-Fi oraz Bluetooth BLE. Większość linii GPIO została doprowadzona do pinów o rozstawie 2,54 mm, a dodatkowo na płycie znajduje się konwerter USB/UART, który umożliwia programowanie modułu np. w środowisku Arduino IDE.

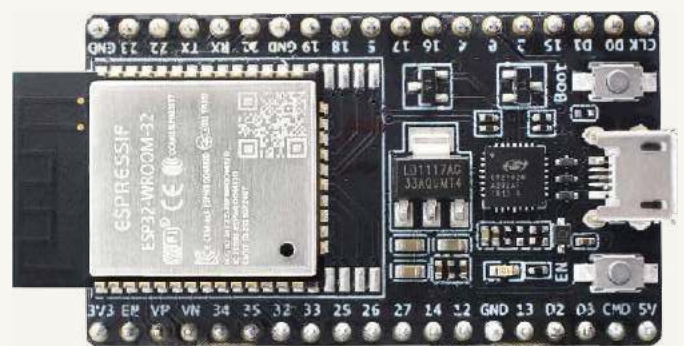
Wybrane parametry modułu:

- Protokoły BT: Bluetooth v4.2 BR/EDR oraz Bluetooth BLE
- Obsługa Bluetooth Audio: CVSD oraz SBC
- Protokoły Wi-Fi: 802.11 b/g/n/d/e/i/k/r (802.11n o przepływności do 150 Mbit/s)
- Tryby pracy Wi-Fi: sta/softAP/SoftAP+sta/P2P
- Zabezpieczenia Wi-Fi: WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS
- Szyfrowanie Wi-Fi: AES/RSA/ECC/SHA
- Protokoły sieciowe: IPv4, IPv6, SSL, TCP/UDP/HTTP/FTP/MQTT
- Wbudowana antena PCB (MIFA)
- Wbudowany konwerter USB-UART
- Wyprowadzenia GPIO o rozstawie 2,54 mm
- Zasilanie z USB (gniazdo typu microUSB)
- Wymiary modułu: 54,5×27,9 mm

Klub Aplikantów Próbek

to inicjatywa redakcji „Elektroniki Praktycznej”. W kontaktach z firmami redakcja często otrzymuje do przetestowania próbki podzespołów, modułów, a nawet całych urządzeń elektronicznych. Są to zwykle najnowsze typy/modeli produktów na rynku. Z chęci podzielenia się z Czytelnikami tymi próbkami zrodziła się inicjatywa pod nazwą Klub Aplikantów Próbek.

Członkiem KAP może stać się każdy, kto zgłosi chęć przetestowania próbki. Wykaz i krótki opis próbek, którymi dysponuje redakcja EP, można znaleźć na stronie ep.com.pl/nawosci/kap. Wystarczy

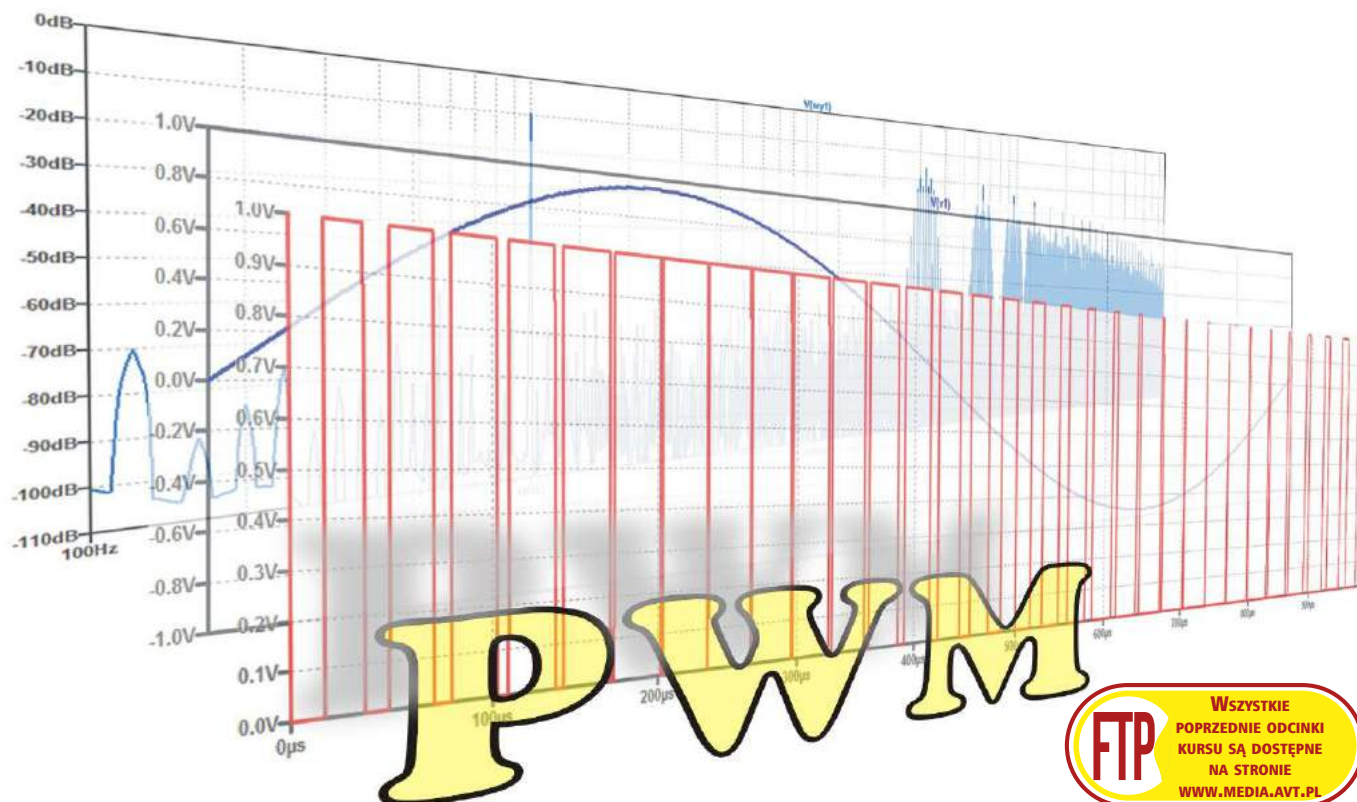


wybrać próbkę i zaplanować jej zastosowanie. Następnie należy wysłać wiadomość na adres: damian.sosnowski@ep.com.pl (Redaktor Prowadzący) z prośbą o przesłanie bezpłatnej próbki, opisując swój pomysł oraz podając dane do wysyłki.

Mile widziane, choć nieobowiązkowe, jest też przysłanie do redakcji EP opisu wykonanej aplikacji próbek. Najciekawsze opisy opublikujemy na naszej stronie ep.com.pl lub na łamach „Elektroniki Praktycznej”.

Z uwagi na ograniczoną liczbę dostępnych próbek i niemałe zainteresowanie nimi, prosimy o opisanie swojego pomysłu na projekt na naszym forum internetowym, w dziale poświęconym Klubowi Aplikantów Próbek <http://bit.ly/2qeN28e>. Ponadto, by dodatkowo zwiększyć swoje szanse należy polubić fanpage „Elektroniki Praktycznej” na Facebooku (<http://bit.ly/2WygFO9>) oraz udostępnić post, w którym opisujemy rozdawane próbki. W przypadku podobnie interesujących pomysłów na projekty, będziemy uwzględniać jako dodatkowe kryterium wyboru.





Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (11)

Modulacja PWM

Teoria sygnałów rozwijała się od początków elektroniki. Jej podwaliny zostały położone jeszcze przed skonstruowaniem pierwszych odbiorników radiowych, telegrafów, nie mówiąc już o maszynach liczących czy mózgach elektronowych, jak nazywano pierwsze komputery. Szczególne znaczenie w teorii sygnałów mają wszelkiego rodzaju modulacje. Stanowią bardzo ważny dla elektroniki, a jednocześnie dość trudny pod względem teoretycznym, dział. W tym odcinku zajmiemy się modulacją PWM.

W początkach elektroniki, z przyczyn oczywistych, rozwijane były modulacje analogowe (AM, FM). Do czasu pojawienia się pierwszych urządzeń cyfrowych nie było większej potrzeby opracowywania specjalnych rodzajów modulacji. Istniejąca już telegrafia nie stawiała nazbyt wygórowanych wymagań. Urządzenia transmisji danych konstruowane już w czasach techniki cyfrowej wykorzystywały i nadal wykorzystują różne media (radio, kabel, światłowód itd.), tym samym

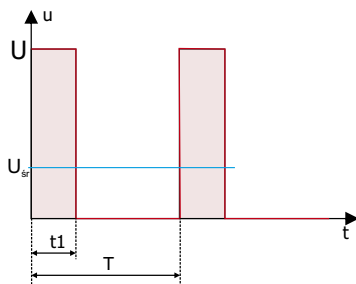
narzucając o wiele bardziej złożone rodzaje modulacji. Pojawiła się potrzeba zwiększania szybkości przesyłania danych, a także zwiększania liczby kanałów w jednym torze transmisyjnym. Powstało wiele nowych rodzajów modulacji, wykaz najczęściej obecnie stosowanych zestawiono w ramce. My zajmiemy się w artykule modulacją dość specyficzną. Nie opracowano jej do urządzeń komunikacyjnych.

Modulacja PWM

PWM (*Pulse Width Modulation*) zaliczamy do modulacji cyfrowych. Oznacza to, że efektem działania modulacji jest przebieg cyfrowy. Jest to przebieg prostokątny o dwóch dyskretnych poziomach i skończonym zbiorze wartości współczynnika wypełnienia. Te specyficzne, typowo cyfrowe własności przebiegu PWM decydują o... analogowych zastosowaniach modulacji PWM. Jak to możliwe?

Rozpatrzmy przebieg prostokątny, w którym okres powtarzania impulsów jest równy T , ich amplituda jest stała i równa U , a czas trwania impulsu jest równy t_1 (**rysunek 1**). Przebieg jest opisany zależnością:

$$u(t) = \begin{cases} U & \text{dla } t \leq t_1 \\ 0 & \text{dla } t_1 < t \leq T \end{cases}$$



Rysunek 1. Przebieg prostokątny z zaznaczoną wartością średnią zależną od współczynnika wypełnienia

Jak wynika z rysunku 1, czas t_1 występujący w powyższym wyrażeniu jest związany z okresem przebiegu zależnością:

$$\frac{t_1}{T} = \alpha \Rightarrow t_1 = \alpha T$$

Parametr α jest nazywany współczynnikiem wypełnienia. Wartość średnia sygnału jest równa:

$$U_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{\alpha T} U dt$$

Rozwiązaniem tej całki jest:

$$U_{sr} = \frac{U}{T} \int_0^{\alpha T} dt = \frac{U}{T} \alpha T$$

Ostatecznie:

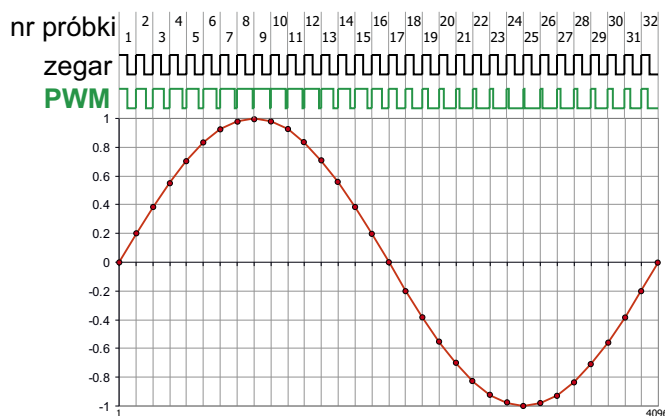
$$U_{sr} = \alpha U$$

Uzyskaliśmy w ten sposób bardzo ważny wniosek: zmieniając współczynnik wypełnienia przebiegu prostokątnego, wpływamy na wartość średnią napięcia. Co więcej, jest to zależność liniowa. W tym momencie otwiera się szereg zastosowań w urządzeniach analogowych: począwszy od regulacji jasności świecenia żarówki lub diody LED, regulacji obrotów silnika, regulacji mocy grzałki, skończywszy na zakodowaniu przebiegiem PWM sygnału akustycznego, co będzie tematem eksperymentu, który przeprowadzimy. Warto wspomnieć, że technika ta jest stosowana w akustycznych wzmacniaczach mocy klasy D. Są nawet produkowane specjalne układy scalone stanowiące niemal kompletne wzmacniacze audio.

Eksperyment – modulacja PWM z zastosowaniem sygnału akustycznego

Naszym zadaniem będzie zakodowanie sygnału sinusoidalnego w przebiegu prostokątnym poprzez zastosowanie modulacji PWM. Do eksperymentu użyjemy narzędzi dostępnych w dobrze już nam znanym przyrządzie Analog Discovery 2. Dla uproszczenia przyjmujemy, że sygnał sinusoidalny będzie miał stałą częstotliwość i amplitudę.

Jak już wiemy, PWM jest zaliczana do modulacji cyfrowych, w procesie modulacji musi więc wystąpić próbkowanie. Przyjmujemy, że na jeden okres sinusoidy będą przypadały 32 próbki. Zastanówmy



Rysunek 2. Ilustracja zasady tworzenia przebiegu PWM

się, jak to zrealizować? Pamiętamy, że współczynnik wypełnienia przebiegu prostokątnego jest proporcjonalny do wartości średniej napięcia za okres. Przyjmijmy teraz odwrotny tok rozumowania. Niech napięcie decyduje o współczynniku wypełnienia. Zgodnie z przyjętym wcześniej założeniem na jeden okres sinusoidy przypadną 32 okresy przebiegu prostokątnego. Wypełnienie w każdym jego cyklu powinno zmieniać się proporcjonalnie do chwilowej wartości sinusoidy przypadającej na daną próbkę (**rysunek 2**). Przyjmujemy ponadto, że wypełnienie 1/2 będzie odpowiadało zerowemu napięciu sinusoidy, wypełnienie 1 odpowiada wartości maksymalnej sinusoidy (dodatniej), a wypełnienie 0 wartości minimalnej (ujemnej).

Przebieg prostokątny modulowany sinusoidą jest taktowany przebiegiem zegarowym o częstotliwości 32 razy większej od częstotliwości sinusoidy. Zasadę działania pokazano na rysunku 2, nadal jednak nie wiemy, jak tę koncepcję zrealizować. Tym razem nie zbudujemy fizycznego układu zawierającego generator sinusoidalny modulujący falę prostokątną uzyskaną z innego generatora. Zmodulowany przebieg zostanie wygenerowany bezpośrednio w generatorze arbitralnym Analog Discovery 2. Nie będziemy rozpatrywać budowy układów realizujących funkcję PWM, a zajmiemy się jedynie pokazaniem niektórych własności sygnału tak zmodulowanego. Obecnie, gdy na co dzień, nawet w najprostszych układach elektronicznych stosujemy mikrokontrolery, generowanie przebiegu PWM nie jest większą trudnością.

Wstępna symulacja w LTspice

Dane dla generatora przygotowujemy w Excelu. Zanim zaczniemy pracę w arkuszu, rozpatrzmy metodę układową, która mogłaby być zastosowana do generowania sygnału PWM. Metodę tę stosujemy w obliczeniach excelowych.

Potrzebne będą: generator przebiegu piłokształtnego (tzw. integrator wytwarzający przebieg liniowo narastający od wartości minimalnej (-1) do maksymalnej (+1) w czasie równym odstępowi między próbkami), źródło sygnału modulującego (sinusoida o okresie T) i amplitudzie 0,95 umownych jednostek i komparator porównujący dwa napięcia. Przyjrzyjmy się, jak działa komparator. Można powiedzieć, że jest to specyficzny wzmacniacz operacyjny pracujący z otwartą pętlą, co w praktyce oznacza przebywanie wyłącznie w stanie nasycenia lub odcięcia. Scalone komparatory są konstruowane pod kątem minimalizacji czasu przeskoku z jednego stanu do drugiego.

Przykładową realizację układu PWM wytwarzającego przebieg zmodulowany sygnałem sinusoidalnym pokazano na **rysunku 3**. Jeśli napięcie V2 na wejściu nieodwracającym komparatora jest większe od napięcia na wejściu odwracającym V1, wyjście komparatora przyjmuje stan wysoki, w przeciwnym przypadku wyjście pozostaje w stanie niskim. Podając na wejście nieodwracające przebieg narastający liniowo, komparator będzie przyjmował niski stan wyjściowy, dopóki napięcie to nie przewyższy napięcia na wejściu odwracającym. Nagły skok napięcia V2 wyznaczający koniec jednej próbki i początek następnej powoduje zawsze przejście komparatora do stanu wysokiego. Tym samym uzyskujemy przebieg PWM, w którym wypełnienie przebiegu prostokątnego w każdym cyklu odpowiada chwilowej wartości przebiegu modulującego.

Aby upewnić się, czy idea jest poprawna, układ taki możemy zasymulować w programie LTspice. Na **rysunku 4** pokazano schemat i wynik symulacji. Przyjęto, że przebieg sinusoidalny ma częstotliwość 1 kHz, w związku z czym piłka powinna mieć częstotliwość 32 razy większą, czyli 32 kHz. Okres przebiegu piłokształtnego jest więc równy 31,25 μ s. Przebieg ten narasta od wartości -1 do 1 w czasie 31,25 μ s i taki ma okres powtarzania. Jest to równoważne z zerowym czasem przerzutu ze stanu wysokiego do niskiego. W rzeczywistości jest to niemożliwe, ale na potrzeby symulacji możemy sobie na to pozwolić.

Wyjaśnienia wymaga jeszcze czas opóźnienia wprowadzony w parametrach źródła V1. Jest on równy 15,625 μ s, co odpowiada połowie okresu przebiegu piłokształtnego. Zabieg ten jest potrzebny, aby zapewnić założenie, że dla zerowej wartości sinusoidy wypełnienie powinno

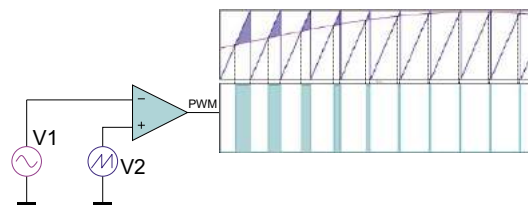
być równe 1/2. Ten rozbiegowy fragment symulacji pomijamy, ustalając czas analizy na 2 ms i rozpoczęcie wyświetlania wyników od 1 ms.

W materiałach dodatkowych do artykułu dołączono plik *PWM_komparator.asc* z powyższą symulacją. Jest też analogiczna symulacja *PWM_bv.asc* z zastosowaniem napięciowego źródła behawioralnego realizującego funkcję: $V = \text{if}(V(V2) > V(V1), 1, 0)$. Jest to dobra metoda testowania idei, bez uwzględniania parametrów układów elektronicznych (komparatorów, wzmacniaczy operacyjnych itp.). W symulacji zastosowano długi czas analizy, który jest potrzebny do uzyskania widma sygnału PWM o odpowiednio dużej rozdzielczości. Należy więc pogodzić się z długim czasem obliczeń. Będzie jeszcze o tym mowa.

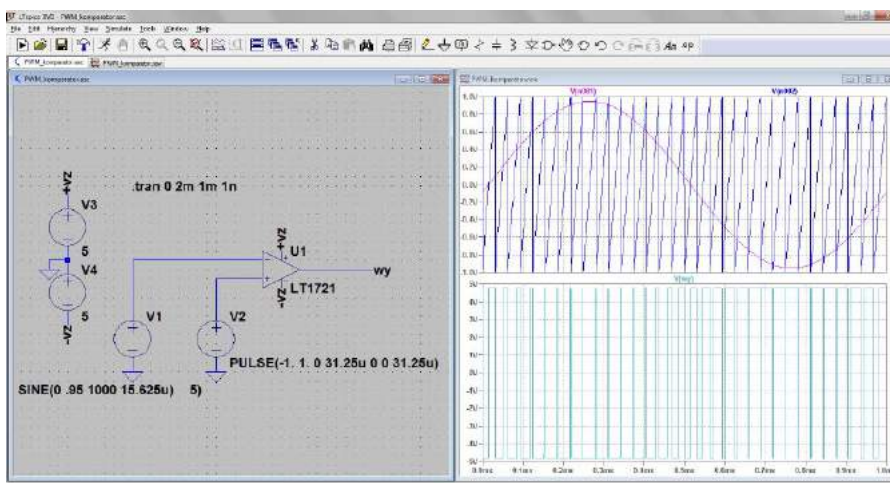
Przygotowanie sygnału PWM w Excelu

Powyższą, sprawdzoną w symulacji ideę zastosujemy w arkuszu kalkulacyjnym (*pwm_obliczenia.xls*), w którym zostaną utworzone dane dla generatora arbitralnego. Przyjmujemy, że pełny okres przebiegu powinien wypełnić całą pamięć generatora – 4096 danych. Krok czasu jest więc równy 1/4096 umownych jednostek. Na razie nie musimy podawać konkretnych wartości, gdyż będą one ustalone podczas uruchamiania generatora. W kolumnie A Excela znajdują się czasy poszczególnych elementów przebiegu odnośnie do okresu (**rysunek 5**); czyli $A1=0$, $A2=A1+1/4096$, $A3=A2+1/4096$ itd. aż do $A4096$. Kolumna B zawiera funkcję sinus, a więc nasz przebieg modulujący: $B1=0.95 \cdot \sin(\$A1 \cdot 2 \cdot \pi)$. Przyjęto amplitudę 0,95, zostawiając mały margines dla wartości maksymalnej i minimalnej.

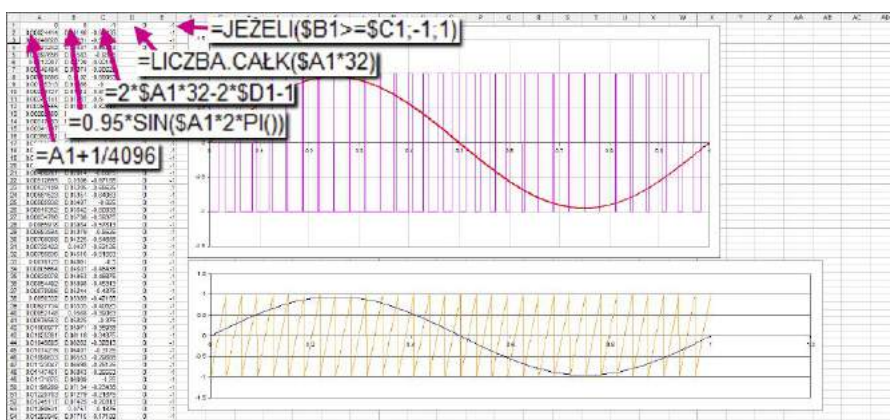
Do wygenerowania przebiegu PWM jest jeszcze potrzebny przebieg piłokształtny opisany funkcją liniową $y=a \cdot x+b$. Współczynnik nachylenia a jest stały i przy założeniu, że długość próbki (szerokość ząbka) jest równa 1, a wysokość ząbka jest równa 2 (od -1 do +1), współczynnik a przybiera wartość 2. Dla każdego ząbka zmienia się jego przesunięcie w osi pionowej. Jest za



Rysunek 3. Przykładowa realizacja układu PWM



Rysunek 4. Symulacja układu PWM w programie LTspice



Rysunek 5. Przygotowanie danych dla generatora arbitralnego w Excelu

Modulacje analogowe

- AM** Amplitude Modulation. Modulacja amplitudy.
- DSB** Double-SideBand. Modulacja dwuwstęgowa (DSB-LC z nośną, DSB-SC z wytłumioną nośną).
- SSB** Single-Sideband Modulation. Modulacja jednowstęgowa.
- VS** Vestigial-Sideband Modulation. Modulacja amplitudy z częściowo tłumioną wstęgą boczną.
- FM** Frequency Modulation. Modulacja częstotliwości.
- PM** Phase Modulation. Modulacja fazy.

Modulacje cyfrowe

- ASK** Amplitude Shift Keying. Kluczowanie amplitudy.
- FSK** Frequency Shift Keying. Kluczowanie częstotliwości.
- MFSK** Multiple Frequency-Shift Keying. Kluczowanie wieloczęstotliwościowe.
- GFSK** Gaussian Frequency Shift Keying. Kluczowanie częstotliwościowe z filtrem gaussowskim.
- MSK** Minimum Shift Keying. Kluczowanie minimalnofazowe.
- GMSK** Gaussian Minimum Shift Keying. Kluczowanie minimalnofazowe z filtrem gaussowskim.
- PSK** Phase-Shift Keying. Kluczowanie fazy BPSK, DPSK, QPSK, n-PSK, O-QPSK, QPSK.
- DSSS** Direct Sequence Spread Spectrum. Systemy z bezpośrednim rozpraszaniem widma.

- FHSS** Frequency Hopping Spread Spectrum. Systemy szerokopasmowe z rozpraszaniem widma.
- OFDM** Orthogonal Frequency Division Multiplexing (DMT – Discrete Multitone Modulation). Wielodostęp z ortogonalnym podziałem częstotliwości.
- CDMA** Code Division Multiple Access. Wielodostęp z rozpraszaniem widma.
- RTTY** Radio TeleType. Prosta modulacja impulsowo-kodowa.
- QPSK** Quadrature Phase Shift Keying. Modulacja kwadraturowa.
- QAM** Quadrature Amplitude Modulation. Kwadraturowa modulacja amplitudowo-fazowa.
- PAM** Pulse-Amplitude Modulation. Modulacja amplitudy impulsów.
- PCM** Pulse-Code Modulation. Modulacja impulsowo-kodowa.
- LPCM** Linear Pulse-Code Modulation. Modulacja PCM z równomiernymi poziomami kwantyzacji.
- DPCM** Differential Pulse-Code Modulation. Różnicowa modulacja kodowo-impulsowa.
- PDM** Pulse-Density Modulation. Modulacja gęstości impulsów.
- PPM** Pulse Position Modulation. Modulacja położenia impulsu.
- PWM** Pulse-Width Modulation. Modulacja szerokości impulsów.
- TCM** Trellis Coded Modulation. Modulacja kratowo-kodowa.

to odpowiedzialny współczynnik b . Do obliczenia współczynnika b konieczna jest znajomość numeru próbki, jest ona obliczana w kolumnie D formułą: $D1=LICZBA.CAŁK(\$A1*32)$. Jest ona kopiowana aż do komórki D4096. I teraz następuje najtrudniejsza operacja definiująca przebieg piłokształtny na podstawie przedstawionych obliczeń. Formuła ta jest umieszczona w kolumnie C i ma następujący zapis: $C1=2*\$A1*32-2*\$D1-1$. Składnik -1 jest związany z zapewnieniem wypełnienia $1/2$ dla zerowej wartości funkcji sinus.

W ostatniej kolumnie E zawarto definicję przebiegu PWM, którą skopiujemy do pamięci generatora arbitralnego Analog Discovery 2. W polach kolumny E znajdują się formuły: $E1=JEŻELI(\$B1>=\$C1;-1;1)$. Możemy powiedzieć, że wyrażenie to jest matematycznym odpowiednikiem komparatora z wcześniejszego przykładu. Obliczenia wykonane w Excelu wraz z wykresami pokazano na rysunku 5.

Wszystko jest już gotowe, możemy przystąpić do prób układu rzeczywistego. Otwieramy program WaveForms, a w nim uruchamiamy generator arbitralny. Wybieramy tryb użytkownika (Custom) i otwieramy edycję nowego przebiegu (New). Teraz wracamy na chwilę do Excela. Kopiujemy do pamięci podręcznej kolumnę E (zaznaczamy kolumnę E i naciskamy $Ctrl-C$). W oknie edytora przebiegów wprowadzamy kursor na pierwszy wiersz kolumny Sample i naciskamy $Ctrl-V$. W rezultacie dane z Excela zostały skopiowane do generatora arbitralnego. W oknie grafiki powinniśmy zobaczyć przebieg PWM, w którym jest zakodowana sinusoida (rysunek 6). Rzeczywiście, wszystko wskazuje na to, że nasze działania okazały się poprawne. Pozostaje więc uruchomić generator i sprawdzić efekt pracy.

Dołączamy wyjście generatora arbitralnego do wejścia 1. kanału oscyloskopu. Parametry sygnału wyjściowego ustalamy następująco:

Frequency = 1 kHz

Sample Rate = 4,096 MHz (ten parametr jest obliczany automatycznie)

Amplitude = 100 mV

Offset = 0 V

Phase = 0°

W oscyloskopie natomiast wybieramy:

Base = 200 μ s/div

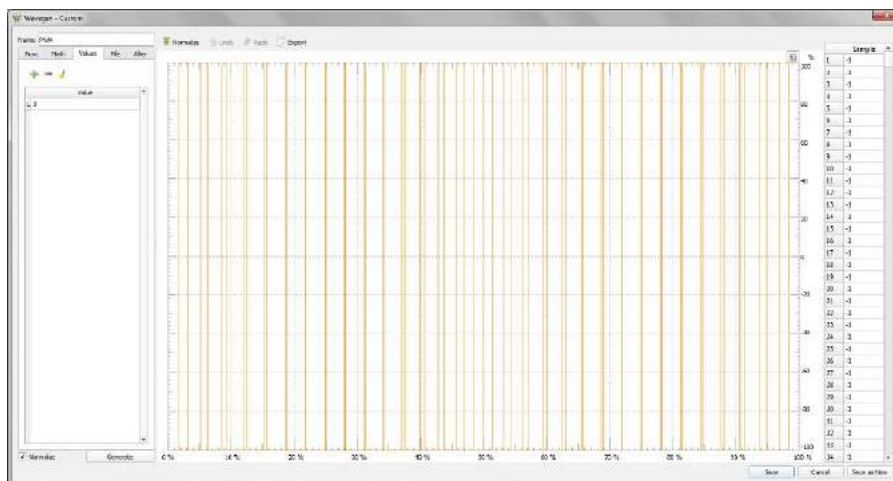
Offset = 0 V

Range = 50 mV/div

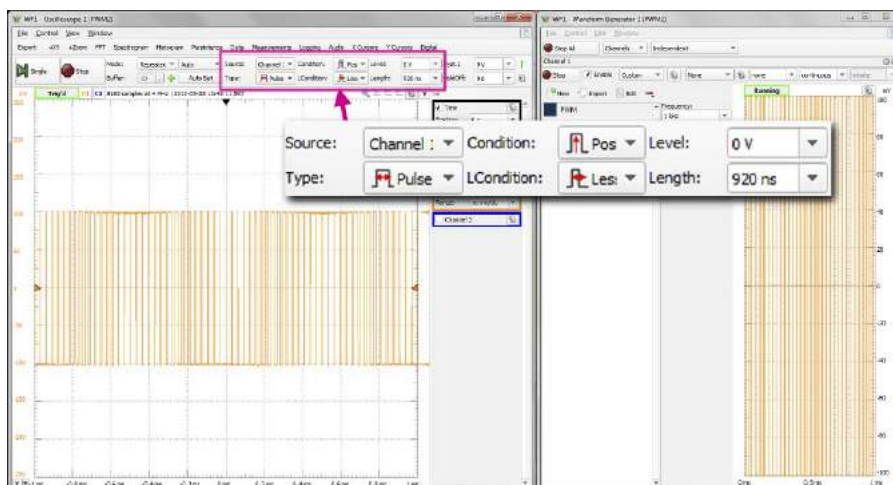
Problematiczne może być wybranie dogodnego trybu synchronizacji. Tradycyjna, najczęściej stosowana synchronizacja zbroczem zupełnie nie zda egzaminu. Tą metodą nie uzyskamy stabilnego oscylogramu.

Oscylogram będzie latał po ekranie we wszystkie strony. Okazuje się, że dla częstotliwości 1 kHz ustawionej w generatorze największy impuls ma czas trwania nie większy niż 920 ns. Wybieramy zatem synchronizację typu Pulse, dla której ustalamy parametry Conditions = Less i Length = 920 ns i Condition = Positive. Po uruchomieniu generatora i oscyloskopu pojawia się stabilny oscylogram jak na **rysunku 7**. Bingo! Mamy to! Widzimy piękny przebieg PWM przypominający ten z Excela. Czy wynik nas zaskakuje? Gdzie jest sinusoida?

Analog Discovery 2 ma wyjście słuchawkowe, za pomocą którego możemy podsłuchiwać – w dosłownym znaczeniu – sygnał z obu kanałów generatora. Dołączmy więc słuchawki i posłuchajmy.



Rysunek 6. Przebieg PWM przygotowany w edytorze generatora arbitralnego Analog Discovery 2



Rysunek 7. Przebieg PWM obserwowany za pomocą oscyloskopu

Tego nie da się pokazać na papierze, ale jeśli ktoś powtórzy samodzielnie eksperyment, usłyszy w słuchawkach ton o częstotliwości 1 kHz. A co z przebiegiem prostokątnym, który widzimy na oscylogramie? Można powiedzieć – dość dziwna sytuacja: widzimy prostokąt, a go nie słyszymy, nie widzimy sinusoidy, a ją słyszymy. To wszystko dzieje się na skutek ułomności naszego słuchu. Jak pamiętamy, częstotliwość przebiegu prostokątnego jest 32-krotnie wyższa od częstotliwości sinusoidy. Częstotliwość 1 kHz ustawiona w generatorze dotyczy całego przebiegu PWM, a więc obejmuje jeden okres sinusoidy. Oznacza to, że przebieg sinusoidalny ma częstotliwość 1 kHz, a prostokątny 32 kHz. Oczywiście jest więc, że prostokąta nie słyszymy. Ucho natomiast stanowi swego rodzaju filtr dolnoprzepustowy, którego częstotliwość graniczną wyznaczają własności naszego słuchu. Dla jednych będzie to kilkanaście kiloherców, osoby starsze mogą mieć problem ze słyszeniem dźwięków już powyżej 8 czy nawet 5 kHz. Jak to wygląda w rzeczywistości, możemy przekonać się, obserwując widmo sygnału PWM za pomocą funkcji FFT.

Uwzględniając własność tej funkcji dotyczącą rozdzielczości widma, wydłużamy czas akwizycji sygnału, zmieniając parametr Base oscyloskopu do 5 ms/dz. Czas akwizycji pełnego rekordu jest wówczas równy 5 ms/dz. $\times 10$ dz. = 50 ms. Rozdzielczość widma jest wówczas równa $1/50$ ms = 20 Hz. Jest to wartość przybliżona, ponieważ rekord akwizycji oscyloskopu Analog Discovery 2 ma długość 8192 dane i przy tych nastawach oscyloskopu próbuje sygnał z częstotliwością 160 kHz. Oznacza to, że rzeczywisty czas akwizycji jest równy $8192/160000 = 51,2$ ms, a więc rzeczywista rozdzielczość widma funkcji FFT jest równa 19,53 Hz. Są to jednak niuanse, którymi nie będziemy sobie zaprzątać głowy.

Widmo sygnału pokazano na **rysunku 8**. Wyraźnie widoczny jest prążek sinusoidy 1 kHz (w FFT 996,3 kHz) oraz widmo prostokąta 32 kHz wraz z harmonicznymi. Co trzeba zrobić, żeby zobaczyć

sinusoidę na oscyloskopie? Oczywiście, zastosować filtr. Wykonamy prosty filtr 1. rzędu o częstotliwości granicznej ok. 3,3 kHz, tak jak to pokazano na **rysunku 9**. Widoczne na schemacie słuchawki mogą stanowić zbyt duże obciążenie dla tego układu. Jeśli tak się okaże w praktyce, punkt dołączenia słuchawek należy traktować jako wyjście filtra, które łączymy z wejściem dowolnego wzmacniacza akustycznego. Przebieg wyjściowy po odfiltrowaniu pokazano na **rysunku 10**. W oknie „Zoom” jest na nim doskonale widoczna nasza sinusoida zanieczyszczona nieodfiltrowanymi resztkami prostokąta. Dołączono ponadto widmo FFT, na podstawie którego widzimy skuteczność działania filtra.

Mając na uwadze filtrujące działanie naszego słuchu, można zadać pytanie: czy konieczne jest filtrowanie sygnału akustycznego w układach PWM? Niestety, odpowiedź jest twierdząca. To, że my nie słyszymy wyższych składowych widma, nie oznacza, że ich nie ma. W układach obróbki sygnału mogą one powodować występowanie niepożądanych interferencji i powstawanie wielu nieoczekiwanych składowych. Każdy, kto miał do czynienia ze wzmacniaczami akustycznymi, wie doskonale, czym może skończyć się dołączenie kolumn do wzbudzonego wzmacniacza. A przecież te wysokie składniki widma można traktować analogicznie do wysokich częstotliwości, często ponadakustycznych, generowanych przez wzbudzony wzmacniacz. Na szczęście głośniki wysokotonowe są zwykle tańsze od niskotonowych. Ich wymiana to jednak niepotrzebne zajęcie i zbędne koszty.

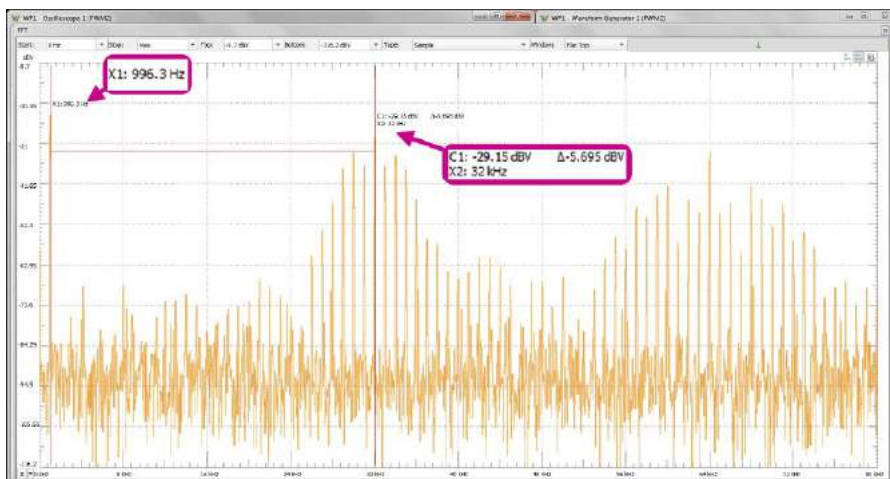
Efekty chciane czy niechciane

O jakości dźwięku generowanego metodą modulacji PWM można przekonać się, porównując go z czystym dźwiękiem uzyskiwanym z drugiego kanału generatora arbitralnego Analog Discovery 2. Zmniejszając częstotliwość sygnału w 1. kanale, automatycznie zmniejszamy częstotliwość przebiegu prostokątnego. Dla dostatecznie niskich częstotliwości fala prostokątna stanie się wyraźnie słyszana. Pojawią się ciekawe interferencje, które w większości przypadków będą zdecydowanie niepożądane, ale na przykład dla kompozytorów „el muzyki” (mam nadzieję, że nie jest to termin zastrzeżony przez Jerzego Kordowicza) mogą okazać się ciekawą inspiracją.

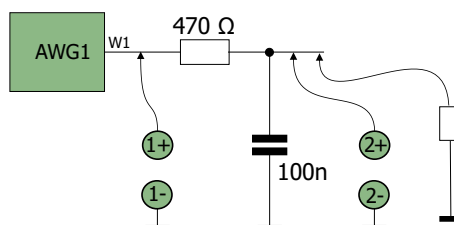
PWM i akustyka

Zalety modulacji PWM w aplikacjach regulacji mocy są niekwestionowane. Dzięki zastosowaniu tej metody znacznie upraszczają się rozwiązania układowe, a co najważniejsze, jest to metoda zapewniająca bardzo wysoką sprawność regulacji. Modulacja PWM w akustyce może już budzić pewne wątpliwości, głównie ze względu na dużą liczbę generowanych harmonicznych i spore zniekształcenia. Z tego względu wzmacniacze mocy na razie raczej nie są obiektem zainteresowań audiofilów, znajdują natomiast zastosowanie w zakresie car audio, gdzie sprawdzają się bardzo dobrze. Scalone wzmacniacze klasy D są produkowane przez wiele firm. Przykładowo, w ofercie STMicroelectronics można znaleźć wzmacniacze o mocy od 20 W do 100 W (np. TDA7491HV, TDA7492, TDA7498MV).

Z powyższego opisu można wnioskować, że konstrukcja wzmacniacza akustycznego klasy D jest bardzo prosta. Układy komercyjne mają jednak budowę znacznie bardziej



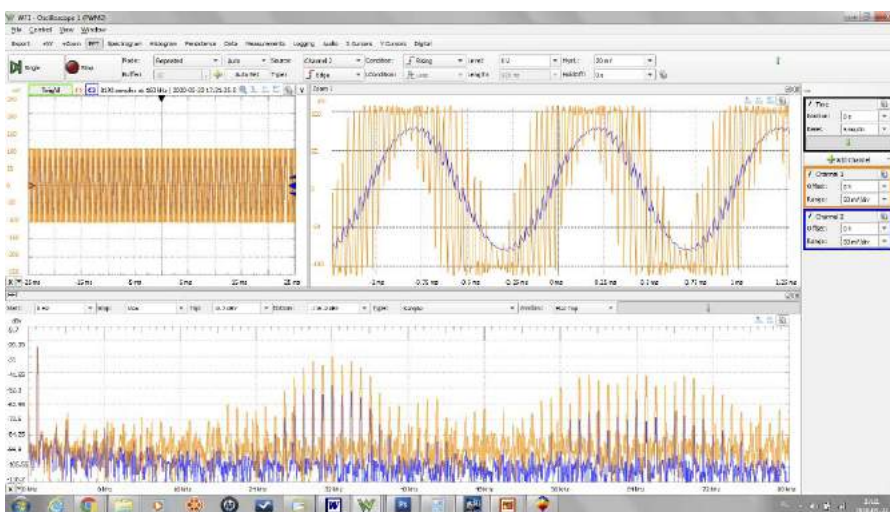
Rysunek 8. Widmo sygnału PWM obserwowane funkcją FFT



Rysunek 9. Układ do „podstuchiwania” sygnału PWM

skomplikowaną. Konstrukcja musi uwzględniać takie zjawiska, jak straty mocy w układach przełączających (np. tranzystorach MOSFET), które rosną wraz ze wzrostem częstotliwości przełączania. Nie bez znaczenia jest też utrzymanie stałej częstotliwości przebiegu prostokątnego. Jego drżenie (jitter) może wprowadzać słyszalne zniekształcenia wyjściowego sygnału analogowego. Niezwykle ważne jest skuteczne tłumienie sygnału przełączającego oraz jego harmonicznych, szczególnie wyższych rzędów. Jest to związane z koniecznością spełniania wyśrubowanych norm dotyczących kompatybilności elektromagnetycznej. Producenci bezustannie pracują nad ulepszeniem konstrukcji wzmacniaczy klasy D i wszystko wskazuje na to, że wkrótce będzie to jedna z podstawowych klas tranzystorowych wzmacniaczy mocy. Lampy mogą się czuć jednak niezagrażone. A my w kolejnym odcinku, jak dobrze w tych trudnych czasach pójdzie, zajmiemy się bardzo teoretycznymi zagadnieniami: rachunkiem operatorowym i przekształceniami Laplace’a.

Jarosław Doliński, EP



Rysunek 10. Odfiltrowany przebieg PWM

Ogłoszenia i reklamy hurtowni, sklepów, importerów, producentów, dealerów, itp. są płatne. Cena podstawowego modułu (35x20 mm) wynosi 66 zł + VAT. Koszt minimalnej ramki dla ogłoszeń o wielkości 3 modułów wynosi 198 zł + VAT. Moduły można łączyć zarówno w pionie jak i w poziomie. Maksymalna szerokość ogłoszenia to 5 modułów, wysokość 12 modułów. Rabaty stosujemy wyłącznie dla reklam powyżej 8 modułów: 4-6 emisji 10%, 7-11 emisji 15% i od 12 emisji 25%.

Oferta specjalna:

- publikacja fragmentów cennika w ramce o wielkości: 8 modułów w pionie cena 264 zł + VAT, 9 modułów w poziomie 305 zł + VAT
- rabat specjalny dla firm poszukujących pracowników wynosi 25% (wyłącznie dla dużych reklam).

Wszelkich informacji udziela **Grzegorz Krzykowski, tel. 22 257 84 60**, e-mail: grzegorz.krzykowski@ep.com.pl.

Reklamy do tej rubryki mogą być przygotowane przez Zamawiającego w CMYK, w formacie CDR (wersja do 2018), AI, EPS (tekst zmieniony na krzywe), PSD, PDF (programy Adobe w wersji do CC 2019 włącznie PC/Mac) z próbnym wydrukiem. Małe reklamy mogą być przygotowane w redakcji (gratis) na podstawie odręcznego szkicu. Opracowania te nie będą jednak wówczas uzgadniane z Zamawiającym przed oddaniem do druku.



Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczonych w Elektronice Praktycznej

www.delta.poznan.pl



► APTI-54C4-2812WP

Wielkość matrycy: 5 Mpx (Sony Starvis)
Obiektyw: 2,8 - 12 mm (kąt widzenia 86° - 24°)
Rozdzielczość: 2592 x 1944 (5 Mpx)
Zasięg oświetlacza IR: 40 m
Protokoły sieciowe: TCP/IP, DDNS, NTP, ONVIF 2.4
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66
3D-DNR, WDR, DEFOG, H265+, ROI, ...
Aplikacje dla: Android, iOS
Bardzo dobra jakość w jeszcze lepszej cenie



► APTI-84C6-3611WP-Z

Wielkość matrycy: 8,3 Mpx (przetwornik 1/1.8")
Obiektyw: 3,6 - 11 mm (kąt widzenia 90° - 36°)
Rozdzielczość: 3840 x 2160 (4K UHD)
Przepływność (bitrate): 64 ... 12000 kbit/s
Protokoły sieciowe: TCP/IP, NTP, DNS, ONVIF 2.4
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66
3D-DNR, WDR, DEFOG, ROI, H265+, ...
Aplikacje dla: Android, iOS
Wysoka rozdzielczość dostępna w atrakcyjnej cenie



► APTI-54VA3-2812P

Wielkość matrycy: 5 Mpx (przetwornik 1/2.8")
Obiektyw: 2,8 - 12 mm (kąt widzenia 86° - 24°)
Rozdzielczość: 2592 x 1944
Obsługa audio - mikrofon zewnętrzny
Protokoły sieciowe: TCP/IP, NTP, DDNS, FTP
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66, H.265+
3D-DNR, DEFOG, D-WDR, ROI, detekcja ruchu, ...
Aplikacje dla: Android, iOS
Bardzo dobry stosunek jakości do ceny

Największy wybór w Polsce

Hurtownia elementów elektronicznych "AKSOTRONIK" zaprasza do swojego sklepu internetowego
Zaloguj się i kupuj ON-LINE na naszej stronie:

WWW.AKSOTRONIK.COM.PL

Aksotronik
ELEMENTY ELEKTRONICZNE

Magnesy neodymowe oraz ferrytowe
Ceny od 0.10zł

Przełączniki klawiszowe wodoodporne/ryśkoszczelne
Ceny od 2.40zł

Druty oporowe od 0.16 do 0.51mm
Ceny od 5.70zł

Przewodniki do przewodów
Ceny od 11.00zł

Kostki elektryczne zaciskowe
Ceny od 0.22zł

Szczetki węglowe do elektromaszyn
Ceny od 2.60zł/kpl

Przełączniki do elektronarzędzi zwykłe i elektromagnetyczne
Ceny od 7.00zł

Podkładki/organizery
Ceny od 0.95zł

Złącza hermetyczne Superseal
Ceny od 1.10zł/kpl

Zestawy śrubek M2, M3 z nakrętkami i podkładkami
Ceny od 2.50zł

Uwaga!!! Powyższe ceny dotyczą zakupów minimalnych ilości hurtowych, poprzez nasz sklep internetowy.
W swojej ofercie posiadamy m.in.: półprzewodniki (diody, układy scalone, tranzystory, triaki, elementy optoelektroniczne), elementy dystansowe, złącza, przełączniki, elementy akustyczne, rezystory, kondensatory, kwarce, podstawki, moduły Arduino
Zapraszamy do kontaktu: INFO@aksotronik.com.pl, tel: (22) 783-20-51

www.ep.com.pl

RACK i Eurocarta 19" Wyposażenie szaf 19"
www.obudowa.pl
Producent obudów dla elektroniki tel. 032-230-2301

ELMAX
1988

OBWODY DRUKOWANE
Produkcja, Projektowanie, Montaż

Certyfikat Underwriters Laboratories
UL 94V-0 E480148 TYPE 1

Zakład produkcyjny:
05-260 Marki
ul. Duża 1
tel. 22 781 63 95
22 761 95 80
fax. 22 781 63 95 w 23
www.elmax.waw.pl
elmax@elmax.waw.pl

Płytki jednostronne
Płytki dwustronne
Płytki na podłożu aluminium
Płytki czolowe FR4

Serie dowolne
Prototypy
Maksymalny wymiar płytek 1w 630 mm

Dokumentacja technologiczna
Dokumentacja konstrukcyjna
Trawione szablony SMD

Aktywny kalkulator prototypów na stronie internetowej

Montaż elektroniki
Krótkie terminy
Wykonania super expresowe

Pokrycie Sn lub SnPb inne na życzenie
Maski, opisy montażowe w różnych kolorach

KITY AVT

<http://bit.ly/2FNvrIN>



Łączność bezprzewodowa

Przez długi czas rozwój wielu dziedzin elektroniki był możliwy przede wszystkim dzięki rozwojowi techniki mikroprocesorowej. Dzisiaj sytuacja wygląda inaczej, to technika łączności bezprzewodowej kreuje nowe standardy.

Bardzo silnym motorem napędzającym rozwijanie różnych technologii bezprzewodowych są dwa obszary. Jednym z nich jest rynek konsumencki. Smartfon – najbardziej popularne urządzenie konsumenckie na świecie, korzysta z technologii GSM pozwalającej na połączenia głosowe, przysyłanie wiadomości tekstowych SMS i połączenia internetowe. Trudno dzisiaj o bardziej spektakularny przykład wpływu technologii bezprzewodowej na wiele aspektów życia społeczeństw na całym świecie. Podobnej rewolucji doświadczano w XX wieku za sprawą innych mediów: najpierw radia, a potem telewizji.

Wspomniany smartfon ma dodatkowe interfejsy radiowe: Wi-Fi i Bluetooth. Bez Wi-Fi nie można byłoby się połączyć z Internetem poprzez routery dostępne umożliwiające transfer danych bez dodatkowych kosztów. Jednym z najbardziej znanych, ale niejedynym zastosowaniem Bluetooth jest możliwość łączenia się ze zdalnymi systemami audio, na przykład zestawami głośnomówiącymi w autach lub słuchawkami bezprzewodowymi.

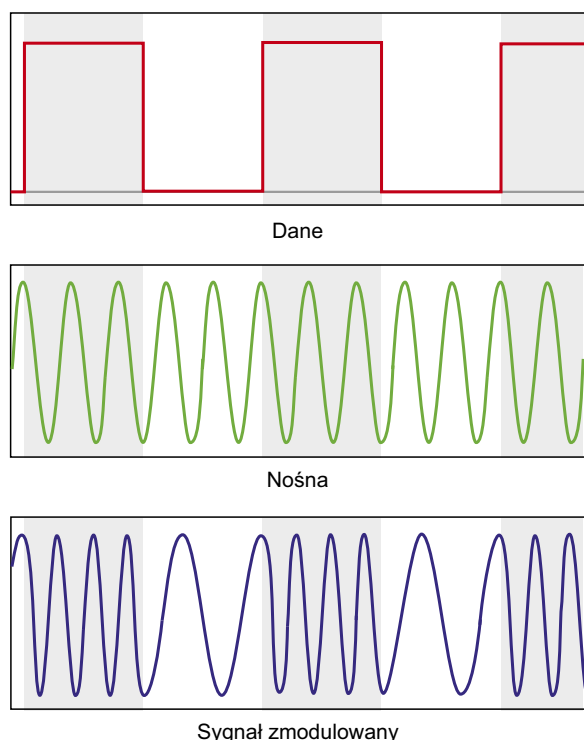
Rynek konsumencki korzysta z coraz większej liczby zaawansowanych technologii stosujących połączenia bezprzewodowe. Oprócz

łączności GSM, dającej każdemu możliwość komunikacji dwukierunkowej, możemy dzisiaj korzystać na przykład z nawigacji satelitarnej GPS czy też innych konkurencyjnych satelitarnych systemów nawigacyjnych. Ta technologia jest już tak dostępna, że stosuje się ją nie tylko do nawigacji komunikacyjnej, ale też do geotagowania zdjęć i temu podobnych zastosowań.

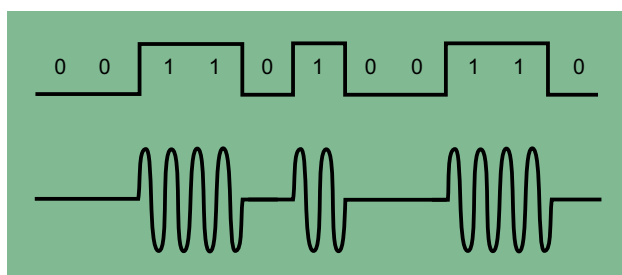
Drugi obszar to rozwijająca się bardzo dynamicznie technologia Internetu Rzeczy IoT. Trudno sobie wyobrazić, aby tak dynamiczny wzrost był możliwy bez sieci radiowych.

Masowe używanie połączeń radiowych przez użytkowników nie posiadających kwalifikacji do eksploatacji urządzeń nadawczo-odbiorczych wymaga specjalnych uregulowań. Do takich zastosowań wydzielono pasma częstotliwości wolne od zezwoleń i opłat. Urządzenia pracujące w tych pasmach muszą mieć ograniczoną przepisaną niską moc i wykorzystują przydzielone kanały. Najczęściej są to pasma ISM zarezerwowane do zastosowań przemysłowych, naukowych i medycznych w celach innych niż telekomunikacyjne. W różnych krajach przewidziano różne częstotliwości do takich zastosowań i przy projektowaniu urządzeń pracujących w pasmach ISM trzeba wybrać odpowiedni zakres częstotliwości.

Połączenia radiowe mają wiele zalet. Są wygodne i tanie, bo nie wymagają kosztownego i kłopotliwego okablowania. Pozwalają na nieskrepowaną mobilność w obszarze rzeczywistego zasięgu. Ale niestety mają także wady. Przesyłanie danych w kanałach radiowych



Rysunek 1a. Modulacja FSK



Rysunek 1b. Modulacja ASK

wymaga coraz bardziej zaawansowanego kodowania zapobiegającego podsłuchiwaniu danych, ale również ich przechwytywania i modyfikowania w celach przestępczych. Sporym problemem mogą być zakłócenia elektromagnetyczne powodujące zaniki lub przekłamania sygnału. W ważnych zastosowaniach wykorzystuje się mechanizmy pozwalające odzyskać część utraconych danych metodami programowymi. Wymaga to jednak przesyłania danych nadmiarowych pozwalających na przesyłanie danych właściwych.

W artykule zajmiemy się połączeniami bezprzewodowymi niewymagającymi od użytkowników posiadania zezwoleń na korzystanie z częstotliwości i przeznaczonymi do przesyłania danych.

Z technicznego punktu widzenia do przesyłania danych potrzebujemy modemu radiowego i układu nadajnika i odbiornika, czyli transceivera. Modem zamienia sygnał cyfrowy po stronie nadawczej, czyli ciąg zer i jedynek na sygnał analogowy, który może być przesłany w kanale radiowym. Jedną z najbardziej znanych metod jest modulacja FSK i jej odmiany polegające na dyskretniej zmianie częstotliwości nośnej zależnie od przesyłanego bitu informacji (rysunek 1a). Innym rodzajem modulacji jest modulacja ASK, czyli modulacja amplitudy. W dużym uproszczeniu możemy przyjąć, że dla zera logicznego amplituda sygnału nośnej jest zerowa, a dla jedynki logicznej ma maksymalną wartość (rysunek 1b). Po stronie odbiorczej modem zamienia sygnał zmodulowany na ciąg zer i jedynek. Modulacja FSK, i jej modyfikacje, jest bardziej odporna na zakłócenia i dlatego jest chętniej stosowana.

Połączenia radiowe można organizować na różne sposoby. W mało wymagających rozwiązaniach stosuje się proste moduły radiowe wspierające konstruktora w przesyłaniu surowych danych. Bardzo

dobrze spełniają swoją funkcję do przesyłania danych pomiędzy dwoma punktami. Przykładem może być odczytywanie temperatury z czujnika umieszczonego na zewnątrz. Układ nadrzędny (stacja pogodowa) wysyła drogą radiową zapytanie o temperaturę a czujnik (termometr) w odpowiedzi odsyła zmierzoną wartość. Takie moduły mają wbudowaną prostą logikę i bufony danych. W trochę bardziej zaawansowanych układach mogą się pojawiać mechanizmy potwierdzania przesyłanych pakietów danych oraz zabezpieczanie danych sumami (wielomianami) kontrolnymi. To rozwiązanie ma jedną zaletę – jest tanie w warstwie sprzętowej.

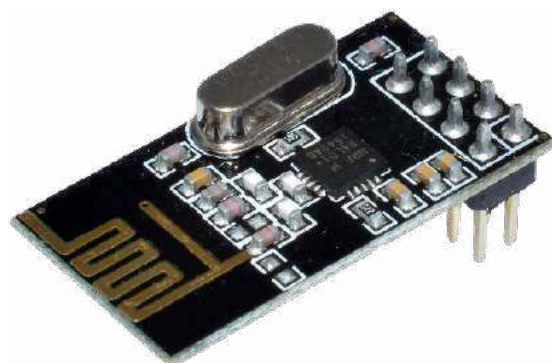
Jeżeli wymiana danych nie musi spełniać kryteriów dużej niezawodności przesyłania i nie jest wymagane skuteczne zabezpieczanie przed podsłuchem, to oprogramowanie również może się okazać relatywnie tanie. Do wspomnianego już zdalnego odczytywania danych meteorologicznych czy podobnych danych takie rozwiązanie będzie wystarczające. Każda dodatkowa funkcjonalność, na przykład konfiguracja sieci, retransmisja danych przez urządzenia połączone takimi łączami radiowymi w celu zwiększenia zasięgu, wykrywanie przesyłania błędnych danych, wykrywanie utraty połączenia z obiektem, czy optymalizacja pobieranej mocy, będzie się wiązała z dużym nakładem pracy programisty. **Poza tym powstanie urządzenie, które będzie kompatybilne samo ze sobą, co najczęściej jest wadą, a tylko czasami zaletą.**

W wymagających zastosowaniach używa się połączeń radiowych wykorzystujących specjalnie do tego celu zaprojektowanych i ustandaryzowanych protokołów wymiany danych. Nie ma tu uniwersalnego rozwiązania i standard połączenia radiowego dobiera się do wymagań aplikacji. W technice komputerowej protokoły wymiany danych opisuje się za pomocą modeli warstwowych. W każdym z takich modeli jest przewidziany podział na najniższą warstwę fizyczną obejmującą rozwiązania sprzętowe i warstwy wyższe definiowane dla konkretnego protokołu. W interfejsach bezprzewodowych warstwa fizyczna to transceiver radiowy pracujący w zadanym paśmie częstotliwości z określoną modulacją i mocą wyjściową. Interfejs musi mieć możliwość modulowania fali nośnej kanału częstotliwości przez strumień danych cyfrowych nadawanych i demodulowania danych odbieranych.

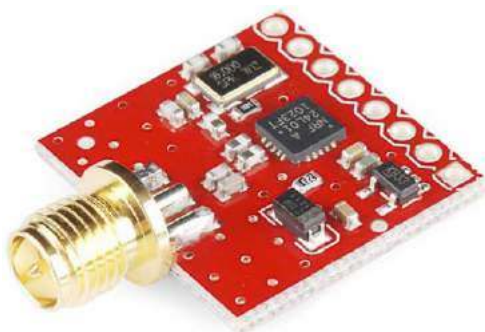
Standardy łącz bezprzewodowych są dobrze udokumentowane i można bez problemu napisać ich implementację. To jednak wymaga sporego nakładu czasu pracy programisty i przez to koszty wyraźnie rosną. Dlatego na rynku dostępne są kompletne moduły zbudowane z części radiowej połączonej z mikrokontrolerem, w którym jest umieszczony firmware realizujący większość funkcji niezbędnych do nawiązania połączenia, przesyłania danych, obsługi błędów itp. Zależnie od wykonania, zaimplementowana jest obsługa dwu najniższych warstw: sprzętowej i dostępu do łącza MAC lub całego protokołu z elementami warstwy aplikacji.

Proste moduły radiowe

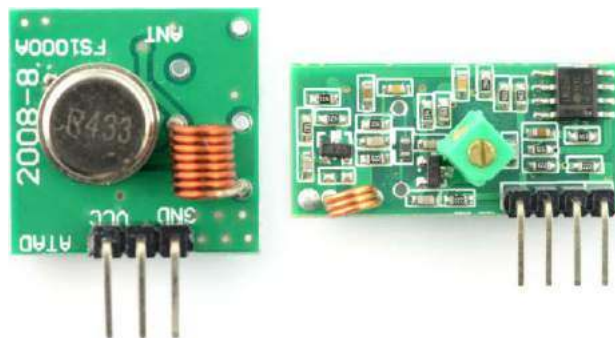
Tam, gdzie potrzebujemy taniego rozwiązania najczęściej do połączenia punkt-punkt, optymalnym wyborem są proste moduły radiowe. Swego rodzaju standardem stały się moduły na bazie układu nRF24L01 firmy Nordic Semiconductor (**fotografia 1**). Popularność



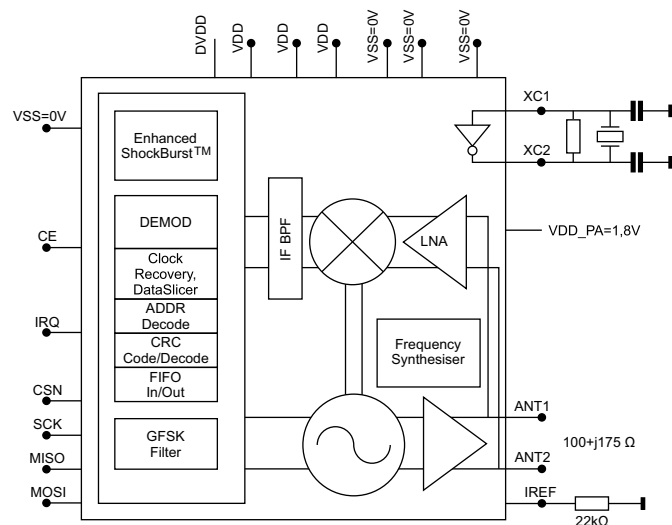
Fotografia 1. Moduł z układem nRF24L01



Fotografia 2. Moduł firmy Sparkfun z układem nRF24L01



Fotografia 3. Zestaw nadajnik-odbiornik na pasmo 433 MHz



Rysunek 2. Schemat blokowy układu nRF24L01

zawdzięczają niskiej cenie i sporym możliwościom. Moduły z układem nRF24L01 są szeroko stosowane w środowisku Arduino, co również przyczynia się do dużej popularności.

Niestety moje doświadczenia z nimi są różne. Kiedyś działały bardzo dobrze, ale w tych ostatnio kupionych zupełnie nie działa komunikacja na poziomie interfejsu SPI. Po przejrzeniu kilku forów okazało się, że inni użytkownicy na całym świecie mają podobne problemy. Jeżeli nie chcemy mieć takich problemów i tracić mnóstwa czasu na to by w końcu stwierdzić, że układ na płytce jest albo uszkodzony, albo jest to nie działająca podróbka warto zakupić sprawdzone moduły znanej firmy (fotografia 2).

Schemat blokowy serca modułu, czyli układu nRF24L01 został pokazany na rysunku 2. Układ pracuje w paśmie ISM 2,4...2,5 GHz z modulacją GFSK. Jest to zmodyfikowana wersja modulacji FSK, w której strumień danych wejściowych poddaje się filtrowaniu cyfrowemu przez filtr Gaussa (GFSK Filter) (rysunek 2). Układ ma wbudowany kompletny tor radiowy z syntetyzatorem częstotliwości, wzmacniaczem pośredniej częstotliwości i wzmacniaczem antenowym. Może pełnić rolę nadajnika i odbiornika w trybie pracy half duplex. Dostępne pasmo radiowe zostało podzielone na 125 kanałów. Czas przełączania pomiędzy kanałami jest krótszy niż 200 μ s.

Dostępne są dwa tryby pracy: Shock Burst i bezpośredni. W trybie Shock Burst host (mikrokontroler) zapisuje wewnętrzny bufor FIFO o rozmiarze 256 bajtów z wybraną prędkością transmisji przez interfejs SPI. Po wysłaniu wszystkich danych do FIFO logika sterująca inicjuje wysyłanie drogą radiową z prędkością 1 Mb/s, lub 250 kb/s. W trybie bezpośrednim dane są wysyłane z prędkością z jaką je wysłał host do nRF24L01.

Jest również możliwość sprzętowego generowania wielomianu kontrolnego (CRC) w układzie nadajnika i sprawdzania poprawności przesłania na podstawie tego CRC w odbiorniku. Moduły z układem nRF24L01 są dość zaawansowane technicznie i można

je z powodzeniem stosować do poważniejszych zadań mimo braku wsparcia protokołów radiowych.

Na rynku istnieją też prostsze moduły pracujące w pasmach 433 MHz i 868 MHz. Najczęściej jest to komplet dwu modułów: jeden jest nadajnikiem, a drugi odbiornikiem. To dość spore ograniczenie funkcjonalności, bo w takiej konfiguracji nie można zrealizować transmisji dwukierunkowej. Przykład bardzo prostego zestawu nadajnik-odbiornik na pasmo 433 MHz został pokazany na fotografii 3. Zastosowano tu modulację ASK, czyli kluczowanie amplitudy. Takie rozwiązania są przeznaczone w zasadzie tylko dla hobbystów i w takich zastosowaniach powinny się sprawdzić.

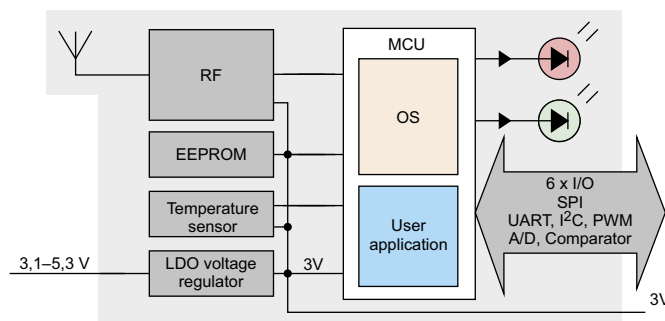
Inteligentne interfejsy radiowe – IQRF

Jeżeli potrzebujemy rozwiązania stosunkowo prostego, ale jednocześnie dającego unikalne możliwości warto zainteresować się ofertą czeskiej firmy MICRORISC. Prosty (z punktu widzenia programisty) moduł radiowy połączono z małym mikrokontrolerem i umieszczono ten układ na małej płytce drukowanej (fotografia 4). Taki pomysł nie wydaje się czymś odkrywczym i rzeczywiście tak by było, gdyby na tym poprzestano.

Produkt Microrisca to znacznie więcej niż moduł radiowy i mikrokontroler. Został zaprojektowany cały system zbudowany z małych łatwych w użyciu i programowaniu modułów radiowych, zestawów rozszerzających DCC Kits i firmowych narzędzi sprzętowych i programowych stanowiących kompleksowe wsparcie dla projektanta. Użytkownik ma do dyspozycji część pamięci programu mikrokontrolera



Fotografia 4. Moduł TR72



Rysunek 3. Schemat blokowy modułu TR72

i może tam umieszczać swój firmware napisany w języku C współpracujący z wbudowanym OS (rysunek 3). Wydajność bardzo prostego rdzenia mikrokontrolera PIC16F i dostępne zasoby nie pozwalają na zaimplementowanie bardziej zaawansowanych protokołów radiowych, ale do prostych zastosowań bardzo się przydaje elastyczne połączenie mikrokontrolera wspieranego przez prosty OS z modułem radiowym.

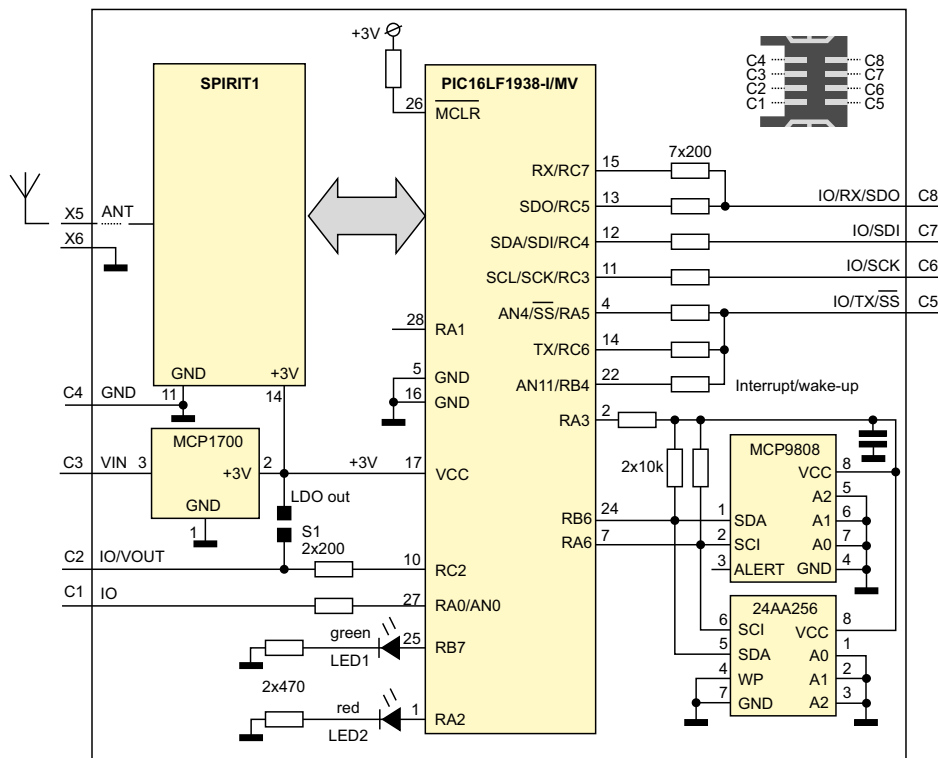
Obecnie oferowana jest kolejna generacja modułów. W torze radiowym pracuje układ SPIRIT1 produkcji STMicroelectronics. Mikrokontroler to jednostka Microchipa PIC16LF1938 ze znanym i prostym rdzeniem 8-bitowym PIC16F. Na płycie modułu zamontowano sensor temperatury MCP9808 i pamięć EEPROM 24AA256 o pojemności 256 kb. Schemat modułu TR72 został pokazany na rysunku 4. SPIRIT1 może pracować w pasmach 150...174 MHz, 300...348 MHz, 387...470 MHz, 779...956 MHz. To pozwala dobierać pasmo, w którym moduł będzie działał. Wybrane pasmo częstotliwości musi być dopuszczone do stosowania bez zezwolenia w kraju, w którym moduł będzie używany. W Europie jest to pasmo 868 MHz ISM.

W pamięci mikrokontrolera modułu fabrycznie umieszczono prosty system operacyjny nazwany IQRF OS. Użytkownik ma do dyspozycji zestaw funkcji systemowych. Za ich pomocą realizowany jest transfer danych przez kanał radiowy i transmisja danych do układu hosta (standardowo przez interfejs SPI). Funkcje IQRF OS wspierają pracę sieci typu MESH. Program użytkownika jest pisany w języku C i kompilowany kompilatorem CC5X. Tu również producent zadbał o to by nie trzeba było się martwić o niezbędne narzędzia. Darmowa wersja kompilatora zupełnie wystarcza do napisania sporego programu. Trzeba pamiętać, że taki moduł jest inteligentnym układem peryferyjnym i nie są na nim uruchamiane duże zadania. Jeżeli jest to konieczne, to moduł radiowy pełni funkcje komunikacyjne, a bardziej wymagające zadania wykonuje host. Tworzenie aplikacji umożliwia firmowy pakiet IRQF IDE. Mimo, że na pierwszy rzut oka wygląda na proste narzędzie, to ma dość spore możliwości. Z jego pomocą możemy wykonać wszystkie czynności projektowe: edytować (za pomocą zewnętrznego edytora) plik źródłowy języka C, skompilować go, zaprogramować mikrokontroler modułu radiowego i debugować działający program. I na koniec „programator” modułów umożliwia z poziomu IRQF IDE zapisanie pamięci Flash mikrokontrolera kodem programu użytkownika. IDE ma też szereg przydatnych funkcji, na przykład podglądanie on line transmisji w kanale radiowym i podglądanie transmisji interfejsu SPI łączącego moduł z hostem (w tym przypadku hostem jest IDE).

Do programowania pamięci mikrokontrolera jest potrzebny dodatkowy moduł programatora z interfejsem USB. W programatorze umieszcza się moduł radiowy, na przykład wspomniany TR72 i po połączeniu kablem USB można programować jego pamięć. To jednak nie wszystko. Producent przewidział możliwość zdalnego przeprogramowania modułów poprzez połączenie radiowe. Można przeprogramować jeden konkretny moduł lub jednocześnie wszystkie z którymi jest łączność.

W systemie IQRF moduły radiowe TR52B tworzące sieć mogą pracować w dwu trybach:

- Peer-to-peer,
- IQMESH.

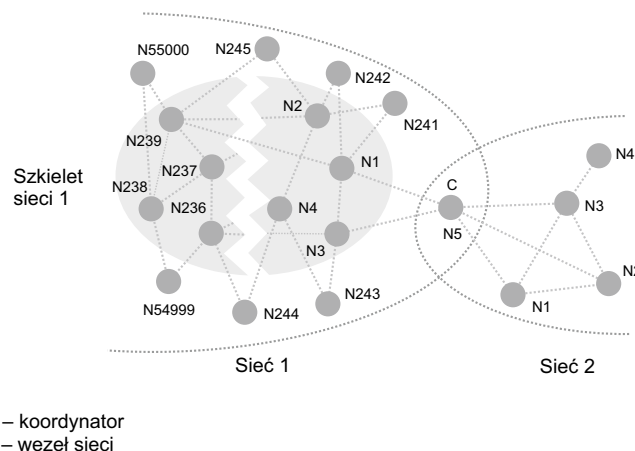


Rysunek 4. Schemat modułu TR72

Peer-to-peer jest trybem domyślnym. Jest używany do połączenia dwu lub więcej obiektów bez systemowego Koordynatora sieci. Pakiety danych wysyłane przez moduł są dostępne dla wszystkich pozostałych modułów w sieci. Adresowanie i ruch pakietów nie są wspierane przez IQRF OS i musi być całkowicie zaimplementowane w warstwie aplikacji użytkownika. Ilość modułów w sieci nie jest limitowana. Można sobie wyobrazić sieć w topologii gwiazdy z modułami zaprogramowanymi do pracy w trybie Peer-to-peer. Moduł połączony z hostem pracuje jako Master i sekwencyjnie odczytuje wszystkie pozostałe (Slave). Każdy moduł Slave musi mieć przypisany na stałe unikalny adres i odpowiada w momencie, kiedy jest wywołany (zaadresowany) przez Mastera.

Tryb IQMESH pozwala na utworzenie sieci kratowej (MESH). Z założenia taka sieć daje możliwość komunikacji pomiędzy elementami sieci bez konieczności używania wydzielonego elementu centralnego. Każde urządzenie sieciowe (moduł radiowy) może komunikować się z każdym innym urządzeniem bezpośrednio (jeśli jest zasięg radiowy) lub za pośrednictwem dowolnych modułów (gdy element docelowy jest poza bezpośrednim zasięgiem źródła) (rysunek 5).

W poważniejszych projektach na pewno docenimy kompletność systemu i możliwości szybkiego tworzenia prostych inteligentnych,



Rysunek 5. Przykładowa konfiguracja sieci IQMESH

interfejsów radiowych, silne wsparcie sieci MESH i możliwość szybkiego debugowania. W jednym z projektowanych urządzeń zastosowałem starsze moduły TR52D. Z praktyki wiem, że te moduły pracują niezawodnie, a pisanie i uruchamianie własnego firmware jest szybkie i nie sprawia problemów. Mimo wielu zalet IQRF niestety nie wpiera najbardziej znanych i popularnych protokołów sieciowych typu BLE, czy ZigBee i to z pewnością rzutuje na jego popularność.

Microchip Mi-Wi

Microchip ma w swojej ofercie ciekawy system połączenia bezprzewodowego nazwany Mi-Wi obejmujący kompletne rozwiązania sprzętowe i programowe. Częścią radiową pierwotnie zajmowały się dedykowane moduły radiowe współpracujące ze standardowymi mikrokontrolerami PIC z różnych rodzin i o wydajności zależnej od wymagań aplikacji.

Od roku 2018 firma zamroziła rozwój oprogramowania Mi-Wi dla mikrokontrolerów PIC a skupiła się na rozwiązaniu opracowanym przez przejętą firmę Atmel ze specjalnymi „radiowymi” mikrokontrolerami Microchip SAMR30 (sub-GHz) i SAMR21 (2,4 GHz).

Microchip Mi-Wi opiera się na radiowym standardzie IEEE802.15.4, opisującym sieci WPAN, przeznaczonym dla sieci bezprzewodowych o niskiej przepływności, małym zużyciu energii i niskich kosztach. To bardzo ważny standard będący fundamentem wielu bezprzewodowych protokołów sieciowych w tym tak znanych jak ZigBee, czy Thread.

Stos protokołu Mi-Wi używa zmodyfikowanej warstwy MAC standardu IEEE 802.15.4 polegającą na dodaniu poleceń upraszczających proces uzgadniania połączenia. Łatwiej jest zaimplementować procesy łączenia i rozłączania połączenia, oraz skanowanie kanałów radiowych. Jednak szereg czynności takich jak na przykład decyzje o tym, kiedy i jak skanować kanały, czy wprowadzać mechanizmy oszczędzania energii nie są zaimplementowane w protokole i trzeba je wykonać w warstwie aplikacji.

Mi-Wi może pracować w trybach P2P (*peer to peer*) lub z wydzielonym punktem centralnym (topologia gwiazdy). Urządzenia pracujące w sieci dzieli się na trzy rodzaje w zależności od wykonywanych funkcji:

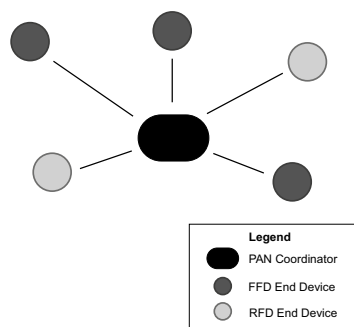
- Koordynator PAN (*Personal Area Network Coordinator*),
- Urządzenie FFD (*Full Function Device*),
- Urządzenie RFD (*Reduced Function Device*).

W topologii gwiazdy pokazanej na **rysunku 6** koordynator PAN inicjuje wymianę danych i akceptuje połączenia przychodzące od urządzeń w sieci. Urządzenia końcowe FFD lub RFD mogą ustanowić połączenie tylko z koordynatorem PAN. W urządzeniach FFD transceiver jest zawsze włączony i urządzenia te są zasilane z sieci energetycznej. Z kolei RFD jest przeznaczony do zasilania baterijnego i jego transceiver jest wyłączany w stanie IDLE.

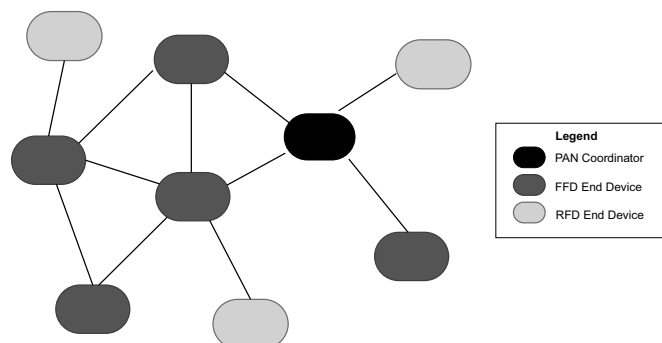
W topologii P2P pokazanej na **rysunku 7**, w odróżnieniu od sieci z topologią gwiazdy, urządzenia końcowe FFD mogą nawiązywać połączenia nie tylko z koordynatorem PAN, ale także między sobą. Można w ten sposób zbudować sieć kratową MESH. Microchip wspiera technologie Mi-Wi dostarczając moduły radiowe, zestawy ewaluacyjne oraz bezpłatne oprogramowanie. Biblioteki przeznaczone dla mikrokontrolerów PIC z rodzin PIC16, PIC18 i PIC24, dsPIC33 i PIC32 obsługują moduły radiowe z transceiverami MRF24J40 (pasmo 2,4 GHz) i MRF89XA (pasmo 870 MHz). Stos protokołu używa maszyny stanów (bez RTOS).

Na **fotografii 5** pokazano moduł transceiwera MRF89XAM8A wpierającego sprzętowo funkcje warstwy MAC. Moduł jest przeznaczony do pracy z częstotliwościami 863...870 MHz z modulacją FSK, lub OOK (ASK). Maksymalne przepływności danych dla modulacji FSK wynoszą 40 kbps, a dla OOK 16 kbps. Moduł komunikuje się z mikrokontrolerami PIC za pomocą interfejsu SPI.

Oprócz modułów radiowych dostępne są kompletne moduły ewaluacyjne z mikrokontrolerem przygotowane do uruchamiania



Rysunek 6. Topologia sieci STAR Mi-Wi



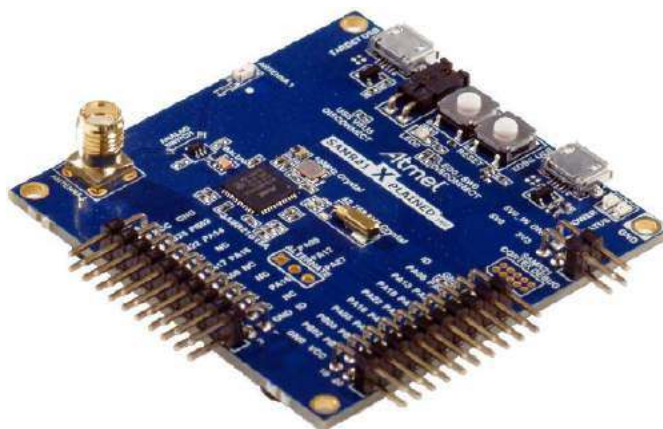
Rysunek 7. Topologia P2P

firmowych przykładów demonstracyjnych. Jednym z nich jest zestaw DM182018 zawierający trzy płytki. Jedną z nich jest przeznaczona do pracy jako koordynator PAN a dwie jako urządzenia końcowe. Taki zestaw pozwala na pełny test działania sieci Mi-Wi.

Microchip zarzucił rozwijanie sieci Mi-Wi w oparciu o dedykowane moduły i firmware zapisane w pamięci mikrokontrolera rodzin PIC micro. Po przejściu Atmela nowe wcielenia stosu Mi-Wi pracują



Fotografia 5. Moduł MRF89XAM8A pracujący w paśmie 863...870 MHz



Fotografia 6. Moduł SAM21 Xplained PRO

z mikrokontrolerami rodzin ATSAMR21 i ATSAMR30. ATSAMR21 jest rodziną mikrokontrolerów z rdzeniem Cortex M0+, w których jednym z układów peryferyjnych jest transceiver radiowy na pasmo 2,4 GHz. Układ ma też wbudowany sprzętowy układ akceleratora warstwy MAC IEEE 802.15.4 co znacząco ułatwia implementację stosu. Wystarczy dołączyć układ antenowy, żeby zbudować moduł radiowy o dużych możliwościach programowych. Stos Mi-Wi jest tylko jedną z możliwości użycia tych mikrokontrolerów. Inną opcją może być na przykład stos ZigBee. Na **fotografii 6** pokazano moduł ATSAMR21 X Plained PRO z mikrokontrolerem ATSAMR21G18A przeznaczony między innymi do testów pracy w sieci Mi-Wi. Stos MiWi dla mikrokontrolerów SAMR21 jest dostępny z poziomu IDE Atmel Studio lub IAR Workbench.

LoRaWAN

Większość łącz radiowych w pasmach przeznaczonych do użytku bez zezwoleń ma mały bezpośredni zasięg wynoszący maksymalnie 100...200 metrów w terenie otwartym. Wynika to z dużego ograniczenia mocy nadajników i zastosowanej modulacji. Zasięg można zwiększać stosując sieci kratowe i retransmisję pakietów danych przez urządzenia pracujące w sieci. Ale są takie zastosowania, w których potrzebny jest dużo większy zasięg bezpośredni przy braku możliwości retransmisji danych. Przykładem mogą być czujniki IoT rozmieszczane w słabo zaludnionych obszarach, gdzie nie ma rozbudowanej infrastruktury i nie można użyć do tego celu łącz radiowych krótkiego zasięgu.

Dla dynamicznie rozwijających się sieci urządzeń IoT rozproszonych na dużym obszarze próbuje się projektować i wdrażać różne rozwiązania połączeń radiowych. Najbardziej obiecujące są dedykowane sieci radiowe bazujące na infrastrukturze sieci komórkowych GSM. Z założenia mają to być komercyjne rozwiązania oferujące płatny transfer danych, ale o ograniczonych kosztach wynikających z masowego stosowania. Alternatywnym rozwiązaniem mogą być sieci LoRaWAN.

LoRaWAN jest radiowym protokołem komunikacyjnym, który pozwala łączyć się z Internetem urządzeniom IoT wyposażonym w łącze radiowe. Połączenie nie jest realizowane wprost, ale za pomocą specjalnych stacji bazowych nazywanych koncentratorami. Bardzo ważną cechą standardu jest możliwość uzyskania relatywnie dużych zasięgów przy bardzo małej mocy nadawania (20 dBm) pomiędzy urządzeniami końcowymi a stacjami bazowymi liczonych w kilometrach. Małe moce nadajników umożliwiają niskie zużycie

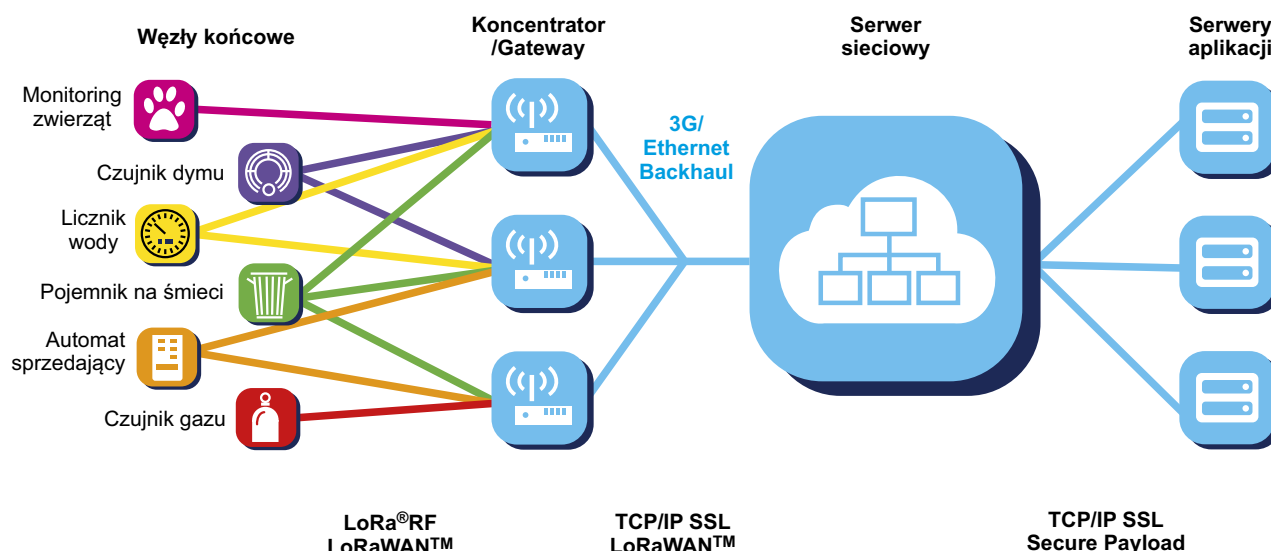
energii i możliwość zasilania baterijnego. Technologia LoRaWAN bazuje na otwartym standardzie i wykorzystuje jedną z częstotliwości otwartego pasma ISM – w Europie 868 MHz. To ma daleko idące konsekwencje, bo umożliwia tworzenie własnych tanich sieci bez konieczności uzyskiwania administracyjnych zgód i ponoszenia opłat za wużywanie pasma. Tą technologią interesują się również operatorzy telekomunikacyjni, na przykład Orange, SK Telecom. Niestety w naszym kraju jak na razie pokrycie sieciami LoRaWAN jest bardzo małe i to głównie w dużych miastach.

Do transmisji w kanale radiowym używany jest system komunikacji nazwany LoRa. Przesyłanie danych na relatywnie duże odległości jest możliwe dzięki modulacji CSS (*Chirp Spread Spectrum*). Co ciekawe jest to technika opracowana w latach 30-tych XX wieku na potrzeby konstruowanych w tym czasie radarów. Stosowana też była do łączności w astronautyce. CSS jest odporna na zakłócenia wynikające z odbić (interferencja sygnałów), jest odporna na zjawisko Dopplera, nie wymaga synchronizacji odbiornika i nadajnika i co ważne amplituda sygnału nie ma praktycznie wpływu na stopień błędów podczas transmisji (amplituda ma wpływ tylko na zasięg sygnału). Za to modulacja CSS ze względu na swoje właściwości nie pozwala na przesyłanie danych z dużymi prędkościami transmisji.

LoRaWAN jest protokołem dostępu do łącza MAC (*Medium Access Protocol*). Jak wiemy przy jego opracowywaniu położono nacisk na pracę z łączami dalekiego zasięgu, ale o małej przepływności i jest z zasady przeznaczony dla urządzeń IoT pracujących z optymalizowanym małym zużyciem energii. Dwukierunkowość przesyłania danych pozwala na realizację niezawodnego przesyłania informacji przez możliwość zaimplementowania mechanizmu potwierdzeń oraz przesyłanie komend sterowania. Bezpieczeństwo transmisji zapewnia silne szyfrowanie. Ważną cechą użytkową jest możliwość bezprzewodowej rejestracji nowych urządzeń w sieci oraz przesyłanie danych w trybie multicast (jeden do wielu).

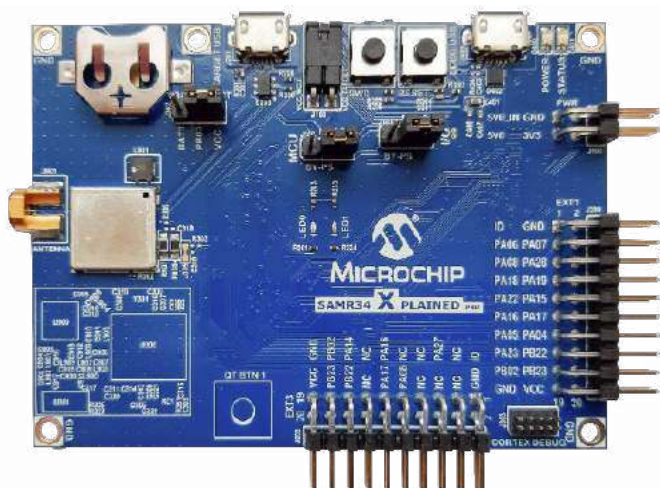
Na **rysunku 8** pokazano strukturę sieci LoRaWAN. Węzły (urządzenia końcowe – czujniki) łączą się z koncentratorami za pomocą protokołu LoRaWAN RF. Koncentratory przesyłają dane do serwerów sieciowych standardowym połączeniem wykorzystującym protokoły LoRaWAN TCP/IP SSL (Wi-Fi, Ethernet), lub za pomocą usługi dostępowej w sieciach GSM (3G/LTE). Sieć jest zbudowana z czterech głównych komponentów:

- urządzeń końcowych (węzłów),
- koncentratorów (stacji bazowych, routerów, bramek),



Szyfrowanie AES

Rysunek 8. Struktura sieci LoRaWAN



Fotografia 7. Moduł ATSAMR34 X Plained PRO Demo Board

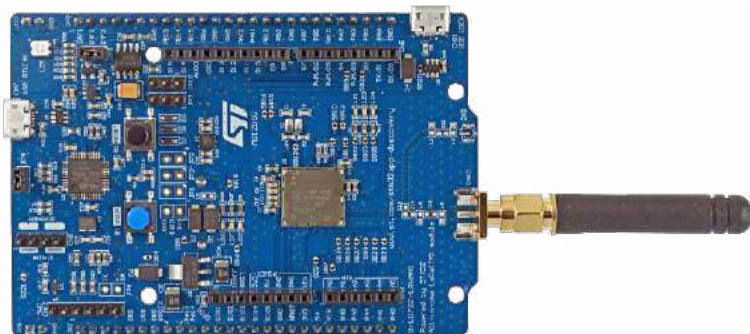
- serwera sieciowego,
- serwerów aplikacji.

Urządzenia końcowe to sprzęt, który zawiera czujniki, układy sterowania, mikrokontroler i moduł transmisji radiowej. Obsługują transmisje dwukierunkową z koncentratorami – mogą same wysyłać dane, ale też otrzymywać dane z koncentratorów. W założeniu urządzenia IoT, które są czujnikami i pracują jako węzły sieci LoRaWAN powinny mieć możliwość długotrwałej pracy z zasilania bateryjnego. Ze względu na rodzaj transmisji i zużycie energii wprowadzono podział urządzeń na klasy: A, B i C. Klasa A – pobiera najmniej energii. Urządzenia tej klasy wysyłają krótkie informacje zdarzeniowe, to znaczy tylko wtedy, kiedy nastąpi zdarzenie typu przekroczenia jakaś wartość mierzonego parametru. Urządzenia klasy B mogą przysyłać dłuższe informacje i odbierać dłuższe informacje z mniejszym opóźnieniem reakcji serwera spowodowanej losowym wysyłaniem danych *uplink* przez urządzenie klasy A. Urządzenie klasy C może ciągle odbierać dane z wyjątkiem, kiedy samo wysyła dane. Klasa ta nie jest przewidziana do zasilania bateryjnego i wymaga stałego zasilania z sieci energetycznej.

Węzły (urządzenia końcowe) sieci LoRaWAN jak wiemy powinny się charakteryzować bardzo małym poborem energii. W urządzeniach klasy A i B stosuje się głębokie uśpienie w czasie braku aktywności pozwalające na znaczące obniżenie poboru prądu. Ale niezbędny jest też pewien stopień wydajności zabudowanego mikrokontrolera pozwalający na obsługę stosu, kodowanie transmisji danych i oczywiście obsługę czujnika pomiarowego. Dlatego wielu producentów stosuje 32-bitowe mikrokontrolery z wbudowanymi zaawansowanymi trybami obniżonego poboru energii. Jednym z gotowych modułów przeznaczonych do pracy jako węzeł sieci LoRaWAN jest ATSAMR34 X Plained PRO Demo Board produkowany i oferowany przez firmę Microchip jednego z członków grupy LoRaAlliance (fotografia 7).

Moduł jest oparty o specjalizowany mikrokontroler ATSAMR34J18B z wbudowanym transceiver'em LoRa i 32-bitowym rdzeniem Cortex M0+. Jego podstawowe właściwości to:

- wsparcie dla pasm 868 MHz i 915 MHz,
- moc wyjściowa maksymalnie +20 dBm,
- wbudowany oscylator TCXO,
- gniazdo antenowe SMA RF z dołączoną w zestawie anteną (*Whip Antenna*),
- układy do pomiaru poboru prądu współpracujące z XPRO Current Measurement System Data Visualizer,
- wbudowany system zarządzania energią z monitorowaniem poboru prądu,
- wbudowany EDBG Debugger współpracujący ze środowiskiem Atmel Studio 7 ICE,



Fotografia 8. Zestaw B-L072Z-LRWAN1 LoRa / Sigfox Discovery

- dwa złącza rozszerzeń,
- 10-pinowe złącze dla programatora Cortex Programmer,
- przyciski Reset i GIPO,
- diody LED statusowe i sygnalizujące włączone zasilanie,
- holder na baterię podtrzymującą CR1220.

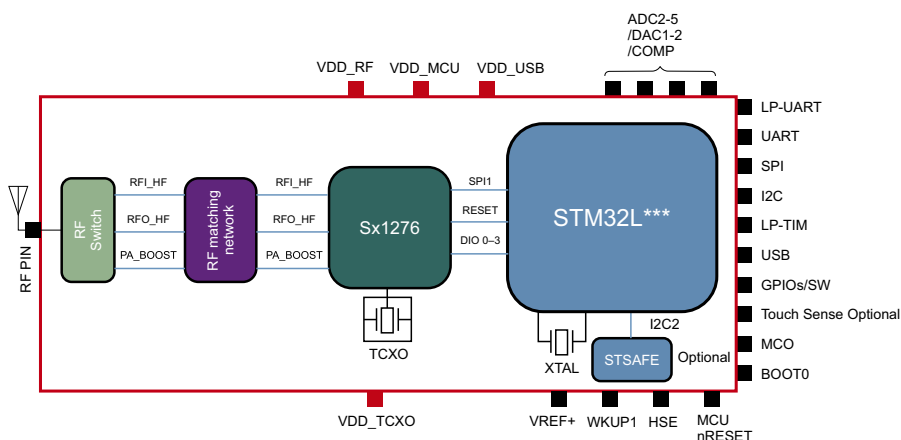
Najważniejszym elementem modułu jest oczywiście mikrokontroler. Seria SAMR34 ma 32-bitowy rdzeń ARM Cortex M0+ połączony z wbudowanym transceiverem UHF wspierającym standard LoRa z modulacją FSK. Rdzeń może być taktowany maksymalną częstotliwością 48 MHz.

Innym przykładem modułu ewaluacyjnego przeznaczonego do testowania technologii LoRaWAN jest zestaw B-L072Z-LRWAN1 LoRa/Sigfox Discovery produkowany przez STM (fotografia 8). Podstawowym elementem zestawu jest zintegrowany moduł CMWX1ZZABZ-091 produkcji firmy Murata zawierający mikrokontroler rodziny STM32L072, lub STM32L082, transceiver SEMTECH SX1276 wyposażony w modem LoRa, oraz wszystkie niezbędne układy wielkiej częstotliwości. Schemat blokowy modułu został pokazany na rysunku 9. CMWX1ZZABZ-091 jest dostarczany w postaci zaekranowanego modułu z wyprowadzeniami do montażu powierzchniowego.

Zestaw B-L072Z-LRWAN1 Discovery zawiera wbudowany standardowy programator/debuger ST-LINK/V2-1, diody LED, przyciski, antenę, złącza Arduino Uno V3 i złącze USB OTG w formacie Micro-B. Stos LoRaWAN obsługuje klasy urządzeń typu A, B i C. Jest dostępny w pakiecie oprogramowania I-CUBE-LRWAN dostępnego przez STM-32CubeMX. Dostępnych jest kilka przykładów, w tym zestaw poleceń AT, które pomagają użytkownikom skonfigurować kompletny węzeł LoRaWAN. Stos Sigfox jest zgodny z RC1, RC2, RC3c i RC4. Jest dostępny w pakiecie rozszerzeń X-CUBE-SFOX. Dostępnych jest również kilka przykładów, w tym modem AT-command, aby pomóc użytkownikom w skonfigurowaniu kompletnego węzła Sigfox.

Podsumowanie

Połączenia radiowe to od dłuższego czasu ważny temat. Szybki rozwój protokołów i rozwiązań sprzętowych jest napędzany ciągle



Rysunek 9. Schemat blokowy CMWX1ZZABZ-091 produkcji firmy Murata

rosnącą popularnością urządzeń IoT, ale również masowym stosowaniem w urządzeniach konsumenckich takich jak smartfony, laptopy, smartTV itp.

Do połączeń pomiędzy urządzeniami IoT i nie tylko stosuje się standardy pracujące w pasmach ISM z małymi mocami nadajników. Ograniczenie mocy powoduje, że zasięgi radiowe są niewielkie zależnie od standardu i warunków propagacji od 10 m do 200 m. To z jednej strony wada, a z drugiej strony zaleta, bo nadajniki przez ograniczony zasięg niż zakłócają się wzajemnie. Małe moce nie powinny w założeniu oddziaływać niekorzystnie na nasze zdrowie.

Z ograniczonym zasięgiem można sobie radzić w różny sposób. Jednym z nich jest budowa sieci kratowej (MESH). Umieszczone na jakimś obszarze urządzenia sieciowe mogą przekazywać pakiety danych do jednego do kolejnego i w ten sposób zwielokrotniać ograniczony zasięg bezpośredni. Przykłady takiego rozwiązania to standardy ZigBee, Thread, czy rozwiązanie IQMESH. Użycie w sieci routerów granicznych (*border router*) pozwala na przesyłanie pakietów danych do sieci WLAN przez Wi-Fi i dalej przez Internet do chmury danych. Sprawdzone i już tanie rozwiązania na przykład WiFi umożliwiają tworzenie sieci z punktem dostępowym (*access point*). Zestandaryzowane rozwiązania protokołów sieciowych umożliwiły producentom rozwiązań sprzętowych zaoferować gotowe stopy protokołów umieszczane w pamięci mikrokontrolerów współpracujących z modułami radiowymi lub w pamięci mikrokontrolerów zintegrowanych z transceiverami radiowymi. Stopy protokołów mogą być dostępne jako bezpłatne biblioteki dystrybuowane przez producentów mikrokontrolerów. Rozwiązując to za projektanta wiele problemów związanych z kodowaniem transmisji, organizacją i konfiguracją sieci, wprowadzania mechanizmów oszczędzania energii itp. Trudno dzisiaj znaleźć argumenty za stosowaniem własnych rozwiązań sieciowych.

Urządzenia IoT pracujące w słabo zurbanizowanym terenie muszą mieć relatywnie duży zasięg rzędu kilometrów i bardzo ograniczony pobór energii (zasilanie bateryjne). Odpowiedzią na te potrzeby może być standard LoRaWAN promowany przez znaczących producentów mikroelektroniki. Jednak LoRaWAN potrzebuje sieci stacji bazowych podłączonych do Internetu. O ile nawet samodzielne zbudowanie takiej stacji nie jest technicznie skomplikowane, to dostęp do Internetu w słabo zurbanizowanym terenie może być problemem. Są miejsca, w których LoRaWAN rozwija się dynamicznie, ale niestety u nas jest na razie to bardzo mało popularne rozwiązanie.

Wspomniana już popularność sieci urządzeń IoT i związana z tym konieczność tworzenia sieci radiowych spowodowała, że pojawiły się również odpowiednie rozwiązania sprzętowe. Tu również da się zauważyć pewne tendencje. Początkowo były to moduły radiowe zawierające chipy z transceiverem, układem modulatora, zintegrowaną anteną i układem modulacji. Jest to wielkie ułatwienie, bo poprawne

zaprojektowanie układu wielkiej częstotliwości wymaga sporej wiedzy i jeszcze większego doświadczenia. Zastosowanie gotowego modułu zwalnia projektantów od rozwiązywania tych problemów. Wystarczy tylko wysłać dane przez interfejs szeregowy. Przykładem takiego chipa jest nRF24L01 i moduły budowane z jego użyciem. Równolegle pojawiały się moduły, które potrafiły więcej. Oprócz transceivera zawierały układy mikrokontrolera i oprogramowanie obsługujące niższe warstwy protokołów sieciowych. Wiele tych rozwiązań jest opartych o standard IEEE 802.15.4 opisujący warstwę fizyczną i dostępu do mediów MAC w bezprzewodowych sieciach osobistych o niskiej przepustowości (LR-WPAN). Ten standard jest stosowany w sieciach Mi-Wi, ZigBee, czy Thread.

Ostatnio daje się zauważyć kolejną nową tendencję. Do budowy elementów sieci bezprzewodowych stosuje się konstrukcje mikrokontrolerów z zintegrowanym kompletnym modułem radiowym. Wspominałem o takich mikrokontrolerach:

- ATSAMR34J18B z rdzeniem Cortex i modułem radiowym LoRa,
- Silicon Labs EFR32 z modułem radiowym standard IEEE 802.15.4 przeznaczonym dla ZigBee i Thread,
- Rodzinie mikrokontrolerów STM32WB z modułem radiowym standard IEEE 802.15.4 przeznaczonym dla BLE, ZigBee i Thread.

Szczególnie interesującą jest ta ostatnia pozycja. Układ ma dwa rdzenie. Jeden z nich o mniejszej wydajności współpracuje z modułem radiowym i jest przeznaczony do implementacji protokołów sieciowych. Drugi o dużej wydajności ma wykonywać zaawansowane zadania stawiane przez aplikację.

Wszystkie nowe rozwiązania przywiązują szczególną wagę do dwu rzeczy. Po pierwsze układy transmisji bezprzewodowej muszą mieć możliwość pracy z bardzo ograniczonym poborem energii. Urządzenia końcowe w sieciach kratowych i sieciach LoRaWAN mogą pracować z zasilaniem baterijnym i wprowadzanie zaawansowanych trybów oszczędzania energii z możliwością szybkiego wybudzania jest niezbędne.

Druga sprawa to bezpieczeństwo przesyłania danych. Standard WiFi pokazał, że tylko mocne szyfrowanie transmisji jest w stanie ochronić przed nieuprawnionym dostępem. Dlatego mikrokontrolery przeznaczone do pracy w sieciach bezprzewodowych mają wbudowane zaawansowane sprzętowe moduły szyfrujące pozwalające uzyskać trudne do złamania szyfrowanie transmisji.

Rynek modułów radiowych jest bardzo duży. Wystarczy zobaczyć oferty większych dystrybutorów elementów elektronicznych. Jest wielu producentów gotowych modułów dla wszystkich rodzajów sieci radiowych. Oprócz gotowych do użytku stosów protokołów oferowane są najczęściej bezpłatnie programowe narzędzia diagnostyczne pozwalające na testowanie i debugowanie transmisji.

Tomasz Jabłoński, EP

REKLAMA

**ELEKTRONIKA
PRAKTYCZNA**

**MATERIAŁY
DODATKOWE**



MEDIA

Aby skorzystać z materiałów dodatkowych dołączonych do numeru, należy:

1. Wejść na stronę **www.media.avt.pl**,
2. Zarejestrować się lub zalogować,
3. Wybrać wydanie „Elektroniki Praktycznej”, które ma trafić do biblioteki osobistej,
4. Odpowiedzieć na proste pytanie dotyczące bieżącego numeru,
5. Pobrać pliki.



Sieci bezprzewodowe

W technikach łączności bezprzewodowej podstawową grupę stanowią systemy skoncentrowane na komunikacji nadajnik-odbiornik. Jednak najnowsze rozwiązania są optymalizowane, a czasami wręcz przeznaczone, do pracy w strukturze sieci bezprzewodowej.

W standardach połączeń bezprzewodowych Wi-Fi zajmuje szczególne miejsce. Rozwiązania sprzętowo-programowe Wi-Fi zapewniają połączenie urządzeń do lokalnej sieci LAN i możliwość dostępu do Internetu. Każde urządzenie mobilne: smartfony, laptopy, tablety, od dawna jest wyposażane w ten standard. Dla smartfonów jest to jeden z dwu głównych kanałów dostępu do Internetu.

Dla konstruktorów urządzeń profesjonalnych duże znaczenie może mieć łatwość budowania i konfiguracji bezprzewodowych sieci lokalnych LAN. Duża popularność interfejsu powoduje, że bez trudu znajdziemy na rynku gotowe moduły z kompletną częścią radiową i wbudowaną anteną paskową lub złączem antenowym do podłączenia dopasowanej falowej anteny. W warstwie programowej wiele niezbędnych rozwiązań w tym biblioteki protokołów TCP/IP, jest dostępnych bezpłatnie.

Wi-Fi opiera się na modelu warstwowym i definiuje dolne warstwy: warstwę łącza danych, z podwarstwami LLC i MAC, oraz warstwę fizyczną warstwowego modelu OSI.

Amerykański Instytut Inżynierów Elektryków i Elektroników (Institute of Electrical and Electronics Engineers) opracował standard

IEEE 802.11 przeznaczony do transferu danych w sieciach bezprzewodowych WLAN. Najbardziej znane są cztery wersje tego standardu: 802.11a, 802.11b, 802.11g i 802.11h (tabela 1).

Najpopularniejsza z nich jest 802.11b umożliwiającą wymianę danych z teoretyczną prędkością 11 Mb/s. Wbudowany mechanizm *dynamic rate shirring* pozwala na dynamiczną zmianę szybkości transmisji w zależności od stanu kanału transmisyjnego. Wraz ze wzrostem dystansu pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem (spadek poziomu sygnału) lub ze wzrostem zakłóceń prędkość przesyłania danych jest zmniejszana do 5,5, 2 lub 1 Mb/s.

Równolegle rozwijany standard 802.11a, mimo że zapewnia prawie 5-krotny wzrost prędkości transferu, nie zdobył popularności w Europie. Po pierwsze pracuje w paśmie 5 GHz (UNII). W Unii Europejskiej to pasmo jest zarezerwowane do celów wojskowych i nie można go stosować do sieci bezprzewodowych bez ograniczeń. W Polsce może być używane tylko wewnątrz budynków. Po drugie nie jest w żaden sposób kompatybilny z 802.11b.

W 2003 roku został zatwierdzony standard 802.11g mający w założeniu łączyć zalety 802.11a i 802.11b: dużą prędkość transmisji przy odporności na zakłócenia oraz większy zasięg i pracę w paśmie 2,4 GHz. Znacząca różnica w prędkości wymusiła inne metody modulacji. 802.11b pracuje z modulacją CCK (*Complementary Code Keying*), a 802.11g z modulacją OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Oczywiście trudno oczekiwać w takiej sytuacji kompatybilności i trzeba stosować karty dwusystemowe. W dwusystemowych

Tabela 1. Najbardziej popularne standardy Wi-Fi

Standard	Prędkość transferu	Pasmo
802.11a	54 Mb/s	5 GHz
802.11b	11 Mb/s	2,4 GHz
802.11g	54 Mb/s	2,4 GHz
802.11h	54 Mb/s	5 GHz

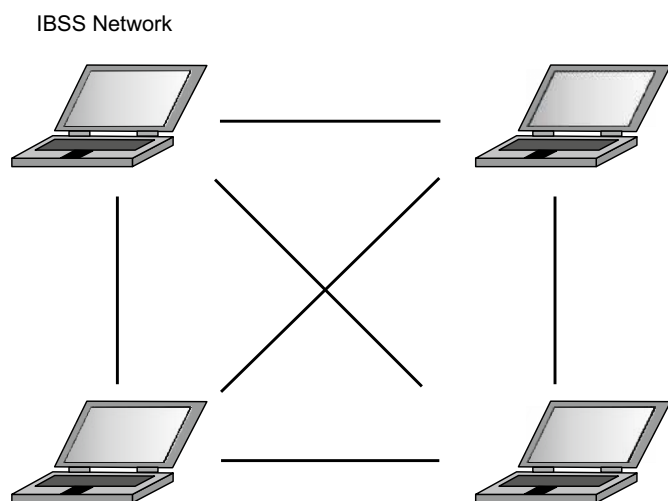
modułach Wi-Fi stosowany jest mechanizm protekcji wykrywający i przełączający moduł na dany typ modulacji.

Pasmo 2,4 GHz przydzielone do standardu 802.11b jest podzielone na 14 kanałów każdy o szerokości 22 MHz (tabela 2). Widać, że częstotliwości sąsiednich kanałów zachodzą na siebie nawzajem. Modulacja CCK pozwala na odseparowanie zakłóceń od nadajników pracujących na częściowo pokrywających się częstotliwościach. W praktyce dąży się do tego, aby stacje położone blisko siebie pracowały na tak odległych od siebie częstotliwościach, jak to tylko możliwe.

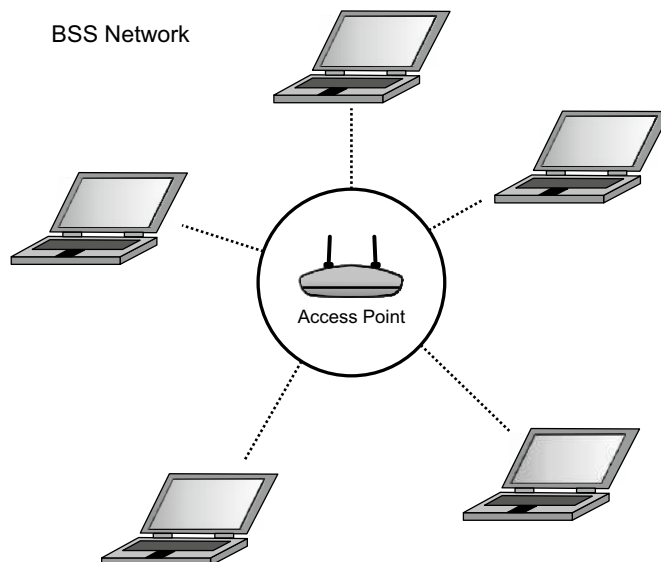
Topologia sieci Wi-Fi

Sieci Wi-Fi mogą pracować w dwu trybach: *Ad Hoc* lub *Infrastructure*.

Tryb *Ad Hoc* odpowiada klasycznej sieci peer-to-peer i pozwala na tworzenie sieci radiowej wykorzystującej tylko komputery (urządzenia) wyposażone w interfejsy Wi-Fi. Taka topologia nazywana jest IBSS (*Independent Basic Service Set*). Każdy komputer może się komunikować bezpośrednio ze wszystkimi w sieci (rysunek 1).

**Rysunek 1. Sieć IBSS (tryb Ad Hoc)****Tabela 2. Kanały standardu 802.11b**

Kanał	Dolna częstotliwość kanału [GHz]	Środkowa częstotliwość kanału [GHz]	Górna częstotliwość kanału [GHz]
1	2,401	2,412	2,423
2	2,406	2,417	2,428
3	2,411	2,422	2,433
4	2,416	2,427	2,438
5	2,421	2,432	2,443
6	2,426	2,437	2,448
7	2,431	2,442	2,453
8	2,436	2,447	2,458
9	2,441	2,452	2,463
10	2,446	2,457	2,468
11	2,451	2,462	2,473
12	2,456	2,467	2,478
13	2,461	2,472	2,483
14	2,473	2,484	2,495

**Rysunek 2. Sieć BSS (tryb Infrastructure)**

Główną zaletą takiej sieci jest szybka i tania instalacja. Oprócz komputerów z kartami sieciowymi nic innego nie jest potrzebne. Ponieważ wszystkie komputery mogą się komunikować ze sobą, można w prosty sposób zwiększać zasięg sieci, bo część z nich może spełniać funkcję „stacji przekaźnikowych”. Wadą takiej sieci jest mała liczba pracujących komputerów (max 8). Wyłączenie jednego z komputerów spełniających funkcję przekaźnika może spowodować utratę połączenia pomiędzy innymi komputerami w sieci.

Tryb *Infrastructure* wymaga przynajmniej jednego wydzielonego punktu dostępowego Access Point. Każdy komputer w sieci komunikuje się z punktem dostępowym i przez niego przechodzi cała transmisja danych. Komputery nie mogą się komunikować bezpośrednio jak to jest możliwe w sieci *Ad Hoc*. Wykorzystując tryb *Infrastructure* z przynajmniej jednym punktem dostępowym, tworzy się topologię sieci nazywaną BSS (*Basic Service Set*) (rysunek 2). Punktem dostępowym może być router z modemem ADSL i z funkcją Wi-Fi. Urządzenia tego typu są stosowane w domowych sieciach z dostępem do szerokopasmowego Internetu, dzielonym przez wszystkie urządzenia w sieci. Takie routery można też stosować do budowy lokalnej sieci LAN z połączeniami Wi-Fi i Ethernet bez dostępu do Internetu.

Zabezpieczenia sieci Wi-Fi

Każde połączenie radiowe jest podatne na ataki hakerskie. Bez silnych zabezpieczeń przed nieuprawnionym dostępem do połączenia trudno mówić o budowie sieci lokalnej nadającej się do czegokolwiek, a do poważnych zadań w szczególności. Standard IEEE 802.11 ma wbudowany szyfrowany mechanizm zabezpieczenia przed nieautoryzowanym podsłuchem i dostępem, nazwany WEP (*Wireless Equivalent Privacy*). Algorytm szyfrowania opiera się na kluczu o stałej długości 40, 64, 128, 152 i 256 bitów. Długość klucza jest wybierana przez użytkownika, a sam klucz jest generowany na podstawie podanego hasła. Co ważne, klucz nigdy nie jest przesyłany drogą radiową, ale zawsze tworzony lokalnie w każdym urządzeniu należącym do sieci, w tym również w punkcie dostępu. Ma to znacznie utrudnić podsłuchanie przesyłanych zaszyfrowanych danych.

W praktyce WEP okazał się bardzo słabym zabezpieczeniem. Klucz nie jest zmieniany w całym czasie posługiwania się hasłem i na dodatek łatwo go złamać dostępnym w Internecie oprogramowaniem. Sieci zabezpieczone WEP nie są uważane za bezpieczne.

Znacznie lepszym zabezpieczeniem jest inny standard – WPA (*Wi-Fi Protected Access*). W trakcie przesyłania danych klucze szyfrujące są dynamicznie zmieniane, dzięki czemu znacznie trudniej jest podsłuchać przesyłanie danych i włamać się do sieci. Autoryzacja w szyfrowaniu WPA może przebiegać na dwa sposoby. Pierwszy sposób

polega łączeniu z serwerem autoryzacji (np. *Radius – Remote Authentication Dial In User Service*). Drugi sposób wykorzystuje hasło użytkownika podobnie jak w WEP. Na jego podstawie tworzony jest klucz PSK (*Pre Shared Key*). WPA jest obsługiwany przez wszystkie obecnie używane Acces Point'y, a sieć tak zabezpieczona jest uważana (na razie) za bezpieczną.

Kolejnym sposobem mającym za zadanie utrudnić Życie hakerom jest blokowanie rozgłaszania SSID (*Service Set Identifier*). SSID jest nazwą sieci, a wyłączenie jej rozgłaszania powoduje, że trudniej jest ją wykryć, bo nazwa nie pojawi się na liście dostępnych sieci.

Problem bezpieczeństwa powoduje, że szuka się innych metod zabezpieczania przed włamaniem. Z bardziej prostych znane jest filtrowanie adresów MAC kart sieciowych. Zabezpieczenie to kłopotliwe i również mało skuteczne, bo dzisiaj stosunkowo łatwo można zmienić programowo adresy MAC. Dużo lepiej wyglądają zabezpieczenia definiowane w normie IEEE 802.11i. Wykorzystywany jest tam algorytm silnego szyfrowania AES (*Advanced Encryption Standard*) z kluczami o długości 128, 192 lub 256 bitów, oraz uwierzytelnienie EAP i protokół dynamicznej zmiany klucza TKIP (*Temporal Key Integrity Protocol*). Niestety ta norma nie jest kompatybilna z IEEE 802.11b.

Moduły Wi-Fi

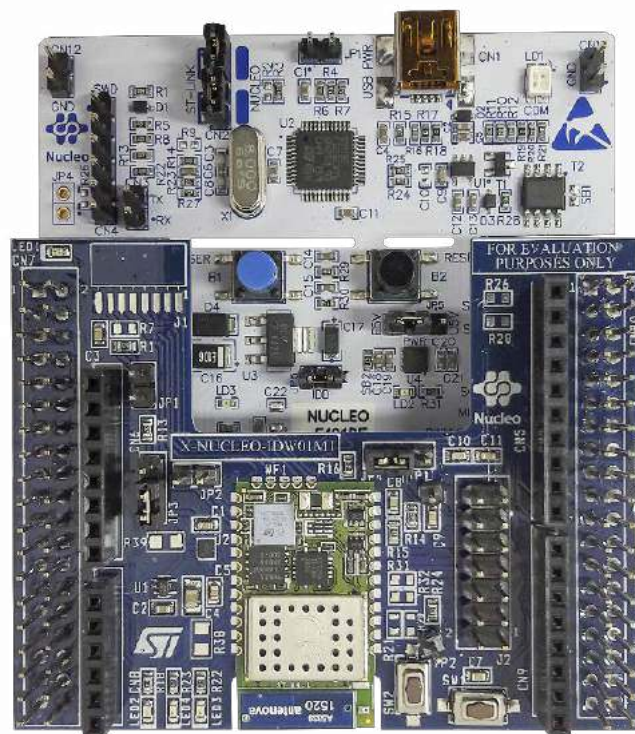
Jednym z przykładów modułu Wi-Fi jest SPWF01SA produkowany przez firmę ST. Najważniejsze właściwości SPWF01SA to:

- transceiver pracujący w paśmie 2,4 GHz zgodnie z IEEE 802.11 b/g/n,
- moduł radiowy spełnia wszystkie europejskie normy i dyrektywy w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej,
- zintegrowana antena w wersji SPWF01SA.xy lub zintegrowane złącze antenowe w wersji SPWF01SC.xy,
- moc TX 18,3 DSSS DSM 1 dBm, 13,7 dBm przy 54 Mb/s OFDM,
- czułość RX -66 dBm przy 1 Mbps OFDM, -74,5 dBm przy 54 Mb/s OFDM,
- interfejs UART (Host),
- wbudowany mikrokontroler STM32 Cortex-M3 64 kB RAM i 512 kB Flash,
- zintegrowany stos TCP/IP: 8 jednoczesnych klientów TCP lub UDP i 1 socket server,
- 1 socket klient TLS/SSL wspierający protokół TLS1.2 z algorytmami szyfrowania AES, hash i algorytmy klucza publicznego (RSA, ECC),
- serwer internetowy obsługujący dynamicznie strony internetowe,
- szyfrowanie transmisji WEP/WPA/WPA2,
- możliwość aktualizacji firmware za pośrednictwem UART.

Obwody modułu z ekranowaną częścią radiową zostały umieszczone na płytce drukowanej z wyprowadzeniami przeznaczonymi do montażu powierzchniowego na płycie bazowej. To rozwiązanie dobrze się sprawdza w nowo projektowanych urządzeniach. Jednak, żeby można było przeprowadzić testy, chociażby w celu potwierdzenia przydatności w nowym projekcie, przygotowano moduł ewaluacyjny X-NUCLEO-IDW01M1 kompatybilny sprzętowo z modułami mikrokontrolerów serii STM32Nucleo.

Moduły ewaluacyjne NUCLEO (moduły mikrokontrolerów i płytek rozszerzeń) są sprzętowo zgodne ze standardem Arduino UNO R3, ale żeby wykorzystać wszystkie możliwości sprzętowe mikrokontrolerów płytki NUCLEO wyposażono w dodatkowe złącza nazwane ST Morpho i dużo większej liczbie wyprowadzeń niż to jest w przypadku Arduino UNO R3. X-NUCLEO-IDW01M1 można łączyć z modułem mikrokontrolera tylko za pomocą złącza Morpho. Na **fotografii 1** pokazano połączone moduły Wi-Fi X-NUCLEO-IDW01M1 i mikrokontrolera STM32 NUCLEO F401RE.

Moduł SPWF01SA ma wbudowany mikrokontroler z rodziny STM32 Cortex-M3 z zapisanym w pamięci Flash firmware. To firmowe oprogramowanie jest rozwijane i jest możliwość jego aktualizacji przez interfejs UART. Trzeba do pamięci mikrokontrolera



Fotografia 1. Połączone moduły X-NUCLEO-IDW01M1 i STM32 NUCLEO F401RE

modułu STM32 X-NUCLEO połączonego z X-NUCLEO-IDW01M1 wgrać skompilowany plik z katalogu FW_Upgrade_UART zawartego w paczce programowej z programami testowymi. Moduł mikrokontrolera STM32 Nucleo może się teraz łączyć z komputerem poprzez wirtualny UART via USB. Do komunikacji można użyć dowolnego programu terminalowego np. PuTTY, TeraTerm itp. Parametry transmisji – Baud: 115200 b/s, Data: 8 bit, Parity: None; Stop Bit: 1 bit, Flow Ctrl: None. Po wysłaniu komendy AT+S.STS moduł odpowie informacją o wersji firmware wgranej do mikrokontrolera modułu SPWF01SA. Na jej podstawie można podjąć decyzję o aktualizacji.

Zestaw programów demonstracyjnych oraz prostych programów pomocniczych pozwala użytkownikowi na konfigurowanie modułu SPWF01SA:

- do połączenia z punktem dostępowym Acces Point (AP),
- do pracy w trybach STA (*Station*), MiniAP (*mini Acces Point*), IBBS (pracy w konfiguracji *Ad Hoc*),
- do skanowania dostępnych sieci, wybór punktu dostępowego AP i połączenia z nim,
- do użycia połączenia TCP/UDP, do otwierania, zamykania oraz zapisywania/odczytywania socketów.

Ciekawą propozycją jest moduł ATWINC1500-MR210PB (**fotografia 2**) produkowany przez firmę Microchip. To kolejna konstrukcja, która najprawdopodobniej wywodzi się z przejętego Atmela. Cechą



Fotografia 2. Moduł Wi-Fi ATWINC1500

Tabela 3. Wybrane różnice pomiędzy standardami BLE

Parametr	BLE v4.2	BLE v5.0
Zasięg w pomieszczeniach	10 m	40 m
Zasięg na zewnątrz	40 m	200 m
Prędkość przesyłania danych	1 Mb/s	2 Mb/s
Ramka danych	ok. 32 bajtów	255 bajtów
Kodowanie i korekcja błędów	słabe	silne
Wsparcie IoT	nie	tak

charakterystyczną modułu jest niski poziom pobieranej mocy. Producent poleca go szczególnie do zastosowań w sieciach połączeń bezprzewodowych urządzeń IoT. Zapewniona jest zgodność ze standardem 802.11 b/g/n. Urządzenie ma niewielkie wymiary (21,7×14,7×2,1 mm) i podobnie jak wyżej opisywany moduł produkcji ST jest przeznaczony do montażu powierzchniowego. Do połączenia z hostem użyto portu szeregowego SPI.

Podstawowe cechy modułu:

- standard IEEE 802.11 b/g/n,
- pasmo ISM 2,4 GHz,
- zintegrowany przełącznik nadawanie/odbior,
- zintegrowana antena paskowa PCB lub złącze FL dla anteny zewnętrznej,
- doskonała czułość i zasięg dzięki zaawansowanemu przetwarzaniu sygnału PHY,
- obsługa zabezpieczenia IEEE 802.11 WEP, WPA, WPA2,
- obsługa zabezpieczeń korporacyjnych za pomocą WPA/WPA2 (802.1X) (1),
- stos protokołów sieciowych IP zaimplementowany w mikrokontrolerze modułu (odciążenie hosta). Funkcje protokołów TCP, UDP, DHCP, ARP, HTTP, TLS i DNS,
- sprzętowe akceleratory zabezpieczeń WiFi i TLS.

Praca modułu jest wspierana przez biblioteki MPLAB Harmony.

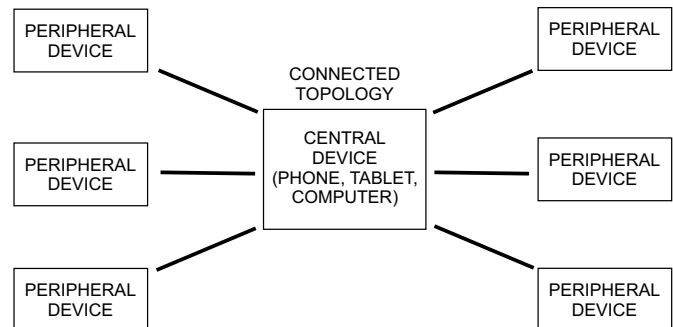
Bluetooth

Standard Bluetooth jest stosowany do transmisji danych na niewielkie odległości. Pierwsze wersje Bluetooth były optymalizowane do szybkiego przesyłania dużych ilości danych. Bluetooth 3.0 +HS zapewnia przepływność do 24 Mb/s. Niestety ta wersja standardu niezbyt dobrze radziła sobie z zarządzaniem poborem energii i trudno ją było stosować w urządzeniach zasilanych bateryjnie, na przykład w urządzeniach końcowych IoT. Dlatego w kolejnej wersji standardu (4.2) nazwanej Bluetooth Low Energy (BLE) priorytetem nie były duże prędkości transmisji danych, ale maksymalne ograniczenie poboru energii przez urządzenia łączące się przez Bluetooth.

Dalszy rozwój standardu zaowocował wersją BLE v5 zoptymalizowaną również do stosowania w sieciach urządzeń IoT. Podstawowe różnice pomiędzy tymi standardami pokazano w tabeli 3. Standard BLE v5 ma specjalny tryb pracy do połączeń na dłuższe dystanse nazwane BLE Long Range. Zwiększony zasięg uzyskuje się głównie przez zmniejszenie prędkości transmisji. Long Range jest szczególnie polecany do połączeń pomiędzy urządzeniami IoT.

BLE korzysta z pasma ISM 2,4 GHz podzielonego na 40 kanałów o szerokości 2 MHz. Kanały są logicznie podzielone na 2 grupy: 3 kanały advertising i 37 kanałów data. Kanały data są używane do dwukierunkowej transmisji danych pomiędzy urządzeniami w sieci. Kanały advertising biorą udział w procesie wyszukiwania urządzeń BLE znajdujących się w pobliżu, a potem w nawiązywaniu połączenia nimi.

Komunikacja w sieci BLE zaczyna się od rozgłaszania przez węzeł sieci (advertiser), informacji, że oczekuje na połączenia. Węzły sieci scanners odbierające komunikat żądania na połączenie wysyłają komunikat z żądaniem połączenia *connection request*. Ten komunikat musi zawierać dane niezbędne do zestawienia połączenia. Jeżeli połączenie zostanie nawiązane, to węzeł scanners staje się węzłem

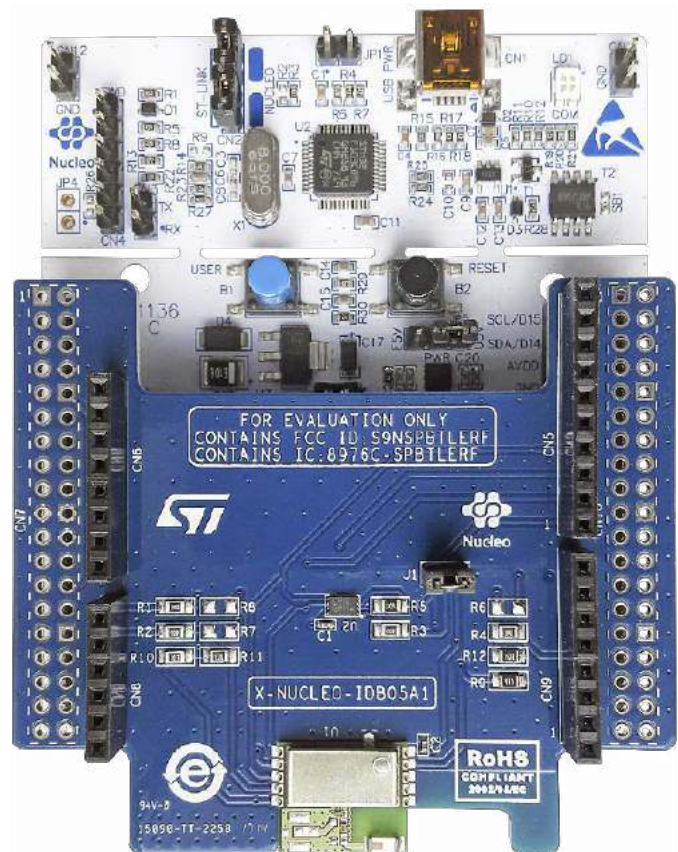


Rysunek 3. Podsieć BLE o topologii gwiazdy

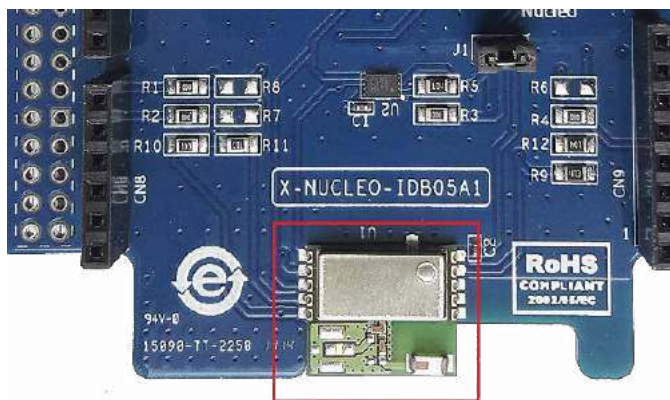
master, a węzeł rozgłaszający advertiser węzłem slave. Tworzy się w ten sposób podsieć pracująca w topologii gwiazdy, gdzie jest jeden master, mogący komunikować się z jednym lub więcej węzłów slave. Urządzenie pracujące jako węzeł master nazywane jest *Central Device*, a urządzenia slave *Peripheral Device* (rysunek 3). Central Device to najczęściej komputer, smartfon, tablet, itp..

Transmisję zawsze inicjuje węzeł master. Węzeł slave musi przesłać w odpowiedzi informację zwrotną. Po nadaniu jednego pakietu danych musi minąć co najmniej 150 μ s (*IFS Inter Frame Space*). Każdy z pakietów może zawierać wskaźnik MD (*More Data*) sygnalizujący konieczność przesłania kolejnych danych. Protokół BLE ma budowę warstwową i składa się z warstwy fizycznej *physical layer*, warstwy łącza danych *link layer*, oraz warstwy HCI (*Host Controller Interface*). W warstwach wyższych jest umieszczony GATT (*Generic Attribute Profile*) i GAP (*Generic Access Profile*).

Warstwa GATT jest zbudowana w oparciu o protokół ATT (*Attribute Protocol*), który wykorzystuje dane GATT do określenia sposobu w jaki dwa urządzenia BLE wysyłają i odbierają standardowe wiadomości. GATT jest zbudowany w oparciu o role klienta i serwera. Układy Peripheral są serwerami GATT (mają zapisane definicje charakterystyk i serwisów), a układ Central pełni rolę klienta, bo wysyła



Fotografia 3. Płytkę BLE X-Nucleo-IDB05A1 połączoną z modułem Nucleo F-401RE



Fotografia 4. Moduł Bluetooth Low Energy SPBLE-RF SPBLE-RF

zadania do serwera. W specyfikacji GATT jest opisanych wiele profili w tym na przykład medyczne przeznaczone do pomiaru ciśnienia krwi, monitorowania poziomu glukozy, mierzenia rytmu serca, pomiaru temperatury ciała, itp.

Na rynku jest bardzo dużo modułów BLE. Do celów testowych warto skorzystać z gotowego rozwiązania na przykład z zestawu X-Nucleo-IDB05A1 będącego połączeniem modułu BLE z płytką 32-bitowego mikrokontrolera rodziny STM32 (fotografie 3 i 4). Połączenia przez BLE z tego zestawu można szybko przetestować dzięki udostępnieniu przez STM pakietowi programów demonstracyjnych X-CUBE-BLE1. Ze strony producenta trzeba pobrać spakowany program demonstracyjny en.X-Cube-BLE1. Po rozpakowaniu możemy korzystać z programów demonstracyjnych z gotowymi projektami dla środowisk projektowych:

- IDE Keil uVision,
- IAR EWARM,
- AC6.

Oprogramowanie demonstracyjne bazuje na warstwie abstrakcji sprzętu STM32CubeHAL dla mikrokontrolerów STM32. Aplikacja używa oprócz tego pakietu wsparcia BSP (*Board Support Package*) dla płytki Nucleo, oraz dla płytki rozszerzenia BlueNRG/BlueNRG-MS. Zastosowany tu procesor BLE BlueNRG-MS charakteryzuje się bardzo małym poborem mocy, a jego firmware jest zgodne ze specyfikacją Bluetooth 4.0/4.1. Warstwa sterowników (*Drivers*) zapewnia komponentom warstw wyższych (*Middleware*) dostęp do urządzenia BlueNRG-MS niezależnie od szczegółów sprzętowych. Inaczej mówiąc warstwy wyższe nie muszą znać budowy i szczegółów sterowania procesora BLE. Middleware Low Power Manager optymalizuje pobór mocy.

Pakiet oprogramowania zawiera szereg przykładowych aplikacji. Kiedy testowany układ pełni rolę układu peryferyjnego (*peripheral device-slave*), to wspierana jest obsługa profili specyfikacji GATT:

- Alert Notification Client,
- Blood Pressure Sensor,
- Find Me Locaqtor,
- Find Me Target,
- Glucose Sensor,
- Health Thermometer,
- Heart Rate,
- Human Interface Device,
- Phone Alert Client,
- Proximity Monitor,
- Proximity reporter,
- Timer Server.

W przypadku pełnienia roli układu centralnego (*Central device-Master*) wspierana jest obsługa profili:

- Alert Notification Client,
- Blood Pressure Collector,
- Find Me locator,
- Glucose Collector,

- Health Thermometer Collector,
- Heart Rate Collector,
- Time Client.

Podobne moduły Bluetooth oferuje wielu producentów. Dla konstruktora najbardziej atrakcyjne jest połączenie modułu z mikrokontrolerem i oprogramowaniem. Takie rozwiązanie zostało pokazane wyżej na przykładzie zestawu STM. Również inni producenci w ten sposób promują swoje rozwiązania – połączenia własnych modułów radiowych Bluetooth z produkowanymi przez siebie mikrokontrolerami.

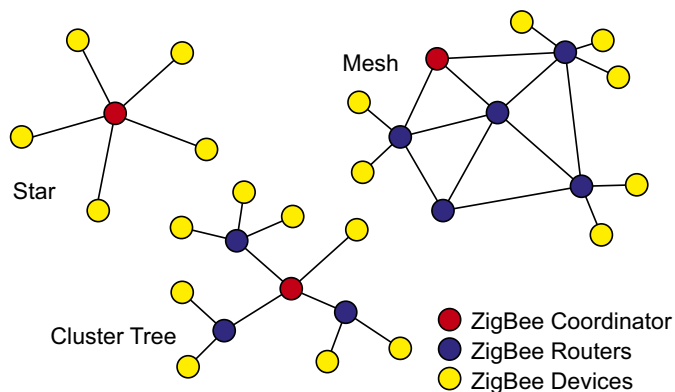
ZigBee

Jest to tani, energooszczędny, bezprzewodowy standard sieci kratowej przeznaczony dla urządzeń zasilanych bateryjnie pracujących w aplikacjach monitorowania i sterowania. Jedną z istotnych właściwości sieci jest zapewnienie przesyłania danych z małym opóźnieniem czasowym. ZigBee w założeniu ma być prostszy i tańszy niż sieci Bluetooth i Wi-Fi. Zastosowania obejmują bezprzewodowe włączniki światła, domowe monitory energii, zbieranie danych z urządzeń medycznych, systemy zarządzania ruchem oraz inne urządzenia konsumenckie i przemysłowe, które wymagają bezprzewodowego transferu danych o małym zasięgu i małej prędkości przesyłania danych.

W warstwie programowej ZigBee jest zestawem protokołów komunikacyjnych wysokiego poziomu wykorzystujących model warstwowy. Najniższe dwie warstwy sprzętowa i MAC określa specyfikacja IEEE802.15.4 (podobnie jak opisywany już MiWi). Wyższe warstwy to warstwa sieci, warstwa aplikacji, obiekty ZigBee Device Objects (ZDO) i obiekty aplikacji zdefiniowane przez producenta. ZDO są odpowiedzialne za niektóre zadania, w tym śledzenie ról urządzeń, zarządzanie wnioskami o dołączenie do sieci, a także wykrywanie urządzeń w sieci i bezpieczeństwo.

ZigBee pracuje w pasmach ISM 2,4 GHz, chociaż niektóre urządzenia używają również częstotliwości 784 MHz w Chinach, 868 MHz w Europie i 915 MHz w Stanach Zjednoczonych i Australii, jednak nawet te regiony i kraje nadal używają 2,4 GHz dla większości komercyjnych urządzeń ZigBee do użytku domowego. Szybkość transmisji danych waha się od 20 kbit/s (pasmo 868 MHz) do 250 kbit/s (pasmo 2,4 GHz). Niska moc wyjściowa nadajników ogranicza bezpośredni zasięg do 10...100 m.

Warstwa sieciowa ZigBee natywnie obsługuje zarówno sieci w topologii gwiazdy (z punktem centralnym), klastrowe (drzewiaste) jak i sieci kratowe P2P (MESH). Każda sieć musi mieć jedno urządzenie koordynujące. W sieciach z topologią gwiazdy koordynatorem musi być węzeł centralny (rysunek 4). W sieciach kratowych stosuje się przekazywanie danych przez urządzenia pośredniczące pełniące funkcje routerów ZigBee. Pozwala to na rozszerzenie zasięgu komunikacji na poziomie sieci. Inną cechą definiującą ZigBee są urządzenia do prowadzenia bezpiecznej komunikacji, ochrony ustanawiania i transportu kluczy kryptograficznych, ram szyfrowania i urządzenia kontrolnego. Opiera się na podstawowej strukturze bezpieczeństwa zdefiniowanej w IEEE 802.15.4.



Rysunek 4. Topologie sieci ZigBee

W sieciach ZigBee pracują trzy rodzaje urządzeń:

1. Koordynator ZigBee (ZC). W każdej sieci jest tylko jeden koordynator. Jego funkcją jest pierwotne konfigurowanie sieci, przechowywanie informacji o konfiguracji, jest centrum zaufania i repozytorium kluczy bezpieczeństwa. Koordynator musi być urządzeniem o określonej wydajności (zazwyczaj wymaganej największej wśród urządzeń sieci) pozwalającej na wykonywanie przydzielonych zadań.
2. Router ZigBee (ZR). Oprócz funkcji urządzenia końcowego router może pełnić rolę routera pośredniego, przesyłając dane pomiędzy innymi urządzeniami.
3. Urządzenie końcowe ZigBee (ZED). Posiada wystarczającą funkcjonalność do komunikacji z węzłem nadrzędnym (koordynatorem lub routerem), ale nie może przekazywać danych z innych urządzeń. Urządzenie końcowe nie musi być cały czas w pełnej gotowości tak jak router i koordynator, dlatego kiedy nie wykonuje żadnych funkcji sieciowych lub aplikacyjnych (zbieranie danych, sterowanie) to przechodzi w stan uśpienia. Jest najtańszy w produkcji i może być zasilany bateryjnie.

Można wyróżnić dwie konfiguracje pracy sieci ze względu na ruch danych: z nawigacją (*beacon enabled*) i bez nawigacji (*non beacon enabled*). W sieciach bez sygnałów nawigacyjnych obsługiwany jest nieblokowany mechanizm CSMA/CA. Routery mają odbiorniki ciągle aktywne i wymagają niezawodnego zasilania. W sieciach nieobsługujących sygnałów nawigacyjnych pobór mocy jest zdecydowanie asymetryczny: niektóre urządzenia są zawsze aktywne, podczas gdy inne przez większość czasu są uśpione.

W sieciach z sygnałami nawigacyjnymi routery ZigBee przesyłają okresowe sygnały nawigacyjne potwierdzając swoją obecność w innych węzłach sieci. Okres ten wynosi od 15...40 milisekund do ok. 760 sekund. W czasie, kiedy sygnały nawigacyjne nie są wysyłane routery mogą przechodzić w stan uśpienia i ograniczać wydatnie zużycie energii.

Sieci Thread

Kolejnym rozwiązaniem przeznaczonym dla sieci bezprzewodowych są sieci Thread. Thread jest protokołem do budowania sieci bezprzewodowych o małej mocy, opartym na powszechnie obsługiwanym protokole internetowym (IP). Thread umożliwia komunikację urządzenie–urządzenie i urządzenie–chmura i zawiera niezbędne funkcje bezpieczeństwa. Stos protokołów podobnie jak ZigBee w najniższych warstwach sprzętowej i MAC jest oparty o specyfikację IEEE 802.15.4 zapewniającą niski pobór energii i małe opóźnienie przesyłania danych.

Sieci Thread oparte o protokół IP (IPv6) są idealne do łatwego połączenia urządzeń IoT z Internetem. Główne cechy protokołu to:

- bezpieczeństwo – wszystkie urządzenia w sieci są uwierzytelniane a transmisja jest szyfrowana,
- prostota – prosta instalacja, uruchomienia i obsługa,
- niezawodność – sieć kratowa ma właściwości samo naprawiania. Uszkodzone pojedyncze urządzenie nie ma wpływu na działanie sieci,
- energooszczędność – urządzenia mogą pracować w stanie uśpienia przez wiele godzin.

W sieci pracują dwa typy urządzeń:

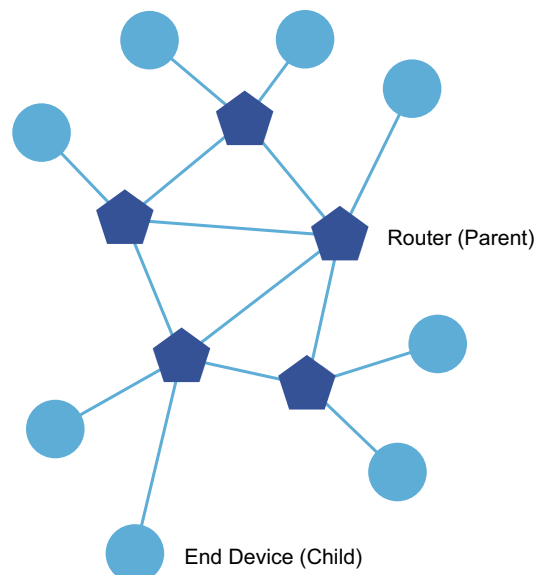
1. router (*parent*),
2. urządzenie końcowe (*child*).

Topologia sieci została pokazana na **rysunku 5**. Router to węzeł, który:

- przesyła pakiety danych do urządzeń sieciowych,
- zapewnia bezpieczne usługi uruchamiania dla urządzeń próbujących dołączyć do sieci,
- utrzymuje transceiver włączony przez cały czas.

Urządzenie końcowe (ED) to węzeł, który:

- przede wszystkim komunikuje się z jednym routerem,



Rysunek 5. Topologia sieci Thread

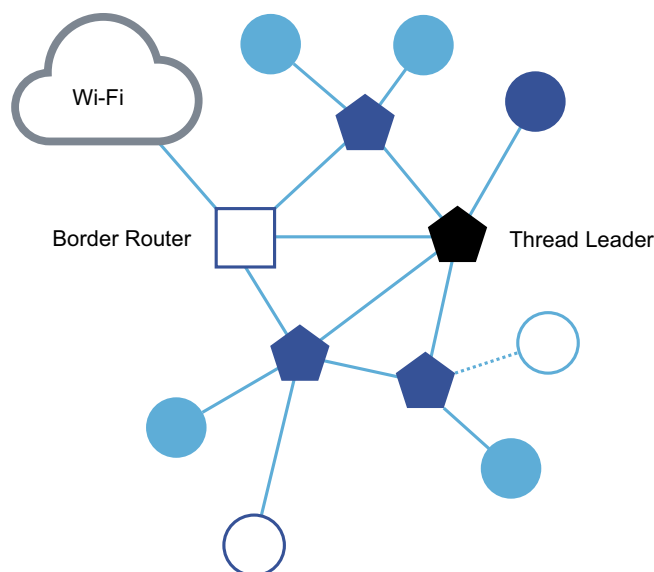
- nie przesyła dalej pakietów dla innych urządzeń sieciowych,
- może wyłączyć swój transceiver w celu zmniejszenia poboru energii.

Jeden z routerów pełni funkcję lidera (Leader). Jest odpowiedzialny za zarządzanie zestawem routerów w sieci. Jest dynamicznie wybierany automatycznie pod kątem odporności na uszkodzenia oraz agreguje i rozpowszechnia informacje o konfiguracji w całej sieci.

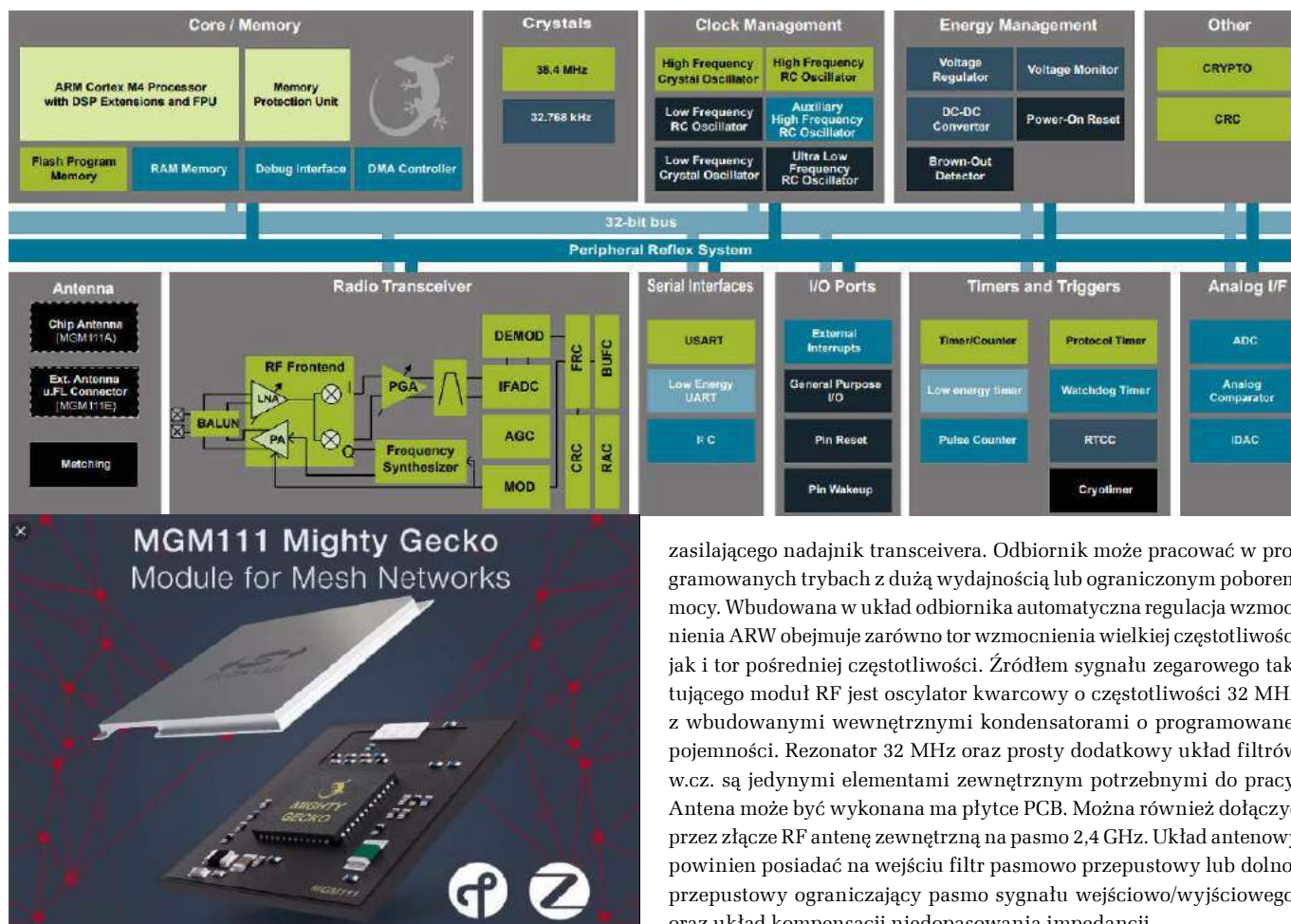
W sieci może też pracować Border Router. Jest to urządzenie, które może przekazywać informacje między siecią Thread a inną siecią (na przykład Wi-Fi) (**rysunek 6**). Konfiguruje także sieć Thread do połączeń zewnętrznych. Każde urządzenie może służyć jako router graniczny, jeżeli ma takie możliwości techniczne.

Ponieważ protokoły ZigBee i Thread są oparte o specyfikację IEEE 802.15.4, to w warstwie sprzętowej mogą być identyczne. Dlatego często spotyka się sprzętowe rozwiązania, które są wspólne, a jedynie różnią oprogramowaniem wyższych warstw protokołów. Spotykane są również moduły, które do tych dwu dołączają też protokół BLE.

Przykładem takiego rozwiązania jest moduł MGM111 Mighty Gecko Mesh Networking Module (**rysunek 7**). MGM jest oparty o rozwiązanie Silicon Labs EFR32 Mighty Gecko SoC i łączy energooszczędny, wieloprotokółowy bezprzewodowy SoC ze sprawdzoną konstrukcją transceivera RF z układem antenowym.



Rysunek 6. Sieć Thread połączona z siecią Wi-Fi poprzez Border Router



Rysunek 7. Moduł MGM111

Moduł pracuje w paśmie 2,4 GHz i wspiera transmisję radiową dla wykorzystujących standard IEEE 802.15.4 sieci typu ZigBee i Thread. Prędkość transmisji wynosi 250 kb/s. Zastosowano przetwarzanie bezpośredniego widma rozpraszającego DSSS i modulację przesunięcia kwadraturowego przesunięcia fazowego (OQPSK) określoną przez IEEE 802.15.4. Moc wyjściowa jest programowana i osiąga +10 dBm. Czułość odbiornika wynosi -99 dBm. Wbudowany akcelerator sprzętowy obsługuje algorytmy szyfrowania transmisji AES, ECC i SHA.

Innym przykładowym rozwiązaniem są mikrokontrolery rodziny STM32WB. STM32WB to połączenie uniwersalnego wydajnego rdzenia ARM Cortex-M4 zoptymalizowanego dla małego zużycia energii z rdzeniem ARM-Cortex M0+ i modułem transceiver'a radiowego pracującego w paśmie 2,4 GHz, zgodnego z normą IEEE 802.15.4. Jak się łatwo domyśleć mikrokontrolery STM32WB są przeznaczone do stosowania w układach, w których istnieje potrzeba użycia łącza radiowego ze szczególnym naciskiem na standard Bluetooth 5.0 (BLE), Thread i ZigBee. Radiowy układ nadajnika jest oparty o bezpośrednią modulację nośnej w kanale nadawczym TX. Układ odbiornika wykorzystuje przemianę częstotliwości z niską częstotliwością pośrednią IF. Dzięki wbudowanemu w strukturę modułu transformatorowi w.cz. antenę o impedancji ok. 50 Ω można dołączyć bezpośrednio do wyprowadzenia RF1 mikrokontrolera (jednożyłowe połączenie SE). Naturalna charakterystyka pasmowa transformatora w pewnym stopniu filtruje szkodliwe częstotliwości harmoniczne i eliminuje zakłócenia zewnętrzne.

Moc wyjściowa TX jest regulowana przez programowe ustawianie napięcia wyjściowego stabilizatora LDO

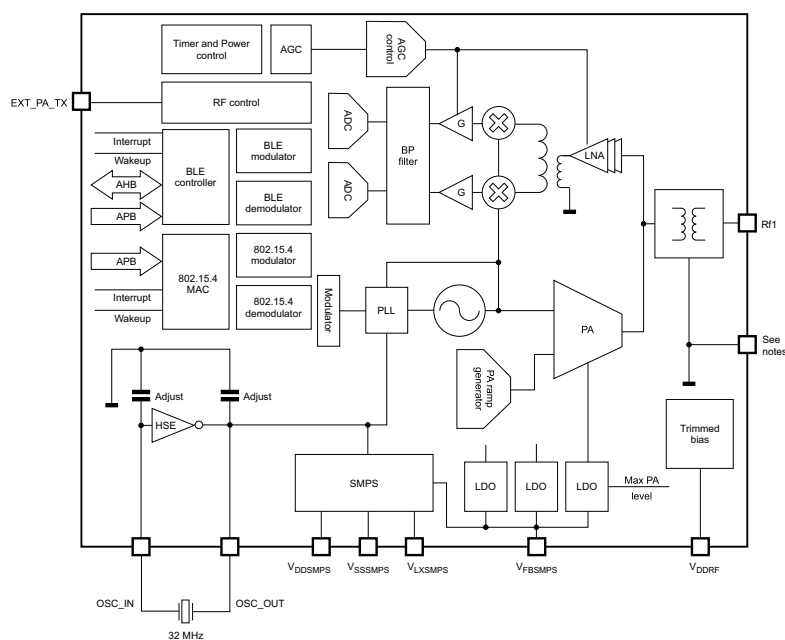
zasilającego nadajnik transceivera. Odbiornik może pracować w programowanych trybach z dużą wydajnością lub ograniczonym poborem mocy. Wbudowana w układ odbiornika automatyczna regulacja wzmocnienia ARW obejmuje zarówno tor wzmocnienia wielkiej częstotliwości jak i tor pośredniej częstotliwości. Źródłem sygnału zegarowego taktującego moduł RF jest oscylator kwarcowy o częstotliwości 32 MHz z wbudowanymi wewnętrznymi kondensatorami o programowanej pojemności. Rezonator 32 MHz oraz prosty dodatkowy układ filtrów w.cz. są jedynymi elementami zewnętrznymi potrzebnymi do pracy. Antena może być wykonana na płytce PCB. Można również dołączyć przez złącze RF antenę zewnętrzną na pasmo 2,4 GHz. Układ antenowy powinien posiadać na wejściu filtr pasmowo przepustowy lub dolno-przepustowy ograniczający pasmo sygnału wejściowego/wyjściowego, oraz układ kompensacji niedopasowania impedancji.

Dla mikrokontrolerów STM32WB dostępne są biblioteki protokołów BLE, ZigBee i Thread dystrybuowane przez środowisko STM32CubeMX.

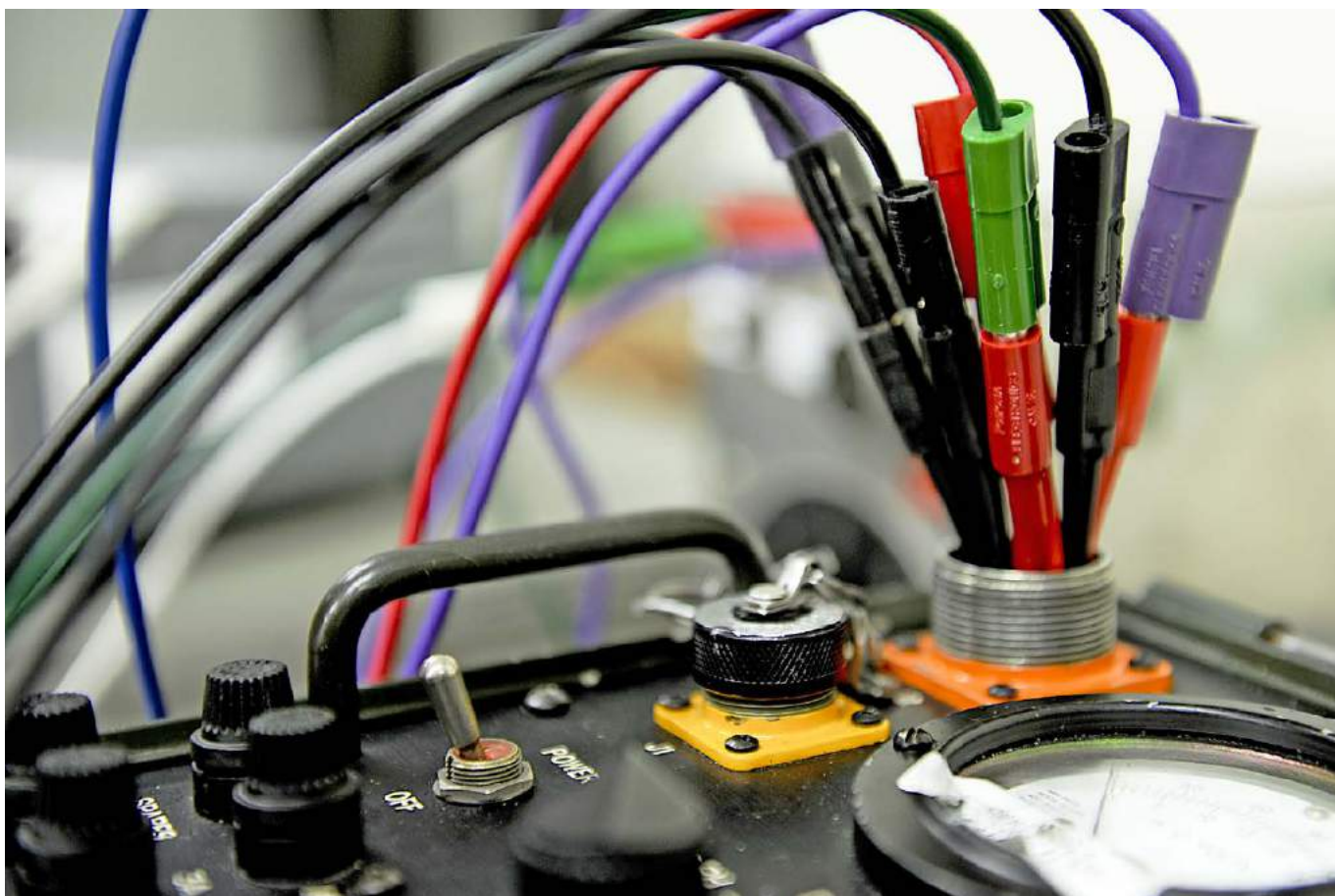
Podsumowanie

W zależności od przeznaczenia, komponenty sieci bezprzewodowych optymalizuje się pod kątem dużej przepustowości, oszczędności energii czy zasięgu. Trzeba znać wszystkie oferowane technologie, aby móc wybrać optymalne rozwiązanie.

Tomasz Jabłoński, EP



Rysunek 8. Schemat blokowy modułu radiowego



Jak dobierać złącza elektroniczne do projektowanych urządzeń

Elektronika to dziedzina inżynierii, zajmująca się działaniem połączonych ze sobą elementów półprzewodnikowych i modułów. Część tych połączeń realizuje płytki PCB, ale równie wiele wymaga zastosowania złączy oraz wiązek i kabli. Właśnie te elementy często decydują o poprawnym i niezawodnym działaniu urządzeń w docelowych warunkach, a mimo to aspekt ich doboru jest przez elektroników traktowany po macoszemu.

Złącze elektroniczne jest elementem elektromechanicznym służącym do łączenia ze sobą dwóch przewodników i tworzenia zamkniętego obwodu elektrycznego, przez który może płynąć prąd. Sucha, encyklopedyczna definicja tego elementu nie oddaje pełni skomplikowania i różnorodności złączy, stosowanych w elektronice. Często są one krytycznym elementem systemu, ponieważ spośród wszystkich składowych danego urządzenia to one najczęściej wystawione są na najtrudniejsze warunki pracy – wymagające środowisko zewnętrzne (wysoka wilgotność, skrajne temperatury, itp.), duże obciążenia mechaniczne, a także obciążenie wysokim prądem.

Aby złącze spełniało swoją funkcję w systemie, musi być odpowiednio dobrane. To wymaga spełnienia szeregu, często sprzecznych ze sobą wymagań. Dobór złączy elektronicznych polega na przyjęciu kompromisów pomiędzy wieloma parametrami i zdecydowaniu o tym, co jest dla projektu, w danym aspekcie, najważniejsze (często jest to niestety cena).

Złącza elektroniczne można dzielić na wiele sposobów, na różne grupy. Żadna z klasyfikacji nie jest wyczerpująca, ponieważ najczęściej opiera się tylko na jednym bądź kilku z bardzo wielu parametrów opisujących

te elementy. Zaprezentowane w poniższym artykule klasyfikacje złączy, nie są w żaden sposób bardziej wartościowe od innych, a wynikają jedynie z subiektywnych preferencji autora, jeśli chodzi o opisywanie różnorodnego świata złączy elektronicznych.

Rodzaje połączeń mechanicznych w układach elektronicznych

Jednym z aspektów, jaki wziąć można pod uwagę, dzieląc złącza elektroniczne na grupy, jest odpowiedź na proste pytanie – co ma ze sobą łączyć takie złącze. Definicja tego elementu mówi o łączeniu przewodników, co w praktyce elektronicznej na ogół oznacza ścieżkę na płytce drukowanej lub przewód, co pozwala podzielić złącza na trzy opisane poniżej kategorie. Dla uproszczenia pominięto inne elementy, które klasyfikować można w elektronice jako przewody, na przykład nóżki elementów elektronicznych (dla których mamy całą bogatą grupę złączy elektronicznych, zwanych dla niepoznaki podstawkami).

Płytko-przewód

Złącza tego rodzaju, jak podpowiada sama nazwa, pozwalają na łączenie przewodów z płytką drukowaną (PCB), umożliwiając łączność między różnymi obwodami. Jedna część złącza (wtyczka) montowana jest na końcu przewodu lub wiązek dyskretnych przewodów, a druga część złącza (gniazdo) jest na płycie drukowanej. Przykład takiego złącza pokazano na fotografii 1.

Główne parametry, charakteryzujące złącza tego typu, to liczba torów/styków w złączu oraz ich raster. Z nich wynikają mechaniczne właściwości danego konektora, takie jak wielkość, maksymalne napięcie pracy czy maksymalny dopuszczalny prąd. Wszystkie parametry elektryczne



Fotografia 1. Rodzina złączy Pico-Clasp firmy Molex

są pochodnymi parametrów mechanicznych złącza – na przykład maksymalny dopuszczalny prąd zależy od wielkości styków, a maksymalne napięcie od odległości pomiędzy nimi.

Innymi istotnymi parametrami tego rodzaju złączy, są pozostałe parametry mechaniczne; na przykład siła, z jaką podłączana i odłączana jest wtyczka. Jest to parametr istotny w aplikacjach, gdzie przewody podłączone do gniazda mogą być w dowolnym momencie pracy naprężane, na przykład przez poruszające się elementy mechaniczne. Zagwarantowanie dostatecznej siły trzymającej wtyczkę w gnieździe, lub wręcz wybranie złącza z zapięciem, które uniemożliwia przypadkowe rozłączenie, pozwoli wykluczyć ryzyko przypadkowego wypięcia się wtyczki z gniazda.

Obecnie w przemyśle obserwuje się tendencję do postępującej miniaturyzacji złączy. Jest to wynikiem redukcji wielkości systemów – mniejsze urządzenia potrzebują mniejszych złączy, a fakt, iż urządzenia te wykorzystują coraz niższe napięcia zasilające i pobierają mniej prądu, sprawia, że wymagania co do parametrów elektrycznych złączy są minimalne. Powstaje obecnie wiele rodzin miniaturowych złączy płytka-przewód, przykładem których mogą być złącza Pico-Clasp firmy Molex, pokazane na fotografii 1. Charakteryzują się rastrem zaLEDwie 1 mm i od 2 do 50 torów sygnałowych w pojedynczym złączu. Mimo niewielkiego rozmiaru mogą być wyposażone w zapięcia, umożliwiające bezpieczne połączenie w niewielkiej objętości.

Przewód-przewód

Złącza tego typu stosuje się do łączenia ze sobą dwóch obwodów wyposażonych w przewody lub do podłączania urządzeń z wyprowadzonymi przewodami. Podobnie jak inne rodzaje złączy, tak i te mają gniazdo i wtyk, jednakże oba te elementy przystosowane są do montażu na przewodzie. Przykład takiego gniazda pokazano na fotografii 2.

Podobnie jak w przypadku złączy przewód-płytkę, elementy te charakteryzowane są głównie przez liczbę torów sygnałowych (styków) i ich wzajemnej odległości (raster). Pozostałe parametry tych elementów są identyczne, jak dla złączy przewód-płytkę. Istotnym aspektem, szczególnie w przypadku złączy przewód-przewód, jest izolacja przed czynnikami atmosferycznymi. Złącza tego rodzaju są stosunkowo często produkowane w wersjach wyposażonych w dodatkową izolację, która zapewnia im odporność na kurz czy wodę.

Przeważająca liczba złączy występuje w wersji płytka-przewód i przewód-przewód. Oferują szereg zalet, jak możliwość prostego wykonywania przedłużaczy oraz ogromną elastyczność w zakresie podłączanych podzespołów.

Płytko-płytko

W urządzeniach elektronicznych często najprostszym sposobem na połączenie dwóch podsystemów jest zastosowanie złącza elektronicznego, pozwalającego na bezpośrednie połączenie dwóch płytek drukowanych ze sobą. W ten sposób uzyskuje się kompaktowe i sztywne połączenie



Fotografia 2. Przykładowe złącza z rodziny DF62 firmy Hirose Electric

płytko-płytko. Na rynku istnieje wiele różnych systemów złączy tej klasy. Jako konektory płytka-płytko wykorzystać można nawet zwykłe goldpiny, jednakże często stosuje się złącza dedykowane do tych zastosowań. Przykład złącza płytka-płytko zaprezentowano na fotografii 3.

Dobieranie złączy typu płytka-płytko przebiega podobnie, jak w przypadku innych złączy elektronicznych, z tą różnicą że tutaj parametry mechaniczne pełnią istotniejszą funkcję. Oprócz rastra złącza warto zwrócić uwagę na inne jego wymiary – łączy ono dwa sztywne elementy (płytki drukowane) nie tylko elektrycznie, ale także mechanicznie, dlatego podczas projektowania urządzenia ze złączami tego rodzaju konieczna jest wizualizacja całego systemu w trzech wymiarach.

Inne cechy klasyfikujące złącza elektroniczne

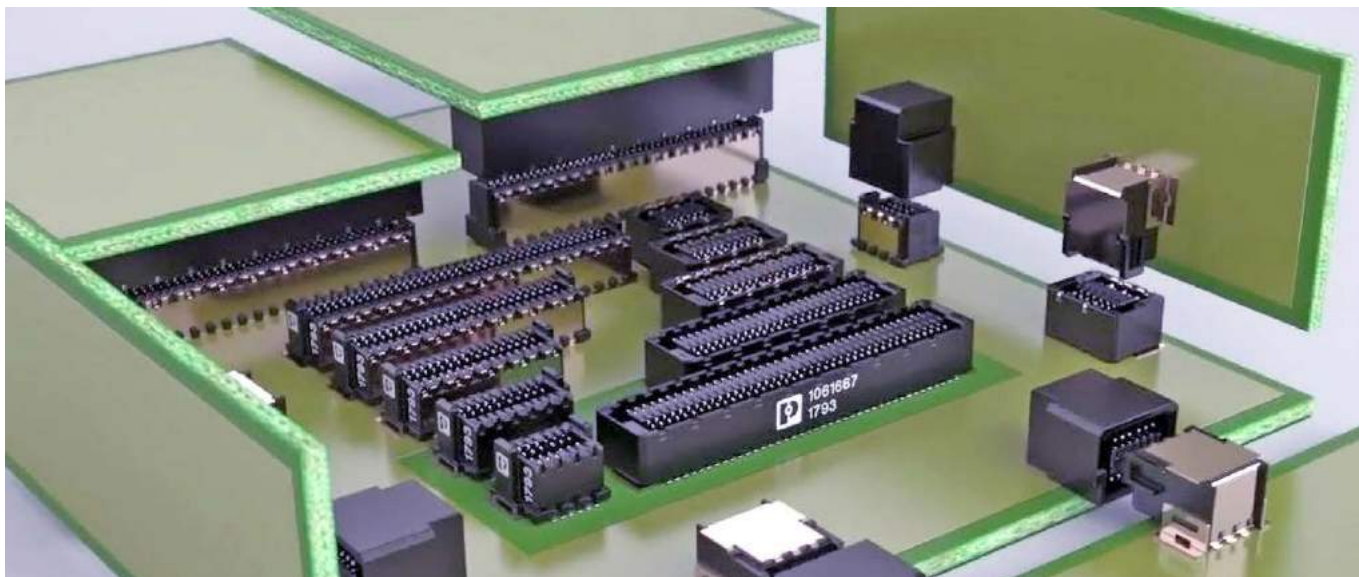
Rodzaj łączonych elementów jest tylko jednym kryterium, aby podzielić złącza na podgrupy. Tak jak pisaliśmy wcześniej, w zasadzie każdy parametr może służyć do wydzielania poszczególnych złączy, jednak niektóre z nich mają więcej sensu. Jednym z istotnych kryteriów podziału tych elementów jest ich zastosowanie. Pozwala to uprościć proces dobierania złącza, gdyż nawet jeżeli dokładne parametry złącza nie są jeszcze znane, to wiemy, do jakiej aplikacji dobieramy dany element – czy ma on transferować dużą moc np. do zasilania grzałki, czy też przekazywać superszybki sygnał cyfrowy.

Złącza sygnałowe vs złącza mocy

Podział złączy na sygnałowe i mocy jest klasyfikacją bardzo umowną i uznaniową. Nie jest możliwe postawienie ostrej granicy pomiędzy złączami służącymi do połączeń sygnałowych a złączami zasilającymi, jednak większość elektroników podświadomie czuje tę różnicę. Mówiąc w tym przypadku o sygnałach, mamy na myśli sytuację, w której płynący prąd (niezależnie od natężenia!) przenosi jakieś informacje. Złącza mocy natomiast to takie, w których jedynym istotnym aspektem jest transfer energii, jak na przykład w złączach zasilających. W szeregu przypadków podział ten jest bardzo umowny, gdyż w wielu sytuacjach zasilanie przenosić może pewne informacje – na przykład wyjście falownika zasilającego silnik. Z jednej strony jest ono wyjściem sygnałowym, gdyż przenosi sygnały sterujące silnikiem, a z drugiej strony jest złączem, które zasilą silnik i musi być przystosowane do odpowiedniego natężenia.

Podział ten nie jest wyraźny i zupełny z co najmniej dwóch względów. Po pierwsze – wiele rodzajów złączy nadaje się do połączeń sygnałowych i mocy, jak złącza bananowe, często stosowane w warsztacie elektronicznym do wykonywania połączeń sygnałowych (na przykład do podłączenia urządzeń pomiarowych) i prądowych (na przykład do podłączenia zasilacza laboratoryjnego). Nie oznacza to oczywiście, że każde złącze danego rodzaju nadaje się do obu zastosowań – nierzadko jest ono dostępne w wielu wersjach do różnych zastosowań.

Po drugie, istnieją na rynku rozwiązania mieszane, tzn. złącza do równoległego przesyłania i danych, i mocy. Mają one niezależne tory połączeń,



Fotografia 3. Przykładowe złącza z rodziny Finepitch firmy Phoenix Contact

najczęściej umieszczone w jednej obudowie, które przeznaczone są do różnych celów. Tego rodzaju złącza popularne są szczególnie w automatyce przemysłowej, gdyż pozwalają na szybkie dołączanie złożonych urządzeń – jednym tylko złączem. Dostępne są nawet wersje, które oprócz sygnałów elektrycznych i linii mocy mogą mieć zintegrowane światłowody, linie pneumatyczne i inne. Przykład takiego łączonego, modułowego konektora zaprezentowano na fotografii 4.

Złącza do pracy w trudnych warunkach

Złącze elektroniczne jest elementem, który często wystawiony jest na zewnątrz urządzenia, a co za tym idzie, jest narażony na niesprzyjające warunki otoczenia. Złącza do pracy w takich warunkach mogą stanowić osobną klasę wydzieloną spośród wszystkich innych złączy. Owe „trudne warunki” oznaczają wiele czynników otoczenia, na które narażone mogą być te elementy – są to np. skrajne temperatury lub woda czy pył. Do tej klasy zaliczane są także złącza do pracy w otoczeniu palnych czy wybuchowych gazów, żrących oparów, itp.

Najczęstszym parametrem, używanym do opisywania konektorów przeznaczonych do pracy w trudnych warunkach, jest tak zwany stopień ochrony IP. Reguluje go norma EN 60529. Stopień IP opisuje, generalnie, dwie cechy złącza – zabezpieczenie przed dostępem do wnętrza obudowy i zabezpieczeniem przed ciałami obcymi oraz poziom ochrony przed szkodliwymi skutkami wnikania wody do złącza i w konsekwencji, do urządzenia. Stopień ochrony IP zapisywany jest w postaci kodu: *IPabcd*, gdzie *a* i *b* to cyfry opisujące, odpowiednio, poziom ochrony przed dostępem obiektów do wnętrza złącza i poziom zabezpieczenia przed dostępem wody, a *c* oraz *d* to opcjonalne oznaczenia literowe, specyfikujące dodatkowe cechy lub poszerzająca istniejące, które definiowane są w dodatkowych normach (np. ISO 20653). Podobne klasyfikacje dla złączy znaleźć można w amerykańskiej normie NEMA 250 czy wojskowych normach, takich jak MIL-STD-810 oraz AECTP-100.

Szczególnie niebezpiecznym otoczeniem dla złączy (i nie tylko) jest atmosfera pyłów, gazów palnych oraz wybuchowych. Do pracy w takich warunkach wykorzystywać trzeba złącza spełniające normę ATEX (dyrektywa Komisji Europejskiej 1999/92/WE ATEX137 z dnia 16.12.1999 r.). W ramach tej normy urządzenia (w tym złącza) klasyfikuje się do grup i podgrup, przeznaczonych do pracy w różnych, zdefiniowanych strefach zagrożenia wybuchem. Tego rodzaju złącza stosuje się często w sektorze górniczym, gdzie występuje zagrożenie wybuchu metanu czy pyłu węglowego, chemicznym (szczególnie petrochemicznym), gdzie istnieje ryzyko wybuchu par i mgieł przetwarzanych substancji palnych.

Oprócz wymienionych powyżej, istnieje szereg innych norm branżowych, specyfikujących złącza do zastosowań w szczególnych, trudnych warunkach. Przykładem mogą być złącza do sprzętu wojskowego

(zgodnie z normami MIL-DTL-5015, MIL-DTL-26482), do przemysłu spożywczego (gdzie normy opisują np. materiały, z jakich wykonane mogą być zewnętrzne elementy złączy) czy zastosowań motoryzacyjnych (opisywane np. normami ISO 1185:2003, ISO 1724:2003 i in.).

Złącza do transmisji o wysokich częstotliwościach

Z względu na charakterystyczną budowę i ostre wymagania, warto wyróżnić spośród ogółu złączy sygnałowych te, które polecane są do przesyłania sygnałów o wysokiej częstotliwości. W klasie tej znajdują się tak sygnały analogowe, jak i cyfrowe. Ciężko jest postawić dokładną granicę pasma, od którego należy mówić o złączach do transmisji o wysokiej częstotliwości. Podobnie jak w przypadku projektowania płytek drukowanych można przyjąć, że o wysokich częstotliwościach dla złącza można mówić, gdy podczas jego projektowania należy wziąć pod uwagę falową naturę transmisji. Oznacza to, że w momencie, gdy długość fali sygnału jest porównywalna z wielkością fizyczną przewodników w złączu, impedancja obwodu zaczyna mieć znaczenie. W takim przypadku możemy mówić o wysokich częstotliwościach (podobnie jak w przypadku linii długich na PCB). Istnieją też prostsze definicje, szczególnie dla sygnałów cyfrowych. Przyjmuje się, że jeżeli czas trwania narastania/opadania zbocza impulsów cyfrowych jest krótszy niż 1 ns, to potrzebny jest



Fotografia 4. Modułowe złącze przemysłowe firmy Harting

„szybki” konektor. W przybliżeniu granica ta odpowiada częstotliwości ok. 350 MHz.

W przypadku sygnałów analogowych dla wysokich częstotliwości stosuje się zazwyczaj złącza koncentryczne. W zależności od szeregu parametrów – płynącego prądu, zakresu częstotliwości, wymagań mechanicznych itp. – dobiera się konkretne złącze. Dla sygnałów cyfrowych występuje większa różnorodność złączy, z uwagi na wiele standardów transmisji cyfrowej. Na ogół dany interfejs cyfrowy specyfikuje nie tylko stronę elektryczną złącza, ale także mechaniczną. Przykładem takiego interfejsu może być PCIeExpress, pokazane na **fotografii 5**.

Wspólną cechą złączy wysokiej częstotliwości dla sygnałów analogowych i cyfrowych jest ścisła kontrola impedancji – parametr ten musi być konieczne dobrany do impedancji pozostałej części toru sygnałowego (linii długiej) na PCB i w przewodzie. Pozwoli to uniknąć odbić w sygnale. Tego rodzaju złącza charakteryzuje także niska tłumienność połączenia i niewielkie przesłuchy pomiędzy kanałami (jeżeli złącze ma więcej niż jeden tor). Oprócz tego wiele z nich ma inne, wyróżniające je parametry, które każdorazowo dobrane muszą być o konkretnej aplikacji (a temat ten jest bardzo szeroki i znacznie wykracza poza ramy niniejszego artykułu).

Jak dobierać złącza elektroniczne

Dobór złącza do danego projektu i jego wymagań nigdy nie jest prosty. Aby sobie w tym pomóc, skorzystać można z poniższych siedmiu pytań – odpowiadając na nie po kolei, można zawęzić liczbę złączy, która pasuje do naszego projektu.

Jakie są wymagania elektryczne dotyczące złączy?

Doskonałym punktem wyjścia do zawężania opcji są wymagania elektryczne. Na tym etapie należy zdefiniować podstawowe wymagania elektryczne dotyczące złącza – ile sygnałów ma przenosić, jakie jest napięcie i prąd jego pracy. Czy złącze przenosić będzie prąd (w przybliżeniu) stały, czy o wysokiej częstotliwości. Czy transmitowane sygnały są cyfrowe, czy analogowe, a może to złącze mocy lub wręcz hybryda z sygnałami wielu typów?

Kombinacja sygnałów w złączu zazwyczaj wpływa na rodzaj i rozmieszczenie wyprowadzeń, typ złącza itp. Oto kilka przykładów takiego wpływu:

- Sygnały o wysokiej częstotliwości mogą sprzęgać się z sąsiednimi przewodami w wiązce przewodów (i w samym złączu) lub mogą wymagać złączy koaksjalnych itp.
- Sygnały analogowe o bardzo niskim napięciu (np. z zewnętrznych sensorów) mogą być podatne na zakłócenia i z tego powodu mogą wymagać ekranowania.
- Styki wysokiego napięcia mogą wymagać odpowiednio dużych odstępów lub użycia materiałów o wysokiej wytrzymałości dielektrycznej w złączu.
- Sygnały wysokoprądowe mogą wymagać większych złączy lub wielu pinów do równoległego przenoszenia prądu.

Należy pamiętać, że niektóre kombinacje sygnałów mogą nie nadawać się do zastosowania tego samego złącza. Sytuacja komplikuje się jeszcze bardziej, jeśli mamy do czynienia z innymi mediami – konieczne mogą być złącza dla światłowodów, sprężonych gazów i cieczy etc. Jeśli tak jest

i jeśli projekt wymaga, aby wszystko to było na tym samym złączu, prawdopodobnie konieczne będzie niestandardowe rozwiązanie. W większości innych przypadków można skorzystać z katalogowych elementów.

Czy istnieją ograniczenia dotyczące wielkości lub przestrzeni?

W ostatnich dekadach zaobserwować można stałą tendencję do zmniejszania wielkości niemal we wszystkich kategoriach sprzętu elektronicznego. Komputery przeszły od dużych biurkowych maszyn do laptopów, tabletów i komputerów jednopłytkowych czy elektroniki noszonej. Wiele urządzeń, które kiedyś instalowało się na stałe w pomieszczeniach – na przykład aparaty rentgenowskie – znajduje się teraz na kołach. Do przyczyn tego do zmniejszenia rozmiaru i masy złączy oraz dostępnej dla nich przestrzeni. Dodatkowo wzrosły wymagania co do ich wytrzymałości – urządzenia mobilne są znacznie częściej podłączane i odłączane niż ich stacjonarne odpowiedniki. Większość dostawców złączy posiada odpowiednie kategorie elementów tak dla złączy miniaturowych (a jeśli nie, to pozwala kierować się rastrem złącza), jak i dla złączy o podwyższonej wytrzymałości.

Czy złącze będzie działać w ekstremalnym środowisku?

Wiele złączy wystawionych jest na niekorzystne warunki środowiskowe (o czym pisaliśmy powyżej) lub mechaniczne, takie jak wstrząsy czy wibracje. Złącze zaprojektowane do pracy w takich warunkach często zawiera specjalne elementy, np. połączenia gwintowane, które uniemożliwiają samoczynne rozpięcie się złącza na skutek wibracji czy wstrząsów. Podobnie jak ze stopniem ochrony IP, wyróżnia się odporność na wstrząsy i wibracje złączy, np. wykorzystując klasyfikację IK (specyfikowaną w normie EN 62262).

Innym powszechnym problemem środowiskowym jest ekstremalna temperatura. Jeśli dane złącze będzie się znajdowało np. w ogrzewanych pomieszczeniach w pobliżu często otwieranych drzwi zewnętrznych lub w instalacji przemysłowej w pobliżu źródła ciepła, może być narażone na duże wahania temperatur lub ekstremalnie wysokie bądź niskie temperatury. Należy mieć to na względzie, dobierając złącze do konkretnej aplikacji.

W kartach katalogowych producentów złączy znaleźć można tak informacje na temat stopnia ochrony IP i klasyfikacji IK, oraz innych istotnych parametrów związanych z odpornością na warunki środowiska.

Czy konieczne jest uszczelnienie w celu ochrony przed wodą, olejem lub gazem?

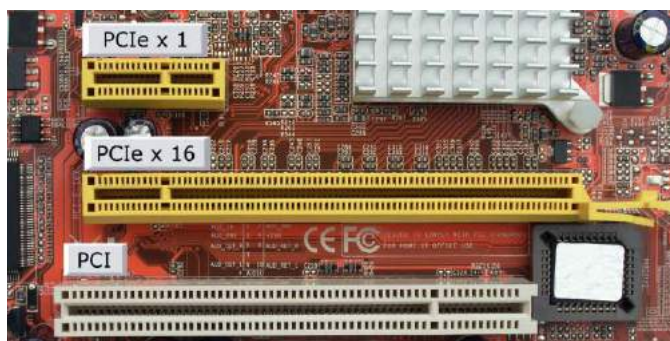
Niektóre środowiska wymagają ochrony przed wtargnięciem płynów lub pyłów do wnętrza złącza. Nie jest to tylko woda, często są to różne reaktywne ciecz. Te parametry także opisywane są wspomnianym powyżej stopniem ochrony IP.

Nie mniej istotna jest chemiczna odporność obudowy złącza ma warunki otoczenia. Jeżeli element ten będzie narażony na reaktywne pary bądź gazy, konieczne jest dobranie elementu odpornego na dany czynnik. Dane na temat odporności chemicznej złączy znaleźć można w dokumentacji producenta.

Istnieje wiele gałęzi przemysłu, które wymagają czegoś więcej niż tylko ochrony przed działaniem rozmaitych cieczy. Zastosowania medyczne i spożywcze muszą znosić typowe procedury sterylizacji, w których wykorzystuje się wodę o wysokiej temperaturze i pod wysokim ciśnieniem, natomiast zastosowania samochodowe muszą być zabezpieczone przed czyszczeniem parą, olejem czy mgłą solną. Najbardziej rygorystyczne środowiska (lotnicze, podwodne lub kosmiczne) mogą wymagać hermetycznego uszczelnienia złącza, które wypełniane jest obojętnym gazem.

Czy istnieją jakieś obowiązkowe normy branżowe do spełnienia?

Wiele branż narzuca własne normy, które spełniać muszą elementy stosowane w danym sektorze. Przykładem mogą być tutaj sektory petrochemiczny czy naftowy, gdzie wymagane są elementy certyfikowane normą ATEX. Nawet jeśli normy te nie obejmują konkretnie złączy, dotyczą one



Fotografia 5. Złącza PCI Express na płycie głównej komputera PC

sprzętu, którego złącza są częścią. Przykładem mogą być tutaj sektory medyczne czy motoryzacyjne i oczywiście wojskowy.

Normy te często obejmują nie tylko np. niezawodność, ale także surowe standardy kwalifikacji i produkcji elementów (na przykład indywidualne numery seryjne dla poszczególnych elementów w urządzeniach czy możliwość prześLEDzenia jego losów od produkcji do montażu w systemie). Wybierając złącze, konieczne trzeba mieć świadomość wymagań tego rodzaju.

Jaki poziom niezawodności jest potrzebny?

Innym krytycznym aspektem złącza jest przewidywana częstość używania. Jak często łącznik będzie łączony i rozłączany? Scenariusze obejmują zakres od jednorazowego użycia do 10 tysięcy lub więcej cykli pracy w czasie życia elementu. Czasami oba scenariusze będą współistnieć w tym samym systemie – wiązka przewodów czujników medycznych dla pacjenta może mieć fabrycznie zmontowane złącza jednorazowego użytku, zaś odpowiednie gniazdo na urządzeniu diagnostycznym może pracować poprawnie przez tysiące cykli. Z drugiej strony w zastosowaniach motoryzacyjnych złącza mogą pozostawać ze sobą powiązane na stałe przez cały okres eksploatacji pojazdu, ale kultura techniczna projektanta powinna założyć, iż użytkownik, np. z przyczyn serwisowych, chciałby tego rodzaju złącza rozpiąć chociażby kilkukrotnie w czasie cyklu życia pojazdu.

Niektóre złącza mają podaną specyfikację MTBF (średni czas pomiędzy awariami) lub MTTF (średni czas do awarii) z obliczonymi szacunkami dotyczącymi żywotności produktu przy standardowym użytkowaniu. Może to służyć jako wskazówka, czy złącze jest odpowiednie do danej aplikacji. Niezawodność złączy jest złożonym tematem – zależy od wielu czynników, a dokładna liczba cykli (czy to zakładanych w czasie życia urządzenia, czy możliwych do wytrzymania przez dany element) zwykle jest trudna do ustalenia.

Jakie rodzaje terminali są wymagane?

Finalnie, nie możemy zapominać, że każde złącze ma dwa końce. Oprócz tego, które w czasie doboru jest najistotniejsze, mamy to drugie – łączące się z projektowanym urządzeniem. Niezależnie, czy ma piny do lutowania do płytki drukowanej, czy też punkty lutownicze do przylutowania (lub innego montażu) przewodów wewnątrz urządzenia, musi spełniać wymagania projektowanego systemu.

Dostępnych na rynku jest wiele różnych typów zakończeń złączy od strony urządzenia. W pierwszej kolejności są złącza osadzane na płytce drukowanej. Mogą one być polecane do montażu przewlekane lub SMD. Dodatkowo, warto zwrócić uwagę, że wiele złączy zawiera kołki

osadzające, mające wzmocnić połączenie złącza z PCB. Wiele złączy wymaga nietypowych otworów na płytce drukowanej, w tym także otworów fasolkowych, co wymaga frezowania na PCB i może zwiększyć koszty produkcji urządzenia.

Jeśli chodzi o połączenia kablowe, to do dyspozycji są złącza lutowane, zaciskane, a nawet owijane. Każde ma swoje wady i zalety. Na przykład połączenia zaciskane łatwiej naprawić w terenie. Wybór montażu zazwyczaj zależy od projektu i zastosowania złącza w systemie.

Najlepsze złącza do projektu

Każda aplikacja złącza jest unikatowa, z własnym zestawem ograniczeń projektowych, wartości docelowych kosztów, wielkości itp. Skorzystanie z powyższych siedmiu pytań, aby zawęzić opcje i znaleźć najlepszy typ złącza do danej aplikacji, może znacznie przyspieszyć proces jego doboru. Jeżeli to nie pomogło, to zawsze można skontaktować się z przedstawicielami handlowymi swojego dystrybutora elementów elektronicznych lub z inżynierami aplikacyjnymi swojego ulubionego dostawcy złączy. Z pewnością pomogą oni dobrać odpowiedni konektor do każdego zadania.

Podsumowanie

Niezależnie od tego, czy podłączasz do układu diodę LED, czy projektujesz superszybki interfejs cyfrowy, dobór odpowiedniego złącza jest kluczowy. Odpowiedni konektor w systemie pozwala nie tylko na jego poprawne działanie, ale także jest miejscem do optymalizacji kosztów czy złożoności systemu.

Dobranie odpowiedniego złącza nie jest wcale takie trudne. W pierwszej kolejności należy zawęzić krąg poszukiwań do konkretnej klasy złączy. Następnie wystarczy, spośród żądanych parametrów, wybrać te, które są kluczowe (np. maksymalny prąd złącza, pasmo częstotliwości, rozmiar etc.) i kierując się nimi, zawęzić grupę rozpatrywanych złączy. Następnie, bazując na drugorzędnych parametrach (np. cena, tłumienność itp.), należy wybrać element pasujący do naszej aplikacji. Jeżeli nadal pozostawia to zbyt wielki wybór, proces eliminacji należy powtórzyć, kierując się kryteriami kolejnych rzędów. I tak, kompromis za kompromisem znajdziemy ten jeden, jedyny konektor, który idealnie wpasuje się do danego urządzenia.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła:

- <https://bit.ly/2SEJVBQ>
- <https://bit.ly/2Wz5Yv9>
- <https://bit.ly/3dnwcau>

- <https://bit.ly/2WuAer5>
- <https://bit.ly/2SDILa3>

REKLAMA

ZŁĄCZA I PRZEWODY



www.semicon.com



www.omnetics.com



www.schurter.com

Rzędowe złącza miniaturowe:

- Raster 1,27 mm lub 0,64 mm
- Temperatura pracy do 200°C

Przewody:

- Wielożyłowe super elastyczne ekranowane (ze wspólnym ekranem lub wieloma)
- Hybrydowe (elektryczno – pneumatyczne)
- Przewody audio/wideo
- Lice o przekroju okrągłym lub profilowanym, w izolacji lub bez
- Przewody nawojowe i miedziane oploty

Złącza zatraskowe typu push-pull:

- Jednopinowe
- Wielopinowe
- Światłowodowe
- Hybrydowe
- Wodoszczelne...

www.lemo.com

www.newenglandwire.com

Wtyki i gniazda zasilające
Moduły zasilające z gniazdem zasilania IEC

Semicon Sp. z o.o.
ul. Zwolenńska 43/43A, 04-761 Warszawa
tel. 22 615 73 71 | www.semicon.com.pl
zamowienia@semicon.com.pl

**Innowacyjne produkty
Innowacyjne technologie**

Eksperymenty z FPGA (7)

W poprzedniej części uruchomiliśmy moduł generujący sygnał o zmiennym wypełnieniu (PWM). W tej części zbudujemy NCO – skrót ten rozwija się jako numerically-controlled oscillator, czyli oscylator sterowany cyfrowo.



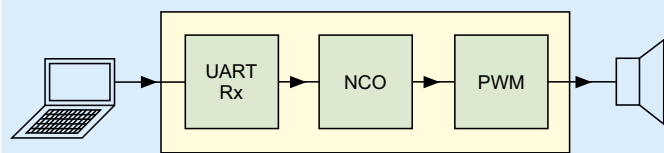
Oscylatora użyjemy do sterowania membraną piezoelektryczną. Uproszczony schemat naszego projektu pokazano na **rysunku 1**. Z komputera, poprzez port szeregowy, będziemy ustawiać aktualną częstotliwość. Informacja będzie odbierana przez blok UART Rx i wpisywana do generatora NCO. Wyjście z generatora będzie ustalało aktualne wypełnienie sygnału PWM, którym będziemy sterować membraną piezo. Bloki pierwszy i trzeci mamy już gotowe. Musimy więc przygotować sam moduł NCO.

Tak jak poprzednio, przed przystąpieniem do wykonywania eksperymentów zachęcam do aktualizacji repozytorium z przykładami (poprzez wywołanie polecenia git pull).

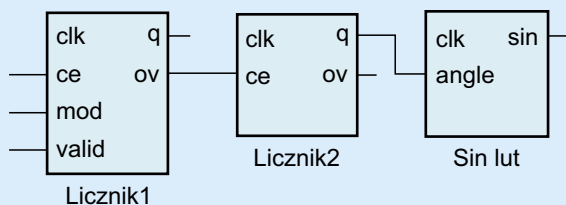
Oscylator sterowany cyfrowo

Schematyczną budowę generatora prezentuje **rysunek 2**. Pierwszym elementem jest licznik 1. Ale nie będzie to taki sam licznik, jak do tej pory. Wprawdzie nadal będzie to licznik modulo mod, ale tym razem parametr mod będzie mógł być zmieniany w trakcie pracy. Pozwoli to na zmianę okresu generowanego przebiegu sinusoidalnego. Licznik 2 jest już zwyczajny, taki jaki stosowaliśmy wcześniej. Zlicza on aktualną wartość fazy sygnału wejściowego. Zakres zliczania zależy od przyjętej przez nas dokładności wyjściowego sygnału.

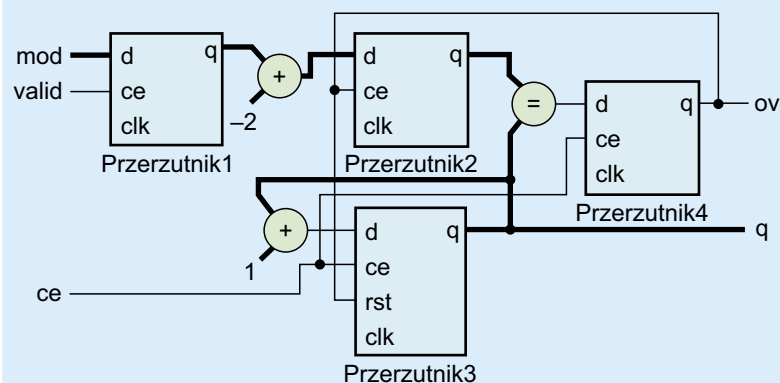
Musimy jeszcze wykonać na uzyskanej wartości funkcję sinus. SystemVerilog ma operację `$sin`, lecz nie jest ona syntezywalna. Musimy



Rysunek 1. Schemat układu sterującego membraną piezo



Rysunek 2. Budowa generatora NCO



Rysunek 3. Schemat licznika ze zmienną wartością maksymalną

więc tę operację zaimplementować sami. Jedną z możliwości jest skorzystanie z algorytmu CORDIC [1], który pozwala wyliczyć funkcję sinus (a także, po modyfikacji, kilka innych) za pomocą przesunięć bitowych i dodawania. Skorzystamy jednak z łatwiejszej metody. Potrzebne wartości funkcji sinus obliczymy na komputerze i umieścimy je w pamięci RAM w układzie FPGA. Takie podejście nazywa się tablicowaniem, lecz bardziej popularna jest angielska nazwa *lookup table*, w skrócie LUT.

Licznik modulo

Zacznijmy od przygotowania licznika modulo `mod`. Jego budowę pokazano na **rysunku 3**. Zadana wartość okresu jest wpisywana za pomocą naszej magistrali do przerzutnika 1. Dane wchodzi na wejście `d`, a sygnał `valid` steruje wejściem `clock enable`.

Jednak do sprawdzania, czy licznik doliczył do końca, używana jest liczba z przerzutnika 2. Wpis do niej następuje tylko w momencie przepełnienia się licznika. Wpisywana jest wtedy do niego wartość `mod-2`. Chcemy, aby reset następował, gdy licznik doliczy do wartości `mod-1`. Jednak aby móc zapisać wynik porównania do przerzutnika 4, musimy wykryć ten fakt „jeden krok wcześniej”. Stąd bierze się odejmowanie dwójki. Warto przy okazji zwrócić uwagę, że układ będzie działał zgodnie z założeniem dla wartości różnych od 0 i 1. Dla 0 układ będzie zliczał do wartości 2^N , gdzie N to liczba bitów przeznaczonych na wektor `mod`. Dla 1 natomiast zachowanie będzie dużo mniej intuicyjne: stan wyjściowy `q == 0` będzie utrzymywał się na wyjściu dwa razy dłużej niż pozostałe. Z tego powodu przyjmujemy, że dopuszczalny zakres dla parametru `mod` to od 2 do 2^N-1 . Dla uproszczenia logiki nie będziemy jednak dodawać żadnego sprawdzenia, czy te warunki są spełnione. Na końcu zostaje przerzutnik 3, który służy do przechowywania aktualnego stanu licznika.

Przyjrzyjmy się teraz implementacji pokazanej na **listingu 1**. Moduł przyjmuje jeden parametr nazwany `N` (linia 11). Oznacza on długość wektorów w których przechowywana jest wartość `mod` oraz wynik zliczania `q`. Taką samą długość powinny mieć dane w interfejsie `mod`. Poza nim moduł ma jeszcze jedno wejście `ce` (clock enable) oraz wyjścia `q` i `ov` (przepełnienie).

Na początku modułu są zdefiniowane dwie pomocnicze zmienne – `mod_pre` posłuży do implementacji przerzutnika 1, a `mod_r` przerzutnika 2. Zacznijmy od obsługi magistrali. W linii 21 ustawiamy stan linii `ready` na 1, ponieważ nasz moduł w każdej chwili może przyjąć nową wartość. W liniach 23...27 znajdziemy przerzutnik 1, a w 29...33 przerzutnik 2. Implementacja samego licznika znajduje się w liniach 35...42, natomiast na samym końcu (44...48) znajdziemy przerzutnik 4, który przechowuje informację o przepełnieniu licznika.

Do sprawdzenia działania użyjemy testbenchu z pliku `08_NCO/counter_mod_tb.sv`. Aby uruchomić symulację, w programie ModelSim przechodzimy do folderu `08_NCO` i wywołujemy polecenie: `do counter_mod_sim.do`. Wynik symulacji będzie podobny do pokazanego na **rysunku 4**. Standardowo w pierwszych dwóch wierszach widzimy zegar i reset. W kolejnym znajdziemy dane wpisane do interfejsu wejściowego. Zaczynamy od minimalnej dopuszczalnej wartości, czyli 2, aby

Listing 1. Implementacja licznika modulo N (08_NCO/counter_mod.sv)

```

10 module counter_mod #(
11     parameter N = 8
12 ) (
13     StreamBus.Slave mod,
14     input wire ce,
15     output logic [N-1:0]q,
16     output logic ov
17 );
18 logic [N-1:0]mod_pre;
19 logic [N-1:0]mod_r;
20
21 assign mod.ready = 1'b1;
22
23 always_ff @(posedge mod.clk or negedge mod.rst)
24     if (!mod.rst)
25         mod_pre <= '0;
26     else if (mod.valid)
27         mod_pre <= mod.data - 2'd2;
28
29 always_ff @(posedge mod.clk or negedge mod.rst)
30     if (!mod.rst)
31         mod_r <= '0;
32     else if (ov)
33         mod_r <= mod_pre;
34
35 always_ff @(posedge mod.clk or negedge mod.rst)
36     if (!mod.rst)
37         q <= '0;
38     else if (ce)
39         if (ov)
40             q <= '0;
41         else
42             q <= q + 1'd1;
43
44 always_ff @(posedge mod.clk or negedge mod.rst)
45     if (!mod.rst)
46         ov <= '0;
47     else if (ce)
48         ov <= (q == mod_r);
49
50 endmodule

```

skończyć na maksymalnej, czyli 15. W kolejnych dwóch liniach widzimy już wewnętrzne stany modułu. `mod_pre` to wartość, która czeka do zładowania do `mod_r`, które jest wyzwalone wystąpieniem przepełnienia.

Kolejne dwa wiersze pokazują tę samą wartość – wyjściową wartość licznika `q`. W pierwszym, tak jak jesteśmy przyzwyczajeni do tej

Listing 2. Implementacja tablicowania funkcji sinus (08_NCO/sin_lut.sv)

```

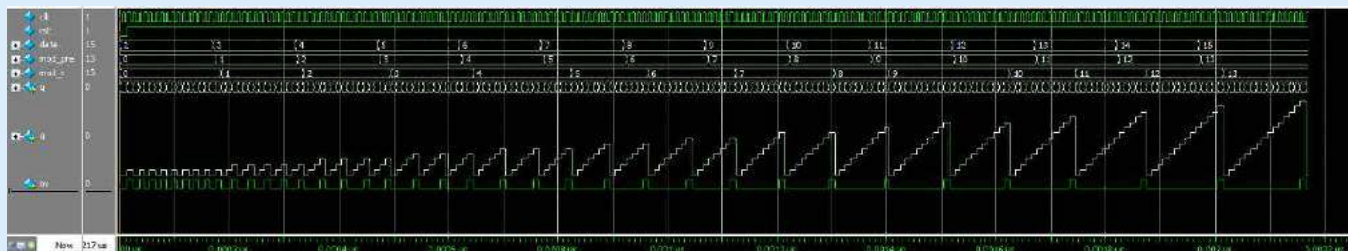
10 parameter real pi = 3.14159265358979323846;
11
12 module sin_lut #(
13     parameter N=12,
14     parameter L=1024
15     parameter file_name="sin_lut.mem"
16 ) (
17     input wire clk,
18     input wire [$clog2(L)-1:0]angle,
19     output logic [N-1:0]sinus
20 );
21 logic [N-1:0]ram[L-1:0];
22
23 initial begin
24     // synthesis translate_off
25     for (int i = 0; i < L; i++)
26         ram[i] = $sin(2*pi*i/L)*(2**(N-1)-1)+2**(N-1)-1;
27     $writememb("sin_lut.mem", ram);
28     // synthesis translate_on
29     $readmemb("sin_lut.mem", ram);
30 end
31
32 always_ff @(posedge clk)
33     sinus <= ram[angle];
34
35 endmodule

```

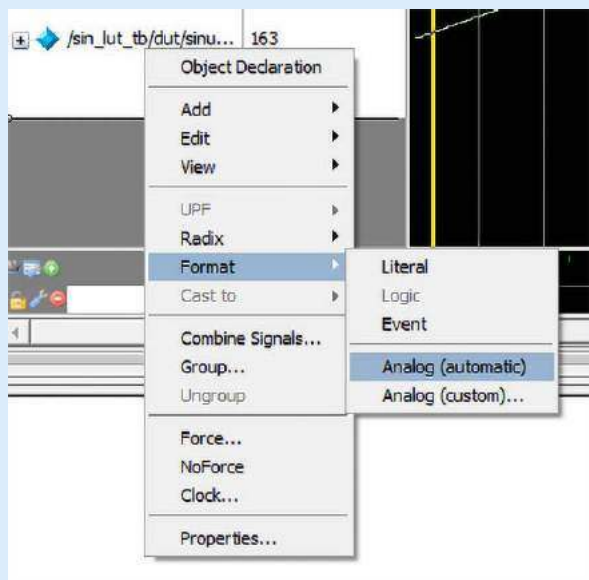
pory, znajduje się wartość liczbowa. Na zaprezentowanym powiększeniu nie jest ona dostrzegalna, lecz czytnik może powiększyć ją po uruchomieniu symulacji na komputerze. Zatrzymajmy się jednak nad kolejną linią. Po raz pierwszy korzystamy tu z wyświetlania w trybie „analogowym” Pozwala on na narysowanie wykresu zmiany wartości całkowitoliczbowej w czasie. W wielu przypadkach taka graficzna reprezentacja pozwoli na łatwiejszą analizę wyników niż wersja liczbowa, z której korzystaliśmy do tej pory. W pliku `08_NCO/counter_mod_sim.sv` znajdziemy wiersz:

```
add wave -format analog-step -unsigned -height 100 -min -0 -max 15 sim:/counter_mod_tb/dut/q
```

Tryb analogowy włączamy za pomocą przełącznika `-format`. Polecenie `-height` pozwala na ustalenie wysokości, a `-min` i `-max` odpowiednio minimalnej i maksymalnej wartości, które będą mieścić



Rysunek 4. Symulacja licznika modulo N



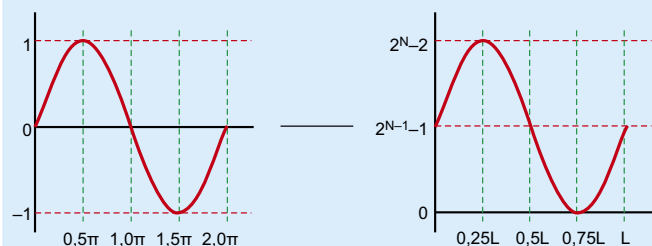
Rysunek 5. Włączanie trybu analogowego w programie ModelSim

się na wykresie. Tryb analogowy można także wyklikać. Tak jak pokazuje to **rysunek 5** – naciskamy prawym przyciskiem myszy na wiersz, który chcemy wyrysować. W menu kontekstowym wybieramy *Format*, a następnie *Analog (automatic)*. Wtedy zakres wartości zostanie dobrany automatycznie.

Tablicowanie funkcji sinus

Przejdźmy do drugiego modułu, który posłuży nam do obliczania funkcji sinus. Będzie to pamięć, w której umieścimy tablicę następujących po sobie wartości. Implementacja tego modułu znajduje się na **listingu 2**. Na początku definiujemy pomocniczy parametr: `pi`. Używamy typu danych `real`, który zgodnie ze standardem języka SystemVerilog dokładnie odpowiada typowi `double` z języka C.

Sam moduł jest konfigurowany przez trzy parametry. Pierwsze dwa określają reprezentację funkcji sinus w pamięci. Obrazowo ich wpływ został pokazany na **rysunku 6**. Pierwszy z nich: `N`, wyznacza liczbę bitów, na których będą zapisane poszczególne wartości funkcji sinus. Jeśli przyjmiemy, że będziemy traktować wartości jako liczby całkowite bez znaku, to możemy przechowywać w nich wartości od 0 do 2^N-1 . Funkcja sinus zwraca wartości z zakresu od -1 do 1 . Musimy



Rysunek 6. Reprezentacja funkcji sinus w pamięci

więc przyjąć jakiś sposób zmapowania jednych wartości na drugie. Przyjmijmy, że wartości 0 będzie odpowiadała liczba $2^{N-1}-1$. Aby sygnał nie został obcięty przyjmijmy, że amplituda będzie także równa $2^{N-1}-1$. Wtedy wartości -1 zostanie przypisana wartość 0, a dla 1 otrzymamy 2^N-2 . Ostatni możliwa wartość, czyli 2^{N-1} zostanie niewykorzystana.

Drugi parametr: L , określa, ile różnych wartości chcemy przechować w pamięci. Oznacza on więc, z jaką rozdzielczością kątową będziemy obliczać funkcję sinus. W naszym przypadku przyjmijmy, że kątowi 2π będzie odpowiadała liczba L . Oznacza to, że w pamięci zapamiętamy cały jeden okres funkcji sinus. Istnieją sposoby, które pozwalają na umieszczenie w tablicy tylko połowy albo ćwiartki okresu, a następnie odtworzenie reszty za pomocą stosunkowo prostych operacji arytmetycznych, ale my nie będziemy tutaj z nich

korzystać. Jak możemy łatwo policzyć, każda kolejna wartość w tablicy będzie obliczana dla kąta większego o $2\pi/L$: pierwsza wartość dla 0, a ostatnia dla $2\pi(L-1)/L$. Gdy połączymy oba parametry, otrzymamy wzór na kolejne wartości wpisane do tablicy pod adres i :

$$\text{lut}(i) = (2^{N-1} - 1) \sin\left(2\pi \frac{i}{L}\right) + 2^{N-1} - 1 \text{ dla } i = 0 \dots L-1$$

Wróćmy jednak do kodu. Ostatni parametr `file_name` przechowuje łańcuch znaków. Zostanie on użyty jako nazwa pliku, gdzie będą przechowywane kolejne obliczone wartości funkcji sinus.

Nasz moduł ma dwa wejścia: zegarowe oraz adres, z którego mają zostać odczytane dane oraz jedno wyjście: wartość funkcji sinus. W linii 20 jest zdefiniowana tablica N wektorów po L bitów każdy. Jednak prawdziwie ciekawe rzeczy dzieją się w bloku `initial` (22...29). Zasadniczo nie jest on syntezywalny. Jednak ten konkretny przypadek jest wyjątkiem, ponieważ używamy go do zainicjalizowania tablicy. W liniach 24 i 25 widzimy przygotowaną wcześniej funkcję. Jednak tutaj została ona objęta klauzurami `synthesis translate_off` i `synthesis translate_on`. Spowodują one, że objęty przez nie fragment kodu zostanie pominięty przy syntezie. Musimy skorzystać z tej opcji, ponieważ funkcja `$sin` nie jest syntezykowana, nawet gdy jej argument jest znany w czasie generowania. Dlatego w symulacji wywołamy funkcję `$writememb`, która zapisze obliczone współczynniki w pliku tekstowym. Domyślnie będzie to `08_NCO/sin_lut.mem`, a jego początkowy fragment pokazano na **listingu 3**.

Pierwsze trzy linie kodu stanowią nagłówek. Zostaje poinformowani, że ten plik jest generowany automatycznie i nie zaleca się jego edycji. W drugim wierszu podane są informacje, w jakim miejscu znajdowała się instancja, dla której został on stworzony. A dalej pojawia się informacja o formacie. Dane są zapisane w systemie binarnym bez

podawania adresu, po którym ma znaleźć się kolejna wartość. Zgodnie z opisem w dalszej części znajdziemy kolejne liczby dwójkowe. Następnie, zarówno przy symulacji, jak i syntezie, wynikowy plik zostanie załadowany za pomocą „symetrycznego” polecenia `$readmemb`. Na końcu w liniach 31...32 znajduje się właściwa obsługa pamięci. Na każdym narastającym zboczach sygnału zegarowego wartość spod zadanego adresu jest zapisywana na wyjście.

Aby przetestować moduł, przygotowany został testbench. Znajdziemy go w pliku `08_NCO/sin_lut_tb.sv`. Fragment odpowiadający za generowanie wymuszenia na wejście pokazano na **listingu 4**. Widzimy, że na początku przez 20 jednostek czasu wartość wejściowa `angle` jest równa 0, następnie jest ona inkrementowana co cykl zegara. Gdy dojdziemy do wartości maksymalnej, czyli 1023, zostanie odczekane kolejne 20 jednostek czasu i symulacja zostanie zakończona. Aby ją uruchomić, w programie ModelSim przechodzimy do folderu `08_NCO` i wywołujemy polecenie: `do sin_lut_sim.do`. Wynik powinien być podobny do tego pokazanego na **rysunku 7**. W pierwszym wierszu widzimy zegar. Poniżej znajduje się zadana wartość kąta: w postaci liczbowej (nieczytelna w tym powiększeniu) i „analogowej”. Podobne na dole została zaprezentowana wartość wyjściowa, czyli nasza sinusoida.

NCO

Przygotowaliśmy już wszystkie moduły potrzebne do złożenia oscylatora sterowanego cyfrowo pokazanego na **rysunku 2**. Możemy teraz przygotować jego implementację, która została pokazana na **listingu 5**. Tym razem nasz moduł przyjmuje aż 5 parametrów. Pierwszy z nich `modN` reguluje maksymalny okres generowanej funkcji. Trzy kolejne parametryzują tablice z funkcją sinus. Ostatni pomocniczy parametr `logL` to liczba bitów potrzebna do przechowania aktualnej fazy sygnału.

Listing 3. Fragment wygenerowanej zawartości pamięci (08_NCO/sin_lut.mem)

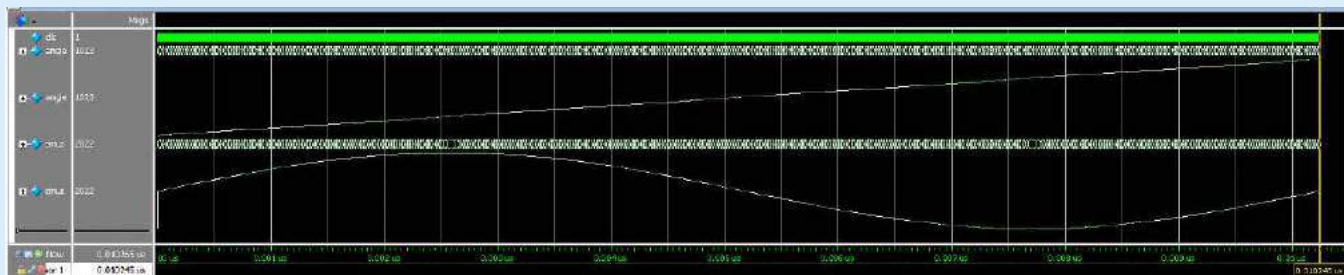
```
01 // memory data file (do not edit the following line - required for mem load use)
02 // instance=nco_uart_tb/dut/nco_i/lut/ram
03 // format=bin addressradix=h dataradix=b version=1.0 wordsperline=1 noaddress
04 011111111111
05 100000001100
06 1000000011000
07 1000000100101
08 1000000110001
09 1000000111110
10 100001001010
```

Listing 4. Generowanie wymuszenia w testbenchu 08_NCO/sin_lut_tb.sv

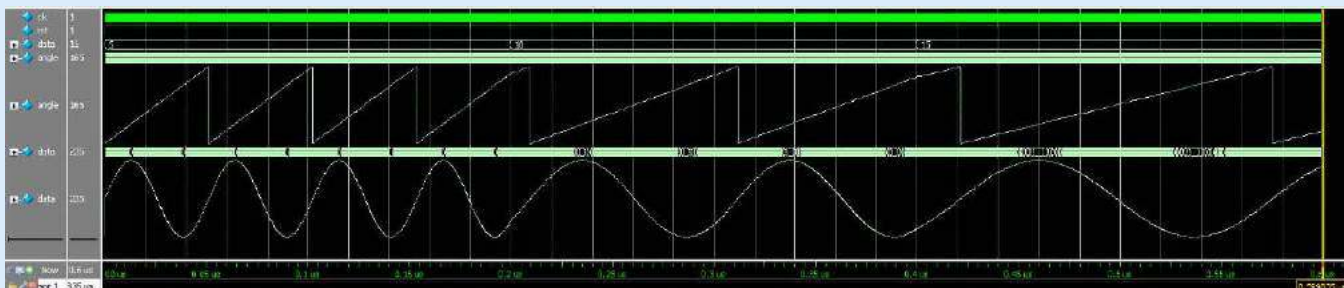
```
20 initial begin
21   angle = '0;
22   #20
23   for (int i = 1; i < 1024; i++)
24     @(posedge clk) angle = i;
25   #20 $stop;
26 end
```

Listing 5. Implementacja generatora NCO (08_NCO/nco.sv)

```
10 module nco #(
11   parameter modN = 8,
12   parameter L = 1024,
13   parameter sinN = 10,
14   parameter file_name = "nco_lut.mem",
15   parameter logL = $clog2(L)
16 ) (
17   input wire ce,
18   StreamBus period,
19   StreamBus out
20 );
21 logic [logL-1:0] angle;
22 logic angle_ce;
23
24 counter_mod #(.N(modN)) ctx_mod (
25   .mod(period),
26   .ce(ce),
27   .q(),
28   .ov(angle_ce));
29
30 counter #(.N(L)) ctx_angle (
31   .clk(period.clk),
32   .rst(period.rst),
33   .ce(angle_ce & ce),
34   .q(angle),
35   .ov());
36
37 sin_lut #(.N(sinN), .L(L), .file_name(file_name)) lut (
38   .clk(period.clk),
39   .angle(angle),
40   .sinus(out.data));
41
42 assign out.valid = 1'b1;
43
44 endmodule
```



Rysunek 7. Wyniki symulacji modułu sim_lut



Rysunek 8. Symulacja działania NCO

Listing 6. Fragment testbenchu dla modułu NCO (08_NCO/nco_tb.sv)

```

11 parameter modN = 4;
12 parameter ncoL = 1024;
13 parameter sinN = 8;
14 logic clk, rst;
15 StreamBus #(.N(modN)) period (.clk(clk), .rst(rst));
16 StreamBus #(.N(sinN)) out (.clk(clk), .rst(rst));
17
36 nco #(.modN(modN), .L(ncoL), .sinN(sinN)) dut (
37   .ce(1'b1),
38   .period(period),
39   .out(out));

```

Liczba wejść/wyjść jest mniejsza. Są to: wejście **ce**, oraz dwie magistrale – pierwsza pozwala na ustawienie okresu, a na drugiej otrzymujemy wyjściową wartość. Wnętrze modułu składa się z połączonych ze sobą instancji kolejno: licznika o zmiennym zakresie, licznika i funkcji sinus. Pierwszy z nich generuje sygnał **ce** dla licznika fazy nazwanego **ctx_angle**. Aby mógł wykonać iterację przez wszystkie wartości zapisane w tablicy, zlicza od 0 do **L-1**. Jego aktualna wartość **angle** trafia na wejście tablicy. Na samym końcu (linia 44) do wyjścia **valid** została przypisana na stałe logiczna jedynka. Oznacza to, że zakładamy, iż wyjście NCO jest zawsze poprawne.

Zastanówmy się jeszcze, od czego zależy okres wyjściowej funkcji sinusoidalnej. Założymy, że wejście **ce** jest na stałe zwarte do 1. Mamy wtedy trzy parametry, od których ona zależy:

- f – częstotliwość taktowania układu,
- L – liczba zapisanych próbek funkcji sinus,
- p – nastawa NCO.

Wtedy częstotliwość wyjściowego sygnału f_{out} jest dana wzorem:

$$f_{out} = \frac{f}{pL}$$

Częstotliwość jest więc odwrotnie proporcjonalna do naszej nastawy. Bardziej intuicyjne jest przyjęcie, że sterujemy okresem. Uzyskamy zależność liniową:

$$T_{out} = p \frac{L}{f}$$

Sama wartość **p** może przyjmować wartości od 2 do $2^{\text{modN}-1}$. Po ich podstawieniu otrzymamy minimalną i maksymalną wartość częstotliwości.

Wróćmy jeszcze do jednej kwestii. Nasz moduł otrzymuje parametry o długości wyjściowych i wejściowych modułów w różnych

miejscach (wewnątrz interfejsu i poprzez parametry). Dlatego chcąc dokonać zmiany, musimy pamiętać o modyfikacji dwóch elementów kodu, co zawsze jest złym rozwiązaniem. Niestety nie znalazłem jednoznacznej metody pozwalającej na wyciągnięcie informacji o długości wektora z wnętrza interfejsu. Różne metody działały albo w symulacji, albo w syntezie. Uznałem, że niestety najlepszym wyjściem będzie zdublowanie tej informacji. Ale żeby kod był łatwiejszy w utrzymaniu, przy tworzeniu instancji oscylatora użyty został dodatkowy parametr, który posłużył zarówno do stworzenia interfejsu, jak do sparametryzowania NCO. Na przykład w testbenchu, którego fragment widzimy na **listingu 6**, taką funkcję pełnią **modN** i **modL**.

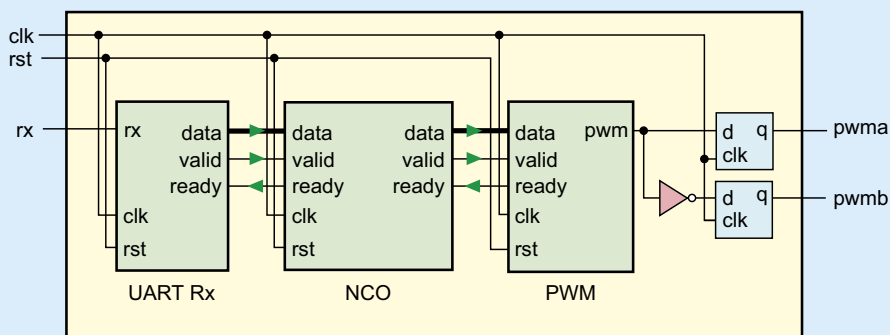
Samo wymuszenie tym razem jest bardzo proste: po kolei okres jest ustawiany na 5, 10 i 15. Pomiedzy zmianami symulacja odczeka 200000 jednostek czasu. Aby sprawdzić działanie modułu, w programie ModelSim uruchamiamy polecenie:

do nco_sim.do

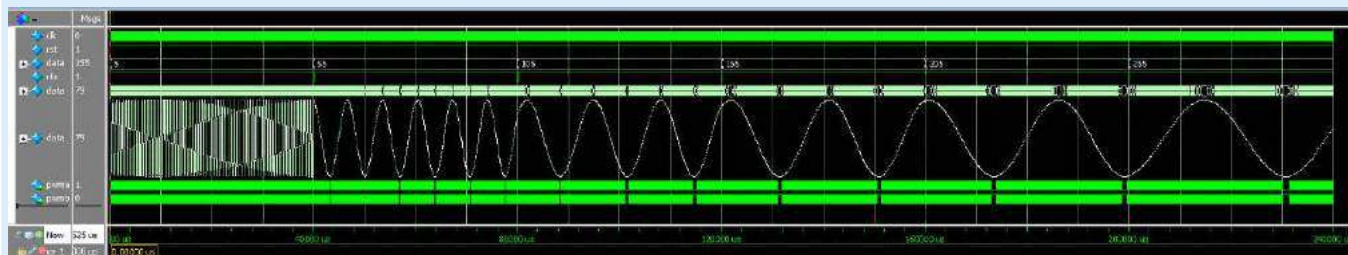
Jego wynik pokazano na **rysunku 8**. Pierwsze dwa wiersze prezentują sygnał zegarowy i reset. W trzeciej linii znajduje się zadana wartość okresu. W naszym przypadku są to po kolei 5, 10 i 15. W kolejnych dwóch wierszach znajduje się aktualna wartość fazy: w wersji tekstowej i „analogowej”. Na dole widzimy natomiast wyjściową wartość przebiegu. Warto zwrócić uwagę na zmianę nachylenia przebiegu fazy w momencie zmiany wartości zadanej.

Składamy projekt

Kończącą wersję projektu, którą przetestujemy w sprzęcie, pokazano na **rysunku 9**. Układ FPGA jest symbolizowany przez żółty prostokąt. Mamy trzy wejścia: zegar z generatora, reset z przycisku oraz linia portu szeregowego. Po drugiej stronie znajdują się dwa wyjścia:



Rysunek 9. Schemat generatora sterowanego z portu szeregowego



Rysunek 10. Wynik symulacji głównego modułu (08_NCO/nco_uart_tb.sv)

Listing 7. Implementacja generatora NCO sterowanego przez port szeregowy (08_NCO/nco_uart.sv)

```
10 module nco_uart #(
11     parameter F = 8000000,
12     parameter BAUD = 115200,
13     parameter modN = 8,
14     parameter ncol = 1000,
15     parameter sinN = 7
16 ) (
17     input wire clk,
18     input wire rst,
19     input wire rx,
20     output logic pwma,
21     output logic pwmb
22 );
23 StreamBus #(.N(modN)) bus_mod (.clk(clk), .rst(rst));
24 StreamBus #(.N(sinN)) bus_sin (.clk(clk), .rst(rst));
25 wire pwm;
26
27 uart_rx #(.F(F), .BAUD(BAUD)) urx (
28     .rx(rx),
29     .bus(bus_mod));
30
31 nco #(.modN(modN), .L(ncol), .sinN(sinN),
32     .file_name("top_lut.mem")) nco_i (
33     .ce(1'b1),
34     .period(bus_mod),
35     .out(bus_sin));
36
37 pwm #(.MAX(2**sinN-1)) pwm_i (
38     .bus(bus_sin),
39     .ce(1'b1),
40     .pwm(pwm));
41
42 always_ff @(posedge clk) begin
43     pwma <= pwm;
44     pwmb <= ~pwm;
45 end
```

pwma oraz jego negacja pwmb. Dzięki temu, gdy podłączymy do nich membranę piezo, uzyskamy na niej dwa razy większą amplitudę, niż gdybyśmy jedno z jej wejść połączyli z masą.

Przejdźmy teraz do implementacji, którą pokazano na listingu 7. Na samym początku mamy listę parametrów konfiguracyjnych działania modułu. Pierwszym z nich jest *F*, czyli częstotliwość naszego zegara, a drugim prędkość transmisji poprzez UART. Trzy kolejne parametry konfigurują sygnał sinusoidalny. Pierwszy z nich *modN* to liczba bitów przeznaczonych na zadaną wartość okresu. Liczba 8 wynika z zastosowanego portu szeregowego. Kolejne dwa to liczba próbek, dla których zapisano wartość sinusa (*ncol*) oraz liczba bitów na wyjściu (*sinN*), która równocześnie określa rozdzielczość sygnału PWM.

Policzmy, jakie parametry sygnału uzyskamy. Zaczniemy od obliczenia częstotliwości:

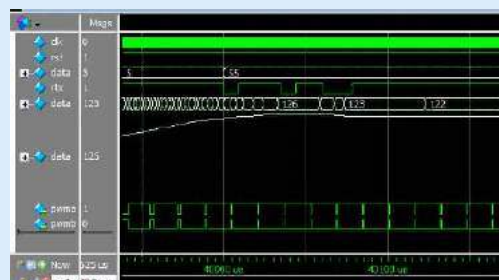
$$f_{out} = \frac{f}{pL} = \frac{8000000}{1000p} \text{ Hz} = \frac{8000}{p} \text{ Hz}$$

Dla *modN* równego 8 nastawa *p* może przyjmować wartości od 2 do 255. Oznacza to, że maksymalna częstotliwość to 4 kHz, a minimalna około 31,37 Hz. Jednak jest jeszcze drugie ograniczenie związane z częstotliwością wyjściowego sygnału PWM. Jest ona równa:

$$f_{pwm} = \frac{f}{2^{\sin N} - 1} = \frac{8000000}{2^7 - 1} \text{ Hz} = 63 \text{ kHz}$$

Oznacza to, że dla częstotliwości sygnału wyjściowego o częstotliwości 4 kHz wyjściowy sygnał będzie składał się tylko z 16 różnych stanów. Natomiast wszystkie zapisane próbki będą użyte dopiero dla częstotliwości niższych niż 600 Hz.

Do sprawdzenia działania układu przygotowany został testbench (08_NCO/nco_uart_tb.sv). Przez port szeregowy wysyła nastawy



Rysunek 11. Zbliżenie pokazujące transmisję przez port szeregowy

od 5 do 255 ze skokiem co 50. Po wysłaniu każdej wartości odczytuje 40 ms. Łączny czas symulacji wyniesie nieco ponad ćwierć sekundy, dlatego jej przebieg zajmie dłuższą chwilę. Możemy ją uruchomić za pomocą polecenia:

`do nco_uart_sim.do`

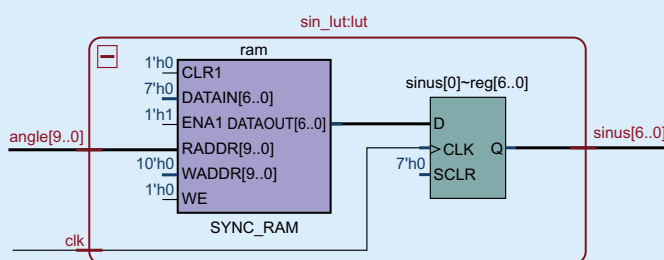
Przy okazji wygenerujemy także wsad dla pamięci. Należy pamiętać, że jeżeli chcemy zmienić jej zawartość, musimy wywołać symulację. Jej wynik zaprezentowany jest na rysunku 10. W trzecim wierszu widzimy wartość zadaną (podpisaną jako *data*). Liniję niżej (*rtx*) znajduje się transmisja przez port szeregowy. W kolejnych dwóch liniach znajdziemy sygnał sinusoidalny. Ostatnie dwa wiersze to wyjściowy sygnał *pwma* i jego negacja *pwmb*.

Na rysunku 11 widoczne jest powiększenie fragmentu, na którym następuje transmisja. W większym powiększeniu widzimy też schodki w sygnale „analogowym” oraz kształt przebiegu PWM.

Budujemy

Znamy już wynik symulacji. Zostało więc uruchomienie projektu w sprzęcie. W tym celu przygotowany został projekt 08_NCO/08_nco.qpf. Otwórzmy go w środowisku Quartus i zbudujmy projekt, klikając *Compile Design*. Zanim przejdziemy do testów, sprawdźmy, w jaki sposób zrealizowana została pamięć. Najpierw sprawdzimy w widoku RTL Viewer. Jego fragment został pokazany na rysunku 12. Widzimy, że pojawił się nowy blok podpisany jako SYNC_RAM. Mamy dostępne zarówno adres i dane wejściowe, jak i wyjściowe. Te pierwsze w naszym przypadku nie są używane. Także wejście enable jest na stałe ustawione na 1. Następnie wyjście z pamięci jest zatrzaśnięte w rejestrze.

W kolejnym widoku: Technology Map Viewer (Post-Mapping) zobaczymy obraz podobny do tego z rysunku 13. Tym razem blok pamięci został rozbity na 7 blozków o rozmiarze jednego bita.



Rysunek 12. Blok pamięci w widoku RTL Viewer

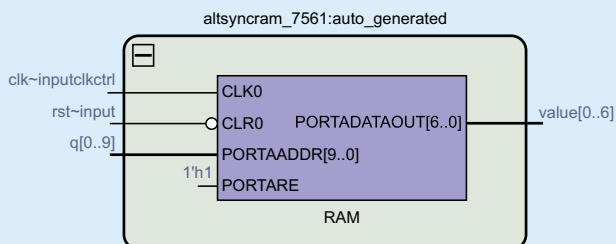
Natomiast rejestr wyjściowy został już włączony do środka modułu pamięci.

Kolejny widok to: Technology Map Viewer (Post-Fitting) (**rysunek 14**). Tutaj elementy zostały zmapowane na moduły pamięci dostępne w strukturze układu FPGA. Gdy klikniemy na prawym przyciskiem myszy i przejdziemy do widoku Resource Property Editor, zobaczymy schemat bloku w pełnej okazałości (podobny do pokazanego na **rysunku 15**). Jest to dwuportowa pamięć RAM o rozmiarze 9216 bitów. W dokumentacji taki blok nosi nazwę M9K. Jego dokładny opis znajdziemy w [2]. W naszym projekcie używamy tylko 7000 bitów. Pamięć można skonfigurować dla różnych rozmiarów słowa od 8192 słów jednobitowych do 512 słów 18-bitowych. Dodatkowo szerokość portu do odczytu może być różna od tego do zapisu.

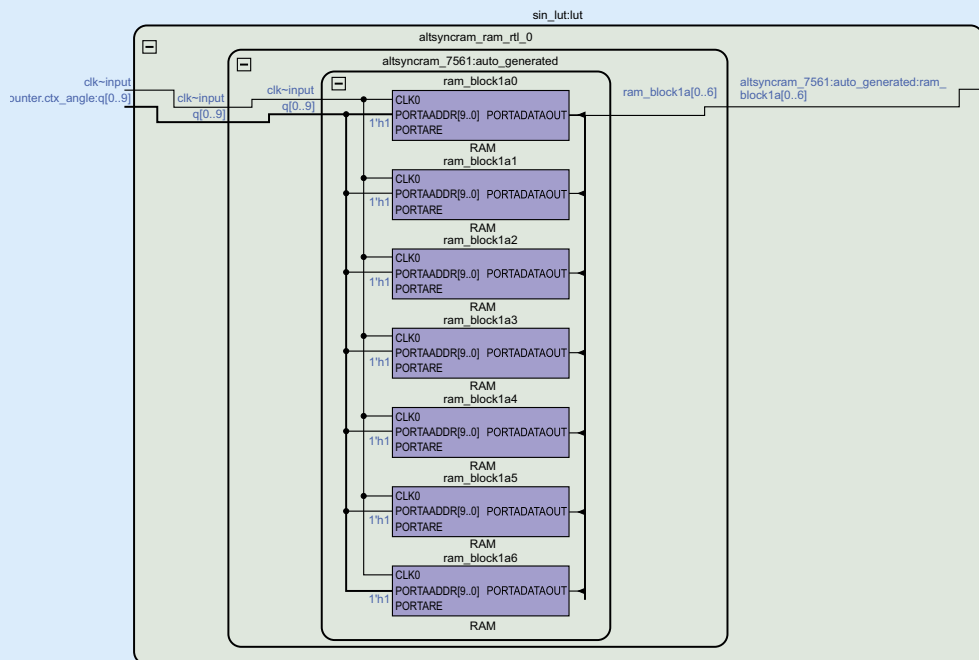
Na końcu sprawdzimy jeszcze lokalizację modułu pamięci w strukturze układu. Otwieramy okno Chip Planner. Bloki RAM są oznaczone kolorem zielonym. Widzimy, że są zlokalizowane w trzech kolumnach.

Pozostaje jeszcze jeden szczegół „implementacyjny”. Domyślnie pamięć nie jest inicjalizowana. Jednak my chcemy, aby pracowała jako pamięć ROM z wgraną funkcją sinus. Musimy więc skonfigurować odpowiednią opcję w projekcie. W tym celu z menu *Assignments* wybieramy opcję *Device...*, co zostało pokazane na **rysunku 17**. Pojawi się okno podobne do tego z **rysunku 18**. Klikamy przycisk *Device and Pin Options*. Pojawi się kolejny ekran pokazany na **rysunku 19**. W lewym panelu wybieramy opcję *Configuration*, a następnie w opcji *Configuration scheme* z listy rozwijanej wybieramy opcję *Single Uncompressed Image with Memory Initialization* (pojedynczy, nieskompresowany obraz z inicjalizacją pamięci). Zatwierdzamy nasz wybór, klikając w obydwu oknach przycisk OK.

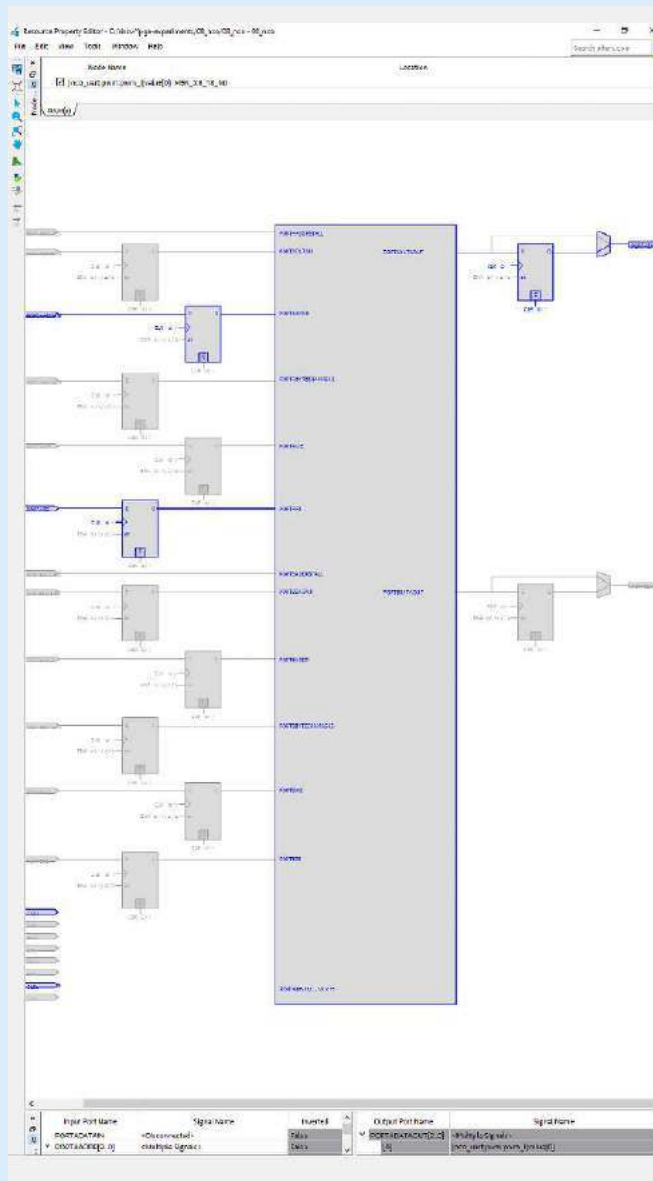
Teraz już możemy zbudować projekt i wgrać konfigurację do układu FPGA. Najprościej sprawdzić działanie za pomocą oscyloskopu. Schemat układu doświadczalnego pokazano na **rysunku 20**. Kanał pierwszy oscyloskopu został podłączony bezpośrednio do pinu 88 układu FPGA, czyli wyjścia *pwma*. Następnie za nim został umieszczony dolnoprzepustowy filtr RC, który wygładza sygnał PWM. Jego częstotliwość graniczna to około 1,6 kHz. Na **rysunku 21** pokazano przykładowy przebieg uzyskany dla częstotliwości 400 Hz. Widać na nim przesunięcie fazy pomiędzy sygnałem PWM a sinusoidalnym, wprowadzone przez filtr RC. Demonstrację działania projektu dla różnych nastaw prezentuje film dostępny w serwisie YouTube [3].



Rysunek 14. Blok pamięci w widoku Technology Map Viewer (Post-Fitting)



Rysunek 13. Blok pamięci w widoku Technology Map Viewer (Post-Mapping)

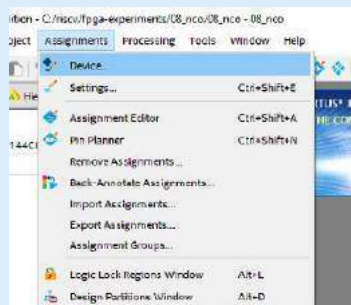


Rysunek 15. Blok pamięci w Resource Property Editor

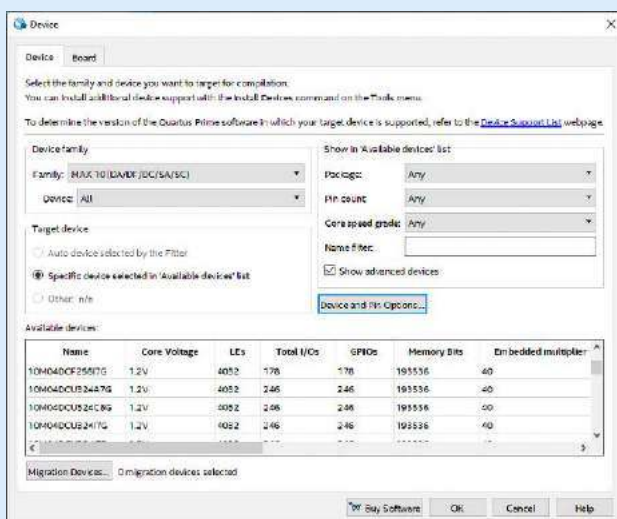


Rysunek 16. Położenie bloków pamięci w strukturze układu FPGA

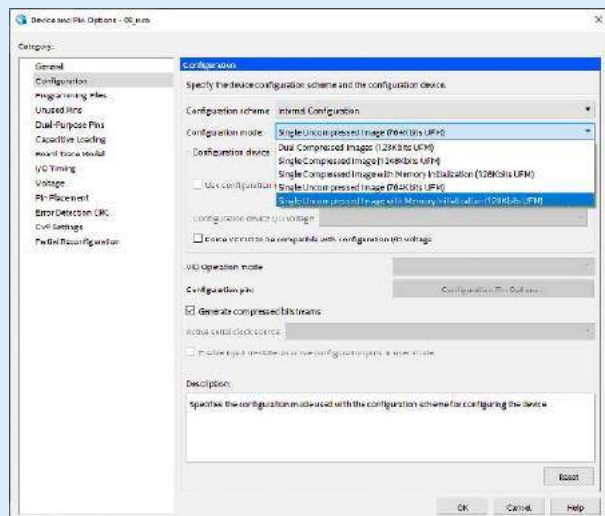
Jeśli nie dysponujemy oscyloskopem, możemy sprawdzić działanie projektu na słuch. Na **rysunku 22** pokazano sposób podłączenia membrany piezo, a **fotografia 1** pokazuje zdjęcie prototypu. Zadając poprzez port szeregowy różne nastawy, usłyszymy zmieniające się częstotliwości dźwięku.



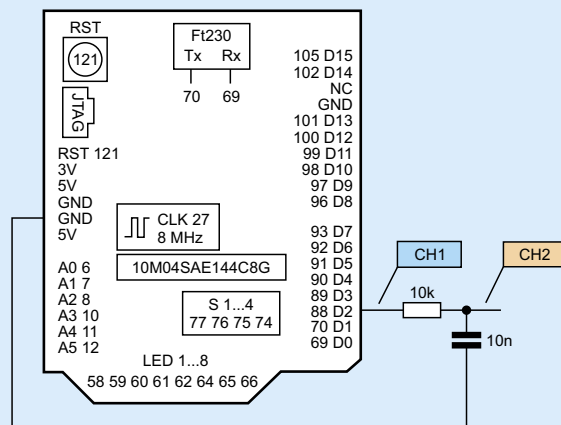
Rysunek 17. Z menu Assignments wybieramy opcję Device



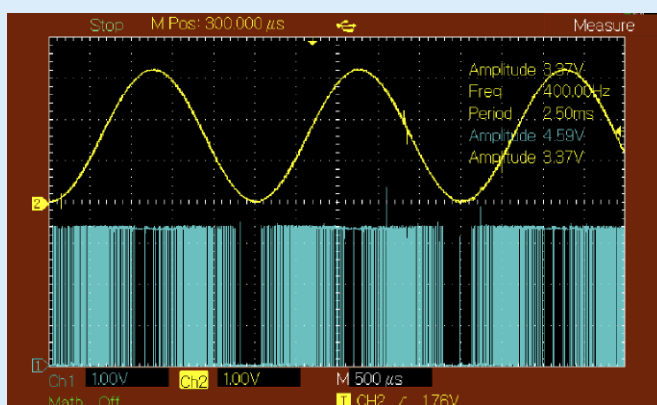
Rysunek 18. Okno Device



Rysunek 19. Okno Device and Pin Options



Rysunek 20. Układ doświadczalny

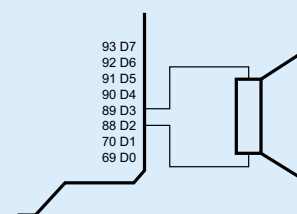


Rysunek 21. Sygnał o częstotliwości 400 Hz zarejestrowany na oscyloskopie

Podsumowanie

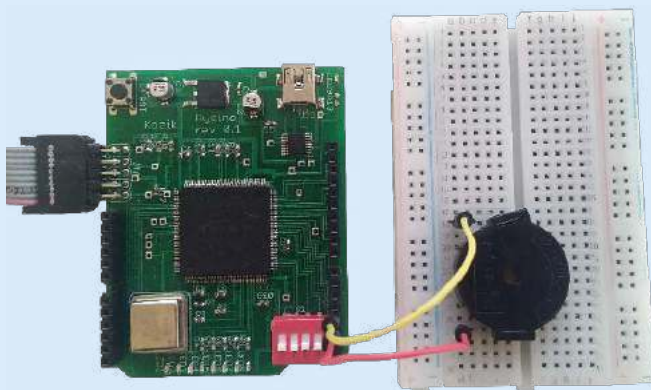
W tym odcinku zbudowaliśmy oscylator sterowany cyfrowo. Przy okazji poznaliśmy kolejny element składowy układu FPGA: blok pamięci RAM. W następnej części zajmiemy się kolejnym modulem, jakim jest przetwornik analogowo-cyfrowy.

Rafał Kozik
rafkozik@gmail.com



Rysunek 22. Sposób podłączenia przetwornika piezo

- [1] Using a CORDIC to calculate sines and cosines in an FPGA, <https://bit.ly/2A95m82>.
- [2] Intel MAX 10 Embedded Memory Overview, Intel 2018, <https://intel.ly/3c0oUbs>.
- [3] Film demonstrujący działanie projektu <https://bit.ly/3c9JLcG>.



Fotografia 1. Przetwornik piezo podłączony do płytki Rysino



Systemy dla Internetu Rzeczy (38)

Cyfrowe czujniki pyłów



Pomiar poziomu zanieczyszczenia powietrza pyłami staje się bardzo istotnym zagadnieniem zdrowotnym. Pojawienie się niedrogich czujników pyłów spowodowało ich szerokie zastosowanie w systemach Internetu Rzeczy. Podzespoły te są intensywnie rozwijane, niektóre serie czujników doszły już do siódmej generacji. Szczególnie dużo jest producentów dalekowschodnich, których produkty charakteryzują się niską ceną i szczątkową dokumentacją. Według oceny projektu World Air Quality Index większość tanich czujników pyłów jest zdecydowanie bezużytecznymi zabawkami, ale niektóre nowsze konstrukcje zaczynają osiągać wyniki porównywalne z profesjonalnymi monitorami.

Fatalna jakość powietrza w Warszawie. „Zamykamy okna!”, Metro Warszawa, 05.04.2020 11:44



Jak podaje portal wp.pl: „Koronawirus może być większym zagrożeniem, niż dotychczas przypuszczaliśmy. Naukowcom udało się potwierdzić, że wirus może znajdować się w pyłe zawieszonym, który tym samym potencjalnie sprzyja szerzeniu się koronawirusa. Choć z jednej strony badacze mówią, że obecność koronawirusa w pyłe zawieszonym nie jest jednoznaczna z możliwością zarażenia się w ten sposób, to z drugiej zalecają, by poświęcić temu problemowi więcej uwagi i zadbać o minimalizację szkodliwych pyłów w powietrzu. Te koniec końców i tak są szkodliwe dla człowieka i jego układu oddechowego, niezależnie od ewentualnej obecności wirusa”.

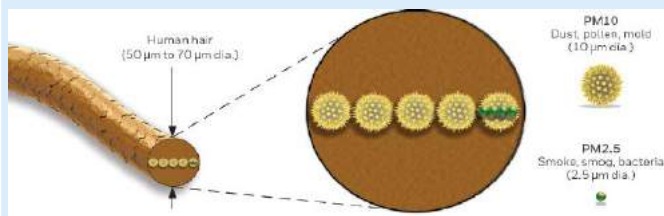
Typowe czujniki pyłów różnych producentów pokazane na rysunku tytułowym były omówione w przeglądzie technologicznym zrealizowanym przez firmę System Plus Consulting w roku 2019 [3]. To porównanie czujników jest bardzo szczegółowe (z zastosowaniem

techniki revers engineering) oraz bardzo drogie. Są też inne porównania, ale niezbyt aktualne. Earth Sensing Labs z projektu World Air Quality Index prowadzi od wielu lat badania nad czujnikami jakości powietrza i eksperymenty z danymi zbieranymi w czasie rzeczywistym [4]. Swoistym poligonem pomiarowym jest Pekin.

W artykule zostały zaprezentowane wszystkie czujniki z rysunku tytułowego oraz kilka zupełnie nowych. Są to modele niedrogie, wyposażone w cyfrowy interfejs komunikacyjny z protokołem UART, I²C oraz czasami PWM. Dla niektórych udało się pokazać zasadę działania, schematy blokowe oraz zajrzeć do wnętrza. Dobrym sposobem wyboru elementów jest porównanie parametrów. Dla wszystkich czujników zostały podane istotne parametry, choć dla niektórych było bardzo trudno je odnaleźć. Prezentowane czujniki są raczej przeznaczone do pracy w pomieszczeniach, przy ograniczonym zakresie temperatury i wilgotności.

Wykrywanie cząstek stałych w pomiarach jakości powietrza

Materiał w postaci cząstek, w skrócie PM (*Particulate Matter*), jest mieszaniną unoszących się w powietrzu cząstek stałych i kropelek cieczy, które mogą być wdychane i powodować poważne problemy zdrowotne. PM obejmuje cząstki o różnych właściwościach – tj. kształcie, właściwościach optycznych, wielkości i składzie – ale najczęściej dzieli się je na podkategorie na podstawie informacji



Rysunek 1. Porównanie rozmiaru cząstek PM10 i PM2.5 oraz włosa ludzkiego [7]

o wielkości cząstek. Różne kategorie cząstek stałych są zwykle określane zgodnie ze wspólną nomenklaturą PM.x, gdzie „x” określa maksymalną średnicę cząstek w mieszaninie cząstek w powietrzu lub aerozolu [1].

Nazewnictwo w tej dziedzinie jest skomplikowane ze względu na to, że dużo terminów jest tłumaczonych bezpośrednio z angielskiego, a terminologia angielska jest stosunkowo mało precyzyjna [2]. Dla przykładu *atmospheric aerosol*, *particulate matter*, *particulates* są używane w angielskim wymiennie. Ostatnio w Polsce, zwłaszcza w dokumentach legislacyjnych, używa się terminu **pyły zawieszone** na określenie wszystkich typów aerozolu atmosferycznego, włączając w to krople siarczanów, cząstki sadzy oraz aerozol soli morskiej. Jednak pyły atmosferyczne (*dust*) w języku angielskim nie określają wszystkich aerozoli atmosferycznych. Pewien problem sprawia fakt, że w języku polskim aerozole są kojarzone z rozpylanymi kropelkami, a pyły są kojarzone w większości z cząstkami stałymi.

Typowa definicja PM obejmuje cząstki o wielkości od 0,1 do 10 mikrometrów. Najczęściej spotykaną klasyfikacją ze względu na wielkość cząstek jest podział na dwie frakcje [2]:

1. PM2.5 – wszystkie aerozole atmosferyczne o wielkości cząstek 2,5 mikrometra lub mniejszej, w skład których wchodzi zwykle stosunkowo reaktywne związki organiczne i nieorganiczne (np. azotan amonu), smog, bakterie, drobny kurz;
2. PM10 – wszystkie cząstki o wielkości 10 mikrometrów lub mniejszej, w skład których wchodzi zwykle stosunkowo obojętne chemicznie związki takie jak krzemionka i tlenki metali, kurz, pyłki roślinne, zarodniki pleśni.

Cząstki PM10 i PM2.5 są niewidoczne gołym okiem. Porównanie rozmiaru cząstek PM10 i PM2.5 oraz włosa ludzkiego (około 60 mikrometrów średnicy) jest pokazane na **rysunku 1**.

Kategorie PM10 i PM2.5 zostały historycznie określone przez różne kraje jako ważne poziomy monitorowania w celu oceny jakości powietrza, którym oddychamy, ponieważ cząsteczki PM10 podrażniają odśloniętą śluzówkę, płuca oraz gardło, a cząstki PM2.5 przenikają się przez płótno do pęcherzyków płucnych.

Nowe kategorie, takie jak PM1.0 i PM4.0, również znajdują zastosowanie w urządzeniach do monitorowania jakości powietrza, ponieważ te nowe dane dostarczają dodatkowych informacji do tradycyjnych poziomów PM10 i PM2.5, umożliwiając lepszą analizę zanieczyszczenia cząsteczkami i konstruowanie nowych urządzeń – określone działania oparte na wykrytym typie aerozolu (np. kurz domowy lub dym) [1].

Im mniejsze są cząstki, tym głębiej mogą przenikać przez nasz układ oddechowy i do krwiobiegu, co stanowi większe zagrożenie dla naszego zdrowia. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) uznała zawieszone w powietrzu cząstki stałe jako czynnik rakotwórczy i jako największe zagrożenie środowiska dla zdrowia. Są one odpowiedzialne za około jednego na dziewięć zgonów rocznie [1].

Historycznie wartości PM były mierzone w $\mu\text{g}/\text{m}^3$ jako „stężenie masowe” (*mass concentration*). Powodem tego jest to, że tradycyjnym i najdokładniejszym sposobem pomiaru PM jest metoda grawimetryczna. Ta procedura wykorzystuje wstępnie zważony filtr do zbierania cząstek otoczenia, które są mechanicznie sortowane na podstawie ich wielkości (np. wpuszczane są wszystkie cząstki

poniżej $2,5 \mu\text{m}$). Na koniec okresu pobierania próbek, zwykle 24 godziny, filtr jest ważony w celu ustalenia całkowitej skumulowanej masy cząstek stałych w μg . Następnie uzyskuje się stężenie masowe, dzieląc wzrost masy filtra przez 24-godzinny całkowity objętość powietrza, które przepłynęło przez filtr, uzyskując wartość w $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Chociaż metody grawimetryczne od dawna są uznawane za najdokładniejszy sposób określania stężenia masy, mają one pewne praktyczne ograniczenia w ich codziennych zastosowaniach: urządzenia są duże, bardzo drogie, wykonują pomiar tylko jednego rodzaju PM, nie jest możliwy pomiar w czasie rzeczywistym oraz nie jest możliwe zliczanie cząstek.

Z tych powodów optyczne liczniki cząstek w czasie rzeczywistym (OPC, *optical particle counters*) stopniowo wkraczają na rynek monitorowania jakości powietrza. Instrumenty te oparte są na różnych zasadach optycznych, zwykle rozpraszania (*scattering*) lub absorpcji, przy czym najczęściej stosuje się rozpraszanie światła. W tych OPC cząstka przechodzi przez światło (zwykle wiązkę laserową) i powoduje rozproszenie (lub absorpcję) przychodzącego światła, które jest następnie wykrywane przez fotodiodę i przekształcane w liczbę cząstek w czasie rzeczywistym i wartości stężenia masy. Wysoka wilgotność powietrza może mieć wpływ na rozmiar detekowanych cząstek.

Wykrywanie optyczne jest obecnie najbardziej rozpowszechnioną techniką ze względu na łatwość użycia i niezrównany stosunek kosztów do wydajności. W ostatnich latach OPC stały się na tyle małe, że można je zintegrować z klimatyzatorami, monitorami jakości powietrza i oczyszczaczami powietrza. Są używane do regulacji i kontroli jakości powietrza w domach, samochodach i na zewnątrz.

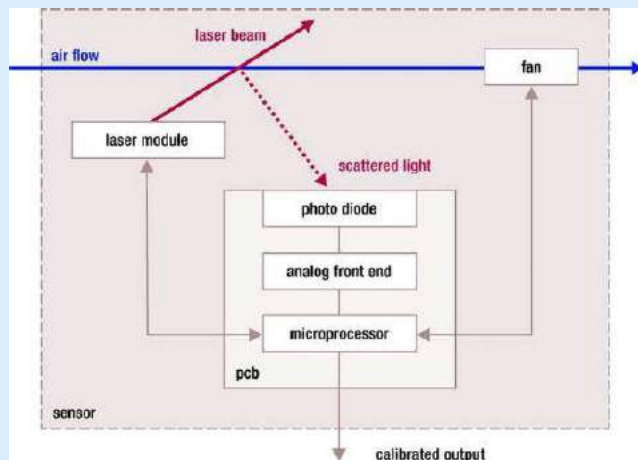
Chociaż podstawowa zasada OPC może początkowo wydawać się prosta z punktu widzenia implementacji, nie wszystkie OPC działają w ten sam sposób, a jakość ich pomiaru zależy w dużej mierze od konstrukcji takich urządzeń. Zasada optyczna działa bardzo dobrze w zliczaniu cząstek, ale ponieważ urządzenia te są używane głównie do szacowania stężenia masy cząstek stałych, będą one podatne na błędy oszacowania ze względu na różne właściwości optyczne cząstek (np. kształt i kolor) i różne gęstości masy. Jakość oszacowania będzie się zatem bardzo różnić w zależności od algorytmu producenta zastosowanego do konwersji zmierzonych sygnału optycznego na stężenie masy PM. Dodatkowo, konstrukcja urządzeń ma bardzo duży wpływ na dokładność i dryft pomiarów, ponieważ cząsteczki mogą łatwo gromadzić się na elementach optycznych (laser, fotodioda, pochłaniacz wiązki) i powodować degradowanie działania.

Czujnik pomiaru pyłów SPS30 firmy Sensirion

SPS30 (*Sensirion Particulate Matter Sensor*) to kompaktowy, wysokiej jakości optyczny czujnik cząstek, który wykorzystuje rozpraszanie laserowe i innowacyjną technologię odporności na zanieczyszczenia firmy Sensirion w celu uzyskania doskonałego określenia przedziałów pomiarowych frakcji pyłów (**fotografia 1**). SPS30 to pierwszy na rynku optyczny licznik cząstek w czasie rzeczywistym i pierwszy na rynku masowy czujnik cząstek stałych, który otrzymał certyfikat MCERTS [5]. Przeszedł testy laboratoryjne i terenowe, w których udowodniono, że spełnia najnowsze europejskie normy jakości powietrza DIN EN 15267.



Fotografia 1. Czujnik SPS30 firmy Sensirion [5]



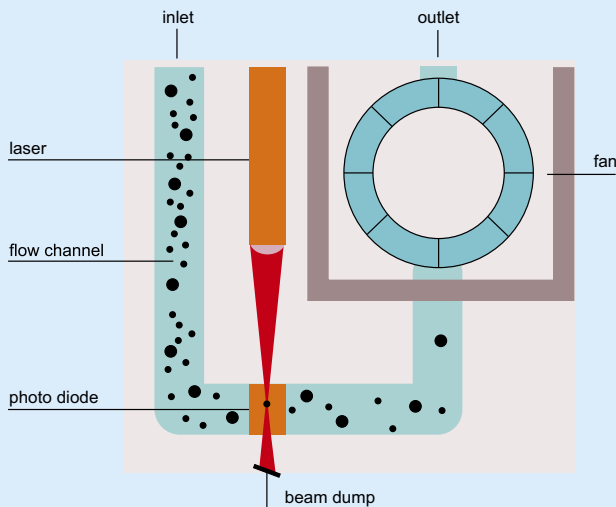
Rysunek 2. Schemat blokowy czujnika SPS30 firmy Sensirion [1]

Parametry czujnika SPS30

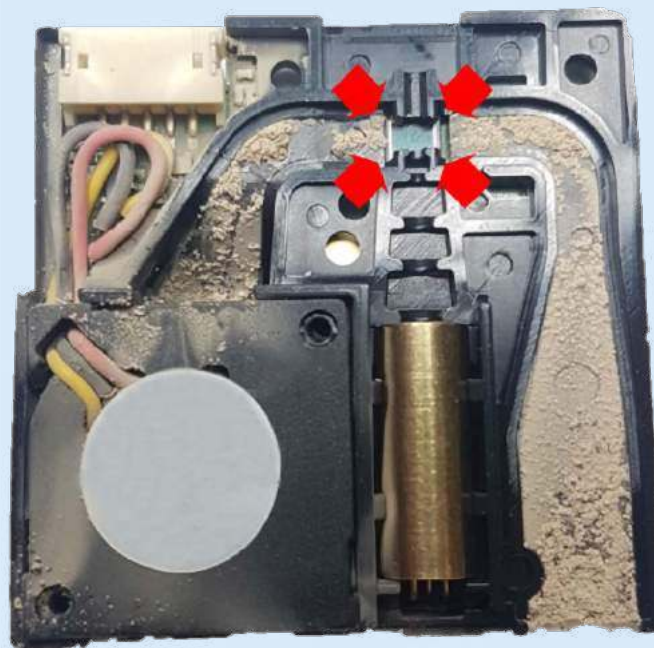
- Zasada działania: Rozpraszanie laserowe
- Przedziały pomiarowe rozmiaru pyłów:
 - *Stężenie masowe: PM1.0, PM2.5, PM4 i PM10
 - *Stężenie liczbowe: PM0.5, PM1.0, PM2.5, PM4 oraz PM10
- Minimalny rozmiar wykrywanych cząstek: 0,3 μm
- Zakres stężenia masy: 1...1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Rozdzielczość stężenia masy: 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Dokładność stężenia masy (dla PM2,5 przy 25°C):
 - $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ przy 0...100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
 - $\pm 10\%$ przy 100...1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Zakres temperatur pracy: -10...+60°C
- Dopuszczalna wilgotność pracy: 0...95%RH (bez kondensacji pary wodnej)
- Minimalny interwał próbkowania: 1 s (tryb ciągły)
- Czas pracy: > 8 lat działania nieprzerwanie 24 godziny na dobę
- Hałas emitowany (0,2 m): 25 dB(A)
- Wymiary: 40,6×40,6×12,2 mm
- Waga: 26 g
- Napięcie zasilania: 4,5...5,5 V
- Średni prąd zasilania (częstotliwości pomiaru 1 Hz): <60 mA
- Maksymalny prąd (pierwsze 200 ms po starcie pomiaru): 80 mA
- Prąd uśpienia: <8 mA
- Interfejs cyfrowy: UART oraz I²C.

Zasada działania czujnika SPS30 z rozpraszaniem laserowym

Zasada działania układu SPS30 firmy Sensirion opiera się na rozpraszaniu laserowym. Kontrolowany przepływ powietrza jest



Rysunek 3. Zasada działania czujnika pyłów SPS30 firmy Sensirion [1]

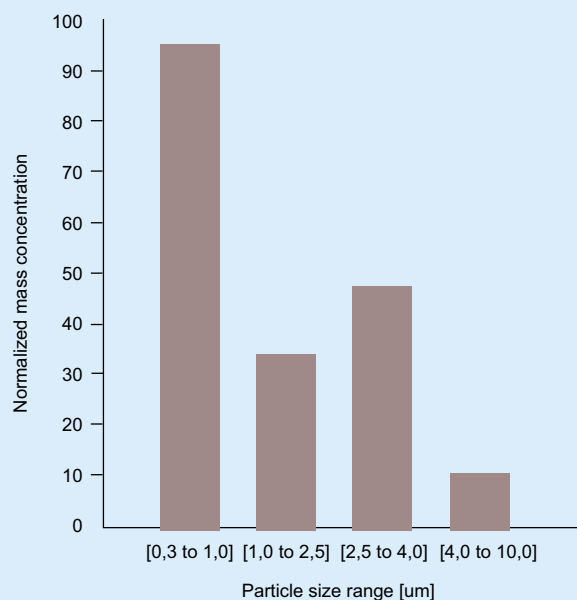


Fotografia 2. Budowa wewnętrzna czujnika SPS30 firmy Sensirion (po teście pracy 5 lat) [1]

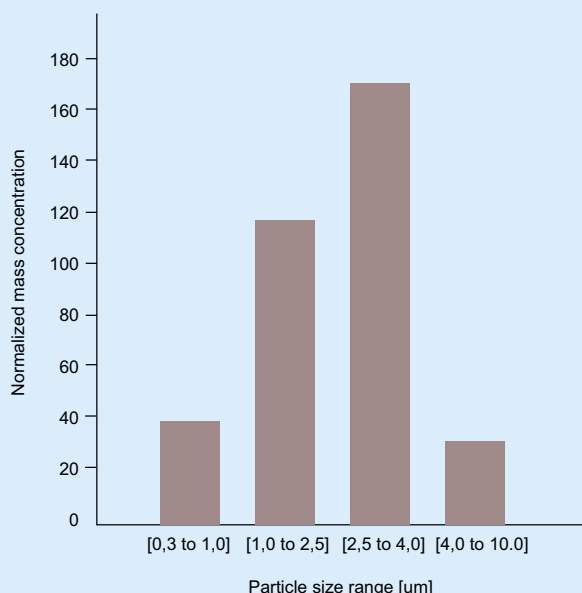
wytwarzany wewnątrz czujnika za pomocą wentylatora. Jak pokazano na **rysunku 2**, wewnętrzna pętla sprzężenia zwrotnego między mikroprocesorem a wentylatorem stabilizuje prędkość wentylatora, a tym samym przepływ powietrza przez czujnik. Pyły środowiska przemieszczają się wewnątrz czujnika od wlotu do wylotu, przenoszone przez przepływ powietrza (czarne kropki na **rysunku 3**). Cząsteczki w strumieniu powietrza przechodzą przez skupioną wiązkę laserową, jak pokazano na czerwono na **rysunku 3**, powodując rozproszenie światła. Rozproszone światło jest następnie wykrywane przez fotodiodę i przekształcane na wyjściowe stężenie masy oraz liczbę cząstek za pomocą zastrzeżonych algorytmów firmy Sensirion, które działają na wewnętrznym mikrokontrolerze. Widok wnętrza czujnika SPS30 został pokazany na **fotografii 2**.

Rozpoznawanie składu cząstek przez czujnik SPS30

Jak wspomniano powyżej, algorytmy producenta, wraz z odpowiednią konstrukcją elektroniki czujnika SPS30, stanowią zasadniczą



Rysunek 4. Przykładowy skład cząstek dymu [1]



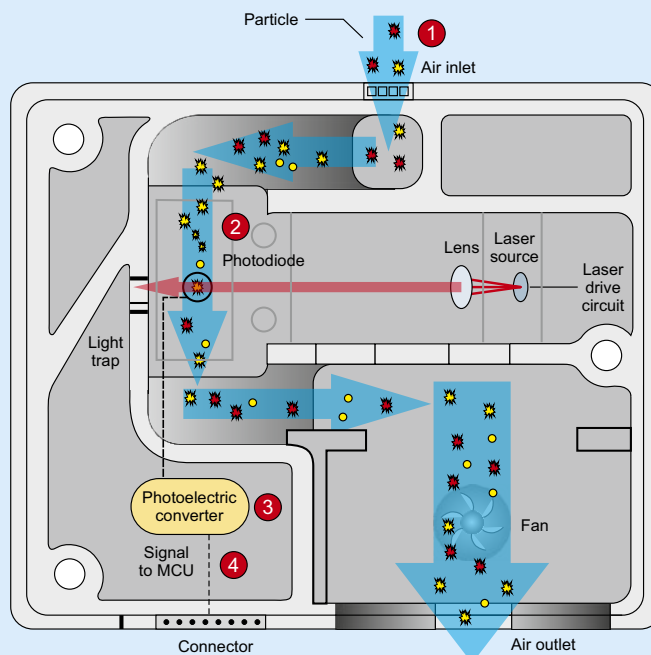
Rysunek 5. Przykładowy skład cząstek ciężkiego pyłu [1]

zaletę w szacowaniu stężenia masy na podstawie wykrytego rozproszonego światła. Większość niedrogich czujników PM na rynku zakłada stałą gęstość masy podczas kalibracji i oblicza stężenie masy poprzez pomnożenie wykrytej liczby cząstek przez tę gęstość masy. To założenie działa tylko wtedy, gdy czujnik mierzy jeden rodzaj cząstek (na przykład dym tytoniowy), ale w rzeczywistości znajdujemy wiele różnych rodzajów cząstek o różnych właściwościach optycznych w życiu codziennym, od „ciężkiego” pyłu domowego (rysunek 5) do „lekkich” cząstek spalania (rysunek 4). Zastrzeżone algorytmy firmy Sensirion wykorzystują zaawansowane podejście, które pozwala na właściwe oszacowanie stężenia masy, niezależnie od mierzonego rodzaju cząstek. Dodatkowo, takie podejście umożliwia prawidłowe oszacowanie przedziału pomiarowego frakcji pyłów. Ponadto, w odróżnieniu od większości najnowocześniejszych konsumenckich czujników PM dostępnych na rynku, zapewniono dodatkowy pomiar frakcji PM4.0.

Zwiększona dokładność dla różnych aerozoli i wyższa liczba przedziałów pomiarowych frakcji pyłów pozwalają użytkownikom opracowywać nowe przypadki użycia w oparciu o rozpoznawanie składu cząstek. Na rysunku 4 oraz rysunku 5 został pokazany praktyczny przykład takiego działania przy użyciu oprogramowania Control Center firmy Sensirion. Wykresy słupkowe pokazują zmierzone w czasie rzeczywistym za pomocą SPS30 przedziały stężenia masy. Na rysunku 4 został pokazany pomiar dymu, wyraźnie bogatszy w mniejsze cząsteczki. Na rysunku 5 został pokazany pomiar pyłu z Arizony, wyraźnie bogatszy w większe cząstki.

Odporność na kurz czujnika SPS30

Standardowy czujnik PM jest bardzo podatny na dryft (zmniejszanie) wartości pomiarowej z powodu gromadzenia się pyłu na kluczowych elementach optycznych urządzenia, a mianowicie na laserze, fotodiodzie i pochłaniaczu wiązki (*beam-dump*), używanego do pochłaniania światła lasera. W oparciu o ponad 20-letnie doświadczenie w projektowaniu czujników przepływu dla kilku wymagających rynków i aplikacji (np. motoryzacyjnych, medycznych, przemysłowych i inteligentnej energii), inżynierowie firmy Sensirion opracowali i zintegrowali innowacyjną i zastrzeżoną technologię ścieżki przepływu w układzie SPS30, która zapobiega gromadzeniu się kurzu i brudu na elementach optycznych. Na fotografii 2 został pokazany wynik testu w warunkach skrajnych, w którym czujnik jest narażony na ekwiwalent pięcioletniej ekspozycji na pył w Pekinie. Wyraźnie widoczna jest czysta komora pomiarowa po teście zaznaczona strzałkami.



Rysunek 6. Zasada działania czujnika pyłów serii HPMA115 firmy Honeywell [6]

Bardzo ładny opis rezultatu rozbierania czujnika SPS30 jest zamieszczony w Internecie [19]. Pod zieloną plastikową pokrywką (fotografia 1) jest umieszczony filtr Hepa. Poprzez niego jest zasysane czyste powietrze, które przez otwory w płytce drukowanej jest podawane na fotodiodę. W ten sposób pozostaje ona czysta. Następnym istotnym elementem konstrukcyjnym jest kształt gładkiego kanału dolotowego powietrza (fotografia 2, po prawej), który wymusza laminarny przepływ powietrza w komorze pomiarowej. Zdecydowanie poprawia to dokładność pomiaru pojedynczych cząstek.

Czujniki serii HPMA115 firmy Honeywell

HPM Series Partic Matter Sensor to czujniki laserowe, które wykrywają cząsteczki za pomocą rozpraszania światła (rysunek 6). Laserowe źródło światła oświetla wiązką cząstki (1), gdy te przelatują przez komorę wykrywania (2). Światło odbija się od cząstek i jest rejestrowane przez detektor światła. Światło jest następnie przekształcane na sygnał elektryczny (3) w celu obliczenia stężenia cząstek (4). Zmiany natężenia światła rejestrowane przez fotodetektor są analizowane przez inteligentny algorytm firmowy w celu ustalenia stężenia masowego dla poszczególnych wielkości cząstek.

Dostępne są trzy czujniki w serii HPM:

- HPMA115S0-XXX – standardowy (duży) rozmiar 43×36×23,7 mm i pomiar tylko PM2.5.
- HPMA115C0-003 – kompaktowy rozmiar 44×36×12 mm, wlot i wylot powietrza po tej samej stronie obudowy.
- HPMA115C0-004 – Kompaktowy rozmiar, takie same parametry jak modelu 003, wlot i wylot powietrza po przeciwnej stronie obudowy.
- HPMA115C0-003/004 – czujnik cząstek stałych o kompaktowym rozmiarze, z wyjściem UART. Układ jest fabrycznie w pełni skalibrowany, ma wykonanie przemysłowe z dobrym zabezpieczeniem elektromagnetycznym.

Parametry czujnika HPMA115C0

- Zasada działania: Rozpraszanie laserowe
- Przedziały pomiarowe rozmiaru pyłów: Stężenie masowe: PM1.0, PM2.5, PM4 i PM10
- Zakres stężenia masy: 0...1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Dokładność stężenia masy:

- dla zakresu $0...1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$: $\pm 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM2.5), $\pm 25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM1.0, PM4.0, PM10)
- dla zakresu $100...1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$: $\pm 15\%$ (PM2.5), $\pm 25\%$ (PM1.0, PM4.0, PM10)
- Zakres temperaturowy pracy: $-20...+70^\circ\text{C}$
- Dopuszczalna wilgotność pracy: 0 to 95% RH (bez kondensacji pary wodnej)
- Czas reakcji: $< 6 \text{ s}$
- Czas pracy: 10 lat działania ciągłego
- Wymiary: $44 \times 36 \times 12 \text{ mm}$
- Napięcie zasilania: $5 \text{ V} \pm 0,2 \text{ V}$
- Średni prąd zasilania: $< 80 \text{ mA}$
- Maksymalny prąd włączania: 600 mA
- Prąd uśpienia: $< 20 \text{ mA}$
- Interfejs cyfrowy: UART.

Czujniki serii SDS firmy Nova Fitness

Czujnik SDS 011 jest całkiem nowym czujnikiem jakości powietrza opracowanym przez Nova Fitness, firmę wydzieloną z uniwersytetu Jinan (w Shandong). Ze względu na swój rozmiar jest prawdopodobnie jednym z najlepszych czujników pod względem dokładności. Gdy konstrukcja innych czujników zwykle koncentruje się na zmniejszaniu ich rozmiarów, to w przypadku czujnika SDS011 zdecydowano się na kompromis w zakresie wielkości, który pozwala na użycie większego wentylatora. Im większy wentylator, tym lepsza jakość. Następną wersją jest czujnik SDS018 o parametrach bardzo podobnych przy obniżonym poborze mocy podczas pracy. Najnowsza wersja nazywa się SDS21 i ma zmniejszoną obudowę do $42,5 \times 32 \times 24,5 \text{ mm}$ oraz te same parametry.

Czujnik SDS011 firmy Nova Fitness

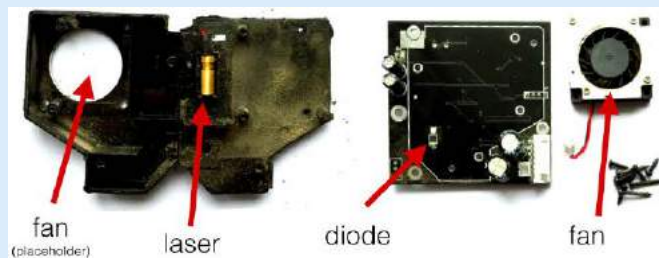
Nova Fitness SDS011 to laserowy czujnik zanieczyszczeń powietrza cząsteczkami PM2.5 oraz PM10 [8]. Pozwala na precyzyjną analizę ilości zanieczyszczeń w otoczeniu, ma niewielkie wymiary i wbudowany cichy wentylator przetłaczający (fotografia 3). Dane wyprowadzane są na interfejs UART oraz za pośrednictwem sygnału PWM.

Czujnik jest wyposażony w wysokiej klasy diodę laserową, która ma żywotność określoną na około 8000 roboczogodzin. W trybie standardowym (czasie rzeczywistym) czujnik dokonuje pomiaru co 1 sekundę, dioda laserowa oraz wentylator pracują cały czas. Czujnik można wprowadzić w tryb uśpienia, w którym dioda i wentylator będą wyłączane na określony czas, pozwoli to znacznie wydłużyć żywotność lasera oraz wentylatora.

Czujnik SDS011 pozwala na podłączenie wlotu powietrza wężykiem. Wedle specyfikacji zalecany jest przewód o średnicy wewnętrznej 6 mm, zewnętrznej 8 mm. Maksymalna jego długość może wynosić 1 m. Jednakże im jest on krótszy, tym lepiej.



Fotografia 3. Czujnik SDS011 firmy Nova Fitness [9]



Rysunek 7. Budowa wewnętrzna czujnika SDS011 firmy Nova Fitness [10]

SDS011 ma sprytną konstrukcję z wykorzystaniem płytki drukowanej jako jednej strony obudowy (rysunek 7). Fotodiody jest zamontowana po stronie płytki drukowanej, jest to konieczne, ponieważ należy unikać wszelkiego szumu między diodą i wzmacniaczem niskoszumowym. Laser jest zamontowany na plastikowym pudełku i podłączony do PCB za pomocą przewodu. Z przodu znajduje się wentylator (fan), który zasysa powietrze i tym samym kieruje cząsteczki przez labirynt obok diody laserowej. Pomiar odbywa się metodą zwaną rozpraszaniem laserowym [10].

Największym problemem związanym z tą konstrukcją jest to, że cały czujnik jest bardzo zakurzony, jak pokazano na rysunku 7 po ponad 6 miesiącach ciągłej pracy. Nie jest to wcale takie złe, ponieważ pył nie gromadził się na diodzie ani na froncie lasera. Jeśli chodzi o wentylator, gromadzenie się pyłu jest „normalnym zachowaniem” widocznym również w innych konstrukcjach.

Parametry czujnika SDS011

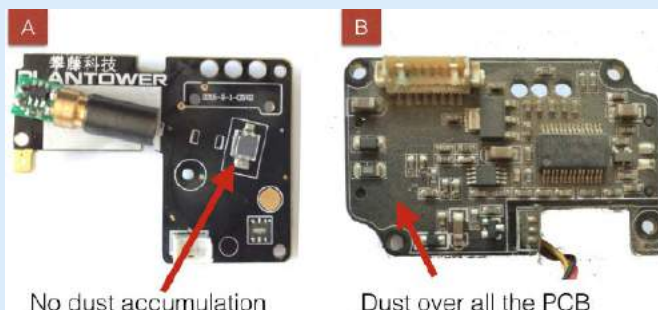
- Zasada działania: Rozpraszanie laserowe
- Przedziały pomiarowe rozmiaru pyłów: stężenie masowe PM2.5 i PM10
- Minimalny rozmiar wykrywanych cząstek: $0,3 \mu\text{m}$
- Zakres stężenia masy: $1...999,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Rozdzielczość stężenia masy: $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Skuteczność detekcji: $70\% @ 0,3 \mu\text{m}$, $98\% @ 0,5 \mu\text{m}$
- Maksymalny błąd względny: $\pm 15\%$ i $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Dokładność pomiaru: 70% dla $0,3 \mu\text{m}$; 98% dla $0,5 \mu\text{m}$
- Zakres temperaturowy pracy: $-20...50^\circ\text{C}$
- Dopuszczalna wilgotność pracy: $0...70\%$ RH (bez kondensacji pary wodnej)
- Częstotliwość pomiarów: 1 Hz
- Czas odpowiedzi: 1 s
- Wymiary: $71 \times 70 \times 23 \text{ mm}$
- Waga: 26 g
- Napięcie zasilania: 5 V ($4,7...5,3 \text{ V}$)
- Pobór prądu (praca): $70 \text{ mA} \pm 10 \text{ mA}$
- Pobór prądu (uśpienie lasera i wentylatora): $< 4 \text{ mA}$
- Maksymalny pobór prądu w trakcie pracy: 220 mA
- Pobór prądu w trakcie spoczynku: 2 mA
- Interfejs cyfrowy: UART oraz PWM.

Czujniki serii PMS firmy Plantower

Chińska firma Plantower produkuje czujniki pyłów coraz nowszych generacji. Najnowszy jest czujnik PMS7003 generacji siódmej. Popularne są czujniki poprzednich generacji np. PMS5003 o nieco większej obudowie $50 \times 38 \times 21 \text{ mm}$ oraz podobnych parametrach.

PMS7003 firmy Plantower – laserowy czujnik zanieczyszczeń powietrza cząsteczkami PM1.0, PM2.5 oraz PM10. Pozwala na precyzyjną analizę ilości zanieczyszczeń w otoczeniu, ma niewielkie wymiary i wbudowany cichy wentylator przetłaczający [11].

Zdjęcia na rysunku 8 pochodzą z PMS5003 działającego przez kilka miesięcy na zewnątrz w trybie ciągłym [12]. Firmie Plantower udało się wykonać całkiem niezłą konstrukcję mechaniczną, która zapobiega gromadzeniu się pyłu na przedniej stronie płytki



Rysunek 8. Widok wnętrza czujnika PMS5003 firmy Plantower [12]

drukowanej (rysunek A), gdzie zamontowano laser i diodę. Gwarantuje to dobrą żywotność i dokładność danych w czasie.

Parametry czujnika PMS 7003

- Zasada działania: Rozpraszanie laserowe
- Mierzone parametry: Stężenie masowe PM1.0, PM2.5 i PM10
- Zakres pomiarów: 0...999,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Minimalny wykrywalny rozmiar cząstki: 0,3 μm
- Maksymalny błąd względny: $\pm 15\%$ i $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Skuteczność detekcji: 50% @ 0,3 μm , 98% $\geq 0,5 \mu\text{m}$
- Zakres temperaturowy pracy: $-10...60^\circ\text{C}$
- Dopuszczalna wilgotność pracy: 0...99%RH (bez kondensacji pary wodnej)
- Napięcie zasilania: 5 V
- Napięcie interfejsu: 3,3 V
- Maksymalny pobór prądu w trakcie pracy: 100 mA
- Pobór prądu (tryb uśpienia): $<200 \mu\text{A}$
- Czas odpowiedzi: 1 s
- Częstotliwość pomiarów: 1 Hz
- Wymiary: 48×37×12 mm
- Waga: 27 g
- Interfejs cyfrowy: UART.

Czujniki serii Telaire Dust Sensors firmy Amphenol

Firma Amphenol oferuje wiele czujników w serii Telaire w tym czujniki CO_2 , wilgotności względnej oraz pyłów. Czujniki pyłu obejmują układy z wyjściem PWM lub UART. Produkty Telaire są stosowane w instalacjach wentylacyjnych budynków komercyjnych i mieszkalnych, urządzeniach zapewniających jakość powietrza konsumpcyjnego w domu i kontrolujących warunki jakości powietrza w samochodach.

Czujnik Telaire SM-UART-04L – to laserowy czujnik cząstek stałych PM2.5. Wykrywa stężenie cząstek pyłu w powietrzu za pomocą optycznej metody wykrywania [18]. Laserowa dioda elektroluminescencyjna (laserowa dioda LED) i czujnik fotoelektryczny

są umieszczone optycznie w urządzeniu (fotografia 4). Czujnik fotoelektryczny wykrywa odbite światło laserowe LED przez cząsteczki kurzu w powietrzu. Czujnik pyłu może wykryć małe cząsteczki z dużego kurzu domowego na podstawie impulsu sygnału wyjściowego.

Parametry czujnika SM-UART-04L

- Zasada działania: Rozpraszanie laserowe
- Mierzone parametry: Stężenie masowe PM2.5 (PM10 wyliczany)
- Zakres pomiarów: 0...999,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Rozdzielczość stężenia masy: 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Maksymalny błąd pomiaru: $\pm 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1...100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), $\pm 10\%$ (100 ~999 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
- Skuteczność detekcji: 50% @ 0,3 μm , 98% $\geq 0,5 \mu\text{m}$
- Zakres temperaturowy pracy: $-10...50^\circ\text{C}$
- Dopuszczalna wilgotność pracy: 0...95% RH (bez kondensacji pary wodnej)
- Napięcie zasilania: 5 V ($\pm 0,2$ V)
- Pobór prądu w trakcie pracy: 60 mA (typ.), 100 mA max.
- Pobór prądu (tryb uśpienia): $<200 \mu\text{A}$
- Czas odpowiedzi: 1 s
- Czas nagrzewania: 5 s
- Czas pracy (przed ponowną kalibracją): 40000 godz. (średnio)
- Częstotliwość pomiarów: 1 Hz
- Wymiary: 46×37×12 mm
- Waga: 27 g
- Interfejs cyfrowy: UART (3,3 V).

Czujniki serii GP2Y10xxAU0F firmy Sharp

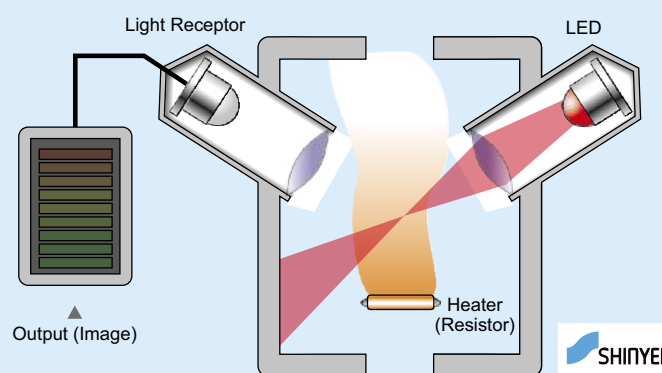
Czujnik GP2Y1010AU0F firmy Sharp jest nietypowy w zestawie, ponieważ ma tylko wyjście analogowe sygnału. Jednak jest to jeden z pierwszych czujników pyłów, nadal chętnie stosowany i ma wiele odmian nowszych generacji [13]. Jest oferowanych wiele wersji z numerami 1010, 1012, 1014 (wyjście analogowe) oraz 1023, 1026, 1030, 1050, 1051 z wyjściem cyfrowym. Wersja 10151 podaje pomiary PM2.5 [14]. Na portalu Alibaba można zakupić zestawy czujnika z serii GP2Y10xx uzupełnionego o układ mikroprocesorowy z wyświetlaczem, co umożliwia konstrukcję całego urządzenia.

Zasada działania czujników serii GP2Y10xx z rozpraszaniem podczerwonym IRED

GP2Y10xxAU0F jest optycznym czujnikiem jakości powietrza, zaprojektowanym do wykrywania bardzo drobnych cząstek. Dioda emitująca podczerwień i fototranzystor są umieszczone po przekątnej (rysunek 9). Światło emitowane przez diodę podczerwoną (IRED) odbija się od cząstek przechodzących przez komorę pomiarową. Jest ono odbierane przez fotodiodę (PD) i przekształcane w napięcie. Napięcie jest podawane na wzmacniacz (rysunek 10). Czułość zależy od rezystora R_s w obwodzie wzmacniacza. Czujnik doskonale nadaje



Fotografia 4. Czujnik Telaire SM-UART-04L firmy Amphenol [18]



Rysunek 9. Zasada działania czujnika pyłów GP2Y1010AU0F firmy Sharp [13]

się do wykrywania np. dymu z papierosa i jest powszechnie używany w systemach oczyszczania powietrza.

Parametry czujnika GP2Y1010AU0F

- Zasada działania: Rozpraszanie podczerwone IRED
- Przedziały pomiarowe rozmiaru pyłów: Wykrywa cząsteczki o średnicy $>0,8 \mu\text{m}$
- Zakres stężenia masy: $0...600 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Rozdzielczość stężenia masy: $0,5 \text{ V}/(100 \mu\text{g}/\text{m}^3)$ typ.
- Zakres temperaturowy pracy: $-10...+60^\circ\text{C}$
- Napięcie zasilania: $5 \text{ V} \pm 0,5 \text{ V}$
- Średni prąd zasilania: 11 mA typ.
- Prąd diody IRED LED: 10 mA typ.
- Maksymalny prąd: 20 mA
- Interfejs cyfrowy: brak, wyjście analogowe
- Wymiary: $46 \times 30 \times 17,6 \text{ mm}$.

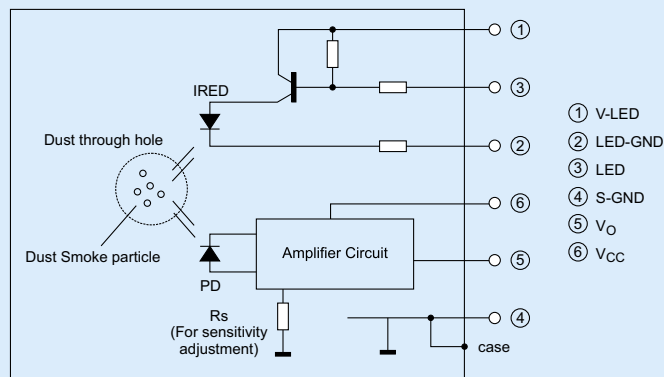
Parametry czujnika GP2Y1051AU0F

- Zasada działania: Rozpraszanie podczerwone IRED
- Przedziały pomiarowe rozmiaru pyłów: PM2.5
- Zakres stężenia masy: $1...500 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Rozdzielczość stężenia masy: $0,35 \text{ V}/(100 \mu\text{g}/\text{m}^3)$ typ.
- Zakres temperaturowy pracy: $-10...+65^\circ\text{C}$
- Napięcie zasilania: $5 \text{ V} \pm 0,2 \text{ V}$
- Średni prąd zasilania: 15 mA typ.
- Interfejs cyfrowy: UART 2400 b/s
- Wymiary: $46 \times 36 \times 17,6 \text{ mm}$.

Czujniki serii PPD firmy Shinyei Technology

Czujniki produkowane przez japońską firmę Shinyei Technology wykorzystują zasadę działania podobną jak w przypadku układów firmy Sharp. Obecnie oferowane są cztery modele czujników: PPD20V (wyjście napięciowe), PPD42NJ (dwa wyjścia impulsowe), PPD60PV-T2 (wyjście impulsowe) oraz PPD71 (wyjście UART). Na rynku jest dostępna kopia czujnika PPD42 produkowana przez koreańską firmę Samyoung pod nazwą DSM501 [4].

Czujnik PPD42 firmy Shinyei – to japoński czujnik czystości powietrza bazujący na diodzie podczerwonej PPD42. Jest to relatywnie tani czujnik czystości powietrza. Zamiast diody laserowej, używa diody podczerwonej. Komunikuje się w dość prosty sposób, podając poziom zapylenia w postaci sygnału PWM [15]. Rozbiórka czujnika PPD42NS dokonana w roku 2016 pokazała, że został zastosowany bardzo prosty układ analogowy



Rysunek 10. Schemat blokowy czujnika pyłów GP2Y1010AU0F firmy Sharp [13]

z progowaniem amplitudy impulsów analogowych na obu wyjściach cyfrowych [17].

Parametry czujnika PPD42NS/ PPD42NJ

- Zasada działania: Rozpraszanie podczerwone IRED
- Minimalny wykrywalny rozmiar cząstki: $1 \mu\text{m}$
- Dopuszczalna wilgotność pracy: $0...95\% \text{ RH}$ (bez kondensacji pary wodnej)
- Napięcie zasilania: 5 V ($4,75...5,75 \text{ V}$)
- Wymiary: $59 \times 45 \times 22 \text{ mm}$
- Waga: 24 g
- Interfejs cyfrowy: wyjście PWM.

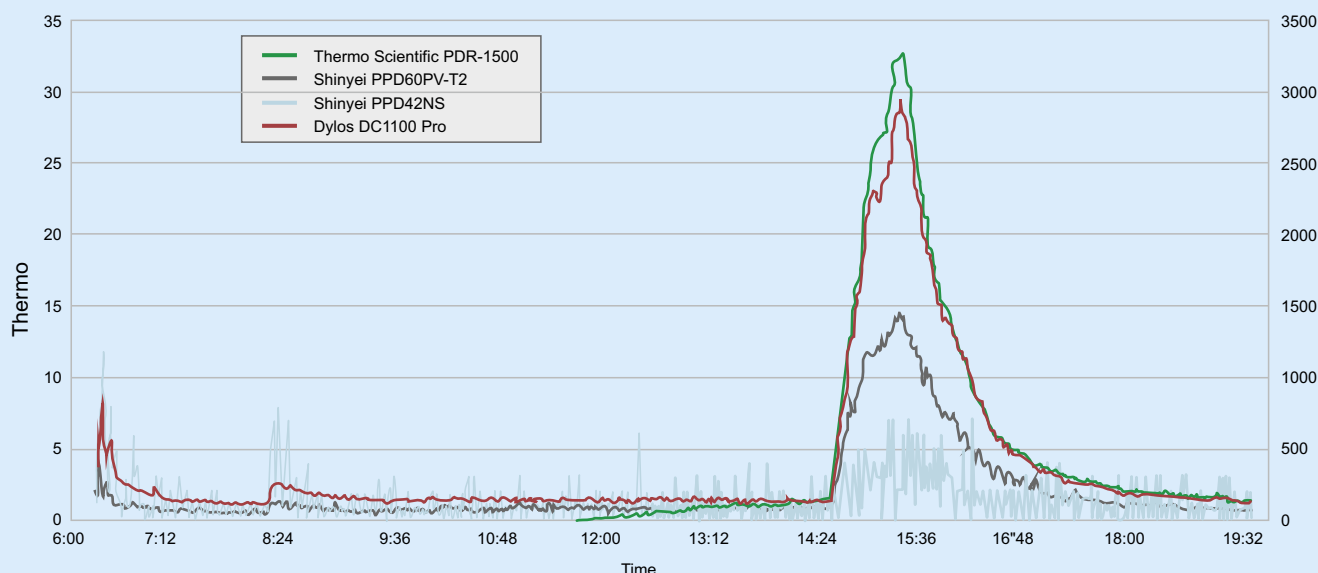
Praca czujnika PPD42NS

Przeprowadzone próby pokazują, że czujnik PPD42NS reaguje na cząstki o średnicy 2 mikronów i większej, gdy usunięte zostaną problemy z przepływem powietrza i interferencją światła zewnętrznego [16]. W przeprowadzonym teście została porównana praca taniego czujnika Shinyei PPD42NS z droższym czujnikiem Shinyei PPD60PV-T2, Dylos DC1100 Pro oraz Thermo Fisher Scientific pDR-1500. Rezultaty zostały pokazane na **rysunku 11**. Czujnik PPD42NS reaguje na zmiany poziomu pyłów zgodnie z innymi czujnikami, ale poziom (zakres dynamiczny) jego odpowiedzi jest słaby, a jego niefiltrowany sygnał jest bardzo zaszumiony. Czujnik PPD60PV-T2 może wykrywać mniejsze cząsteczki przy znacznie mniejszym poziomie szumu. Ale poziom jego odpowiedzi jest również zaniżony.

Literatura

- [1] Particulate Matter Sensing for Air Quality Measurements, Livio Lattanzio, Sensirion, <https://bit.ly/2Xygrhc>
- [2] Aerozole atmosferyczne, Wikipedia, 4 lutego 2020, <https://bit.ly/2X7oAUv>
- [3] Particle Sensor Comparison 2019, 17.09.2019, System Plus Consulting, <https://bit.ly/2ZIVFaY>
- [4] Sensing the Air Quality: Research on Air Quality Sensors, Overview of Air Quality sensors experiments, World Air Quality, <https://bit.ly/3ddzwWm>
- [5] Particulate Matter Sensor SPS30, Sensirion, <https://bit.ly/2XzXSHO>
- [6] HPM Series Particulate Matter Sensors, Data Sheet, 05.2019, Haneywell, <https://bit.ly/2XAWbFs>
- [7] HPM Series Particulate Matter Sensors, Sell Sheet, 05.2019, Haneywell, <https://bit.ly/2TMuAQk>
- [8] Nova Fitness SDS011 – Laserowy czujnik pyłu/czystości powietrza UART/PWM PM2.5, Kamami, <https://bit.ly/3ellybg>
- [9] Czujnik pyłu zawieszonego Nova Fitness SDS011, Nettigo, <https://bit.ly/2zCY78k>
- [10] The SDS011 Air Quality Sensor experiment, <https://bit.ly/3c8WoF3>
- [11] Plantower PMS7003 – laserowy czujnik pyłu, Kamami, <https://bit.ly/3d8ruhq>
- [12] The Plantower PMS5003 and PMS7003 Air Quality Sensor experiment, <https://bit.ly/2B7oUKh>
- [13] Sensor Workshop at ITP, Reports/GP2Y1010 AU, ITP Sensor Workshop Wiki, <https://bit.ly/2U2fRkH>
- [14] GP2Y1050AU0F – Optyczny czujnik dymu/kurzu SHARP, Kamami, <https://bit.ly/3esxX7a>
- [15] Czujnik pyłu zawieszonego Shinyei, Nettigo, <https://bit.ly/3eipVgK>
- [16] Make Your Own AirCasting Particle Monitor, Michael Heimbinde, 05 Oct 2013, HabitatMap, <https://bit.ly/3c4JMi8>
- [17] Shinyei PPD42NS_Deconstruction_TracyAllen.pdf, 30 Oct 2016, <https://bit.ly/36zZVe0>
- [18] Telaire, CO₂, Humidity & Dust Sensors, Amphenol, <https://bit.ly/2TMLm1j>
- [19] Teardown: Sensirion, 04.25.2019, Angela May, MistyWest, <https://bit.ly/2yDTPwU>

Particle Intercomparison Test - Santa Rosa CA July 10, 2013



Rysunek 11. Porównanie pracy czujników pyłów [16]

Podsumowanie

Powyższy opis jest tylko wprowadzeniem do dziedziny pomiarów pyłów. Zostały przedstawione reprezentatywne układy scalone różnych producentów z interfejsem cyfrowym. Są jeszcze inne technologie pomiarów. Urządzenia profesjonalne, jak BAM-1020, stosują technologię tłumienia beta (BAM) z użyciem radioaktywnego izotopu węgla ^{14}C , który emituje promieniowanie beta (elektrony). Ostatnio została opracowana nowa technologia: oscylująca mikrowąga oscylacyjna z elementem stożkowym (TOEM). Ale urządzenia z tymi technologiami są bardzo drogie i wymagają profesjonalnej obsługi [4].

Rynek czujników pyłów jest duży. Działa na nim wiele firm, szczególnie dalekowschodnich, takich jak Omron, Panasonic czy Seed. Światowi potentaci w produkcji czujników, jak Honeywell czy Sensirion, dostrzegli rynek czujników jakości powietrza i zaproponowali swoje produkty, znacznie lepsze niż producentów rdzennie chińskich. Można powiedzieć, że tanie czujniki bardziej przypominają pomiar nieprzezroczystości powietrza niż pyłów w porównaniu z czujnikami ze zliczaniem cząstek.

Odporność czujnika SPS30 na kurz i zaawansowane technologie kategoryzowania rozmiaru cząstek stanowią duże zalety w wielu

zastosowaniach, jak monitorowanie jakości powietrza, oczyszczacze powietrza i HVAC. Czujnik, który poprawnie działa przez cały okres użytkowania urządzenia, gwarantuje dobrą jakość powietrza końcowemu użytkownikowi oraz zwiększa efektywność energetyczną. Zwiększona liczba przedziałów pomiarowych frakcji pyłów i wyższa dokładność pomagają wykonywać określone działania w oparciu o wykrywany skład cząstek i poprawiają monitorowanie żywotności czujnika w oparciu o informacje o typie zanieczyszczenia zebrane podczas pracy urządzenia. Pomiary podczas testów czujnika SPS30 były przeprowadzone w Pekinie. Wyniki uzyskane w czasie rzeczywistym pokrywały się na 97% z wynikami z ambasady USA (BAM-1020) oddalonej około 1,4 km od ambasady Szwajcarii, gdzie zamontowano czujnik SPS30.

Obecnie rynek czujników pyłów jest napędzany głównie przez układy oczyszczania powietrza, wentylację i klimatyzację. Obniżenie ceny, wydłużenie czasu poprawnej pracy oraz zwiększenie łatwości użycia czujników pyłów spowoduje znaczący wzrost ich użycia w aplikacjach konsumenckich oraz IoT.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

Miesięcznik „Elektronika Praktyczna”
(12 numerów w roku) jest wydawany
przez AVT-Korporacja Sp. z o.o. we współpracy
z wieloma redakcjami zagranicznymi.



Wydawca:
AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11
tel.: 22 257 84 99, faks: 22 257 84 00

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11
tel.: 22 257 84 60
faks: 22 257 84 00
e-mail: redakcja@ep.com.pl
www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Wiesław Marciniak

**Redaktor Programowy,
Przewodniczący Rady Programowej:**
Piotr Zbysiński

**Zastępca Redaktora Naczelnego,
Redaktor Prowadzący:**
Damian Sosnowski

**Zastępca Redaktora Naczelnego,
Menedżer Magazynu**
Marcin Karbownik

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Grzegorz Becker, tel.: 22 257 84 58

Redaktor strony internetowej www.ep.com.pl
Dariusz Welik

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugala, tel.: 22 257 84 64
Bożena Krzykawska, tel.: 22 257 84 42
Grzegorz Krzykowski, tel.: 22 257 84 60

Sekretarz Redakcji:
Grzegorz Krzykowski, tel.: 22 257 84 60

DTP i okładka:
MAD Sp. z o.o.

Stali Współpracownicy:
Jacek Bogusz, Lucjan Bryndza, Jarosław Doliński,
Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński,
Michał Kurzela, Szymon Panecki, Sławomir Skrzyński,
Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Robert Wołgajew

Uwaga!
Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail,
według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

Prenumerata w Wydawnictwie AVT
www.avt.pl/prenumerata
lub tel.: 22 257 84 22
e-mail: prenumerata@avt.pl
www.sklep.avt.pl, tel.: 22 257 84 66



eprasa.pl 6e481ab610

Prenumerata w RUCH S.A.
www.prenumerata.ruch.com.pl
lub tel.: 801 800 803, 22 717 59 59
e-mail: prenumerata@ruch.com.pl



Wydawnictwo
AVT-Korporacja Sp. z o.o.
należy do Izby Wydawców Prasy

Copyright AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 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 zamieszczonych w „Elektronice Praktycznej” jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczonych w „Elektronice Praktycznej”.





Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

Reklamy stron internetowych na str. 12

AKSOTRONIK.....	79
ARMEL	79
BORNICO.....	8
COMPUTER CONTROLS.....	29
DELTA-OPTI.....	79
ELMAX.....	79
FALDRUK	6
FARNELL	64, 116
GAMMA	10
KAMAMI	62
MICROCHIP.....	7, 69
PIEKARZ	10
REL POL	11
RENEX.....	10
RUTRONIK.....	9
SEMICON.....	99
ST MICROELECTRONICS.....	
.....	5, 31, 37, 43, 49

Elektroniczny barostat

Utrzymywanie zadanego ciśnienia w zbiorniku powietrza to jedno z wielu zadań układów automatyki. Powszechnie stosowane mechaniczne rozwiązania są mało dokładne. W wersji elektronicznej można zrobić to znacznie dokładniej, bardziej powtarzalnie i po prostu wygodniej.

Emulator 1-wire

Układ jest przydatny podczas emulowania układów termometru, ponieważ umożliwia ustawienie wymaganej temperatury z chirurgiczną precyzją w kilka sekund. Funkcja skanera przydatna jest przy pisaniu oprogramowania hosta, a wyniki są prezentowane w czytelniejszy sposób niż na rejestratorach logicznych (np. SALEAE).

Translator adresu na magistrali I²C

Układ jest przydatny, gdy na jednej magistrali I²C muszą współpracować układy, które nie mają możliwości fizycznej zmiany adresu poprzez konfigurację sprzętową. Układ umożliwia zmianę adresu logicznego układu podłączonego do wyjścia translatora.

Minimoduły cyfrowego audio

Zaprezentujemy cztery podstawowe moduły cyfrowego audio: wzmacniacz małej mocy, konwerter interfejsu mikrofonów cyfrowych PDM do standardu I²S, odbiornik sygnału SPDIF oraz interfejs USB/SPDIF. Układy przydatne podczas uruchamiania aplikacji audio DIY. Wszystkie są dwukanałowe (stereo) i wyposażone w popularny interfejs I²S. Ich niewielkie rozmiary oraz zasilanie 3,3...5 V pozwalają na zastosowanie z komputerami SBC, STM, Arduino czy AudioDSP.

Wyświetlacz matrycowy ze sterowaniem I²C

Moduł zbudowany jest na specjalizowanym sterowniku LED IS31FL3730. Steruje matrycą LED 8×16. Poprzez odpowiednie łączenie modułów można uzyskać matryce o rozdzielczości od 16×8 do 64×8, od 16×16 do 32×16.

a ponadto tematy wiodące EP 07/2020:

RFID, NFC, ZDALNA IDENTYFIKACJA RADIOWA

PRZEŁĄCZNIKI, PRZYCISKI, Klawiatury

USŁUGI KONTRAKTOWE EMS

Stay Home Stay Tuned



Mówimy o tym, co teraz ważne



**Pracujesz,
uczysz się lub
nauczasz z domu?**



**Projektujesz
w domu?**



**Szukasz
interesujących
pomysłów?**



**Drukowanie 3D
ratuje życia**

Dowiedz się więcej na
pl.farnell.com/stay-home-stay-tuned

Kontakt : 00800 121 29 67 | info-pl@farnell.com | www.farnell.com