INTERFEJSY BEZDOTYKOWE I STEROWANIE GESTAMI

www.ep.com.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA +FTP

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● Lipiec ● 7/2021 ●

EP W TOKU NA EP.COM.PL

tylko Prenumeratorzy

mają dostęp do artykułów przed ich publikacją w EP

BLUETOOTH WE WŁASNYM PROJEKCIE

TEMAT NUMERU

inspirujące, użyteczne projekty

Zasilacz PoE do Raspberry Pi • Odtwarzacz sieciowy audio dla NanoPi • Automat mp3 • Cyfrowy wzmacniacz audio w formacie RPi Zero • Wykrywacz zadanej rezystancji • Regulowany zamiennik stabilizatora 78xx • Dokładny przetwornik temperatury • Przetwornik DAC z interfejsem Bluetooth i USB • Rozpoznawanie gestów z Arduino

podzespoły, sprzęt, aplikacje

Arduino Nano RP2040 Connect • STM32U5 – nowa generacja mikrokontrolerów Ultra-Low Power • Od mikrokontrolerów do układów radiowych. Bluetooth z układami STM32WB • Aplikacja Bluetooth z modułem SPBLE-RF • Pierwsze kroki z modułem BLE STM32WB5MMG • Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE. Podstawy PPG i SpO2. Hybrydowe front-endy fotometryczne • Bezdotykowe systemy haptyczne • Podstawy implementacji systemów sprzężenia haptycznego • Interaktywny dotyk, czyli jak komunikować się z urządzeniem

tutoriale

Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora. Symulacja układu o złożonej budowie • Pomiary natężenia prądu w systemach wbudowanych. Praktyczny poradnik • Programowanie ATmega4808 w środowisku Arduino IDE • Bez programowania Androida. Projekt z użyciem BLE i aplikacją mobilną. Od pomysłu, do finału • Obwody ze wzmacniaczami. Jak uniknąć podstawowych problemów przy projektowaniu

kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy. Prognozy rozwoju • Eksperymenty z FPGA. Konsola retro

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

ISSN 1230-3526 Indeks 357677

9 771230 352214 07 >

Zaprenumeruj Elektronikę Praktyczną, a zawsze dostaniesz najnowszy numer wprost do Twojej skrzynki!

na start do 6* wydań gratis

po 5 latach nieprzerwanej prenumeraty do 12* wydań gratis

PREZENT
do każdej opłaconej prenumeraty

* Cena prenumeraty rocznej **na start** wynosi 207,90 zł. Przy zamówieniu prenumeraty dwuletniej za 340,20 zł oszczędność wynosi równowartość sześciu wydań Elektroniki Praktycznej.
Przedłużasz prenumeratę? Aby otrzymać zniżkę lojalnościową, przedłuż prenumeratę po zalogowaniu się do swojego panelu na **www.ulubionykiosk.pl**, gdzie znajdziesz atrakcyjną ofertę prenumeraty, która uwzględnia przysługujące Ci zniżki za lojalność. Po 5 latach nieprzerwanej prenumeraty otrzymasz **rabat 50%** na prenumeratę dwuletnią.
Oferta dotyczy prenumeraty drukowanej.

Każdorazowo opłacenie prenumeraty jest premiowane prezentem. W tym numerze do wyboru mamy: koszulkę z logo Elektroniki Praktycznej (rozmiary L, XL) lub płytę muzyczną.
Zgłoś się po prezent mailowo – prenumerata@avt.pl.

Wszystkie opcje prenumeraty i e-prenumeraty znajdziesz na stronie
www.UlubionyKiosk.pl

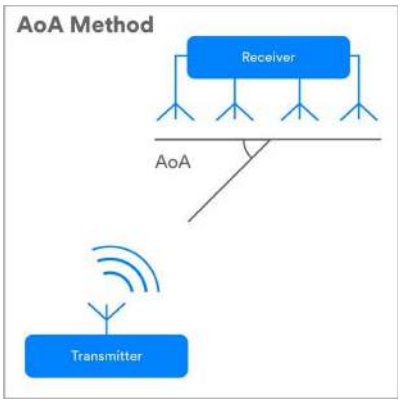
prenumerata@avt.pl
AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, konto 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013

eprasa.pl b4234fed20

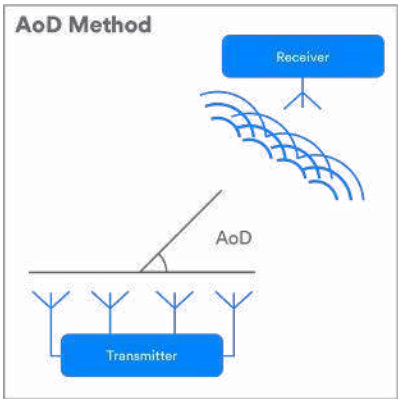
Nawigacja bez GPS

Łącze bezprzewodowe Bluetooth jest powszechnie stosowane w nowoczesnych urządzeniach. Umożliwia przesyłanie danych lub strumieni audio, przy niewielkim zapotrzebowaniu na energię. W tym wydaniu EP omawiamy kilka gotowych modułów, które pozwalają łatwo zaimplementować ten interfejs we własnych konstrukcjach oraz opisujemy projekty, prezentujące praktyczne zastosowania „niebieskiego" standardu.

Bluetooth w najnowszej wersji, oprócz udoskonalenia znanych już funkcji, wprowadza całkiem nową – możliwość pozycjonowania w trójwymiarowej przestrzeni. Jest to istotny dodatek do arsenału możliwości Bluetooth Low Energy i może odegrać kluczową funkcję w dziedzinie nawigowania wewnątrzbudynkowego, podobną do tej, jaką zawdzięczamy systemom GPS – w przypadku pozycjonowania na zewnątrz. Dotychczasowe rozwiązania lokalizacyjne z użyciem Bluetooth bazowały na analizowaniu siły odbieranego sygnału (RSSI – *Received Signal Strength Indication*) i umożliwiały tylko przybliżone określenie odległości od urządzenia. Standard Bluetooth 5.1 oferuje dwa mechanizmy, które są podstawą dla dokładnego określania położenia: AoA (*Angle of Arrival*) i AoD (*Angle of Departure*).



Rysunek 1.



Rysunek 2.

W AoA nadajnik transmituje określony sygnał jedną anteną (**rysunek 1**). Odbiornik wyposażony jest w wiele anten (matrycę antenową). Sygnał dociera do tych anten z bardzo niewielkimi przesunięciami czasowymi względem siebie, zależnie od kierunku nadawania. Przesunięcia fazy sygnału rejestrowane na poszczególnych antenach przy użyciu odpowiednich algorytmów pozwalają na uzyskanie dokładnej informacji o lokalizacji. W metodzie AoA nadajnik jest tanim, nieskomplikowanym modułem, natomiast odbiornik może być urządzeniem, lub zestawem urządzeń zamontowanych na suficie lub ścianie połączonych z chmurą. Jest to doskonała metoda dla systemów lokalizacji w czasie rzeczywistym (RTLS – *Real Time Location Systems*) używanych do śledzenia zasobów i osób, np. lokalizowania sprzętu i pracowników w magazynie, czy urządzeń medycznych i pacjentów w szpitalu.

Podejście AoD odwraca scenariusz. Nadajnik wysyła sygnał z użyciem wielu anten, a odbiornik przechwytuje go pojedynczą anteną (**rysunek 2**). W tym rozwiązaniu odbiornik musi mieć „wiedzę" na temat układu antenowego używanego przez nadajniki i realizuje intensywny – obliczeniowo algorytm, którego wynikiem jest dokładna lokalizacja. To dobra metoda dla wewnętrznych systemów pozycjonowania (IPS – *Indoor Positioning Systems*), m.in. do odnajdywania drogi w miejscach publicznych, np. na lotniskach, dworcach kolejowych czy w muzeach.

Fotografia 1.

Dokładne pozycjonowanie w pomieszczeniach to coś nowego i inspirującego. Urządzenie odbiorcze, np. smartfon, może odbierać sygnały z zamontowanych w obiekcie urządzeń nadawczych i określać dokładną lokalizację wewnątrz budynku. Dzięki takiej usłudze wiedzielibyśmy jak dotrzeć najkrótszą drogą do bramki naszego lotu, bez względu na to, w którym miejscu lotniska się znajdujemy. Jednak należy mieć świadomość tego, że rozchodzeniu się fal radiowych towarzyszy wiele złożonych zjawisk. Sygnały mogą odbijać się od ścian, mebli i ludzi, a to może mieć wpływ na fazę i siłę sygnału, powodując mniejsze lub większe błędy. Im mniej przeszkód i bardziej otwarty teren, tym precyzyjniejsza będzie lokalizacja. Kto chciałby przetestować nową technologię, może skorzystać z gotowych zestawów ewaluacyjnych, które prezentują się, trzeba przyznać dość oryginalnie (**fotografia 1**), https://bit.ly/3heMSG5.

Damian Soskowski

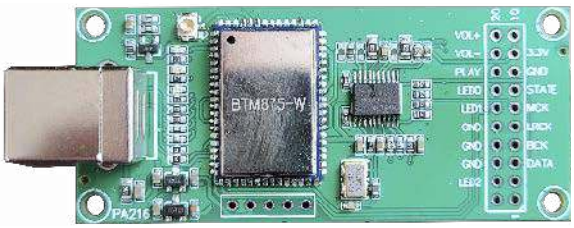
eprasa.pl b4234fed20

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 7 (342) • Lipiec 2021

Rozpoznawanie gestów z Arduino

Gesty, dla nas ludzi, są czymś naturalnym – są istotnym elementem komunikacji niewerbalnej. Zwierzęta również rozumieją wiele naszych prostych gestów. Dlaczego więc urządzenia elektroniczne nie mogłyby ich rozpoznawać? W artykule przyjrzymy się kilku implementacjom systemów rozpoznających gesty. Różne projekty zupełnie inaczej podchodzą do tego samego problemu – rozpoznawania gestów czynionych dłonią i sterowania przykładowym systemem. Wszystkie implementacje zawierają moduły Arduino i ogólnodostępne sensory, więc bez większego problemu można stosować te rozwiązania we własnych pomysłach.



Przetwornik DAC z interfejsem Bluetooth i USB

Łącza bezprzewodowe zwykle ograniczone są niezbyt imponującymi prędkościami transmisji. Przesyłanie w taki sposób strumieni audio wymaga dużej kompresji sygnału i w konsekwencji przesyłany dźwięk jest, delikatnie mówiąc, niezbyt dobrej jakości. Jednak te stereotypy, w zderzeniu z rzeczywistością, są coraz mniej aktualne. Postęp jest szczególnie zauważalny w przypadku łącza Bluetooth audio, gdzie zaawansowane metody kompresji i większe prędkości transmisji pozwalają uzyskać odtwarzanie dźwięku na naprawdę wysokim poziomie.

Nie przeocz
Nowe podzespoły ... 5
Dodaj do obserwowanych ... 11
Koktajl niusów ... 103

Projekty soft
Przetwornik DAC z interfejsem Bluetooth i USB ... 48
Rozpoznawanie gestów z Arduino ... 52

Projekty
Zasilacz PoE do Raspberry Pi ... 17
Odtwarzacz sieciowy audio dla NanoPi ... 20
Automat mp3 ... 22

Miniprojekty
Cyfrowy wzmacniacz audio w formacie RPi Zero ... 26
Wykrywacz zadanej rezystancji ... 28
Regulowany zamiennik stabilizatora 78xx ... 29
Dokładny przetwornik temperatury ... 30

Temat numeru: Bluetooth we własnym projekcie
Od mikrokontrolerów do układów radiowych.
Bluetooth z układami STM32WB ... 32
Pierwsze kroki z modułem BLE STM32WB5MMG ... 37
Aplikacja Bluetooth z modułem SPBLE-RF ... 44

Podzespoły
Arduino Nano RP2040 Connect ... 90
STM32U5 – nowa generacja mikrokontrolerów Ultra-Low Power ... 92

Poradnik implementacji
Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (5).
Podstawy PPG i SpO2. Hybrydowe front-endy fotometryczne ... 97

Prezentacje
Interaktywny dotyk, czyli jak komunikować się z urządzeniem ... 72

Wybór konstruktora
Podstawy implementacji systemów sprzężenia haptycznego ... 74
Bezdotykowe systemy haptyczne ... 82

Notatnik konstruktora
Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (24). Symulacja układu o złożonej budowie ... 57
Pomiary natężenia prądu w systemach wbudowanych (2). Praktyczny poradnik ... 63
Programowanie ATmega4808 oraz ATmega4809 w środowisku Arduino IDE ... 66
Bez programowania Androida. Projekt z użyciem BLE i aplikacją mobilną (2). Od pomysłu, do finału ... 68
Obwody ze wzmacniaczami. Jak uniknąć podstawowych problemów przy projektowaniu ... 85

Kursy
Systemy dla Internetu Rzeczy (50). Prognozy rozwoju ... 107
Eksperymenty z FPGA (20). Konsola retro ... 114

Prenumerata ... 2
Od wydawcy ... 3
Konkurs ... 89
Kramik i rynek ... 106
Hity następnego numeru ... 119

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

eprasa.pl b4234fed20

Szczegóły na stronie 47

nowe podzespoły

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

Mikroprzełączniki obrotowe o wymiarach 7,2×7,2×2,9 mm

Firma CUI Devices informuje o wprowadzeniu na rynek nowej serii obrotowych mikroprzełączników RDS-7229 produkowanych w obudowach o wymiarach 7,2×7,2×2,9 mm z 5 typami wyprowadzeń do montażu przewlekanego (proste, fałdowane) i powierzchniowego (Gull Wing, J-Hook Gull Wing, Angled Gull Wing). Występują one w wersjach 4-, 10- i 16-pozycyjnych. Dzięki małym gabarytom i szczelnej konstrukcji o stopniu ochrony IP67 mogą być stosowane w aplikacjach przemysłowych, telekomunikacyjnych i komercyjnych, w których najważniejszymi kryteriami jest odporność na wilgoć i zanieczyszczenia oraz minimalizacja wymiarów płytki drukowanej. Poza rodzajem montażu i liczbą przełączeń użytkownik ma też do wyboru styl pokrętła; dostępne są wersje płaskie ze strzałką i krzyżykiem (flat arrow/flat cross) oraz wystające ze strzałką i szczeliną (raised arrow, raised slotted).

Mikroprzełączniki obrotowe RDS-7229 zostały przystosowane do pracy w zakresie temperatury otoczenia od –40 do +85°C. Charakteryzują się parametrami znamionowymi 50 V_{DC}/100 mA. Ich ceny hurtowe zaczynają się od 1,69 USD przy zamówieniach 500 sztuk.

www.cuidevices.com

Bezpieczniki resetowalne PTC o dopuszczalnej temperaturze pracy do +125°C

Firma Bourns powiększa ofertę resetowalnych bezpieczników PPTC (*Polymer Positive Temperature Coefficient*) rodziny Multifuse o nowe wersje produkowane w obudowach SMD rozmiaru 1812. Bezpieczniki Multifuse serii MF-MSHT mogą pracować w temperaturze otoczenia od –40 do +125°C i przy dużej wilgotności. Przeszły w tym zakresie 1000-godzinny test 85°C/85% RH. Uzyskały kwalifikację AEC-Q200 Rev-D, pozwalającą na zastosowania w elektronice samochodowej i ciężkich warunkach przemysłowych. Są produkowane w wersjach o napięciu pracy od 9 do 42 V i prądzie progowym od 200 mA do 1,75 A.

Bezpieczniki Multifuse serii MF-MSHT są produkowane na bazie opatentowanej mieszanki materiałów polimerowych o wysokiej temperaturze topnienia i wypełniaczy przewodzących na bazie węgla, pozwalających uzyskać dużą niezawodność zabezpieczenia nadprądowego, również w środowiskach wysokotemperaturowych. Zapewniają odporność na oleje, smary i rozpuszczalniki, mogące powodować degradację parametrów w odpowiednikach klasy konsumenckiej, często stosowanych w aplikacjach przemysłowych i transportowych. Są produkowane w zakładach z certyfikatem jakości IATF 16949.

www.bourns.com

Czujnik jakości powietrza 4-w-1 z funkcjami pomiaru wilgotności, temperatury i ciśnienia

Bosch Sensortec wprowadza na rynek pierwszy czujnik jakości powietrza zrealizowany w technologii MEMS, umożliwiający równocześnie wykrywanie gazów oraz pomiar wilgotności, temperatury i ciśnienia atmosferycznego z użyciem mechanizmów sztucznej inteligencji. BME688 nadaje się idealnie do zastosowań niestandardowych, np. wykrywania psującej się żywności, śledzenia zmian temperatury i wilgotności, wczesnego wykrywania pożarów lasów itp. Funkcje sztucznej inteligencji wraz z nowym narzędziem programowym BME AI-Studio firmy Bosch Sensortec ułatwiają opracowywanie niestandardowych

REKLAMA

BORNICO | Teraz większe MOŻLIWOŚCI
bornico.com.pl
montaż kontraktowy elektroniki
projektowanie urządzeń i systemów
Zakład Elektroniczny BORNICO
ul. Małęczyńska 25
26-600 Radom
tel. +48 48 365 58 22
bornico@bornico.com.pl

eprasa.pl b4234fed20

rozwiązań do różnych zastosowań. Zestaw deweloperski firmy Bosch Sensortec, kompatybilny z Adafruit, pozwala dodatkowo skrócić czas wprowadzania produktów na rynek.

BME688, zrealizowany na bazie układu BME680 firmy Bosch Sensortec, zawiera czujnik gazów o rozszerzonym zakresie pomiarowym oraz oferuje funkcje sztucznej inteligencji. Wykrywa stężenie m.in. lotnych związków organicznych (VOC), lotnych związków siarki (VSC), tlenku węgla i wodoru w zakresie ppb. Optymalnym sposobem wykorzystania układu jest gromadzenie orientacyjnych danych rzeczywistych bezpośrednio w terenie, na przykład poprzez pobieranie próbek gazów w pobliżu świeżej i zepsutej żywności, tworząc w ten sposób różne modele związków siarki obecnych w próbce powietrza. BME688 umożliwia bardzo dokładny pomiar VSC, a BME AI-Studio pozwala na optymalizację pod kątem również innych mieszanin gazów.

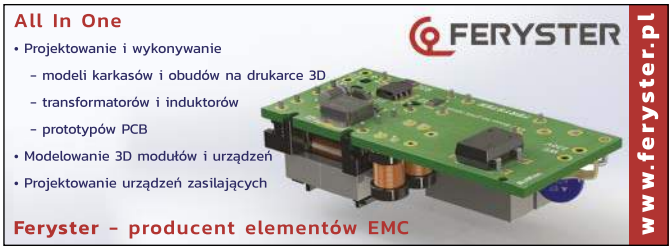
Dzięki pobieraniu próbek bezpośrednio w terenie, a nie w laboratorium, wykorzystywane w nowych urządzeniach algorytmy mogą zapewnić większą niezawodność w ocenie rzeczywistych warunków. Równocześnie z pomiarem stężenia gazów, BME688 mierzy wilgotność, ciśnienie barometryczne i temperaturę, stanowiące dodatkowe dane do modelowania AI. W przykładowej aplikacji klient kategoryzuje zestaw danych, stosowanych do opracowania własnego modelu AI w BME AI-Studio, „ucząc" BME688 rozpoznawania charakterystycznych oznak rozwoju bakterii na żywności. Po przeszkoleniu czujnika, wynikowy kod AI jest uruchamiany na mikrokontrolerze w produkcie końcowym klienta.

Czujnik został zaprojektowany do zastosowań mobilnych, w których krytycznymi parametrami są rozmiary obudowy i pobór mocy. Jest on zamykany w obudowie o wymiarach zaledwie 3,0×3,0×0,9 mm. Jego pobór prądu wynosi od 2,1 μA do 11 mA w zależności od wymaganej szybkości wyprowadzania danych i aktywnych funkcji i może być optymalizowany w BME AI-Studio.

www.bosch-sensortec.com

REKLAMA

ZAJRZYJ NA TE STRONY



Polimerowe kondensatory hybrydowe o rekordowej pojemności i małych stratach mocy

Panasonic Industry dodaje do oferty polimerowe kondensatory hybrydowe dwóch nowych serii ZU i ZSU, stanowiące ulepszone odpowiedniki wcześniejszej serii ZS. Kondensatory serii ZU (25...63 V_{DC} @ 8...12 mΩ) projektowano pod kątem ograniczenia strat mocy, natomiast w przypadku serii ZSU (25...63 V_{DC}, 120...1000 μF) priorytetem było uzyskanie jak największej pojemności.

Kondensatory serii ZU są w stanie wytrzymać ponad dwukrotnie większe prądy tętnienia od poprzedników. W przypadku wersji 25-woltowych w obudowach Ø10×12,5 mm i Ø10×16,5 mm jest to odpowiednio 5,0 i 5,8 A rms. Jeśli chodzi o kondensatory serii ZSU, oferują one największą pojemność spośród odpowiedników. Przykładowo, dla wersji 25-woltowych w obudowach Ø10×12,5 mm i Ø10×16,5 mm maksymalna pojemność wynosi odpowiednio 680 μF i 1000 μF.

Kondensatory serii ZU wyróżniają się też dużą niezawodnością. Ich żywotność producent określa na 4000 godzin w maksymalnej dopuszczalnej temperaturze otoczenia +125°C. Z tego względu nadają się one idealnie do zastosowań w ekstremalnych warunkach pracy panujących m.in. w podsystemach samochodowych. Uzyskały w tym zakresie kwalifikację AEC-Q200. Poza ekstremalną temperaturą są też odporne na silne udary do 30 G.

industry.panasonic.eu

Precyzyjny i energooszczędny wzmacniacz current-sense do aplikacji wysokotemperaturowych

MCP6C02 to precyzyjny i energooszczędny wzmacniacz pomiarowy current-sense z kwalifikacją AEC-Q100 Grade 0, zaprojektowany do pomiaru natężenia prądu w aplikacjach wysokotemperaturowych, m.in. w motoryzacji. Jest wzmacniaczem typu zero-drift, mogącym pracować w ekstremalnej temperaturze otoczenia z zakresu od –40 do +150°C. Dzięki wbudowanemu filtrowi EMI zapewnia dużą dokładność pomiaru również w obecności silnych zaburzeń elektromagnetycznych w.cz. Jest zamykany w dwóch typach obudów: SOT-23-6 (Grade 1) oraz VDFN-8 (Grade 0), umożliwiającej prowadzenie optycznej kontroli połączeń.

MCP6C02 charakteryzuje się maksymalnym napięciem offsetu wynoszącym zaledwie 12 μV, co pozwala na stosowanie rezystorów

eprasa.pl b4234fed20

pomiarowych o mniejszej rezystancji przy zachowaniu dużej rozdzielczości pomiaru. Pozwala to konstruować dokładniejsze i bardziej energooszczędne układy pomiarowe do aplikacji pracujących w ekstremalnej temperaturze otoczenia. Układ oferuje trzy ustawione fabrycznie wartości wzmocnienia: 20, 50 i 100 V/V. Akceptuje wejściowe napięcia sumacyjne z szerokiego zakresu od 3 do 65 V. Jego różnicowe wejście umożliwia pracę w trybie jedno- i dwukierunkowym.

Ceny hurtowe MCP6C02 wynoszą 1,22 USD w przypadku wersji w obudowie 6-pin SOT-23 i 1,44 USD w przypadku wersji w obudowie VDFN. W ofercie Microchip dostępny jest też tańszy odpowiednik MCP6C04 bez kwalifikacji AEC-Q100 o węższym zakresie napięcia sumacyjnego, węższym zakresie temperatury pracy i większym napięciu offsetu, oferowany w cenie hurtowej 0,98 USD.

www.microchip.com

Moduły radiowe AIROC do systemów komunikacji bezprzewodowej z obsługą Wi-Fi 6/6E i Bluetooth 5.2

Infineon rozszerza ofertę modułów radiowych do systemów komunikacji bezprzewodowej o nową rodzinę układów AIROC. Obecnie obejmuje ona pierwszy na rynku układ SoC typu combo z obsługą standardów 1×1 Wi-Fi 6/6E i Bluetooth 5.2, przeznaczony do zastosowań w aplikacjach IoT, korporacyjnych i przemysłowych, a także pierwszy układ combo SoC z obsługą 2×2 Wi-Fi 6/6E i Bluetooth 5.2, zaprojektowany do zastosowań multimedialnych, konsumenckich i motoryzacyjnych.

Układy Wi-Fi 6/6E combo pracują w paśmie 2,4 GHz i 5 GHz oraz w nowym paśmie greenfield 6 GHz, zapewniając bardzo dobre parametry w.cz. i małe opóźnienia. To sprawia, że nadają się idealnie do aplikacji ze strumieniową transmisją sygnałów wideo i audio,

takich jak konsole do gier, urządzenia AR/VR, inteligentne głośniki, samochodowe systemy audio i nawigacyjne oraz inne wymagające natychmiastowej reakcji, np. systemy bezpieczeństwa i automatyki przemysłowej. Układy rodziny AIROC z certyfikacją Wi-Fi 6/6E wykraczają poza standardowe wymagania, podnosząc komfort użytkowania dzięki zaawansowanej technologii bezprzewodowej i innowacjom architektonicznym, zapewniając:

- dwukrotnie większy zasięg transmisji niż w przypadku układów Wi-Fi 4 i Wi-Fi 5,
- większy o 40% zasięg niż w przypadku typowych modułów Wi-Fi 6/6E,
- większą odporność transmisji na zaburzenia elektromagnetyczne,
- małe opóźnienia transmisji i lepszą koegzystencję sieciach Wi-Fi i BT,

REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

Autoryzowany dystrybutor Altium w Polsce

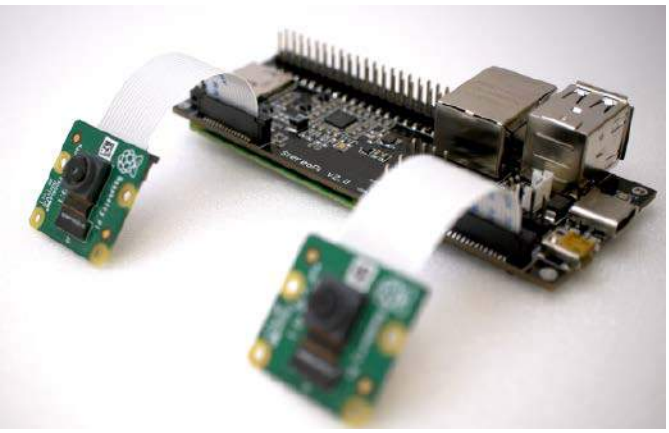
Computer Controls Sp. z o.o.
Bielsko-Biała, ul. Budowlanych 1
tel.: +48 (33) 485 94 90
e-mail: info@ccontrols.pl
www.ccontrols.pl

eprasa.pl b4234fed20

- mniejszy o 20% pobór mocy od wcześniejszych odpowiedników,
- wielowarstwowe zabezpieczenie danych (secure boot, autoryzacja i szyfrowanie oprogramowania firmware).

Moduły AIROC Wi-Fi 6/6E wspierają technologię Bluetooth 5.2 z nowym kodekiem audio LC3 do transmisji dźwięku. Unikalny, energooszczędny tryb Wake-on-Bluetooth LE pozwala mikroprocesorowi host oszczędzać energię, gdy rdzeń Bluetooth autonomicznie „nasłuchuje" przychodzących żądań połączenia. Wprowadzono też kilka zaawansowanych technologii komunikacji bezprzewodowej, pozwalających zwiększyć zasięg połączeń BT/BLE, zmniejszyć opóźnienia i ograniczyć pobór mocy, zapewniając pod tym względem lepsze parametry od wymaganych w standardzie BT5.2. Unikalna architektura Smart Coex opracowana przez Infineon zwiększa przepustowość komunikacji Wi-Fi, przy równoczesnej transmisji danych w standardzie Bluetooth, zapewniając optymalne parametry w wymagających aplikacjach multimedialnych.

www.infineon.com



Projekt open source kamery stereoskopowej opartej na Raspberry Pi

Firma Crowd Supply opracowała projekt kamery stereoskopowej opartej na Raspberry Pi. StereoPi V2, wyposażony w interfejsy Bluetooth i Wi-Fi, pamięć oraz zaawansowany układ zasilania, doskonale nadaje się do zastosowań w aplikacjach z komunikacją bezprzewodową. Dzięki możliwości współpracy z antenami zewnętrznymi, może być stosowany m.in. w dronach.

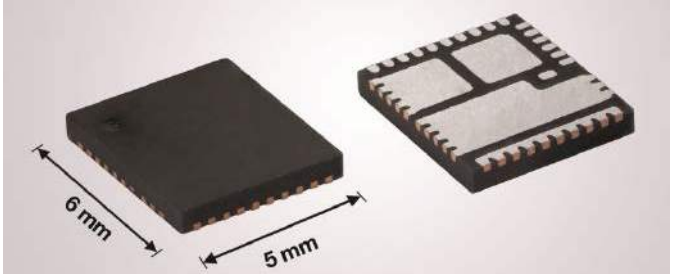
Nowa wersja kamery StereoPi stanowi rozbudowaną wersję wcześniejszego wariantu V1. Zawiera bardzo szybkie pamięci eMMC i DDR4 oraz układ SoC firmy Broadcom, zapewniający nawet dwukrotnie większą moc obliczeniową od wersji zastosowanej w V1. Oprócz komunikacji bezprzewodowej umożliwia transmisję danych przez interfejs Gigabit Ethernet i porty USB (2×USB Type A + USB Type C). Zawiera też gniazda micro HDMI i slot na kartę micro USB.

StereoPi V2 jest modułem open source, zapewniającym kompatybilność z systemem Raspberry Pi OS. Stanowi część programu Microchip Get Launched, opracowanego w celu wspierania projektów integrujących komponenty Microchip poprzez promocję, konsultacje techniczne i dostępność komponentów w obniżonej cenie dla zakwalifikowanych projektantów.

www.crowdsupply.com

Zintegrowane stopnie mocy VRPower DrMOS o wydajności prądowej do 100 A

Zintegrowane stopnie mocy VRPower DrMOS firmy Vishay mogą znaleźć zastosowanie w układach zasilania kart graficznych i mikroprocesorów najnowszej generacji oraz w infrastrukturze telekomunikacyjnej 5G, zapewniając duży prąd wyjściowy, dużą sprawność i dużą gęstość mocy. Ich struktura obejmuje

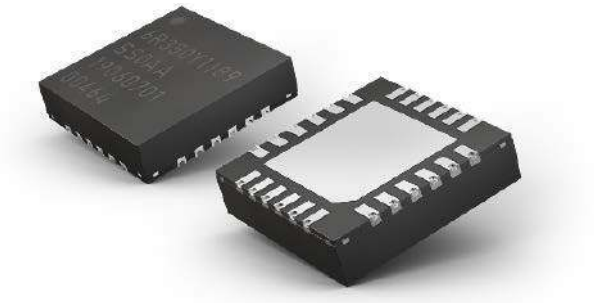


wysokoprądowe, małostratne tranzystory MOSFET TrenchFET Gen IV zintegrowane z układem sterowania oraz czujnikami prądu i temperatury.

Do oferty tych podzespołów wchodzi obecnie 9 nowych wersji o zwiększonym dopuszczalnym prądzie wyjściowym (70, 80 i 100 A), zamykanych w obudowach PowerPAK MLP56-39 o powierzchni 6×5 mm. Inteligentne stopnie mocy SiC8xx zapewniają wydajność powyżej 93%. Mogą być przełączane w tryb diody idealnej, zapewniający dużą sprawność również w zakresie małych obciążeń. Pomiar natężenia prądu wyjściowego odbywa się poprzez pomiar spadku napięcia na tranzystorze low-side, co zapewnia mniejszy błąd w porównaniu z obwodami analizującymi spadek napięcia na cewce (3% vs. 7%).

Układy serii SiC8xx akceptują napięcia wejściowe z szerokiego zakresu od 4,5 do 21 V. Mogą być taktowane zegarem o częstotliwości do 2 MHz. Zawierają zabezpieczenie termiczne, podnapięciowe, zwarciowe i nadprądowe. Akceptują sygnały logiczne 3,3 i 5 V, co pozwala na współpracę z wieloma typami kontrolerów PWM.

www.vishay.com



Tanie 6-osiowe czujniki bezwładnościowe z kwalifikacją AEC-Q100

Firma Panasonic Industry Europe opracowała nową serię tanich, 6-osiowych czujników bezwładnościowych EWTS5G z interfejsem SPI, charakteryzujących się łatwą instalacją i dużym stopniem integracji. Są to komponenty z kwalifikacją AEC-Q100, projektowane do zastosowań w przemyśle i motoryzacji, zgodne z wymogami normy ISO26262 (ASIL-D) w zakresie bezpieczeństwa funkcjonalnego. Charakteryzują się dużą dokładnością pomiaru i stabilnością długoterminową oraz odpornością na silne udary i wibracje do odpowiednio 1500 G i 50 G. Są zamykane w obudowach QFN-24 (4,5×4,5×1,1 mm) z wyprowadzeniami typu wettable flank, zwiększającymi odporność mechaniczną połączeń. Zostały przystosowane do pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40 do +125°C.

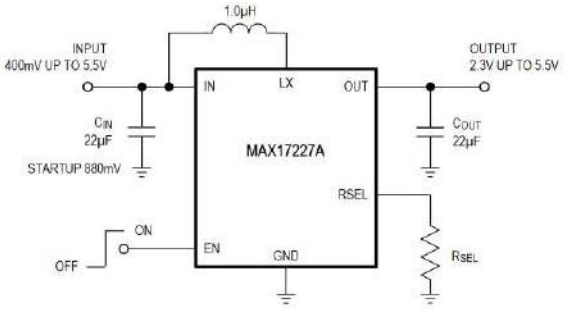
industry.panasonic.eu

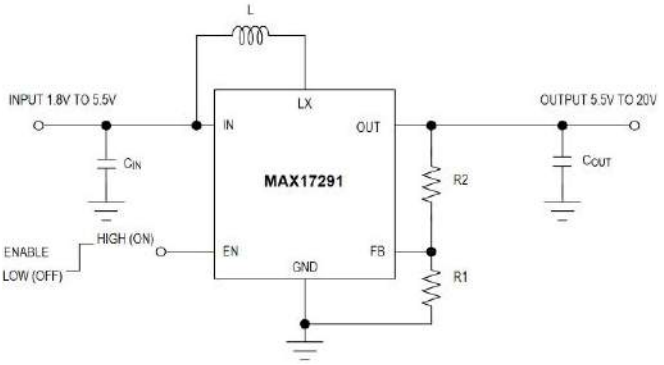
Konwertery DC-DC Boost o bardzo małym poborze prądu w stanie spoczynkowym

Do oferty Maxim wchodzą dwa nowe konwertery DC-DC Boost wyróżniające się bardzo małym poborem prądu w stanie spoczynkowym, zaprojektowane do zastosowań w urządzeniach bateryjnych.

MAX17227A to miniaturowy konwerter DC-DC Boost o maksymalnym natężeniu prądu w cewce

eprasa.pl b4234fed20





równym 2 A, dwukrotnie większym niż w układach konkurencyjnych oraz o poborze prądu w stanie spoczynkowym wynoszącym zaledwie 350 nA. Jest zamykany w dwóch typach miniaturowych obudów: WLP-6 (1,58×0,89×0,4 mm) i TDFN-8 (2×2 mm).

MAX17227A akceptuje napięcia wejściowe od 400 mV do 5,5 V, a jego napięcie wyjściowe może być programowane pojedynczym zewnętrznym rezystorem w zakresie od 2,3 do 5,5 V w krokach co 0,1 V. Do standardowego wyposażenia należy zabezpieczenie zwarciowe i termiczne. Układ może być przełączany w tryb *shutdown* o poborze prądu 1 nA. Jego zaletą jest szeroki zakres dopuszczalnej temperatury pracy od –40 do +125°C.

MAX17291 to konwerter DC-DC Boost o zakresie napięcia wejściowego od 1,8 do 5,5 V, mogący pracować z napięciem wyjściowym sięgającym 20 V. Jego prąd spoczynkowy, wynoszący 28 µA, jest mniejszy o 80% od najbliższego odpowiednika. MAX17291 nadaje się idealnie do zastosowań w układach zasilania wyświetlaczy i czujników. Jest produkowany w identycznych obudowach i pracuje w identycznym zakresie temperatury otoczenia, jak MAX17227A. Zawiera zabezpieczenie zwarciowe i termiczne.

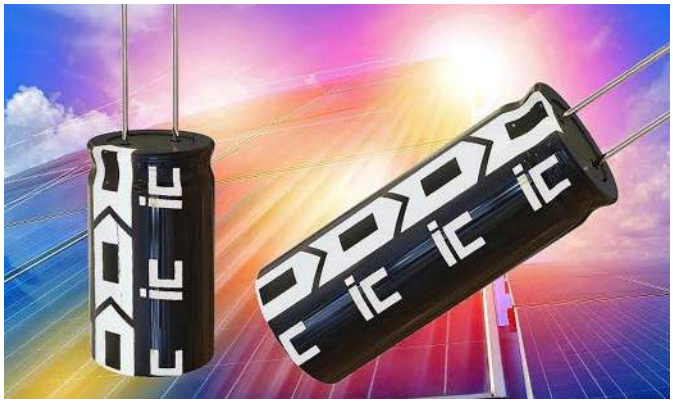
Ceny hurtowe MAX17227A i MAX17291 wynoszą odpowiednio 0,86 USD i 0,74 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. Do obu układów dostępne są zestawy ewaluacyjne w cenie 69,99 USD.

www.maximintegrated.com

Superkondensatory o dużej gęstości energii do montażu na płytkach drukowanych

Cornell Dubilier Electronics wprowadza na rynek dwie nowe serie superkondensatorów rodziny Hybrid LIC, wyróżniających dużą pojemnością i dużą gęstością energii. W ramach serii VMF i VPF dostępne są warianty o napięciu znamionowym 3,8 V_{DC}, produkowane na zakres pojemności od 10 do 220 F. Przy niemal 8-krotnie większej gęstości energii i mniejszym prądzie upływu od superkondensatorów o napięciu znamionowym 2,7 V i zbliżonej objętości, projektanci mogą obecnie korzystać z mniejszych komponentów lub z mniejszej liczby komponentów przy realizacji systemów o tej samej pojemności.

Superkondensatory serii VMF i VPF mogą dostarczać duże impulsy energetyczne, dzięki czemu doskonale nadają się do podtrzymania napięcia podczas przerw w zasilaniu. Ich prąd chwilowy może wynosić do 12,4 A/1 s. Ze względu na dużą zdolność magazynowania



Pojemność	Oznaczenie	Maks. prąd chwilowy (1 s)	Maks. prąd ciągły (ΔT=15°C)	Prąd zwarcia	ESR AC (1 kHz)	ESR DC (20°C)	Maks. zgromadzona energia
10 F	VMF106M3R8	0,5 A	0,05 A	2,53 A	500 mΩ	1500 mΩ	13,33 mWh
25 F	VMF256M3R8	0,8 A	0,125 A	5,85 A	300 mΩ	650 mΩ	33,33 mWh
30 F	VMF306M3R8	0,9 A	0,15 A	5,43 A	250 mΩ	700 mΩ	40,00 mWh
40 F	VMF406M3R8	1,0 A	0,15 A	6,91 A	250 mΩ	550 mΩ	53,33 mWh
50 F	VMF506M3R8	1,5 A	0,20 A	8,44 A	200 mΩ	450 mΩ	66,67 mWh
70 F	VMF706M3R8	3,0 A	0,35 A	8,44 A	100 mΩ	250 mΩ	93,33 mWh
120 F	VMF127M3R8	5,0 A	0,60 A	19,0 A	80 mΩ	200 mΩ	160,00 mWh
220 F	VMF227M3R8	8,0 A	1,10 A	38,0 A	60 mΩ	100 mΩ	293,30 mWh
40 F	VFP406M3R8	1,0 A	0,15 A	6,9 A	250 mΩ	550 mΩ	53,00 mWh
50 F	VFP506M3R8	2,8 A	0,50 A	8,4 A	200 mΩ	450 mΩ	57,00 mWh
70 F	VFP706M3R8	4,9 A	0,70 A	15,2 A	100 mΩ	250 mΩ	80,00 mWh
120 F	VFP127M3R8	6,2 A	1,20 A	19,0 A	80 mΩ	200 mΩ	137,00 mWh
220 F	VFP227M3R8	12,4 A	2,20 A	38,0 A	60 mΩ	100 mΩ	253,00 mWh

energii, w niektórych zastosowaniach można je stosować zamiast akumulatorów.

W przeciwieństwie do akumulatorów, superkondensatory nie ulegają degradacji z każdym cyklem ładowania/rozładowania. Są też z natury bezpieczniejsze od akumulatorów, eliminując ryzyko niekontrolowanego wzrostu temperatury (*thermal runaway*). W przypadku zastosowań wymagających większego napięcia lub pojemności, firma Cornell Dubilier może projektować niestandardowe szeregowo-równoległe banki superkondensatorów, pakowane w moduły o pożądanej konfiguracji wyprowadzeń.

Standardowe modele wchodzące w skład serii VMF i VPF są produkowane w obudowach o wymiarach od Ø8×16 mm do Ø16×25 mm. Zapewniają żywotność sięgającą 500 tys. cykli ładowania/rozładowania (VMF). Są przewidziane do pracy w zakresie temperatury otoczenia od –15 do +85°C dla serii VMF oraz od –25 do +60°C dla serii VFP.

www.cde.com

Piezoelektryczny siłownik haptyczny do nowej generacji interfejsów użytkownika

Siłowniki haptyczne zapewniają mechaniczną komunikację z użytkownikiem poprzez zmysł dotyku przy użyciu zmieniających się sił, wibracji i ruchów. Firma Kemet opracowała nowy typ siłownika

REKLAMA

W związku z rozwojem
NANOTECH ELEKTRONIK
WANTED
do pracy w branży elektronicznej
poszukujemy TALENTÓW
inżynierów • specjalistów ds. podzespołów
• logistyków • specjalistów ds. sprzedaży
więcej na www.nanotech-elektronik.pl

eprasa.pl b4234fed20

piezoelektrycznego, umożliwiającego realizację nowej generacji interfejsów użytkownika w aparaturze medycznej, instrumentach muzycznych, kontrolerach zdalnego sterowania, myszkach, trackpadach, akcesoriach AR/VR i innych produktach z funkcją interakcji dotykowej z użytkownikiem.

Siłownik FFAA141921201L, zrealizowany na bazie piezoelektrycznej folii polimerowej, charakteryzuje się niezwykle płaską (150 μm) i elastyczną konstrukcją, umożliwiającą jego montaż na różnych rodzajach powierzchni. Jest dostarczany w postaci gotowego do montażu modułu o wymiarach 18,5×14,1×0,6 mm z wyprowadzonymi elektrodami. Może generować drgania o częstotliwości od 10 do 500 Hz. Pracuje z napięciem pobudzania równym 212 V @ 150 Hz. W przeciwieństwie do technologii mimośrodowej masy wirującej (ERM), często stosowanej w interfejsach haptycznych, nie wstrząsa całym urządzeniem, lecz działa jak „naskórek" dotykowy, wytwarzający miejscowe wibracje, niemożliwe do uzyskania w przypadku innych rozwiązań dostępnych obecnie na rynku.

www.kemet.com

Tani próżniomierz Piraniego o zakresie pomiarowym 0,13 Pa...101 kPa

Posifa Technologies wprowadza do oferty tani próżniomierz Piraniego o zakresie pomiarowym 0,13 Pa...101 kPa, dostarczany w postaci modułu o wymiarach Ø14,2×3,4 mm z zamontowanymi komponentami współpracującymi i złączem sygnałowym. Zawiera on sensor MEMS 2. generacji, wykorzystujący efekt zmiany przewodnictwa cieplnego gazu, proporcjonalnie do wartości ciśnienia oraz mikrokontroler, zapewniający digitalizację sygnału pomiarowego i transmitujący go przez interfejs I²C. Interfejs ten umożliwia również użytkownikom przechowywanie w mikrokontrolerze danych wykorzystywanych przez algorytm kalibracyjny. Aby skompensować zmiany przewodności cieplnej spowodowane zmianami temperatury otoczenia, próżniomierz PVC4000 wykorzystuje algorytm kompensacji, pobierający dane wejściowe z wbudowanego czujnika. Dodatkowo, impulsowa metoda pobudzania z podgrzewaniem sensora przez około 100 ms, a następnie wyłączaniem go na jedną sekundę, zapobiega dryftowi sygnału wskutek samonagrzewania.

Próżniomierz PVC4000 zapewnia czas odpowiedzi krótszy od 1,2 s. Pracuje w zakresie pomiarowym od 0,13 Pa do 101 kPa i w zakresie temperatury otoczenia od –25 do +85°C. Jest odporny na udary mechaniczne do 100 G i ciśnienie do 27500 kPa.

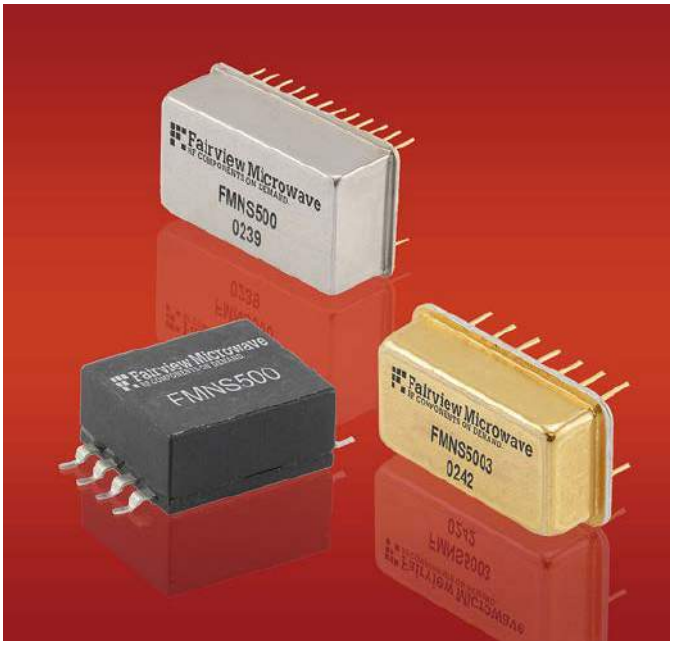
www.posifatech.com

Miniaturowe, nieizolowane regulatory PoL o sprawności do 95,5%

Firma Flex Power Modules wprowadza do sprzedaży serię miniaturowych, nieizolowanych regulatorów PoL o sprawności sięgającej 95,5% i bardzo dobrych parametrach termicznych. Dzięki szerokiemu zakresowi napięcia wejściowego od 9 do 36 V mogą one znaleźć zastosowanie w wielu aplikacjach przemysłowych zasilanych napięciem 12 i 24 V.

Regulatory serii PNA są produkowane w obudowach o wymiarach 13×12,35×6,2 mm. Umożliwiają programowanie napięcia wyjściowego w zakresie od 0,9 do 5,5 V i zapewniają wydajność prądową 6 A. Jedną z ich najważniejszych zalet są bardzo dobre parametry termiczne; praca z pełną mocą wyjściową jest możliwa przy maksymalnej temperaturze otoczenia +100°C, a cały zakres dopuszczalnej temperatury pracy rozciąga się od –40 do +125°C. Dodatkowe zalety to duża niezawodność (MTBF do 71,84 miliona godzin), korzystny współczynnik parametrów do ceny oraz możliwość synchronizowania częstotliwości pracy sygnałem zewnętrznym. Funkcja śledzenia napięcia (*voltage tracking*) pozwala na wykorzystanie napięcia wyjściowego regulatora jako sygnału wzorcowego dla innych regulatorów, co ułatwia projektowanie systemów z sekwencyjnym włączaniem napięć. Do standardowego wyposażenia należy też wyjście sygnalizacyjne *Power Good*.

www.flexpowermodules.com



Miniaturowe źródła szumu o paśmie 0,2 MHz...3 GHz

Miniaturowe źródła szumu dwóch nowych serii FMNS400x i FMNS500x firmy Fairview Microwave mogą znaleźć zastosowanie w systemach komunikacyjnych, radarach, stacjach bazowych i aparaturze pomiarowej do poszerzania zakresu dynamicznego przetworników A/C oraz testowania bitowej stopy błędów. Pokrywają one zakres częstotliwości od 0,2 MHz do 3 GHz. Generują biały szum Gaussa (AWGN) o współczynniku szczytu 5:1. Są zamykane w obudowach DIP oraz SMT z wyprowadzeniami gullwing.

Źródła w obudowach DIP (FMNS500x) pracują z napięciem zasilania +15 V, charakteryzują się mocą wyjściową –5 dBm i są przystosowane do pracy w temperaturze otoczenia od –55 do +125°C. Wersje w obudowach SMT (FMNS400x) są zasilane napięciem +12 V, a ich moc wyjściowa wynosi 31...51 dBm (ENR). Są one przewidziane do pracy w przemysłowym zakresie temperatury od –40...+85°C (seria FMNS400x).

www.fairviewmicrowave.com

eprasa.pl b4234fed20

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.

Sigmoid S7P – zaawansowany sterownik drukarki 3D

Jest to idealny projekt dla tych, którzy zawsze chcieli mieć rozbudowany kontroler do drukarek 3D, który ma wszystko, co może być potrzebne, zintegrowane w jednym urządzeniu. Klipper, OctoPrint, zarządzanie kamerą internetową i wszystkie inne przydatne narzędzia pomocnicze, które sprawią, że drukowanie 3D będzie jeszcze przyjemniejsze. Taka motywacja przyświecała opracowaniu opisywanego układu. Jest on wyposażony w kompleksowy zestaw funkcji pomocniczych dla drukarki 3D, najnowocześniejsze sterowniki silników krokowych TMC2209, Raspberry Pi Compute Module 4 i potężny mikrokontroler STM32. Rozbudowana konfiguracja sprzętu obsługuje nawet specjalne drukarki, takie jak Voron2 i (teoretycznie) wszystkie główne oprogramowanie układowe typu open source, narzędzia do zarządzania i interfejsy użytkownika. Autor sfinansuje do końca swój projekt kampanią crowdfundingową, która ma wprowadzić ten moduł do produkcji. Planowana data rozpoczęcia kampanii to 1 lipca.

Pomysł na tego rodzaju moduł nie jest nowy, jednak dotychczasowe możliwości technologiczne, jakie miał autor nie pozwalały na tak zaawansowany system. Jedyną dostępną wtedy opcją były moduły obliczeniowe Raspberry Pi w formacie SODimm, ale nie wydawały się one dobrym rozwiązaniem, więc pomysł został odrzucony, zanim stał się koncepcją. Dopiero w 2019, po odwiedzeniu warsztatów firmy ST na temat ich nowego układu STM32MPU1, autor doszedł do wniosku, że jest to element, który umożliwi opracowanie takiego systemu. Część sprzętowa została zaprojektowana od podstaw. Niestety, okazało się, że MPU od ST nie było wystarczająco wydajne, aby uruchomić OctoPrint. Projekt został ponownie zarzucony. Przełomowym wydarzeniem było wejście na rynek Raspberry Pi Compute Module 4 z zupełnie nowym formatem. Dzięki temu projekt wrócił na właściwe tory z rezultatem, którym sam autor nadal jest absolutnie zdumiony.

Moduł zaprojektowany został we współpracy ze społecznością wokół oprogramowania Voron. Ustalony został niezbędny zestaw funkcji, aby wyeliminować większość kompromisów charakterystycznych dla dostępnych obecnie kontrolerów. Największym wyczynem jest zintegrowanie na płytce modułu z Raspberry Pi, które ma prawie wszystkie GPIO użyte lub podłączone do zewnętrznych złącz. To dosyć dużo mówi, o tym, w jak wiele funkcji wyposażono ten sterownik dla drukarki 3D. Schemat i projekt płytki zostały wykonane całkowicie w Autodesk Fusion360 w czasie kilku tygodni sporadycznych sesji projektowana w nocy. Ponieważ natura modułu obliczeniowego RPi wymaga, aby projektant obsługiwał wszystkie szybkie sygnały, takie jak HDMI czy CSI, i rozdzielał je na złącza, dopasowanie impedancji i długości ścieżek stały się kluczowe. Aby uzyskać kontrolę nad impedancją ścieżki, autor zdecydował się na czterowarstwową płytkę drukowaną i jako punkt wyjścia wybrał stos kontrolowanej impedancji proponowany przez JLCPCB. Ma on prepreg o grubości 0,1 mm między wewnętrzną i zewnętrzną warstwą miedzi, co pozwala na uzyskanie naprawdę cienkich ścieżek różnicowych nawet przy impedancji 90 omów. Płytka zasilania została zbudowana, jako osobna płytka drukowana, więc możliwe było zaprojektowanie jej na dwóch warstwach miedzi o zwiększonej grubości.

Obecnie autor ma gotową wersję prototypową, która testowana jest na drukarce Tronxy X5. Jak widać na zdjęciach nadal jest wiele nieużywanych złączy, szczególnie interfejs CAN jest czymś, co absolutnie dopiero czeka na wypróbowanie. System czeka również na dodanie wyłącznika awaryjnego. Autor nie przewiduje, kiedy urządzenie trafi do komercyjnej sprzedaży.

https://bit.ly/2UilQo5

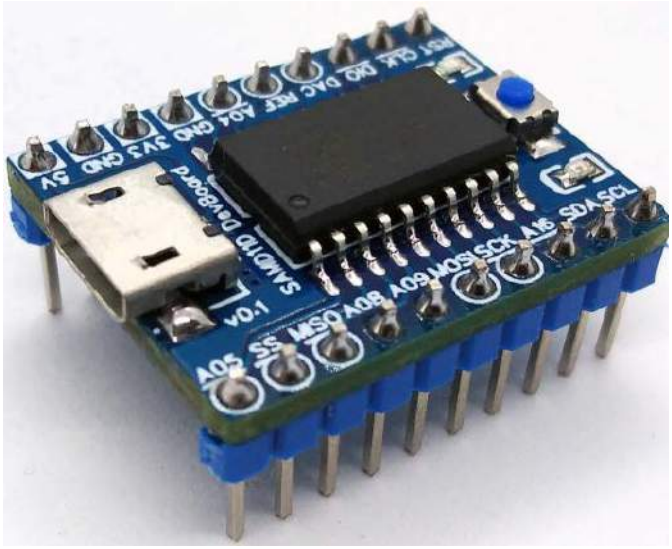
eprasa.pl b4234fed20

Wykrywacz telefonów komórkowych

Aby uniemożliwić korzystanie z telefonów komórkowych w miejscach, takich jak sale egzaminacyjne, sale modlitewne, kina itp., administrator takiego miejsca może korzystać z zaprezentowanego poniżej urządzenia, będącego prostym wykrywaczem telefonów komórkowych. Umożliwia ono wykrycie obecności telefonów komórkowych w zasięgu około 10...15 metrów od sensora. Nie jest zbyt duże, jednak jest wystarczające do wykrycia, czy w danym pomieszczeniu znajdują się włączone telefony komórkowe.

Większość wykrywaczy telefonów komórkowych wykorzystuje podsłuchy lub anteny, które wykrywają sygnały o częstotliwości radiowej aktywnych telefonów komórkowych. Detektory tego rodzaju mogą wykryć nawet telefon komórkowy ustawiony w tryb wyciszenia. Ten wykrywacz wykorzystuje prosty układ oparty na scalonym wzmacniaczu operacyjnym LM358. Zasada działania jest bardzo prosta. Kiedy dowolny telefon komórkowy jest aktywny i wysyła lub odbiera połączenia, emituje fale radiowe. Antena odbiera ten sygnał, a kondensator pełni rolę detektora, który następnie przekazuje sygnał do układu scalonego LM358. Układ ten wzmacnia sygnał i przekazuje dalej. W rezultacie dioda LED w obwodzie miga, a brzęczyk wydaje sygnał dźwiękowy, który trwa do momentu zakończenia odbierania sygnału radiowego.

https://bit.ly/3dx6K4S



Płytka deweloperska z SAMD11D14A

Zaprezentowany projekt, to kompaktowa płytka rozwojowa dla 32-bitowego mikrokontrolera z rdzeniem ARM Cortex-M0+ ATSAMD11D14A (w obudowie SOIC z 20 pinami) z natywnym USB, stabilizatorem napięcia 3,3 V i obsługą Arduino IDE. Układ SAMD11D14A to mikrokontroler o niskim poborze mocy, wykorzystujący 32-bitowy rdzeń ARM Cortex-M0+ z 16 kB pamięci Flash i 4 kB pamięci SRAM. Działa z maksymalną częstotliwością zegara do 48 MHz i osiąga 2,46 Coremark/MHz. Zawiera także inteligentne i elastyczne urządzenia peryferyjne, system zdarzeń do sygnalizacji między urządzeniami peryferyjnymi oraz obsługę pojemnościowych przycisków dotykowych, suwaków i interfejsów użytkownika z kółkiem, realizowanych w technologii pojemnościowej. Ponadto SAMD11D14A jest kompatybilny z innymi seriami mikrokontrolerów z rodziny SAM D i umożliwia łatwą migrację do większego urządzenia z dodatkowymi funkcjami, jeśli zajdzie taka potrzeba w projekcie.

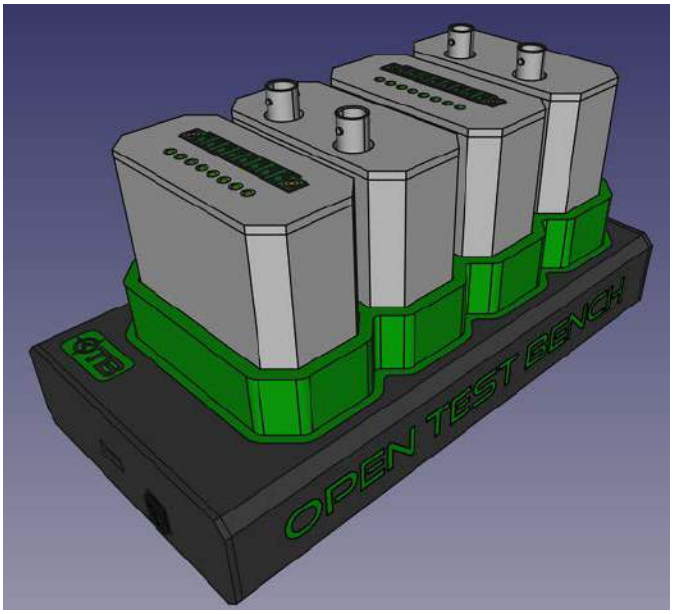
Oto podstawowa charakterystyka mikrokontrolera, zastosowanego w tym module deweloperskim:

- Mikrokontroler z rdzeniem ARM Cortex-M0+ działający z częstotliwością do 48 MHz z 16 kB pamięci Flash i 4 kB SRAM;
- Sprzętowy mnożnik działający w jednym cyklu;
- Tryby uśpienia bezczynności i czuwania, urządzenia peryferyjne z obsługą SleepWalking;
- Zewnętrzny kontroler przerwań (EIC) z 8 przerwaniami zewnętrznymi i jednym przerwaniem niemaskowalnym (NMI);
- 6-kanałowy kontroler bezpośredniego dostępu do pamięci (DMAC);
- 6-kanałowy system obsługi zdarzeń w systemie,
- Dwa 16-bitowe konfigurowalne zegary/liczniki (TC);
- Jeden 24-bitowy zegar/licznik (TCC) z rozszerzonymi funkcjami;
- 32-bitowy licznik czasu rzeczywistego (RTC) z funkcją zegara/kalendarza;
- Watchdog z timerem (WDT);
- Interfejs uniwersalnej magistrali szeregowej (USB) 2.0 o pełnej prędkości (12 Mb/s) z wbudowaną funkcją pracy, jako urządzenie;
- Trzy interfejsy komunikacji szeregowej (SERCOM), każdy konfigurowalny do pracy, jako:
- USART w konfiguracji full-duplex lub single-wire half-duplex,
- Magistrala I2C z zegarem do 3,4 MHz,
- Interfejs SMBUS/PMBUS,
- SPI,
- LIN (slave);
- 12-bitowy konwerter analogowo-cyfrowy (ADC) o prędkości do 350 kps z maksymalnie 10 kanałami z wejściem różnicowym bądź asymetrycznym i z wbudowanym wzmacniaczem programowalnym o wzmocnieniu od 0,5 do 16 razy. ADC obsługuje sprzętowy oversampling i decymacja oferując rozdzielczość 13, 14, 15 lub 16 bitów;
- 10-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy (DAC) o prędkości do 350 kps;
- Dwa komparatory analogowe z funkcją komparatora okienkowego;
- Kontroler dotykowy (PTC): 72-kanały dla pojemnościowych przycisków dotykowych i sensorów zbliżeniowych;
- Interfejs programowania, testowania i debugowania SWD;
- 18 linii GPIO i prądzie maksymalnym do ±7 mA;
- Zasilanie od 1,62 V do 3,63 V.

Moduł ma pełne wsparcie w Arduino IDE, wystarczy zainstalować w nim obsługę rdzenia SAMD i biblioteki dla tego układu. Następnie należy wybrać SAMD11D DevBoard oraz opcję Bootloader 4 kB, co pozwoli wgrać do układu bootloader przez wybrany w konfiguracji programator. Jeśli na płytce zainstalowany jest szkic z obsługą CDC, bootloader jest aktywowany automatycznie po przesłaniu szkicu przez Arduino IDE. W przeciwnym razie trzeba ręcznie wprowadzić bootloader przed wgraniem szkicu z Arduino IDE. Można to zrobić, naciskając dwukrotnie przycisk RESET w krótkim odstępie czasu lub naciskając i przytrzymując przycisk RESET podczas podłączania płytki do portu USB komputera. Aktywowany tryb bootloadera można rozpoznać po wyłączeniu się wbudowanej diody LED.

https://bit.ly/3xfWhD6

eprasa.pl b4234fed20



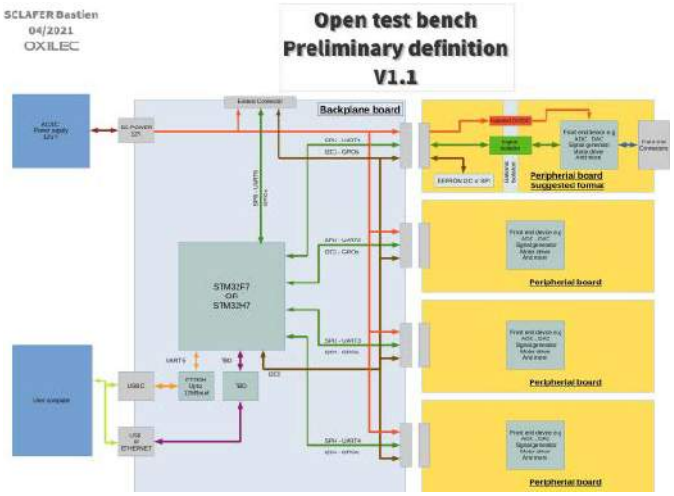
Otwarty system dla rekonfigurowalnego stanowiska pomiarowego

Otwarte stanowisko testowe to platforma typu open-source do sterowania lub charakteryzowania dowolnego typu systemu. System ma na celu uproszczenie rozwoju dodatkowych modułów zwanych „modułami peryferyjnymi". Można zastosować już istniejące moduły lub w prosty sposób tworzyć własne. Użytkownik podłącza swój komputer do płyty montażowej, która daje dostęp do urządzenia lub urządzeń peryferyjnych.

Otwarte stanowisko testowe to platforma typu open source. Składa się z modułu płyty montażowej – tzw. moduł backplane, który jest głównym blokiem systemu. Można do niego podłączyć do 4 modułów peryferyjnych i połączyć komputer użytkownika z modułem peryferyjnym. Za pomocą modułu rozszerzeń można dodać więcej modułów peryferyjnych, ale kosztem szybkością komunikacji z nimi.

Sercem systemu jest mikrokontroler STM32H7. Niektóre kanały komunikacji z modułami peryferyjnymi to SPI 50 MHz, UART 10 MHz, I²C 1 MHz czy GPIO. System posiada ponadto sterownik UART ↔ USB (FT230H) o prędkości do 12 Mb/s, a w planach jest sterownik Ethernetowy do szybkiej komunikacji. Moduły peryferyjne tworzą połączenia ze światem rzeczywistym. Każdy moduł ma dostęp do 4 kanałów komunikacyjnych:

- SPI z CS.
- UART z RTS/CTS.
- I²C.
- 8 linii GPIO.



Peryferia mają również dostęp do dodatkowego I²C (I²C_CONTROL) do implementacji małej pamięci (EEPROM) używanej do danych kalibracyjnych. Dla modułu peryferyjnego przeznaczone są 2 złącza, dlatego można go podzielić na dwa rodzaje:

- Moduł Top, który ma dostęp tylko do SPI i UART;
- Moduł Bottom, który ma dostęp do 8 GPIO oraz I²C.

Każdy moduł posiada ponadto dostęp do I²C_CONTROL do implementacji własnej pamięci EEPROM.

Autor opracował obecnie szereg modułów, zapewniających możliwości pomiarowe takie, jak pomiar prądu, napięcia, zarządzanie energią, a także oferujące wejścia i wyjścia cyfrowe z izolacją galwaniczną.

https://bit.ly/362rDRl

Oprogramowanie klawiatury Chocolad w microPythonie

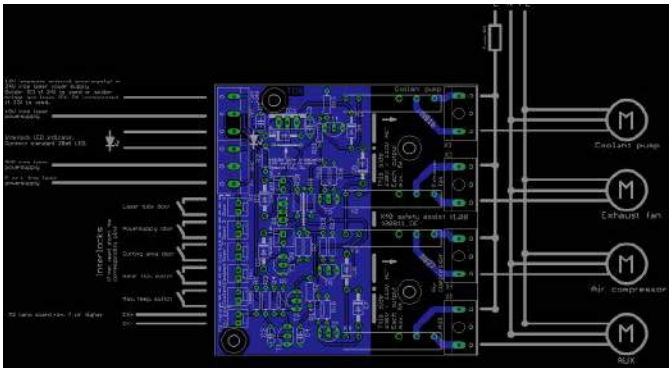
Przedmiotem tego projektu było opracowanie nowego oprogramowania dla klawiatury Chocolad z zestawu DIY. Klawiatura ta używa standardowych płytek deweloperskich w formacie Pro Micro z systemem QMK, ale autor preferuje swoje własne oprogramowanie opracowane przy użyciu CircuitPython. Ponieważ autor chciał zaprogramować tę klawiaturę w CircuitPythonie, potrzebował płytki rozwojowej, która byłaby zgodna pod względem pinów z Pro Micro, ale używałaby nieco mocniejszego mikrokontrolera. Dlatego też wykorzystał moduł Fluff M0, który jest ekonomiczną kopią modułu Adafruit Feather M0. Zawiera on układ ATSAMD21E18A z rdzeniem ARM M0, który oferuje dostatecznie dużo mocy obliczeniowej dla uruchamiania CircuitPythona. Gdy do modułu dołączyły przyciski mechaniczne, klawiatura była gotowa do złożenia. Trochę pracy zajęło ustalenie, w jaki sposób przylutować diody – autor najpierw przylutował je źle, ale naprawił to w oprogramowaniu (na szczęście SAMD21 obsługuje zarówno podciąganie do zasilania jak i do masy na swoich pinach GPIO). Obecnie autor kończy tworzyć oprogramowanie systemu. Jest ono dostępne na stronie prjektu.

https://bit.ly/3dv1Sxg

Dodatkowe układy bezpieczeństwa dla chińskiej obrabiarki laserowej

Chiński ploter laserowy K40 jest często używany przez hobbystów i drobne zakłady produkcyjne czy biura projektowe. Nie ma

eprasa.pl b4234fed20



on jednak kilku obowiązkowych funkcji bezpieczeństwa, co może nie jest ogromnym problemem w domu, ale w miejscu pracy może być przyczyną wypadków. Niezależnie jak korzystamy z plotera, to dla własnego komfortu powinniśmy wyposażyć go w niezbędne układy bezpieczeństwa. Użytkownik może łatwo otworzyć drzwi podczas cięcia, a laser nie przestaje emitować niebezpiecznego promieniowania. Nie ma również funkcji zabezpieczającej, która wyłączałaby go w przypadku przerwania przepływu chłodziwa lub zbyt wysokiej jego temperatury. Brakuje również niektórych funkcji zapewniających komfort, takich jak automatyczne włączanie wentylatora wyciągu. Zaprezentowany projekt rozwiązuje większość wad wycinarki laserowej K40.

Przy pomocy małej płytki PCB do systemu dodawane są następujące funkcje bezpieczeństwa:

- Kontrola otwarcia trzech drzwi, znajdujących się w ploterze;
- Wejście monitorowania temperatury chłodziwa – informacja o przekroczeniu progu;
- Wejście przepływomierza chłodziwa;
- Dioda LED informująca o stanie pracy (laser aktywny/nieaktywny);
- Cztery wyjścia przekaźnikowe (pompa płynu chłodzącego, wentylator wyciągowy, sprężarka powietrza, AUX);
- Dmuchawa dyszy 12 V;
- Wentylatory chłodzące 12 V (np. do systemu chłodzenia cieczą w pętli zamkniętej).

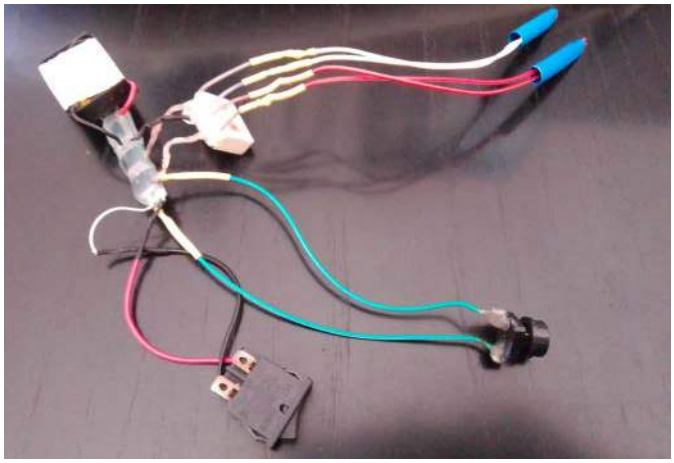
Przed rozpoczęciem instalacji systemu należy odłączyć zasilanie od aparatu i poczekać na rozładowanie się wszystkich wewnętrznych obwodów – zasilacz lasera pracuje z napięciem wyjściowym 25 kV, dotknięcie go podczas pracy może mieć straszne konsekwencje. Również zasilanie sieciowe może być niebezpieczne dla życia. Wszystkie wejścia interlocka są połączone w jeden łańcuch. Oznacza to, że wszystkie z nich muszą być zamknięte, aby włączyć laser. Jeśli nie, laser pozostaje wyłączony. Jeśli niektóre funkcje (np. przepływomierz) nie są używane, należy zewrzeć styki odpowiedzialnego za nie złącza.

https://bit.ly/3hi72hi

Zakłócacz USB 3.0

Zaprezentowany układ to wysoce selektywny system do zakłócania USB, który może działać z każdym kontrolerem USB 3.0 na świecie. Konstrukcja systemu jest zasadniczo bardzo prosta. Jest to transformator typu flyback pracujący z napięciem rzędu kilku kilowoltów. To, co jest w nim specjalne to zakres częstotliwości, w którym pracuje: od 36 do 40 kiloherców. Zakłócacz działa na odległość. Cewka używana do generowania pola magnetycznego to zwykła para cewek ze słuchawek. Układ jest w pełni skalowalny i bardzo skuteczny. Do tej pory nie wykryto żadnych trwałych uszkodzeń, powodowanych przez system.

Rezultatem działania urządzenia jest atak typu „odmowa usługi", który zmusza użytkownika do zresetowania komputera, ponieważ kontroler całkowicie się zawiesza, a reset jest wymagany, aby odzyskać dostęp do urządzenia czy kontrolera USB.



„Pomysł pojawił się podczas badania, które przeprowadziłem nad bezprzewodowym wstrzykiwaniem wirusów przez rejestry sprzętowe w urządzeniach szeregowych w 2016 roku. (…) Testowałem to na tabletach, płytach głównych do komputerów stacjonarnych, kartach PCIe usb3, laptopach, a nawet telewizorach, w zasadzie na wszystkim z USB-3" omawia konstrukcję autor. Do konstrukcji wystarczy elektryczna zapalarka do gazu oraz transformator np. z monitora CRT. Na stronie projektu dokładniej opisano sposób budowy układu.

https://bit.ly/3dtaAMw

Klawiatura komputerowa z drewnianymi klawiszami

„Posiadałem jedną starą i tanią gumową klawiaturę kopułkową z brakującymi klawiszami. Więc rozebrałem ją i znalazłem płytkę kontrolera. Podkładki pokryto grafitem. Usunąłem go i przylutowałem do nich przewody" pisze Erik Tauno, autor tej ciekawej konstrukcji. Po podłączeniu klawiatury, została ona zmapowana, aby zidentyfikować połączenia wierszy i kolumn, aby znaleźć kody, które odpowiedzialne są za poszczególne przyciski. Całość zrealizowana została za pomocą skryptu w Pythonie, który automatycznie zeskanował połączenia w module.

Następnie autor zaprojektował płytkę PCB dla jednego przełącznika. Jest zaprojektowana tak, aby możliwe było jej wykonanie na płytce stykowej i wykorzystuje elementy przewlekane. Całość zamontowana jest na kawałku sklejki, pobejcowanej na czarno i polakierowanej. Przyciski, jak i obudowę klawiatury autor również wykonał ze sklejki. „Mógłbym użyć plastikowych. Ale chciałem, żeby były symetryczne i miały na sobie symbole. Więc znowu zrobiłem je ze sklejki. Wierzchnia warstwa to lity dąb. Inne elementy to sklejka brzozowa" komentuje autor. Wszystkie element wycięte zostały na ploterze laserowym i posklejane. Jedyna część z druku 3D to wewnętrzny element w kształcie krzyża, która łączy nasadki klawiszy z przełącznikami.

https://bit.ly/3dwpHox

eprasa.pl b4234fed20

Wyświetlacz VFD dla modułów Arduino

W tym projekcie autor próbuje podłączyć dowolny nieznany szeregowy wyświetlacz VFD do mikrokontrolera Arduino, aby na wyświetlaczu prezentować tekst z portu szeregowego. Urządzenie jest bardzo proste w budowie i zawiera tylko kilka elementów:

- moduł Arduino Nano,
- czujnik barometryczny BMP180 montowany na zewnątrz obudowy dla dokładniejszego pomiaru temperatury,
- moduł zegara czasu rzeczywistego DS3231,
- wyświetlacz VFD z starej kasy fiskalnej.

Wyświetlacz trzeba podłączyć do zasilania. Autor przejrzał karty katalogowe większości układów na płycie zdemontowanej kasy fiskalnej i doszedł do wniosku, że napięcie zasilania powinno wynosić 5 V. Najłatwiej i najbezpieczniej jest przylutować kable zasilające bezpośrednio do pinu 4 (GND) i pinu 6 (VVV) układu MC 34063. Po podłączeniu zasilania na wyświetlaczu pojawiają się podstawowe informacje, ale najbardziej interesująca jest prędkość transmisji interfejsu szeregowego, która w tym przypadku wynosi 4800 bodów

Kolejnym krokiem było uzyskanie informacji, jak ten wyświetlacz powinien komunikować się z Arduino. Prawie każdy wyświetlacz szeregowy ma układ sterownika/odbiornika linii RS-232, zwykle MAX232 lub równoważny. Konkretnie w tym przypadku jest to SIPEX SP232 ACP. Karta katalogowa tego elementu pokazują, że wejście TTL do obwodu to pin 11 tego układu. Wystarczy tylko podać tam dane z Arduino, aby wyświetlacz prezentował dane z portu szeregowego.

Na bazie wyświetlaczaautor zbudował prostą stację pogodową z BMP180, która zawiera również zegar czasu rzeczywistego DS3231. Jak widać, informacje na monitorze szeregowym powinny być w jednym wierszu i powinny być nie dłuższe niż 40 znaków. Realizuje się to w kodzie za pomocą poleceń *Serial.print* oraz *Serial.println* i kombinacji znaków spacji. Na koniec system został zamontowany w odpowiedniej obudowie wykonanej z płytek PCV o grubości 5 mm i pokrytej kolorową okleiną.

https://bit.ly/3hmyOcs

Zasilacz z USB-PD dla płytek stykowych

Gdy zasilacze stacjonarne nie są dostępne, potrzebna jest przenośna i wygodna alternatywa, a ładowarka USB-PD jest idealnym wyborem. Jednak większość projektów odbiorników PD jest albo zbyt prosta, aby zapewnić wygodną obsługę, albo zbyt skomplikowana z powodu zastosowania mikrokontrolera. Poniższy projekt ma na celu zbudowanie odbiornika energii nadającego się idealnie do eksperymentów i układów prototypowych, umożliwiającego wybór napięcia zasilania jednym kliknięciem przy użyciu tylko dwóch układów scalonych z rodziny 74xx.

Układ ma dwukanałowe wyjście z jednym stałym wyjściem 3,3 V i jednym konfigurowalnym wyjściem z napięciem 5 V/9 V/12 V/15 V/20 V. Obsługa jest bardzo prosta – napięcie wybiera się jednym kliknięciem, które potwierdzane jest wskazaniem diody

REKLAMA

eprasa.pl b4234fed20

LED. System nie zawiera żadnego mikrokontrolera, dzięki czemu jest tani i nie wymaga programowania.

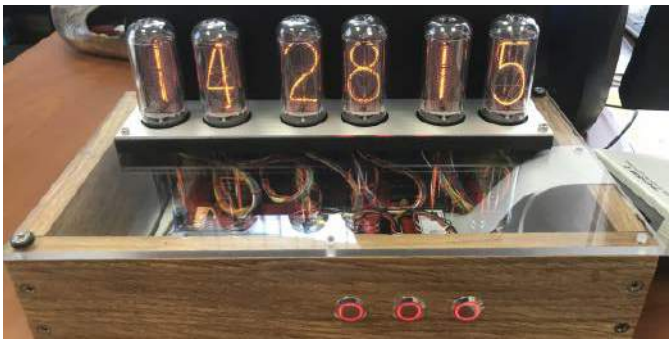
Projekt ten składa się z dwóch płytek drukowanych: płyty bazowej i płyty głównej CH224K, która ma osobny katalog. Plik układu ch224baseProdt w tym folderze łączy ze sobą dwie płytki PCB, dzięki czemu można je zamawiać i produkować jednocześnie. W układzie położono szczególny nacisk na lutowanie: wszystkie ścieżki z małymi rozdzielczościami są rozmieszczone na spodzie, dzięki czemu można je łatwo zlutować za pomocą pasty i lutownicy na gorąc powietrze lub za pomocą stołów grzewczych. Komponenty na górnej stronie należy umieścić później.

Podstawowe wyjścia to dwa złącza 2×4 piny, kompatybilne z płytkami stykowymi. Złącza po lewej stronie dostarczają napięcie z portu USB-C, podczas gdy złącza po prawej dostarczają stabilizowane wyjście 3,3 V. Po obu stronach pin dodatni znajduje się w lewej kolumnie, a GND w prawej.

Poza pinami, napięcie dostępne jest również na złączu o rastrze 5,08 mm, po prawej stronie, jeśli pad dla zewnętrznego stabilizatora nie jest używany, może również pełnić funkcję wyjścia zasilania 3,3 V. Na płytce znajduje się bezpiecznik, stabilizator MPM3620 dla napięcia 3,3 V. Zewnętrzny regulator można podłączyć do płyty za pomocą wyprowadzeń kompatybilnych z 78XX na polach opisanych REG_EXT.

Układ ma jeszcze pewne problemy. Napięcie wyjściowe po włączeniu zasilania jest nieokreślone, dopóki nie zostanie naciśnięty przycisk, chociaż przez większość czasu powinno ono wynosić 9 V. W układzie umieszczono generator impulsów RC, aby ustawić domyślny poziom napięcia na 5 V, ale nie działa on poprawnie – kondensator C1 jest albo zbyt mały, aby wyzwolić elementy logiczne, albo zbyt duży, i nie może utrzymać swojego stanu po uruchomieniu. Dlatego pad dla C1 należy na razie pozostawić nieobsadzony.

https://bit.ly/36jlReB



Zegar z lampami nixie na procesorze Z80

Zaprezentowany projekt to opracowany od podstaw zegar w stylu „Vintage". Bazuje na lampach Nixie i sterowany jest z procesora Z80. Celem było użycie tylko komponentów istniejących w latach 80' lub 90' (żadnych elementów SMD). Firmware napisane jest oczywiście w asemblerze! „Powiew z przeszłości, że tak powiem" podsumowuje autor, Eric Michat. Cały projekt jest otwarty, więc autor chętnie udostępni schematy, układ ścieżek PCB, rysunki mechaniczne i kod dla Z80.

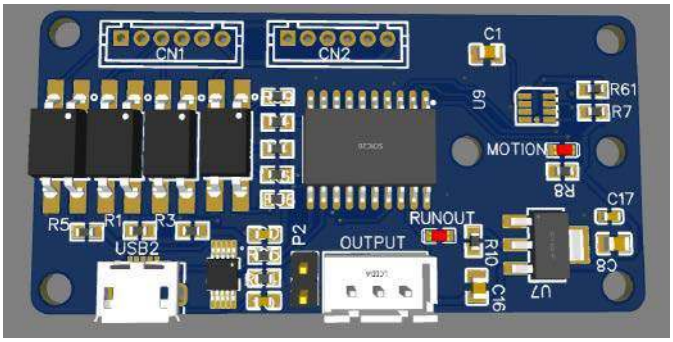
System oparty jest na prostej architekturze Z80; zegar jest sterowany przez dość klasyczny oscylator kwarcowy o częstotliwości 4,194304 MHz, czyli 2^22 Hz. Niepodzielony zegar jest używany dla samego Z80, a 1-sekundowy impuls na wyjściu dzielnika jest używany, jako źródło niemaskowanego przerwania (NMI) dla zegara. Oznacza to, że, jeśli wyłączy się zasilanie, aktualny czas jest stracony. Trzy zatrzaski wyjściowe są wymagane do napędzania dekoderów BCD do wartości dziesiętnych. Ważne jest, aby używać dekoderów, które mają stan OFF dla wszystkich wyjść powyżej kodu 0d9 (aby wyłączyć wszystkie katody lamp Nixie). Nie wszystkie dekodery zapewniają tę funkcję. Ważne jest również posiadanie przetwornicy do zasilania wysokim napięciem i konwersji stanów, ponieważ zastosowane są tranzystory MOS z kanałem typu N do sterowania lamp Nixie. W opisie projektu znajdziecie dokładniejszy opis przetwornicy boost generującej napięcie 180 V dla lamp.

Prosta fotodioda służy do redukcji napięcia lamp podczas pracy w nocy. Tak więc, gdy prąd fotodiody spada, tranzystor w układzie otwiera się, a rezystory sprzężenia zwrotnego przetwornicy nie są już podłączone bezpośrednio do masy, co prowadzi do zmniejszenia napięcia wyjściowego. Napięcia dzienne i nocne regulować można za pomocą trymerów 10 kΩ na PCB.

Zaprojektowano jedną, dwustronną płytkę drukowaną. Prototyp jest dość fantazyjny, ponieważ został wykonany ze złotymi elementami wykończenieniowymi, białym opisem i czerwoną soldermaską. Tańszą wersję można wykonać oczywiście w standardowych kolorach PCB. Wszystkie elementy są montowane przelotowo – nie ma nic SMD. Na tym etapie autor nie stworzył listy elementów, ale wszystkie wartości komponentów są wyraźnie wskazane na schematach. Nie ma trudnych do znalezienia komponentów. „Wszystkie części można znaleźć w starych magazynach, u znajomych lub w sklepach internetowych (procesor Z80 można znaleźć w cenie poniżej 5 dolarów na serwisach aukcyjnych). Najtrudniejszą do znalezienia częścią jest prawdopodobnie cewka indukcyjna przetwornicy" tłumaczy autor. Dla liniowego stabilizatora 5 V i tranzystora przetwornicy zastosowano dość duży radiator – prawdopodobnie można użyć mniejszego. Nie wykorzystano gniazda PCB lamp Nixie. Są po prostu montowane na podstawie z polietylenu i podłączane przewodami przechodzącymi przez izolowaną podstawę.

Obudowa wykonana jest z drewna (zwykły dąb) z ramą dolną z anodyzowanego aluminium o grubości 2 mm i górną pokrywą z pleksiglasu o grubości 5 mm. Wszystkie części mechaniczne są zaprojektowane w SolidWorksie, a pliki projektowe udostępnione przez autora. Aby poprawić kontrast odczytu lamp Nixie, z tyłu lamp zamontowano anodowaną na czarno płytkę aluminiową. Ponieważ fotodiodowy czujnik światła jest montowany bezpośrednio na płytce drukowanej, górna pokrywa musi być wykonana z przezroczystego materiału. Trzy przyciski znajdujące się na przednim panelu są podświetlane diodami LED, ale nie jest to zasadnicza część urządzenia i nie odbiera retro charakteru systemowi.

https://bit.ly/3ygzWp1



Laserowy sensor obecności filamentu dla drukarki 3D

Drukarki 3D są złożonymi urządzeniami, które wyposażone są w wile sensorów. Jednym z nich jest sensor ruchu filamentu. Mierząc jego przemieszczenie i porównując z ruchem silnika można na przykład wykryć zatkanie dyszy. Gdy układ wykryje taką sytuację, ustawia odpowiednią linię w stanie wysokim, a co za tym idzie zatrzymuje drukowanie. Sensor działa ze wszystkimi sterownikami drukarek, posiadającymi wejście na tego rodzaju sensor. Dodatkowo, podłączając się do portu micro USB można uzyskać surowe dane z czujnika i silnika, zaktualizować oprogramowanie układowe mikrokontrolera, ustawić czułość itd.

https://bit.ly/3AsdN98

eprasa.pl b4234fed20

Podstawowe parametry:

- moduł jest zgodny z Raspberry Pi3+ oraz Pi4 z wyprowadzonym złączem PoE,
- może dostarczyć 5 V przy obciążeniu do 2,5 A (max 13 W).

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

----	Moduł DSP Audio do Raspberry Pi (EP 6/2021)
AVT-5858	Płytka bazowa dla Raspberry Pi Pico (EP 5/2021)
AVT-5851	Dwukanałowy port szeregowy dla Raspberry (EP 3/2021)
AVT-5847	Interfejs wyświetlacza TFT-RGB dla RPi Zero (EP 3/2021)
----	Sterownik 18 LED dla Pi Zero (EP 2/2021)
AVT-5837	Moduł do pomiaru napięcia i prądu z interfejsem I²C (EP 1/2021)
AVT-5811	Odtwarzacz audio z Raspberry Pi (EP 10-12/2020)
----	Kieszonkowy Linux (EP 9/2020)
AVT-5776	Miniaturowa czujka ruchu dla Raspberry Pi, Arduino i nie tylko (EP 6/2020)
AVT-5770	Arduino i nie tylko (EP 5/2020)
AVT-5761	Czterokanałowy moduł przekaźnikowy sterowany I²C (EP 4/2020)
Projekt 249	Karta muzyczna dla Raspberry Pi (EP 3/2020)
AVT-5739	Zasilacz buforowy z superkondensatorami dla Raspberry Pi (EP 1/2020)
----	Instalacja zegara czasu rzeczywistego w Raspberry Pi (EP 9/2019)
----	Domowy serwer Network Attached Storage na Raspberry Pi (EP 9/2019)
----	Sprzętowy przycisk do wyłączania Raspberry Pi (EP 9/2019)
AVT-5689	Budżetowy interfejs USB-I²S (EP 7/2019)
AVT-5680	Sensor smogu z technologią Bluetooth Low Energy (EP 4/2019)
----	Miniaturowy moduł interfejsu RS485 dla Raspberry Pi, launchpadów i nie tylko (EP 11/2018)
----	Budowa projektora DLP z użyciem Raspberry Pi 3 oraz modułu TI LightCrafter Display 2000 (EP 9/2018)
AVT-1989	Miniaturowy driver LED RGBW z interfejsem I²C (EP 8/2018)

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

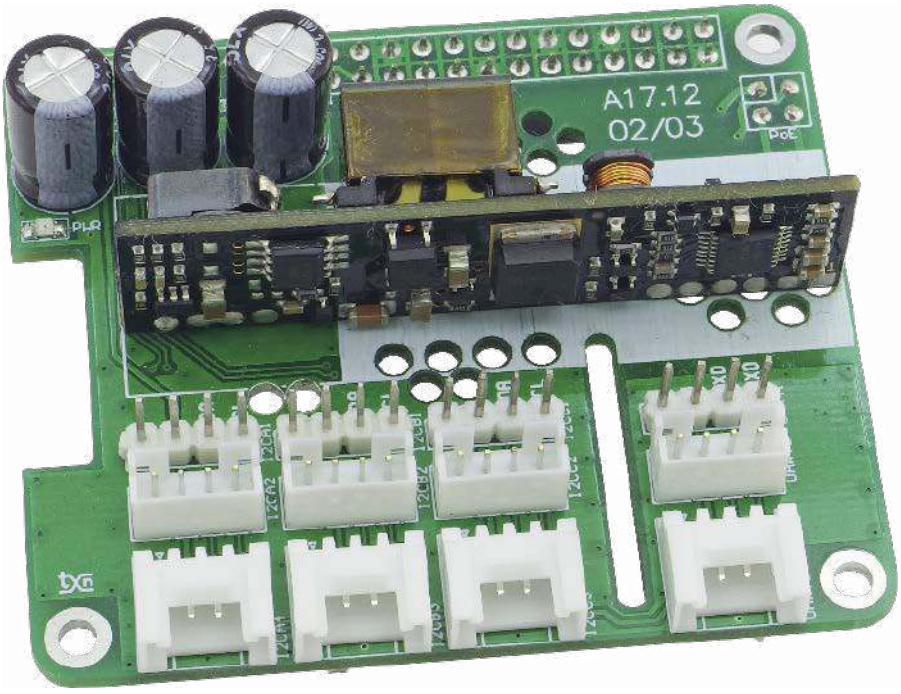
Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

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

Zasilacz PoE do Raspberry Pi

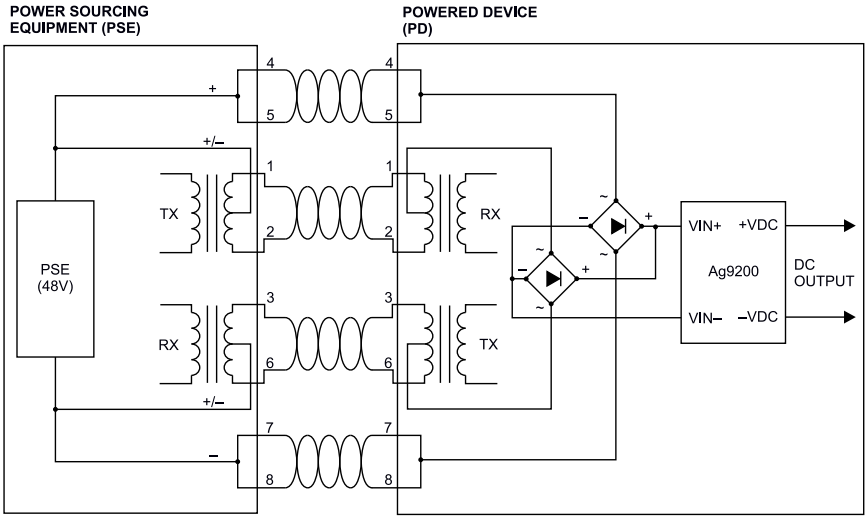
Opisany moduł rozszerzający ułatwia zastosowanie Raspberry Pi w automatyce domowej, systemach sterowania lub monitorowania wizyjnego. Wbudowany zasilacz PoE zgodny z IEE802.3af upraszcza okablowanie aplikacji. Nakładka jest zgodna z Raspberry Pi3+ oraz Pi4 z wyprowadzonym złączem PoE.



Uproszczoną zasadę działania PoE (*Power over Ethernet*) pokazuje **rysunek 1**. Oprócz transmisji danych jednym standardowym przewodem przesyłane jest, także zasilanie. W wersji podstawowej wykorzystane są do tego wolne żyły przewodu – 4, 5, 7, 8, co pozwala na zastosowanie typowych gniazd i transformatorów sprzęgających. W wersji rozszerzonej, do przesyłu zasilania wykorzystane są pary transmisyjne – żyły 1, 2, 3, 6, co wymusza zastosowanie specjalizowanych gniazd zintegrowanych lub transformatorów sprzęgających zdolnych do pracy z większymi prądami uzwojeń. W interfejsie PoE wyróżniane są dwa urządzenia:

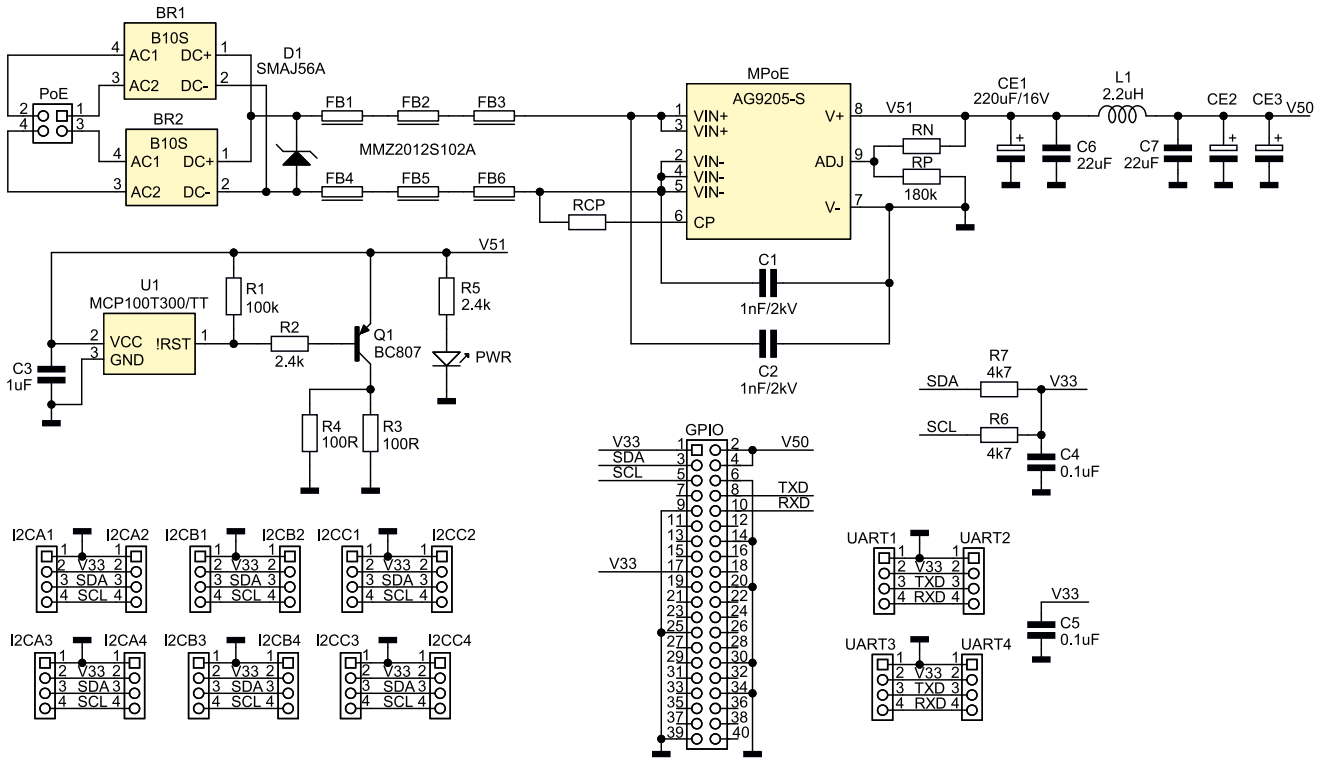
- PSE – źródło zasilania, którym może być switch/router PoE lub zasilacz PoE,
- PD – urządzenie zasilane, czyli dowolny odbiornik zgodny z PoE, np.: kamera IP, punkt dostępowy Wi-Fi itp.

Aby zapewnić odpowiednią moc zasilania, przy niewielkich przekrojach przewodów (ok. 0,2 mm²) podobnie jak w energetyce, zdecydowano o podniesieniu wartości przesyłanego napięcia PoE do wysokiej ale jeszcze bezpiecznej wartości 48 V (w praktyce standard IEE802.3af dopuszcza nawet



Rysunek 1. Uproszczony schemat PoE (za notą Silvertel)

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 2. Schemat ideowy zasilacza PoE z interfejsem czujników

57 V). Umożliwia to teoretycznie dostarczenie z PSE mocy do 15,4 W. Każde z urządzeń PD w zależności od klasy (0...3, 4) ma przydzielony dopuszczalny zakres pobieranej mocy: 0–0,44...12,95 W, 1–0,44...3,84 W, 2–3,84...6,49 W, 3–6,49...12,95 W. Klasa 4. jest zarezerwowana dla przyszłych zastosowań.

Moc dostarczona do PD jest pomniejszona o zakładane spadki napięcia na przewodach oraz sprawność układu przetwarzania PD. Z praktycznych uwag, w przypadku wieloportowych urządzeń PSE, warto zwrócić uwagę, czy dostarczana moc 15,4 W, dostępna jest jednocześnie na wszystkich portach. Bardzo często praktykowane jest ekonomiczne podejście do PSE, gdzie tylko część portów obsługuje PoE lub ograniczony jest sumaryczny zakres dostępnej mocy. Przykładowo switch ma 8 portów, ale tylko 4 obsługują PoE, z czego sumaryczna dostępna moc to 30,8 W, czyli jednocześnie mogą być podłączone tylko dwa urządzenia klasy 3. Warto więc przed wyborem switcha/routera sprawdzić bilans mocy i dokładny sposób jej rozdziału na porty PoE. Oczywiście bez problemu dostępne są urządzenia obsługujące PoE na wszystkich portach z mocą maksymalną, ale od razu znajduje to odzwierciedlenie w cenie, a nie zawsze taka rozbudowana funkcjonalność zostanie wykorzystana w rzeczywistej aplikacji.

Budowa i działanie

Konstrukcja samego zasilacza PoE nie jest zadaniem niemożliwym do wykonania – istnieje wiele sprawdzonych aplikacji. Poważnym problemem, może być jedynie dostępność jednostkowych ilości układów sterujących i specjalizowanego transformatora separacyjnego. Aby nie utrudniać sobie życia i sprawnie wykonać działający układ, warto rozeznać się w ofercie gotowych modułów zasilaczy PoE. Wśród dostępnych na rynku opracowań, wybrany został moduł z rodziny AG92xxS firmy Silvertel. Moduły są zgodne z IEE802.3af, obsługują urządzenia Class0...3, dopuszczają zasilanie 36...57 V (PSE), z możliwością prostej konfiguracji maksymalnego poboru mocy PD. Mają pełne zabezpieczenie wyjścia przetwornicy gwarantujące niezawodną pracę oraz możliwość kalibracji napięcia wyjściowego w zakresie ok. ±10%.

Schemat modułu zasilacza został pokazany na **rysunku 2**. Złącze PoE dostarcza zasilania z płytki Raspberry Pi3+/4, która wyposażona jest w złącze RJ45 interfejsu Ethernet, z wbudowanym transformatorem separacyjnym przystosowanym do pracy z zasilaniem PoE. Zastosowanie mostków prostowniczych BR1, BR2 zapewnia współpracę nakładki z oboma modelami zasilania. Transil D1 zabezpiecza przetwornicę przed skutkami przepięć w przewodach Ethernet. Dławiki ferrytowe FB1...FB6 ograniczają zakłócenia EMI generowane przez przetwornicę MPoE. Zastosowany moduł zasilacza AG9205-S dostarcza napięcia 5 V. Rezystor RCP służy do określenia klasy PD. Domyślnie jest on nie wlutowany, co informuje PSE o poborze mocy odpowiadającym klasie 0 – 0,44…12,95 W. Jeżeli chcemy ograniczyć zakres mocy, znając charakterystykę własnej aplikacji, należy zmienić jego wartość odpowiednio na 698 Ω dla klasy 1, 383 Ω dla klasy 2 i 249 Ω dla klasy 3, rezystor musi mieć tolerancję maksymalnie 1%.

Rezystory Rn, Rp umożliwiają kalibrację napięcia wyjściowego modułu. Jeżeli rezystory pozostaną nie wlutowane, to na wyjściu otrzymamy znamionowe napięcie 5 V. Rezystor RN służy do obniżenia, a RP podniesienia napięcia wyjściowego. Dla zapewnienia niezawodnej współpracy z Raspberry, napięcie wyjściowe ustalone jest na 5,2 V. Jest to wartość bezpieczna dla Pi, a jednocześnie zapewniony zostaje zwiększony margines

WYKAZ ELEMENTÓW które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory: (SMD0805, 1%)
R1: 100 kΩ
R2, R5: 2,4 kΩ
R3, R4: 100 Ω
R6, R7: 4,7 kΩ
RCP: opis w artykule
RN: opis w artykule
RP: 180 kΩ, opis w artykule

Kondensatory:
C1, C2: 1 nF/2 kV SMD1206
C3: 1 µF SMD0805
C4, C5: 0,1 µF SMD0805
C6, C7: 22 µF SMD0805
CE1, CE2, CE3: 220 µF/16 V elektrolityczny, low ESR, 8 mm

Półprzewodniki:
PWR: LED SMD0805
Q1: BC807 (SOT-23)
BR1, BR2: mostek prostowniczy B10S – 600 V/1 A
D1: transil SMAJ56A (SMB_D)
U1: MCP100T300/TT (SOT-23)

Pozostałe:
FB1...FB6: dławik ferrytowy MMZ2012S102A SMD0805
L1: 2,2 µH dławik WE-MAPI4020 (74438356022)
GPIO: złącze IDC40 żeńskie do druku proste
I2CA1, I2CB1, I2CC1, UART1: listwa SIP4 2,54 mm
I2CA2, I2CB2, I2CC2, UART2: złącze PHKS 2,0 mm
I2CA3, I2CB3, I2CC3, UART3: złącze Grove kątowe (110990037)
I2CA4, I2CB4, I2CC4, UART4: złącze JST 1,0 mm
MpoE: moduł PoE Silvertel AG9205-S 5 V
PoE: złącze IDC4 żeńskie do druku proste

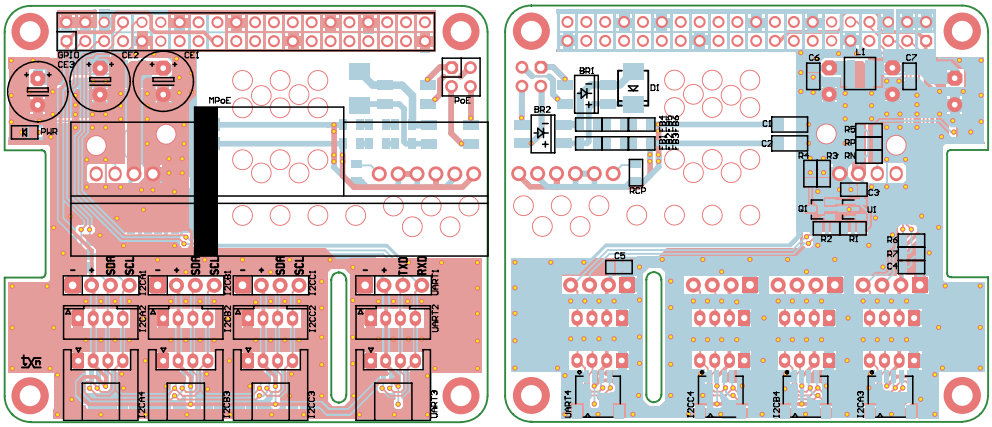
eprasa.pl b4234fed20

UWAGA: w module przetwornicy występują napięcia o wartościach do 60 V, należy zachować szczególną ostrożność podczas uruchamiania układu. Dla zwiększenia bezpieczeństwa polecam moduł zabezpieczyć dodatkowo przekładką lub taśmą izolacyjną.

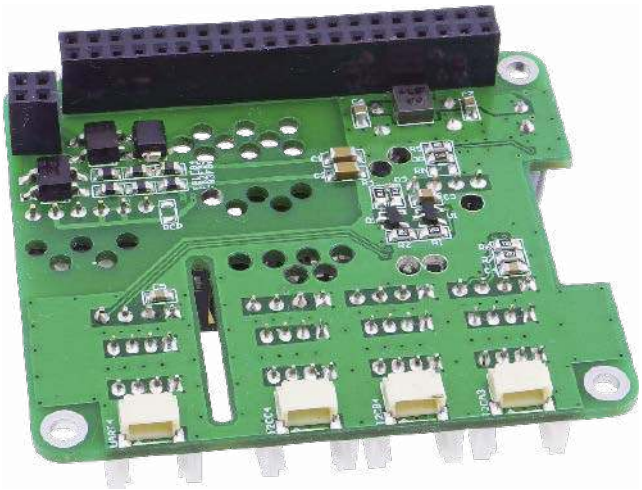
zasilania dla podłączonych urządzeń USB 3.0, kompensując spadki napięć na płytce i kluczach zasilania portów. Kondensator CE1 zapewnia filtrację zasilania, a filtr L1, CE2, CE3 obniża poziom szumów na wyjściu układu. Dodatkowe kondensatory ceramiczne C6, C7 podnoszą skuteczność filtracji wysokich częstotliwości.

Przetwornica AG9205-S współpracuje z zalecanym przez producenta układem wstępnego obciążenia. Praktycznie każdy z modułów PoE musi pracować z minimalnym obciążeniem, gdyż tylko wtedy zagwarantowane są parametry wyjściowe, dotyczy to też momentu rozruchu wbudowanej przetwornicy. Spełnienie warunków gwarantuje, także pracę PSE bez zakłóceń. Układ detektora progu zasilania U1 (MCP100T-3.00) nadzoruje napięcie wyjściowe przetwornicy. Jeżeli jest ono niższe od progu zadziałania, na jego wyjściu utrzymywany jest stan niski, który otwiera tranzystor Q1 włączający rezystory obciążenia wstępnego R3, R4. Po przekroczeniu napięcia progowego, tranzystor jest odcinany, a obciążenie przetwornicy zapewnia uruchamiające się Raspberry Pi. Dioda PWR sygnalizuje obecność zasilania PoE.

Moduł wyposażony jest w blok interfejsu czujników, na które wyprowadzone są interfejsy I²C i UART Raspberry Pi. Gniazda wyjściowe powielone są w standardach SIL, Grove, QWIIC oraz PH, co ułatwia podłączenie czujników z różnych systemów. Napięcie zasilania interfejsu wynosi 3,3 V i pochodzi z wbudowanej w Raspberry Pi przetwornicy.



Rysunek 3. Schemat dwuwarstwowej płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów



Fotografia 1. Wygląd płytki od strony BOTTOM

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat i rozmieszczenie elementów pokazuje **rysunek 3**. Montaż nie jest skomplikowany i nie wymaga opisu. Zmontowany moduł został pokazany na fotografii tytułowej, a widok drugiej strony płytki pokazuje **fotografia 1**.

Przed podłączeniem modułu do RPi warto przeprowadzić próby działania. Do wejścia PoE należy doprowadzić napięcie 48 V (wyprowadzenia 1-2 PoE), wyjście V50 (wyprowadzenia 1, 3 GPIO) podłączyć do sztucznego obciążenia 2,5 A. Po włączeniu zasilania na wyjściu powinno pojawić się napięcie ok. 5,2 V. Zmieniając obciążenie w zakresie 0...2,5 A oraz zasilanie w zakresie 37...57 V sprawdzamy stabilność napięcia wyjściowego, które powinno zawierać się w przedziale 4,8...5,2 V. Dodatkowo jakość zasilania można sprawdzić oscyloskopem, poziom szumów nie powinien przekraczać 50 mV przy maksymalnym obciążeniu (w rzeczywistości jest nawet niższy). Wartości uzyskane podczas pomiarów zestawiono w **tabeli 1**. Dla maksymalnego obciążenia 2,5 A sprawdzono, także zachowanie przy zmianach napięcia wejściowego, wyniki pokazuje **tabela 2**.

Jeżeli moduł pracuje prawidłowo, możemy podłączyć go do Raspberry Pi oraz do switcha lub zasilacza PoE. Po włączeniu zasilania ponownie sprawdzamy napięcie wyjściowe. Podczas testów na kablu o długości ok. 35 m, nakładka zasilała stabilnie Raspberry Pi 4, dysk USB 3.0 HDD 1 TB oraz kamerę i kilka czujników parametrów środowiskowych.

Adam Tatuś, EP

Tabela 1. Pomiary modułu PoE przy zmiennym obciążeniu

Lp.	Io [mA]	Uo [V]	Pwy [W]	Uwe [V]	Iwe [mA]	Pwe [W]	n [%]
1	0	5,19	0,00	48,0	12	0,58	–
2	500	5,17	2,59	48,0	68	3,26	79,2
3	1000	5,15	5,15	48,0	128	6,14	83,8
4	1500	5,12	7,68	48,0	191	9,17	83,8
5	2000	5,10	10,20	48,0	254	12,19	83,7
6	2500	5,07	12,68	48,0	320	15,36	82,5
7	3000	5,05	15,15	48,0	388	18,62	81,3

Tabela 2. Pomiary modułu PoE przy zmiennym napięciu zasilania

Lp.	Io [mA]	Uo [V]	Pwy [W]	Uwe [V]	Iwe [mA]	Pwe [W]	n [%]
1	2500	5,07	12,68	37,0	418	15,47	82,0
2	2500	5,07	12,68	48,0	321	15,41	82,3
3	2500	5,06	12,65	57,0	271	15,45	81,9

eprasa.pl b4234fed20

AVT sklep

Podstawowe parametry:

- możliwość odtwarzania plików lub radia internetowego,
- przetwornik DAC audio typu PCM5100A (do 32-bit, 384 kHz),
- nietypowy kształt płytki pozwala uzyskać zwartą konstrukcję gotowego urządzenia.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

AVT-5828	Moduł audio DAC z układem CS4344 (EP 12/2020)
AVT-5593	Pico DSP – zestaw ewaluacyjny i moduł z procesorem audio DSP (EP 7/2017)
----	Przetwornik audio DAC z interfejsem USB i układem scalonym AD1852 (EP 6/2016)
AVT-1906	Moduł audio DAC dla Raspberry PI z wyjściami I²S i S/PDIF (EP 5/2016)
AVT-5531	Przetwornik A/C audio z układem PCM5102A (EP 3/2016)
AVT-5524	Przetwornik audio DAC z AD1955 (EP 1/2016)
AVT-5492	HUB USB + USB Audio DAC (EP 2/2015)
AVT-5463	Przetwornik A/C audio z układem PCM1803 (EP 8/2014)
AVT-5449	USB Audio DAC – karta muzyczna z interfejsem USB (EP 5/2014)
AVT-5385	Przetwornik D/A z układem TDA1541 (EP 3/2013)
AVT-5359	1-bitowy przetwornik A/D wysokiej klasy (EP 9/2012)
AVT-5346	Wielobitowy przetwornik cyfrowo-analogowy audio z PCM1704 (EP 6-7/2012)
AVT-5335	DAC TDA1543 (EP 3/2012)
AVT-5188	Kompaktowy przetwornik C/A dla Audiofilów (EP 6/2009)
AVT-450	Przetwornik A/C z interfejsem ADAT (EP 11-12/2005)
AVT-384	Przetwornik audio analogowo-cyfrowy z wyjściem S/PDIF (EP 4/2005)
AVT-379	Audiofilski przetwornik C/A (EP 2/2005)
AVT-562	Przetwornik AC do PC (EP 1/2004)
AVT-5084	Audiofilski przetwornik C/A Audio (EP 10-11/2002)

W ofercie AVT*

AVT5869

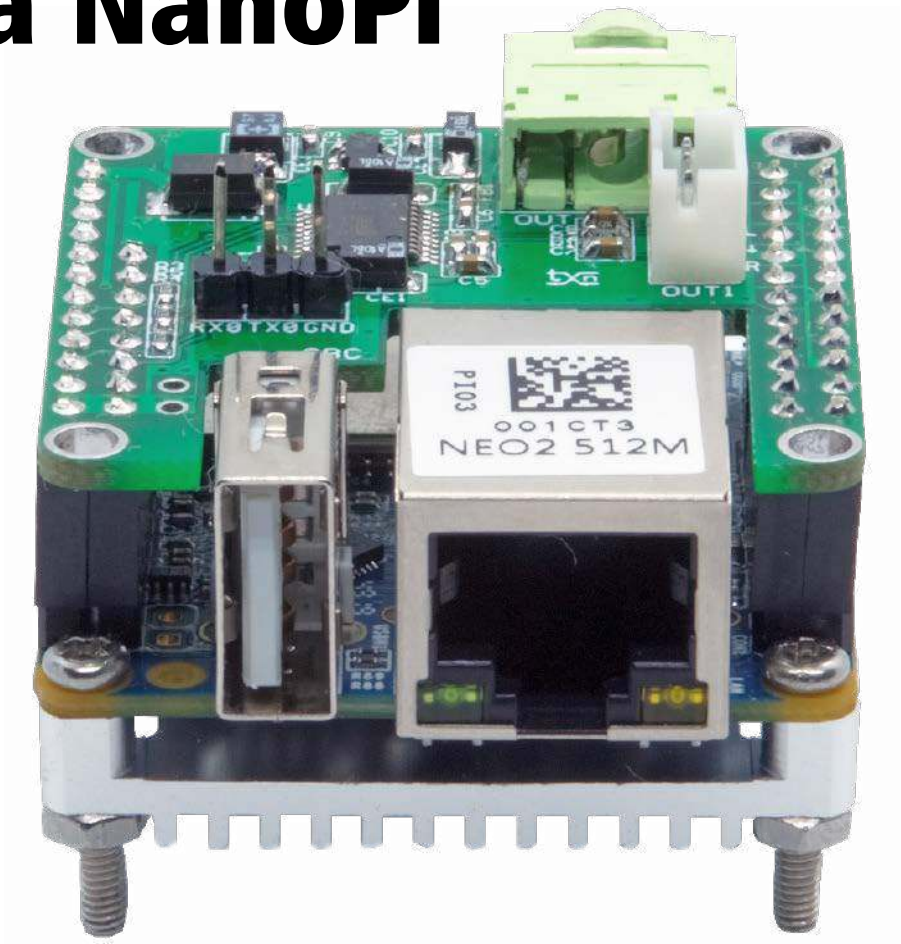
* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować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

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

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

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

Odtwarzacz sieciowy audio dla NanoPi



Nie tylko Raspberry Pi nadaje się na odtwarzacz sieciowy audio. Na rynku SBC pojawiło się sporo płytek stanowiących alternatywę – wśród nich jest NanoPi Neo2 opracowany przez FriendlyElec, pokazany na fotografii 1. Dzięki niewielkim rozmiarom 40×40 mm, wbudowanemu interfejsowi Ethernet i USB, NanoPi z dodatkową płytką przetwornika DAC, może zostać wbudowane do istniejącego zestawu audio, uzupełniając jego funkcjonalność o możliwość odtwarzania plików lub radia internetowego.

Tytułowy odtwarzacz sieciowy powstał z połączenia komputerka NanoPi Neo2 z opisanym poniżej modułem przetwornika DAC audio, dostosowanym mechanicznie do płytki komputerka. Natomiast cały ciężar właściwej funkcjonalności urządzenia spoczywa na oprogramowaniu.

Budowa i działanie

Schemat ideowy modułu został pokazany na **rysunku 1**. Wyjściowy sygnał I²S ze złącza GPIO NanoPI, poprzez rezystory dopasowujące R3...R5 doprowadzony jest do układu U1 typu PCM5100A. Ma on zintegrowany przetwornik DAC, układ PLL odtwarzający sygnał MCLK z BLCK, wyjściowe filtry i stopnie analogowe wraz z ich przetwornicą zasilającą – czyli wszystko co wymagane jest do budowy przetwornika audio. Sygnał analogowy po filtracji w obwodach z elementami R1, R2, C7, C8 dostępny jest na złączu OUT typu Mini Jack 3,5 mm oraz dodatkowo na złączu OUT1 typu PH2.

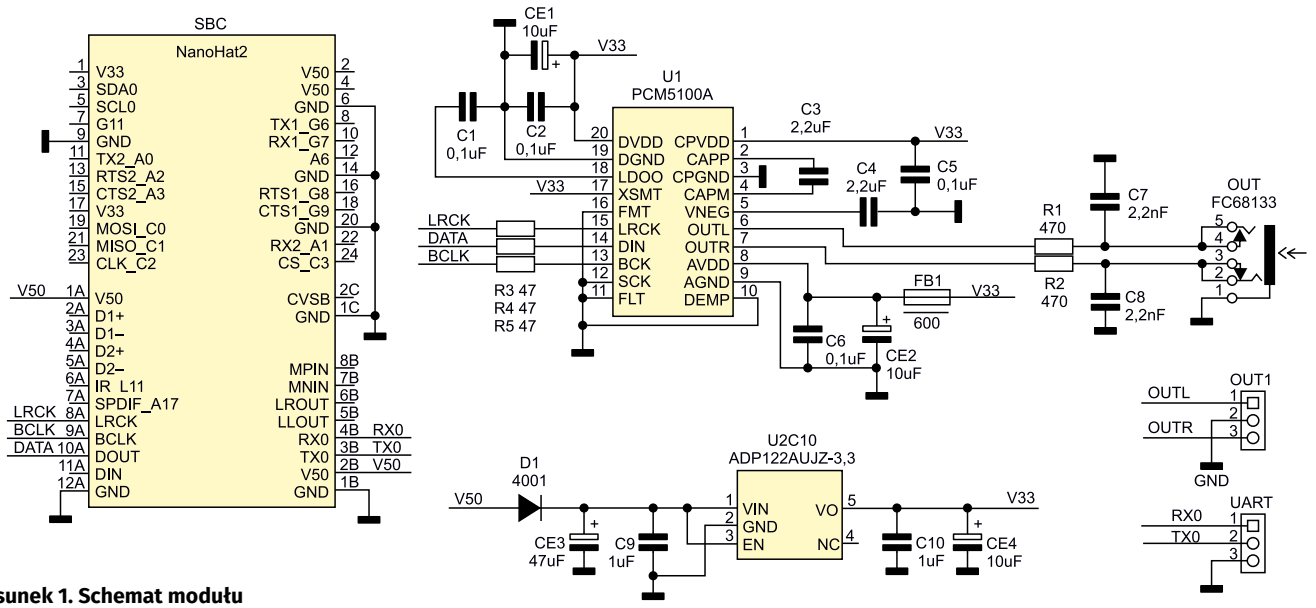
Układ przetwornika zasilany jest z niskoszumnego stabilizatora LDO U2 typu ADP122, napięciem 3,3 V. Zasilanie toru analogowego filtrowane jest dodatkowo przez obwód FB1, C6, CE2. Na złącze UART wyprowadzony jest port szeregowy służący zdalnemu zarządzaniu przez SSH. Standard napięciowy portu to 3,3 V o czym należy pamiętać podczas użytkowania.

Montaż i uruchomienie

Układ mieści się na dwustronnej płytce PCB, której schemat został pokazany na **rysunku 2**. Dzięki frezowaniu nadającemu płytce nietypowy kształt, nie są konieczne niestandardowe, przedłużane złącza GPIO, a sama konstrukcja jest nieco niższa. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga szczegółowego opisu. Zmontowany moduł został pokazany na **fotografii 2**.

Prawidłowo zmontowany DAC nie wymaga uruchamiania. Przed sprawdzeniem

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 1. Schemat modułu

działania, konieczna jest instalacja systemu operacyjnego, z obrazu pobranego ze strony producenta:

```
http://wiki.friendlyarm.com/wiki/index.php/NanoPi_NEO2
nanopi-neo2_sd_friendlycore-xenial_4.14_arm64_20191219.img
```

Po instalacji warto sprawdzić dostępność aktualizacji poleceniem:

```
sudo apt-get update
sudo apt-get upgrade
sudo apt-get install
```

Następnie konieczne jest skonfigurowanie systemu narzędziem:

```
sudo npi-config
```

W zakładce Advanced Options (6) załączamy obsługę I²S (A7). Po restarcie systemu poleceniem:

```
sudo aplay -l
```

sprawdzamy obecność drivera przetwornika I²S:

```
card 4: I2Smaster [I2S-master], device 0: 1c22000.i2s-pcm5102a-hifi pcm5102a-hifi-0 []
Subdevices: 1/1
Subdevice #0: subdevice #0
```

Po podłączeniu urządzenia do wzmacniacza audio, wykonujemy test odtwarzania:

```
aplay /root/Music/test.wav -D plughw:4
```

warto zainstalować odtwarzacz mpg123 oraz ogg123 z pakietu vorbis-tools przydatny do odtwarzania radia internetowego:

```
sudo apt-get install mpg123
sudo apt-get install vorbis-tools
```

Dla sprawdzenia streamingu wpisujemy następujące polecenia (oczywiście można zmienić adres na swoją ulubioną rozgłośnię):

```
mpg123 http://stream.radiobaobab.pl:8000/radiobaobab.mp3
```

lub

```
ogg123 -d alsa http://stream.radiobaobab.pl:8000/radiobaobab.ogg
```

W katalogu użytkownika dla próby zakładamy podkatalog *Music* i wgrywamy do niego kilka plików *mp3*.

Poleceniem:

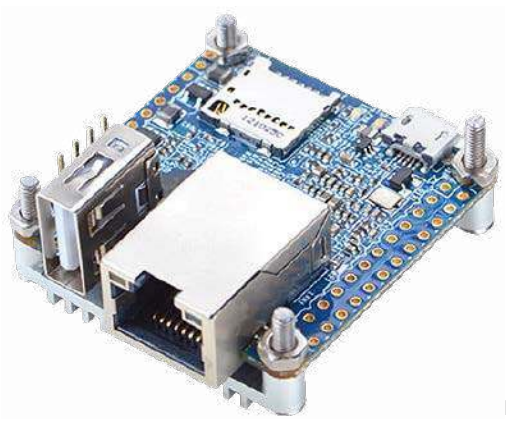
```
mpg123 -z *.*
```

zostaną one odtworzone w losowej kolejności – czyli „samograj" gotowy jest do działania. Warto jeszcze zainstalować pakiet samba:

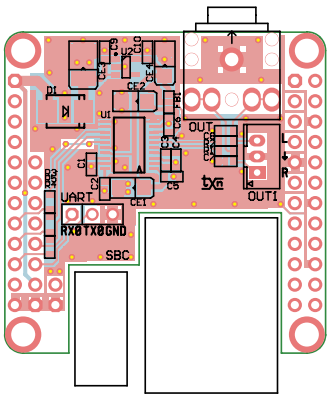
```
sudo apt-get install samba
```

i po konfiguracji udostępnić katalog *Music* użytkownikowi dla odczytu i zapisu w sieci lokalnej, co ułatwi zarządzania plikami muzycznymi lub zainstalować mpd i odpowiedniego klienta.

Adam Tatuś, EP



Fotografia 1. Komputerek SBC NanoPI Neo2



Rysunek 2. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów

Fotografia 2. Zmontowany moduł

WYKAZ ELEMENTÓW które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory: (SMD0603, 1%)
R1, R2: 470 Ω
R3...R5 47 Ω

Kondensatory:
C1, C2, C5, C6: 0,1 μF SMD0603
C3, C4 2,2: μF SMD0603
C7, C8: 2,2 nF SMD0603
C9, C10: 1 μF SMD0603
CE1, CE2, CE4: 10 μF/6,3 V tantalowy SMD3216
CE3: 47 μF/10 V tantalowy SMD3528

Pozostałe:
FB1: dławik ferrytowy 600 Ω/150 mA SMD0603
OUT: gniazdo Jack 3,5 mm stereo FC68133
OUT1: złącze JST PH3 2 mm proste
UART: złącze SIP3 2,54 mm
SBC: złącza SIP żeńskie 2×12 + 1×12 + 1×8

Półprzewodniki:
D1: 4001 SMB
U1: PCM5100A (SSOP20)
U2: ADP122AUJZ-3.3 (SOT-23-5)

eprasa.pl b4234fed20

W ofercie AVT*

AVT5870

Podstawowe parametry:

- odtwarzane pliki dźwiękowe: mp3, wav,
- nośnik odtwarzanych plików: pendrive USB,
- wyjścia dźwięku: słuchawki stereo, głośnik 1 W mono,
- sterowanie: interfejs szeregowy USB (szybkość transmisji 115200), interfejs równoległy (8 linii danych 3 linie funkcyjne),
- zasilanie: z portu USB komputera lub z zewnętrznego zasilacza +5 V.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

AVT-5445 Micro Player – odtwarzacz plików dźwiękowych (EP 1/2014)
AVT-5291 Sterowany za pomocą RS-485 i RC5 odtwarzacz komunikatów MP3 (EP 5/2011)
AVT-1700 Magnetofon cyfrowy z układem ISD17xx (EP 12/2008)
AVT-1305 Cyfrowa nagrywarka audio (EP 5/2001)
AVT-2045 Pozytywka – IISDoffon (EdW 11/1997)

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

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

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

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

Automat mp3

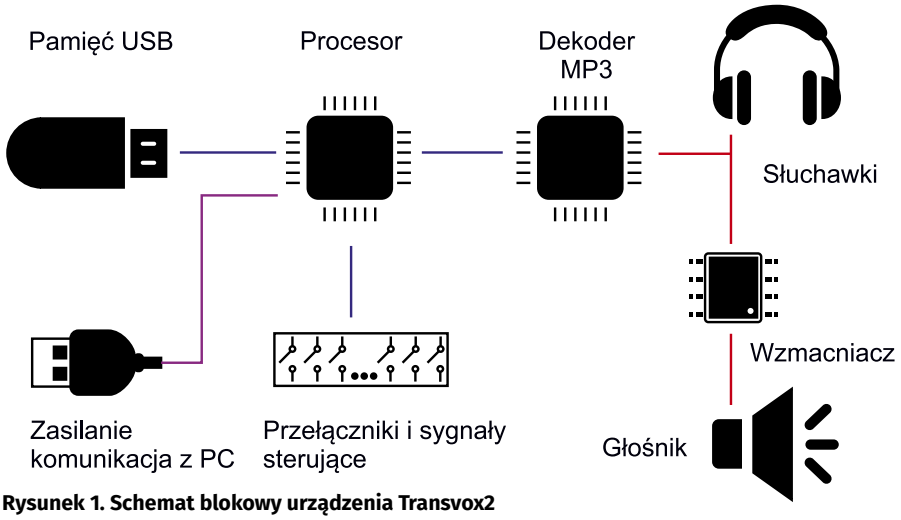
Pliki mp3 służą do zapisu muzyki i dźwięków. Projekt o skrótowej nazwie Transvox2 pozwala na odtwarzanie plików mp3 zgromadzonych na zewnętrznym nośniku, w sposób sterowany. Pliki zawierające muzykę, odgłosy czy komunikaty informacyjne lub reklamowe mogą być odtwarzane poprzez komendy przesłane portem USB skonfigurowanym jako wirtualny port szeregowy lub wyzwalane sygnałami na zwykłych wejściach sterujących.

Na **rysunku 1** zostały pokazane główne elementy Transvox2 i przepływy sygnałów pomiędzy nimi. Sygnał audio z dekodera mp3 jest podawany na gniazdo słuchawek i na wejście układu scalonego wzmacniacza, do którego podłączany jest głośnik. Procesor steruje pracą dekodera i przesyła w czasie odtwarzania dane z wybranego pliku. Pliki dźwiękowe do odtwarzania są zapisane w odrębnym katalogu na dołączanym zewnętrznym nośniku danych.

Sterowanie automatem i wybór plików do odtwarzania odbywa się poprzez jeden z dwu interfejsów. Szeregowym interfejsem USB można przesłać z zewnętrznego komputera rozkazy sterujące w formacie tekstowym. Do ich wysyłania można wykorzystać dowolny program terminalowy pozwalający na wprowadzenie krótkiego tekstu będącego rozkazem i przesłanie go portem USB. Do wyboru odtwarzanego pliku można także użyć interfejsu równoległego. Wystarczy na liniach danych D0...D7 zakodować numer pliku do odtworzenia i wprowadzić go opadającym zboczem sygnału SET.

Budowa

Na **rysunku 2** został pokazany kompletny schemat ideowy automatu Transvox2. Na schemacie znajdziemy pominięte na rysunku 1: interfejs U2 pozwalający podłączyć procesor do portu USB komputera i układ U1 zabezpieczający przed nadmiernym obciążeniem prądowym w czasie podłączania zewnętrznej pamięci USB do gniazda J1. Gniazdo J2 służy do komunikacji z komputerem oraz do doprowadzenia zasilania +5 V.



Rysunek 1. Schemat blokowy urządzenia Transvox2

STEROWANIE ZA POŚREDNICTWEM INTERFEJSU RÓWNOLEGŁEGO

Linie interfejsu równoległego są wyprowadzone na złącze J4. Interfejs składa się z linii danych **D0...D7** i 3 linii funkcyjnych:

PACT – podanie na linię poziomu niskiego uaktywnia interfejs równoległy;

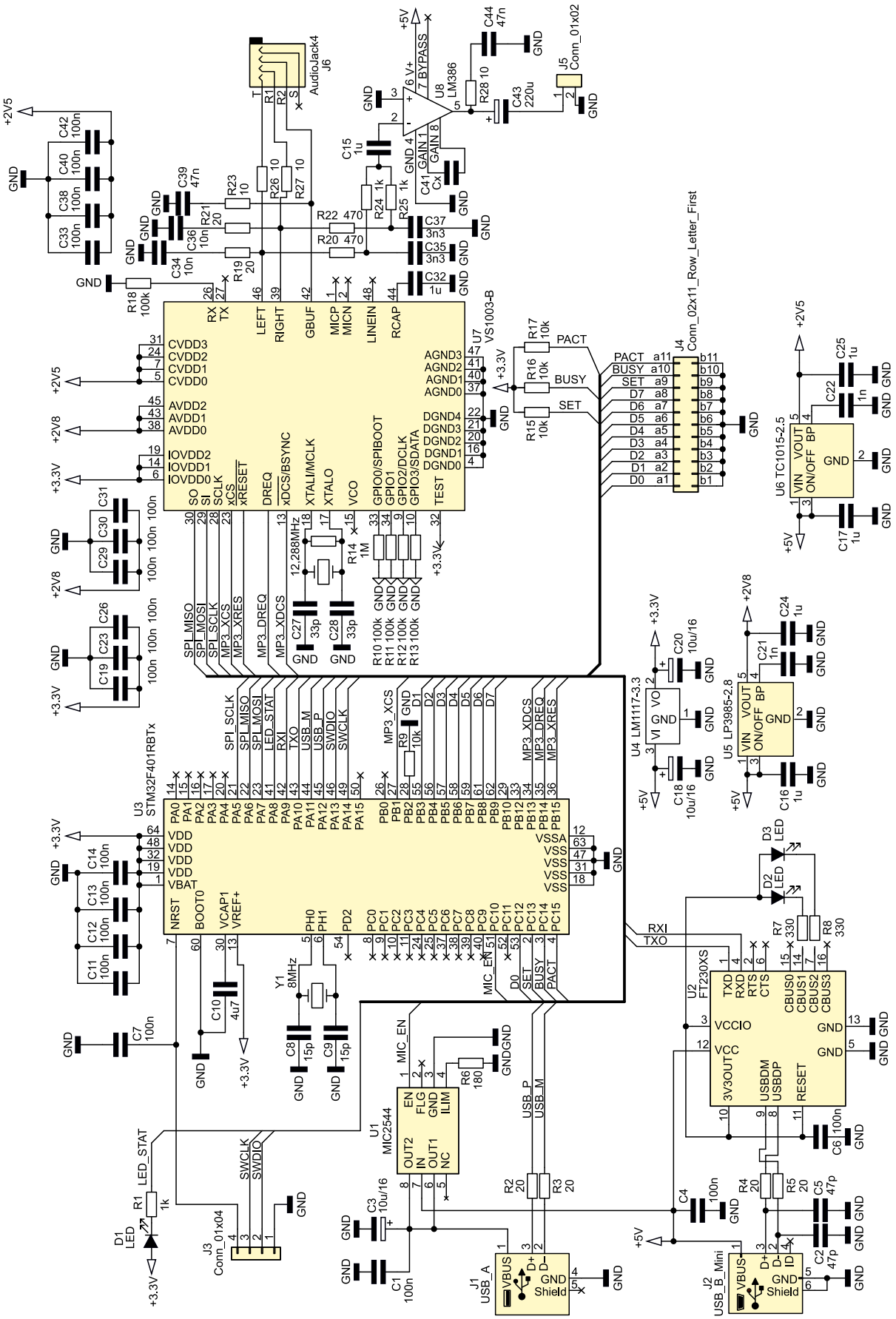
BUSY – sygnalizacja zajętości. Poziom niski oznacza, że aktualnie jest już odtwarzany plik dźwiękowy i odtwarzanie nowego nie jest możliwe;

SET – zbocze opadające wprowadza numer pliku i inicjuje jego odtwarzanie;

D0...D7 – kodowany binarnie numer pliku do odtworzenia. Linie pracują w logice ujemnej np. kodowanie pliku numer 1 do odtworzenia oznacza ustawienie na liniach sekwencji 11111110. Linie są pociągane do poziomu wysokiego więc sterowanie sprowadza się do zwierania ich do masy. Osiem linii D0...D7 pozwala ustawić numer pliku z zakresu od 1 do 255. Numer 0 pełni funkcję rozkazu `@BR\r`. Można go wprowadzić nawet gdy linia BUSY sygnalizuje zajętość i ma poziom niski.

eprasa.pl b4234fed20

Jako dekoder plików dźwiękowych pracuje dobrze znany układ VS1003-B oznaczony na schemacie jako U7. Ponieważ w tym projekcie działa wyłącznie jako dekoder, kilka wyprowadzeń używanych podczas kodowania zewnętrznego źródła dźwięku pozostało niepodłączonych. Do wyjść dekodera można bezpośrednio podłączyć słuchawki poprzez gniazdo J6. Dla dołączenia głośnika potrzebny jest układ U8, który wzmacnia zsumowany sygnał audio kanałów lewego i prawego. Wzmocnienie układu U8 można zwiększyć



Rysunek 2. Schemat ideowy urządzenia Transvox2

eprasa.pl b4234fed20

ROZKAZY STERUJĄCE

Z komputera, portem USB skonfigurowanym jako wirtualny port szeregowy mogą być przesyłane rozkazy sterujące. Składają się z tekstu rozpoczynanego znakiem @ i zakończonego znakiem powrotu CR. Jako potwierdzenie jest odsyłany odebrany rozkaz zakończony komunikatem OK. W przypadku wystąpienia błędu odsyłany zostaje komunikat ERROR.

Rozkaz **LP** – odczyt listy plików w kolejności ich fizycznego położenia w podkatalogu *vox_pliki*:
`@LP;5;11\r` – pierwsza cyfra oznacza numer pliku rozpoczynającego listę, druga ilość pozycji listy. Obie cyfry muszą mieć wartość większą od 0. Symbol `\r` oznacza znak CR.

Przesłana do wyświetlenia lista podaje pozycję plików w kolejności ich położenia w strukturze podkatalogu. Skasowanie plików i dopisanie nowych zmienia kolejność listy.

Rozkaz **PI** – odtworzenie kolejnych plików o numerach odpowiadających pozycji na liście:
`@PI;8;2;3\r` – Odtworzenie kolejnych plików o numerach 8, 2, 3.

Rozkaz **PN** – odtworzenie pliku o podanej nazwie:
`@PN;plik1.mp3\r` – po zakończeniu odtwarzania pliku zostanie wysłane potwierdzenie OK lub, w przypadku błędu komunikat ERROR.

Rozkaz **VC** – regulacja głośności obydwu kanałów lewego i prawego:
`@VC;250\r` – parametr głośności może przyjąć wartość od 1 do 255. Maksymalna głośność na wyjściach audio obydwu kanałów jest ustawiana gdy parametr wynosi 255. Następnie ze skokiem 0,5 dB głośność jest zmniejszana przy podawaniu mniejszych wartości. Jeśli rozkaz zostanie wysłany bez parametru zostanie zwrócona wartość aktualnie ustawionej głośności.

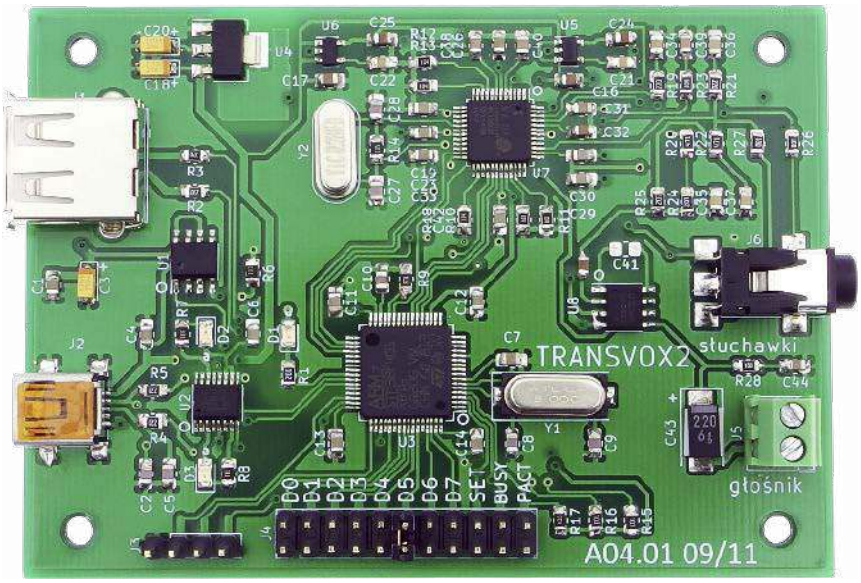
Rozkaz **VB** – regulacja balansu pomiędzy kanałem lewym i prawym:
`@VB;-4\r` – balans jest realizowany przez wyciszanie jednego z kanałów ze skokiem 0,5 dB:
1... 254 wyciszanie kanału prawego,
-1 ... -254 wyciszanie kanału lewego,
0 żaden kanał nie jest wyciszony, balans neutralny.
Jeśli rozkaz zostanie wysłany bez parametru, to zostanie zwrócona wartość aktualnie ustawionego balansu.

Rozkaz **BR** – natychmiastowe przerwanie odtwarzania pliku dźwiękowego: `@BR\r`

Rozkaz **FJ** – utworzenie pliku ustawień:
`@FJ\r` – utworzenie i zapis pliku w formacie JSON w katalogu *vox_pliki/vox_param.txt*. W pliku zapamiętywane są bieżące ustawienia głośności i balansu. Jeżeli plik istnieje, po resecie jego zawartość jest odczytywana i są odtwarzane ustawienia obydwu parametrów.

dziesięciokrotnie przez wlutowanie w miejsce kondensatora C41 (U8 piny 1, 8) pojemności 10 µF. Bez kondensatora wzmocnienie wynosi 20 (26 dB). Dekoder jest sterowany poprzez magistralę SPI przez procesor U3.

Schemat płytki PCB został pokazany na **rysunku 3**. Pomimo dosyć rozbudowanej konstrukcji, jej montaż jest typowy i nie wymaga szczegółowego omawiania. Zmontowana płytka została pokazana na **fotografii 1**.



Fotografia 1. Zmontowana płytka urządzenia Transvox2

Sterowanie dekoderem mp3

Sterowanie pracą dekodera VS1003 odbywa się za pośrednictwem magistrali SPI i jej wyprowadzeń SO (MISO), SI (MOSI) i SCLK. W wewnętrznej strukturze dekodera interfejs SPI zostaje rozdzielony na dwie magistrale: SCI (*Serial Control Interfejs*) i SDI (*Serial Data Interface*). Pierwsza służy do zapisu i odczytu z wewnętrznych rejestrów sterujących pracą układu. Poprzez zmianę zawartości rejestrów można np. regulować poziom sygnału audio podawanego na słuchawki i głośnik. Dane zapisywane i odczytywane z rejestrów mają długość 16 bitów. Druga magistrala SDI, służy do przesyłania danych dekodowanego pliku muzycznego. Dane przesyłane są w formacie 8-bitowym. O tym do której magistrali będą podłączane wyprowadzenia SPI decydują stany niskie dwóch sygnałów: xCS aktywuje magistralę SCI a xDCS aktywuje magistralę SDI.

Na **listingu 1** pokazana została procedura odczytu zawartości 16-bitowego rejestru

Listing 1. Procedura odczytu zawartości 16-bitowego rejestru sterującego magistralą SCI

```
//odczyt z rejestru 16 bitowego
uint16_t Player1003::ReadSci(uint8_t addr) {
uint16_t res;
uint8_t bufor;

  // czekaj na stan wysoki sygnału DREQ
  while (HAL_GPIO_ReadPin(dreq_port, dreq_pin) ==GPIO_PIN_RESET);
  HAL_GPIO_WritePin(cs_port, cs_pin, GPIO_PIN_RESET); //xCS stan niski
  bufor =0x03;                          //komenda odczytu
  SPI_WysylanieDoVS1003B(&bufor, 1);    //wysłanie kodu komendy do VS1003B
  bufor =addr;                          //adres rejestru do odczytu
  SPI_WysylanieDoVS1003B(&bufor, 1);    //wysłanie adresu rejestru SCI
  SPI_OdbieranieZVS1003B(&bufor, 1);    //odbiór H bajtu
  res =(uint16_t)bufor<<8;
  SPI_OdbieranieZVS1003B(&bufor, 1);    //odbiór L bajtu
  res =res + bufor;
  HAL_GPIO_WritePin(cs_port, cs_pin, GPIO_PIN_SET); //xCS stan wysoki
  return res;                           //procedura zwraca 16 bitową zwartość rejestru
}
```

WYKAZ ELEMENTÓW które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

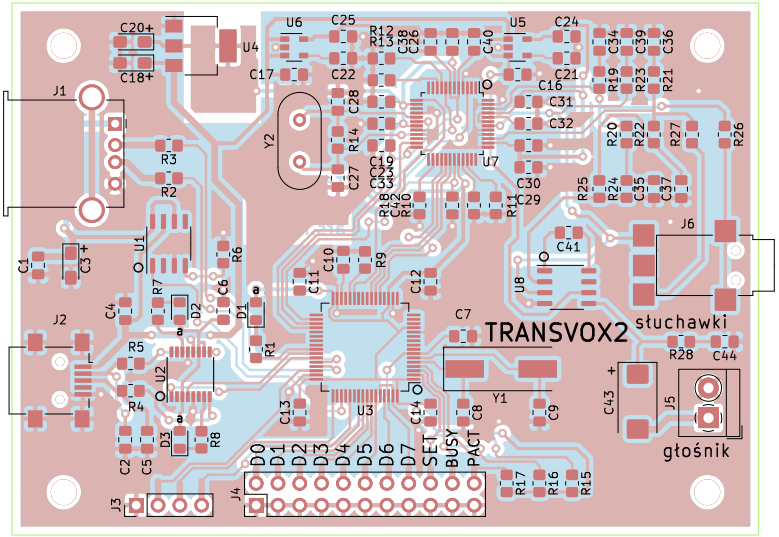
Rezystory: (SMD0805)
R1, R24, R25: 1 kΩ
R14: 1 MΩ
R10...R13, R18: 100 kΩ
R20, R22: 470 Ω
R23, R26...R28: 10 Ω
R2...R5, R19, R21: 20 Ω
R6: 180 Ω
R7, R8: 330 Ω
R9, R15...R17: 10 kΩ

Kondensatory: (SMD0805)
C10: 4,7 µF
C1, C4, C6, C7, C11...C14, C19, C23, C26, C29...C31, C33, C38, C40, C42: 100 nF
C15...C17, C24, C25, C32: 1 µF
C3, C18, C20: 10 µF/16 V tantalowy SMD A
C21, C22: 1 nF
C27, C28: 33 pF
C34, C36: 10 nF
C35, C37: 3,3 nF
C39, C44: 47 nF
C41: 0...10 µF dobierany
C43: 220 µF/6,3 V tantalowy SMD typ C
C2, C5: 47 pF
C8, C9: 15 pF

Półprzewodniki:
D1...D3: LED SMD0805
U1: MIC2544-1YM (SO8)
U2: FT230XS (SSOP16)
U3: STM32F401RBT (LQFP64)
U4: LM1117-3.3 (SOT223)
U5: LP3985-2.8 (SOT23-5)
U6: TC1015-2.5 (SOT23-5)
U7: VS1003-B (LQFP48)
U8: LM386 (SO8)

Pozostałe:
J1: gniazdo USB_A
J2: gniazdo USB_B_Mini
J3: 1×4 goldpiny proste
J4: 2×11 goldpiny proste
J5: złącze śrubowe 2 pola, raster 3,5
J6: gniazdo Jack 3,5 mm, stereo, poziome, SMD (1503 13 VP3 LUMBERG)
Y1: 8 MHz kwarc SMD
Y1: 12,288 MHz kwarc SMD

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów

Listing 2. Procedura zapisu do 16-bitowego rejestru sterującego magistralą SCI

```
//zapis do rejestru 16 bitowego
void Player1003::WriteSci(uint8_t addr, uint16_t data) {
uint8_t bufor;

  // czekaj na stan wysoki sygnału DREQ
  while (HAL_GPIO_ReadPin(dreq_port, dreq_pin) ==GPIO_PIN_RESET);
  HAL_GPIO_WritePin(cs_port, cs_pin, GPIO_PIN_RESET); //xCS stan niski
  bufor =0x02;                                        //komenda zapisu
  SPI_WysylanieDoVS1003B(&bufor, 1);                  //wysłanie kodu komendy do VS1003B
  bufor =addr;                                        //adres rejestru do zapisu
  SPI_WysylanieDoVS1003B(&bufor, 1);                  //wysłanie adresu rejestru SCI
  bufor =data >>8;
  SPI_WysylanieDoVS1003B(&bufor, 1);                  //wysłanie 8 starszych bitów
  bufor =0xff & data;
  SPI_WysylanieDoVS1003B(&bufor, 1);                  //wysłanie 8 młodszych bitów
  HAL_GPIO_WritePin(cs_port, cs_pin, GPIO_PIN_SET);   //xCS stan wysoki
}
```

Listing 3. Procedura przesłania poprzez wewnętrzną magistralę SDI fragmentu odtwarzanego pliku MP3 o rozmiarze do 32 bajtów

```
//przesłanie fragmentu danych pliku MP3
int Player1003::WriteSdi(const uint8_t *data, uint8_t bytes) {
uint8_t i, bufor;

  if (bytes >32) return -1;                           //błąd, za długa transmisja
  // czekaj na stan wysoki sygnału DREQ
  while (HAL_GPIO_ReadPin(dreq_port, dreq_pin) ==GPIO_PIN_RESET);
  HAL_GPIO_WritePin(dcs_port, dcs_pin, GPIO_PIN_RESET);   //xDCS stan niski
  for (i=0; i<bytes; i++)
  {
    bufor =*data;
    data++;
    SPI_WysylanieDoVS1003B(&bufor,1);
  }
  HAL_GPIO_WritePin(dcs_port, dcs_pin, GPIO_PIN_SET);     //xDCS stan wysoki
  return 0;
}
```

sterującego, magistralą SCI. Stan wysoki sygnału DREQ informuje o gotowości układu VS1003B. Po ustawieniu stanu niskiego na wyprowadzeniu xCS, można przesłać magistralą SPI z kontrolera sterującego komendę odczytu (wartość 0x03) i bajt adresu odczytywanego rejestru. Następnie czytane są dwa bajty ze starszymi i młodszymi bitami rejestru. Na koniec magistrala SCI jest zamykana ustawieniem wysokiego stanu na wyprowadzeniu xCS.

Na **listingu 2** został pokazana procedura zapisu do 16-bitowego rejestru magistralą SCI. Po otwarciu magistrali, przesłaniu komendy zapisu (wartość 0x02) i adresu rejestru, wysyłane są bajty ze starszymi i młodszymi bitami danej. Na koniec magistrala powinna zostać zamknięta.

Z kolei na **listingu 3** została pokazana procedura przesłania poprzez wewnętrzną magistralę SDI fragmentu odtwarzanego pliku MP3 o rozmiarze do 32 bajtów. Tak jak poprzednio należy poczekać na stan wysoki sygnału DREQ i dopiero wtedy można wysłać stan niski na wyprowadzenie xDCS otwierające dostęp do wewnętrznej magistrali SDI. Wtedy rozpoczyna się przesłanie bajtów danych, które są umieszczane w wewnętrznym buforze VS1003B. Po przesłaniu danych należy podać stan wysoki na xDCS zamykając magistralę SDI.

Działanie automatu Transvox2

Po podłączeniu zasilania dwukrotnie błyska dioda LED D1 a na wyjście audio jest wysyłany powitalny komunikat „hello". Jeżeli do gniazda USB płytki J2 podłączony jest komputer z uruchomionym programem terminalowym, odebrany zostanie komunikat z nazwą urządzenia i wersją oprogramowania. Port USB komputera powinien być skonfigurowany jako wirtualny port szeregowy o szybkości transmisji 115200 bez parzystości. Gdy do gniazda J1 dołączony zostanie Pendrive to odpowiedni komunikat powiadomi o jego wykryciu. Transvox2 będzie poszukiwał w głównym katalogu, podkatalogu o nazwie *vox_pliki* z plikami dźwiękowymi do odtworzenia. Jeżeli go nie znajdzie zostanie on utworzony automatycznie. Od tego momentu układ jest gotów do pracy i oczekuje na polecenia użytkownika.

Pliki dźwiękowe do odtwarzania w formacie *mp3* lub *wav* trzeba samodzielnie przekopiować do podkatalogu *vox_pliki*. Pliki mogą mieć długie nazwy ale bez polskich znaków.

Odtwarzanie komunikatów

Transvox2 odtwarza z jakością typową dla formatu MP3 pliki z muzyką, efektami dźwiękowymi i mową. Sterowany przez dodatkowy układ procesorowy może w reakcji na zdarzenie odtwarzać odpowiedni plik z przygotowanym komunikatem, informacją lub ostrzeżeniem. Korzystając z rozkazu `@PI` można odtwarzać grupowo kilka plików sklejając je ze sobą bez zauważalnych przerw. Wykorzystując około 50 plików MP3 można z dobrą jakością obsłużyć wypowiadanie dowolnej liczby z zakresu od 0 do 999999 uwzględniając niełatwą polską odmianę liczebników.

W przypadku komunikatów do odtwarzania, najprościej je nagrać korzystając z oprogramowania typu *text to speech*. W internecie można znaleźć witryny które przekształcą wpisany tekst na głosowe nagranie w formacie mp3. Po zapisaniu plików na pendrivie w katalogu o nazwie *vox_pliki* będą mogły być odtwarzane przez automat Transvox2.

Ryszard Szymaniak
biuro@ars.info.pl

OGŁOSZENIE

AVT wydawnictwo

Wydawnictwo AVT podejmie współpracę z tłumaczami fachowych tekstów dla elektroników z języka angielskiego. Kontakt: anna.cember@avt.pl

eprasa.pl b4234fed20

Podstawowe parametry:

- moc 2×3 W przy impedancji 4 Ω,
- komunikacja przez interfejs I²S,
- jest przeznaczony do łatwego podłączenia do Raspberry Pi Zero, ale działa także z innymi wersjami komputerka,
- możliwość regulacji wzmocnienia w zakresie od +3 do +15 dB, co 3 dB, przy pomocy rezystorów na PCB,
- wymaga zasilania 5 V o wydajności ok. 2...3 A.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

----	Moduł DSP Audio do Raspberry Pi (EP 6/2021)
AVT-5858	Płytka bazowa dla Raspberry Pi Pico (EP 5/2021)
AVT-5851	Dwukanałowy port szeregowy dla Raspberry (EP 3/2021)
AVT-5847	Interfejs wyświetlacza TFT-RGB dla RPi Zero (EP 3/2021)
----	Sterownik 18 LED dla Pi Zero (EP 2/2021)
AVT-5837	Moduł do pomiaru napięcia i prądu z interfejsem I²C (EP 1/2021)
AVT-5811	Odtwarzacz audio z Raspberry Pi (EP 10–12/2020)
----	Kieszonkowy Linux (EP 9/2020)
AVT-5776	Miniaturowa czujka ruchu dla Raspberry Pi, Arduino i nie tylko (EP 6/2020)
AVT-5770	Arduino i nie tylko (EP 5/2020)
AVT-5761	Czterokanałowy moduł przekaźnikowy sterowany I²C (EP 4/2020)
Projekt 249	Karta muzyczna dla Raspberry Pi (EP 3/2020)
AVT-5739	Zasilacz buforowy z superkondensatorami dla Raspberry Pi (EP 1/2020)
----	Instalacja zegara czasu rzeczywistego w Raspberry Pi (EP 9/2019)
----	Domowy serwer Network Attached Storage na Raspberry Pi (EP 9/2019)
----	Sprzętowy przycisk do wyłączania Raspberry Pi (EP 9/2019)
AVT-5689	Budżetowy interfejs USB-I²S (EP 7/2019)
AVT-5680	Sensor smogu z technologią Bluetooth Low Energy (EP 4/2019)
----	Miniaturowy moduł interfejsu RS485 dla Raspberry Pi, launchpadów i nie tylko (EP 11/2018)
----	Budowa projektora DLP z użyciem Raspberry Pi 3 oraz modułu TI LightCrafter Display 2000 (EP 9/2018)
AVT-1989	Miniaturowy driver LED RGBW z interfejsem I²C (EP 8/2018)

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

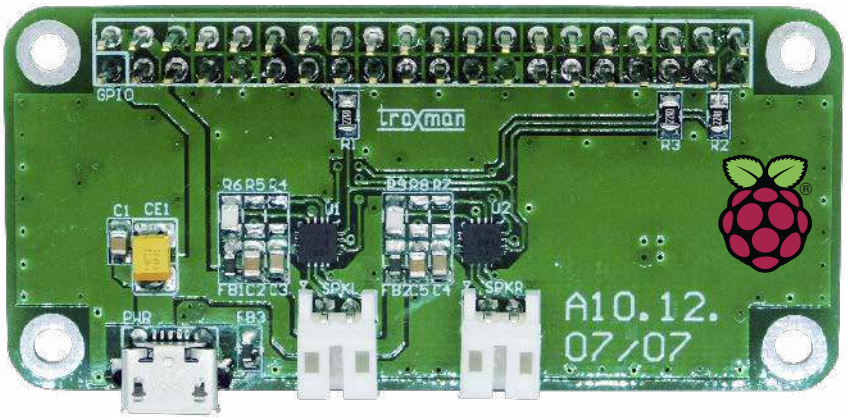
Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

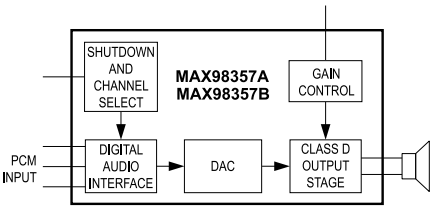
W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.

Cyfrowy wzmacniacz audio w formacie RPi Zero

Zaprezentowany moduł to cyfrowy wzmacniacz audio o mocy 2×3 W wykonany w formacie płytki Raspberry Pi Zero. Będzie pomocny przy budowie niewielkich aplikacji multimedialnych takich jak odtwarzacze sieciowe, odbiorniki radia internetowego, kioski informacyjne, ale także w systemach syntezy głosu TTS (Text to Speech) bazujących na Raspberry Pi.



Pomimo niewielkich rozmiarów płytka integruje dwa kanały wzmacniacza audio z wbudowanymi przetwornikami DAC i interfejsem I²S, przeznaczone do łatwego podłączenia do Raspberry Pi Zero. Dzięki zastosowaniu specjalistycznych układów typu MAX98357A, których budowa wewnętrzna została pokazana na **rysunku 1**, płytka nie wymaga uruchamiania, a ilość elementów zewnętrznych ograniczona jest do minimum. W tej konfiguracji moduł dostarcza moc do 3 W przy impedancji 4 Ω. W zależności od potrzeb, może zostać wyposażony tylko w jeden wzmacniacz mocy, co zmniejsza koszt rozwiązania i jest wystarczające w aplikacjach TTS.



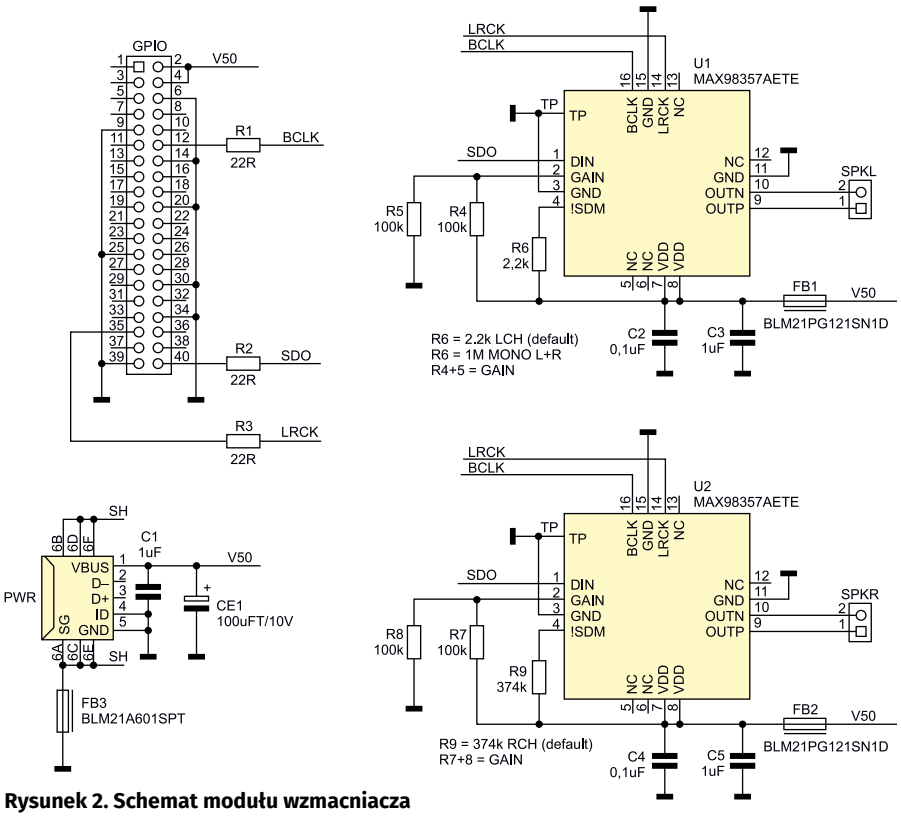
Rysunek 1. Budowa wewnętrzna układu MAX98357A

Tabela 1. Konfiguracja wzmocnienia układu

Wzmocnienie	R5, R8	R4, R7
+15 dB	100 kΩ	NC
+12 dB	0 Ω	NC
+9 dB	NC	NC
+6 dB	NC	0 Ω
+3 dB	NC	100 kΩ

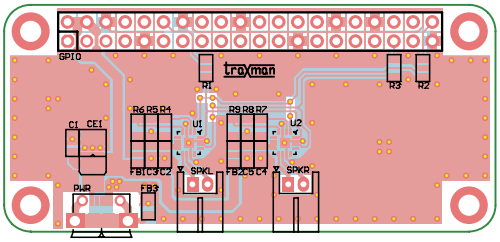
Budowa i działanie

Schemat ideowy modułu został pokazany na **rysunku 2**. Sygnał I²S wychodzący ze złącza GPIO, poprzez rezystory dopasowujące



Rysunek 2. Schemat modułu wzmacniacza

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elemenytów

R1...R3 jest doprowadzony do układu U1 dla kanału lewego oraz U2 dla kanału prawego, każdy z układów odtwarza tylko jeden kanał sygnału z interfejsu. Rezystory R6 oraz R9 umożliwiają konfigurację trybu pracy wzmacniaczy, dla wartości 2,2 kΩ wzmacniacz skonfigurowany jest dla odtwarzania kanału lewego (domyślne dla U1), dla 374 kΩ (i zasilania 5 V) dla odtwarzania kanału prawego (domyślne dla U2) lub w przypadku rezystora R6=1 MΩ, dla odtwarzania sumy sygnałów L+R dla trybu Mono, co jest użyteczne w aplikacjach TTS i informacyjnych (w przypadku trybu mono nie montujemy wzmacniacza U2).

Układ MAX98357A ma możliwość regulacji wzmocnienia w zakresie od +3 do +15 dB, co 3 dB. Odbywa się to poprzez odpowiednią konfigurację rezystorów R4, R5 i R7, R8 podłączonych do wyprowadzenia GAIN. Wartości rezystorów dla różnych ustawień wzmocnienia zestawiono w **tabeli 1**. Wzmocniony sygnał wyprowadzony jest na złącza SPKL/R dla każdego z kanałów. Ze względu na znaczny pobór mocy moduł wymaga zasilania 5 V o wydajności ok 2...3 A. Zasilanie powinno być doprowadzone do złącza PWR (Micro USB), tak aby zminimalizować długość połączeń wysokoprądowych. Raspberry Pi Zero zasilane jest w tym przypadku z modułu wzmacniacza audio poprzez złącze GPIO.

Montaż i uruchomienie

Moduł audio zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej zgodnej mechanicznie z RPi Zero. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby używać jej, także z pełnowymiarowym RPi Plus. Schemat płytki drukowanej został pokazany na **rysunku 3**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga szczegółowego opisu, a zmontowany moduł powinien wyglądać jak na fotografii tytułowej.

Prawidłowo zmontowany moduł nie wymaga uruchamiania, jednak konieczne jest skonfigurowanie systemu operacyjnego. Najlepszym wyborem jest Raspbian, gdyż ma wbudowaną obsługę programową (zgodną z Hi-Fi-Berry DAC). Na [początek, na wszelki wypadek należy zaktualizować system przy pomocy komend:

```
sudo rpi-update
sync
sudo reboot
```

i przeprowadzić instalację zgodnie z instrukcjami na tej stronie: https://bit.ly/3xhRscs.

Innym rozwiązaniem jest uruchomienie skryptu konfigurującego *i2samp.sh*, przygotowanego przez Adafruit, który wykona wszystkie niezbędne ustawienia. W tym celu należy uruchomić:

```
curl -sS https://raw.
githubusercontent.com/adafruit/
Raspberry-Pi-Installer-Scripts/
master/i2samp.sh | bash
```

a następnie należy zrestartować RPi. Po uruchomieniu warto sprawdzić poprawność konfiguracji poleceniem:

```
sudo aplay –l
```

Przetwornik DAC powinien pojawić się na liście dostępnych urządzeń odtwarzających:

```
**** List of PLAYBsudo aplayACK
Hardware Devices ****
card 0: sndrpihifiberry [snd_
rpi_hifiberry_dac], device 0:
HifiBerry DAC HiFi pcm5102a-
hifi-0 []
Subdevices: 1/1
Subdevice #0: subdevice #0
```

Jeżeli przewidujemy odtwarzanie plików mp3, koniecznie trzeba doinstalować pakiet mplayer:

```
sudo apt-get install mplayer
```

Do odtwarzanie plików muzycznych można użyć dowolnego odtwarzacza, np. LXMusic Player, Aqualung itp. Wzmacniacz nie posiada sprzętowej regulacji poziomu, do regulacji głośności należy użyć miksera z pakietu alsa utils – alsamixer. Oprócz aplikacji multimedialnych, moduł był projektowany z myślą o zastosowaniu w aplikacjach TTS (Text to Speech) ułatwiających kontakt użytkownika z urządzeniem. W tym celu wystarczy na płytce obsadzić tylko wzmacniacz U1, zmienić wartość rezystora R6 na 1 MΩ, wprowadzając wzmacniacz w tryb mono.

W sieci dostępnych jest wiele systemów syntezy mowy o różnym stopniu złożoności np: Google Text to Speech, Cepstral Text to Speech, Espeak Text to Speech, Festival Text to Speech i wiele innych. Dla testów można użyć łatwego w obsłudze i prostego w instalacji Espeak. W tym celu instalujemy pakiet:

```
sudo apt-get install espeak
```

Program umożliwia generowanie mowy bezpośrednio z linii poleceń, domyślnie używany jest język angielski, po uruchomieniu poleceniem:

```
espeak
```

możliwa jest bezpośrednia synteza wpisywanych wyrazów. Zmiana języka na polski wykonywana jest poleceniem:

```
espeak -v pl
```

Wywołując program z linii poleceń, w celu wypowiedzenia zdania, treść umieszczamy w cudzysłowie:

```
espeak -v pl “test wzmacniacza
MAX38357A EP”
```

Syntezowany komunikat można zapisać do pliku wav:

```
espeak -v pl -w MAX98357A.wav
“test wzmacniacza MAX38357A EP”
```

Dla sprawdzenia syntezy można go odtworzyć:

```
aplay MAX98357A.wav
```

Eksperymentując z ustawieniami, można osiągnąć całkiem dobre efekty i wykorzystać syntezę mowy w własnych aplikacjach.

Adam Tatuś, EP

WYKAZ ELEMENTÓW które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory: (SMD0805, 1%)
R1, R2, R3: 22 Ω
R4, R5, R7, R8: 100 kΩ
R6: 2,2 kΩ
R9: 374 kΩ

Kondensatory:
C1, C3, C5: 1 μF SMD0805
C2, C4: 0,1 μF SMD0805
CE1: 100 μF/10 V SMD3528 tantalowy

Półprzewodniki:
U1, U2: MAX98357AETE (TQFN16)

Pozostałe:
FB1, FB2: koralik ferrytowy SMD BLM21PG121SN1D
FB3: koralik ferrytowy SMD BLM21A601SPT
GPIO: złącze IDC 2×20 pinów żeńskie
PWR: złącze USB micro MX105017-0001
SPKL, SPKR: złącze PH 2 mm 2 piny kątowe

O projektach, miniprojektach, projektach soft i na wiele innych tematów dyskutuj na forum.ep.com.pl

eprasa.pl b4234fed20

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT5871

Podstawowe parametry:

- sygnalizowanie występowania określonej upływności między zaciskami wejściowymi,
- regulowany próg zadziałania w zakresie 0...1000 Ω,
- informacja świetlna i dźwiękowa,
- zasilanie 9...12 V.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

AVT-5304 Rezystor nastawny z wyświetlaczem LCD (EP 8/2011)
AVT-2227 Komparator rezystorów (EdW 5/1997)

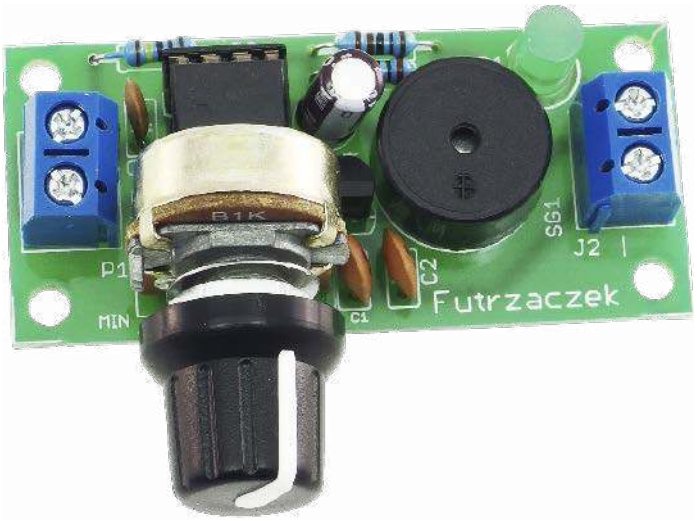
* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować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

Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
▪ wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
▪ wersja [UK] – zaprogramowany układ
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! – http://sklep.avt.pl.

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

Wykrywacz zadanej rezystancji

Szukanie zwarć w układach i systemach elektronicznych to niełatwe zadanie. Można się o tym przekonać zwłaszcza wtedy, kiedy szukany upływ ma rezystancję kilkudziesięciu lub kilkuset omów, na co nie reagują typowe sygnalizatory akustyczne w multimetrach. Próg detekcji w prezentowanym układzie jest płynnie regulowany, przez co można nim szybko „przedzwonić" podejrzane obwody.



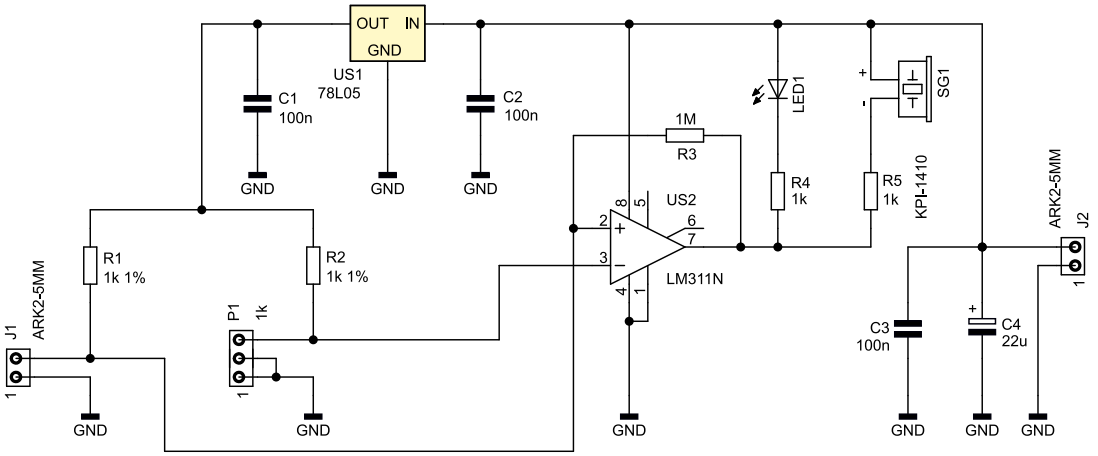
Prezentowany układ to nic innego, jak rozbudowany „piszczyk" znany z multimetrów cyfrowych, którym można wykrywać zwarcia w układzie. Typowa wartość maksymalnej rezystancji, która skutkuje zadziałaniem wbudowanego buzzera, jest rzędu kilkudziesięciu omów. W tym układzie próg zadziałania jest płynnie regulowany, nawet do 1 kΩ, więc można nim bardzo szybko znaleźć uporczywe zwarcia, zlokalizowane np. na końcu długiego, cienkiego przewodu telekomunikacyjnego lub wywołane osadem z wylanych baterii.

Budowa i działanie

Schemat ideowy znajduje się na **rysunku 1**. Idea wykrywania zadanej rezystancji polega na porównaniu napięć wytwarzanych przez dwa dzielniki napięcia. Jeden z nich, referencyjny, składa się z potencjometru P1 i rezystora R2. Uzyskane z niego napięcie zawiera się w przedziale od 0 do ok. 2,5 V. Drugim dzielnikiem jest rezystor R1, o identycznej rezystancji co R2, oraz badany obwód, dołączany do zacisków J1. Jeżeli rezystancja tego obwodu będzie niższa niż potencjometru P1, niższe będzie również wytwarzane przezeń napięcie.

Oba napięcia są porównywane przez komparator US2. Jeżeli napięcie odkładające się na badanym fragmencie obwodu jest niższe niż na potencjometrze P1 – czyli jego rezystancja jest niższa – tranzystor wyjściowy komparatora nasyca się. To powoduje zaświecenie diody LED1 oraz dźwięczenie sygnalizatora SG1. Rezystor R3 wprowadza do układu niewielką histerezę, która poprawia załączanie i wyłączanie tranzystora wyjściowego komparatora, bez występowania stanów pośrednich związanych ze skończonym wzmocnieniem układu LM311.

Prąd płynący przez sygnalizator SG1 został ograniczony rezystorem R5, aby emitowany przez niego dźwięk nie był dokuczliwy, ani też nie przeszkadzał podczas pracy



Rysunek 1. Schemat ideowy układu

eprasa.pl b4234fed20

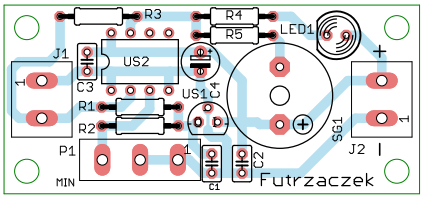
WYKAZ ELEMENTÓW które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 4822578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory:
R1, R2: 1 kΩ 1% 0,6 W
R3: 1 MΩ 0,25 W
R4, R5: 1 kΩ 0,25 W
P1: 1 kΩ liniowy 16 mm

Kondensatory:
C1...C3: 100 nF ceramiczne 2,54 mm
C4: 22 µF/25 V

Półprzewodniki:
LED1: dioda LED zielona 5 mm
US1: 78L05 (TO92)
US2: LM311 (DIP8)

Pozostałe:
J1, J2: ARK2/500
SG1: KPI-1410
Podstawka DIP8



Rysunek 2. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki

w skupieniu. Wartość tego rezystora można dowolnie zmieniać.

Dzielniki napięcia są zasilane ze stabilizatora liniowego o napięciu wyjściowym 5 V. Celem takiego rozwiązania było zapewnienie komparatorowi LM311 prawidłowych warunków pracy jego obwodów wejściowych. Maksymalne napięcie wejściowe, jakie obsługuje on poprawnie, jest około 2 V niższe od zasilającego. Aby uniknąć problemów związanych z polaryzacją diody Zenera, zdecydowano się na użycie prostego i taniego stabilizatora, przy którym kwestia natężenia pobieranego prądu nie jest istotna. Kondensatory C1 i C2 zapobiegają jego wzbudzeniu.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce o wymiarach 55×25 mm, a jej wzór ścieżek oraz schemat montażowy został pokazany na **rysunku 2**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe.

Montaż proponuję przeprowadzić w sposób typowy – od elementów najniższych po najwyższe. Pod układ US2 można zastosować podstawkę. Po zmontowaniu płytka powinna wyglądać jak na fotografii tytułowej. Po podłączeniu zasilania z przedziału 9…12 V (np. baterii 6F22), układ może rozpocząć pracę. Potencjometrem P1 ustawia się rezystancję, która ma być maksymalnym progiem czułości układu – po przyłożeniu takiej samej, lub mniejszej, do zacisków złącza J1, dioda LED zaświeci się, a sygnalizator zapiszczy. Pobór prądu w stanie czuwania to około 7 mA, a podczas sygnalizacji około 22 mA – przy zasilaniu napięciem 9 V.

Można przygotować układ do detekcji rezystancji o większej wartości niż 1 kΩ – wystarczy proporcjonalnie zwiększyć wartości rezystorów R1 i R2 oraz potencjometru P1.

Michał Kurzela, EP

AVT sklep

Podstawowe parametry:

- napięcie wyjściowe stabilizowane z możliwością płynnej regulacji w zakresie 1,25...36 V,
- dopuszczalne napięcie wejściowe: 4,25...40 V,
- maksymalny prąd wyjściowy 1,5 A,
- wbudowane zabezpieczenie przed przegrzaniem.

W ofercie AVT*
AVT5872

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

AVT-1990	Regulowany zasilacz do płytek stykowych (EP 8/2018)
----	Precyzyjny regulowany zasilacz stabilizowany (EP 2/2018)
AVT-5585	Zasilacz laboratoryjny 0...30 V/5 A ze sterowaniem mikroprocesorowym (EP 12/2017-1/2018)
----	Multizasilacz (EP 10/2017)
AVT-1976	Precyzyjny, regulowany zasilacz uniwersalny 1,5-32 V/3 A (EP 8/2017)
AVT-3172	Praktyczny zasilacz warsztatowy (EP 5/2017)
AVT-1946	Zasilacz napięcia symetrycznego z LM27762 (EP 2/2017)
AVT-1895	Uniwersalny moduł zasilający (EP 10/2016)
AVT-1913	Moduł miniaturowego zasilacza (EP 8/2016)
AVT-1857	Zasilacz modułowy (EP 7/2015)
AVT-3072	Zasilacz płytek stykowych (EP 9/2013)
AVT-1667	Stabilizator impulsowy 3 A z układem LM2576 (EP 3/2012)
AVT-1731	Regulowany zasilacz uniwersalny 1,5... 32 V/3 A (EP 8/2011)
AVT-1572	Symetryczny zasilacz warsztatowy ±1,25 V...±25 V 1,5/5 A (EP 6/2010)
AVT-1461	Uniwersalny zasilacz laboratoryjny 5 i 12 VDC/1 A (EP 1/2008)
AVT-727	Uniwersalny moduł zasilający (EdW 8/2004)
AVT-5083	Mikroprocesorowy zasilacz laboratoryjny (EP 10/2002)
AVT-2462	Zasilacz 10 A 10...20 V (EdW 1/2001)
AVT-1253	Zasilacz symetryczny (EP 11/1999)
AVT-1066	Miniaturowy zasilacz uniwersalny (EP 8/1995)

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

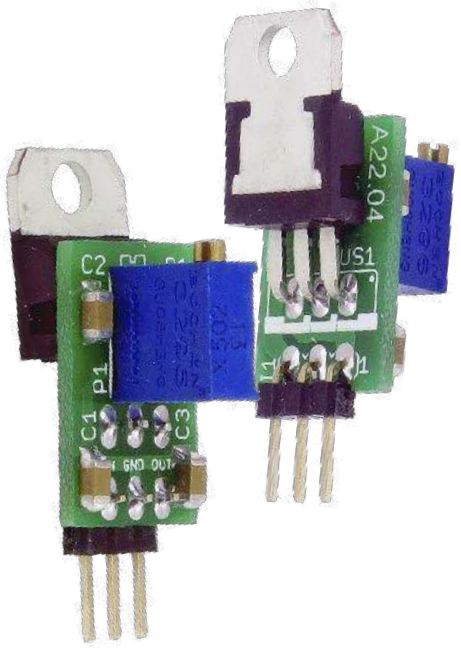
Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

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

Regulowany zamiennik stabilizatora 78xx

Stabilizatory scalone z serii 78xx mają napięcie wyjściowe predefiniowane przez producenta, z uwzględnieniem pewnej tolerancji. Może się jednak zdarzyć tak, że w gotowym układzie napięcie to okaże się odrobinę za niskie. Aby w takiej sytuacji nie psuć całej płytki drukowanej, można wymienić układ w obudowie TO220 na jego regulowaną wersję i precyzyjnie dobrać żądaną wartość tego napięcia.



Sytuacja z życia konstruktora: klient przynosi gotowy już układ, zasilany poprzez stabilizator 7805, w którym znajdują się przekaźniki z cewkami na napięcie 5 V. Te przekaźniki są sterowane przez znane układy typu ULN2003. To rozwiązanie jednak nie działa, gdyż przekaźniki w podwyższonej temperaturze otoczenia nie załączają się, czemu winna jest zbyt duża strata napięcia na kluczach układu ULN2003. Samo urządzenie musi być gotowe „na wczoraj" i musi wyglądać profesjonalnie, ponieważ to model pokazowy, więc o zaprojektowaniu nowej płyty drukowanej czy cięciu ścieżek nie ma mowy. Rozwiązaniem w takich sytuacjach może okazać się wstawienie niniejszego układu i wyregulowanie napięcia wyjściowego do wartości np. 5,35 V. Przekaźniki zaczną działać prawidłowo, a pozostałym układom zasilanym z tego samego stabilizatora nie zrobi to wielkiej różnicy.

Budowa i działanie

Schemat ideowy układu znajduje się na **rysunku 1**. Jest to nic innego, jak podstawowa aplikacja układu LM317, uzupełniona o kondensatory zapobiegające jego wzbudzeniu

eprasa.pl b4234fed20

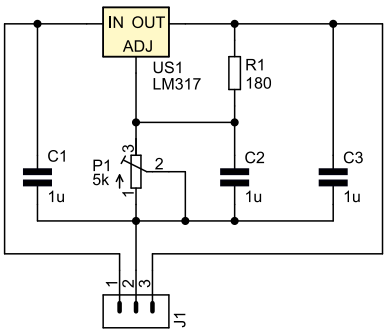
WYKAZ ELEMENTÓW które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory:
R1: 180 Ω SMD1206
P1: 5 kΩ montażowy wieloobrotowy leżący – PR5K 3296X

Kondensatory:
C1...C3: 1 μF 50 V ceramiczne SMD1206

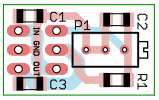
Półprzewodniki:
US1: LM317 (TO220)

Pozostałe:
J1: goldpin 3 piny 2,54 mm kątowy niski



Rysunek 1. Schemat ideowy układu

- C1 i C2. Kondensator C2 zmniejsza tętnienia napięcia wyjściowego. Napięcie wyjściowe jest ustalane przez wieloobrotowy potencjometr P1. Minimalne napięcie na wyjściu wynosi zatem 1,25 V, a maksymalne, przy takiej rezystancji R1, to około 36 V. Napięcie wejściowe musi być wyższe od wyjściowego o, co najmniej 3 V. Zabezpieczenie przed przeciążeniem oraz przed przegrzaniem są już wbudowane w układ LM317, więc nie ma potrzeby dodawania ich na płytce.



Rysunek 2. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na miniaturowej, dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach zaledwie 12×20 mm, a jej wzór ścieżek oraz schemat montażowy został pokazany na **rysunku 2**. Ze względu na dość nietypowy montaż, proponuję przeprowadzić go w następujący sposób:

- najpierw elementy SMD (C1…C3, R1),
- potem potencjometr P1, znajdujący się po tej samej stronie, co w/w elementy SMD,
- następnie złącze J1, wlutowane po drugiej stronie płytki,
- na końcu sam stabilizator US1, również wlutowany „od spodu", ale na nóżkach na tyle długich, aby go swobodnie położyć na powierzchni laminatu.

Gotowy układ został pokazany na **fotografii tytułowej.**

Układ wyprowadzeń w złączu J1 jest taki sam, w stabilizatorach z rodziny 78xx w obudowach TO220: lewa nóżka to wejście, środkowa masa, a prawa wyjście, patrząc od przodu na układ skierowany nóżkami w dół. Dzięki temu, że moduł zawiera własne kondensatory przeciwwzbudzeniowe, pojemność tych, które już są w układzie, nie jest krytyczna.

Przed wlutowaniem zmontowanego już modułu do urządzenia polecam podłączyć napięcie wejściowe z jakiegokolwiek zasilacza i zgrubnie ustawić napięcie wyjściowe. Zapobiegnie to uszkodzeniu zasilanych podzespołów, gdyby napięcie wyjściowe okazało się znacznie wyższe od dopuszczalnego. Chcąc przykręcić US1 do radiatora należy pamiętać o tym, że otwór w jego obudowie znajdzie się nieco wyżej, niż ma to miejsce w „gołym" układzie w obudowie TO220.

Michał Kurzela, EP

AVT sklep

Podstawowe parametry:

- zawiera precyzyjny przetwornik ADT7422,
- dokładność pomiaru: ±0,1°C w zakresie 25...50°C i ±0,25°C w zakresie –20...105°C,
- nie wymaga kalibracji,
- komunikacja poprzez magistralę I2C z możliwością ustawienia czterech adresów,
- wymaga zasilania 2,7...3,3 V, pobierając do 0,7 mW.

Dodatkowe materiały do pobrania ze strony www.ulubionykiosk.pl/media

AVT-5635 Bezprzewodowy, energooszczędny system pomiaru temperatury (EP 8–9/2018)
AVT-5623 4-kanałowy termometr z interfejsem Wi-Fi (EP 4/2018)
AVT-5566 THPStation – rozbudowany termometr z Wi-Fi (EP 1/2017)
AVT-5535 Termometr 2-kanałowy z interfejsem Bluetooth (EP 4/2016)
AVT-5518 Termometr bezprzewodowy (EP 11/2015)
AVT-1863 Termometr z interfejsem Bluetooth (EP 8/2015)
AVT-1790 Termometr XXL (EP 2/2014)
AVT-5489 8-kanałowy termometr z alarmem i wyświetlaczem LCD (EP 11/2013)
AVT-5420 Wielopunktowy termometr z rejestracją (EP 10/2013)
AVT-1734 Termometr do wędzarni (EP 4/2013)
AVT-5373 Tlogger – rejestrator temperatury (EP 12/2012)
AVT-1705 Moduł do pomiaru temperatury z interfejsem RS485 (EP 9/2012)
AVT-1697 Wielogabarytowy termometr LED (EP 8/2012)
AVT-5389 4-kanałowy termometr z wyświetlaczem LED (EP 5/1012)
AVT-5330 Termometr PC (EP 2/2012)
AVT-5301 Wskaźnik komfortu cieplnego z wbudowanym kalendarzem sezonowym (EP 7/2011)
AVT-1582 Domowy termometr RGB (EP 8/2010)
AVT-5230 Rejestrator temperatury z interfejsem USB (EP 4/2010)
AVT-5205 System pomiaru temperatury z termoparą typu K (EP 10/2009)
AVT-5117 Termometr USB (EP 11/2007)
AVT-5108 2-kanałowy termometr z dwukolorowym wyświetlaczem LED (EP 8/2007)
AVT-5041 Termometr MIN-MAX (EP 11/2001)

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

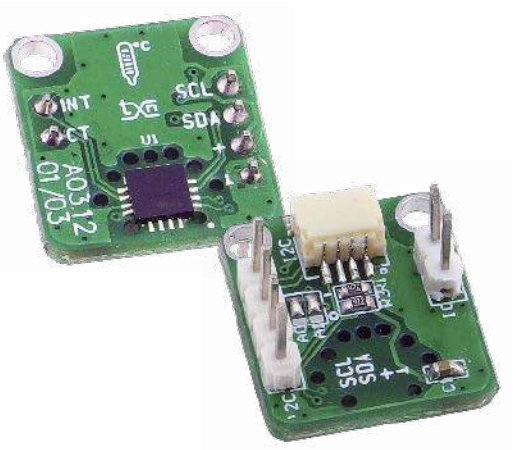
Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

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

Dokładny przetwornik temperatury

Rozwój systemów monitorujących parametry życiowe człowieka, no i oczywiście niedawna pandemia, pokazują, jak ważny jest dokładny pomiar temperatury ciała. Jest to podstawowy parametr świadczący o kondycji organizmu. Coraz więcej producentów oferuje scalone przetworniki temperatury o zwiększonej dokładności. Jednym z nich jest układ ADT7422 opracowany przez Analog Devices.



Budowa wewnętrzna przetwornika ADT7422 została pokazana na **rysunku 1**. W swojej strukturze integruje sensor temperatury, przetwornik ADC, komparatory progowe oraz blok komunikacji I²C. Dokładność przetwarzania pozwala spełnić normy termometru do pomiaru temperatury ciała pacjenta (ASTM E1112), zachowując dokładność ±0,1°C w zakresie 25...50°C i ±0,25°C w zakresie –20...105°C,

eprasa.pl b4234fed20

bez potrzeby kalibracji przetwornika. Wysoka dokładność znajdzie zastosowanie nie tylko w pomiarach temperatury ciała, ale pozwala zwiększyć, także dokładność regulacji układów automatyki, gdzie każdy uchyb związany z niedokładnym pomiarem to wymierna strata energii.

Budowa i działanie

Przetworzona wartość temperatury dostępna jest w postaci 16-bitowej poprzez rejestry układu ADT7422. Wbudowane komparatory pozwalają na sygnalizowanie osiągnięcia temperatury krytycznej (wyjście CT) lub progów alarmowych Low/High (wyjście INT). Aplikacja przetwornika jest bardzo prosta, schemat modułu został pokazany na **rysunku 2**. Oprócz układu ADT7422, na płytce umieszczone są zwory adresowe A1, A0, umożliwiające ustawienie czterech adresów magistrali I²C (A1, A0: 00=0x48... A1, A0: 11=0x4B).

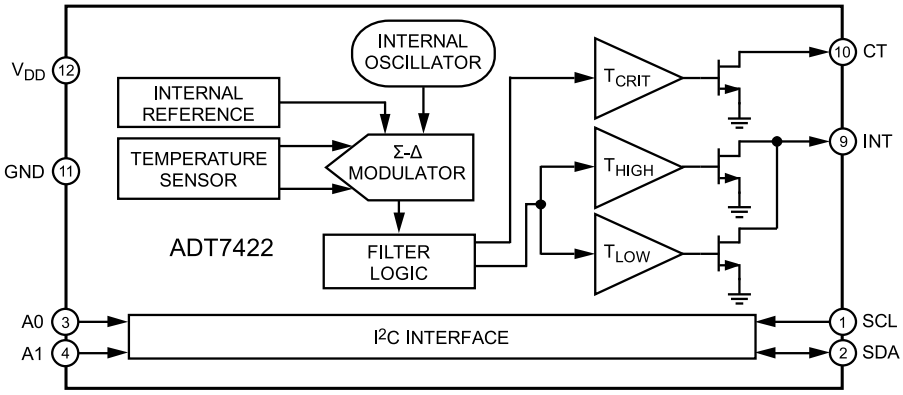
Złącze I²C (JST 1mm) oprócz linii do komunikacji doprowadza też zasilanie. Opcjonalne złącza szpilkowe I2CA i IO ułatwiają zastosowanie modułu w płytkach stykowych oraz wyprowadzają sygnały komparatorów temperatury. Układ wymaga zasilania 2,7...3,3 V, pobierając do 0,7 mW.

Montaż i uruchomienie

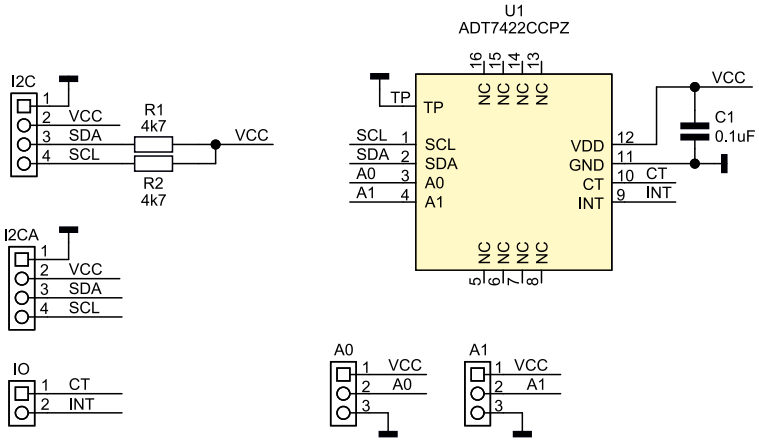
Moduł został zmontowany na miniaturowej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 3**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga dokładnego opisu. Wybór wlutowanych złącz zależy od aplikacji.

Dla szybkiego sprawdzenia działania, moduł można podłączyć do magistrali I²C Raspberry Pi. Wykorzystując bibliotekę i2c-tools, po ustawieniu adresu bazowego zworami A1, A0, (domyślnie A10: 00=0x48) moduł powinien być widoczny, tak jak pokazano na **rysunku 4**, po odczycie magistrali poleceniem:

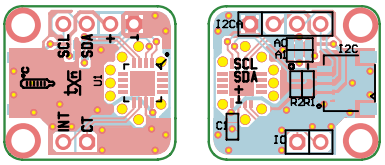
```
i2cdetect -y 1
```



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny układu ADT7422



Rysunek 2. Schemat modułu

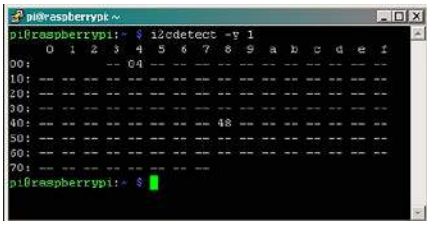


Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów

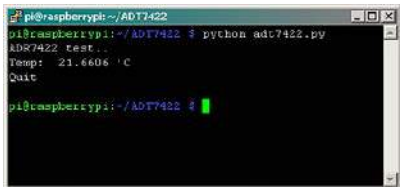
Prosty skrypt dołączony do materiałów dodatkowych (**listing 1**) – *adt7422.py*, umożliwia odczyt wartości dodatniej temperatury.

Wynik działania skryptu pokazuje **rysunek 5**. Jeżeli wszystko działa poprawnie można moduł zastosować we własnej aplikacji.

Adam Tatuś, EP



Rysunek 4. Detekcja układu na magistrali I²C



Rysunek 5 . Odczyt temperatury z ADT7422

Listing 1. Treść skryptu adt7422.py

```
#!/usr/bin/python
#-------------------------------------
# ADT7422 test
# 16bit 1SPS
#-------------------------------------

import smbus
import time
bus = smbus.SMBus(1)
adr = 0x48
ccnv = 0.0078

print "ADR7422 test.."
bus.write_byte_data(adr, 0x03, 0xC0)  #16bit, 1SPS
time.sleep(1.0)
msb=bus.read_byte_data(adr, 0x00)
lsb=bus.read_byte_data(adr, 0x01)
print "Temp: ", (ccnv * ((msb * 256) + lsb)), "'C"
bus.close()
print "Quit\n"
```

WYKAZ ELEMENTÓW które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory:
R1, R2: 4,7 kΩ SMD0603, 1%

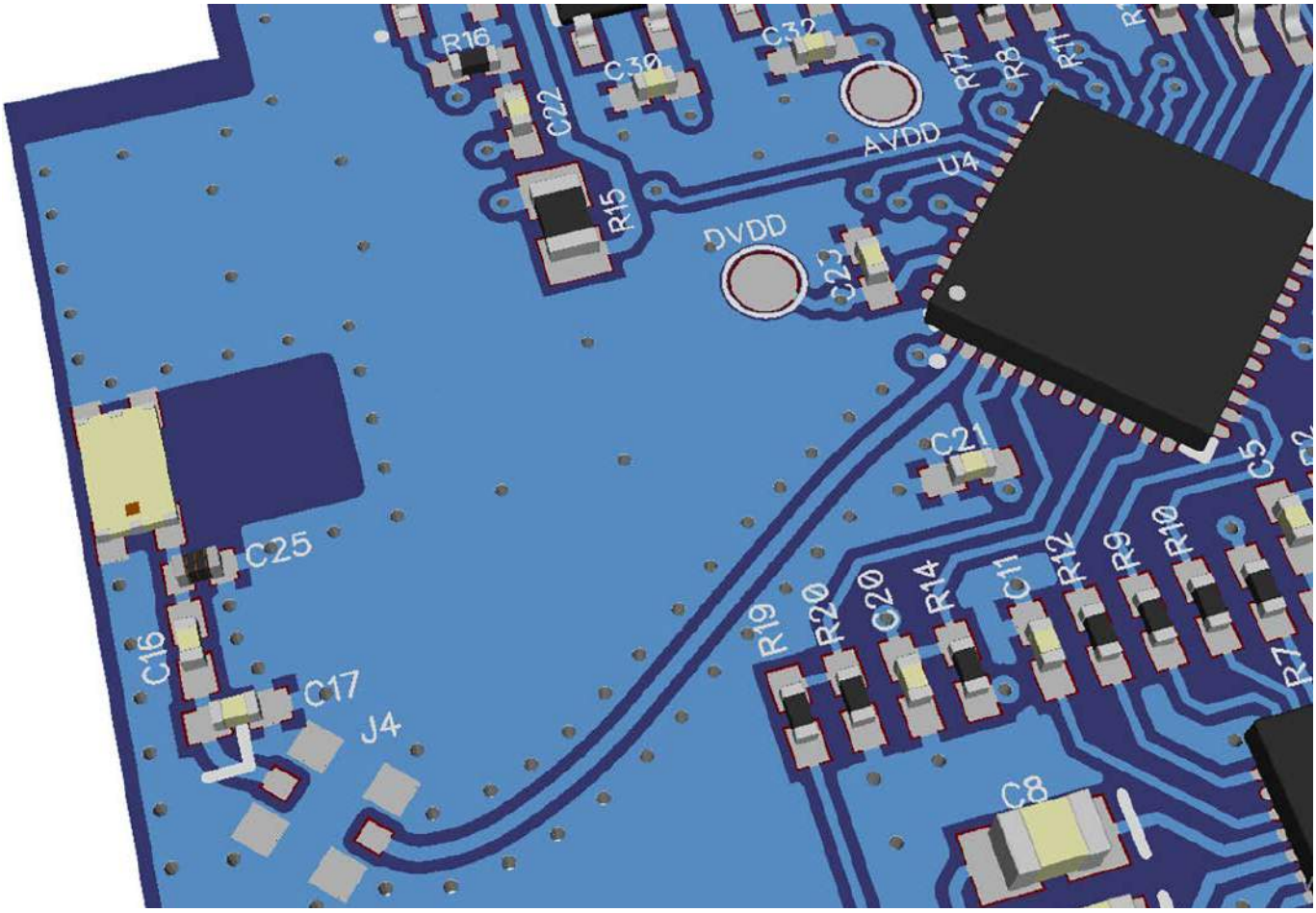
Kondensatory:
C1: 0,1 µF SMD0603

Półprzewodniki:
U1: ADT7422CCPZ (LFCSP16_4×4)

Pozostałe:
A0, A1: zwora SMD

I2C: złącze JST 1 mm
I2CA: złącze SIP4 2,54 mm (opcjonalne)
IO: złącze SIP2 2,54 mm (opcjonalne)

eprasa.pl b4234fed20



Od mikrokontrolerów do układów radiowych

Bluetooth z układami STM32WB

W ramach artykułu prezentujemy najważniejsze informacje na temat układów STM32WB, które są interesującą propozycją dla osób mających już doświadczenie z STM32 i chcących dodać do projektowanych urządzeń komunikację BLE.

Historia układów STM32 to okres trwający już ponad 10 lat. Jej początek sięga roku 2008, kiedy to firma ARM stworzyła pierwszy rdzeń z rodziny Cortex-M, a więc Cortex-M3. Firma STMicroelectronics widząc duży potencjał tego rozwiązania szybko przystąpiła do projektowania opartych na nim mikrokontrolerów. Na bazie tego rdzenia powstały trzy rodziny układów: STM32F1, STM32L1 i STM32F2. Każda z tych rodzin stała się początkiem osobnej kategorii produktów: mikrokontrolerów ogólnego przeznaczenia, mikrokontrolerów o niskim poborze prądu oraz mikrokontrolerów o wysokiej wydajności obliczeniowej. W następnych latach firma ARM opracowywała kolejne rdzenie (Cortex-M0, Cortex-M0+, Cortex-M4F, Cortex-M7, Cortex-M33) i za każdym razem powstawała co najmniej jedna rodzina STM32 rozszerzając wcześniej zdefiniowane trzy kategorie: STM32F0, STM32L0, STM32G0, STM32F3, STM32F4, STM32L4, STM32G4, STM32L5, STM32F7 i STM32H7.

Tak kształtowała się oferta mikrokontrolerów STM32 do roku 2018, kiedy to nastąpiła znaczna zmiana poprzez wprowadzenie zupełnie nowej, czwartej kategorii: układów radiowych które łączą mikrokontroler z nadajnikiem-odbiornikiem do komunikacji bezprzewodowej. Pierwszym takim rozwiązaniem jest rodzina STM32WB pozwalająca na komunikację w paśmie 2,4 GHz. Ewolucję układów STM32 pokazano na **rysunku 1**.

Architektura STM32WB

Z technicznego punktu widzenia istnieją dwie możliwości wytworzenia jednoukładowego rozwiązania łączącego mikrokontroler i radio: rozwiązanie typu SiP oraz rozwiązanie typu SoC. W układzie SiP (*System in Package*) występują dwie krzemowe struktury półprzewodnikowe. Jedna to mikrokontroler, druga to radio. Obie struktury wykonane są w różnych procesach technologicznych, a ich połączenie zrealizowane jest za pomocą linii sygnałowych wewnątrz obudowy (*wire bonding*). W przeciwieństwie do układu SiP, w układzie SoC (*System on Chip*) znajduje się jedna krzemowa struktura półprzewodnikowa,

eprasa.pl b4234fed20

Rysunek 1. Grafika z osią czasu pokazującą w którym roku powstały rodziny STM32 (kolor niebieski – ogólnego przeznaczenia, kolor zielony – o niskim poborze prądu, kolor różowy – o wysokiej wydajności, kolor fioletowy – radiowe)

która łączy mikrokontroler i radio. STM32WB to układ typu SoC. Naturą układów SoC jest jeden użyty proces technologiczny. W STM32WB zastosowano proces Ultra Low Power 90 nm firmy TSMC.

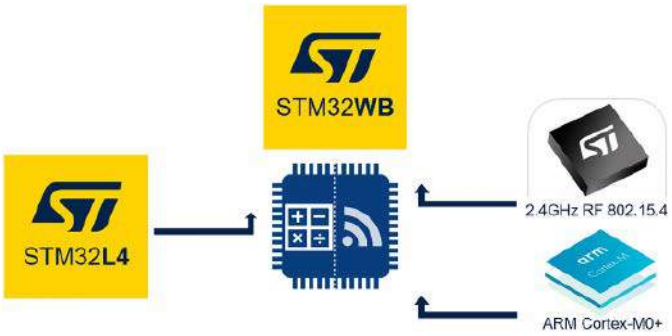
Przyjrzyjmy się bliżej jakie elementy zostały zintegrowane w układach SoC STM32WB. Część związana z mikrokontrolerem ma DNA zaczerpnięte z STM32. Jest to ogromna zaleta dla osób mających doświadczenie w pracy z STM32, ponieważ będą mogły one wykorzystać swoją dotychczasową wiedzę w pracy z STM32WB. Blok mikrokontrolera STM32WB najbardziej zbliżony jest do konstrukcji STM32L4, z której przeniesione zostały liczne elementy takie jak rdzeń ARM Cortex-M4F, drzewo zegarowe, organizacja pamięci, liczne peryferia i blok zarządzania zasilaniem.

Drugim po mikrokontrolerze blokiem obecnym w STM32WB jest radio. Jest to układ obsługujący komunikację w paśmie 2,4 GHz. Warto dodać, że element o nazwie *balun* jest już zintegrowany w radiu, zatem nie ma potrzeby użycia go w formie osobnego elementu usytuowanego obok STM32WB. Radio pozwala na transmisję danych z mocą nadawania do +6 dBm.

Oprócz mikrokontrolera i radia w STM32WB występuje jeszcze jeden zintegrowany blok, kluczowy z punktu widzenia architektury. Jest to rdzeń ARM Cortex-M0+. Jest to zatem drugi rdzeń, obok wspomnianego już wcześniej ARM Cortex-M4F. Taka dwurdzeniowa koncepcja ma głębokie uzasadnienie. Cortex-M4F to rdzeń aplikacyjny, który wykonuje program napisany przez programistę. Z kolei Cortex-M0+ to rdzeń radiowy, który wykonuje stos radiowy dostarczony przez firmę STMicroelectronics (może to być stos BLE, ZigBee, Thread lub wariant konkurencyjny łączący te stosy tzn. BLE i ZigBee oraz BLE i Thread). Rdzeń Cortex-M0+ i radio są zatem niedostępne bezpośrednio dla programisty, niemniej jednak dzięki współdzielonej pamięci i specjalnym przerwaniom można uzyskać efektywną komunikację między rdzeniami i obiema aplikacjami. Tak zdefiniowany model ma dwie istotne zalety:

1. izolacja rdzenia Cortex-M0+ i części radiowej pozwala na korzystanie z certyfikacji uzyskanej dla warstwy sprzętowej i programowej (stosów radiowych) przez STMicroelectronics;
2. rdzeń Cortex-M0+ całkowicie odciąża rdzeń Cortex-M4F z zadań związanych z obsługą stosu radiowego, dzięki czemu programista tworząc aplikację nie ma ograniczeń związanych z tymi zadaniami.

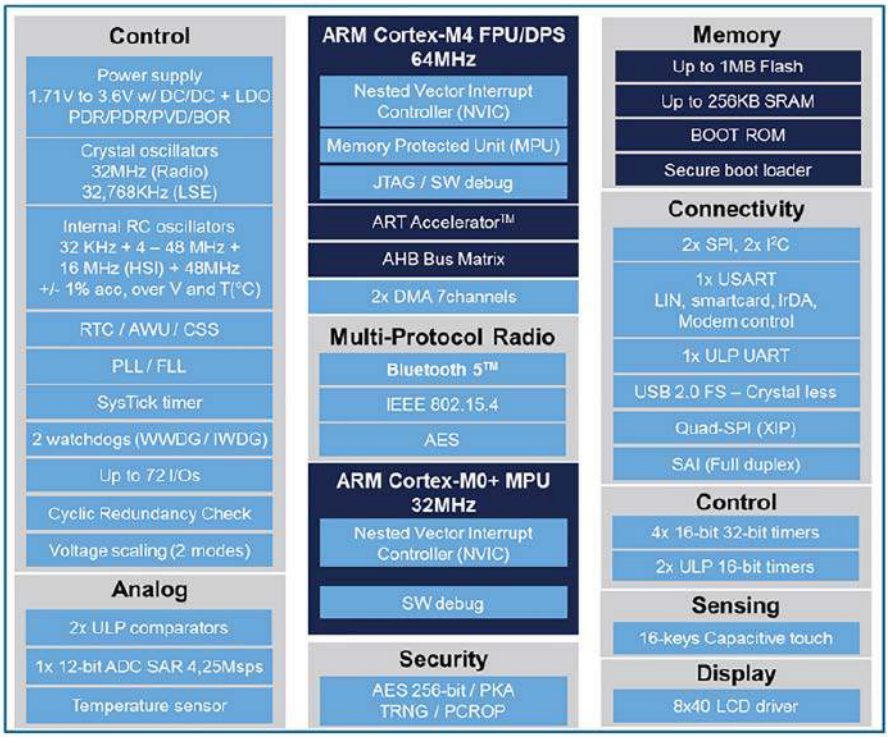
Schemat ilustrujący architekturę SoC układów STM32WB pokazano na **rysunku 2**.



Rysunek 2. Architektura STM32WB: układ SoC łączący mikrokontroler STM32L4 i część radiową wraz z zaznaczeniem dwurdzeniowości (Cortex-M4F: rdzeń aplikacyjny, Cortex-M0+: rdzeń radiowy)

Elementy składowe STM32WB

W układach SoC STM32WB można wyróżnić szereg zasobów, które należą do osobnych obszarów funkcjonalnych: CPU, pamięć, część radiowa, liczniki, interfejsy komunikacyjne, zasoby analogowe, peryferia interfejsu użytkownika oraz peryferia zwiększające bezpieczeństwo aplikacji. Odpowiedni schemat blokowy ilustrujący elementy składowe STM32WB został pokazany na **rysunku 3**. Zastosowany w STM32WB CPU to rdzeń ARM z grupy Cortex-M. Nie mogłoby być inaczej, ponieważ jednostki Cortex-M są znakiem rozpoznawczym rodziny układów STM32 i ich głównym elementem wspólnym. W przypadku STM32WB zastosowano jednostkę Cortex-M4F, która pod kątem wydajności plasuje się pomiędzy prostymi rdzeniami Cortex-M0/M0+,



Rysunek 3. Schemat blokowy układów STM32WB

eprasa.pl b4234fed20

a rdzeniem Cortex-M7 o znacznej wydajności obliczeniowej. Cortex-M4F składa się jednostki przetwarzania danych (procesor), interfejsu do programowania/debugowania JTAG i SWD, bloku przerwań NVIC, modułu MPU, jednostki FPU do obliczeń zmiennoprzecinkowych oraz licznika systemowego Systick. Maksymalna częstotliwość pracy rdzenia w STM32WB to 64 MHz.

Odnośnie pamięci, do dyspozycji jest do 1 MB pamięci Flash oraz do 256 kB pamięci SRAM. Tak znaczna pojemność pamięci daje nie tylko komfort pracy, ale też możliwość definiowania bogatej funkcjonalności aplikacji. W tym kontekście dla STM32WB można z jednej strony przewidzieć liczne zadania typowe dla mikrokontrolera (w tym np. obsługę interfejsów komunikacyjnych czy też akwizycję sygnałów analogowych), a z drugiej strony można z powodzeniem wkomponować zadania związane z komunikacją radiową. Wspomniane zasoby pamięci to wartości maksymalne, co znaczy że dostępne są również warianty STM32WB z mniejszą pamięcią, przewidziane dla prostych aplikacji, jednocześnie bardziej atrakcyjne pod względem ceny.

Wydajność układu STM32WB zwiększa jednostka ART Accelerator, która działając jak pamięć cache redukuje liczbę tak zwanych cykli *wait states* dla pamięci FLASH. Innym elementem architektury związanym z pamięcią jest moduł DMA. Element ten może zostać użyty do transferu danych z peryferiów do pamięci SRAM. W tym samym czasie rdzeń może realizować inne zadania, co finalnie również przekłada się na podniesienie wydajności układu.

Układy licznikowe reprezentowane są przez pięć typów timerów. Pierwszy typ to timery uniwersalne (ogólnego przeznaczenia), 32-bitowe oraz 16-bitowe. Drugim rodzajem układu licznikowego jest 16-bitowy, zaawansowany timer dysponujący dodatkowymi funkcjami w porównaniu do timerów ogólnego przeznaczenia. Kolejnym rodzajem licznika jest LP-Timer, który jest bardziej energooszczędny od swoich standardowych odpowiedników oraz ma bardzo przydatną cechę w postaci możliwości cyklicznego wybudzania mikrokontrolera z trybu low-power. Ostatnimi rodzajami timera dostępnymi w STM32WB jest RTC (zegar czasu rzeczywistego) oraz watchdog.

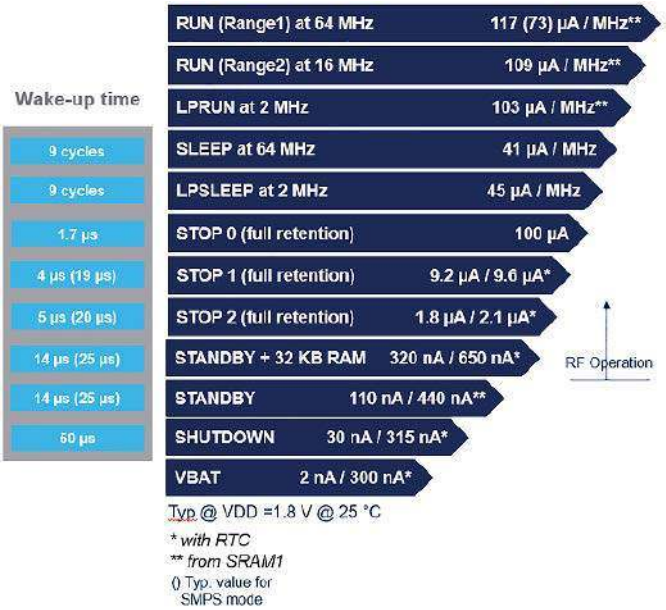
Jeśli mowa o typowych zasobach mikrokontrolerowych, to należy wspomnieć również o interfejsach komunikacyjnych. Domena ta prezentuje się dość klasycznie - do dyspozycji są standardowe interfejsy takie jak SPI, I²C, U(S)ART oraz USB. Grupę tą uzupełnia interfejs Quad SPI (Q-SPI) przeznaczony dla zewnętrznych pamięci Flash oraz interfejs LP-UART, który może być aktywny w trybie low-power umożliwiając odbiór danych, jak też wybudzenie układu.

STM32WB dysponuje też zasobami analogowymi. Mamy do dyspozycji przetwornik A/C typu SAR o domyślnej rozdzielczości 12 bitów, ale w razie potrzeby z pomocą sprzętowego *oversamplingu* możliwe jest rozszerzenie liczby bitów wyniku do 16. Przetwornik może pracować z szybkością do 4,26 Msps i w zależności od typu obudowy ma do dyspozycji od 13 do 19 kanałów pomiarowych (w tym trzy wewnętrzne: VREF, VBAT, czujnik temperatury). Przydatnym elementem analogowym może okazać się inne peryferium – VREFBUF. Jest to źródło napięcia o konfigurowalnej wartości (do wyboru 2,048 V lub 2,5 V) i może służyć jako napięcie odniesienia (referencyjne) dla przetwornika A/C i komponentów zewnętrznych (poprzez pin VREF+). Zasoby analogowe uzupełniają komparatory i czujnik temperatury.

Mocną stroną STM32WB są peryferia wspomagające budowę interfejsu użytkownika. Dostępny jest kontroler wyświetlacza LCD o wymiarach 8×40 segmentów. Dodatkowo do dyspozycji pozostaje kontroler dotykowy, pozwalający na obsługę przycisków pojemnościowych.

W układach STM32WB przewidziano również zasoby wpływające na bezpieczeństwo aplikacji. Składają się na nie: jednostka szyfrująca z algorytmem AES o długości klucza do 256 bitów, generator liczb losowych, moduł obliczający sumę kontrolną, zabezpieczenie zapisu i odczytu pamięci, unikalny 96-bitowy identyfikator oraz blok do przechowywania kluczy i do zarządzania nimi.

Część radiowa układu STM32WB to nadajnik-odbiornik RF, który pozwala na transmisję danych drogą radiową w paśmie 2,4 GHz.



Rysunek 4. Tryby pracy STM32WB wraz z poborem prądu oraz czasem wybudzenia

Radio składa się z dwóch kontrolerów: BLE oraz IEEE 802.15.4. Dzięki temu wspierane standardy to BLE (do wersji 5.2), ZigBee (do 3.0) oraz Thread. Radio kontrolowane jest przez specjalny rdzeń Cortex-M0+, który może pracować z częstotliwością do 32 MHz.

Idealne rozwiązanie dla aplikacji energooszczędnych

Rdzeń i peryferia to nie jedyne elementy, które układy STM32WB zapożyczyły od mikrokontrolerów STM32L4. Bardzo zbliżony jest też blok zarządzania zasilaniem, dzięki czemu STM32WB to idealne układy dla aplikacji zasilanych z baterii. Przyjrzyjmy się głównym rozwiązaniom z tego zakresu.

Jako pierwszą rzecz w aspekcie energooszczędności należy wymienić tryby pracy. Zestawienie z listą trybów pracy STM32WB, ich poborem prądu oraz czasem wybudzenia udostępniono na **rysunku 4**. Podstawowym trybem pracy jest tryb RUN, w którym kod aplikacji jest wykonywany oraz wszystkie zasoby mogą normalnie pracować. W trybie SLEEP rdzeń Cortex-M jest wyłączony, niemniej jednak zegary i peryferia mogą ciągle działać (np. Timer może wyzwalać przetwornik A/C, a moduł DMA transferować dane z przetwornika do pamięci SRAM). W trybach RUN i SLEEP można regulować częstotliwość pracy systemu wpływając na wydajność i pobór prądu.

Tryby STOP1 i STOP2 to klasyczne tryby low-power, podczas których działanie peryferiów ogranicza się zasadniczo do czekania na zdarzenie, które wygeneruje przerwanie (np. interfejsy, timery, linie I/O) i spowoduje wybudzenie układu oraz wznowienie wykonania kodu. Tryby te oferują niski pobór prądu, krótki czas wybudzenia oraz pełne podtrzymanie zawartości pamięci SRAM. STANDBY oraz SHUTDOWN to tryby o najniższych poborach prądu, co jednak wiąże się z pewnymi ograniczeniami: dłuższym czasem wybudzenia, mniejszą liczbą peryferiów mogących wybudzić układ, przynajmniej częściowym brakiem podtrzymania zawartości pamięci SRAM i koniecznością wykonania resetu w momencie wybudzenia. VBAT z kolei to specjalny tryb, który stosowany jest do podtrzymania domeny backup w warunkach gdy główne zasilanie (linie VDD) jest odłączone.

Drugą rzeczą po trybach pracy przydatną w aplikacjach low-power są peryferia i ich efektywne wykorzystanie do wybudzania układu. W STM32WB wszystkie peryferia zdolne do generowania przerwania mogą wybudzać układ z trybu SLEEP lub STOP1. Nawet w trybie STOP2 pewna grupa peryferiów ma ciągle tę zdolność. Są to przede wszystkim: LP-UART (wybudzenie poprzez odbiór danych), LP-Timer (wybudzanie cykliczne co zdefiniowany interwał czasu), RTC

eprasa.pl b4234fed20

Tabela 1. Porównanie serii STM32WB: STM32WB55, STM32WB35 i STM32WB15

	STM32WB55	STM32WB35	STM32WB15
Stosy radiowe	BLE 5.2, ZigBee, Thread+ tryby konkurencyjne (BLE/ZigBee, BLE/Thread)	BLE 5.2, ZigBee, Thread	BLE 5.2
Pamięć Flash, pamięć SRAM	256 kB...1 MB 128...256 kB	256...512 kB 96 kB	320 kB 48 kB
Peryferia	2×I²C, 2×SPI, 2×USART, USB, SAI, LCD, Q-SPI, Cap-touch, ADC, 2×COMP, DC/DC i LDO	2×I²C, 1×SPI, 1×USART, USB, SAI, Q-SPI, Cap-touch, ADC, 2×COMP, DC/DC I LDO	1×I²C, 1×SPI, 1×USART, SAI, ADC, Cap-touch, 1×COMP, DC/DC i LDO
Tryby pracy	SLEEP, STOP, STANDBY, SHUTDOWN	SLEEP, STOP, STANDBY, SHUTDOWN	SLEEP, STANDBY, SHUTDOWN
Obudowa	BGA129, WLCSP100, QFN68, QFN48	QFN48	QFN48

(wybudzanie cykliczne co zdefiniowany interwał czasu lub jednorazowe wybudzenie – tak zwany alarm), komparator (wybudzenie po tym jak napięcie na wejściu przekroczy określony poziom), watchdog (wybudzenie po upłynięciu zdefiniowango czasu), linie EXTI (wybudzenie po zmianie poziomu sygnału na linii I/O).

Trzecią funkcjonalnością, o której warto wspomnieć, jest wewnętrzny obwód zasilania w STM32WB. W klasycznych mikrokontrolerach STM32 występuje regulator LDO. W nowszych seriach STM32, w tym w STM32WB do dyspozycji jest LDO oraz dodatkowo SMPS, a więc przetwornica napięcia. W trybie aktywnym mamy wybór czy używać SMPS (niższy pobór prądu), czy LDO (mniejszy BOM – Bill Of Material). W trybach low-power wyboru już nie ma, gdyż STM32WB korzysta wtedy z LDO.

Oferta STM32WB

Rodzina układów STM32WB składa się z trzech serii: STM32WB55, STM32WB35 oraz STM32WB15. Różnią się one między sobą kilkoma parametrami (zestawienie porównawcze pokazano w **tabeli 1**). Pierwszy to funkcjonalność bloku radiowego. STM32WB55 daje dużą elastyczność pod tym względem. Możliwa jest komunikacja BLE, ZigBee i Thread. Dostępne są tryby z użyciem samodzielnie każdego ze stosów, jak też łączone (konkurencyjne): BLE z ZigBee i BLE z Thread. STM32WB35 nie wspiera trybów konkurencyjnych, a STM32WB15 nie oferuje również komunikacji ZigBee i Thread, zatem zostaje tylko wsparcie dla BLE.

Drugi parametr rozróżniający układy STM32WB to pojemność pamięci. Seria STM32WB55 oferuje do 1 MB pamięci FLASH i 256 kB pamięci SRAM. STM32WB35 ma skromniejsze zasoby: do 512 kB pamięci FLASH oraz 96 kB pamięci SRAM. Finalnie STM32WB15 ma najmniej zasobów pamięci: 320 kB Flash oraz 48 kB SRAM. Zestaw peryferiów wszystkich układów STM32WB jest zbliżony i między seriami występują jedynie drobne różnice. Należy wskazać przede wszystkim, że serie STM32WB35 i STM32WB15 nie mają kontrolera LCD, a dodatkowo seria STM32WB15 nie dysponuje interfejsem USB.

Różnice między układami STM32WB zauważyć można też na poziomie trybów pracy. W przypadku STM32WB55 i STM32WB35 dostępny jest pełen wachlarz trybów pracy: RUN, SLEEP, STOP1, STOP2, STANDBY i SHUTDOWN. Z kolei STM32WB15 ma ograniczenie w postaci braku trybów STOP.

Finalnie parametrem rozróżniającym układy STM32WB jest typ obudowy. Seria STM32WB55 oferuje wariant QFN48, QFN68, WLCSP100 oraz BGA129. Z kolei serie STM32WB35 i STM32WB15 nie dają możliwości wyboru typu obudowy, gdyż dostępny jest tylko jeden wariant – QFN48. Co istotne, w wariancie QFN48 wszystkie trzy serie tzn. STM32WB55, STM32WB35 i STM32WB15 są ze sobą kompatybilne pod kątem układu wyprowadzeń, tak więc migracja między nimi nie wpływa na konieczność modyfikacji projektu płytki PCB.

STM32WB55, STM32WB35 i STM32WB15 to serie regularne. Na podstawie każdej z nich powstała dodatkowo seria Value Line. Są to odpowiednio układy STM32WB50, STM32WB30 i STM32WB10. Każda para serii regularnej i Value Line korzysta na płaszczyźnie półprzewodnikowej z tego samego krzemu. Różnica natomiast występuje na płaszczyźnie testów po produkcji. Seria regularna przechodzi pełny zestaw testów, natomiast seria Value Line poddawana jest uproszczonej procedurze testowej.

Tabela 2. Porównanie serii STM32WB Vaue Line: STM32WB50, STM32WB30 i STM32WB10

	STM32WB55/35/15	STM32WB50/30/10
Stosy radiowe	BLE 5.2, ZigBee, Thread + tryby konkurencyjne (BLE/ZigBee, BLE/Thread)	WB50/WB30 = BLE 5.2, ZigBee, Thread WB15: BLE 5.2 Brak trybów konkurencyjnych
Maksymalna prędkość komunikacji	2 Mbps	1 Mbps
Zakres napięcia zasilania	1,71...3,6 V	2...3,6 V
Zakres temperatury pracy	–40 do +105°C	–10 do +85°C
Pamięć Flash/SRAM	WB55: 1 MB/256 kB WB35: 512 kB/96 kB WB15: 320 kB/48 kB	WB50: 1 MB/128 kB WB30: 512 kB/96 kB WB10: 320 kB/48 kB
Maksymalna moc nadawania	+6 dBm	+4 dBm
Peryferia	do 2×I²C, do 2×SPI, do 2×USART, do 1×USB, SAI, do 1×LCD, Q-SPI, Cap-touch, ADC, do 2×COMP, DC/DC i LDO	1×I²C, 1×SPI, Cap-touch, ADC, LDO
Obudowa	BGA129, WLCSP100, QFN68, QFN48	QFN48

eprasa.pl b4234fed20

W wyniku tego mamy do czynienia z układami o nieco gorszych parametrach, ale bardziej konkurencyjnymi pod kątem ceny. Różnice między seriami regularnymi i Value Line pokazano w **tabeli 2**. Zestawienie oferty układów STM32WB zaprezentowano na **rysunku 5**. Rozróżniono układy regularne (STM32WB55, STM32WB35, STM32WB15), układy Value Line (STM32WB50, STM32WB30, STM32WB10), różne opcje pamięci Flash (256 kB, 320 kB, 512 kB, 640 kB, 1 MB) oraz różne warianty obudowy (QFN48, QFN68, WLCSP100, BGA129).

Rysunek 5. Oferta układów STM32WB

Narzędzia

Firma STMicroelectronics przygotowała dla układów STM32WB kompleksowy zestaw narzędzi, który jest spójny z systemem od lat dostępnym dla innych rodzin STM32. W warstwie sprzętowej są to platformy z serii Nucleo. NUCLEO-WB55RG i NUCLEO-WB15CC to płytki wyposażone w układy STM32WB55 (obudowa QFN68) i STM32WB15 (obudowa QNF48). Układy otoczone są minimalnym zestawem podzespołów wymaganych do poprawnej pracy (kondensatory na liniach zasilania, elementy pasywne do wbudowanej przetwornicy, antena itp.). Większość wyprowadzeń jest dostępna z poziomu gniazd sygnałowych typu Morpho oraz Arduino. Dodatkowo elementem wyposażenia jest prosty interfejs użytkownika (diody LED, przyciski) oraz wbudowany programator/debugger ST-Link. Nucleo to bardzo przystępna cenowo platforma sprzętowa pomocna zarówno do testowania możliwości mikrokontrolera, jak i przydatna w budowaniu prototypu urządzenia. Dostępny jest też bardziej rozbudowany zestaw Nucleo o nazwie P-NUCLEO-WB55. Składa się on z płytki NUCLEO-WB55RG oraz dodatkowo oferuje drugą płytkę – USB dongle z STM32WB55 (obudowa QFN48).

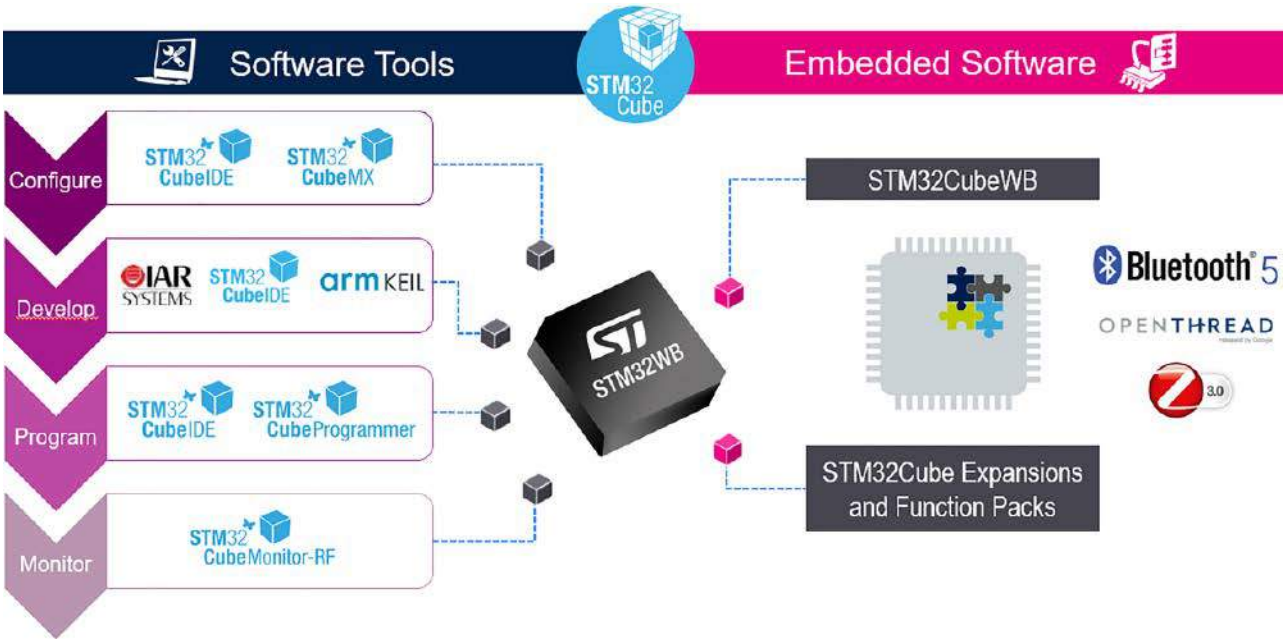
W warstwie programowej system narzędzi nosi nazwę STM32Cube. Składa się na niego kilka elementów: graficzny konfigurator mikrokontrolera i generator kodu STM32CubeMX, bazujące na Eclipse i GCC środowisko programistyczne STM32CubeIDE oraz pakiet bibliotek do peryferiów, stosów radiowych i przykładowych aplikacji o nazwie STM32CubeWB. Warto też pamiętać o dwóch opcjonalnych, ale bardzo pomocnych narzędziach: programatorze STM32CubeProgrammer oraz aplikacji STM32CubeMonitor-RF, która może posłużyć do sterowania i monitorowania części radiowej STM32WB. Zestawienie elementów systemu narzędzi programowych STM32Cube dla STM32WB pokazano na **rysunku 6**.

Podsumowanie

STM32WB to pierwsza grupa układów typu SoC w ofercie STM32. Mimo że układy reprezentują zupełnie nową kategorię radiową, to można je postrzegać jako po prostu kolejną serię STM32, gdyż u podstaw tych układów leży mikrokontroler STM32L4, który połączony jest z blokiem radiowym 2,4 GHz. Zastosowanie uniwersalnego nadajnika-odbiornika radiowego sprawia, że STM32WB może być rozwiązaniem dla aplikacji wymagających nie tylko komunikacji BLE, ale też ZigBee lub Thread.

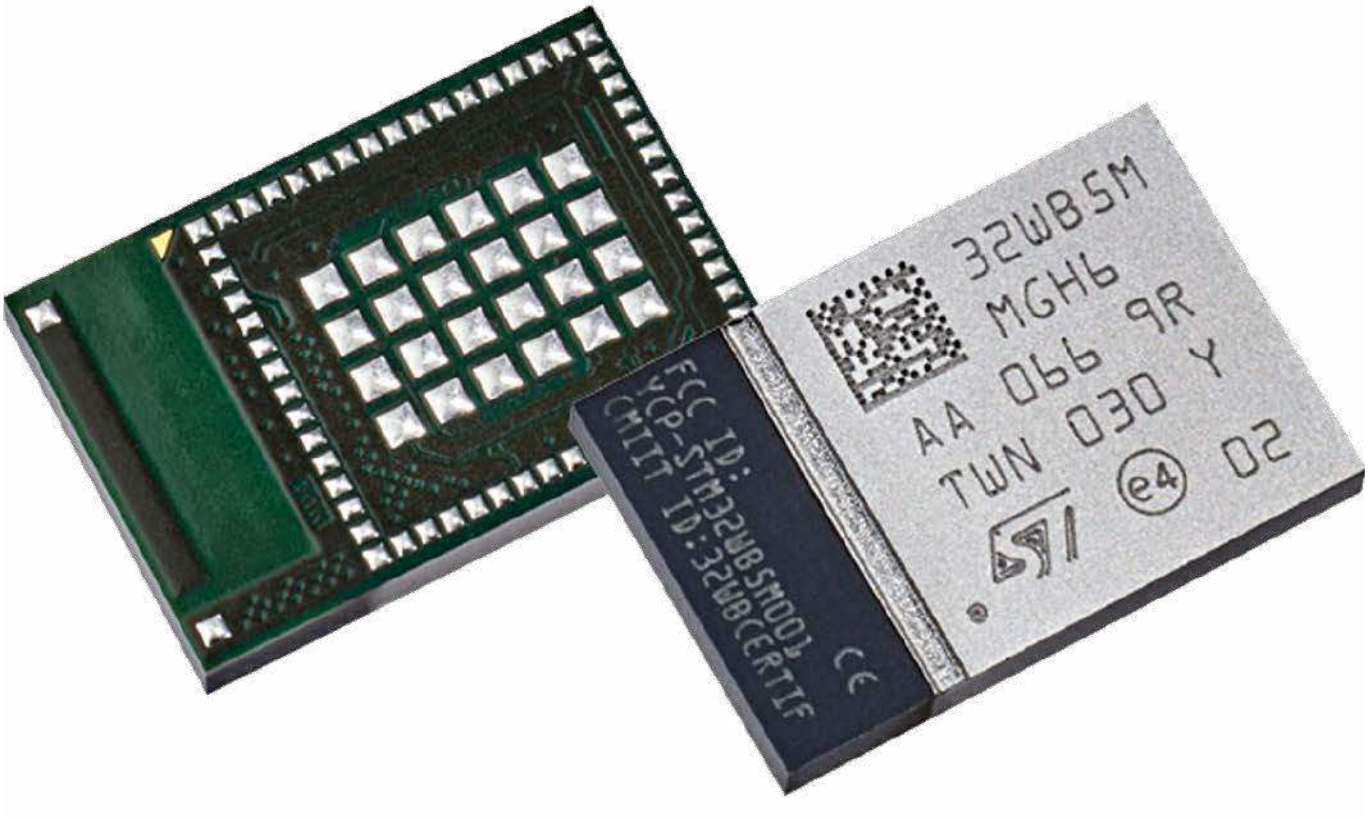
W osobnym artykule tego wydania „Elektroniki Praktycznej" został zaprezentowany artykuł opisujący jak rozpocząć pracę z STM32WB i jak w kilku krokach stworzyć pierwszą aplikację z komunikacją BLE.

Szymon Panecki
STMicroelectronics
szymon.panecki@st.com



Rysunek 6. System narzędzi programowych dla STM32WB

eprasa.pl b4234fed20



Pierwsze kroki z modułem BLE STM32WB5MMG

W ramach artykułu zaprezentujemy specyfikację modułu z układem STM32WB oraz pokażemy jak przy użyciu tego rozwiązania zaprojektować krok po kroku, w warstwie sprzętowej i programowej, przykładowy system z komunikacją BLE.

W 2018 roku popularna rodzina układów STM32 oparta na architekturze ARM Cortex-M została rozszerzona o kategorię produktową o nazwie Wireless. Tym samym do bogatej oferty mikrokontrolerów dołączyły układy typu SoC (*System on Chip*), łączące mikrokontroler i układ komunikacji radiowej. Pierwszym rozwiązaniem tego typu jest seria STM32WB przeznaczona do komunikacji bezprzewodowej w paśmie 2,4 GHz, która wspiera trzy standardy komunikacji: BLE (Bluetooth Low Energy), ZigBee oraz Thread.

W przypadku chęci użycia STM32WB do wyboru pozostają dwie różne koncepcje projektowe. Każda ma swoje zalety i wady. Pierwsza koncepcja zakłada użycie rozwiązania układowego. Kierując się wymaganiami aplikacji konstruktor wskazuje najlepiej pasującą grupę układów (WB55, WB50, WB35, WB30, WB15 lub WB10), następnie wybiera wariant obudowy (QFN48, QFN68, WLCSP100, lub BGA129) i na końcu określa potrzebną pojemność pamięci Flash (256 kB...1 MB). W ten sposób wybrany zostaje najwłaściwszy model STM32WB. Następnie następuje faza projektowania płytki PCB, która obejmuje dołączenie do układu komponentów zewnętrznych takich jak źródła sygnału zegarowego, elementy zasilania oraz elementy toru radiowego. Finalnie zaprojektowany system wymaga wykonania certyfikacji pod kątem radiowym. Podsumowując tę koncepcję, za jej zaletę należy uznać minimalizację ceny (wybór optymalnego układu) i pełną elastyczność pod kątem projektowania płytki PCB. Jej wadą jest natomiast czas potrzebny na proces projektowania płytki PCB od zera (co szczególnie może być problemem w przypadku małej wiedzy w dziedzinie radiowej) oraz również czas, a dodatkowo też koszt realizacji certyfikacji.

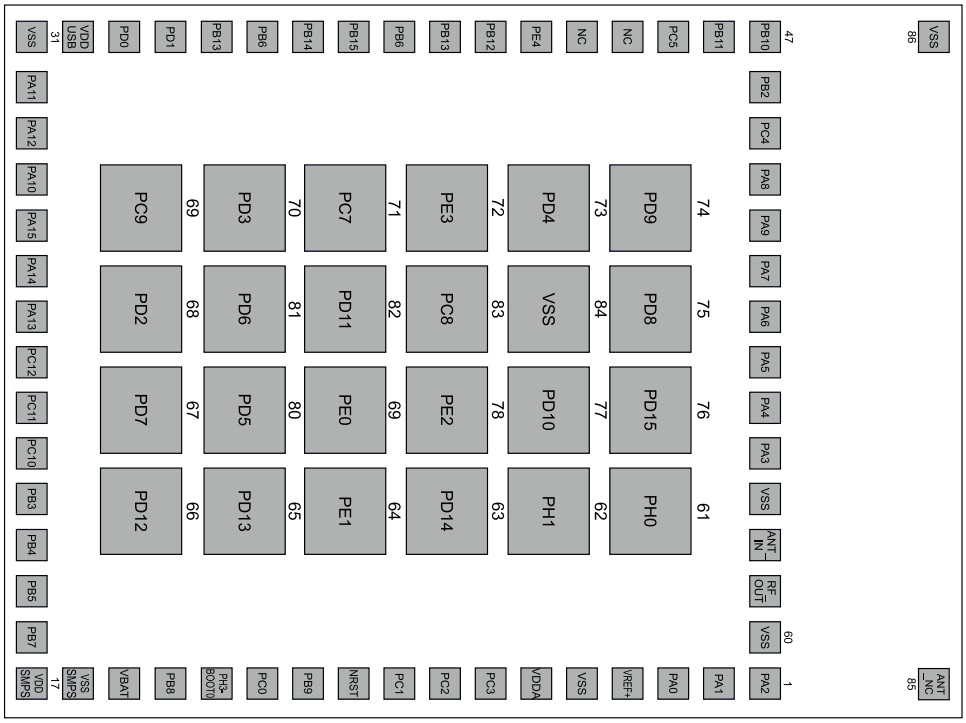
Druga koncepcja przewiduje wykorzystanie rozwiązania modułowego. Moduł zawiera układ STM32WB oraz wszystkie wymagane do jego poprawnej pracy komponenty, ponadto jest rozwiązaniem certyfikowanym. W tym przypadku nie ma możliwości wyboru modułu, gdyż dostępny jest tylko jeden model – STM32WB5MMG. Dokonując bilansu tej koncepcji jako zaletę należy podkreślić znacznie uproszczony proces projektowania płytki PCB oraz brak konieczności wykonywania certyfikacji. Obie te korzyści przekładają się na znacząco krótszy czas tworzenia produktu (tzw. *time to market*). Jednocześnie należy mieć świadomość wad w postaci nieoptymalnej ceny oraz mniejszej elastyczności w przypadku projektowania płytki PCB.

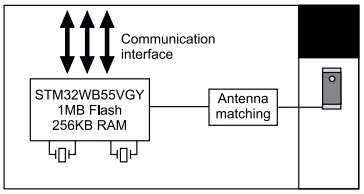
Specyfikacja modułu STM32WB5MMG

Elementem centralnym modułu jest naturalnie układ SoC z rodziny STM32WB. Jest to konkretnie model STM32WB55VGY6. Wybór ten nie powinien dziwić, gdyż wskazany układ łączy bardzo małe gabaryty (obudowa WLCSP100 o wymiarach 4,390×4,371 mm) oraz maksymalną pojemność pamięci (1 MB Flash, 256 kB SRAM).

Układ STM32WB połączony jest w module z grupą podzespołów otaczających. Sygnał zegarowy zapewniają dwa kwarce: pierwszy o częstotliwości 32 MHz (źródło zegara o nazwie HSE – *High Speed External*) i drugi o częstotliwości 32,768 kHz (źródło zegara o nazwie

eprasa.pl b4234fed20





Rysunek 1. Specyfikacja modułu (od lewej: układ wyprowadzeń, schemat ideowy)

LSE – *Low Speed External*). Są one niezbędne do właściwej pracy części radiowej STM32WB, a dodatkowo można ich użyć do taktowania innych zasobów (rdzenia, pamięci, zegara RTC itp.). Przewidziano też kilka elementów pasywnych takich jak kondensatory i cewka, które umożliwiają przełączenie bloku zasilania STM32WB z regulatora napięcia LDO na przetwornicę napięcia SMPS, tym samym zmniejszając wartość pobieranego prądu. W końcu ostatnia grupa podzespołów to elementy radiowe: układ IPD (*Integrated Passive Device*) oraz antena.

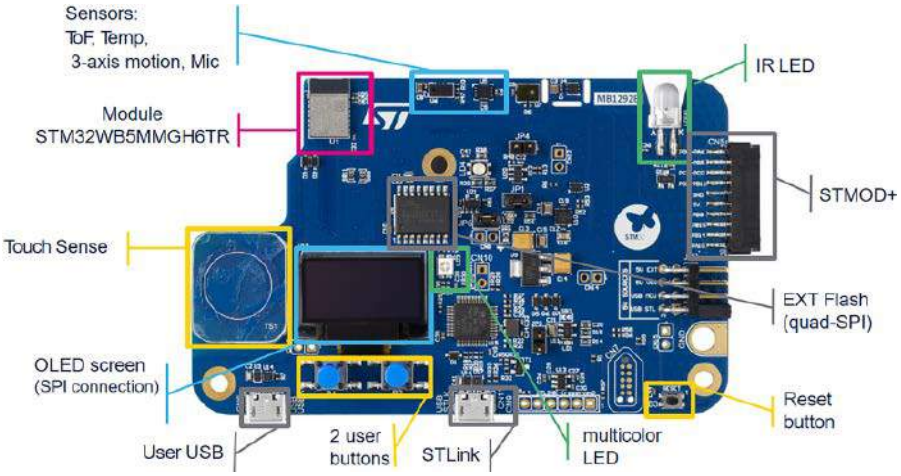
Moduł cechuje się małymi gabarytami: 7,3×11 mm. Obudowa to wariant LGA z 86 wyprowadzeniami, spośród których 68 może realizować funkcje linii I/O (schemat ideowy i układ wyprowadzeń pokazano na **rysunku 1**). Maksymalna moc nadawania to +6 dBM, co w połączeniu z zastosowaną anteną daje możliwość uzyskania zasięgu transmisji do 75 metrów. Istotną zaletą modułu jest nie tylko zintegrowanie wszystkich niezbędnych elementów sprzętowych, ale też certyfikacja. Lista uzyskanych certyfikatów obejmuje: CE, FCC, IC, JRF, SRRC, RoHS, REACH, GOST, KC, NCC.

Moduł ma charakter otwarty, co oznacza że umieszczony w nim układ STM32WB wykonuje zarówno aplikację stosu radiowego (BLE, ZigBee lub Thread), jak również aplikację użytkownika. Aplikacje te wykonywane są równolegle, co umożliwia dwurdzeniowa architektura STM32WB: Cortex-M0+ – stos radiowy, Cortex-M4 – aplikacja użytkownika. W **tabeli 1** wypisano wszystkie peryferia, z jakich korzystać może aplikacja użytkownika.

Firma STMicroelectronics przygotowała platformę sprzętową pozwalającą na łatwe rozpoczęcie pracy z modułem STM32WB-5MMG. Jest to płytka o nazwie STM32WB-5MM-DK. Wyposażenie obejmuje nie tylko moduł z układem STM32WB, ale też czujniki MEMS, pamięć z interfejsem Quad-SPI, wyświetlacz OLED, przycisk pojemnościowy, przyciski mechaniczne, diodę podczerwoną, diodę RGB, gniazdo USB, programator/debugger ST-Link oraz złącza sygnałowe. Zdjęcie płytki STM32WB5MM-DK zaprezentowano na **rysunku 2**.

Tabela 1. Zasoby dostępne dla użytkownika w układzie STM32WB znajdującym się w module STM32WB5MMG

Typ zasobu	Dostępność zasobu
DMA	Dwa kontrolery mogące współpracować z peryferiami: ADC, SPI, I²C, USART, QSPI, SAI, AES, liczniki
Komunikacja	1×USART, 1×LPUART, 2×SPI, 2×I²C, 1×SAI, 1×USB
Zasoby analogowe	1×ADC, 2×COMP
Kontroler pojemnościowego interfejsu dotykowego	18 kanałów
Wyświetlacz LCD	8x40
Liczniki	3×16 bitów, 1×32 bitów, 2×16 bitów low-power, 1×Systick, 2×Watchdog
RF	2,4 GHz (BLE, ZigBee, Thread)



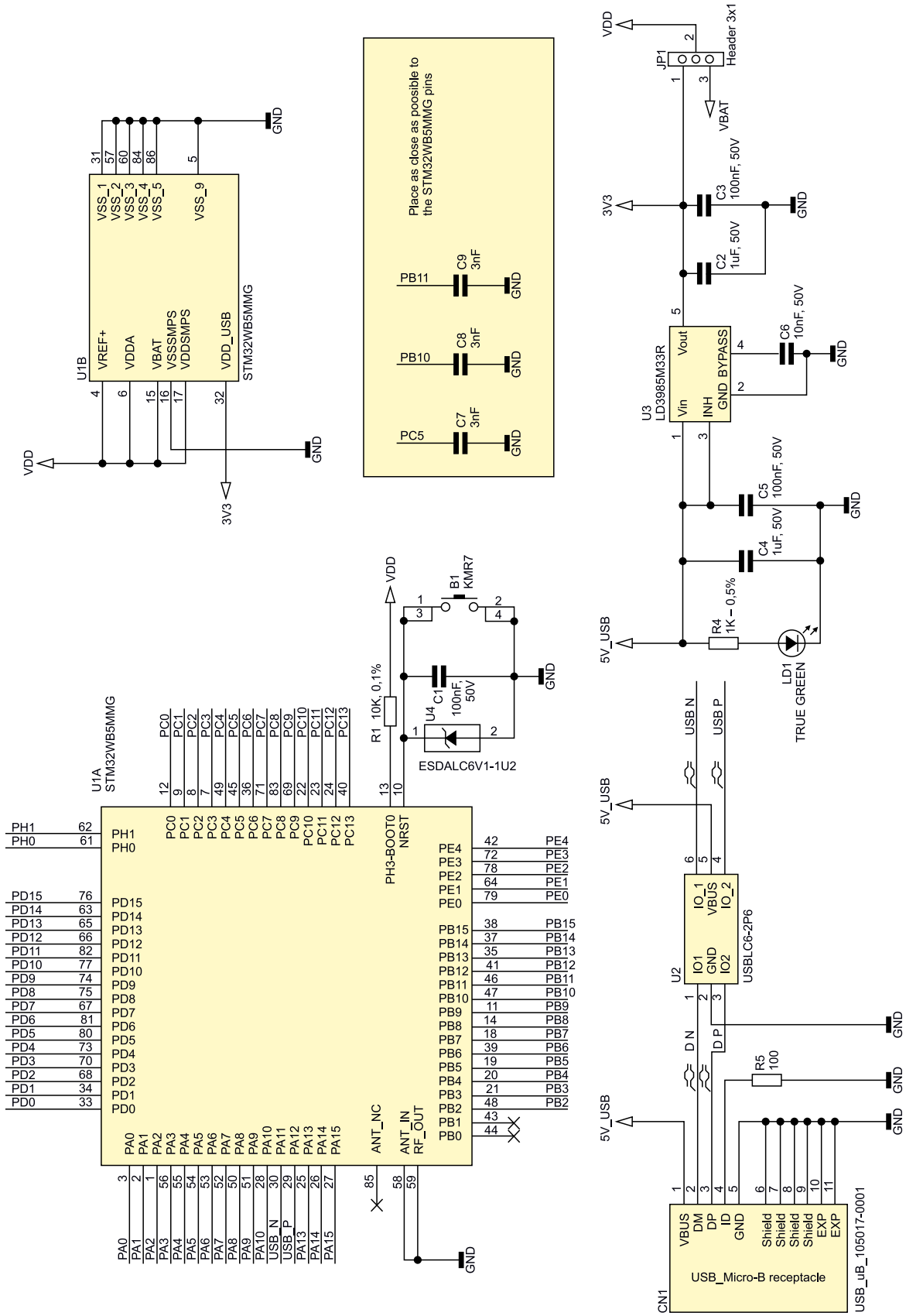
Rysunek 2. Wygląd płytki STM32WB5MM-DK

eprasa.pl b4234fed20

Projektowanie systemu BLE w warstwie sprzętowej

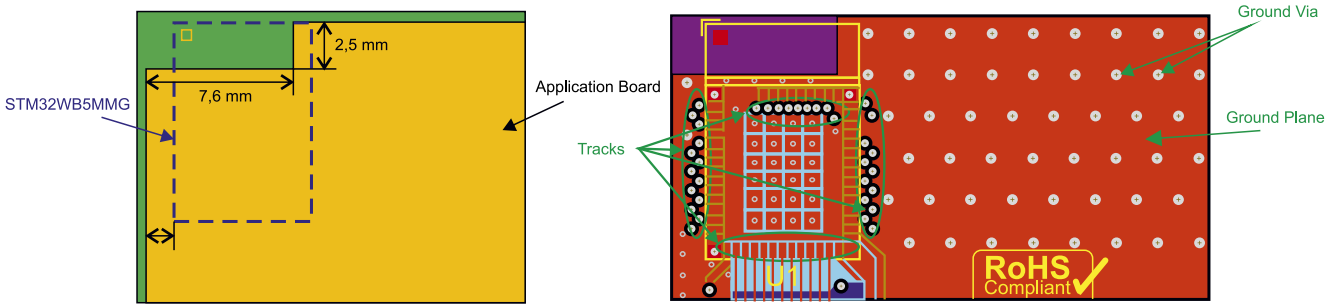
Podstawową czynnością podczas projektowania elektroniki jest zapewnienie podzespołom napięcia zasilania. Nie inaczej jest w przypadku modułu STM32WB5MMG. Za zasilanie odpowiada szereg wyprowadzeń. Można je podzielić na dwie grupy pod względem potencjału zasilania. Potencjał dodatni o wartości z zakresu 1,8...3,6 V (typowo 3,3 V) należy doprowadzić do pinów VERF+, VDDA, VBAT, VDDSMPS oraz VDD_USB. Analogicznie potencjał ujemny należy podpiąć do pinów VSSSMPS, VSS_1, VSS_2, VSS_3, VSS_4, VSS_5 i VSS_9.

Kolejnym wyprowadzeniem wymagającym uwagi jest BOOT0. Poziom napięcia na tym pinie określa jaka pamięć zostanie wybrana do bootowania (Flash – aplikacja, pamięć systemowa – fabryczny bootloader, SRAM – aplikacja). Projektant ma



Rysunek 3. Schemat referencyjny z modułemSTM32WB5MMG

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 4. Rekomendacje odnośnie do layoutu płytki PCB z modułemSTM32WB5MMG

do dyspozycji połączenie BOOT0 do ujemnego lub dodatniego potencjału zasilania.

Następne wyprowadzenie, którym należy się zająć to NRST, które poprzez podanie ujemnego potencjału zasilania wprowadzi układ w stan resetu. Wymagane jest tu zastosowanie kondensatora o pojemności 100 nF, wpiętego pomiędzy linię NRST i ujemny potencjał zasilania. Opcjonalnie chcąc mieć możliwość ręcznego resetowania układu można zastosować przycisk, również wpięty między linię NRST i ujemny potencjał zasilania.

Dostępne są trzy wyprowadzenia związane z anteną. Piny ANT_IN oraz RF_OUT należy połączyć z ujemnym potencjałem zasilania. Z kolei pin ANT_NC należy zostawić niepodłączony.

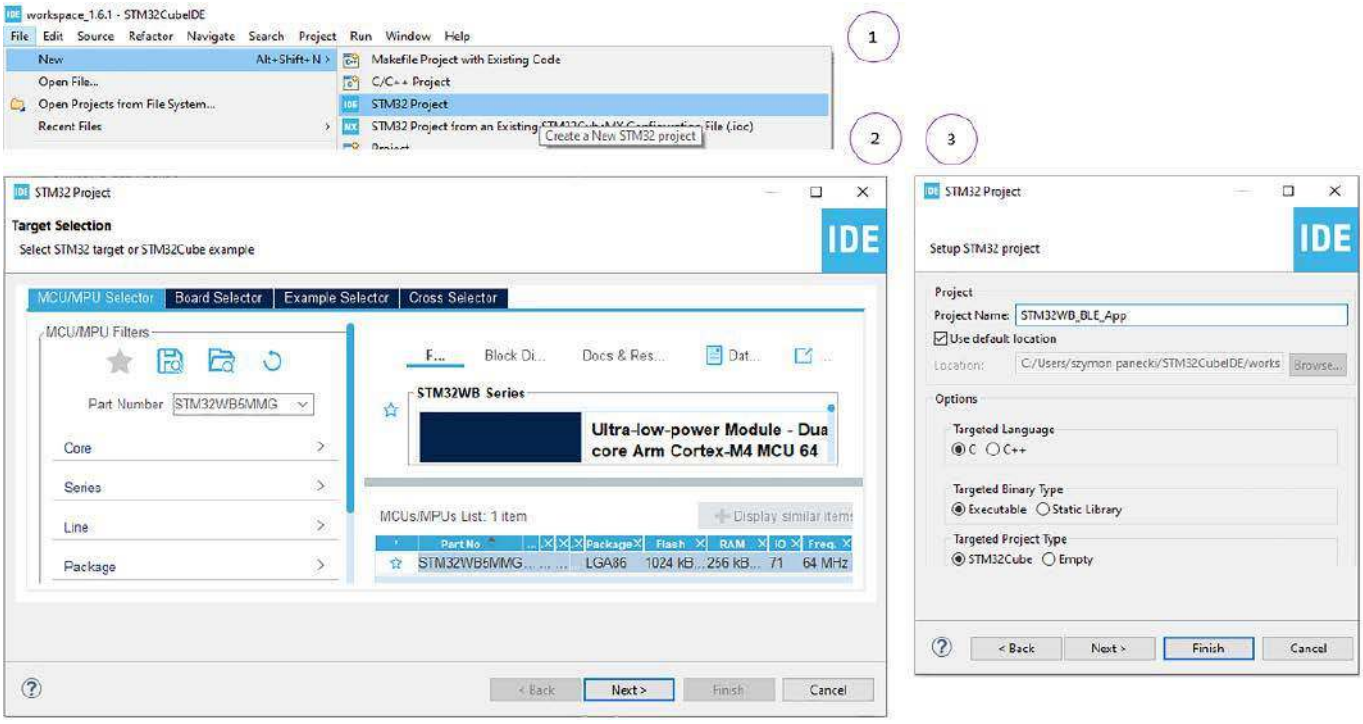
W przypadku korzystania z interfejsu USB należy nie tylko zadbać o prawidłowe podłączenie pinu VDD_USB (opisane to zostało w sekcji dotyczącej zasilania), ale również wysoce wskazane jest zastosowanie obwodu zabezpieczenia, który chronić będzie linie komunikacji USB_N oraz USB_P. Do tego celu można użyć np. układu USBLC6-2P6. Moduł zawiera trzy wyprowadzenia I/O, które są wrażliwe na zakłócenia: PB10, PB11 oraz PC5. Firma STMicroelectronics rekomenduje, aby między każdą z tych linii i ujemny potencjał zasilania wpiąć kondensator o pojemności 3 nF.

Schemat elektryczny biorący pod uwagę wszystkie opisane wskazówki przedstawiono na **rysunku 3**. Jest to projekt referencyjny zaczerpnięty z noty katalogowej modułu STM32WB5MMG. Warto też zapoznać się ze wskazówkami dotyczącymi projektowania layoutu płytki PCB. Zilustrowano je na **rysunku 4**. Przede wszystkim warto zwrócić uwagę na umiejscowienie modułu. Zaleca się aby STM32WB5MMG znalazł się w lewym górnym rogu płytki, co zapewni optymalne parametry pracy dla anteny. Drugie zalecenie dotyczy rozprowadzania ścieżek na płytce. Sugerowane jest unikanie przestrzeni po prawej stronie od modułu. Najkorzystniejszym wariantem jest poprowadzenie ścieżek po stronie przeciwległej do miejsca usytuowania anteny. Wspomniana wcześniej przestrzeń po prawej stronie modułu powinna zostać przeznaczona na poligon masy wraz z przelotkami (odległość 2 mm między przelotkami).

Projektowanie systemu BLE w warstwie programowej

Najlepszym sposobem na zademonstrowanie jak pracować z modułem STM32WB5MMG w warstwie programowej jest pokazanie krok po kroku jak od zera stworzyć prosty system realizujący komunikację BLE. W tym celu zostanie zrealizowany scenariusz komunikacji P2P (*Point to Point*) między aplikacją działającą na module i aplikacją działającą na smartfonie. Smartfon wcieli się w rolę urządzenia wysyłającego na żądanie użytkownika jeden z dwóch komunikatów. Moduł odegra rolę odbiornika, który po otrzymaniu komunikatu będzie go interpretował i włączał lub wyłączał diodę LED.

Jako platforma sprzętowa użyta zostanie płytka STM32WB5MM-DK. Umieszczony na niej moduł STM32WB5MMG jest w pełni przygotowany do pracy tzn. ma zapewnione zasilanie, jest podłączony do programatora/debuggera ST-Link oraz dysponuje już wcześniej wgranym stosem BLE. Jedyną konieczną modyfikacją jest podłączenie



Rysunek 5. Kolejne etapy tworzenia projektu dla modułu STM32WB5MMG w środowisku STM32CubeIDE

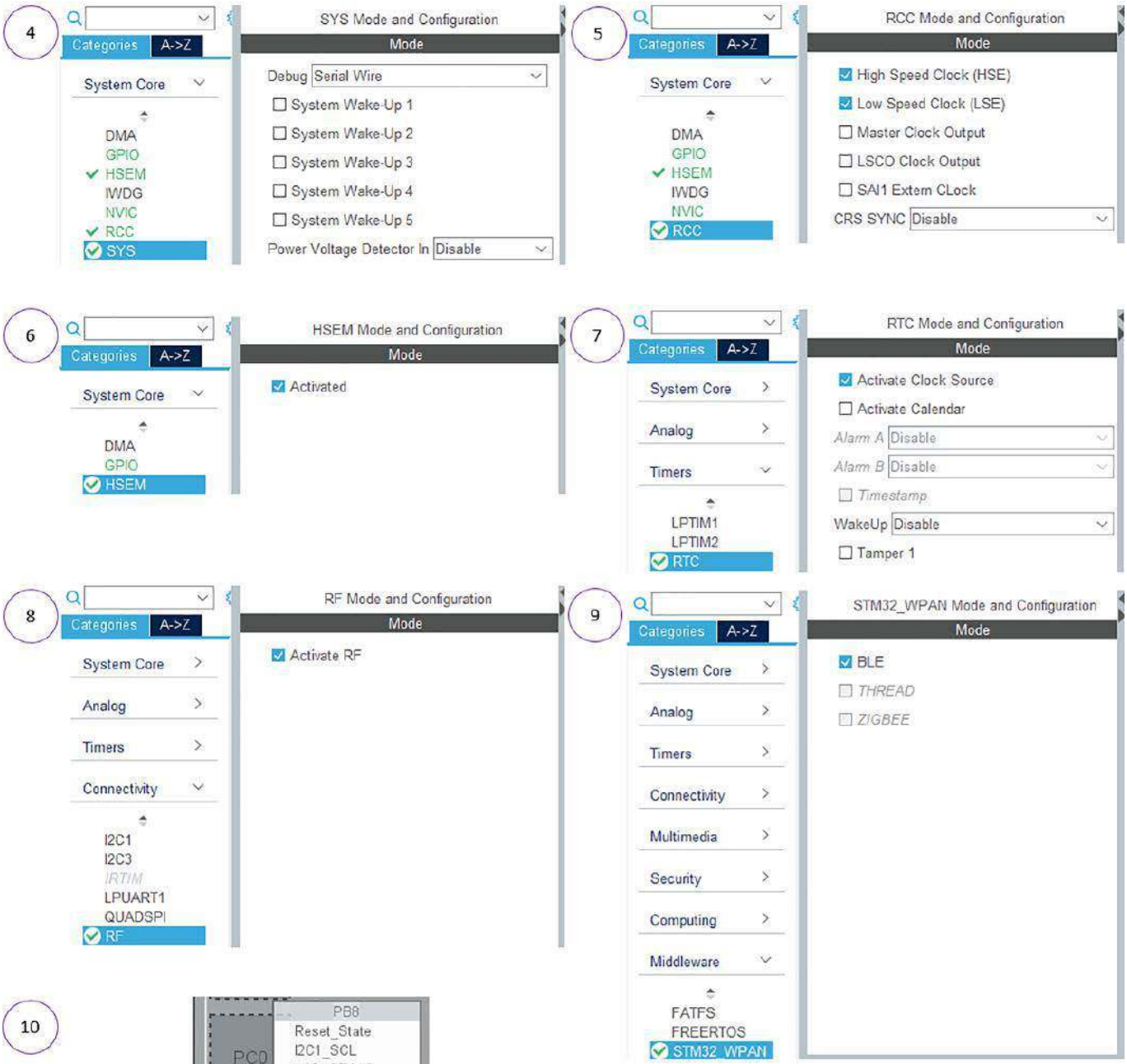
eprasa.pl b4234fed20

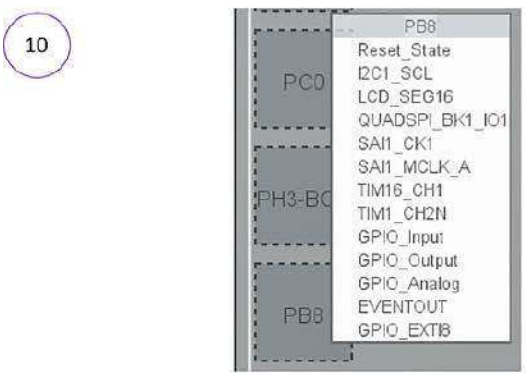
diody LED. W tym celu użyto gniazda sygnałowego STMOD+ (dioda LED podłączona została do portu PB8).

Do obsługi komunikacji BLE po stronie smartfona należy użyć bezpłatnej aplikacji ST BLE Sensor. Udostępnia ona interfejs do połączenia się z urządzeniem BLE i do wysyłania komunikatów. Aplikacja dla modułu może zostać stworzona przy użyciu ekosystemu narzędzi programowych STM32Cube. Potrzebne w tym celu będą trzy jego elementy: środowisko programistyczne STM32CubeIDE, konfigurator graficzny układu i generator kodu STM32CubeMX (jest on integralną częścią STM32CubeIDE) oraz pakiet STM32CubeWB zawierający firmware: biblioteki do peryferiów, stosy radiowe i przykładowe aplikacje.

Przystępując do pracy należy uruchomić środowisko programistyczne STM32CubeIDE. Pierwszym krokiem jest utworzenie nowego projektu.

1. Z menu głównego należy wybrać kolejno File, New, STM32 Project. W efekcie wywołany zostanie kreator nowego projektu korzystającego z narzędzia STM32CubeMX;
2. W polu Part Number należy wpisać nazwę modułu tzn. STM32WB5MMG. Lista dostępnych układów zawęzi się do jednej pozycji. Należy ją zaznaczyć i kliknąć przycisk Next;
3. Jest to właściwy moment na zadeklarowanie nazwy projektu. Po wpisaniu jej w pole Project Name pozostaje kliknąć przycisk Finish, który zamknie kreator;



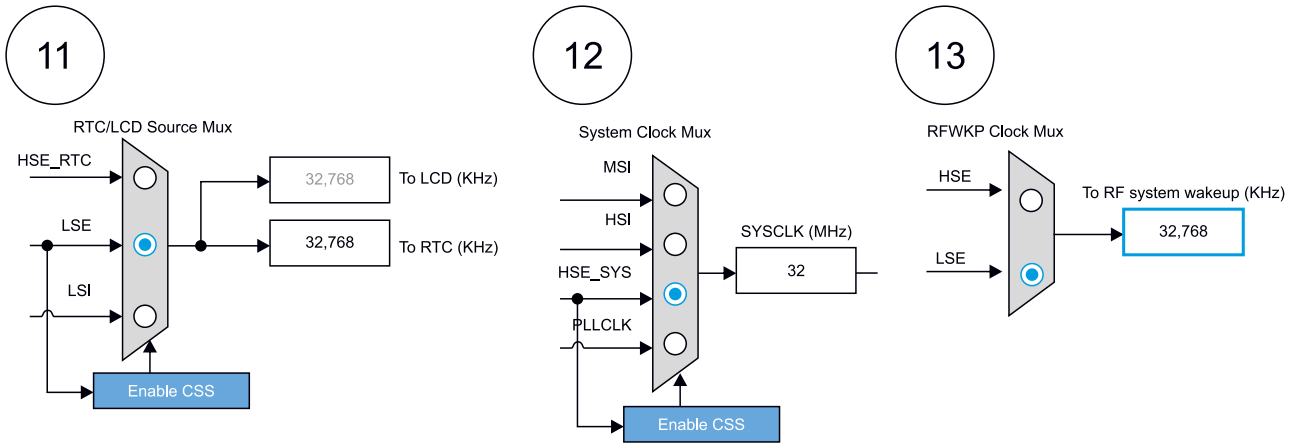


Rysunek 6. Konfiguracja peryferiów STM32WB w STM32CubeMX

W konsekwencji tych działań zostanie utworzony nowy projekt (opisane kroki zilustrowano na **rysunku 5**). Warto podkreślić, że projekt w takiej formie jest kompletny tzn. zawiera plik projektowy STM32CubeMX, plik *main.c* oraz komplet bibliotek. Nie ma zatem potrzeby ręcznego uzupełniania projektu lub jego manualnej konfiguracji.

Drugi krok polega na poprawnym skonfigurowaniu układu STM32WB. Pomocny w tym zadaniu będzie plik projektowy STM32CubeMX, konkretnie zakładka Pinout & Configuration, gdzie w sposób graficzny można wyklikać właściwe ustawienia. Czynności

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 7. Konfiguracja wybranych elementów drzewa zegarowego STM32WB w STM32CubeMX

do wykonania jest szereg, więc najwygodniej będzie pokazać je w postaci listy (zilustrowano je na **rysunku 6**):

4. Aktywowanie interfejsu programowania/debugowania SWD: w oknie z listą peryferiów należy odszukać blok System Core, kliknąć na element SYS i w polu Debug wybrać Serial Wire;
5. Aktywowanie dwóch źródeł sygnału zegarowego HSE i LSE: w oknie z listą peryferiów należy oszukać blok System Core, kliknąć na element RCC i zaznaczyć pola High Speed Clock oraz Low Speed Clock;
6. Aktywowanie sprzętowego semafora: w oknie z listą peryferiów należy odszukać blok System Core, kliknąć na element HSEM i zaznaczyć pole Activated;
7. Aktywowanie zegara Real Time Clock: w oknie z listą peryferiów należy odszukać blok Timers, kliknąć na element RTC i zaznaczyć pole Activate Clock Source;
8. Aktywowanie bloku radiowego: w oknie z listą peryferiów należy odszukać blok Connectivity, kliknąć na element RF i zaznaczyć pole Activate RF;
9. Aktywowanie stosu BLE: w oknie z listą peryferiów należy odszukać blok Middleware, kliknąć na element STM32_WPAN i zaznaczyć pole BLE. Szczegółowa konfiguracja dostępna jest w podzakładce BLE Applications and Services, natomiast domyślnie ustawienia są odpowiednie i jedyną opcjonalną zmianą jest wpisanie identyfikatora urządzenia w polu LOCAL_NAME np. może być to słowo STM32WB;
10. Konfiguracja portu I/O do sterowania diodą LED: w oknie z układem wyprowadzeń należy odszukać pin PB8, kliknąć na niego i wybrać z menu kontekstowego opcję GPIO_Output;

Dalsza praca z plikiem projektowym polega na skonfigurowaniu drzewa zegarowego. W tym celu konieczna jest zmiana zakładki Pinout & Configuration na zakładkę Clock Configuration. Po jej otworzeniu STM32CubeMX poprosi o możliwość wykonania automatycznej konfiguracji. Należy wyrazić na to zgodę. Dodatkowo potrzebne są następujące zmiany (zilustrowano je na **rysunku 7**):

11. Użycie LSE jako źródła sygnału zegarowego dla RTC: w multiplekserze RTC/LCD Source Mux należy zmienić zaznaczone pole z LSI na LSE;
12. Użycie HSE jako źródła sygnału zegarowego dla SYSCLK: w multiplekserze System Clock Muxnależy zmienić zaznaczone pole z MSI na HSE_SYS;
13. Użycie LSE jako źródła sygnału zegarowego dla mechanizmu wybudzania radia: w multiplekserze RFWKP Clock Mux należy zmienić zaznaczone pole z HSE na LSE;

W tym momencie wszystkie potrzebne ustawienia zostały wprowadzone do STM32CubeMX. Czynnością kończącą ten etap jest wygenerowanie kodu. W tym celu należy z menu wybrać Project, a następnie Generate Code.

W ten sposób przechodzimy do trzeciego, ostatniego kroku pracy nad aplikacją. Polega on na dodaniu kilku fragmentów kodu,

14 **stm32wbxx_it.c**

```
/* USER CODE BEGIN 1 */
void RTC_WKUP_IRQHandler(void)
{
  HW_TS_RTC_Wakeup_Handler();
}

void IPCC_C1_RX_IRQHandler(void)
{
  HW_IPCC_Rx_Handler();
}

void IPCC_C1_TX_IRQHandler(void)
{
  HW_IPCC_Tx_Handler();
}
/* USER CODE END 1 */
```

15 **main.c**

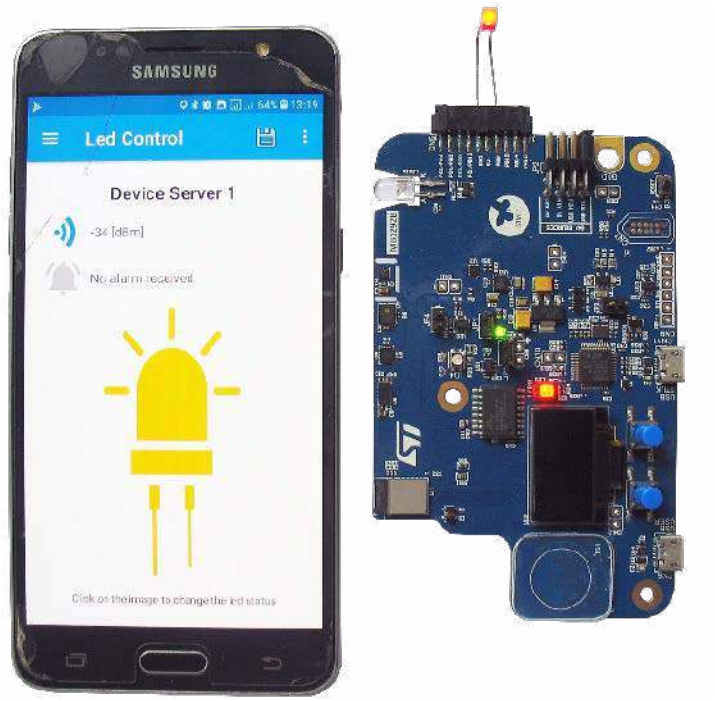
```
/* USER CODE BEGIN Includes */
#include "stm32_seq.h"

/* USER CODE END Includes */

|
|
|

/* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  UTIL_SEQ_Run( UTIL_SEQ_DEFAULT );
  }
  /* USER CODE END 3 */
```

16 **p2p_server_app.c**

```
void P2PS_STM_App_Notification(
    P2PS_STM_App_Notification_evt_t *pNotification)
{

|
|
|

case P2PS_STM_WRITE_EVT:
/* USER CODE BEGIN P2PS_STM_WRITE_EVT */
if(pNotification->DataTransfered.pPayload[1] == 0x01) {
   HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);
}
else {
   HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_RESET);
}

|
|
|

}
```

Rysunek 8. Fragmenty kodu dodane do plików projektu programistycznego STM32WB

eprasa.pl b4234fed20



Fotografia 1. Widok działającego systemu BLE (od lewej: zdjęcie aplikacji ST BLE sensor po wysłaniu komunikatu o zapaleniu diody LED, zdjęcie płytki STM32WB5MM-DK z zapaloną diodą LED po otrzymaniu komunikatu

które pozwolą na implementację założonej na początku funkcjonalności (zaznaczono je na **rysunku 8**).

14. Pierwszy plik który należy poddać edycji to *stm32wbxx_it.c*. Na samym końcu pliku należy dodać funkcje do obsługi przerwań dla RTC oraz IPCC;
15. Drugi plik który wymaga edycji to *main.c*. W sekcji początkowej pliku należy wstawić dyrektywę *#include* wskazującą potrzebę użycia pliku sekwencera. Z kolei w dalszej części tego samego pliku, mianowicie w funkcji *main*, a konkretnie w pętli *while(1)* należy wywołać funkcję *UTIL_SEQ_Run()*, która zarejestruje w sekwencerze nowe zadanie;
16. Trzeci plik kwalifikujący się do edycji nosi nazwę *p2p_server_app.c*. Wewnątrz funkcji *P2PS_STM_App_Notification()* reagującej na zdarzenia zgłaszane przez stos BLE, dokładniej w instrukcji wielokrotnego wyboru switch – case dla warunku P2PS_STM_WRITE_EVT należy sprawdzić zawartość pól struktury *pNotification* pod kątem odebranych danych. W zależności od wartości tych danych należy poprzez funkcję *HAL_GPIO_WritePin()* wystawić odpowiednią wartość na port I/O PB8 sterujący diodą LED.

Na tym etapie praca nad aplikacją jest zakończona. Pozostaje zatem skompilować kod (poprzez wybranie z menu Project, a potem Build All), a następnie wgrać plik wynikowy do pamięci układu STM32WB umieszczonego w module (poprzez wybranie z menu Run i ponownie Run). Na **fotografii 1** pokazano zdjęcie działającego systemu: smartfona wysyłającego poprzez aplikację ST BLE Sensor na żądanie użytkownika komunikaty o diodzie LED i płytkę STM32WB5MM-DK, na której aplikacja działająca na module odbiera komunikaty i steruje diodą LED w odpowiedni sposób.

Podsumowanie

STM32WB5MMG to rozwiązanie, z którym dotychczasowi użytkownicy STM32 będą mogli sprawnie rozpocząć pracę. Wynika to z tego, że moduł oparty jest na układzie STM32WB, który jest blisko spokrewniony z mikrokontrolerami STM32 i używa tego samego ekosystemu narzędzi programowych. Zasadniczą nowością jest tu dodatkowy element w postaci bloku radiowego 2,4 GHz (BLE, ZigBee, Thread). STM32WB5MMG to moduł radiowy. Wybierając go użytkownik nie musi samodzielnie projektować od zera pytki PCB, gdyż moduł zawiera już układ STM32WB, dwa kwarce, elementy zasilania, układ IPD i antenę. Dodatkowo użytkownik nie musi realizować kosztownych i czasochłonnych certyfikacji, gdyż producent modułu już o nie zadbał.

W artykule zademonstrowano jak w warstwie sprzętowej i programowej rozpocząć pracę z modułem STM32WB5MMG. Osoby chcące poznać tą tematykę bardziej szczegółowo autor zachęca do zapoznania się z materiałem szkoleniowym dostępnym pod adresem: https://bit.ly/3qlXEgD.

Szymon Panecki
szymon.panecki@st.com
STMicroelectronics

REKLAMA

Wirtuoz IoT

Wireless Gecko – SoC´s i moduły

Najwyższa efektywność energetyczna dla ARM® Cortex®-M4 dzięki trybom Ultra Low Power:

- Bluetooth Low Energy, Bluetooth 5
- Zigbee, Thread, Bluetooth Mesh
- WiFi
- Z Wave
- Multiprotocol Support

Po szczegóły zapraszamy na

www.glyn.pl | biuro@glyn.pl

FIRST CLASS PREMIUM SUPPORT
GLYN High-Tech Distribution

eprasa.pl b4234fed20

Aplikacja Bluetooth z modułem SPBLE-RF

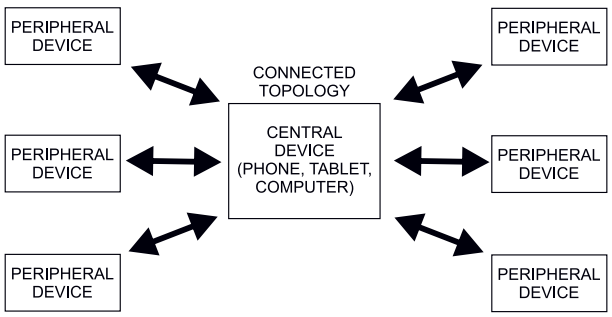
Jednym z fundamentów budowania i użytkowania urządzeń Internetu Rzeczy jest transmisja bezprzewodowa. Kanały transmisyjne często bazują na dwóch sprawdzonych standardach: Wi-Fi i Bluetooth. Oba są bardzo dobrze udokumentowane, a wielu producentów oferuje transceivery z gotowym oprogramowaniem firmware obsługującym stosy protokołów transmisyjnych. Jednym z takich modułów jest SPBLE-RF. W artykule prezentujemy jak uruchomić przykładową aplikację z zastosowaniem tego interesującego komponentu.

Przy transmisji na niewielkie odległości chętnie stosowany jest standard Bluetooth. Pierwsze wersje Bluetooth były optymalizowane do szybkiego przesyłania dużych ilości danych. Bluetooth 3.0 +HS zapewnia przepływność do 24 Mb/s. Wersja 4.0 została nazwana Bluetooth Low Energy – BLE. W tym przypadku priorytetem nie były duże prędkości transmisji danych, ale maksymalne ograniczenie poboru energii przez urządzenia komunikujące się za pomocą standardu BLE.

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 wykorzystywane 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 pomiędzy nimi.

Komunikacja w sieci BLE zaczyna się od rozgłaszania przez węzeł sieci (*advertiser*), 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 *scaners* staje się węzłem 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 to *Pheriperial Device* (**rysunek 1**). *Central Device* to najczęściej komputer, smartfon, tablet itp.

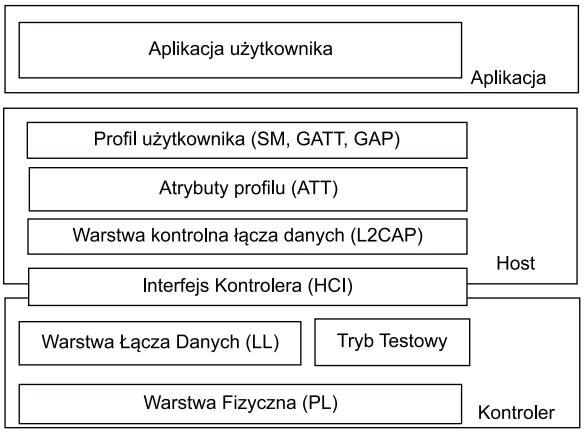
Transmisję zawsze inicjuje węzeł master. Węzeł slave musi przesłać w odpowiedzi informację zwrotną. Po nadaniu jednego pakietu danych musi minąć co najmniej 150 µs (IFS – *Inter Frame Space*). Każdy z pakietów może zawierać wskaźnik MD (*More Data*) sygnalizujący konieczność przesłania kolejnych danych.



Rysunek 1. Podsieć BLE o topologii gwiazdy

Protokół BLE ma budowę warstwową (**rysunek 2**) 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*). Struktura danych jest podzielona na: charakterystyki, serwisy i profile (**rysunek 3**). Charakterystyki to najmniejsza „porcja" danych, serwis to zbór charakterystyk połączony logiczną zależnością, a profil to predefiniowana kolekcja charakterystyk. Profile są zatwierdzane przez Bluetooth SIG.

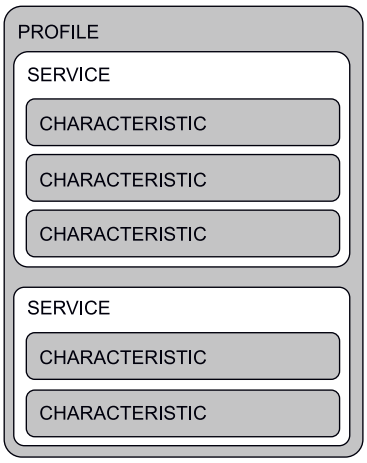
Warstwa GATT jest zbudowana w oparciu o protokół ATT (*Atrribute Protocol*), który wykorzystuje dane GATT do określenia sposobu w jaki dwa urządzenia BLE wysyłają i odbierają standardowe



Rysunek 2. Stos BLE

eprasa.pl b4234fed20

wiadomości. GATT jest zbudowany na zasadzie ról klienta i serwera. Układy *Peripherial* są serwerami GATT (mają zapisane definicje charakterystyk i serwisów), a układ *Central* pełni role klienta, bo wysyła żądania do serwera. W specyfikacji GATT jest opisanych wiele profili w tym na przykład pomiar ciśnienia krwi, monitorowania poziomu glukozy, mierzenia rytmu serca, pomiaru temperatury ciała itp.



Rysunek 3. Struktura danych BLE

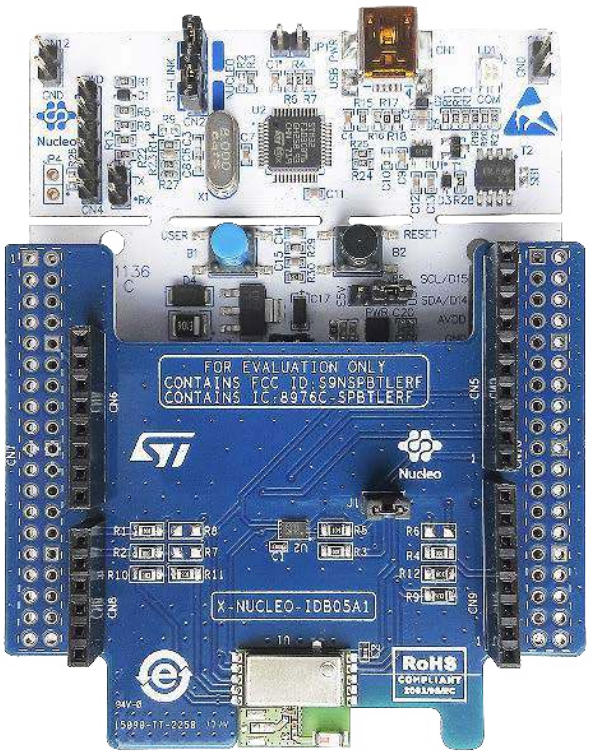
Moduł BLE X-Nucleo-IDB051A1

Płytka ewaluacyjna X-Nucleo-IDB051A1 jest wykonana zgodnie ze standardem Arduino R3 i współpracuje z firmowymi modułami STM z serii Nucleo (**fotografia 1**) . Podstawowym elementem jest moduł Bluetooth Low Energy SPBLE-RF pokazany na fotografii tytułowej, który zawiera wbudowany procesor BlueNRG-MS komunikujący się z hostem przez szybki interfejs SPI.

Połączenia przez BLE można szybko przetestować dzięki udostępnieniu przez STM programów demonstracyjnych X-CUBE-BLE1. Zaczynamy od wejścia na stronę *www.st.com/x-nucleo* i wybraniu modułu X-Nucleo-IDB05A1 tak jak to zostało pokazane na **rysunku 4**. Po wybraniu modułu trzeba pobrać ze strony spakowany program demonstracyjny en.X-Cube-BLE1. Po rozpakowaniu możemy korzystać z programów demonstracyjnych z gotowymi projektami dla środowisk projektowych:

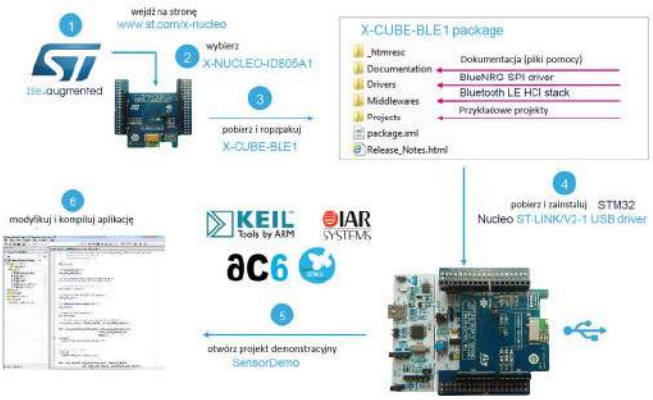
- IDE Keil uVision
- IAR EWARM
- AC6

Oprócz tego dla każdego z przykładów mamy do dyspozycji gotowe skompilowane pliki wynikowe. Można skorzystać z zamieszczonych



Fotografia 1. Płytka BLE X-Nucleo-IDB05A1 połączona z modułem Nucleo F-401RE

Rysunek 4. Wybór typu modułu



Rysunek 5. Pobieranie i uruchamianie programów demonstracyjnych

plików wynikowych, lub otworzyć projekty w wybranym środowisku IDE i ewentualnie je modyfikować do własnych potrzeb.

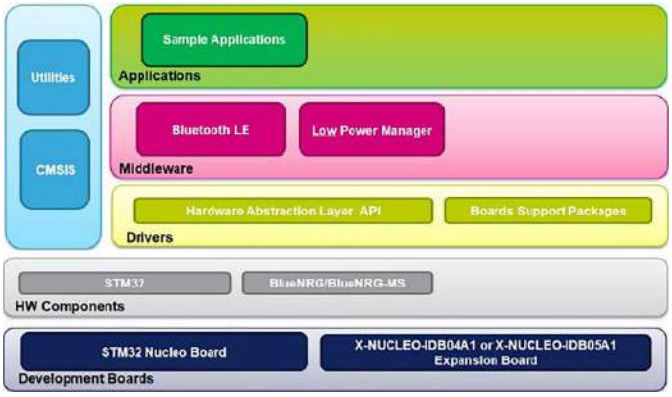
Niestety nie ma tu projektów dla Atollic True Studio for STM32. Próby szybkiej konwersji projektów za pomocą narzędzia Open Project from File System się nie powiodły. Przekonwertowany projekt dla AC6 opartego o Eclipse, nie dawał się kompilować , a projekt dla EWARM nie działał po skompilowaniu. Być może potrzebne były niewielkie poprawki, ale ja poprzestałem tylko na sprawdzeniu konwersji bez modyfikacji projektów. W czasie testów korzystałem z gotowych plików wynikowych.

Na **rysunku 5** pokazany został schematycznie proces pobierania i uruchamiania programów demonstracyjnych. Oprogramowanie demonstracyjne bazuje na warstwie abstrakcji sprzętu STM32CubeHAL dla mikrokontrolerów STM32 (**rysunek 6**). Aplikacja wykorzystuje oprócz tego pakiet 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 (*Peripherial device* – slave), to wspierana jest obsługa profili specyfikacji GATT:

- Alert Notification Client,
- Blood Pressure Sensor,
- Find Me Locaqtor,
- Find Me Target,
- Glucose Sensor,
- Health Thermomenter,
- Heart Rate,
- Human Interface Device,
- Phone Alert Client,
- Proximity Monitor,

eprasa.pl b4234fed20

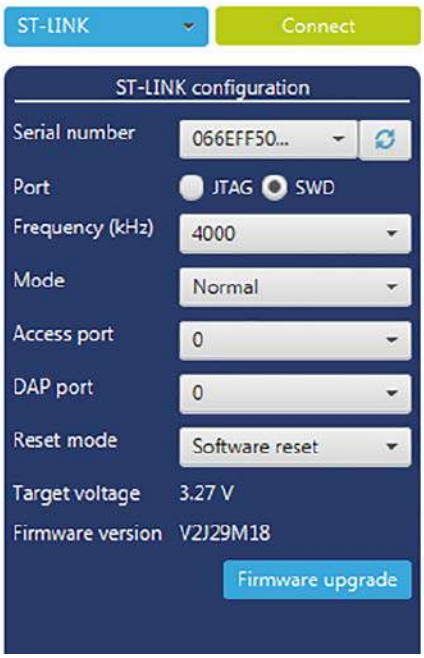


Rysunek 6. Model warstwowy oprogramowania demonstracyjnego

- 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.



Rysunek 7. Okno ST-LINK programu STM-32CubeProgrammer

Przykładowa aplikacja

Do testowania działania łącza BLE będzie potrzebna płytka BLE X-Nucleo-IDB05A1 połączona z modułem Nucleo F-401RE, oraz smartfon z pobraną i zainstalowaną aplikacją STM32 BLE Profiles.

Wszystkie programy demonstracyjne obsługujące profile *peripherial device* symulują dane z czujników zewnętrznych. Z oczywistych względów trudno byłoby testować rzeczywiste pomiary takich parametrów jak poziom glukozy, czy ciśnie krwi. Tak jest też w przypadku pierwszego wykonywanego testu symulującego pomiar stężenia glukozy we krwi.

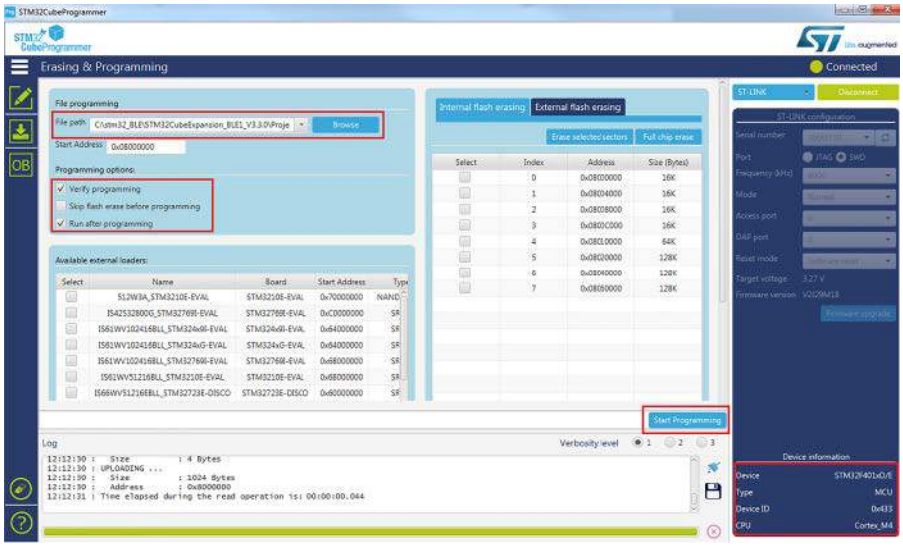
Test zaczynamy od zaprogramowania mikrokontrolera w module Nucleo F-401RE plikiem wynikowym *ProfPerip.GlucoseSensor_F401RE.bin* umieszczonym w katalogu Projects/Multi_Applications-Profiles_LowPower/Binary/STM32F401RE_Nucleo. Do programowania pamięci można użyć programu STM32CubeProgrammer. Po podłączeniu modułu do komputera przez złącze USB trzeba kliknąć na przycisk Connect w oknie ST_LINK. W oknie ST-LINK configuration zaznaczamy opcję SWD (**rysunek 7**). Po kliknięciu na Connect następuje połączenie z układem programatora/debuggera na płytce Nucleo i można przejść do programowania. Najpierw wybieramy plik binarny (lub w formacie *.hex*) i po jego otwarciu klikamy na Start Programming (**rysunek 8**).

Po zaprogramowaniu mikrokontrolera trzeba uruchomić aplikację STM32 BLE Profiles na smartfonie z aktywnym łączem Bluetooth. Aplikacja jest dostępna bezpłatnie w sklepie Google Play (dla systemu Android). Jeżeli Bluetooth nie jest aktywny, to aplikacja poprosi o jego włączenie. Po nawiązaniu łączności pomiędzy urządzeniem centralnym (smartfon), a urządzeniem peryferyjnym (płytka) aplikacja STM32 BLE Profiles zgłasza wykrycie profilu. Jak wspominałem w naszym przypadku będzie to pomiar poziomu glukozy (**fotografia 2**). Na ekranie jest wyświetlana:

Fotografia 2. Ekran smartfona z wykrytym profilem

- Nazwa układu peryferyjnego: GlucoseSensor,
- Poziom sygnału radiowego – 74 dB,
- Adres,
- Status połączenia – connected,
- Nazwa profilu = Glucose.

Można teraz rozłączyć połączenie dotykając ikony Disconnect i ponownie je nawiązać naciskając Connect. Po naciśnięciu na nazwę profilu (Glucose) aplikacja przechodzi do wyświetlania symulowanego pomiaru tak jak to zostało pokazane **fotografii 3**. Jak już wiemy dane o poziomie glukozy są zapisane w programie demonstracyjnym. Mamy tu wartość pomiaru (152 mol/L), datę i godzinę pomiaru, oraz miejsce pobrania próbki (z palca). W dolnej części ekranu są wyświetlane właściwości profilu.



Rysunek 8. Programowanie za pomocą STM32CubeProgrammer

eprasa.pl b4234fed20

Fotografia 3. Ekran z wyświetlanymi symulowanymi danymi pomiarowymi

Po wgraniu plików wynikowych ze skompilowanych projektów można przetestować działanie połączenia i symulacji przesyłania danych z kolejnych czujników. Na **fotografii 4** pokazano ekran z pomiarem tętna z czujnikiem umieszczonym na ręce. Zmiany tętna są pokazywane w formie graficznej na wykresie. Kolejnym przykładem jest pomiar ciśnienia pokazany na **fotografii tytułowej**.

W analogiczny sposób sprawdziłem wszystkie programy demonstracyjne z katalogu Projects/Multi_Applications-Profiles_LowPower/Binary/STM-32F401RE_Nucleo. Programów demonstracyjnych jest dużo więcej. Można testować miedzy innymi aplikacje z katalogu SampleAppThT. Potrzebne są dwa zestawy płytek BLE X-Nucleo-IDB05A1 połączonych z modułem Nucleo F-401RE. Jeden jest skonfigurowany jako central, a drugi jako Peripherial. Naciśnięcie przycisku User na jednym z modułów zapala i gasi diodę LED na drugim z modułów (i odwrotnie). Doświadczenia z przeprowadzonych testów pozwalają sądzić, że pozostałe też będą działać poprawnie.

Podsumowanie

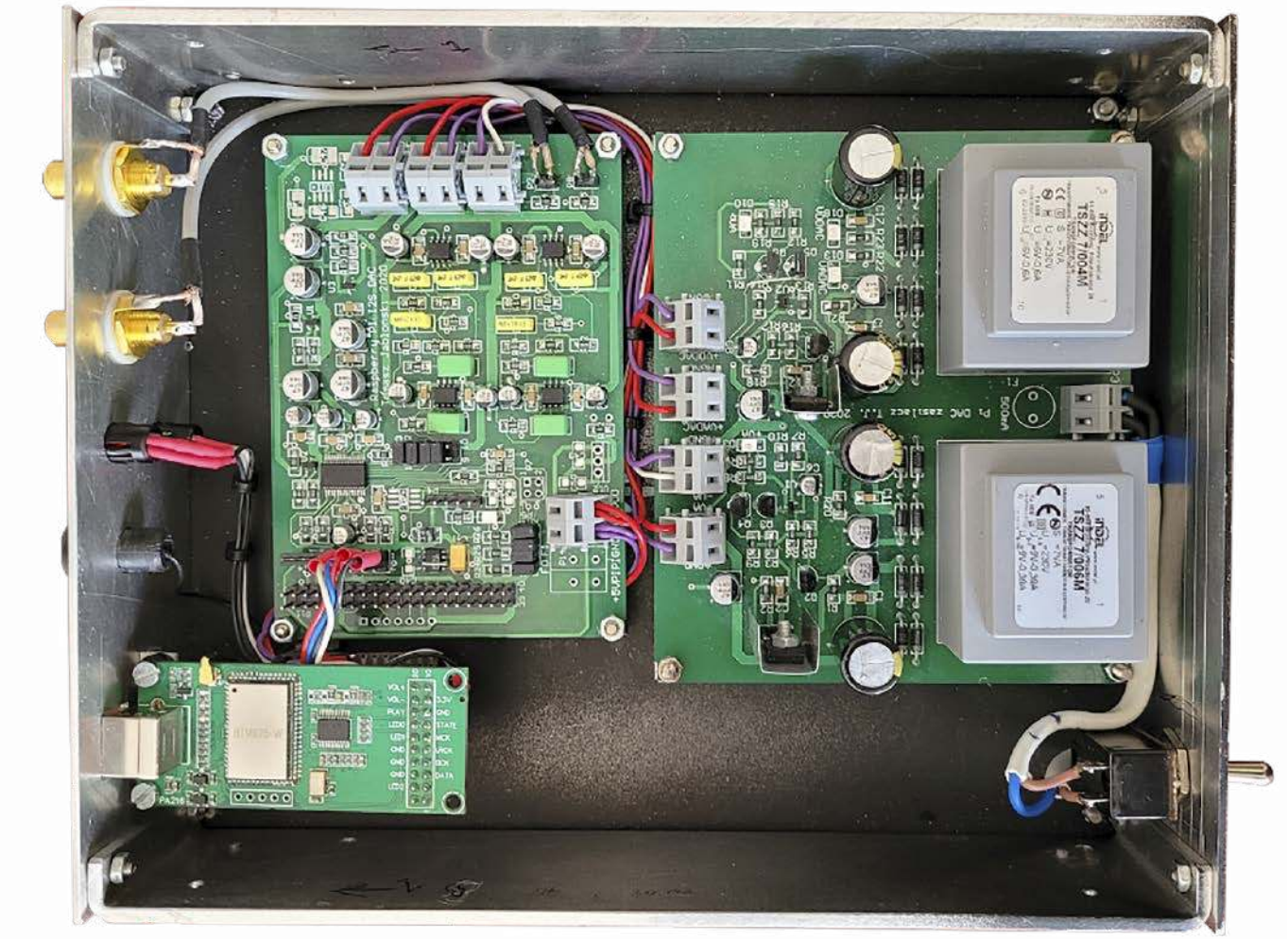
Przykładowe, działające programy z projektami zawierającymi kompletne pliki źródłowe mogą być doskonałą bazą do opracowywania własnych projektów. Dołączenie czujników mierzących rzeczywiste parametry pozwala na błyskawiczne tworzenie użytecznych aplikacji użytkownika przy minimalnym nakładzie pracy własnej.

Tomasz Jabłoński, EP

Fotografia 4. Symulacja pomiaru tętna

REKLAMA

eprasa.pl b4234fed20



Przetwornik DAC z interfejsem Bluetooth i USB

Łącza bezprzewodowe zwykle ograniczone są niezbyt imponującymi prędkościami transmisji. Przesyłanie w taki sposób strumieni audio wymaga dużej kompresji sygnału i w konsekwencji przesyłany dźwięk jest, delikatnie mówiąc, niezbyt dobrej jakości. Jednak te stereotypy, w zderzeniu z rzeczywistością, są coraz mniej aktualne. Postęp jest szczególnie zauważalny w przypadku łącza Bluetooth audio, gdzie zaawansowane metody kompresji i większe prędkości transmisji pozwalają uzyskać odtwarzanie dźwięku na naprawdę wysokim poziomie.

Od jakiegoś czasu po programowej likwidacji mojego ulubionego radia, słuchanego od wielu lat na falach UKF, teraz określanych jako FM, byłem zmuszony do „przeniesienia się" do Internetu. Zastosowanie do tego celu jakiegokolwiek komputera jest akceptowalne, ale z powodu braku mobilności niepraktyczne. Lepszym wyjściem może być użycie smartfona zwłaszcza, że daje możliwość przekierowania strumienia danych audio do interfejsu Bluetooth i przesłanie ich do urządzenia potrafiącego te dane odebrać i odtworzyć. To bardzo praktyczne rozwiązanie jest stosowane w popularnych przenośnych głośnikach Bluetooth przeznaczonych do odtwarzania muzyki ze smartfonów. Rozważałem zakup lub wykonanie takiego głośnika, ale aż taka mobilność nie była mi potrzebna i skupiłem się na rozwiązaniach, które gwarantowałyby uzyskanie najlepszej jakości dźwięku.

Odtwarzanie cyfrowych danych audio zawsze będzie wymagało konwersji cyfrowo analogowej stąd pomysł na zastosowanie sprawdzonego, dobrze brzmiącego przetwornika. Opisywany w „Elektronice Praktycznej" (EP10...12/2020) przetwornik analogowo cyfrowy z układem PCM1794A z założenia był przeznaczony do połączenia przez magistralę I²S z komputerkiem Raspberry Pi. Z powodu braku sygnału Master Clock MCLK uzupełniającego magistralę I²S w Raspberry

eprasa.pl b4234fed20

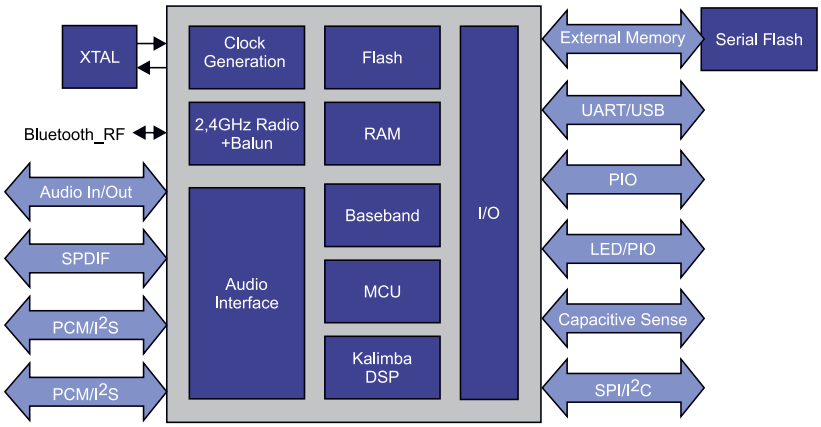
Fotografia 1. Moduł PA216

Pi został zastosowany układ PLL powielający sygnał zegarowy BCLK o częstotliwości 64 Fs. Ta konstrukcja pracuje od długiego czasu i spisuje się bez zarzutu. Dlatego drugi komplet płytek przetwornika postanowiłem zastosować w urządzeniu przeznaczonym do odtwarzania materiału dźwiękowego przesyłanego strumieniowo przez Bluetooth.

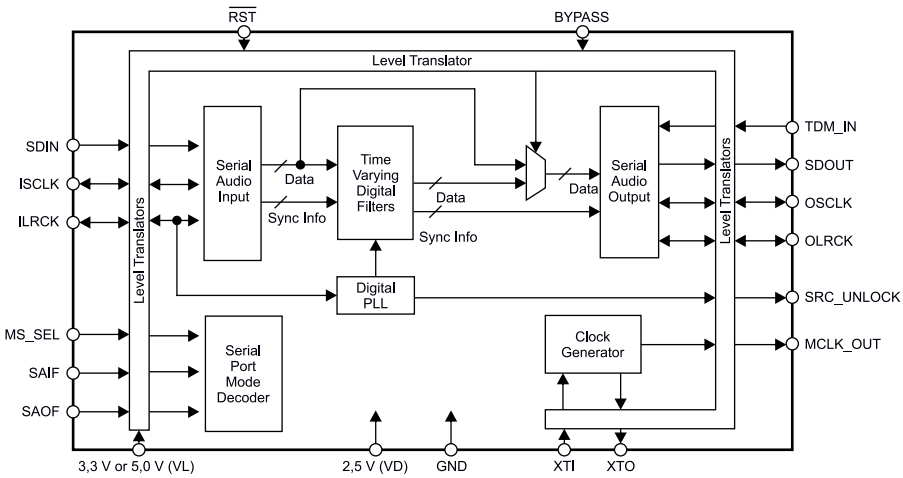
Moduł Bluetooth

Praktyczną realizację połączenia również w warunkach amatorskich bardzo ułatwiają gotowe moduły Bluetooth. Zawierają one najtrudniejsze do wykonania obwody wielkiej częstotliwości oraz mikrokontrolery obsługujące stos protokołów standardu Bluetooth. O ile moduły przeznaczone do przesyłania zwykłych danych są stosunkowo proste i tanie, to w przypadku modułów audio już tak nie jest. Moduły Bluetooth audio muszą dodatkowo zawierać zaawansowane procesory DSP z oprogramowaniem pozwalającym na obsługę kodeków. Od tego zależy jakiego kodeka czy kodeków będziemy mogli użyć.

W naszym urządzeniu został użyty moduł PA216 (**fotografia 1**) wykorzystujący specjalizowany układ Bluetooth CSR8675 firmy Qualcomm. Schemat blokowy układu został pokazany na **rysunku 1.** Odbiornik radiowy ma czułość –90 dBm, a nadajnik pracuje z mocą +10 dBm. Tor antenowy powinien być dopasowany do impedancji 50 Ω. Według specyfikacji producenta układu, oprogramowanie firmware Qualcomm wpiera wersję Bluetooth 4.2, ale producent modułu PA216 w swojej dokumentacji podaje, że własne oprogramowanie modułu obsługuje nowszą wersję – Bluetooth 5.0, zapewniającą dwukrotnie większą prędkość przesyłania danych.



Rysunek 1. Schemat blokowy układu CSR8675



Rysunek 2. Schemat blokowy konwertera CS8421

Jak już wspomniałem, moduły Bluetooth audio muszą być wyposażone w wydajny mikrokontroler z jednostką DSP. Tutaj zastosowano procesor o architekturze RISC taktowany częstotliwością 80 MHz z wbudowaną pamięcią programu FLASH o pojemności 16 Mb z możliwością dołączenia zewnętrznej pamięci FLASH z interfejsem SPI o pojemności do 64 Mb. Wbudowana pamięć RAM ma pojemność 54 kB. Jednostka DSP o nazwie Kalimba ma dwa bloki pamięci 64 k słów o długości 24 bitów i 12 k słów o długości 32 bitów przeznaczone dla kodu programu. Blok DSP jest taktowany częstotliwością 120 MHz, wykonuje sprzętowe mnożenie 24×24 bity i używa 54 bitowego akumulatora. Jak przystało na specjalizowany układ przeznaczony do cyfrowej obróbki sygnałów audio CSR8675 wyposażono w podwójny interfejs I²S i jeden interfejs S/PDIF. Umieszczony w strukturze układu 24-bitowy przetwornik DAC pracujący z częstotliwościami próbkowania do 192 kHz pozwala na realizację aplikacji z wyjściem analogowym sygnałów audio, bez konieczności stosowania zewnętrznych przetworników DAC. Może to znacznie obniżyć koszty produkcji gotowego urządzenia. Ponadto zintegrowany przetwornik analogowo-cyfrowy 24 bity/96 kHz oraz analogowe wejście mikrofonowe pozwalają na pracę z analogowym źródłem sygnału audio. Zaimplementowano też szereg standardowych układów peryferyjnych: SPI, UART, I²C, sterowniki/drivery diod LED, wejścia interfejsu dotykowego oraz interfejs USB 2.0.

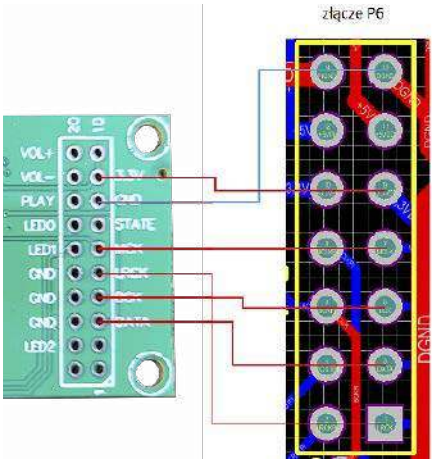
Układ jest przystosowany do zasilania bateryjnego. Wbudowano w jego strukturę układ ładowania baterii Li-Ion o wydajności 200 mA i dwa impulsowe stabilizatory o napięciu wyjściowym 1,8 V i 1,35 V przystosowane do pracy z baterii.

Moduł PA216 jest dostarczany z gotowym firmware realizującym:

- standard Bluetooth 5.0,
- kodeki SBC, AAC, aptX, aptX-II, aptX-HD,
- kodek LDAC obsługujący strumienie danych do 24-bity/96 kHz,
- interfejs USB obsługujący strumienie danych do 16-bit/48 kHz,
- przesyłanie danych audio przez interfejs audio I²S master.

Wbudowany w układ procesor DSP daje możliwość kształtowania pasma akustycznego przez implementację funkcji cyfrowego equalizera. Spotkałem w Internecie niezbyt pochlebne opinie różnych wersji oprogramowania dla układów CSR8675 lub podobnych, z modyfikacjami polegającymi na wyraźnym podbijaniu krańców pasma. W tym przypadku wydaje się, że jeżeli takie modyfikacje

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 3. Połączenie PA216 z płytką przetwornika DAC

są w ogóle wykonywane to są delikatne, ale pewności nie ma. Z punktu widzenia entuzjastów dobrego brzmienia sygnał audio powinien być przesyłany bez żadnej ingerencji w pasmo przenoszenia, a jeżeli taka ingerencja jest stosowana, to musi być możliwość jej wyłączenia. Tu niestety nie mamy takiej możliwości.

Podobnie jak w przypadku Raspberry Pi port I²S w CSR8675 nie jest uzupełniany o sygnał zegara MCLK. Układ przetwornika radzi sobie z tym problemem przez powielanie częstotliwości zegara BCK przez dodatkowy układ PLL. Z problem braku MCLK w specyfikacji I²S zderzyli się również projektanci modułu PA216. Zastosowali inne rozwiązanie w postaci konwertera częstotliwości próbkowania CS8421 z portem wyjściowym I²S Master taktowanym zewnętrznym oscylatorem kwarcowym. Schemat blokowy został pokazany na **rysunku 2**. Układ ma następujące właściwości:

- Może pracować z danymi audio o długości próbki 16, 20, 24 i 32 bitów;
- Częstotliwości próbkowania zaczynają się od 8 kHz, a kończą na 192 kHz;
- Zakres dynamiki wynosi 175 dB;
- Zniekształcenia harmoniczne THD+N mają poziom –140 dB;
- Układ jest konfigurowany przez wymuszanie stanów na wejściach konfiguracyjnych. Nie potrzebuje do pracy mikrokontrolera i oprogramowania firmware;
- Dane wejściowe są przesyłane przez 3 liniowy interfejs szeregowy. W naszym przypadku dane są przesyłane w formacie I²S;
- Dane wejściowe i wyjściowe są całkowicie asynchroniczne. Port wyjściowy jest taktowany zewnętrznym oscylatorem kwarcowym.

Jak już wiemy port wyjściowy audio jest skonfigurowany jako I²S Master i wymaga zewnętrznego sygnału zegarowego MCLK (*Master Clock*). Od jego jakości zależą parametry generowanych sygnałów zegarowych. Osoby, które uważają, że oscylator montowany przez producenta nie spełnia ich oczekiwań mogą sobie go wymienić na taki jaki uważają za stosowny. Nadpróbkowany sygnał przynajmniej w teorii powinien mieć lepszą dynamikę (mniejsze szumy). Wydaje się, że w tym przypadku ma to niewielkie albo żadne znaczenie. Układ CS8421 spełnia tu rolę generatora MCLK i jest tu wykorzystywana głównie funkcja portu I²S Master.

Moduł można zasilić z napięcia +3,3 V zasilającego część cyfrową przetwornika tak, jak to pokazano na **rysunku 3** (dokładne zestawienie połączeń pokazuje **tabela 1**). Ja w modelu zastosowałem dodatkowy stabilizator +3,3 V z układem 1117-3.3 zmontowany na kawałku druku uniwersalnego. Napięciem wejściowym jest VDDAC (ok. +8 V) podłączane na złącze zasilania P13 na płytce przetwornika. W przetworniku do podłączenia sygnałów I²S zostało wykorzystane złącze P6.

W przetworniku nie jest potrzebny układ PLL – U7 typu ICS570B i nie musi być wlutowany. Konfiguracja przetwornika za pomocą zworek P3 i P5 jest identyczna jak w przypadku wersji dla Raspberry Pi. Prawidłowo zmontowany przetwornik nie wymaga żadnych dodatkowych czynności uruchomieniowych. Połączenie telefonu z modułem PA216 jest szybkie i pewne. Nie zauważyłem problemów ze zrywaniem transmisji, oczywiście w ramach poprawnego zasięgu Bluetooth 5.0.

Kodeki

Jakość przesyłanego dźwięku w standardzie Bluetooh zależy od możliwości specjalnego oprogramowania nazywanego kodekiem (połączenie słów kodowanie i dekodowanie). Żeby dwa urządzenia połączone przez Bluetooth mogły wykorzystywać zalety konkretnego kodeka musi go wspierać zarówno nadajnik sygnału (na przykład smartfon) jak i odbiornik sygnału (słuchawki, głośniki Bluetooth). Zdarza się, że ktoś kupuje słuchawki bezprzewodowe w założeniu wysokiej jakości wspierające nowy wydajny kodek, ale źródło sygnału na przykład stary smartfon, tego kodeka nie wspiera. System Bluetooth jest tak zorganizowany, że w takim przypadku przesyłanie dźwięku będzie działało, ale jakość sygnału nie będzie zgodna z oczekiwaniami. Trzeba mieć świadomość, że wszystkie obecnie stosowane kodeki są stratne i powodują większą lub mniejszą degradację sygnału audio. Nowe standardy są coraz bardziej doskonałe i oferują odtwarzanie na wysokim poziomie, ale dla bezkompromisowego audiofila może to być bariera nie do pokonania. Serwisy streamingowe, takie jak Tidal, oferują bezstratny transfer danych o jakości płyty CD (16 bitów 44,1 kHz). Przez Bluetooth, na razie takiego strumienia nie prześlemy, chociaż najnowsze rozwiązania są bliskie tego osiągnięcia. Obecnie jest stosowanych kilka kodeków. Historycznie pierwszym jest SBC.

Tabela 1. Połączenie modułu PA216 z płytką przetwornika DAC

Sygnał/ zasilanie	Moduł PA216 Bluetooth	Złącze P6 modułu przetwornika
GND	8	13
+3,3 V	9, 10	9
MCLK	6	7
LRCK	5	1
BCK	4	5
DATA	3	3

Kodek SBC

Kodek SBC (*Subband Coding*) to domyślny kodek, który musi być zaimplementowany w każdej realizacji połączenia Bluetooth Audio. To właśnie domyślna implementacja SBC powoduje, że zawsze jest możliwe przesyłanie danych audio nawet wtedy, kiedy inne kodeki nie są ze sobą kompatybilne. Przy projektowaniu SBC położono szczególny nacisk na silną kompresję danych, niskie użycie energii i minimalne opóźnienie. Jakość sygnału audio nie była tu priorytetem i to niestety można usłyszeć szczególnie w porównaniu z nowszymi rozwiązaniami. Jest to dość stary kodek i był dostosowany do technicznych możliwości dostępnych ok. 2000 roku. Przesyłany sygnał audio ma 16 bitów przy próbkowaniu 48 kHz. Maksymalna przepływność wynosi 328 kbps co odpowiada przepływności 320 kbps sygnału MP3.

Kodek aptX

To chyba najbardziej znany i popularny kodek używany w transmisji danych audio przez Bluetooth. Został opracowany przez Qualcomma. W podstawowej wersji parametry sygnału audio i przepustowość są porównywalne z kodekiem SBC, ale kompresja danych jest lepsza. Według zapewnień miał to być kodek, który miał zapewnić przesłanie dźwięku o jakości CD. Oczywiście przy maksymalnej przepływności 384 kbps nie ma mowy o przesyłaniu surowych plików. Gdyby przesyłać pliki kompresowane bezstratnie w formacie FLAC to pewnie prawie by się udało, ale aptX wprowadza kompresję sygnału, więc i tak go modyfikuje.

Qualcomm pracuje nad swoim kodekami i wydaje nowe bardziej zaawansowane wersje. Jedną z najbardziej interesujących jest aptX HD potrafiący przesyłać pliki o rozdzielczości do 24 bitów z próbkowaniem 48 kHz w trybie LPCM. Przepływność została zwiększona do 576 kbps. To są już

eprasa.pl b4234fed20

wyraźnie lepsze parametry od aptX i SBC. Tak przesyłane dane mogą reprezentować sygnał o naprawdę wysokiej jakości.

Kodek LDAC

Jeszcze więcej osiągnęła firma Sony opracowując kodek LDAC. Nie jest tak popularny jak aptX, ale ma bardzo interesujące parametry: obsługuje pliki 24 bity/96 kHz i zapewnia maksymalną przepływność 990 kbps. W praktyce LDAC pracuje w trzech trybach: 330 kbps, 660 kbps i 990 kbps. Najniższa przepływność LDAC jest domyślnie włączana w telefonach z systemem Android. Włączenie wyższych prędkości wymaga ręcznej interwencji użytkownika. Ale nawet 330 kbps zapewnia wyższą jakość LDAC w porównaniu z SBC i aptX. Skonfigurowanie LDAC z najwyższą przepływnością pozwala mieć nadzieję na przesyłanie materiału audio o naprawdę wysokiej jakości na przykład korzystając z najwyższego planu serwisu TIDAL.

Kodek AAC

AAC (*Advanced Audio Coding*) jest kodekiem firmy Apple i korzystają z niego smartfony iPhone, ale też iPady i MacBooki. Brak wsparcia dla AAC spowoduje powoduje, że połączenie z iPhone nie będzie możliwe. AAC jest implementowany w systemach Android o wersji 8+. Dane w formacie do 16 bitów/96 kHz są przesyłane z maksymalną przepływnością 320 kbit/s.

To oczywiście nie wszystkie rozwiązania. Procesory montowane we flagowych smartfonach mają coraz większe wydajności pozwalające implementować rozwiązania do tej pory nie dostępne dla mobilnych urządzeń. Prace idą w kilku kierunkach, nie tylko zwiększania jakości przez większe prędkości transferu i coraz lepsze kodowanie stratne. Stosuje się też adaptacyjne dostosowanie przepływności do parametrów sygnału. Pracuje się też nad minimalizacją opóźnień istotną w odtwarzaniu filmów, ale szczególnie w grach komputerowych.

Jedną z najbardziej znanych platform oferujących muzykę jest platforma steramingowa Spotify. Oferuje olbrzymią bibliotekę muzyczną, ale z założenia nie jest przeznaczona do przesyłania plików najwyższej jakości. W płatnej wersji Premium oferuje kompresowany sygnał 16 bitów/44,1 kHz przesyłany z przepływnością ok 320 kbps. Dla tak zwanego zwykłego użytkownika to jest jakość zupełnie wystarczająca. W przypadku radiowych stacji internetowych często jest gorzej. Wykorzystują one transmisję kompresowaną MP3 lub AAC o przepływności 128 kbps lub 256 kbps. Z tego co sobie powiedzieliśmy użycie różnych kodeków może powodować lepszą lub gorszą jakość dźwięku. Dla stacji radiowych i serwisów streamingowych teoretycznie najlepsza będzie LDAC 330 kbps, potem aptX lub AAC i na końcu SBC. Dobrze byłoby mieć możliwość obsługi tych kodeków i wybrać sobie najbardziej odpowiedni. Nie bez znaczenia jest również jakość konwersji cyfrowo-analogowej.

Podsumowanie

Zawsze można sobie zadać pytanie, czy w systemach dźwięku wykorzystujących kompresję stratną warto stosować przetworniki wyższej klasy. Według mnie warto. Bezprzewodowa transmisja strumieni audio jest intensywnie rozwijana i są już plany producentów, które przewidują, że nie da się odróżnić sygnału przesyłanego przez Bluetooth PCM od tego z płyty Compact Disc. Nawet teraz bardzo popularny Spotify w wersji Premium oferuje jakość zupełnie dobrą. Jeżeli się pogodzimy z niewielką utratą jakości, to zyskujemy dostęp do prawie nieograniczonego zasobu muzyki polskiej i światowej. Tidal oferuje steraming w planie Hi-Fi w dużo wyższej przepływności i jeżeli mamy telefon z odpowiednimi kodekami to można uzyskać bardzo dobrą jakość, mimo że najprawdopodobniej nadal przez Bluetooth sygnał będzie kompresowany.

Nie zapominajmy, że moduł PA216 ma wejście USB, przez które dane są przesyłane w formie nieskompresowanej. Skąpa dokumentacja modułu tego nie potwierdza, ale układ wspiera tylko dane 16 bitów/48 kHz i technicznie chyba nie ma problemu, żeby to przesłać bez ingerencji programowej. Wejście USB również sprawdziłem i działa poprawnie. Jest aktywne tylko wtedy, kiedy nie ma połączenia z telefonem przez Bluetooth. W przeciwnym przypadku USB jest wyłączane i dane są odbierane przez Bluetooth. To proste i bardzo dobrze działające rozwiązanie.

Rysunek 4. Łączenie modułu Bluetooth z telefonem

Pierwsze testy modułu zacząłem od podłączenia zewnętrznej anteny zasilenia go napięciem +3,3 V. Celowo wybrałem wersję z gniazdem anteny zewnętrznej zamiast anteny zintegrowanej na PCB, bo w założeniu urządzenie miało być umieszczone w metalowej obudowie. Działający układ jest wykrywany w liście urządzeń Bluetooth jako CSR8675-LDAC (**rysunek 4**).

Po połączeniu z modułem pojawia się informacja „połączono do obsługi dźwięku". W tym momencie możemy przesyłać przez Bluetooth strumień danych audio z telefonu. Po uruchomieniu aplikacji streamingowych Spotify, Netfix, Youtube itp. na wyjściach interfejsu I²S pojawiają się sygnały zegarowe i danych. W tym momencie możemy połączyć PA216 z przetwornikiem DAC.

Tomasz Jabłoński, EP

KLUB APLIKANTÓW PRÓBEK
KAP
www.ep.com.pl/KAP
Klub Aplikantów Próbek
https://ep.com.pl/nowosci/kap

eprasa.pl b4234fed20

Rozpoznawanie gestów z Arduino

Gesty, dla nas ludzi, są czymś naturalnym – są istotnym elementem komunikacji niewerbalnej. Zwierzęta również rozumieją wiele naszych prostych gestów. Dlaczego więc urządzenia elektroniczne nie mogłyby ich rozpoznawać? W artykule przyjrzymy się kilku implementacjom systemów rozpoznających gesty. Różne projekty zupełnie inaczej podchodzą do tego samego problemu – rozpoznawania gestów czynionych dłonią i sterowania przykładowym systemem. Wszystkie implementacje zawierają moduły Arduino i ogólnodostępne sensory, więc bez większego problemu można stosować te rozwiązania we własnych pomysłach.

Fotografia 1. System rozpoznawania dźwięków za pomocą sensorów ultradźwiękowych, zamontowany w laptopie

Po co w ogóle rozpoznawać gesty? Tego rodzaju interfejsy mają szereg ciekawych zastosowań. Część z nich jest dosyć niszowa, ale część może niebawem na dobre zagościć w naszym najbliższym otoczeniu. Takie systemy znajdują zastosowanie w interfejsach człowiek-maszyna, gdzie pomagają w wygodnym sterowaniu komputerem. Przykładowe aplikacje to:

- systemy wsparcia dla osób niedosłyszących i niesłyszących,
- interfejsy komputerowe dla małych dzieci,
- systemy kryminalistyczne i policyjne,
- rozpoznawanie języka migowego,
- monitorowanie emocji i stresu pacjentów,
- wykrywacze kłamstw,
- systemy do nawigacji w środowiskach wirtualnych,
- komunikacja i sterowanie systemami do wideokonferencji,
- wsparcie w zdalnej nauce (telenauczaniu),
- monitorowanie czujności/senności kierowców.

W zaprezentowanych projektach, wykrywanie gestów jest stosowane do:

- kontrolowania aplikacji na komputerze (zatrzymywanie i uruchamianie filmów wideo, przełączanie zakładek w przeglądarce itd.),
- sterowanie innymi funkcjonalnościami modułu Arduino,
- sterowanie głośnością,
- wspomagania osób niepełnosprawnych,
- sterowanie zabawką.

Rozpoznawanie gestów

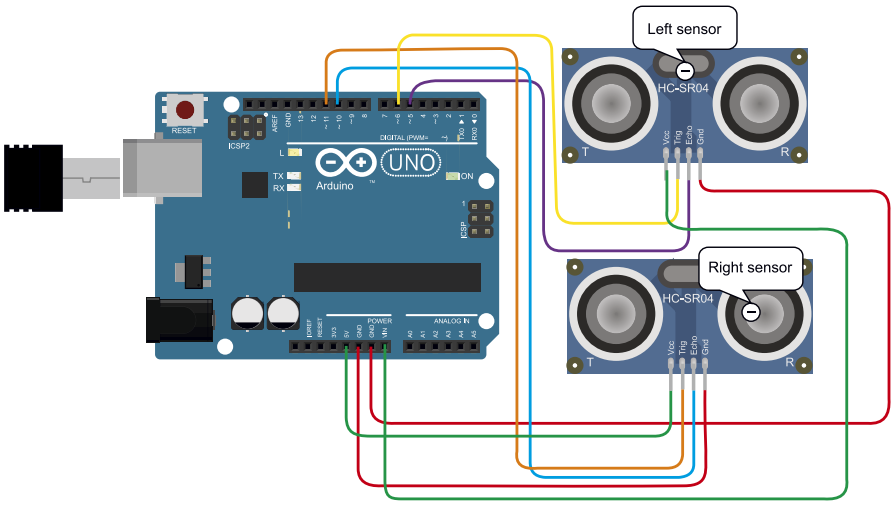
Wszystkie systemy rozpoznawania gestów na podstawowym poziomie działają w ten sam sposób. Pierwszym etapem jest sensor, który zbiera informacje na temat przestrzeni, gdzie pokazywany ma być gest. Dane na temat otoczenia mogą być zbierane sensorami różnego rodzaju, takimi jak kamery wideo czy inne sensory optyczne, kamerami głębi (sensory ToF, mierzące odległość – obraz 3D), sensorami PIR, ultradźwiękowymi itd.

Sensory generują strumień danych (liczb), które opisują obserwowany obszar. Aby możliwe było wychwycenie z nich wartości odpowiadających gestom konieczne jest zastosowanie odpowiednich algorytmów, zwanych klasyfikatorami. Zgodnie z ich nazwą klasyfikują one dane do jakiejś, skończonej liczby klas. W tym przypadku klasy są tożsame z gestami. Klasyfikatory mogą przyjmować różną formę. Od najprostszego algorytmu zapisanego w jawnej formie przez człowieka (np. w postaci jednej lub zestawu funkcji warunkowych), poprzez bardziej złożone algorytmy np. klasyfikacji Bayesowskiej, skończywszy na szerokim spektrum algorytmów kojarzonych ze sztuczną inteligencją – sieci neuronowych itp. Kwestie algorytmiczne wykraczają poza ramy tego artykułu, więc nie będziemy się w nie zagłębiać, tym bardziej, że zaprezentowane poniżej projekty korzystają często z predefiniowanych, gotowych bibliotek do klasyfikacji danych.

Ultradźwiękowe rozpoznawanie gestów

Blok czujników odgrywa kluczową rolę w każdej dziedzinie technologii. Wiele z nich stosowanych jest w interfejsach człowiek-maszyna. Jak napisaliśmy powyżej, tego rodzaju interfejs składa się ze sprzętu i oprogramowania, które pomagają w wymianie danych lub informacji między użytkownikiem (człowiekiem) a maszyną. Urządzenia interfejsu człowiek-maszyna są oparte na rozmaitych czujnikach. W tym przypadku są to ultradźwiękowe sensory odległości, które zastępują klasycznie używane elementy interfejsów, takie jak przełączniki, wskaźniki LED, ekrany dotykowe itp. Autor tej konstrukcji zaimplementował prostą kontrolę gestów rąk z użyciem Arduino i sensorów ultradźwiękowych. Zamiast używać myszki, klawiatury czy joysticka, można dzięki niemu używać gestów dłoni do sterowania niektórymi funkcjami naszych komputerów. Projekt ten używa Pythona do analizy danych. Za jego pomocą można sterować kilkoma funkcjami laptopa lub komputera, takimi jak:

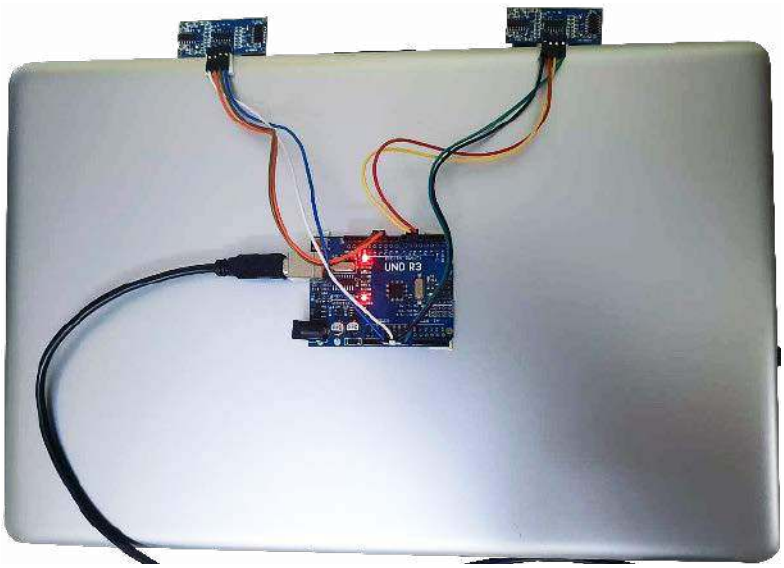
eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 1. Schemat systemu rozpoznawania dźwięków za pomocą sensorów ultradźwiękowych

Listing 1. Drzewo decyzyjne programu do analizy gestów z pomocą sensorów ultradźwiękowych

```
void loop() {
  find_distance();
  if (distance2 <= 35 && distance2 >= 15) {
    temp = millis();
    while (millis() <= (temp + 300))
      find_distance();
    if (distance2 <= 35 && distance2 >= 15) {
      temp = distance2;
      while (distance2 <= 50 || distance2 == 0) {
        find_distance();
        if ((temp + 6) < distance2) {
          Serial.println("Vup");
        }
        else if ((temp - 6) > distance2) {
          Serial.println("Mute"); # komenda Mute do komputera
            break;
        }
      }
    }
    else {
      Serial.println("VDown");
    }
  }
  else if (distance1 <= 35 && distance1 >= 15) {
    temp = millis();
    while (millis() <= (temp + 300)) {
      find_distance();
      if (distance2 <= 35 && distance2 >= 15) {
        Serial.println("change");
        l = 1;
        break;
      }
    }
    if (l == 0) {
      Serial.println("Play/Pause"); # komenda Play/Pause
      while (distance1 <= 35 && distance1 >= 15)
        find_distance();
    }
    l = 0;
  }
}
```



Fotografia 2. Rękawiczka z zamontowanym Arduino i stykami do rozpoznawania gestów

- odtwarzanie i wstrzymywanie wideo,
- przełączanie między kartami przeglądarki,
- zwiększanie i zmniejszanie głośności dźwięku w systemie,
- wyciszanie dźwięku w wideo.

Zasada działania tego systemu jest prosta. Zawiera on dwa czujniki ultradźwiękowe, które, gdy machamy lub przesuwamy ręce przed czujnikami, obliczają odległość między dłonią a czujnikiem (**fotografia 1**). Obliczona w ten sposób odległość jest analizowana przez Arduino, a jej wyniki są przesyłane do komputera PC, gdzie mogą być wykorzystane przez program napisany w Pythonie. Oprogramowanie to, za pomocą specjalnej biblioteki o nazwie PyAutoGui konwertuje otrzymane komendy na akcje kliknięcia klawiatury itp. Korzystając z tych informacji, komputer wykonuje odpowiednie zadania.

Na **rysunku 1** został pokazany schemat układu. Oprócz wejść zasilania, każdy sensor ultradźwiękowy, ma dwa piny – trigger (wyzwalanie) oraz echo (sygnał odebrany). Zliczając czas pomiędzy wyzwoleniem impulsu, a echem otrzymujemy podwojoną odległość pomiędzy sensorem a dłonią. W oprogramowaniu na Arduino odpowiedzialnie działania realizuje funkcja *find_distance()*, która uzyskuje gotowe odległości i zapisuje je do zmiennych globalnych *distance1* oraz *distance2*. Część decyzyjna systemu jest bardzo prosta. Fragment skryptu rozpoznający predefiniowane gesty zaprezentowano na **listingu 1**.

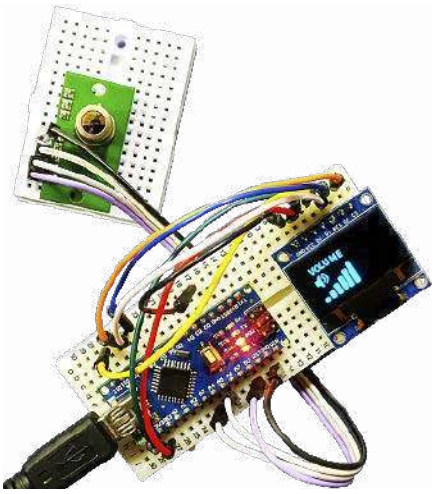
Po stronie komputera skrypt napisany w Pythonie, korzystając z biblioteki PySerial, odbiera komunikaty przesyłane przez Arduino. Następnie, korzystając z biblioteki PyAutoGui, są one konwertowane do komunikatów z emulowanej klawiatury. Pozwala to na sterowanie dowolnym oprogramowaniem na komputerze PC bez potrzeby komunikowania się z jego API czy wykonywania innych operacji – skrypt po prostu udaje klawiaturę.

Przewodzące pola w rękawiczce do rozpoznawania gestów

Kolejny projekt zawiera rękawiczkę z przewodzącymi polami, która została użyta do rozpoznawania prostych, predefiniowanych gestów, polegających na stykaniu ze sobą poszczególnych palców. Rękawiczka wyposażona jest w styki na każdym z palców, a moduł Arduino próbkuje poszczególne kombinacje i rozpoznaje, które dwa palce zostały ze sobą zetknięte. Na **fotografii 2** pokazano rękawiczkę, będącą przedmiotem tego projektu.

Po wykryciu jednego z ustalonych gestów, moduł Arduino wysyła do odbiornika komunikat poprzez interfejs podczerwony. Dzięki temu odbiornik, sterujący przekaźnikiem, do którego podłączona jest żarówka,

eprasa.pl b4234fed20



Fotografia 3. Układ, jaki zbudowano do rozpoznawania gestów z zastosowaniem sensora na podczerwień

może ją zapalać w pełni w oparciu o wykonywane dłonią gesty. Algorytm rozpoznawania gestów jest w tym wypadku również bardzo prosty i oparty na instrukcjach warunkowych. Nie zmienia to faktu, że pozwala na zbudowanie bardzo funkcjonalnego systemu i (z odrobiną zdolności programistycznych) rozpoznawanie szerokiej palety gestów.

Sensory PIR do rozpoznawania gestów

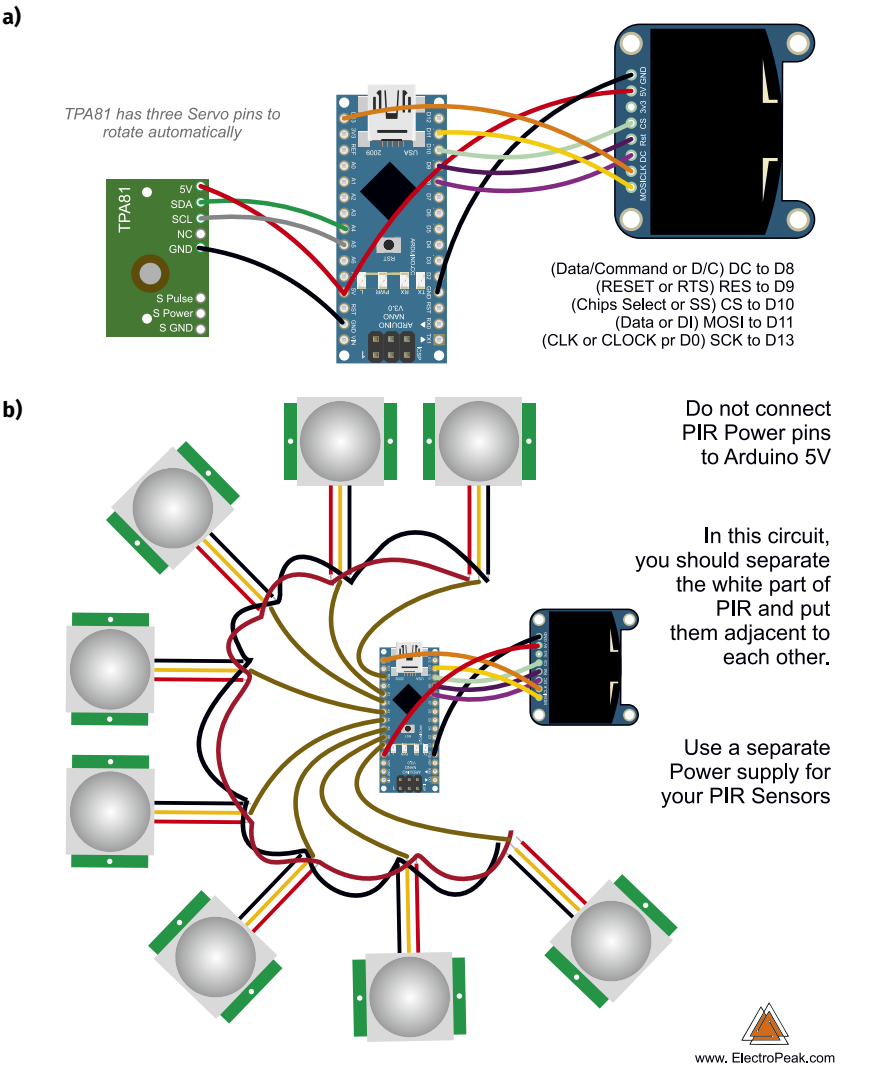
Pasywny czujnik podczerwieni (czujnik PIR) to czujnik elektroniczny, który mierzy światło podczerwone (IR) promieniujące z obiektów znajdujących się w jego polu widzenia. Najczęściej stosowane są w czujkach ruchu. Wszystkie obiekty o temperaturze powyżej zera bezwzględnego emitują energię cieplną w postaci promieniowania. Zazwyczaj promieniowanie to nie jest widoczne dla ludzkiego oka, ponieważ dla temperatur, jakie nas na ogół otaczają, przypada w zakresie fal podczerwonych, ale może ono być wykryte przez urządzenia elektroniczne zaprojektowane specjalnie do tego celu. Termin pasywny w tym przypadku odnosi się do faktu, że urządzenia PIR nie generują promieniowania do celów wykrywania ruchu. Działają całkowicie poprzez wykrywanie promieniowania podczerwonego emitowanego przez lub odbitego od poruszających się obiektów. Nie wykrywają ani nie mierzą też ciepła.

Sensor TPA81 to macierz termoelektryczna wykrywająca podczerwień w zakresie spektralnym od 2 μm do 22 μm. Jest to długość fali promieniowania cieplnego. Czujniki piroelektryczne, które są powszechnie używane w alarmach przeciwwłamaniowych i do włączania światła zewnętrznego, wykrywają podczerwień w tym samym paśmie. Czujniki te mogą jednak wykryć tylko zmiany poziomu ciepła – dlatego są one jedynie czujnikami ruchu. Chociaż są przydatne w robotyce, ich zastosowania są ograniczone, ponieważ nie są w stanie wykryć i zmierzyć temperatury statycznego źródła ciepła. Innym rodzajem czujnika jest tzw. macierz termoelektryczna. Są one stosowane w bezdotykowych termometrach na podczerwień. Mają bardzo szeroki kąt widzenia (FOV) równy około 100° i wymagają osłony lub soczewki (zazwyczaj tego i tego), aby uzyskać bardziej użyteczny FOV na poziomie 12°, co pozwala dosyć dobrze ukierunkować sensor. Co więcej niektóre mają nawet wbudowany obiektyw.

Niedawno pojawiły się czujniki z szeregiem termostosów, wbudowaną elektroniką i soczewką krzemową. Przykładem takiego elementu jest właśnie wspominany sensor TPA81. Ma on macierz ośmiu termostosów ułożonych w rzędzie. TPA81 może jednocześnie mierzyć temperaturę 8 sąsiednich punktów. Może również sterować serwomechanizmem do obracania modułu i tworzenia obrazu termicznego. Sensor TPA81 może wykryć płomień świecy, znajdującej się w zasięgu do 2 metrów i nie ma na niego wpływu światło otoczenia. Na **fotografii 3** pokazano układ, jaki zbudowano do rozpoznawania gestów z zastosowaniem sensora na podczerwień.

Czujniki PIR są podobne do kamer termowizyjnych. W dużym uproszczeniu mówiąc, TPA81 to kamera termowizyjna o rozdzielczości 8 pikseli. Ciało ludzkie zawsze emituje ciepło, które widoczne jest dla tej kamery. Jeśli czujnik PIR jest dołączony do mikrokontrolera, może on umożliwić obserwację otoczenia w podczerwieni, a co za tym idzie na wykrywanie gestów. W tym projekcie utworzono system do wykrywania gestów z zastosowaniem matrycowego sensora PIR i modułu Arduino. Autor konstrukcji użył wspomniany sensor TPA81, ale jeśli układ ten jest dla Was zbyt drogi nic nie stoi na przeszkodzie, aby zamiast niego zamontować osiem dyskretnych sensorów PIR. Na **rysunku 2** pokazano schematy budowy obu układów.

Układ TPA81 komunikuje się poprzez interfejs I²C i jest kompatybilny z Arduino Nano. Opisany projekt pozwala poznać podstawy przetwarzania obrazu i wykrywania gestów z użyciem tej prostej platformy. W pierwszej kolejności należy zainstalować bibliotekę do komunikacji z TPA81. Pozwala ona odczytywać dane z sensora za pomocą modułu Arduino poprzez obiekt nazwany



Rysunek 2. Schematy układu rozpoznawania gestów z zastosowaniem a) scalonej macierzy termostosów, oraz b) dyskretnych sensorów PIR

eprasa.pl b4234fed20

Listing 2. Algorytm analizy danych z sensorów PIR, do wykrywania gestów, które służą do regulacji głośności

```
Serial.println("start gesture");
gcount = 0;
while (sum < 8) {
  sum = 0;
  for (int i = 0; i <= 7; i++) {
    if (tpa.getPoint(i) > 29) {
      Serial.print("# ");
      gesture[i][gcount] = 1;
    }
    else {
      Serial.print(". ");
      gesture[i][gcount] = 0;
    }
  }
  for (int y = 0; y <= 7; y++) {
    sum += gesture[y][gcount]; // suma 8 pikseli
    delay(5);
  }
  Serial.println(" ");
  delay(50); // prędkość odczytu
  gcount++;  // długość gestu
}
Serial.print("suma : ");
Serial.println(sum);
Serial.print("długość gestu : ");
Serial.println(gcount);
delay(5);
for (int c = 0; c <= 7; c++) {
  for (int z = 0; z <= gcount; z++) {
    tgesture[c] += gesture[c][z];
    delay(5);
  }
  Serial.println("processing");
}
tgesture[0] += tgesture[1];
tgesture[2] += tgesture[3];
tgesture[4] += tgesture[5];
tgesture[6] += tgesture[7];
tgesture[0] += tgesture[2];
tgesture[4] += tgesture[6];
if (tgesture[0] < tgesture[4]) {
  vol += (gcount / 2);
  Serial.print("volume up");
}
if (tgesture[4] < tgesture[0]) {
  vol -= (gcount / 2);
  Serial.print("volume down");
}
sflag = 0;
```

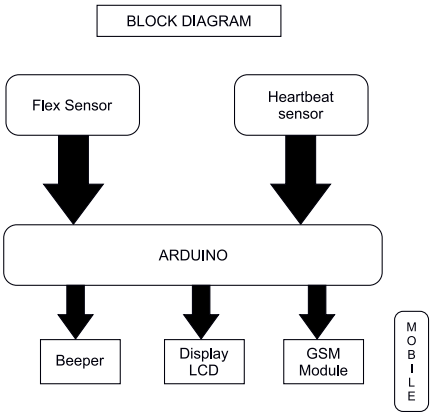
w **listingu 2** *tpa*. Metoda *tpa.getPoint(i)* pozwala na odczytanie i-tego punktu. Dalsza część algorytmu widoczna jest na listingu. Utworzony algorytm jest już bardziej złożony, niż opisywane wcześniej podejścia. Mimo wszystko zawiera relatywnie prostą analizę numeryczną, do uzyskania klasyfikacji gestów. Po wykryciu konkretnego gestu, system wysyła komunikat do dalszych systemów, którymi ma sterować – w tym przypadku o konieczności zwiększenia bądź zmniejszenia głośności.

Rękawiczka z elastycznymi sensorami

Rękawiczka HANDTALK została zaprojektowana dla osób potrzebujących, chorych i starszych, jako metoda prostej komunikacji awaryjnej. W zależności od ruchów dłoni, urządzenie to zamienia gesty na sygnał dźwiękowy oraz na tekst, które transmitowane są przez GSM np. do opiekuna, personelu szpitalnego itp. HANDTALK wyczuwa ruchy za pomocą czujników zgięcia, które wykrywają różne wzorce ruchu dłoni. Urządzenie to potrafi dokładnie wyczuć każdy ruch ręką. Obecnie w systemie prototypowym zamontowano jedynie kilka sensorów, więc liczba stopni swobody i rozpoznawanych gestów jest ograniczona. W przyszłości, jak zapowiada autor, liczba sensorów może zostać rozszerzona. Prototyp konstrukcji pokazano na **fotografii 4**.

Schemat blokowy całego systemu został pokazany na **rysunku 3**. Analogowe czujniki Flex podłączone są do wejść A0... A3 modułu Arduino, jak pokazano na **rysunku 4**. Do Arduino podłączono także moduł GSM do komunikacji, ekran LCD, buzzer itp. Wszystkie gesty wykonywane w rękawiczce są konwertowane na różne komunikaty i komendy do obsługi urządzeń. Przykładowo, jeśli chcemy uruchomić wentylator to komenda jest wysyłana do odbiornika przez mikrokontroler z pomoc modułu radiowego. W przypadku, gdy użytkownik potrzebuję wody (lub wózka inwalidzkiego lub czegokolwiek innego), wystarczy, że wykona odpowiedni gest, a zostanie on zamieniony na np. SMS i przesłany drugiej osobie przez moduł GSM. Rękawiczka, jako dodatkowa funkcja, mierzy także tętno, aby monitorować stan osoby i móc zawiadomić opiekuna w razie problemów.

Fotografia 4. Prototyp rękawiczki HANDTALK



Rysunek 3. Schemat blokowy HANDTALK

System wykrywa obecnie siedem gestów. Jako klasyfikator zastosowano prosty Bayesowski klasyfikator pracujący na czterowymiarowym wektorze, złożonym z wartości analogowych, zmierzonych na wejściach analogowych. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, aby zastosować bardziej złożone rozwiązania programistyczne w celu wykrywania większej liczby gestów.

Scalony sensor gestów

Najpraktyczniejszym, chociaż niekoniecznie najciekawszym rozwiązaniem, jest wykorzystanie scalonego sensora gestów. Przykładem takiego elementu jest układ PAJ7620U2, dostępny na wielu modułach dla hobbystów, takich jak pokazany na **fotografii 5** moduł Grove. Układ scalony PAJ7620U2 integruje w sobie sensor optyczny, układ rozpoznawania gestów, czujnik zbliżeniowy (aby wiedzieć, kiedy zbliżyliśmy dłoń do sensora). Wyposażony jest w interfejs cyfrowy I²C, co pozwala podłączyć go w prosty sposób np. do mikrokontrolera.

Korzystając z scalonego sensora rozpoznawać można nawet do 15 gestów. Na **listingu 3** pokazano przykładowy szkic Arduino, który rozpoznaje 15 gestów użytkownika. Składają się one z dziewięciu podstawowych gestów, rozpoznawanych przez układ:

- przesunięcie ręki w górę,
- przesunięcie ręki w dół,
- przesunięcie ręki w lewo,
- przesunięcie ręki w prawo,
- przybliżenie dłoni,
- oddalenie dłoni,
- obrót zgodnie z kierunkiem ruchu wskazówek zegara,
- obrót przeciwnie do kierunku ruchu wskazówek zegara,
- falowanie dłonią.

Dodatkowe sześć gestów, to złożenia w/w gestów, wykonywanych jeden po drugim. Szkic jest bardzo prosty. W pierwszej kolejności układ jest inicjalizowany funkcją

eprasa.pl b4234fed20

Listing 3. Szkic Arduino dla systemu rozpoznawania gestów z układem PAJ7620U2

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);   // Inicjalizacja portu szeregowego
  paj7620Init();        // Inicjalizacja układy PAJ7620
}

void loop() {
  uint8_t data = 0, data1 = 0, error;

  error = paj7620ReadReg(0x43, 1, &data);   // Odczyt danych gestu
  if (!error) {
    switch (data) {                 // Analiza danych
      case GES_RIGHT_FLAG:
        delay(GES_REACTION_TIME);   // Odczyt drugiego gestu
        paj7620ReadReg(0x43, 1, &data);
        if (data == GES_LEFT_FLAG) {
          Serial.println("Right-Left");
        } else if (data == GES_FORWARD_FLAG) {
          Serial.println("Forward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        } else if (data == GES_BACKWARD_FLAG) {
          Serial.println("Backward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        } else {
          Serial.println("Right");
        }
        break;
      case GES_LEFT_FLAG:
        delay(GES_REACTION_TIME);
        paj7620ReadReg(0x43, 1, &data);
        if (data == GES_RIGHT_FLAG) {
          Serial.println("Left-Right");
        } else if (data == GES_FORWARD_FLAG) {
          Serial.println("Forward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        } else if (data == GES_BACKWARD_FLAG) {
          Serial.println("Backward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        } else {
          Serial.println("Left");
        }
        break;
        break;
      case GES_UP_FLAG:
        delay(GES_REACTION_TIME);
        paj7620ReadReg(0x43, 1, &data);
        if (data == GES_DOWN_FLAG) {
          Serial.println("Up-Down");
        } else if (data == GES_FORWARD_FLAG) {
          Serial.println("Forward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        } else if (data == GES_BACKWARD_FLAG) {
          Serial.println("Backward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        } else {
          Serial.println("Up");
        }
        break;
      case GES_DOWN_FLAG:
        delay(GES_REACTION_TIME);
        paj7620ReadReg(0x43, 1, &data);
        if (data == GES_UP_FLAG) {
          Serial.println("Down-Up");
        } else if (data == GES_FORWARD_FLAG) {
          Serial.println("Forward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        } else if (data == GES_BACKWARD_FLAG) {
          Serial.println("Backward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        } else {
          Serial.println("Down");
        }
        break;
      case GES_FORWARD_FLAG:
        delay(GES_REACTION_TIME);
        paj7620ReadReg(0x43, 1, &data);
        if (data == GES_BACKWARD_FLAG) {
          Serial.println("Forward-Backward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        } else {
          Serial.println("Forward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        }
        break;
      case GES_BACKWARD_FLAG:
        delay(GES_REACTION_TIME);
        paj7620ReadReg(0x43, 1, &data);
        if (data == GES_FORWARD_FLAG) {
          Serial.println("Backward-Forward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        } else {
          Serial.println("Backward");
          delay(GES_QUIT_TIME);
        }
        break;
      case GES_CLOCKWISE_FLAG:
        Serial.println("Clockwise");
        break;
      case GES_COUNT_CLOCKWISE_FLAG:
        Serial.println("anti-clockwise");
        break;
      default:
        paj7620ReadReg(0x44, 1, &data1);
        if (data1 == GES_WAVE_FLAG) {
          Serial.println("wave");
        }
        break;
    }
  }
  delay(100);
}
```

paj7620Init() a następnie w pętli układ zbiera dane odczytując rejestr 0x43 – *paj7620ReadReg(0x43, 1 &data)*, do zmiennej *data*. Dalsza część skryptu to analiza – po wykryciu pierwszego gestu układ odczekuje krótki czas, aby ponownie odczytać gest, co pozwala na wykrywanie bardziej złożonych ruchów, np. poruszenia dłoni w lewo i z powrotem w prawo, czyli machanie nią na boki. Po wykryciu konkretnego gestu, Arduino przesyła informację przez interfejs szeregowy.

Podsumowanie

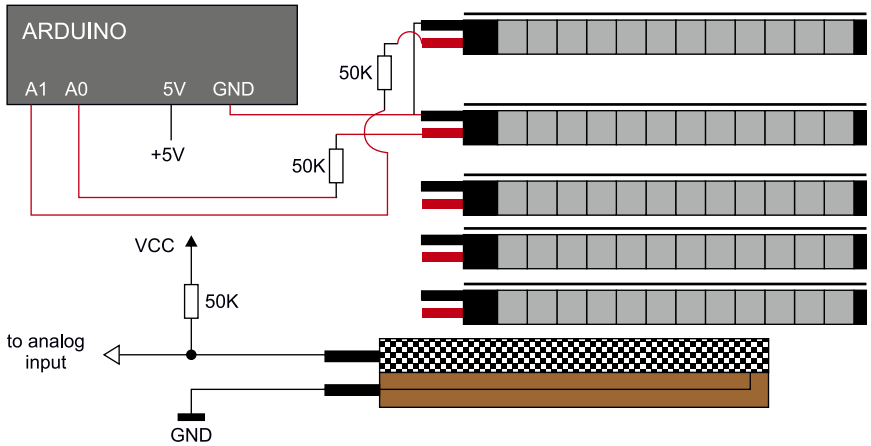
Powyższe projekty pokazują jak różnorodny jest świat rozpoznawania gestów. Jest to idealny interfejs człowiek maszyna, który pozwala na kontrolowanie w naturalny sposób urządzeń elektronicznych. Istnieje wiele różnorodnych podejść, sensorów i algorytmów, jakie można zastosować, aby skonstruować interfejs oparty na rozpoznawaniu gestów.

Dzięki temu, że interfejsy rozpoznawania gestów są tak różnorodne, można implementować je w szerokim spektrum urządzeń – od niewielkich, mobilnych systemów opartych na 8-bitowych mikrokontrolerach, po duże urządzenia z procesorami aplikacyjnymi itp. Do każdego z nich znajdzie się odpowiednie rozwiązanie do wykrywania gestów, dzięki czemu można istotnie usprawnić interfejs użytkownika ciekawym rozwiązaniem. W zasadzie każdy z powyższych systemów, nadaje się do prostej aplikacji we własnym projekcie.

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia:

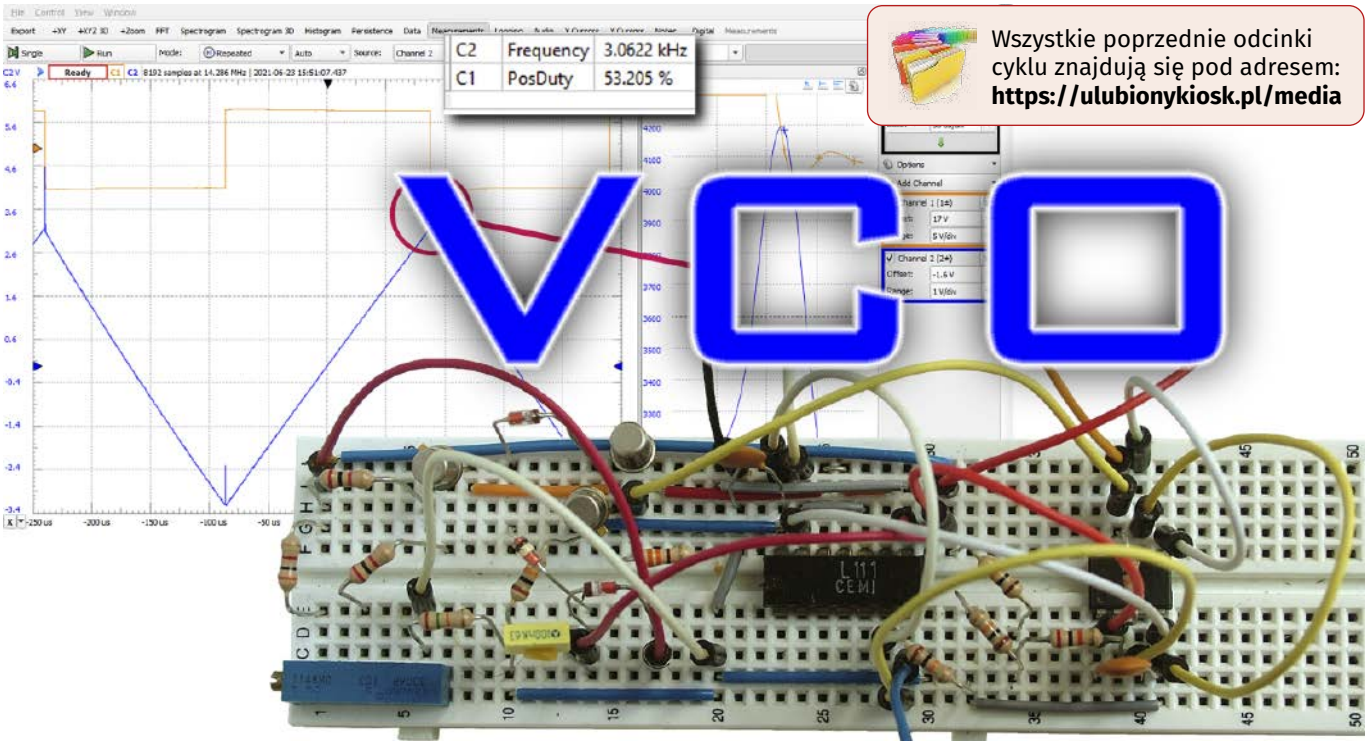
- https://bit.ly/3jwUJ3i/
- https://bit.ly/3qDqgSC
- https://bit.ly/2Uk7Dr6
- https://bit.ly/2SFIxlZ
- https://bit.ly/3qFyB8I
- S. Mitra, T. Acharya, „Gesture Recognition: A Survey", IEEE Transactions on Systems, Man And Cybernetics 37 (2007).
- https://bit.ly/360XOkm



Rysunek 4. Sposób podłączenia sensorów Flex do wejść analogowych Arduino

Fotografia 5. Moduł z układem scalonego sensora gestów PAJ7620U2

eprasa.pl b4234fed20



Wszystkie poprzednie odcinki cyklu znajdują się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

Symulacja i pomiar, czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (24)

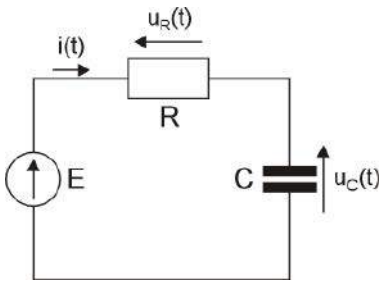
Symulacja układu o złożonej budowie

Na zakończenie cyklu artykułów o symulatorze Ltspice, jako narzędziu wspomagającemu projektowanie układów elektronicznych, przeprowadzimy obliczenia i symulację złożonego układu składającego się z kilku bloków funkcjonalnych. Sprawdzimy też, czy obliczenia potwierdzą się w praktyce.

Wprawdzie generatory były już omawiane w niniejszym cyklu, ale jest to temat o dużych walorach dydaktycznych, więc chętnie zastosujemy go ponownie. Naszym zadaniem jest zaprojektowanie generatora przebiegu trójkątnego. Zakładamy dość specyficzną budowę urządzenia, symulator zastosujemy więc przede wszystkim do sprawdzenia koncepcji. Działanie układu zależy od wielu parametrów. Nie wszystkie zastosowane w symulacji elementy elektroniczne będą odpowiadały elementom rzeczywistym. Należy więc przygotować się na to, że wyniki symulacji rozpatrywane ilościowo będą różnić się od pomiarów układu rzeczywistego. Zakładamy ponadto, że nie budujemy urządzenia w pełni użytkowego, a jedynie model, który dopiero po odpowiednich modyfikacjach mógłby uzyskać taki status.

Zasada działania generatora

Zasada działania projektowanego generatora przebiegu trójkątnego jest oparta na ładowaniu kondensatora prądem stałym. Zwykle



Rysunek 1. Obwód ładowania kondensatora ze źródła stałonapięciowego

eprasa.pl b4234fed20

mamy do czynienia z ładowaniem pojemności ze źródła napięciowego przez istniejącą w obwodzie rezystancję. Jest to rozwiązanie trudne do przyjęcia w rozpatrywanym projekcie. Aby się o tym przekonać rozpatrzmy zjawiska zachodzące podczas ładowania kondensatora w typowym układzie RC (**rysunek 1**). Kondensator jest dołączony do źródła napięcia stałego przez rezystor r. Zakładamy, że w chwili początkowej napięcie na kondensatorze jest równe zero. Dla takiego obwodu możemy napisać równanie wyznaczające spadki napięć:

$$E - u_R - u_C = 0$$
$$u_R = iR$$

Ładunek zgromadzony w kondensatorze jest równy:

$$dq = Cdu_C$$

Prąd natomiast jest równy:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

Zatem

$$idt = Cdu_C$$

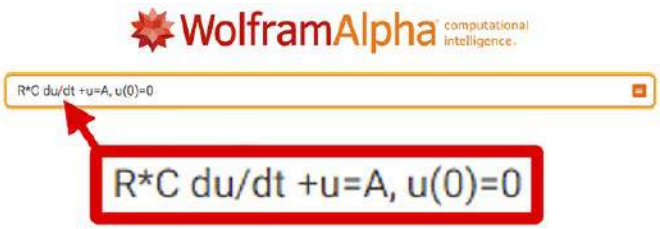
czyli

$$i = C\frac{du_C}{dt}$$

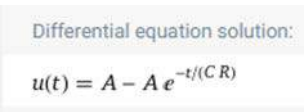
Możemy już napisać równanie różniczkowe opisujące zjawiska w rozpatrywanym obwodzie RC.

$$RC\frac{du_C}{dt} + u_C = E$$

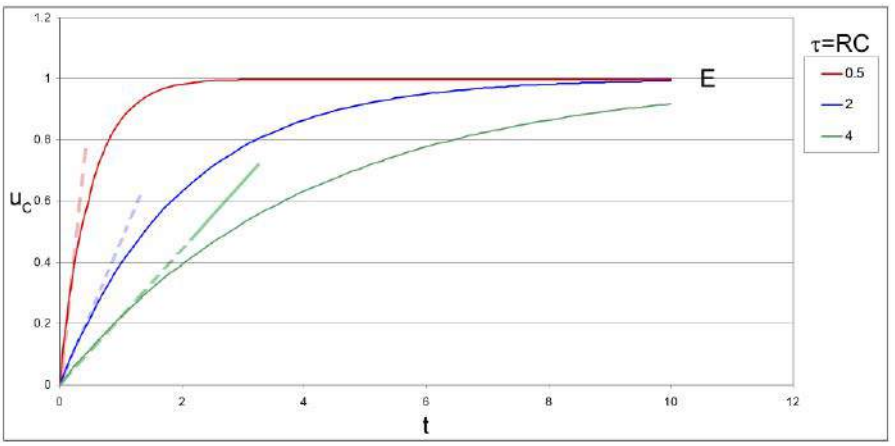
Jest to liniowe równanie różniczkowe zwyczajne stopnia pierwszego o stałych współczynnikach. Chociaż nie jest to równanie nadmiernie skomplikowane, to jego rozwiązanie wymaga pewnych umiejętności z zakresu matematyki wyższej. Oczywiście nie będziemy aż tak głęboko zagłębiać się w niuanse teoretyczne i do rozwiązania równania posłużymy się znanym już z poprzednich odcinków programem WolphramAlpha. Formularz obliczeniowy tego programu znajdziemy pod adresem www.wolframalpha.com. Przy wprowadzaniu równania do programu musimy zamienić oznaczenie napięcia zasilającego. Tradycyjnie opisujemy je literą *E*, jednak WolphramAlpha może takie oznaczenie zinterpretować jako stałą matematyczną *e*. Literkę *E* zastępujemy więc literą *A*. Nasze równanie różniczkowe zapisane w programie ma więc postać jak na **rysunku 2.** Rozwiązanie równania pojawia się niemal



Rysunek 2. Liniowe równanie różniczkowe zwyczajne stopnia pierwszego o stałych współczynnikach opisujące obwód RC ze źródłem napięciowym, wpisane do programu WoframAlpha



Rysunek 3. Rozwiązanie równania uzyskane programem WoframAlpha



Rysunek 4. Krzywa ładowania kondensatora ze źródła napięciowego

natychmiast po naciśnięciu przycisku *Compute Input* (**rysunek 3**). Wracamy do naszego zapisu:

$$u_C(t) = E - Ee^{\frac{-t}{RC}} = E\left(1 - e^{\frac{-t}{RC}}\right)$$

Równanie to potwierdza, że proces ładowania ze źródła stałonapięciowego nie jest liniowy. Napięcie na kondensatorze narasta wykładniczo tak, jak to przedstawiono na **rysunku 4.** Początkowe przyrosty zmian napięcia na kondensatorze odnoszone do pełnego napięcia E są niewielkie. Na tej podstawie można by przyjąć, że proces jest quasi liniowy. Powstałby jednak wówczas problem podejmowania decyzji o maksymalnym dopuszczalnym napięciu na kondensatorze. Powyżej takiej wartości granicznej ładowanie trudno by było dalej uznać za liniowe. Ponadto wraz ze zmianą częstotliwości generowanego sygnału, a więc zmianą stałej czasowej układu ładowania kondensatora, napięcie graniczne również by się zmieniało. Ostatecznie powyższą koncepcję budowy generatora odrzucamy. Ale nawet gdybyśmy ją przyjęli, musielibyśmy pogodzić się z faktem, że z matematycznego punktu widzenia krzywa ładowania miałaby jednak charakter wykładniczy, nie liniowy.

Zupełnie inne warunki ładowania wystąpią, jeśli zapewnimy ładowanie stałym prądem. W takim przypadku napięcie na kondensatorze jest opisane zależnością:

$$du_C = \frac{dq}{C}$$

ale

$$i = \frac{dq}{dt}$$

czyli

$$du_C = \frac{1}{C}idt$$

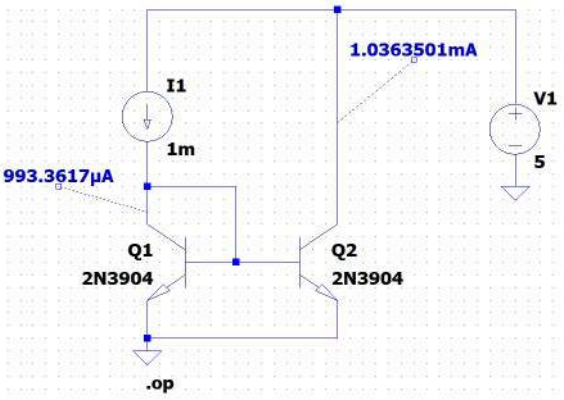
Jeśli zostanie spełniony warunek stałości prądu ładowania kondensatora, to napięcie na kondensatorze można opisać zależnością:

$$u_C(t) = \frac{1}{C}\int_0^T i(t)dt = \frac{IT}{C}$$

Tym razem proces ładowania kondensatora jest już bezdyskusyjnie liniowy. Szybkość ładowania jest proporcjonalna do natężenia prądu i odwrotnie proporcjonalna do pojemności.

Jesteśmy coraz bliżej realizacji generatora. Pozostaje znalezienie metody przełączania źródła prądowego z trybu ładowania na rozładowanie kondensatora i odwrotnie. Najlepszym rozwiązaniem byłoby, aby zarówno ładowanie, jak i rozładowanie obsługiwało jedno źródło prądowe. No tak, ale w takim przypadku konieczne jest przełączanie kierunku wypływu prądu ze źródła, a to nie wydaje się zagadnieniem łatwym w realizacji. Na szczęście znamy rozwiązanie układowe zwane lustrem prądowym, które pozwoli nam zrealizować koncepcję.

eprasa.pl b4234fed20

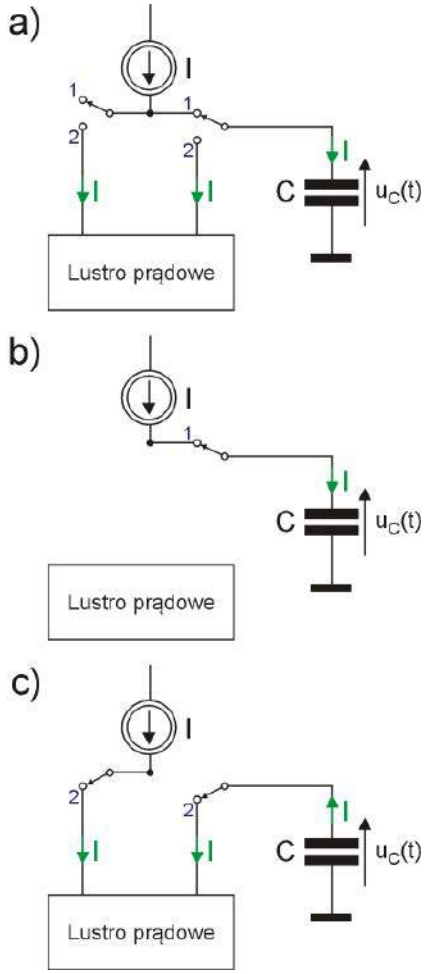


Rysunek 5. Lustro prądowe

Lustro prądowe

Schemat lustra prądowego został pokazany na **rysunku 5**. Składa się ono z dwóch tranzystorów Q1 i Q2. Ich złącza BE są połączone równolegle, a więc przy założeniu, że oba tranzystory mają jednakowe parametry i charakterystyki, prądy baz Q1 i Q2 powinny być równe. Zakładając równość współczynników wzmocnienia prądowego, także prądy kolektorów powinny być równe. Jeśli prąd kolektora tranzystora Q1 będzie pochodził ze źródła prądowego I1, to prąd kolektora tranzystora Q2 powinien być powtórzeniem prądu kolektora tranzystora Q1. Pomijamy przy tym rozpływ prądu I1 do baz obu tranzystorów, co spowoduje minimalną, w praktyce pomijalną asymetrię układu. Spełnienie wymienionych warunków jest możliwe najlepiej, jeśli zostaną zastosowane tranzystory zawarte w strukturze jednego układu scalonego. W najgorszym przypadku powinny to być tranzystory specjalnie dobierane (parowane), a dodatkowo należy zapewnić jak najbardziej zbliżone warunki temperaturowe.

W praktyce dyskretne tranzystory luster prądowych są często ze sobą sklejane. Ja do budowy lustra prądowego zastosowałem wygrzebany z głębokiej szuflady układ UL1111 zawierający 5 tranzystorów NPN, przy czym dwa z nich mają połączone emitery. Należy pamiętać, aby emiter wyprowadzony na nóżkę 13 znalazł się na najniższym potencjale występującym w układzie. Emiter ten jest dołączony do podłoża struktury. Jeśli potencjał podłoża będzie wyższy od któregokolwiek innego wyprowadzenia, układ nie będzie działał. Na rysunku 5 widoczne są wyniki symulacji stałoprądowej. Jak widać, prąd wpływający do lustra ma natężenie 1 mA, a wyjściowy prąd lustra ma natężenie 1,036 mA. Można więc z inżynierską dokładnością przyjąć, że oba prądy są równe.



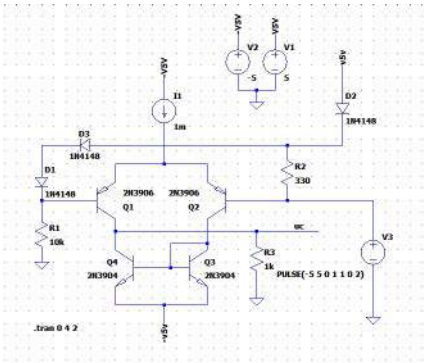
Rysunek 6. Ilustracja zasady działania generatora, a) idea ogólna, b) obwód ładowania kondensatora, c) obwód rozładowania kondensatora

Przyjęta koncepcja pracy generatora

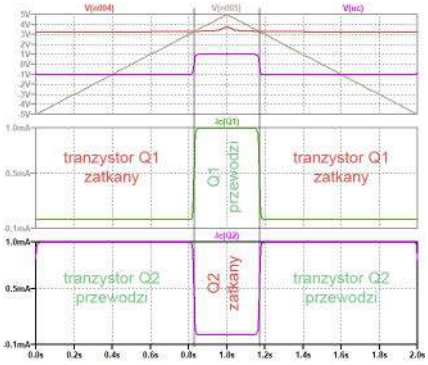
Koncepcję pracy generatora pokazano na **rysunku 6a.** Wyróżniamy dwa cykle. W pierwszym, przełącznik elektroniczny jest ustawiony w pozycji „1" (**rysunek 6b**). Kondensator jest ładowany ze źródła prądowego I, co powoduje, że napięcie na nim rośnie liniowo. W układzie musi być zastosowany komparator napięciowy (nieuwzględniony na rysunku), który po przekroczeniu napięć progowych na kondensatorze spowoduje przełączenie przełącznika elektronicznego. Po przekroczeniu górnego napięcia progowego nastąpi przełączenie w pozycję „2". Prąd ze źródła I wpływa teraz do wejścia lustra prądowego, a do jego wyjścia zostaje jednocześnie przełączony kondensator. Powoduje to zmianę kierunku przepływu przez niego prądu. Napięcie na kondensatorze maleje, aż do wartości, w której przełącznik ponownie zmieni położenie do pozycji „1". Tym samym cykl zostaje zakończony i układ staje się generatorem.

Przełącznik elektroniczny

Przełącznik elektroniczny zbudujemy na tranzystorach dyskretnych Q1, Q2 (**rysunek 7**). Elementy I1, Q3 i Q4, to znane już z wcześniejszych rozważań źródło i lustro prądowe. Baza tranzystora Q1 jest utrzymywana na stałym potencjale wynikającym z napięcia



Rysunek 7. Schemat przełącznika elektronicznego



Rysunek 8. Przebiegi występujące na tranzystorach przełącznika elektronicznego

eprasa.pl b4234fed20

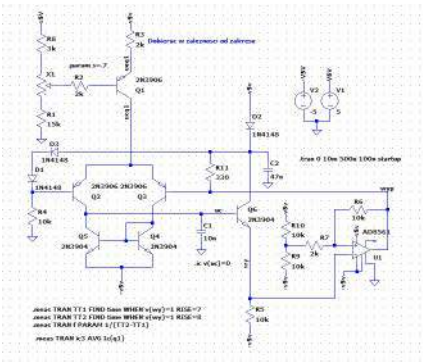
zasilającego 5 V obniżonego o ok. 1,8 V przez diody D1...D3 (3×0,6 V). Diody pełnią funkcję przesuwników napięciowych. Napicie U_B jest więc równe ok. 3,2 V. Jest to progowe napięcie przełączania. Dopóki napięcie na bazie Q1 jest wyższe niż na bazie Q2, tranzystor Q1 pozostaje w stanie wyłączenia (**rysunek 8**), przewodzi natomiast tranzystor Q2. Prąd I1 wpływa do lustra prądowego Q3-Q4 wywołując przepływ prądu przez rezystor R3 – 1 kΩ obciążający przełącznik. Prąd płynie przez ten rezystor w kierunku od masy do minusa zasilania. Występuje więc na nim spadek napięcia równy –1 V. W chwili, gdy napięcie na bazie Q2 zrówna się, a następnie przekroczy napięcie na bazie Q1, nastąpi zmiana przewodzenia tranzystorów – Q1 zacznie przewodzić, a Q2 zostanie wyłączony. Prąd będzie teraz płynął przez obciążenie w kierunku przeciwnym – od plusa zasilania do masy. Na rezystorze R3 wystąpi napięcie +1 V. Docelowo rezystor R3 zostanie zastąpiony kondensatorem.

Komparator

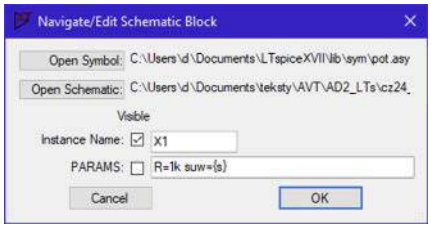
Jak już było powiedziane, w układzie generatora potrzebny jest komparator wyznaczający momenty przełączania kierunku przepływu prądu przez kondensator. Mechanizm ten zapewni okresowe przeładowywanie stałym prądem pojemności C, skutkiem czego na wyjściu generatora będzie wytwarzany przebieg trójkątny.

Wiemy, że po zastosowaniu w komparatorze dodatniego sprzężenia możliwe jest zaprogramowanie pożądanych wejściowych napięć progowych (a więc histerezy), po osiągnięciu których wyjście zmienia stan. Temat komparatorów był poruszany w 19. odcinku cyklu. Zaprezentowano w nim wzory pozwalające obliczyć powyższe parametry. W innym odcinku wspominałem też o zastosowaniu symulatora LTspice jako narzędzia zastępującego kalkulator podczas obliczeń projektowych. Upalna pogoda za oknem zachęca bardziej do lenistwa, niż wzmożonego wysiłku umysłowego, postanowiłem więc pójść na łatwiznę i elementy otoczenia komparatora (R6, R7, R9 i R10) wyznaczyłem metodą prób i błędów przy użyciu symulatora. Tym samym został zakończony cały etap projektowania. Można już narysować w edytorze symulatora LTspice pełny schemat generatora i przystąpić do symulacji (**rysunek 9**). Jak zwykle sytuacjom takim towarzyszą wzmożone emocje. Zadziała czy nie?

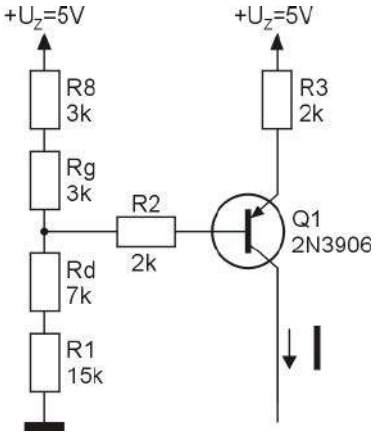
Ustawiamy położenie suwaka potencjometru regulującego częstotliwość przebiegu wyjściowego w pozycji np. 0,7. Punkt odniesienia (0) jest zaznaczony na schemacie kółeczkiem przy jednym z wyprowadzeń potencjometru (na schemacie dolnym). Potencjometr został



Rysunek 9. Pełny schemat generatora narysowany w edytorze symulatora LTspice



Rysunek 10. Okno parametrów potencjometru



Rysunek 11. Schemat zastępczy układu sterowania generatorem

zdefiniowany wcześniej jako element własny. W oknie jego parametrów (**rysunek 10**) można określić rezystancję i położenie suwaka. W tym przypadku położenie jest zadane parametrycznie parametrem s, któremu nadano wartość za pomocą polecenia `.param s=.7`.

Ciekawość wygrywa jednak z lenistwem. Zanim uruchomimy symulację spróbujmy oszacować jakiego prądu możemy się spodziewać od naszego źródła (Q1)? Rysujemy schemat zastępczy dla suwaka w pozycji 0,7 – **rysunek 11**. Rezystor Rg to ta część rezystancji potencjometru, która jest nad suwakiem, Rd natomiast to rezystancja pod suwakiem. Naszym zadaniem jest wyznaczenie prądu kolektora tranzystora Q1.

Najpierw zwijamy elementy R8, Rg, Rd, R1 i źródło napięciowe 5 V, tworząc źródło zastępcze E1 o rezystancji wewnętrznej równej równoległemu połączeniu R8+Rg i Rd+R1 (**rysunek 12a** i **12b**). Napięcie E1 jest równe:

$$E_1 = U_Z \frac{R_d + R_1}{R_d + R_1 + R_8 + R_g} = 5 \cdot \frac{7k + 15k}{7k + 15k + 3k + 3k} = 5 \cdot \frac{22k}{28k} = 3{,}929\ V$$

Rezystancja wewnętrzna źródła E1 jest równa:

$$R_C = \frac{(R_d + R_1)\cdot(R_8 + R_g)}{R_d + R_1 + R_8 + R_g} = \frac{(7k + 15k)\cdot(3k + 3k)}{7k + 15k + 3k + 3k} = \frac{132k}{28k} = 4{,}714\ k\Omega$$

W kolejnym kroku dokonujemy pewnego uproszczenia rysunku 12b zastępując złącze baza-emiter źródłem napięciowym U_{BEP} (**rysunek 12c**). Na pierwszy rzut oka coś na tym schemacie nie gra, gdyż prąd po lewej stronie źródła U_{BEP} (I_B) jest inny niż po prawej stronie (I_E). Wynika to z nieuwzględnienia na tym rysunku złącza baza-kolektor tranzystora. W dalszych obliczeniach przyjmujemy, że prąd kolektora, czyli prąd naszego źródła, jest w przybliżeniu równy prądowi emitera, a prąd bazy I_B jest β-krotnie mniejszy od prądu kolektora. Na tej podstawie można napisać równanie obwodu pokazanego na rysunku 12c:

$$E_1 + \frac{I_E}{\beta} R_C + U_{BEP} + I_E R_3 = U_Z$$

$$I_E \left(\frac{R_C}{\beta} + R_3 \right) = U_Z - U_{BEP} - E_1$$

czyli

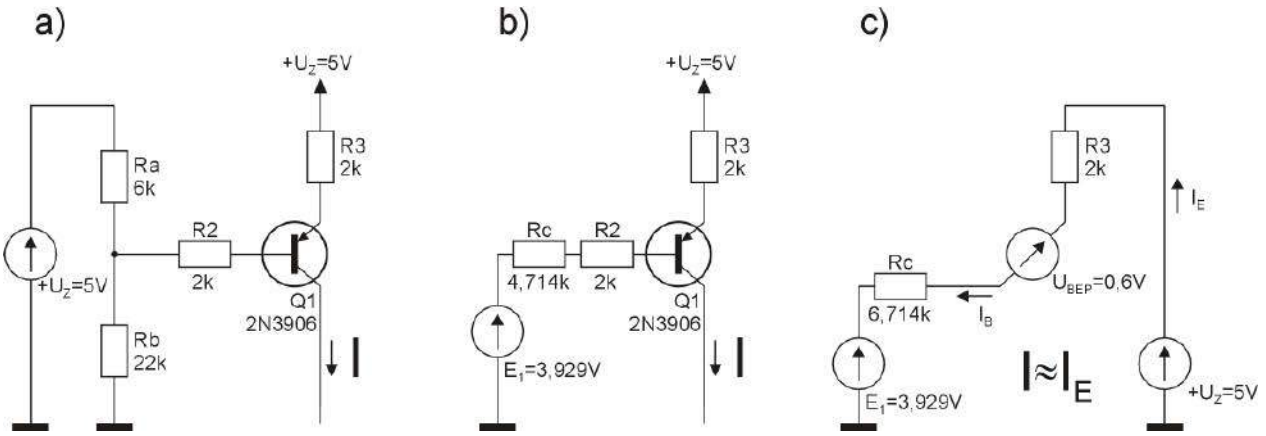
$$I_E = \frac{U_Z - U_{BEP} - E_1}{\left(\frac{R_C}{\beta} + R_3 \right)} = \frac{5 - 0{,}6 - 3{,}929}{\frac{6{,}714k}{200} + 2k} = \frac{0{,}471}{2{,}033k} = 231{,}7\ \mu A$$

Przyjęliśmy, że prąd emitera jest w przybliżeniu równy prądowi kolektora, więc możemy uznać, że obliczony wyżej prąd jest równy wydajności źródła prądowego I.

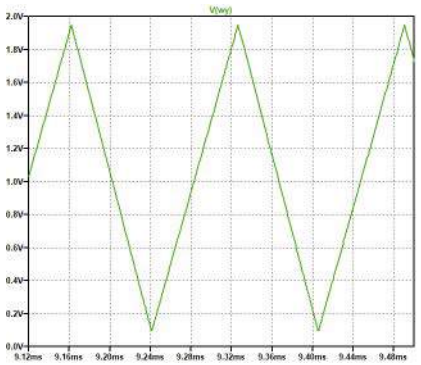
Symulacja

Nadeszła długo oczekiwana chwila, w której możemy uruchomić symulację. Będzie to symulacja czasowa `.tran 0 10m 500u 100n startup`. Spodziewamy się stanów nieustalonych po „włączeniu

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 12. Kolejne etapy zwijania obwodu sterowania, a) obwód wejściowego dzielnika napięciowego z potencjometrem, b) wprowadzenie źródła zastępczego E1, c) końcowy obwód zastępczy



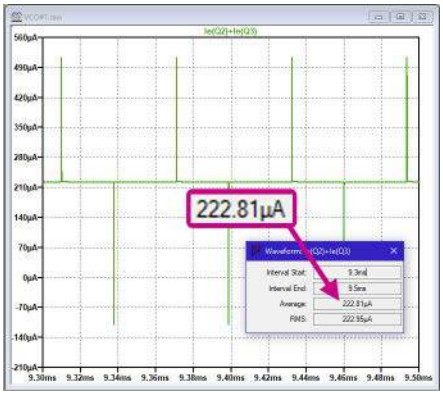
Rysunek 13. Przebieg wyjściowy generatora uzyskany w symulacji

zasilania", dlatego dane do analizy zaczynamy pobierać po 500 mikrosekundach od czasu t=0. Zapewniamy też dużą dokładność obliczeń ustalając parametr `Maximum Timestep` na 100 ns. Ponadto zaznaczamy opcję `Start external DC supply voltages at 0V`. Ładowany w układzie rzeczywistym kondensator prawdopodobnie będzie w stanie pełnego rozładowania w chwili uruchamiania generatora, zapewniamy więc zerowe napięcie początkowe również w kondensatorze symulowanym. Służy do tego komenda `.ic v(uc)=0`. Wcześniej należało nadać etykietę „uc" węzłowi, do którego jest dołączony kondensator. No cóż, zaczynamy. Po uruchomieniu symulacji pojawia się okno wykresu. Symulator nadal utrzymuje nas w niepewności. Wskazujemy węzeł wyjściowy „wy" i wszystko staje się jasne. Generator działa. Hura! Przebieg wyjściowy pokazano na **rysunku 13**.

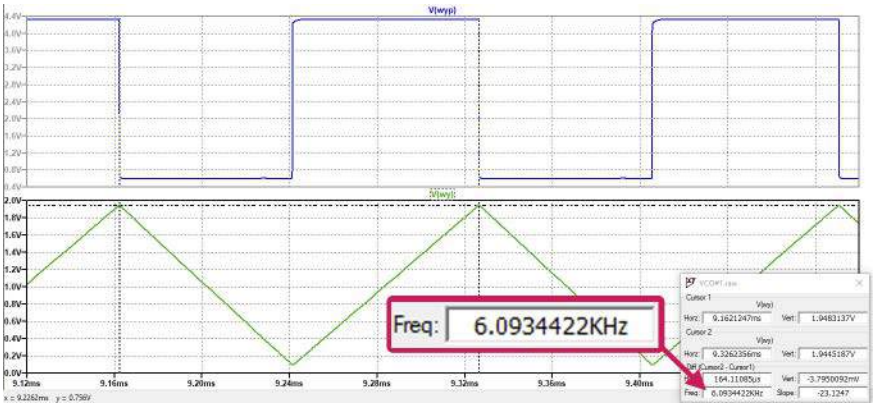
Sprawdźmy czy obliczony prąd źródła potwierdzi się w symulatorze. Ponownie uruchamiamy symulację, tylko tym razem naprowadzamy kursor myszy na połączenie między kolektorem Q1 a połączonymi emiterami Q2 i Q3, naciskamy przycisk *H* na klawiaturze i klikamy lewym przyciskiem myszki. Na ekranie ukazuje się wykres prądu pobieranego ze źródła Q1. Widoczne są na nim bardzo silne impulsy w chwilach przełączania (**rysunek 14**). Konieczne jest spore rozciągnięcie wykresu, aby możliwe było dokładniejsze przyjrzenie się szpilkom. Natężenie prądu ze źródła mierzymy naprowadzając kursor myszy na tytuł wykresu, po czym naciskamy przycisk *Ctrl* klawiatury komputera i klikamy lewym przyciskiem myszki. Pojawia się wówczas okno z danymi pomiarowymi (rysunek 14). Odczytujemy, że wartość średnia prądu jest równa 222,81 µA. Dla przypomnienia w obliczeniach wyszło nam 231 µA – nieźle.

Sprawdźmy jeszcze częstotliwość generowanego przebiegu odpowiadającego ustawieniu suwaka w pozycji 0,7. Można to z zadowalającą dokładnością zrobić wykorzystując kursory symulatora (**rysunek 15**), jednak my zastosujemy również komendy MEASURE. Warunkiem koniecznym do wykonania takiego pomiaru jest ustalenie na tyle długiego czasu, aby na ekranie było widocznych co najmniej 8 zboczy narastających sygnału. Nie jest to liczba, którą narzuca symulator, lecz parametr przyjęty arbitralnie. W pomiarach tego typu należy czekać na ustabilizowanie się przebiegu, w którym początkowo mogą występować jakieś stany nieustalone. Cały pomiar częstotliwości składa się z 3 komend. W pierwszej ustalany jest moment (czas), w którym napięcie wyjściowe przekracza jakiś przyjęty poziom, np. 1 V na 7. narastającym zboczu. Druga komenda wyznacza analogiczny moment dla 8. zbocza. Pozostaje już tylko obliczyć odwrotność różnicy tych czasów stanowiącej częstotliwość przebiegu. Obliczenie to wykonuje 3. komenda. Pełny skrypt wygląda tak:

```
.meas TRAN TT1 FIND time WHEN v(wy)=1 RISE=7
.meas TRAN TT2 FIND time WHEN v(wy)=1 RISE=8
.meas TRAN f PARAM 1/(TT2-TT1)
```



Rysunek 14. Wykres prądu regulowanego źródła prądowego uzyskany w symulatorze



Rysunek 15. Kursorowy pomiar częstotliwości trójkątnego napięcia wyjściowego

eprasa.pl b4234fed20

```
tt1: time=0.00106872 at 0.00106872
tt2: time=0.001233 at 0.001233
f: 1/(tt2-tt1)=6086.99
```

Rysunek 16. Wynik pomiaru częstotliwości przebiegu wyjściowego z zastosowaniem poleceń MEASURE

Wynik, jak zwykle odczytujemy w logach błędów (**rysunek 16**) – tekst podświetlony na żółto.

Na zakończenie rozważań teoretycznych warto zauważyć, że jeśli wejściowy układ z potencjometrem zastąpilibyśmy wejściem doprowadzającym jakieś napięcie sterujące DC, uzyskalibyśmy funkcjonalność generatora przestrajanego napięciem (VCO).

Kończą się dobre wiadomości

Jak zwykle po obliczeniach i symulacji nadeszła pora weryfikacji projektu w układzie rzeczywistym. Mimo, że projekt zawiera sporo elementów, całość montujemy na breadboardzie. Pozostając w stylu *vintage* wygrzebałem ze swojej przepastnej szuflady stare tranzystory PNP – chyba BC177. Trudno stwierdzić typ, gdyż napisy na metalowych obudowach już dawno się wytarły. Tranzystory tego typu były dość powszechnie stosowane w epoce, w której popularnością cieszył się układ UL1111. Nieco kontrastujący jest dla nich już jak najbardziej współczesny komparator AD8561.

Układ jest już zmontowany. Przystępujemy do pomiarów. Dołączmy do komputera zestaw „Analog Discovery 2" i uruchamiamy program WaveForms. Generator zasilamy z zasilacza AD2. Wykorzystujemy obie sekcje: napięcia dodatniego +5 V i ujemnego –5 V. Nie zapomnijmy połączyć ze sobą mas AD2 i generatora. Włączamy zasilanie i... są dwie wiadomości, tradycyjnie jedna dobra, druga zła. Zaczynamy od dobrej: układ generuje. Na wyjściu pojawia się przebieg trójkątny, mniej więcej taki, jakiego się spodziewaliśmy. Niestety, druga wiadomość brzmi: nic poza tym nie zgadza się z symulacją. Przede wszystkim inna jest amplituda przebiegu wyjściowego. Przy ustawieniu suwaka w pozycję 0,7 wystąpiła tak znaczna asymetria sygnału wyjściowego, że praktycznie trudno by było zakwalifikować taki przebieg jako użytkowy. Poprzez ustawienie suwaka asymetrię można skorygować do około 53% (powinno być 50%), ale zadaniem potencjometru jest regulacja częstotliwości, a nie symetrii.

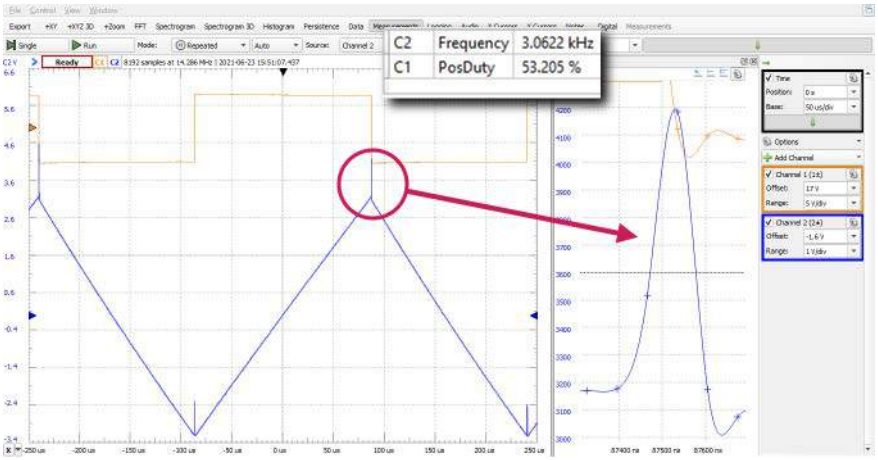
Asymetrię można tłumaczyć błędem wprowadzanym przez lustro prądowe. W rzeczywistości prąd wpływający do lustra nie jest idealnie odtwarzany na wyjściu, co powoduje, że kondensator jest rozładowywany minimalnie innym prądem niż prąd ładowania.

W sygnale wyjściowym występują ponadto bardzo duże szpiki w chwilach przełączania. Są one widoczne w powiększeniu na **rysunku 17**. Symulator nie wykrył tego zjawiska. Zakłócenia tego typu wynikają z nierównoczesności przechodzenia ze stanu zatkania do stanu przewodzenia przez tranzystory Q2 i Q3. Przyczyną mogą być różnice charakterystyk tranzystorów, a także minimalne skoki napięciowe na bazie tranzystora Q2. W układzie zmontowanym na breadboardzie zabrakło kondensatorów blokujących zasilanie.

Wnioski na zakończenie

Czy wobec różnic pomiędzy symulacją i pomiarami układu rzeczywistego można uznać symulator LTspice za narzędzie przydatne w rękach projektanta? Jest to często zadawane pytanie przez wielu sceptyków. Oczywiście, chcielibyśmy aby wyniki symulacji i pomiarów pokrywały się w 100 procentach, ale w większości przypadków, może poza jakimiś zupełnie elementarnymi obwodami, jest to raczej niemożliwe. Problemy zaczynają się, gdy na pracę układu rzeczywistego mają wpływ okoliczności trudne do przewidzenia i uwzględnienia w symulacji. Przykładem jest choćby wpływ zakłóceń pochodzących z otoczenia, szumy i interferencje, rozpływy prądów w różnych węzłach obwodu rzeczywistego, a przede wszystkim jakość modeli elementów wchodzących w skład badanego układu. Często, z braku jakichkolwiek modeli elementów zastosowanych w urządzeniu użytkownicy symulatora podkładają modele innych, mniej lub bardziej podobnych elementów. Przyznam ze skruchą, że tak postąpiłem w tym odcinku. Zamiast modeli tranzystorów BC177 i tranzystorów układu UL1111 zastosowałem modele tranzystorów 2N3906 (PNP) i 2N3904 (NPN). Model komparatora pochodzi ze strony producenta – firmy Analog Devices.

W opisywanym zagadnieniu przydatność symulatora LTspice była jednak bezsprzeczna. Przystępując do projektowania generatora w zasadzie liczyłem się z tym, że nie uzyskam prawidłowych wyników ilościowych, chodziło jednak głównie o weryfikację koncepcji. Nie ukrywam, że do zaprezentowanego wyniku końcowego konieczna była analiza kilku innych, zbliżonych wariantów projektu. Należy jednak jeszcze raz zaznaczyć, że założeniem nie była budowa urządzenia użytkowego, a jedynie pokazanie przykładowej metody projektowania.



Rysunek 17. Przebieg wyjściowy generatora rzeczywistego obserwowany na oscyloskopie

Symulatory są stosowane w wielu dziedzinach techniki i życia codziennego, nie tylko przez projektantów urządzeń. Szkolą się na nich i podtrzymują umiejętności piloci, kierowcy Formuły 1, maszyniści lokomotyw, kapitanowie statków morskich i jachtów. Korzystają z nich nawet modelarze sprawdzający czy np. budowany model samolotu będzie miał szansę wznieść się w powietrze i jak będzie reagował na elementy sterujące (pełna analogia z naszym generatorem). Jednocześnie, z uwagi na możliwe rozbieżności, absolutnie niedopuszczalne jest wydawanie ponad wszelką wątpliwość jakichkolwiek wniosków na temat różnych zdarzeń badanych z zastosowaniem symulacji.

Jest to już ostatni artykuł trwającego 2 lata cyklu. Mam świadomość, że mimo tak długiego czasu nie wszystkie zagadnienia zostały poruszone. Być może nadarzą się jeszcze jakieś okazje by wyrywkowo powracać do takich tematów.

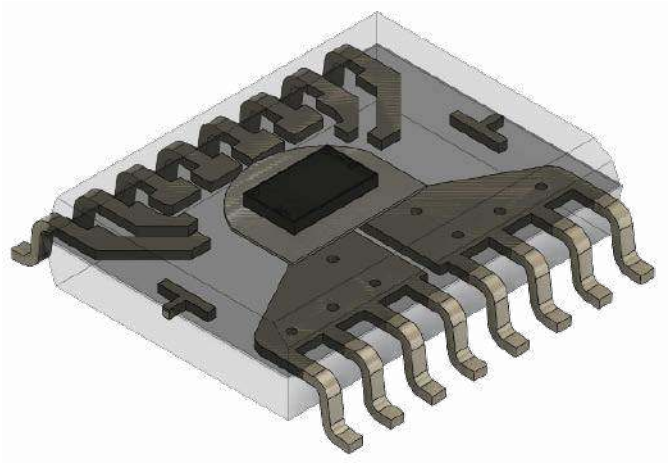
Jarosław Doliński, EP

Wszystkie odcinki cyklu można znaleźć na stronie **http://ep.com.pl** lub pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

eprasa.pl b4234fed20

Pomiary natężenia prądu w systemach wbudowanych (2)

Praktyczny poradnik

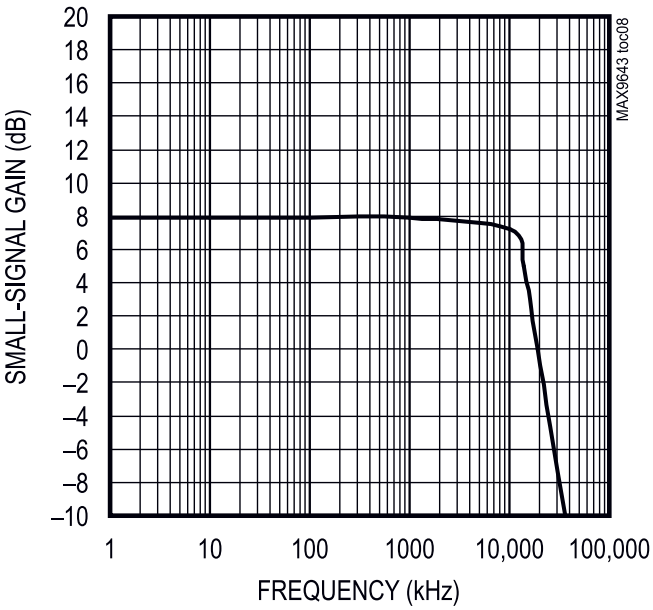


Pomiar parametrów analogowych, czy to za pomocą przetworników ADC obecnych w strukturach mikrokontrolerów, czy też z użyciem specjalizowanych przetworników lub front-endów scalonych, należy do podstawowych funkcjonalności przeważającej części systemów wbudowanych. W poprzedniej części artykułu omówiliśmy cztery najważniejsze metodologie pomiarów prądu, tym razem natomiast zaprezentujemy rozwiązania wybranych problemów metrologicznych, z jakimi spotykają się na co dzień konstruktorzy.

Poprzedni odcinek znajduje się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

Przykład 1. Szerokopasmowy układ pomiaru prądu DC po stronie dodatniej szyny zasilania

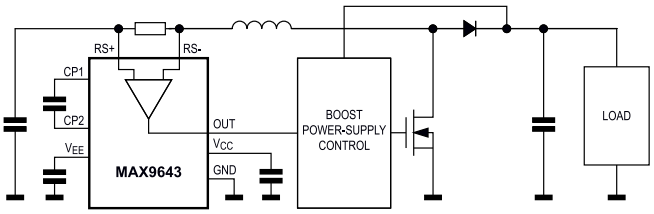
Jak wspomnieliśmy w pierwszej części artykułu, w przypadku niektórych aplikacji amperometrycznych, problemem jest ograniczenie pasma, wynikające z zastosowanej metodologii pomiarowej i wynikającego z niej doboru komponentów układu wejściowego. Jeżeli w urządzeniu zasilanym napięciem stałym o wartości do 60 V konieczny jest pomiar prądu w szerokim paśmie częstotliwości, warto rozważyć szybki układ MAX9643. Zakres częstotliwości pracy rozciąga się w jego przypadku aż do 15 MHz, a tolerancja wzmocnienia (w zależności od wybranej wersji: 2,5 V/V lub 10 V/V) nie przekracza 0,5% w warunkach temperatury pokojowej. Deklarowana przez producenta szybkość narastania sygnału wyjściowego to 12 V/μs, a efektywny zakres pracy dla spadku wzmocnienia o zaledwie 1 dB względem wartości nominalnej przekracza 10 MHz (**rysunek 1**). Przykładowy schemat aplikacyjny wzmacniacza został pokazany na **rysunku 2**. Układ doskonale nadaje się do kontroli obciążenia w aplikacjach z szybkim kluczowaniem, np. w wejściowych obwodach nadzoru przetwornic DC/DC bądź układach sterowania mostków H.



Rysunek 1. Charakterystyka częstotliwościowa układu MAX9643T

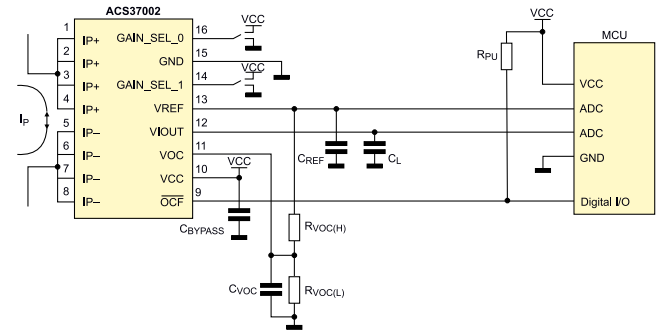
Przykład 2. Izolowany, szybki układ pomiaru prądu AC/DC o regulowanej czułości

Jeżeli projektowane urządzenie pracuje w paśmie poniżej 0,5 MHz, a podstawowym wymogiem aplikacji jest zapewnienie wysokiego poziomu izolacji galwanicznej pomiędzy układem pomiarowym a obwodem mierzonym, godnym uwagi czujnikiem prądu dla niego jest hallotronowy sensor ACS37002 marki Allegro Microsystems. Schemat aplikacyjny układu został pokazany na **rysunku 3**. W tym przypadku wzmocnienie jest tylko wstępnie ograniczone przez producenta, gdyż każdy układ z rodziny ACS37002 wyposażony został w dwa statyczne wejścia cyfrowe, pozwalające na wybór wzmocnienia spośród czterech dostępnych konfiguracji. Przykładowo, układ

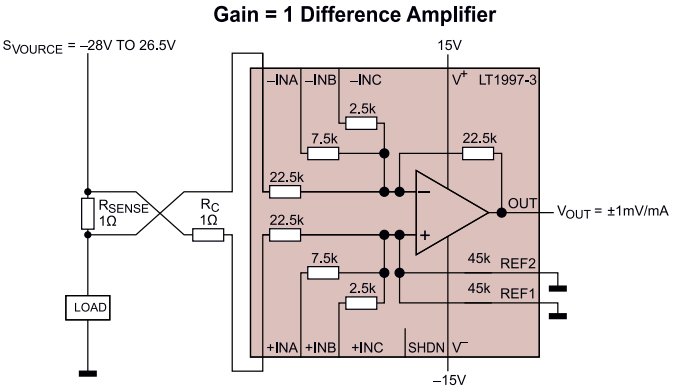


Rysunek 2. Przykładowy schemat aplikacyjny wzmacniacza bocznikowego MAX9643

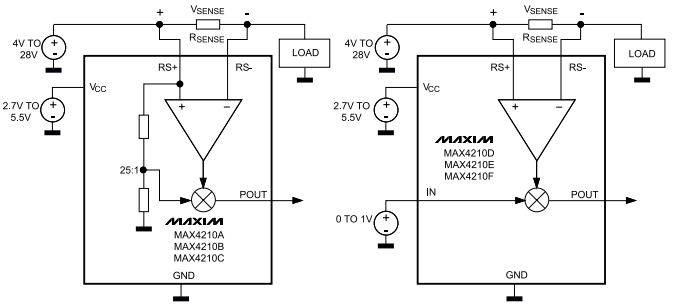
eprasa.pl b4234fed20



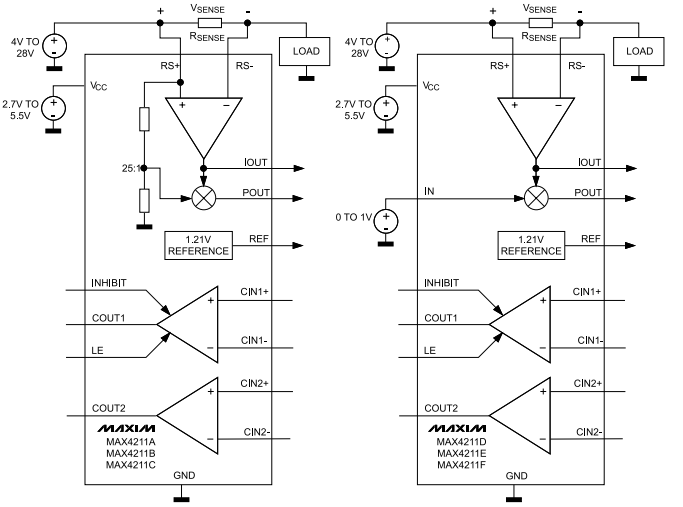
Rysunek 3. Przykładowy schemat aplikacyjny czujnika prądu ACS37002



Rysunek 4. Przykładowy schemat aplikacyjny układu LT1997-3 w konfiguracji high-side sensing



Rysunek 5. Schemat funkcjonalny układów podrodziny MAX4210A...F



Rysunek 6. Schemat funkcjonalny układów podrodziny MAX4211A...F

ACS37002LMABTR-050B3 oferuje możliwość ustalenia wzmocnienia równego: 19,8 mV/A, 26,4 mV/A, 33 mV/A oraz 39,6 mV/A, co przekłada się na bipolarne zakresy pomiarowe: ±33 A, ±40 A, ±50 A oraz ±66 A. Model ten może być zasilany napięciem 3,3 V, choć inne dostępne w ramach tej linii produktowej układy mogą także pracować pod napięciem 5 V.

Co ważne, silna bariera galwaniczna oddzielająca wbudowany obwód pomiarowy od niskonapięciowej struktury krzemowej, ma wytrzymałość dielektryczną na poziomie aż 4800 V_{RMS}, (według normy UL60950-1 ed. 2), a układ jest przeznaczony do pracy jako element izolacji podstawowej do 1480 V_{pk} (1047 V_{RMS}) lub wzmocnionej do 730 V_{pk} (517 V_{RMS}). Odstęp powietrzny, dzięki zastosowaniu poszerzonej obudowy SOICW-16, wynosi 7,5 mm, zaś odstęp powierzchniowy pomiędzy wyprowadzeniami, znajdującymi się po obu stronach bariery izolacyjnej, to 7,9 mm. Pasmo przepustowe układu wynosi 400 kHz.

W odróżnieniu od większości popularnych, scalonych czujników prądu bazujących na efekcie Halla, układy z rodziny ACS37002 posiadają dodatkowe wyjście alarmowe (informujące układ nadrzędny o wystąpieniu przetężenia w obwodzie pomiarowym), a także buforowane wyjście analogowe (umożliwiające zewnętrznemu układowi pomiarowemu ustalenie wartości napięcia wyjściowego, odpowiadającego zerowej wartości prądu w obwodzie pomiarowym). Jest to dość unikalne rozwiązanie w tej grupie układów, znakomicie ułatwiające pomiar za pomocą przetworników ADC z bipolarnym wejściem różnicowym, gdyż redukuje ono konieczność cyfrowego (programowego) lub analogowego ustalania wirtualnego zera sygnału pomiarowego.

Przykład 3. Ultraprecyzyjny układ pomiaru prądu ze wzmocnieniem wybieranym sprzętowo

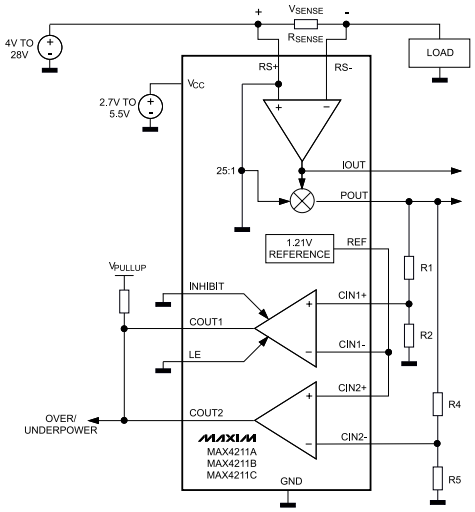
W aplikacjach zasilanych napięciem do 24 VDC i wymagających bardzo precyzyjnego pomiaru wartości prądu zastosowanie znajdzie scalony wzmacniacz bocznikowy LT1997-3. Układ ma topologię klasycznego wzmacniacza różnicowego opartego na wzmacniaczu operacyjnym, z tą różnicą, że posiada trzy wejścia INA, INB i INC – podłączone poprzez precyzyjnie sparowane rezystory o wartościach 22,5 kΩ, 7,5 kΩ oraz 2,5 kΩ i wyprowadzone na osobne linie 14-pinowej obudowy DFN lub 16-pinowej MSOP. Schemat aplikacyjny dla wzmocnienia jednostkowego pokazano na **rysunku 4** – szeroki zakres napięć zasilania oraz wyjście R-R umożliwia pracę z zasilaczami pojedynczymi lub bipolarnymi i to już od 3,3 V. Układ oferuje imponującą dokładność wzmocnienia na poziomie 0,006% i wyjątkowo niski dryf temperaturowy (zaledwie 1 ppm/°C!). Nieliniowość także utrzymuje się na bardzo niskim poziomie (2 ppm), co umożliwia prowadzenie bardzo precyzyjnych pomiarów – w celu maksymalnego wykorzystania możliwości układu konieczne jest jednak zapewnienie poprawnego stopnia wejściowego z bocznikiem, podłączonym w konfiguracji 4-przewodowej. Warto rozważyć zastosowanie bocznika z osobnymi wyprowadzeniami, np. 4-pinowego rezystora precyzyjnego (temat ten opisaliśmy nieco szerzej w pierwszej części artykułu).

Przykład 4. Zintegrowany układ wejściowy do monitorowania szyny zasilania

Interesujące rozwiązanie wprowadziła do swojej oferty firma Maxim. Układy z rodziny MAX4210/MAX4211 zawierają kilka dodatkowych bloków funkcjonalnych, które znacznie rozszerzają możliwości aplikacyjne zawartych w ich strukturze wzmacniaczy bocznikowych. Prostsze modele MAX4210A...F (**rysunek 5**) oferują konstruktorom, oprócz samego wzmacniacza różnicowego, także analogowy mnożnik, umożliwiający bardzo prostą realizację pomiaru mocy. W zależności od wersji układu, sygnał napięciowy może być doprowadzony z zewnątrz lub też pobrany bezpośrednio z linii bocznika znajdującej się na wyższym potencjale (tj. po stronie źródła zasilania) i podany na mnożnik za pomocą wbudowanego dzielnika 25:1.

Grupa układów z końcówką 11A...F (**rysunek 6**), oprócz opisanych wcześniej bloków, zawiera także wbudowane, podwójne komparatory (w tym jeden z dodatkowymi wejściami INHIBIT (uruchomienie pierwszego komparatora) i LE (aktywacja zatrzasku wyjściowego)

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 7. Zastosowanie wyjścia POUT i komparatorów układu MAX4211A...F do detekcji niedozwolonego poziomu poboru mocy przez obciążenie

oraz źródło napięcia odniesienia o wartości nominalnej 1,21 V. Klasycznym przykładem zastosowania wewnętrznych układów porównujących jest komparator okienkowy – producent proponuje użycie go np. do detekcji stanów awarii, skutkujących wykroczeniem poboru mocy obciążenia poza dopuszczalny zakres. Co ciekawe, do realizacji tak złożonego zadania wystarczy dołączyć do układu MAX4211 zaledwie… pięć rezystorów, według schematu pokazanego na **rysunku 7**.

Podsumowanie

Monitorowanie obciążenia jest jednym z najpowszechniejszych zastosowań układów do pomiaru prądu. Nowoczesne układy scalone, w tym zintegrowane czujniki prądu oparte na zjawisku Halla oraz precyzyjne i szybkie wzmacniacze bocznikowe, znakomicie ułatwiają pracę konstruktorom urządzeń, zarówno zasilanych napięciem stałym, jak i przemiennym. Zaprezentowane w artykule rozwiązania stanowią zaledwie część możliwości udostępnianych przez układy czołowych marek. Zainteresowanych Czytelników odsyłamy do odpowiednich działów w katalogach producentów z branży półprzewodników.

inż. Przemysław Musz, EP
przemyslaw.musz@ep.com.pl

REKLAMA

KOMPUTERY RASPBERRY PI
I MODUŁY ARDUINO

ARDUINO

AVT SPV Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Sklep stacjonarny czynny jest od poniedziałku do piątku w godzinach: 8:00–16:00, tel. 22 257 84 66
e-mail: handlowy@avt.pl, tel. 22 257 84 51 (w godzinach: 9:00–15:00)

http://sklep.avt.pl

eprasa.pl b4234fed20

Programowanie ATmega4808 oraz ATmega4809 w środowisku Arduino IDE

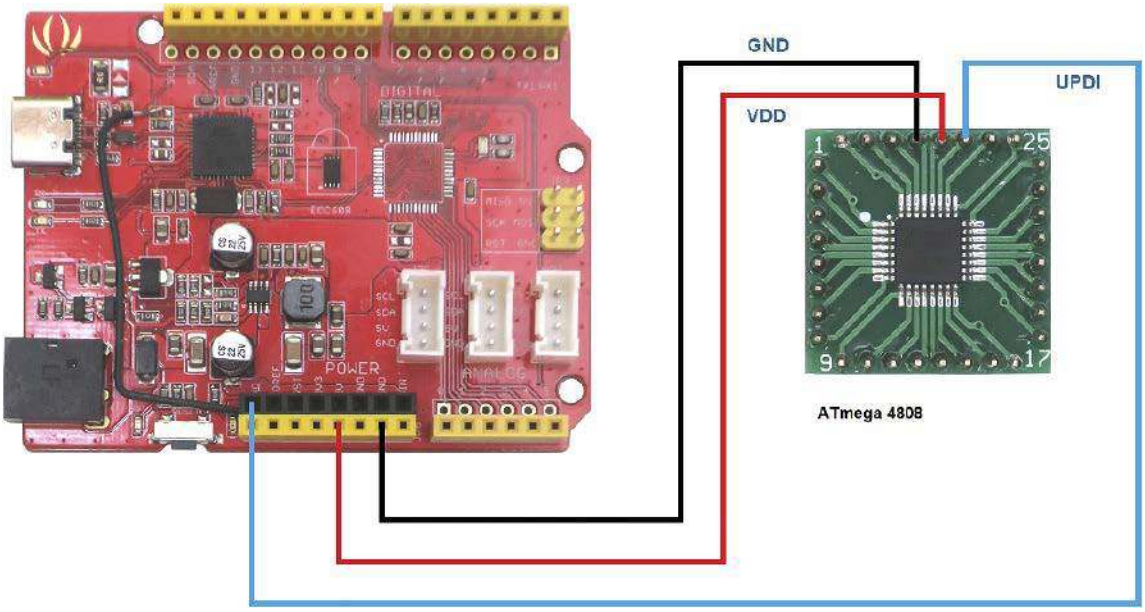
Mikrokontrolery ATmega4808 oraz ATmega4809 wydają się godnymi następcami sławnej 328-ki. Większy rozmiar pamięci Flash i SRAM (odpowiednio 48 kB i 6 kB, większa liczba dostępnych przerwań), akceptacja zarówno 3,3 V jak i 5 V, wbudowany generator taktujący umożliwiający pracę z pełną prędkością czyli 16...20 MHz, brak potrzeby instalacji bootloadera a także atrakcyjna cena, czynią te mikrokontrolery idealnymi dla różnorodnych zastosowań.

Problem pojawia się wtedy, gdy chcemy te układy zaprogramować w środowisku Arduino IDE. Jak to zrobić? W internecie znajdują się propozycje użycia płytki Arduino UNO lub NANO w roli wymaganego programatora UPDI. Wiąże się to z koniecznością uprzedniego zaprogramowania wybranej płytki oraz instalacją zewnętrznych bibliotek, a także wykonaniem kilku połączeń. Sądząc po komentarzach umieszczonych na listach dyskusyjnych, skuteczność powyższego rozwiązania jest wątpliwa – mi ani razu nie udało się w ten sposób zaprogramować żadnego mikrokontrolera.

Rozwiązanie problemu

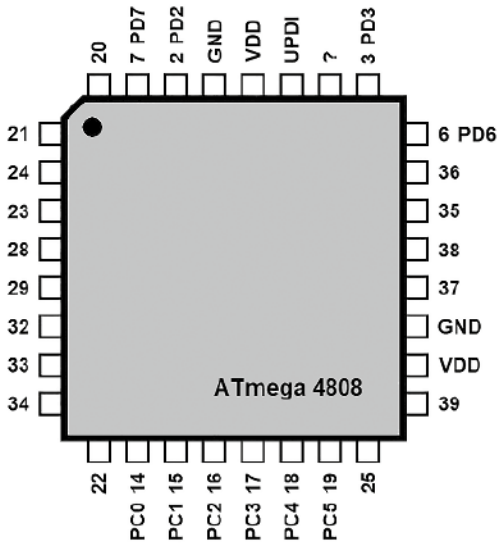
Pomysłem na rozwiązanie problemu jest zakup płytki zgodnej z Arduino Every lub Arduino UNO Wi-Fi Rev2 koniecznie wyposażonej w jeden z tytułowych mikrokontrolerów, następnie wylutowanie tego mikrokontrolera i podłączenie własnego, który chcemy zaprogramować. Do połączenia wystarczą tylko trzy przewody – GND, VDD oraz UPDI. Pierwszą płytką, którą poddałem modyfikacji była płytka Seeeduino Crypto bazująca na układzie ATmega4809 i zgodna z Arduino UNO Wi-Fi Rev2. W celu ułatwienia wykonywania połączeń między płytką a programowanym układem, dostępny pad połączony z nóżką UPDI wylutowanego układu poprowadziłem do nieużywanego wolnego złącza Gold Pin (**rysunek 1**).

Kolejnym krokiem jest wybranie w menu Narzędzia → Płytka: Arduino UNO Wi-Fi Rev2. W menu Narzędzia → Register emulation wybrałem ATMEGA328. Tak, to nie pomyłka. Po wybraniu ATMEGA328 zamiast ATMEGA4809 uzyskujemy bezpośredni dostęp do portów, dzięki czemu możemy wyeliminować potrzebę korzystania z instrukcji *digitalWrite* a tym samym znacząco zwiększyć prędkość operacji



Rysunek 1. Schemat połączenia nowego programatora i umieszczonego na przejściówce SMD-DIP mikrokontrolera ATmega4808

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 2. Oznaczenia wyprowadzeń (pinout) dla mikrokontrolera ATmega4808 programowanego przy użyciu programatora typu Arduino UNO Wi-Fi Rev2 wraz z numeracją portów C i D

na rejestrach. Wadą wyboru trybu emulacji ATMEGA328 jest całkowita zmiana numeracji pinów i konieczność odszukania tych których potrzebujemy.

Czy za pomocą płytki Seeeduino Crypto, która była wyposażona w ATmega4809 można programować również układy ATmega4808? Jest to możliwe. W tym celu należy dokonać drobnych zmian w pliku konfiguracyjnym *avrdude.conf* znajdującym się w katalogu podobnym do:

C:\Users\nazwa_uzytkownika\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avrdude\6.3.0-arduino17/etc/avrdude.conf

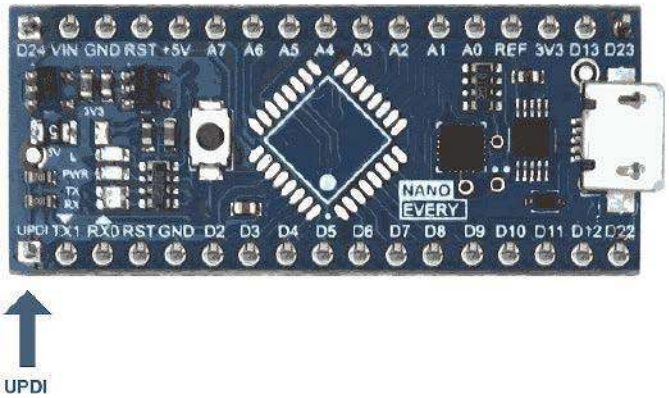
Należy odszukać w sekcjach ATmega4808 oraz ATmega4809 linie zawierające sygnatury mikrokonrolerów odpowiednio:

signature = 0x1E 0x96 0x50;

oraz

signature = 0x1E 0x96 0x51;

i zamienić je miejscami. Ponowne uruchomienie Arduino IDE nie jest konieczne. Podana powyżej ścieżka jest właściwa dla systemu operacyjnego Windows.



Rysunek 3. Modyfikacja płytki wyposażonej w mikrokontroler ATmega4808 zgodnej z Arduino Every sprowadza się do wylutowania układu

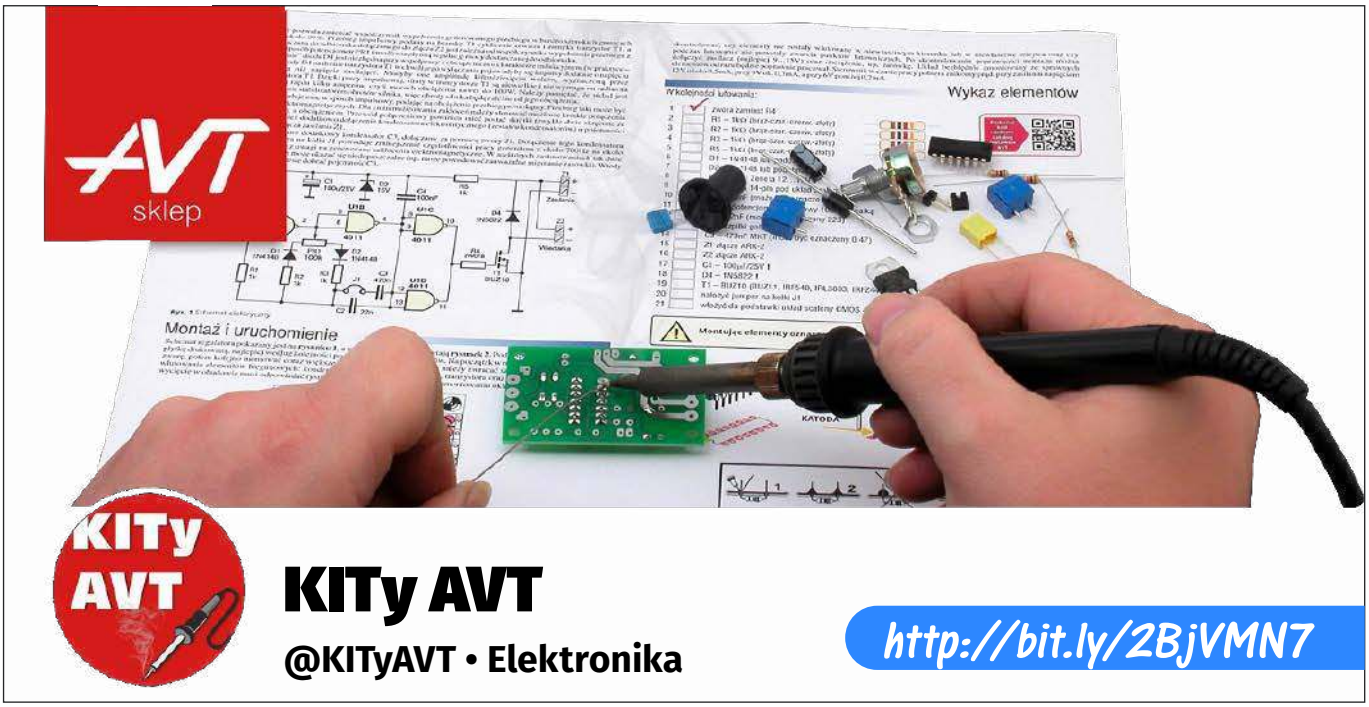
Na **rysunku 2** został pokazany pinout mikrokontrolera ATmega4808 programowanego przy użyciu programatora typu Arduino UNO Wi-Fi Rev2 wraz z numeracją portów C i D. Należy zwrócić uwagę, że dla programatora typu Arduino Every pinout będzie inny. Modyfikacja drugiej płytki czyli typu Arduino Every na potrzeby programatora UPDI sprowadza się do wylutowania mikrokontrolera ATmega4808. A to wszytko dzięki temu, że pin UPDI ma już własne wyprowadzenie na płytce (**rysunek 3**). Płytka również sprawdza się w roli programatora ATmega4809. Należy jednak pamiętać o przywróceniu zmian dokonanych we wspomnianym pliku *avrdude.conf*, a także wybraniu w menu Narzędzia → Płytka: Arduino Every i Narzędzia → Register emulation: ATMEGA328. Powyższe modyfikacje zostały przetestowane w aktualnym środowisku Arduino IDE 1.8.13.

Podsumowanie

Nagrodą za udaną przeróbkę jest kosztujący kilkadziesiąt złotych programator oraz wylutowany mikrokontroler do ponownego wykorzystania. Wymaga to jednak zachowania szczególnej ostrożności i oczyszczenia padów po wylutowanym układzie, tak aby nie pozostawić żadnych zwarć. Jednak zaznaczam, że modyfikacje z pewnością spowodują utratę gwarancji i są dokonywane na własne ryzyko.

Piotr Chodnicki
piotr@akademia.warszawa.pl

REKLAMA



eprasa.pl b4234fed20

Bez programowania Androida

Projekt z użyciem BLE i aplikacją mobilną (2) Od pomysłu, do finału

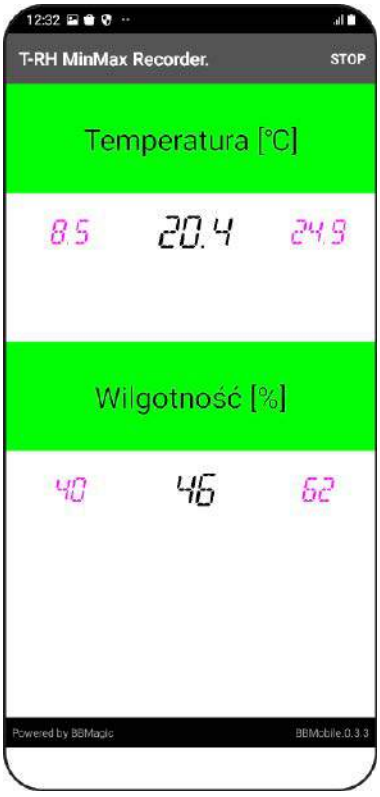
W artykule prezentujemy proces powstawania urządzenia elektronicznego, działającego z interfejsem mobilnym na ekranie smartfona. Co ciekawe – nie ma potrzeby pisania aplikacji dla systemu Android, graficzny interfejs użytkownika utworzy i obsłuży samo urządzenie.

W poprzedniej części publikacji pokonaliśmy pierwsze podejście. Dzięki platformie Arduino i modułowi BBMobile szybko i sprawnie przygotowaliśmy narzędzia do projektowania i testowania interfejsów mobilnych. Zbudowaliśmy też pierwsze wersje interfejsów, które wyświetlają wartości aktualne, maksymalne i minimalne wilgotności oraz temperatury. Pora teraz na implementację kodu, który zaprezentuje informacje na ekranie urządzenia mobilnego.

Koncepcja oprogramowania

Testowe oprogramowanie przygotowane dla Arduino buduje interfejs pokazany na **rysunku 1**. Wyświetla wartości bieżące, maksymalne i minimalne temperatury oraz wilgotności. Kod programu składa się z trzech głównych elementów:

- Zmiennych i danych globalnych;
- Funkcji *setup()* inicjalizującej kontroler i peryferia oraz konfigurującej moduł BBMobile;
- Funkcji *loop()* wykonującej pomiary, rejestrującej wartości min/max, obsługującej nadchodzące połączenia, tworzącej interfejs graficzny i odświeżającej prezentowane informacje.



Rysunek 1. Wygląd interfejsu testowego programu

Zmienne, definicje i kod JSON w tablicy pamięci programu

Na **listingu 1** jako pierwszy element zdefiniowano tablicę w pamięci flash, która zawiera kod JSON zaprojektowanego w poprzedniej części publikacji interfejsu graficznego. Zawartość tej tablicy zostanie wysłana do aplikacji BBMobile za pomocą funkcji `BBMobileSendJson(&BBM_SERIAL, AppJson)`, tuż po nawiązaniu połączenia bluetooth. Warto zauważyć, że kontrolka o nazwie t wyświetla aktualną wartość temperatury, `tm` minimalną, a `tx` maksymalną. Analogicznie rzecz ma się w przypadku wilgotności: `h` – aktualna wartość, `hm` – minimalna, `hx` – maksymalna wartość. Znajomość nazw tych kontrolek jest niezbędna, ponieważ polecenia sterujące po zbudowaniu interfejsu muszą zawierać nazwę kontrolki, do której zapisywać będziemy nową wartość.

Poprzedni odcinek znajduje się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

Kolejnymi elementami, które definiujemy poniżej są dwa porty szeregowe:

1. MON_SERIAL – sprzętowy port, używany jako monitor, do przesyłania informacji, które następnie zostaną wyświetlone w oknie Serial Monitora na komputerze;
2. BBM_SERIAL – programowy port szeregowy do komunikacji z modułem BBMobile.

Dalej zdefiniowane są piny programowego portu szeregowego, oraz piny, które dostarczą napięcia zasilającego dla modułu BBMobile. Dzięki temu, że pobiera on niewielkie ilości energii możliwe jest jego wygodne zasilenie wprost z portu mikrokontrolera.

Poniżej zdefiniowano jeszcze stany w jakich może znajdować się maszyna działająca w głównej części programu, co opisane zostało poniżej. Na końcu znajdują się deklaracje zmiennych, które przechowują: bieżący stan maszyny, aktualne, minimalne i maksymalne wartości temperatury oraz wilgotności, a także zmienna `timer` do zliczania obiegów głównej pętli programu i zarazem odmierzania czasu.

eprasa.pl b4234fed20

Listing 1. Fragment kodu programu zawierający kod JSON zaprojektowanego interfejsu graficznego oraz najważniejsze definicje

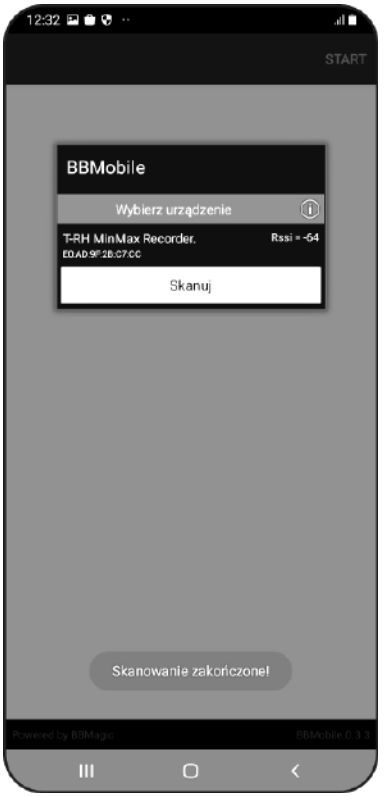
```
// JSON definition of mobile interface - it is size optimized
const char AppJson[] PROGMEM ="{\"ty\":\"lout\",\"or\":\"V\",\"cs\":[\
{\"ty\":\"Textview\",\"te\":\"\nTemperatura [\u2103]\",\"tc\":\"0,0,0\",\"bg\":\"0,255,0\",\"ts\":\"30\"},\
{\"ty\":\"Lout\",\"or\":\"H\",\"cs\":[\
{\"ty\":\"Textview\",\"n\":\"tm\",\"tc\":\"150,0,150\",\"ts\":\"30\",\"tf\":\"02\"},\
{\"ty\":\"Textview\",\"n\":\"t\",\"tc\":\"0,0,0\",\"ts\":\"40\",\"tf\":\"02\"},\
{\"ty\":\"Textview\",\"n\":\"tx\",\"tc\":\"150,0,150\",\"ts\":\"30\",\"tf\":\"02\"}]},\
{\"ty\":\"Textview\",\"tc\":\"0,0,0\",\"ts\":\"30\"},\
{\"ty\":\"Textview\",\"te\":\"\nWilgotno\u015B\u0107 [%]\",\"tc\":\"0,0,0\",\"bg\":\"0,255,0\",\"ts\":\"30\"},\
{\"ty\":\"Lout\",\"or\":\"H\",\"cs\":[\
{\"ty\":\"Textview\",\"n\":\"hm\",\"tc\":\"150,0,150\",\"ts\":\"30\",\"tf\":\"02\"},\
{\"ty\":\"Textview\",\"n\":\"h\",\"tc\":\"0,0,0\",\"ts\":\"40\",\"tf\":\"02\"},\
{\"ty\":\"Textview\",\"n\":\"hx\",\"tc\":\"150,0,150\",\"ts\":\"30\",\"tf\":\"02\"}]},\
{\"ty\":\"Textview\",\"w\":\"5\"}]}" ;

// define Serial Monitor Port and BBMobile Serial Port
#define MON_SERIAL    Serial
#define BBM_SERIAL    bbmSerial

// software serial port for communication with BBMobile module
#define BBM_SERIAL_RX      2
#define BBM_SERIAL_TX      3
SoftwareSerial bbmSerial(BBM_SERIAL_RX, BBM_SERIAL_TX); // RX, TX

//PINS for BBMobile powering
#define BBMOBILE_GND_PIN       4
#define BBMOBILE_POWER_PIN     5

// state variable values
#define S_START          0
#define S_WAIT_CONN      1
#define S_CONNECTED      2

int state ;
unsigned int timer ;
unsigned int rh, rh_min, rh_max ;
float t, t_min, t_max ;
```

Inicjalizacja, ustawienie nazwy urządzenia i hasła dostępu

Zajrzyjmy teraz w jaki sposób nasze urządzenie po włączeniu zasilania przygotowuje się do pracy. Na **listingu 2** mamy zawartość funkcji *setup()* przeznaczonej w koncepcji Arduino do inicjalizacji urządzenia. W pierwszej kolejności następuje odpowiednie ustawienie pinów, aby mogły pełnić zaplanowane funkcje. Następnie konfigurowane są porty szeregowe, a ich prędkość transmisji ustawiana jest na 9600 baud. Rezerwowany jest też w pamięci RAM obszar o rozmiarze 100 bajtów dla bufora `bbm_buf`. Bufor ten służy do przechowywania komunikatów pochodzących od modułu BBMobile.

Listing 2. Zawartość funkcji setup() przeznaczonej w koncepcji Arduino do inicjalizacji urządzenia

```
void setup(){
  // initialize digital pin LED_BUILTIN as an output
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT) ;

  // for powering BBMobile from defined pins
  pinMode(BBMOBILE_GND_PIN, OUTPUT) ;
  digitalWrite(BBMOBILE_GND_PIN, LOW);     //-GND for BBMobile module
  pinMode(BBMOBILE_POWER_PIN, OUTPUT) ;
  digitalWrite(BBMOBILE_POWER_PIN, HIGH); //-VCC for BBMobile module

  // set data rate for Monitor Serial port
  MON_SERIAL.begin(9600) ;
  while(!MON_SERIAL) ;

  // set data rate for BBmagic Serial Port
  BBM_SERIAL.begin(9600) ;
  while(!BBM_SERIAL) ;
  // reserve the number of bytes in memory for BBMobile data
  bbm_buf.reserve(100) ;

  MON_SERIAL.println("\n\nT-RH Recorder START") ;

  //-check serial communication with BBMobile module
  //-----------------------------------------------
  MON_SERIAL.println("Searching for BBMobile") ;
  do {
    MON_SERIAL.print(".") ;
    digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);   //-turn the LED on
    delay(500) ;
    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);    //-turn the LED off
    delay(500);
  }while(BBMobileSendWaitAck(&BBM_SERIAL, "<hello")) ;
  MON_SERIAL.println("FOUND") ;

  //-set BBMobile modules name
  //---------------------------------
  MON_SERIAL.print("Setting mobile name - ") ;
  if(BBMobileSendWaitAck(&BBM_SERIAL, "<name,T-RH MinMax Recorder")){
    MON_SERIAL.println("err") ;
  }else MON_SERIAL.println("OK") ;

  //-set BBMobile modules PIN
  //--------------------------------
  MON_SERIAL.print("Setting PIN - ") ;
  if( BBMobileSendWaitAck(&BBM_SERIAL, "<pin,234") ){  //-set PIN to 234
  //MON_SERIAL.print("Setting no PIN - ") ;
  //if( BBMobileSendWaitAck(&BBM_SERIAL, "<pin,0") )  //-delete PIN
    MON_SERIAL.println("err") ;
  }else MON_SERIAL.println("OK") ;

  //-init values
  t= get_t() ;
  t_min= t_max= t ;

  rh= get_rh() ;
  rh_min= rh_max= rh ;
}
```

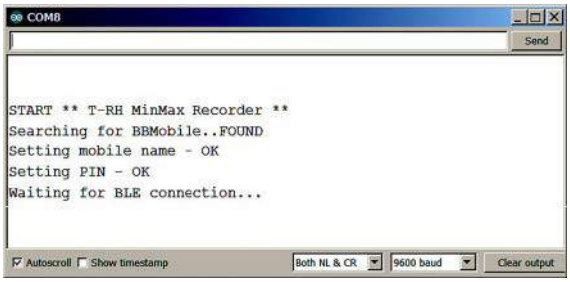


Rysunek 2. Skanowanie w poszukiwaniu dostępnych urządzeń Bluetooth

Po tych wstępnych ustawieniach kontroler sprawdza w pętli, czy komunikacja z BBMobile działa poprawnie. Pętla jest opuszczana dopiero wówczas gdy funkcja `BBMobileSendWaitAck(&BBM_SERIAL, "<hello")` zwróci wartość zero, co oznacza, że na wysłane pozdrowienie `<hello` nadeszła odpowiedź `>HI`. Po opuszczeniu pętli następuje krótka konfiguracja modułu. Najpierw ustawiamy nazwę urządzenia, która pojawi się na liście wyboru w aplikacji podczas skanowania w poszukiwaniu dostępnych urządzeń Bluetooth (**rysunek 2**). Dokonujemy tego wysyłając komendę `<name,T-RH MinMax Recorder` za pomocą funkcji `BBMobileSendWaitAck(&BBM_SERIAL, "<name,T-RH MinMax Recorder")`.

W kolejnym kroku możemy ustawić kod PIN, którego podanie będzie konieczne podczas zestawiania połączenia. Robimy to wysyłając polecenie `<pin,234` i w tym przypadku kod dostępu to '234'. Stosowna funkcja to `BBMobileSendWaitAck(&BBM_SERIAL,`

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 3. Komunikat informujący o rozpoczęciu oczekiwania na zestawienie połączenia

"<pin,234"). Aby usunąć zabezpieczenie kodem pin konieczne jest wysłanie komendy <pin,0.

Na koniec wykonujemy pomiar aktualnej temperatury oraz wilgotności i ustawiamy minimalne i maksymalne wartości. Na tym możemy zakończyć przygotowania do działania naszego prostego rejestratora. Na **rysunek 3** zostały pokazane komunikaty, które pojawiły się w oknie Serial Monitora po wykonaniu omówionej części kodu. Widzimy tam potwierdzenia realizacji kolejnych omówionych powyżej etapów: sprawdzenie komunikacji z modułem BBMobile, ustawienie nazwy urządzenia i kodu zabezpieczającego. Zajmijmy się teraz najciekawszą, główną częścią programu.

Listing 3. Pierwsza część kodu głównej pętli programu

```
DELAY(50) ;
TIMER++ ;

// LED BLINKING
IF(TIMER ==4) DIGITALWRITE(LED_BUILTIN, LOW) ;  //-TURN THE LED OFF
IF(TIMER > 20) {
  TIMER =0 ;
  DIGITALWRITE(LED_BUILTIN, HIGH);  //-TURN THE LED ON

  //-READ TEMPERATURE:
  T= GET_T() ;
  // CALCULATE NEW MIN AND MAX TEMPERATURES
  IF(T_MIN > T) T_MIN= T ;
  IF(T_MAX < T) T_MAX= T ;

  //-READ HUMIDITY:
  RH= GET_RH() ;
  // CALCULATE NEW MIN AND MAX RH
  IF(RH_MIN > RH) RH_MIN= RH ;
  IF(RH_MAX < RH) RH_MAX= RH ;
}
```

Pomiary, rejestracja min/max i sygnalizacja LED

Pierwsza część kodu głównej pętli programu została zawarta na **listingu 3**. Dzięki instrukcji delay(50) pętla wykonywana jest ok. 20 razy na sekundę, a każdorazowo inkrementowana zmienna timer pozwala zliczać jej przebiegi i odmierzać dłuższe odcinki czasu. Dalej znajduje się kod, który co 1 sekundę wykonuje pomiary, uaktualnia wartości maksymalne i minimalne oraz sygnalizuje diodą LED poprawne działanie urządzenia. Zadania te wykonywane są niezależnie

Listing 4. Druga część kodu głównej pętli programu

```
SWITCH(STATE){
  CASE S_START:
    MON_SERIAL.PRINT("WAITING FOR BLE CONNECTION...") ;
    STATE =S_WAIT_CONN ;
  BREAK ;

  CASE S_WAIT_CONN: //-NO BLE CONNECTION - WAITING
    BBMOBILEGETMESSAGE(&BBM_SERIAL) ;
    IF(BBMOBILEISCONNECTED() != 0){
      MON_SERIAL.PRINT("APP CONNECTED\NSENDING JSON...") ;
      IF(BBMOBILESENDJSON(&BBM_SERIAL, APPJSON)){
        MON_SERIAL.PRINTLN("ERR") ;
      }ELSE{
        MON_SERIAL.PRINTLN("OK\NPLAYING WITH INTERFACE...") ;
      }
      STATE =S_CONNECTED ;
    }
  BREAK ;

  CASE S_CONNECTED: //-CONNECTED TO MOBILE APP
    //-GET MESSAGES FROM MOBILE INTERFACE
    //-------------------------------------
    WHILE(BBMOBILEGETMESSAGE(&BBM_SERIAL) > 0){} ;

    IF(BBMOBILEISCONNECTED() == 0){
      MON_SERIAL.PRINTLN("APP DISCONNECTED") ;
      STATE =S_START ;
    }ELSE{
      //-SEND DATA TO MOBILE INTERFACE
      //-------------------------------------
      IF(TIMER ==2){
        BBMOBILESENDWAITACK(&BBM_SERIAL, "$SET,TM:TE=\""+STRING(T_MIN, 1)+"\",T:TE=\""+STRING(T, 1)+"\",TX:TE=\""+STRING(T_MAX, 1)+"\"") ;
        BBMOBILESENDWAITACK(&BBM_SERIAL, "$SET,HM:TE=\""+STRING(RH_MIN, DEC)+"\",H:TE=\""+STRING(RH, DEC)+"\",HX:TE=\""+STRING(RH_MAX, DEC)+"\"") ;
      }
    }
  BREAK ;

  DEFAULT:
  BREAK ;
} ;

CONST CHAR APPJSON[] PROGMEM ="{\"TY\":\"LOUT\",\"OR\":\"V\",\"CS\":[\
{\"TY\":\"TEXTVIEW\",\"TE\":\"\NTEMPERATURA [\U2103]\",\"TC\":\"0,0,0\",\"BG\":\"0,255,0\",\"TS\":\"30\"},\
{\"TY\":\"LOUT\",\"OR\":\"H\",\"CS\":[\
{\"TY\":\"TEXTVIEW\",\"N\":\"TM\",\"TC\":\"150,0,150\",\"TS\":\"30\",\"TF\":\"02\"},\
{\"TY\":\"TEXTVIEW\",\"N\":\"T\",\"TC\":\"0,0,0\",\"TS\":\"40\",\"TF\":\"02\"},\
{\"TY\":\"TEXTVIEW\",\"N\":\"TX\",\"TC\":\"150,0,150\",\"TS\":\"30\",\"TF\":\"02\"}]},\
{\"TY\":\"TEXTVIEW\",\"TC\":\"0,0,0\",\"TS\":\"30\"},\
{\"TY\":\"TEXTVIEW\",\"TE\":\"\NWILGOTNO\U015B\U0107 [%]\",\"TC\":\"0,0,0\",\"BG\":\"0,255,0\",\"TS\":\"30\"},\
{\"TY\":\"LOUT\",\"OR\":\"H\",\"CS\":[\
{\"TY\":\"TEXTVIEW\",\"N\":\"HM\",\"TC\":\"150,0,150\",\"TS\":\"30\",\"TF\":\"02\"},\
{\"TY\":\"TEXTVIEW\",\"N\":\"H\",\"TC\":\"0,0,0\",\"TS\":\"40\",\"TF\":\"02\"},\
{\"TY\":\"TEXTVIEW\",\"N\":\"HX\",\"TC\":\"150,0,150\",\"TS\":\"30\",\"TF\":\"02\"}]},\
{\"TY\":\"TEXTVIEW\",\"W\":\"5\"}]}" ;

{"TY":"LOUT","OR":"V","CS":[
{"TY":"TEXTVIEW","TE":"\NTEMPERATURA [\U2103]","TC":"0,0,0","BG":"0,255,0","TS":"30"},
{"TY":"LOUT","OR":"H","CS":[
{"TY":"TEXTVIEW","N":"TM","TE":"19,2","TC":"150,0,150","TS":"30","TF":"02"},
{"TY":"TEXTVIEW","N":"T","TE":"20,1","TC":"0,0,0","TS":"40","TF":"02"},
{"TY":"TEXTVIEW","N":"TX","TE":"23,8","TC":"150,0,150","TS":"30","TF":"02"}]},
{"TY":"TEXTVIEW","TC":"0,0,0","TS":"30"},
{"TY":"TEXTVIEW","TE":"\NWILGOTNO\U015B\U0107 [%]","TC":"0,0,0","BG":"0,255,0","TS":"30"},
{"TY":"LOUT","OR":"H","CS":[
{"TY":"TEXTVIEW","N":"HM","TE":"45 %","TC":"150,0,150","TS":"30","TF":"02"},
{"TY":"TEXTVIEW","N":"H","TE":"55 %","TC":"0,0,0","TS":"40","TF":"02"},
{"TY":"TEXTVIEW","N":"HX","TE":"59 %","TC":"150,0,150","TS":"30","TF":"02"}]},
{"TY":"TEXTVIEW","W":"5"}]}
```


eprasa.pl b4234fed20

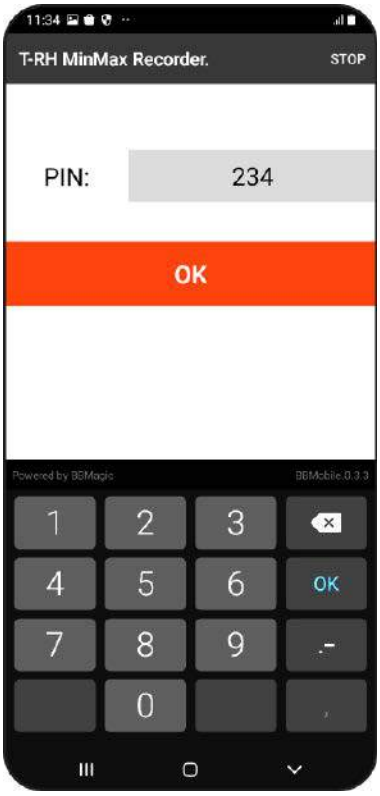
od tego czy połączenie z aplikacją mobilną jest zestawione czy też nie. Dzięki temu wartości maksymalne i minimalne rejestrowane są ciągle, a po połączeniu z rejestratorem na ekranie smartfona dostępne są najświeższe wykonane pomiary. Implementacja funkcji pomiarowych `get_t()` i `get_rh()` zależy oczywiście od zastosowanego układu pomiarowego. W naszym przypadku ich implementowanie byłoby bezcelowe, ponieważ łatwe przeniesienie kodu na platformę docelową nie jest możliwe. Poza tym w tej części projektu kładziemy nacisk na przygotowanie interfejsu mobilnego i jego obsługi.

Maszyna stanów głównej pętli programu

Druga część kodu głównej pętli programu pokazana jest na **listingu 4**. Implementuje maszynę stanów utworzoną w oparciu o instrukcję `switch()`, która realizuje budowę i obsługę mobilnego interfejsu użytkownika. Kod maszyny wykonywany jest przy każdym obiegu pętli głównej, co 50 milisekund. Zmienna `state` przechowuje aktualny stan maszyny czyli określa, która część kodu zostanie wykonana przy aktualnym obiegu pętli. Może przyjmować jedną z trzech wartości: `S_START`, `S_WAIT_CONN` lub `S_CONNECTED`. Maszyna rozpoczyna swoje działanie od stanu `S_START`, w którym wysyła do Serial Monitora komunikat informujący o rozpoczęciu oczekiwania na zestawienie połączenia (rysunek 3).

Zestawienie połączenia i budowanie interfejsu

Najwięcej czasu maszyna spędza wykonując kod stanu `S_WAIT_CONN`, gdzie oczekuje, aż użytkownik nawiąże połączenie. Najpierw za pomocą funkcji `BBMobileGetMessage(&BBM_SERIAL)` sprawdza czy nadeszły nowe dane od modułu BBMobile. Kolejno wywoływana funkcja `BBMobileIsConnected()` sprawdza czy połączenie bluetooth zostało zestawione. Po uruchomieniu na urządzeniu mobilnym aplikacji BBMobile dotykamy START w prawym górnym rogu. Wybieramy z listy nasze urządzenie (rysunek 2) i wprowadzamy PIN (**rysunek 4**). Gdy jest on poprawny wówczas połączenie zostanie zestawione, a funkcja zwróci wartość jeden, co implikuje konieczność zbudowania interfejsu.



Rysunek 4. Okno służące wprowadzeniu kodu PIN

Wówczas, zapisany w tablicy `const char AppJson[] PROGMEM` kod JSON jest niezwłocznie wysyłany za pomocą funkcji `BBMobileSendJson(&BBM_SERIAL, AppJson)`. **Rysunek 5** pokazuje kolejne komunikaty, które pojawiły się w oknie Serial Monitora po połączeniu i zbudowaniu interfejsu. Wygląd ekranu smartfona prezentuje znany nam już rysunek 1, a programowa maszyna przechodzi do kolejnego stanu, w którym zajmie się aktualizowaniem wyświetlanych przez interfejs informacji.

Rysunek 5. Komunikaty, które pojawiły się w oknie Serial Monitora po połączeniu i zbudowaniu interfejsu

Rysunek 6. Powrót maszyny do pierwszego stanu jest sygnalizowane odpowiednim komunikatem

Cykliczne aktualizowanie wyświetlanych wartości

W stanie `S_CONNECTED` przy każdym obiegu pętli głównej za pomocą funkcji `BBMobileGetMessage(&BBM_SERIAL)` odbieramy nadchodzące dane. Następnie przy użyciu `BBMobileIsConnected()` sprawdzamy czy połączenie z aplikacją jest nadal zestawione. Jeśli tak, to co sekundę (`if(timer ==2)`) wysyłamy do interfejsu dwie komendy, które aktualizują wszystkie sześć wyświetlanych wartości. Składnia komend sterujących zaprezentowana została w poprzedniej części cyklu, a więcej informacji można znaleźć na witrynie www.bbmagic.net. W tym kodzie wartości zmiennych `t_min`, `t`, `t_max`, `rh_min`, `rh`, oraz `rh_max` zamieniamy na ciągi tekstowe za pomocą funkcji `String(..)`. Następnie umieszczamy je w tekstowej komendzie BBMobile i wysyłamy do interfejsu funkcją `BBMobileSendWaitAck(..)`. W ten sposób informacje na ekranie smartfona są odświeżane co sekundę.

Wysyłanie kolejnych poleceń sterujących dla zbudowanego interfejsu jest kontynuowane do chwili naciśnięcia w aplikacji przycisku STOP, co spowoduje zamknięcie połączenia i zwrócenie wartości zero przez funkcję `BBMobileIsConnected()`. Wówczas następuje wyświetlenie komunikatu *App disconnected* i wpisanie do zmiennej `state` wartości `S_START`. Spowoduje to, w kolejnym obiegu głównej pętli programu, powrót maszyny do pierwszego stanu i wysłanie na ekran monitora kolejnego komunikatu, jak pokazuje **rysunek 6**. Nasza maszyna jest znów gotowa na zestawienie nowego połączenia. Gdy to nastąpi cały proces budowania i obsługi interfejsu powtórzy się na nowo.

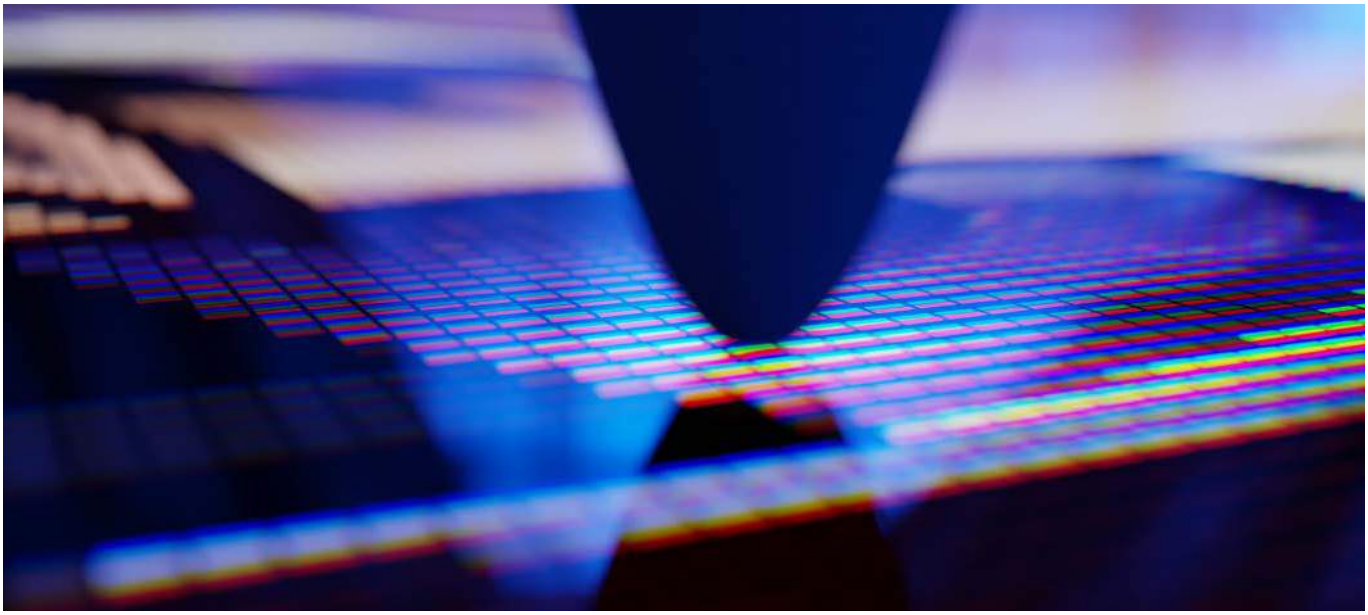
Co pozostało do zrobienia

W kolejnej, ostatniej już części publikacji, rozbudujemy kod JSON interfejsu tak, aby spełniał wszystkie początkowe założenia, omówimy docelową platformę sprzętową i zaprezentujemy działanie finalnego programu.

Mariusz Żądło

https://www.facebook.com/ElektronikaPraktyczna

eprasa.pl b4234fed20



Interaktywny dotyk,

czyli jak komunikować się z urządzeniem

Panele dotykowe stają się obecnie jednym z najpopularniejszych pośredników w komunikacji pomiędzy człowiekiem a maszyną znajdującą się w przestrzeni miasta. Nieważne czy będziemy kupować bilet komunikacji miejskiej, zamawiać lunch w restauracji fast food, wypłacać pieniądze z bankomatu lub też odbierać przesyłkę czy płacić za zakupy. Co sprawia, że wciąż zyskują na popularności? Jakie możliwości oferują projektantom urządzeń? I w końcu jak sprawić by panele dotykowe stały się (bez) dotykowe?

Więcej informacji:
Unisystem sp. z o.o.
80-299 Gdańsk, ul. Nowy Świat 36
tel. +48 58 761 54 20
sprzedaz@unisystem.pl, www.unisystem.pl

Zacznijmy od podstaw. Moduł dotykowy tworzą dwa kluczowe komponenty – wyświetlacz i sensor. Wielu dostawców oferuje gotowe, standardowe rozwiązania, które można praktycznie od razu zamontować w urządzeniu końcowym. Jednak warto rozważyć alternatywną opcję, czyli zaprojektowanie spersonalizowanego produktu o indywidualnie kształtowanych parametrach dostosowanych do urządzenia końcowego i środowiska w jakim będzie ono pracowało.

Czytelnie

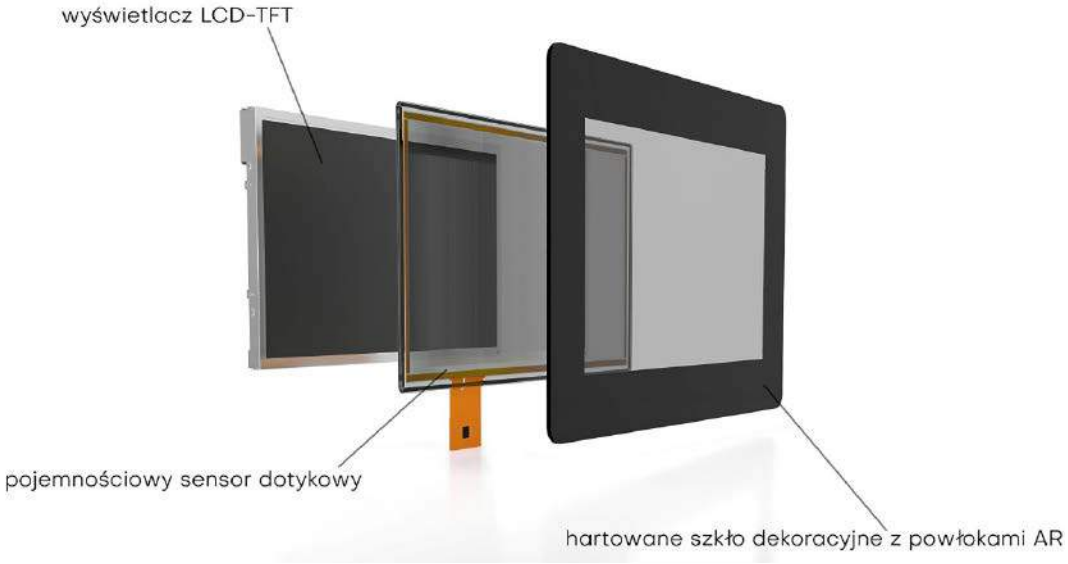
W aplikacjach dotykowych najczęściej stosowane są wyświetlacze LCD TFT. Wybierając model, który znajdzie się w naszym projekcie musimy uwzględnić szereg parametrów, które określa się w odniesieniu do warunków pracy urządzenia. Są to m.in. jasność, temperatura pracy, a także interfejsy komunikacyjne i zastosowane technologie, np. hiTNI – zapobiegająca powstawaniu czarnych plam na ekranach umiejscowionych w nasłonecznionych lokalizacjach.

Niezawodnie

Na rynku dostępnych jest kilka technologii dotykowych, m.in. rozwiązania pojemnościowe, które cieszą się coraz większą popularnością. Zasada ich działania opiera się na wykrywaniu zakłóceń pola elektrostatycznego, które zostaje zaburzone przez dotyk obiektów przewodzących prąd, takich jak palce czy rysik. Warto podkreślić, że panele dotykowe mogą być również dostosowywane do warunków w jakich będą pracować. W niektórych projektach kluczowe mogą okazać się takie ulepszenia jak tryb *water rejection* (wykrywający obecność wody na powierzchni panelu), *palm rejection* (wykrywający obecność większych obiektów na powierzchni panelu), funkcje *noise detection* czy *frequency hopping*, które w czasie rzeczywistym dostosowują działanie modułu do warunków środowiska nawet przy częstych zmianach intensywności szumów.

Fotografia 1. Szkło dekoracyjne z nadrukowaną fotorealistyczną grafiką

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 1. Wyświetlacz z panelem dotykowym wyposażony w ochronną taflę z hartowanego szkła z dodatkową powłoką AR

Oryginalnie

Nakładanie na wyświetlacz z panelem dotykowym tafli hartowanego szkła nie tylko chroni cały moduł, ale także nadaje projektowanemu urządzeniu unikalny wygląd. Szkło może przybrać dowolne kształty oraz barwy, co sprawi, że nie tylko dopasuje się np. do kolorów firmowych, ale także wyróżni się na tle standardowych rozwiązań. Dzięki rozwojowi technik drukarskich na szkło możemy nanosić nawet fotorealistyczne grafiki (**fotografia 1**).

Bezpiecznie

Aby zwiększyć komfort użytkowników korzystających z projektowanego urządzenia można dodatkowo zastosować szereg powłok (**rysunek 1**), np. *anti-glare* (AG) i *anti-reflective* (AR), które redukują odbicia świetlne i poprawiają czytelność prezentowanych treści, *anti-fingerprint* – zapobiegającą przywieraniu zanieczyszczeń czy *anti-shatter*, która ogranicza rozprzestrzenianie się odłamków szkła w przypadku jego uszkodzenia. W obliczu pandemii koronawirusa dodatkową zaletą, a czasem nawet koniecznością, stały się powłoki *anti-microbial* (AM), które redukują ilość drobnoustrojów pozostających na powierzchni szkła. Ich skuteczność określana jest na poziomie co najmniej 99,9%, co jest szczególnie ważne w przypadku aplikacji znajdujących się w przestrzeni publicznej i obsługiwanych codziennie przez tysiące osób.

(Bez)Dotykowo

Jednak możemy pójść jeszcze dalej. Ogólnoświatowa pandemia sprawiła, że zaczęliśmy nie tylko utrzymywać dystans społeczny, ale także zwracać uwagę na przedmioty, których dotykamy w ciągu całego dnia i ograniczać ich ilość. Odpowiedzią na globalną sytuację stały się interfejsy bezdotykowe dające użytkownikowi możliwość interakcji z wyświetlaczem bez dotykania go (tzw. *Hover touch*). Rozwiązania tego typu korzystają m.in. z algorytmów sztucznej inteligencji i pozwalają nie tylko wykrywać proste gesty służące do interakcji, ale także przewidywać intencje osoby obsługującej urządzenie. Ich popularność w przestrzeni miejskiej wydaje się być tylko kwestią czasu.

Podsumowanie

Każdy projekt wymaga indywidualnego podejścia i dokładnego przeanalizowania czynników, które wpływają nie tylko na funkcjonowanie modułu i urządzenia jako całości, ale także na wrażenia jego użytkowników.

Jacek Marcinkowski
Project Manager

REKLAMA

Optical Bonding

redukcja odbić światła i lepsza jakość wyświetlanego obrazu

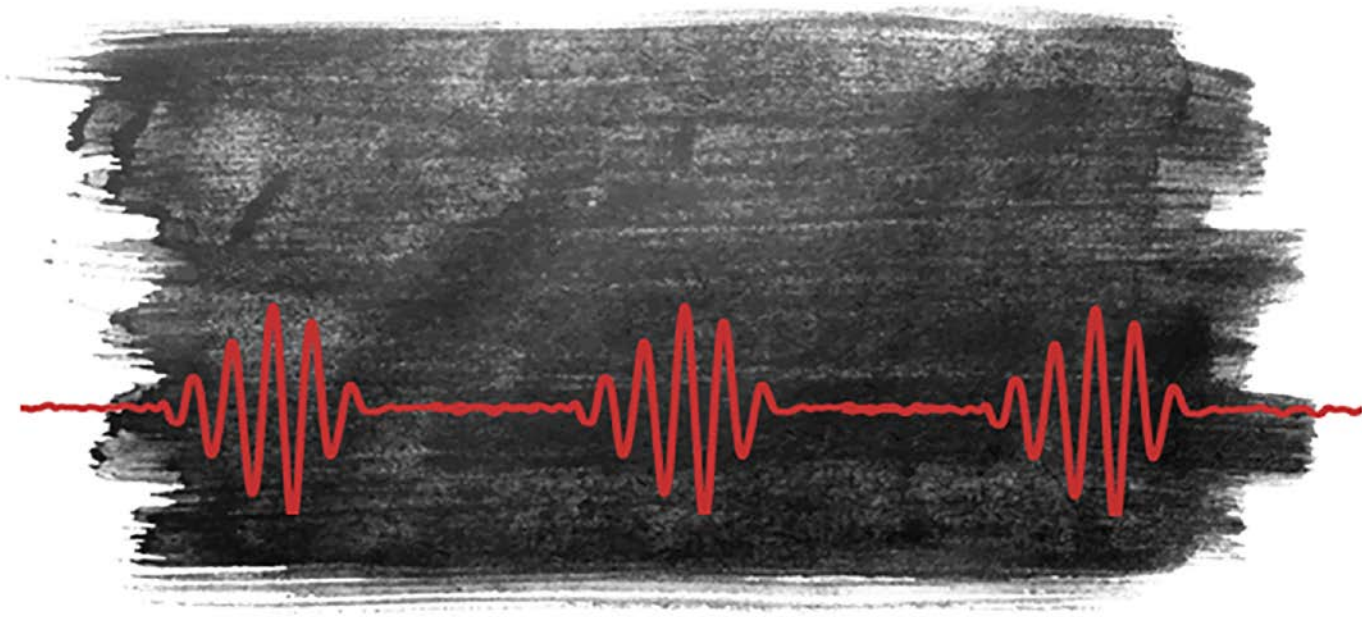
brak kondensacji wilgoci i zabezpieczenie przed kurzem

idealne rozwiązanie do aplikacji medycznych, wojskowych i automatyki przemysłowej

sprawdź na unisystem.pl

UNI SYSTEM
PASSION FOR DISPLAYS

eprasa.pl b4234fed20



Podstawy implementacji systemów sprzężenia haptycznego

Wyobraź sobie, że wyczuwasz palcem kliknięcie wciśniętego przełącznika, lub pociągnięcia pędzla, gdy kończysz swoje arcydzieło, czy też bicie bębna, gdy odgrywasz solówkę na cyfrowym syntezatorze… Takie odczucia pozwalają nam szybko odczytać najważniejsze parametry tych zjawisk, takie jak częstotliwość i intensywność, oraz łatwo określić relacje pomiędzy naszym działaniem, a uzyskanym efektem. W rezultacie, nawet skomplikowany system staje się łatwy i intuicyjny w obsłudze. Podobne rozwiązania mogą być realizowane w urządzeniach cyfrowych. Rozbudowanie interfejsu użytkownika o sprzężenie haptyczne ułatwia jego obsługę i nadaje mu zupełnie nowej funkcjonalności.

Haptyka poprawia wrażenia odczuwane przez użytkownika korzystającego z urządzeń cyfrowych, odwołując się do zmysłu, który jest bardzo często pomijany w interfejsach człowiek-maszyna: dotyku. Dziedzina ta obejmuje różne technologie, które umożliwiają uzupełnienie listy interakcji interfejsu o dodatkowy czynnik niosący informację zwrotną, głównie za pomocą szerokiego wachlarza wibracji. Dzięki temu urządzenia z ekranem dotykowym mogą imitować np. efekt wciskania fizycznych przycisków za każdym razem, gdy dotykany będzie szklany ekran. Jednak można pójść dalej i zapewnić użytkownikowi wrażenie, że jego dłoń spoczywa na rezonującej gitarze, czy dotyka membrany wibrującego bębna. Technologia ta już jest stosowana w wielu produktach konsumenckich, z którymi mamy kontakt na co dzień, takich jak smartfony, tablety czy konsole do gier.

Systemy sprzężenia haptycznego zyskują, też wiele nowych zastosowań, m.in. w produktach medycznych i automatyce przemysłowej. Najważniejsze funkcje systemów haptycznych to:

- uzupełniają interfejsy dotykowe o sprzężenie zwrotne,
- wytwarzają unikatowe doznania podczas interakcji z urządzeniem i jego interfejsem dotykowym,
- realizują funkcję potwierdzania naciśnięcia przycisku czy też wykonania innej operacji na interfejsie dotykowym urządzenia,
- zwiększają prędkość pisania przy użyciu klawiatury ekranowej,
- pozwalają wyróżnić produkt na tle innych konstrukcji na rynku.

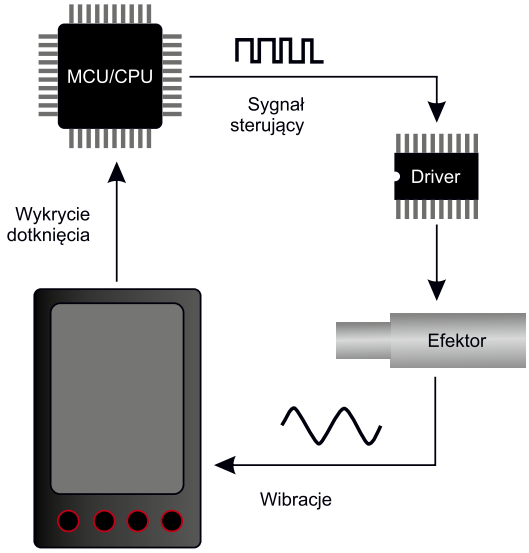
Ekosystem układów haptycznych

System sprzężenia haptycznego składa się z trzech głównych elementów. Pierwszym jest aktuator (efektor), który wprowadza urządzenie w wibracje w określony sposób. Następnym elementem jest sterownik, który kontroluje efektor – pełni rolę mostka pomiędzy mikrokontrolerem, a mechanizmem odpowiedzialnym za wibracje. Trzecim elementem jest oprogramowanie systemu, które kontroluje efektor poprzez sterownik i odpowiada za sposób działania całego sprzężenia haptycznego. Schemat typowego systemu haptycznego został pokazany na **rysunku 1**. W dalszej części artykułu omówimy dokładnie każdy z tych elementów.

Efektory

Efektory są kluczowym elementem system haptycznego. Przekształcają sygnały elektryczne w ruch mechaniczny i to od nich uzależniony jest końcowy charakter efektów systemu. Na rynku istnieje kilka technologii, które pozwalają a realizację efektorów do systemów wibracyjnych. Różnią się one sposobem sterowania, zakresem

eprasa.pl b4234fed20



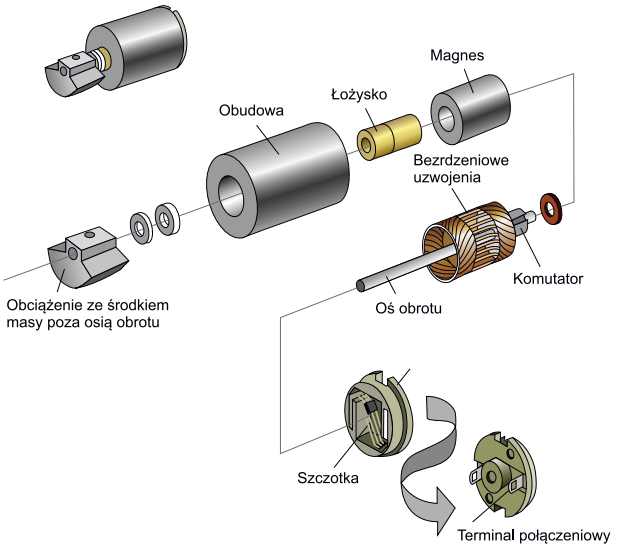
Rysunek 1. Typowy system haptyczny w urządzeniu mobilnym

parametrów, jak i finalnym efektem, jaki jest możliwy do uzyskania z ich pomocą. Omówimy dokładnie wszystkie trzy grupy efektorów.

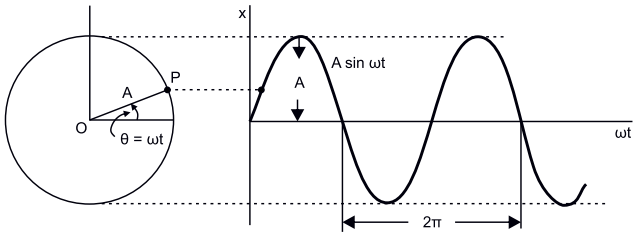
Silnik z niecentrycznie umieszczoną masą

Silnik wibracyjny z mimośrodową (przesuniętą, umocowaną niesymetrycznie) obracającą się masą przymocowaną na osi obrotu silnika to tzw. ERM. Są one jednymi z najczęściej stosowanych efektorów dla technologii haptycznych. Ich budowa jest podobna do konwencjonalnego silnika prądu stałego i wykorzystują pole magnetyczne płynącego prądu do napędzania osi. Na **rysunku 2** pokazano schematyczną budowę tego rodzaju silnika. To, co odróżnia go od typowego układu mechanicznego to obracająca się masa umieszczona poza mechanicznym środkiem punktu obrotu, dlatego nazywa się ją mimośrodową. Z tego powodu silniki te wytwarzają nierówną siłę dośrodkową podczas obracania się, która powoduje ruch silnika w płaszczyźnie osi obrotu. Ruch ten wytwarza wibracje, które przekazywane są do urządzenia i, dalej, do użytkownika.

Intensywność drgań w silniku z niecentrycznie umieszczoną masą zależy od prędkości obrotowej tegoż silnika, a w konsekwencji od dostarczanego do silnika napięcia. Ponieważ jest to urządzenie o bardzo prostej konstrukcji, obecnie dostępnych jest wiele typów dla różnych zastosowań. Jeśli chodzi jednak o projektowanie tego rodzaju silników, istnieje relatywnie mało materiałów źródłowych – wiele



Rysunek 2. Schematycznie zaprezentowana budowa silnika z niecentrycznie umieszczoną masą



Rysunek 3. Ruch niecentrycznej masy, jako fala sinusoidalna o okresie 2π i amplitudzie A

podręczników inżynierii mechanicznej omawia niewyważenie masy obrotowej, jako coś negatywnego. Znacznie więcej informacji można znaleźć o tym jak zminimalizować źródło wibracji, ponieważ generuje ono hałas i powoduje nadmierne zużycie maszyny.

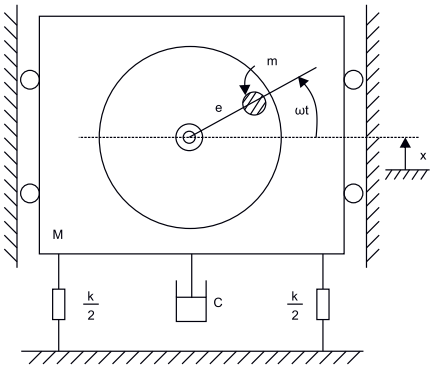
Wibracje wytwarzane przez ten efektor są przykładem wymuszonych wibracji harmonicznych. Oznacza to, że istnieje zewnętrzna siła wymuszająca wibracje systemu. Termin „harmoniczna" oznacza, że system jest zmuszony do drgania z częstotliwością wzbudzenia. Należy pamiętać, że w przypadku modelu tego silnika wejście wzbudzenia nie jest napięciem stałym przyłożonym do silnika. Zamiast tego, wejściem modelu jest tobrót masy wokół centralnego wału silnika. Ruch masy można modelować, jako falę sinusoidalną, tak jak pokazano na **rysunku 3**. Funkcja A·sin(ωt) jest wejściem wzbudzenia. Częstotliwość tej fali jest równa częstotliwości, z jaką wibruje silnik. W rzeczywistym świecie to napięcie steruje prędkością obrotową silnika (obie częstotliwości są do siebie wprost proporcjonalne), a tym samym jest częstotliwością wejścia, jednakże w modelu prościej jest odnieść się do sinusoidy z rysunku 3, jako wejścia, a nie wiązać ją z napięciem zasilania silnika.

Aby przeanalizować zachowanie ERM, przybliżymy system do jednego stopnia swobody. Oznacza to, że wibracja będzie manifestować się tylko w jednej osi, a to znacznie upraszcza obliczenia. Możemy zaakceptować to uproszczenie, ponieważ w przypadku małych silników przemieszczenie w innych osiach jest na tyle małe, że są one na ogół pomijalne. Model drgań w jednej osi można zobrazować, jako ruchomą masę M zawieszoną na tłumionej sprężynie (o współczynniku sprężystości *k* i tłumieniu *c*), jak pokazano na **rysunku 4**. Wprawiana jest ona w ruch obrotowy niecentrycznie umieszczonej masy m, znajdującej się w odległości r od osi obrotu. W równaniach poniżej *x* oznacza przemieszczenie niecentrycznej masy (w jednej osi, w której rozpatrujemy model). Na modelu, pokazanym na rysunku 4, pokazane są dwie sprężyny o współczynniku sprężystości *k/2* reprezentujące sprężystość o współczynniku sztywności *k*. Funkcjonuje ona zgodnie z prawem Hooka pokazanym na **równaniu 1**.

$$F = k \cdot x \qquad (1)$$

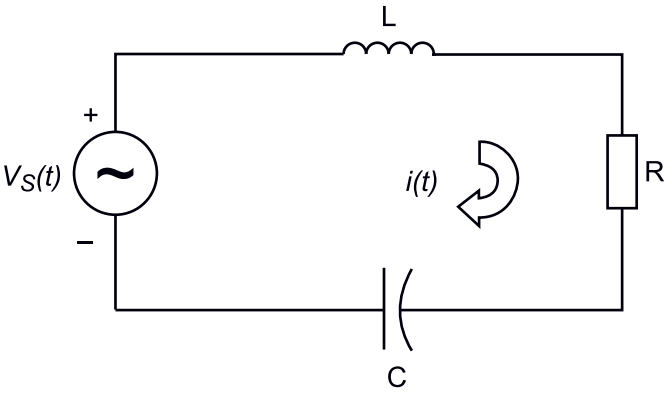
Tłumienie wiskotyczne jest z kolei proporcjonalne do prędkości masy, jak pokazano w **równaniu 2**.

$$F = c \cdot \frac{dx}{dt} \qquad (2)$$

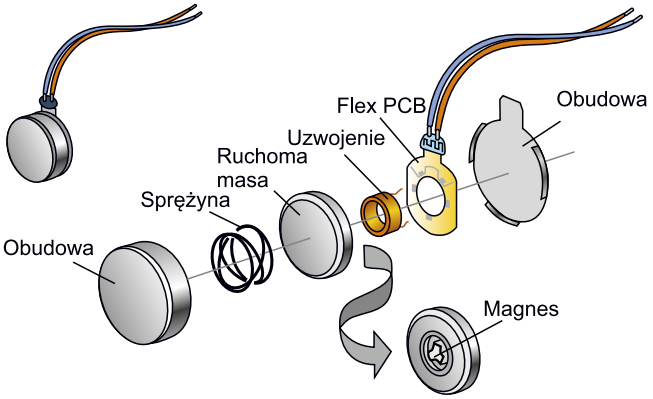


Rysunek 4. Model mechaniczny silnika z niecentrycznie zamocowaną masą

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 5. Model układu RLC – elektrycznego odpowiednika drgającej, tłumionej masy, pokazanej na rysunku 4



Rysunek 6. Budowa wewnętrzna liniowego efektora haptycznego

Masa ERM (z wyłączeniem niecentrycznej masy na osi) zachowuje się zgodnie z drugą zasadą ruchu Newtona tak, jak zapisano na **równaniu 3**.

$$F=(M-m)\frac{d^2x}{dt^2} \quad (3)$$

Suma sił z równań 1...3 może być zapisana tak, jak w **równaniu 4.**

$$F=F_0\sin(\omega t) \quad (4)$$

gdzie ω to częstotliwość obrotu układu, a F_0 to siła dośrodkowa dla masy *m*, opisana **równaniem 5**.

$$F=m\cdot r\cdot\omega^2 \quad (5)$$

gdzie *m* jest masą umieszczoną w odległości *r* od osi obrotu, a ω to prędkość kątowa silnika elektrycznego, obracającego masą.

Możliwe jest teraz zapisanie kompletnego równania układu, które zostało pokazane w **równaniu 6**.

$$(M-m)\cdot\frac{d^2x}{dt^2}+c\cdot\frac{dx}{dt}\cdot kx=F_0\sin(\omega t) \quad (6)$$

Czytelnikom, którzy z założenia są elektronikami, a nie mechanikami, równanie to może wydawać się znajome – jest łudząco podobne do równania, które opisuje obwód RLC, w którym ładunek zamieniono przemieszczeniem, prąd prędkością, a napięcie siłą. Na **rysunku 5** zaprezentowano model takiego układu. Rozwiązanie takiego równania różniczkowego, jak pokazano w równaniu 6, jest doskonale opisane w literaturze (nie tylko dla elektroników – kłania się analiza matematyczna ze studiów), jednak wykracza poza zakres tego artykułu. Wskazuje jednak, że do modelowania tego rodzaju ruchu można zastosować takie same narzędzia, jak do modelowania układów elektronicznych.

Liniowy efektor rezonansowy

Kolejną grupą efektorów są liniowe siłowniki rezonansowe, tzw. LRA, które stają się coraz bardziej popularne w zastosowaniach haptycznych. Stanowią alternatywę dla efektorów ERM i mają kilka wyraźnych, wyróżniających je zalet. Na przykład charakteryzują się lepszymi właściwościami dotykowymi i o wiele wyższą sprawnością (w rezonansie). Z tych powodów są one używane m.in. w wielu urządzeniach przenośnych z ekranem dotykowym, gdzie zużycie energii jest bardzo istotnym parametrem. Niestety, na temat tych urządzeń jest niewiele informacji i uwag aplikacyjnych – są one dostępne na rynku od relatywnie niedawna. Warto przyjrzeć się im bliżej z uwagi na ich wyjątkowe cechy. Podobnie jak w przypadku silników wibracyjnych z niecentryczną, obracającą się masą, drgania wytwarzane przez LRA wynikają z ruchu masy. Jednak w tym przypadku ruch ten nie jest kołowy, a liniowy. Efektory te wykorzystują pola magnetyczne i prądy elektryczne do wytworzenia siły. Jedną z głównych różnic jest to, że cewka drgająca (odpowiednik uzwojeń silnika prądu stałego) pozostaje nieruchoma, a zamiast tego porusza się masa magnetyczna. Masa ta jest również przymocowana do sprężyny, dzięki czemu powraca ona do środkowej pozycji. Ruch masy magnetycznej w górę i w dół powoduje przemieszczenie LRA, a tym samym wygeneruje pewną siłę wibracji efektora. Na **rysunku 6** pokazano budowę tego rodzaju komponentu.

Ponieważ cewka drgająca pozostaje nieruchoma, a kierunek siły działającej na magnes musi być przełączany, należy również przełączyć kierunek prądu w cewce drgającej. Oznacza to, że efektory LRA do prawidłowego działania wymagają przemiennika częstotliwości (falownika) – muszą być zasilane prądem przemiennym, co nakłada szczególne wymagania m.in. na drivery nimi sterujące.

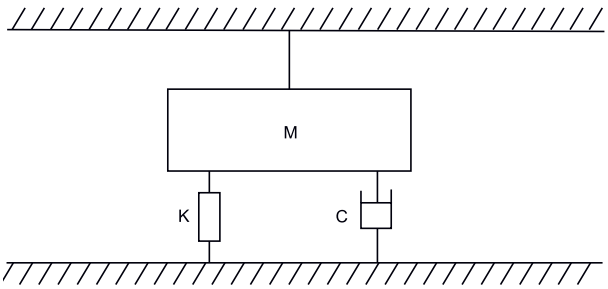
Efektor liniowy działa w podobny sposób, jak głośnik. W głośniku stożek głośnika (membrana) służy do wytwarzania fal dźwiękowych, gdy cewka, a co za tym idzie membrana, wprawiana jest w ruch. Tutaj przymocowana do cewki masa wprawia w drgania układ mechaniczny. To, co odróżnia LRA od głośnika jest oczywiste – głośnik jest zaprojektowany tak, aby działał możliwie dobrze w szerokim zakresie częstotliwości, podczas gdy LRA jest dostrojony do pewnej konkretnej częstotliwości rezonansowej, o czym przekonamy się później.

Do modelowania mechaniki działania tego efektora możemy użyć niemal takiego samego modelu, jak dla silnika z niecentryczną masą. Nadaje się on idealnie do przybliżenia działania efektora liniowego szczególnie, że ten w rzeczywistości działa w jednej osi (układ posiada jeden stopień swobody). Na **rysunku 7** pokazano model z masą *M* umieszczoną na sprężynie o sztywności *k* i tłumiku o tłumieniu *c*. Do opisu tego modelu używamy te same równania 1...5, za wyjątkiem równania opisującego ruch masy M zgodnie z II prawem dynamiki Newtona, które przyjmuje postać taką, jak pokazano w **równaniu 7**. Finalne równanie ruchu zapisano w **równaniu 8**.

$$F=M\cdot\frac{d^2x}{dt^2} \quad (7)$$

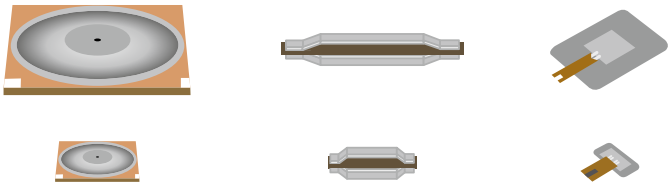
$$M\cdot\frac{d^2x}{dt^2}+c\cdot\frac{dx}{dt}+k\cdot x=F_0\sin(\omega t) \quad (8)$$

Warto dodatkowo zauważyć, że LRA są zasadniczo bezszczotkowe i nie powodują ani emisji elektromagnetycznych pochodzących z łuku komutatora, jak w silnikach DC (ERM), ani nie generują iskier elektrycznych, mogących spowodować zapłon gazów w otoczeniu. Oznacza to, że podobnie jak silniki bezszczotkowe, efektory LRA są odpowiednie do stosowania w urządzeniach z certyfikacją ATEX.



Rysunek 7. Model mechaniczny liniowego efektora haptycznego

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 8. Przykładowe efektory piezoelektryczne

Elementy piezoelektryczne

Efektory tego typu składają się z dwóch kawałków materiału piezoelektrycznego zamontowanych np. w konfiguracji belki. Po przyłożeniu napięcia belka ta ugina się, powodując znaczny ruch na końcu wiązki. Ten ruch zginający jest siłą, w tym przypadku nazywaną również ugięciem lub przemieszczeniem, określonym jako ΔX_{OUT} na **rysunku 8**, co odpowiada wielkości siły wytwarzanej przez siłownik – F_{OUT}. Typowym materiałem, z którego konstruowane są siłowniki piezoelektryczne jest szczególny rodzaj ceramiki, która w swojej surowej postaci jest krucha. Wykazuje ona znaczny efekt piezoelektryczny – zwiększa swój wymiar w jednej z osi, pod wpływem przyłożonego napięcia.

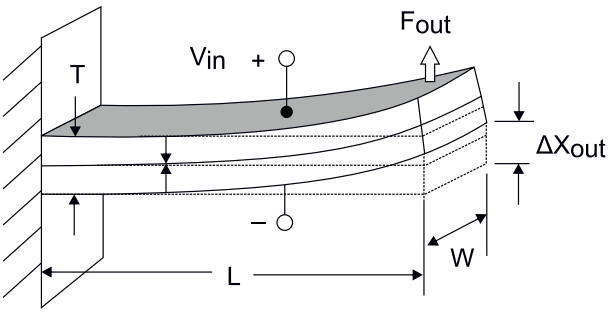
Główną zaletą tych siłowników jest ich krótki czas reakcji i ogromna elastyczność. Dzięki temu, że mogą pracować z dowolnymi sygnałami, nie tylko np. rezonansowymi, jak LRA, mogą zaoferować znacznie bardziej różnorodne doświadczenia haptyczne dla użytkownika. Na **rysunku 9** pokazano prosty model dwuwarstwowego efektora piezoelektrycznego. Belka o grubości *T*, szerokości *W* i długości *L* złożona jest z dwóch warstw piezoelektryka. Druga warstwa wykonana umieszczona jest w odwrotnej orientacji, co oznacza, że efekt piezoelektryczny następuje w odwrotnym kierunku. Po przyłożeniu napięcia V_{IN} pomiędzy okładkami, znajdującymi się na zewnątrz warstw, piezoelektryk kurczy/rozszerza się (w zależności od orientacji). W pokazanym na rysunku 9 efektorze, jedna warstwa kurczy się, a druga rozszerza, co powoduje, że belka piezoelektryczna wygina się w łuk tak, że kraniec belki przemieszcza się o Δx, co opisuje **równanie 9**.

$$\Delta x = \frac{3 \cdot L^2 \cdot V \cdot d_{31}}{2 \cdot T^2} \qquad (9)$$

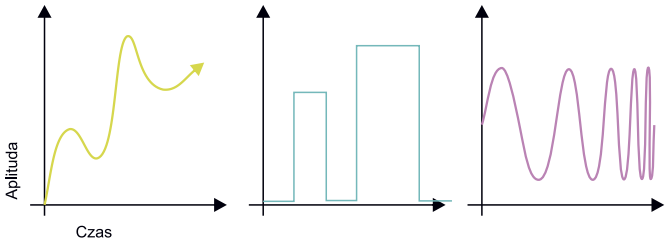
gdzie d_{31} to współczynnik piezoelektryczny, opisujący dany efektor. Zależny jest od parametrów materiałowych wykorzystanych piezoelektryków. Generowana siła F_{OUT} jest również zależna od parametrów materiałowych elementu, ale także parametrów mechanicznych. Dla uproszczenia przyjąć można, że siła generowana przez taki efektor jest proporcjonalna do stosunku szerokości i długości belki, jak pokazano w **równaniu 10**.

$$F_{OUT} \infty \frac{W}{L} \qquad (10)$$

Pokazany efektor jest tylko przykładem zastosowania piezoelektryków w systemach haptycznych. Istnieje w zasadzie nieskończona ilość konfiguracji geometrii piezoelektryka, z których każda daje inne parametry mechaniczne. Istotną zaletą tych siłowników jest ich krótki czas reakcji, zwykle rzędu 1 ms. Wychylenie efektora siłownika jest wprost proporcjonalne do sygnału sterującego, dzięki czemu można je ustawić i utrzymać w danej pozycji lub wprawiać w drgania.



Rysunek 9. Mechaniczny model prostego rezonatora piezoceramicznego



Rysunek 10. Różne przebiegi możliwe do wygenerowania za pomocą piezoelektrycznych efektorów haptycznych

W przeciwieństwie do ERM i LRA, zarówno pozycja, amplituda, jak i częstotliwość odchyleń mogą być kontrolowane niezależnie, dzięki czemu możliwe jest tworzenie znacznie bardziej złożonych i szczegółowych sygnałów. Dzięki temu system może przekazać o wiele więcej informacji niż w przypadku ERM i LRA. Możliwe jest na przykład odtworzenie rytmu bicia serca pacjenta w systemie medycznym innych wzorców. Przykłady takich zachowań pokazano na **rysunku 10**.

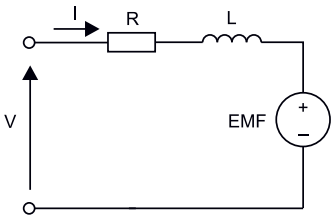
Sterowniki

Aby efektory haptyczne poprawnie działały, trzeba zapewnić im odpowiednie sterowanie. Najprostsze z driverów tych efektorów umożliwią ich załączenie, jednakże bardziej zaawansowane systemy pozwalają znacznie rozbudować możliwości danego elementu i zapewnić szereg różnych doznań haptycznych użytkownikom danego projektu.

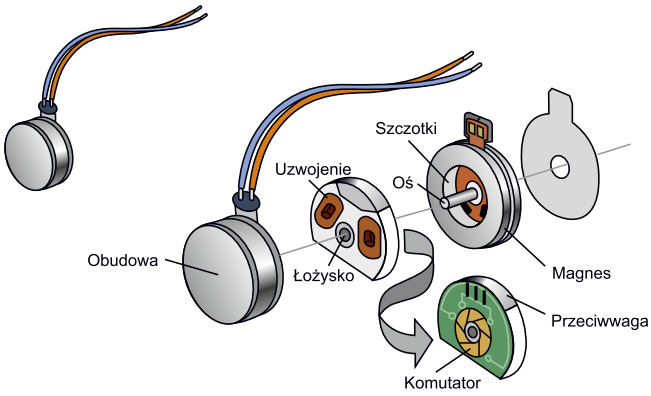
Silnik z niecentryczną masą

Elektrycznie rzeczy biorąc ERM jest zwykłym silnikiem elektrycznym prądu stałego. Schemat zastępczy takiego silnika został pokazany na **rysunku 11**. Indukcyjność silnika *L* jest zależna od jego konstrukcji mechanicznej. Jest to niepożądana cecha silnika, ponieważ przeciwstawia się ona przepływowi prądu w uzwojeniu. Silniki bez rdzenia w uzwojeniu charakteryzują się niższą indukcyjnością – typowym przykładem takich silników są tzw. silniki guziczkowe lub monetowe (z uwagi na ich kształt). Przykład takiego silnika pokazano na **rysunku 12**. Z drugiej strony indukcyjność jest przydatna do magazynowania energii, co ma swoje zastosowanie w systemach sterowanych wypełnieniem impulsów (PWM).

Uzwojenie charakteryzuje się pewną, niezerową rezystancją, oznaczoną na rysunku 11 symbolem *r*. Jest to w pełni pasożytniczy element, który jest odpowiedzialny za większość strat w silniku. Wraz



Rysunek 11. Elektryczny schemat zastępczy efektora ERM



Rysunek 12. Silnik guzikowy, wraz z jego wewnętrzną konstrukcją

eprasa.pl b4234fed20

ze wzrostem prądu zwiększa się spadek napięcia, a co za tym idzie, spada sprawność silnika. Do rezystancji wchodzi rezystancja stałoprądowa uzwojenia, rezystancja połączeń, okablowania itd. Wartości te rosną, wraz z długością kabli podłączeniowych silnika, szczególnie w kompaktowych systemach, takich jak urządzenia mobilne (np. smartfony), gdzie kable połączeniowe są bardzo cienkie.

Siła elektromotoryczna (EMF), reprezentowana, jako źródło napięciowe, na schemacie zastępczym, jest napięciem, jakie można zmierzyć na wyprowadzeniach silnika, gdy obraca się jego osią. Amplituda tego napięcia jest wprost proporcjonalna do prędkości obrotowej, a polaryzacja EMF jest zależna od kierunku obrotów. Współczynnik K_E jest współczynnikiem proporcjonalności EMF do prędkości obrotowej, na ogół wyrażanym w *V/krpm* (woltach na 1000 obrotów na minutę). Zatem prędkość obrotowa i EMF wiąże **równanie 11**.

$$EMF=K_E \cdot \omega \quad (11)$$

A zatem napięcie przyłożone do silnika spełniać będzie zależność z **równania 12**.

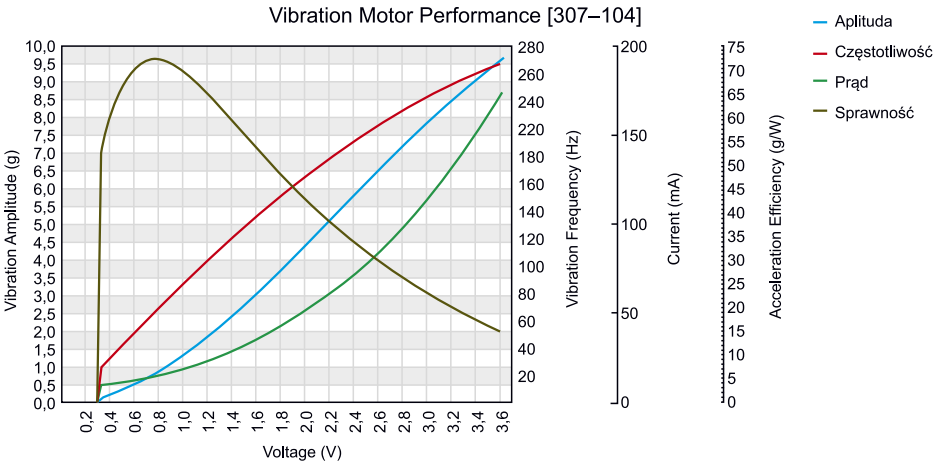
$$V=R \cdot I+EMF=R \cdot I+K_E \cdot \omega \quad (12)$$

Jeśli silnik jest klasycznym silnikiem prądu stałego z magnesem permanentnym, to prąd płynący przez silnik jest proporcjonalny do momentu obrotowego silnika *T*, co opisuje **równanie 13**.

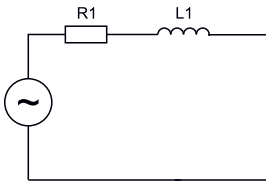
$$I=\frac{T}{K_T} \quad (13)$$

gdzie K_T jest współczynnikiem proporcjonalności, zazwyczaj wyrażanym w *Nm/A*. Wykres z **rysunku 13** pokazuje, jak prędkość i prąd są powiązane z momentem obrotowym silnika. Zależności te w pełni opisują cztery parametry: prąd bez obciążenia i prąd utyku oraz prędkość bez obciążenia i moment utyku. Wartości te są różne dla każdego silnika ERM.

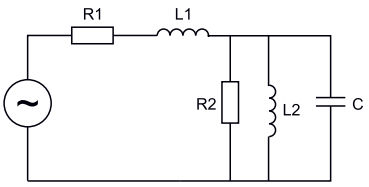
Sterowanie ERM jest identyczne, jak sterowanie dowolnym innym silnikiem prądu stałego i polega na regulowaniu napięcia na jego uzwojeniu. Najprostsze sterowanie takim efektorem zrealizować można za pomocą jednego tranzystora sterowanego np. z mikrokontrolera, który będzie włączał i wyłączał napięcie silnika. Możliwe jest, także zastosowanie bardziej zaawansowanych sterowników, czy to zrealizowanych jako mostek H, czy też wykorzystujących bardziej złożone rozwiązania.



Rysunek 13. Charakterystyka silnika 307-104 firmy Precision Microdrives



Rysunek 14. Schemat zastępczy uzwojenia LRM



Rysunek 15. Schemat zastępczy całego efektora LRM

Efektory liniowe

Efektor liniowy może być modelowany podobnie do solenoidu. Na **rysunku 14** zaprezentowano ideowy schemat zastępczy uzwojenia takiego silnika. Dodać do tego trzeba elementy reprezentujące własności elektromechaniczne magnesu, znajdującego się w uzwojeniu. Finalny schemat zastępczy LRM pokazany jest na **rysunku 15**. Całkowita impedancja LRM zapisana jest w **równaniu 14.**

$$\frac{1}{Z_{TOT}}=\frac{1}{Z_C}+\frac{1}{Z_{R2}}+\frac{1}{Z_{L2}} \quad (14)$$

gdzie $Z_C=1/j\omega C$, $Z_{R2}=R_2$ a $Z_{L2}=j\omega L_2$. Impedancja kondensatora spada wraz z częstotliwością ω, a impedancja indukcyjności rośnie wraz z nią. Sprawia to, że wypadkowa impedancja całego układu wykazuje pewien punkt ekstremum, w którym spadek Z_C równoważy wzrost Z_{L2}. Interesuje nas punkt, w którym impedancja układu będzie maksymalna, jako że w takim punkcie spadek napięcia będzie najniższy, a co za tym idzie dla danego prądu uzyska się największą siłę wibracji. Częstotliwość, przy której to występuje, nazywa się częstotliwością rezonansową.

W momencie, gdy LRA jest sterowany z częstotliwością inną niż jego częstotliwość rezonansowa, wydajność i sprawność ulegają znacznemu zmniejszeniu. Ponieważ kondensator, rezystor i cewka indukcyjna są równoważnymi komponentami, które reprezentują mechaniczne właściwości LRA, wartości tych komponentów mogą zmieniać się w czasie lub zależeć od cech środowiskowych. Na przykład, gdy LRA starzeje się, sprężyna w układzie może tracić swoją elastyczność lub materiał, do którego jest zamontowany LRA, może wpływać na ruch obudowy pod wpływem wibracji. Przejawia się to, jako zmiana częstotliwości rezonansowej w czasie. Dodatkowo, częstotliwość rezonansowa zależy od tolerancji (mechanicznej i elektrycznej) elementów, a zatem występuje pewien rozrzut produkcyjny. Sprawia to, że w przypadku LRA niezwykle istotne jest śledzenie rezonansu przez sterownik. Prowadzi to do interesujących własności LRA. W przypadku ERM napięcie wejściowe wpływa na prędkość silnika, co z kolei wpływa zarówno na amplitudę drgań, jak i ich częstotliwość. W przypadku efektora LRA napięcie i częstotliwość są rozdzielone. Chociaż nie jest możliwa regulacja częstotliwości wibracji, amplitudę wibracji można zmieniać bez wpływu na częstotliwość. Jest to atrakcyjna funkcja dla aplikacji, w których konieczne jest utrzymanie częstotliwości wibracji w określonym zakresie, przy jednoczesnej konieczności wytwarzania fal dotykowych czy innych, bardziej złożonych doznań haptycznych.

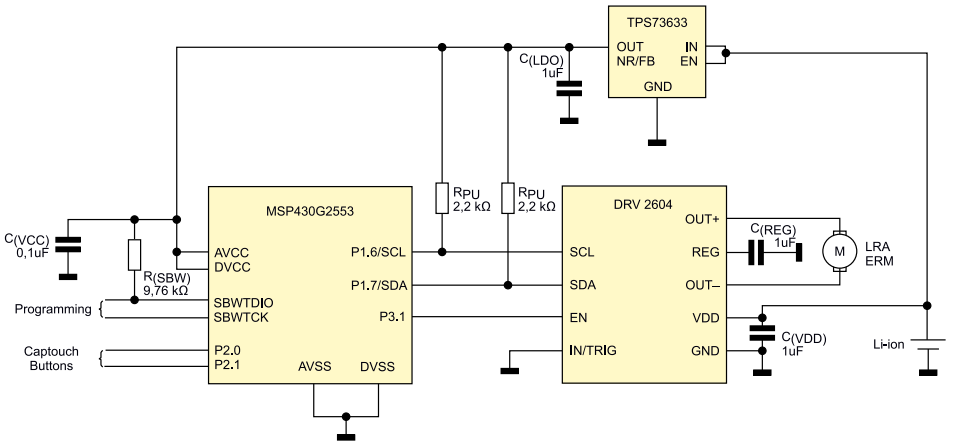
Gdy LRA są stosowane w obwodzie elektrycznym, często są uproszczone znacznie bardziej, niż sugeruje to ich obwód równoważny, jaki pokazano na **rysunku 15**. Jednym z powodów tego jest fakt, że są one zwykle sterowane specjalizowanymi, scalonymi sterownikami dla LRA, takimi jak układ DRV2603 firmy Texas Instruments. Zastosowanie scalonego sterownika znacznie upraszcza implementację takiego efektora w układzie. Wystarczy podłączyć go do odpowiednich pinów układu i np. mikrokontrolera. Nie trzeba przejmować się złożonymi zależnościami częstotliwości rezonansowej czy innymi zjawiskami analogowymi. Pozwala to projektantom i inżynierom elektronikom zaoszczędzić czas podczas projektowania systemu i skoncentrować się na innych sekcjach urządzenia.

Jakkolwiek LRA wytwarza pewne napięcie wsteczne (EMF) i wiele sterowników podejmuje próby zmniejszenia wpływu tego napięcia

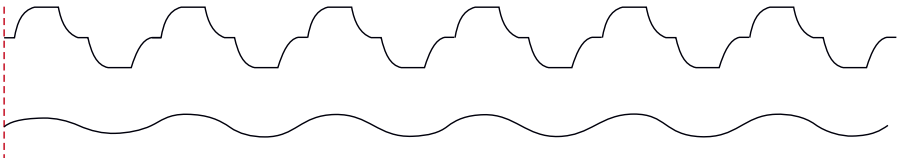
eprasa.pl b4234fed20

na układ, niektóre drivery używają EMF jako mechanizmu pomiaru działania efektora. W czasie działania zmienia się częstotliwość rezonansowa LRA. Niektóre układy sterowników mierzą właśnie EMF i wykorzystują te informacje do regulacji częstotliwości sygnału sterującego w celu znalezienia rezonansu danego efektora. Dzięki temu element ten działa w ściślejszych granicach i poziomach, niezależnie od warunków i wieku.

Na **rysunku 16** zaprezentowano przykładowy driver efektorów systemu haptycznego, który może być stosowany tak z ERM, jak i LRA. System ten bazuje na scalonym sterowniku firmy Texas Instruments – DRV2604. Został on zaprojektowany w celu zapewnienia niezwykle elastycznego sterowania dotykowego efektorami ERM i LRA za pośrednictwem popularnego interfejsu, kompatybilnego z I²C. Sterowanie to zwalnia procesor główny z konieczności ciągłego generowania sygnałów z modulacją szerokości impulsu (PWM), oszczędzając zarówno kosztowne przerwania zegarowe, jak i piny wyjściowe układu. Scalony driver DRV2604 zawiera wystarczającą ilość zintegrowanej pamięci RAM, aby umożliwić użytkownikowi wstępne załadowanie ponad 100 niestandardowych przebiegów. Przebiegi te mogą być natychmiast odtwarzane poprzez komendę I²C lub opcjonalnie wyzwalane przez sprzętowy pin wyzwalający. Dodatkowo tryb odtwarzania w czasie rzeczywistym pozwala procesorowi hosta ominąć bibliotekę w pamięci i odtwarzać przebiegi bezpośrednio z hosta sterującego driverem przez I²C.



Rysunek 16. Schemat drivera ERM i LRA z układem scalonym DRV2604 firmy Texas Instruments



Rysunek 17. Sygnał sterujący efektorem liniowym (u góry) i sygnał sprzężenia zwrotnego – BEMF efektora (na dole)

Układ DRV2604 zawiera również architekturę inteligentnej pętli sprzężenia zwrotnego, która umożliwia bezproblemowe sterowanie z automatycznym śledzeniem rezonansu dla LRA, a także sterowanie ERM zoptymalizowane pod kątem sprzężenia zwrotnego. To sprzężenie zwrotne zapewnia automatyczne przesterowanie i hamowanie silnika, co tworzy odpowiedni kształtu fali wyjściowej, a także zapewnia niezawodne sterowanie silnikiem i jego stałe parametry.

Praca w otwartej pętli sprzężenia

Jeśli znana jest częstotliwość rezonansowa LRA, wszystko, co jest potrzebne, aby wprawić go w ruch, to sterowanie go z tą częstotliwością i z amplitudą wystarczająco wysoką, aby przezwyciężyć tarcie statyczne układu mechanicznego. Producenci efektorów zwykle podają typową częstotliwość rezonansową tych elementów w karcie katalogowej, więc można ją wykorzystać, jako punkt wyjścia. Częstotliwość rezonansowa konkretnego modelu LRA będzie zwykle miała niewielkie różnice między poszczególnymi egzemplarzami ze względu na zmienność elementów i produkcji. Im więcej zmian między poszczególnymi częściami, tym niższa spójność między poszczególnymi częściami. Jeśli pożądane jest hamowanie, LRA może być napędzany przy częstotliwości rezonansowej lub w jej pobliżu z przesunięciem fazowym, o 180°, aby go zatrzymać. Dla każdego siłownika i każdego poziomu amplitudy należy przeprowadzić staranne ręczne strojenie, tak, aby LRA optymalnie hamował. Jeśli sygnał hamowania nie jest wystarczająco silny lub podawany przez wystarczająco długi czas, LRA nie wyhamuje, co przekłada się na dłuższe czasy zatrzymywania efektora. Jeśli sygnał hamowania jest zbyt silny lub zbyt długi, LRA nadmiernie hamuje, co przekłada się na ruch efektora w przeciwnym kierunku.

Jeśli potrzebne jest przesterowanie sygnału sterującego efektorem, należy przeprowadzić staranne ręczne strojenie dla każdego poziomu amplitudy, tak, aby LRA przesterował się optymalnie. Jeśli sygnał nie jest wystarczająco silny lub trwa wystarczająco długo, to przekłada się to na dłuższe czasy rozruchu i hamowania efektora. Jeśli sygnał przesterowania jest zbyt silny lub zbyt długi, LRA przesteruje się, co przełoży się na przekroczenie pożądanego poziomu siły, potencjalnie powodując „uderzenie" w dotyku. Optymalny sygnał przesterowania można zdefiniować, jako taki, który minimalizuje czas startu i hamowania, ale nie jest wyczuwalny w przebiegu przyspieszenia przez użytkownika.

Praca w zamkniętej pętli sprzężenia

Istnieje wiele rodzajów systemów z zamkniętą pętlą, które można zastosować do sterowania LRA. System śledzenia rezonansu w pętli zamkniętej dla LRA (tzw. autorezonans) stale monitoruje częstotliwość rezonansową LRA i dostosowuje częstotliwość sterowania efektora, aby śledzić częstotliwość rezonansową elementu. W ten sposób maksymalizuje on siłę wibracji dla danego napięcia zasilania.

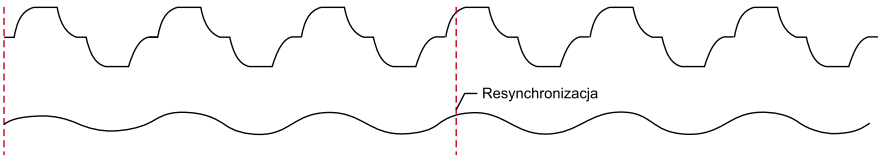
Taki system występuje m.in. w scalonych sterownikach, takich jak DRV2603, DRV2605 czy DRV2605L. System śledzenia poziomu w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego, po skalibrowaniu, reguluje siłę drgań wyjściowych do pożądanego poziomu, niezależnie od zmian częstotliwości rezonansowej. Takie rozwiązanie występuje w m.in. w układach DRV2605 i DRV2605L. System z zamkniętą pętlą, który realizuje śledzenie rezonansu i pętle śledzenia poziomu, ma tę zaletę, że automatycznie zmienia częstotliwość sterowania, aby automatycznie dopasować się do rezonansu efektora. Dodatkowo, sterowniki te są wyposażone w możliwość przesterowania sygnału, jak i hamowania efektora na optymalnych dla danego efektora parametrach, eliminując konieczność ręcznego dostrajania układu. Przykład sygnału sterującego pokazano na **rysunku 17** na górze. Poniżej zaprezentowany jest sygnał BEMF, tj. wsteczna siła elektromotoryczna, to EMF generowany w efektorze, który jest mierzony przez sterownik. Pomiar ten jest potrzebny do strojenia sterownika.

Problemem, w niektórych układach z zamkniętą pętlą sprzężenia zwrotnego, jest sytuacja, w której efektor wykazuje zbyt duże tarcie statyczne dla pożądanych poziomów transferu energii powodując, że masa przestaje się poruszać. Ponieważ system działający w zamkniętej pętli opiera się na monitorowaniu ruchu efektora w celu zsynchronizowania częstotliwości sygnału sterującego, nieruchomy element może spowodować nieprawidłowe działanie takiego systemu, ponieważ sygnał sprzężenia zwrotnego nie jest generowany.

Przykładem takiego scenariusza jest zatrzymanie LRA. Zaawansowane sterowniki działający w pętli zamkniętej, taki jak DRV2605L,

eprasa.pl b4234fed20

wykorzystują zastrzeżone, opatentowane algorytmy w celu obejścia tego ograniczenia poprzez sterowanie sygnałem z domyślną częstotliwością, gdy sterownik nie zsynchronizuje się, a następnie przechodzi automatyczną synchronizację, gdy efektor zacznie się poruszać. Przykładowy przebieg w takiej sytuacji pokazano na **rysunku 18**.



Rysunek 18. Sygnał sterujący efektorem liniowym (u góry) i sygnał sprzężenia zwrotnego – BEMF efektora (na dole). Zaznaczony drugą czerwoną linią jest punkt resynchronizacji drivera

Efektory piezoelektryczne

Efektory piezoelektryczne mają zupełnie inne wymagania, dotyczące sterowania, niż elementy oparte o silniki elektryczne (liniowe i obrotowe). Przede wszystkim, piezoelementy potrzebują znacznie wyższych napięć zasilania, które dodatkowo muszą być kluczowane ze zmienną częstotliwością, aby możliwe było wprowadzenie elementu w drgania.

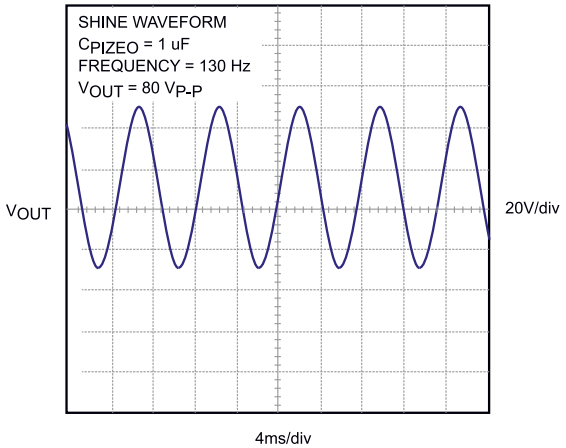
Efektor piezoelektryczny przekształca sygnał elektryczny w precyzyjnie kontrolowane przemieszczenie fizyczne. Do wytworzenia znaczącego przemieszczenia potrzebne są sygnały o napięciu setek woltów przy częstotliwościach kilkuset Hz (patrz **rysunek 19**). Tak jak ludzkie ucho odbiera dźwięki o określonej częstotliwości, jako głośniejsze niż inne, tak wibracje są odbierane inaczej w zależności od ich intensywności. Podobnie jak w procesie słyszenia, intensywność doświadczenia dotykowego jest proporcjonalna do częstotliwości i amplitudy sygnału wibracyjnego. Zmiana intensywności i wzoru wibracji tworzy praktycznie nieograniczoną liczbę kombinacji, rytmów lub komunikatów, jakie przenosić da się z pomocą zmysłu dotyku. Jednak, aby było to możliwe, element taki wymaga odpowiedniego sterowania o napięciu dochodzącym nawet do 100 V_{p-p}. Podczas pracy poniżej ich elektrycznych częstotliwości rezonansowych, efektory piezoelektryczne mają charakter pojemnościowy.

Elementy piezoelektryczne oferują szereg zalet w porównaniu z konkurencyjnymi technologiami haptycznymi, w tym szybki czas reakcji, niski pobór mocy oraz szeroki zakres dostępnych charakterystyk piezoelektrycznych i technik montażu. **Rysunek 20** pokazuje uproszczony schemat modułowy typowego, scalonego sterownika efektora piezoelektrycznego. Składa się on z przetwornicy typu boost, podnoszącej napięcie z np. baterii do około 60 V, które wykorzystywane jest do zasilania wzmacniacza mocy klasy AB. Rozwiązanie takie jest stosunkowo energochłonne. Spory pobór mocy jest problematyczny szczególnie w urządzeniach przenośnych. Po pierwsze, wzmacniacz AB ma ograniczoną sprawność, na poziomie około 60% z uwagi na swoją liniową naturę. Przetwornica impulsowa, wykorzystywana do podniesienia napięcia, także ma skończoną sprawność, równą w typowym układzie około 85%. Pobór mocy typowego efektora piezoelektrycznego wyznaczyć można zgodnie z **równaniem 15.**

$$P=\frac{C\cdot V^2\cdot f}{2} \qquad (15)$$

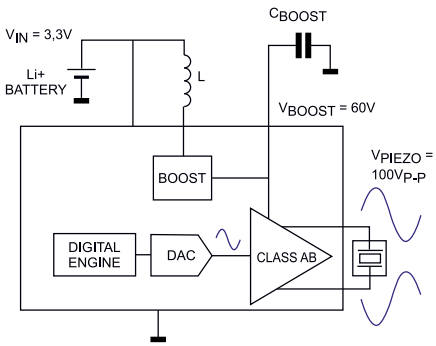
gdzie *C* to pojemność efektora, *V* to napięcie międzyszczytowe, jakie do niego przykładamy, a *f* częstotliwość sygnału. Dla typowej pojemności 1 μF, sterowanej napięciem 100 V_{p-p} przy częstotliwości 200 Hz, moc równa jest 1 W. Przy sprawności drivera na poziomie 50% (60% × 85%), oznacza to, że układ z wzmacniaczem klasy AB pobierze 2 W mocy.

Idealnym rozwiązaniem jest układ, który odzyskuje częściowo energię gromadzoną w pojemności efektora. Jednym z najprostszych rozwiązań tego rodzaju, jest użycie wzmacniacza klasy D. Nadal wymaga on przetwornicy typu boost, ale istotnie zwiększa sprawność systemu. Niestety, wzmacniacze klasy D wymagają złożonych filtrów wyjściowych,

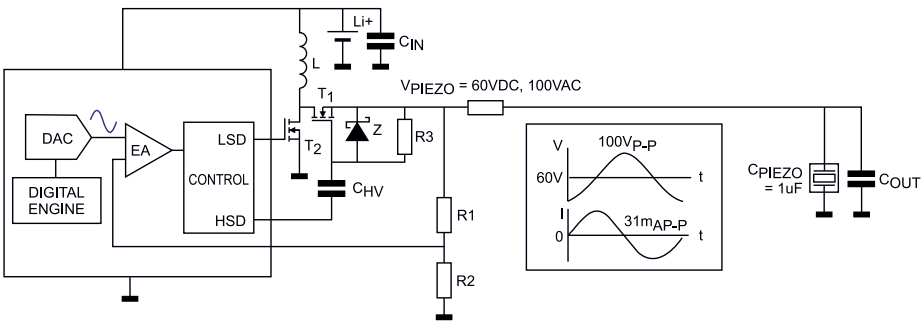


Rysunek 19. Typowy przebieg zasilający efektor piezoelektryczny

co komplikuje układ. Kolejnym krokiem może być połączenie przetwornicy boost i wzmacniacza. Tego rodzaju układ pokazano na schemacie blokowym na **rysunku 21**. Przebieg wysokiego napięcia o częstotliwości 200 Hz jest bardzo wolny w porównaniu z częstotliwością zegara przetwornicy (około 500 kHz), co skutkuje stabilizatorem z wolno zmieniającą się mocą wyjściową. Na rysunku 21 pokazano również przebiegi napięcia i prądu wraz z ich zależnością amplitudy i fazy. Podczas dodatniego okresu prąd cewki indukcyjnej ładuje kondensator – element piezoelektryczny. Podczas ujemnego okresu prąd jest zwracany do kondensatora wejściowego przez tranzystor MOSFET T_1, przewodzący prąd wsteczny, gdy jest włączony. Rezultatem jest cykl odzyskiwania energii, który praktycznie nie



Rysunek 20. Schemat blokowy przykładowego driver efektora piezoelektrycznego z wbudowaną przetwornicą typu boost

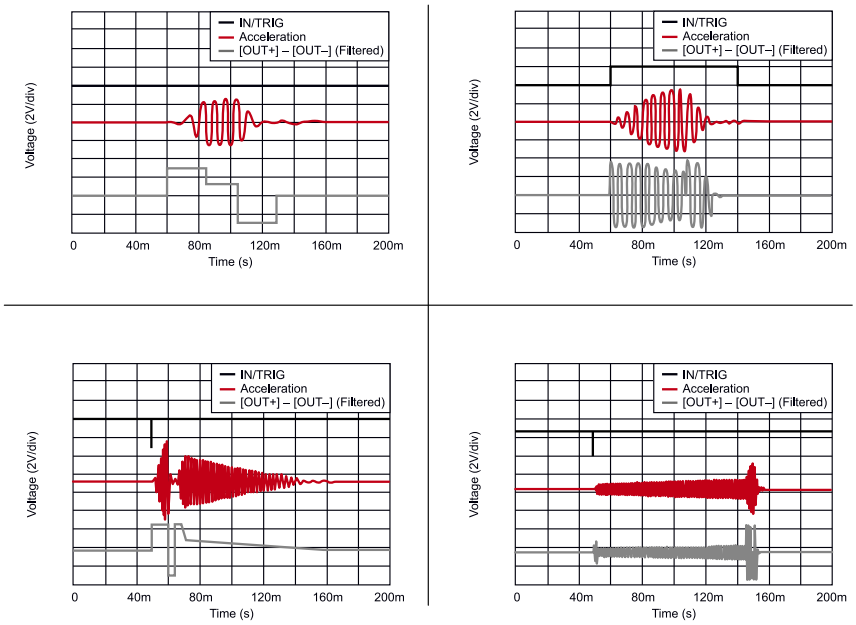


Rysunek 21.Schemat blokowy zoptymalizowanego sterownika efektora piezoelektrycznego

eprasa.pl b4234fed20

wykazuje strat, z wyjątkiem tych związanych ze stratami przełączania i niezerowym $R_{DS(ON)}$ tranzystorów polowych. Układ scalony kontrolera jest prostym układem niskonapięciowym i tylko zewnętrzne tranzystory MOSFET i elementy pasywne pracują przy wysokim napięciu. Kondensator C_{HV} realizuje niezbędną translację poziomów między niskonapięciowym sterownikiem a bramką MOSFET wysokiego napięcia.

Przykładem takiego sterownika jest układ MAX77501. Został zoptymalizowany do sterowania elementami piezoelektrycznymi o pojemności do 2 μF. Może generować asymetryczne przebiegi dotykowe o amplitudzie do 110 V_{P-P} z zasilania od 2,8 V do 5,5 V lub z jednoogniwowej baterii litowej. Obsługiwane jest odtwarzanie przebiegów z pamięci RAM i przesyłanie strumieniowe w czasie rzeczywistym (FIFO) przebiegów. Układ wyposażony jest w interfejs SPI o prędkości do 25 MHz, który zapewnia pełny dostęp do systemu i kontrolę, w tym raportowanie i monitorowanie błędów systemu. Pozwala to na szybkie uruchamianie odtwarzania w czasie 600 μs. Wbudowana pamięć może być dynamicznie przydzielana, jako pamięć wielu przebiegów lub jako bufor FIFO. W układzie scalonym zastosowano również architekturę o bardzo niskim poborze mocy, która zapewnia najniższe zużycie energii dla sterownika siłownika dotykowego. W układ wbudowane są zabezpieczenia: podnapięciowe, przepięciowe, nadprądowe i termiczne, co zapewnia bezpieczną pracę w dowolnych warunkach.



Rysunek 22. Przykładowe przebiegi sterujące efektorem, które mają wywołać różne odczucia dotykowe

Tabela 1. Podsumowanie głównych cech poszczególnych technologii haptycznych

	Silniki z ekscentrycznie umieszczoną masą (ERM)	Liniowe efektory rezonansowe (LRM)	Elementy piezoelektryczne
przyspieszenie	małe	średnie	duże
siła	mała	mała	duża
zakres częstotliwości	kilkaset herców, jednakże częstotliwość proporcjonalna jest do siły	bardzo mały – musi być blisko częstotliwości rezonansowej	bardzo szeroki, do dziesiątek kHz
amplituda	niewielka	niewielka	średnia lub duża
czas reakcji	duży	średni	bardzo krótki
zasilanie	kilka woltów	kilka woltów	ok. 100 V
zużycie mocy	niskie	niskie	średnie
rozmiar	duży	duży	mały
cena	niska	niska	wysoka

Oprogramowanie

Nie mniej istotnym, niż sam efektor i jego sterownik, elementem systemu haptycznego jest oprogramowanie, które steruje całym systemem. Zastosowanie bardziej zaawansowanych algorytmów sterowania pozwala na uzyskiwanie niepowtarzalnych efektów dotykowych. Temat generowania rozmaitych doznań dotykowych z wykorzystaniem efektorów haptycznych jest bardzo szeroki i generalnie wykracza poza zakres tego artykułu. Zagadnienie to jest głęboko związane z tematyką UI/UX, czyli holistycznego kreowania doświadczenia w interfejsie człowiek maszyna. Brzmi to skomplikowanie, ale sprowadza się do projektowania systemów tak, aby poszczególne ich komponenty się uzupełniały, aby dać całościowe wrażenie – na przykład przycisk na ekranie dotykowym, będzie animowany, jako naciśnięcie, podczas gdy głośnik odtworzy dźwięk kliknięcia, a system haptyczny wykona pasujące wrażenie dotykowe. Uzyskuje się to, kształtując odpowiednio przebieg, podawany na efektor. Na **rysunku 22** zaprezentowano przykładowe przebiegi zapisane w pamięci podręcznej układu sterownika, więc nie ma konieczności generowania ich każdorazowo na poziomie mikrokontrolera, wystarczy wydać odpowiednią komendę przez I²C czy SPI.

Podsumowanie

Opracowywanie systemów haptycznych jest obecnie prostsze niż kiedykolwiek. Na rynku istnieje wiele wysokopoziomowych elementów, ułatwiających prostą implementację systemów sprzężenia haptycznego. Dzięki istnieniu tego rodzaju komponentów, projektowanie urządzeń oddziałujących na zmysł dotyku w celu kreacji unikatowych interfejsów dotykowych jest dużo łatwiejsze. Poszczególne technologie haptyczne charakteryzują się różnymi parametrami, dzięki czemu każda z nich znajduje swoją niszę. Podsumowanie najważniejszych cech poszczególnych rozwiązań zebrano w **tabeli 1**.

Nikodem Czechowski, EP

Bibliografia:

1. „Haptics: Touch Feedback that Really Moves You" – https://bit.ly/3gIdzBD
2. K. Griffin, „Eight things to consider when choosing haptic feedback" – https://bit.ly/3cVt3Rz, https://bit.ly/35H3GPi
3. D. Birnbaum, „The design value of haptics: usability, industrial design and branding" – https://bit.ly/3vFzkYh
4. S. Bala, „How does a linear resonant actuator work?" – https://bit.ly/2UjPppB
5. https://bit.ly/3h1ifTt
6. https://bit.ly/3q932DI
7. https://bit.ly/35A5QAo
8. M. Barsilai, „LRA Actuators: How to Move Them?"
9. T. Dhuyvetter, N. Rossetti, „Energy-saving piezo haptic driver is the touch sensor's best friend", Design Solution 7124.

eprasa.pl b4234fed20

Bezdotykowe systemy haptyczne

Interfejsy człowiek–maszyna stają się coraz bardziej zaawansowane. Realizowanie szybkiej i bezbłędnej komunikacji to tylko jedno z ich zadań. Szeroki zakres zastosowań dla tych systemów sprawia, że często muszą spełniać różne dodatkowe wymagania. Cechą, która w ostatnim czasie staje się bardzo istotna, ale jest też niezwykle trudna do osiągnięcia, jest łatwa i intuicyjna obsługa dla użytkownika końcowego. Jednym z ważniejszych rozwiązań opracowanych w tym celu jest dodawanie sprzężenia haptycznego do obsługiwanych urządzeń.

Haptyczny oznacza: dotykalny, dotykowy, wykorzystujący zmysł dotyku. Systemy haptyczne, to takie, które wykorzystują dotyk do komunikacji z użytkownikiem, zupełnie tak, jak systemy wizualne korzystają ze zmysłu wzroku. Na ogół systemy dotykowe wymagają kontaktu np. z panelem sterującym urządzenia. Jednak opracowywane są technologie, które nie wymagają bezpośredniego dotyku, a pomimo tego mogą oddziaływać na ten zmysł. Jest to możliwe przy użyciu różnych niekonwencjonalnych technologii, takich jak sprężone powietrze czy ultradźwięki. W dalszej części tego artykułu przyjrzymy się tym rozwiązaniom, sposobami realizacji oraz ich wadom i zaletom. Technologie te są obecnie badane i rozwijane w celu opracowania nowatorskich interfejsów człowiek-maszyna, które nie wymagają bezpośredniej interakcji z powierzchnią systemu.

Jedno z zastosowań dotyczy motoryzacji. W nowoczesnych pojazdach wyposażonych w ekrany dotykowe sprzężenie haptyczne umożliwia bezwzrokową obsługę niektórych systemów przez kierowcę, co ma swoje oczywiste zalety. Ich zastosowanie w samochodowych systemach multimedialnych zwiększa bezpieczeństwo pozwalając kierowcy skupić się na drodze. Ponadto bezdotykowe elementy sterujące są higieniczne w użytku, idealnie, więc sprawdzają się w środowiskach medycznych, przemysłowych i domowych, takich jak szpitale, kuchnie czy toalety.

Technologie

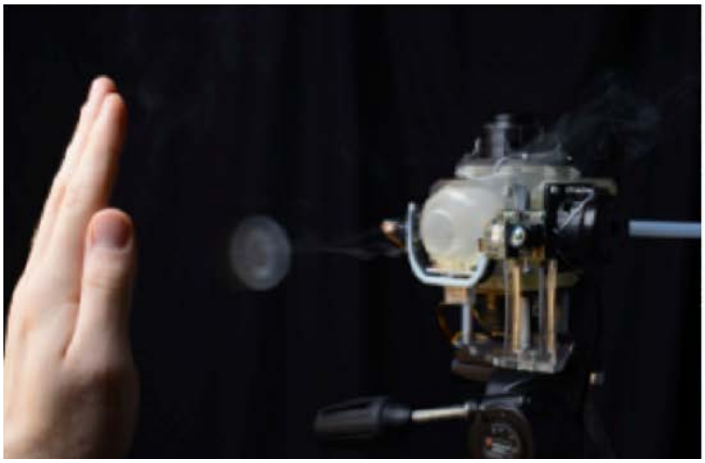
Skupimy się na dwóch obecnie najpopularniejszych technologiach bezdotykowych interfejsów zapewniających sprzęg haptyczny. Pozwalają one na osiągnięcie podobnego efektu, jednak różnią się sposobem jego uzyskania i wynikającymi z tego parametrami urządzenia.

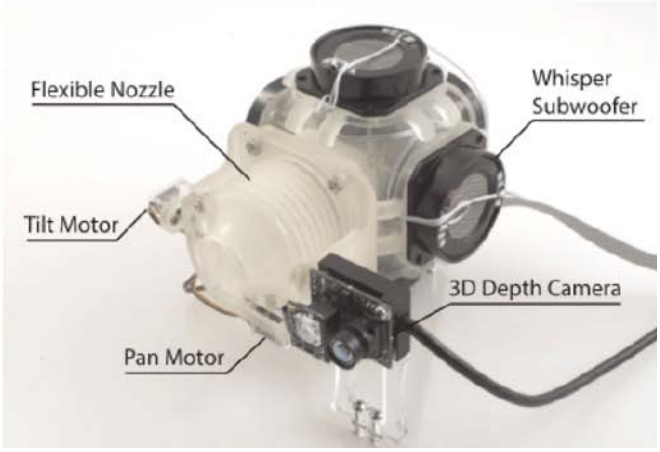
Air-Jet

Dotykowe sprzężenie zwrotne korzystające ze strumienia powietrza realizowane jest za pomocą dwóch technologii. Pierwsza z nich korzysta ze sprężonego powietrza, wypuszczanego przez zogniskowane dysze. Metoda ta polega na podłączeniu zbiornika ze sprężonym powietrzem przez zawory do ukierunkowanych wyjść – dysz. Zawory te mogą być sterowane za pomocą czujników ciśnienia i zaworów serwo-pneumatycznych.

Druga z metod korzysta z wirów powietrznych. Kontrolując różnicę ciśnień pomiędzy dyszą a medium zewnętrznym urządzenie generuje wiry o dokładnie znanej i przewidywalnej geometrii. Metoda ta pozwala wytwarzanym wirom powietrza sięgać na dalsze odległości przy zachowaniu spójnej formy i szybkości. Przykładem generatora wirów powietrznych jest urządzenie AIREAL zaprojektowane przez Disney Research, które zostało pokazane na **fotografii 1**. Składa się z sześciennej obudowy o wymiarach 8×8×8 cm, elastycznej dyszy o długości 4 cm i silników do obrotu i pochylenia dyszy. Oprócz strony dyszy wylotowej, każda strona modułu ma skierowany do wewnątrz, 2-calowy

eprasa.pl b4234fed20





Fotografia 1. Moduł haptyczny AIREAL

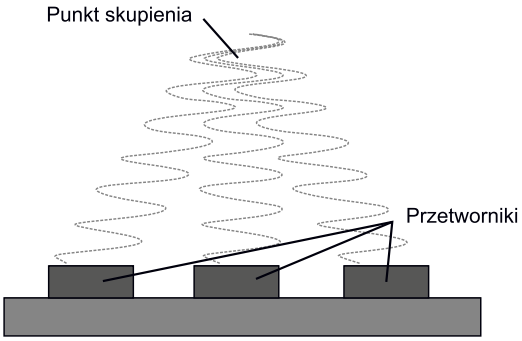
głośnik basowy o mocy 15 W. Głośniki te pełnią rolę pompy – razem działają jak siłownik wytwarzający sprężone powietrze.

Ciśnienie promieniowania akustycznego

Wytwarzanie wrażenia dotykowego za pomocą ultradźwięków bazuje na zjawisku siły (ciśnienia) promieniowania akustycznego. Fale akustyczne rozchodzą się przez ośrodek (powietrze), na które działa stała siła zwana siłą promieniowania akustycznego. Siła ta jest generowana przez przenoszenie pędu dźwięku w ośrodku. W technologiach dotykowych ciśnienie akustyczne jest generowane przy użyciu elektronicznych przetworników ultradźwiękowych. Przetworniki te są sterowane cyfrowo za pomocą wysokonapięciowego sygnału sterującego, który pozwala na wytworzenie fal ultradźwiękowych odpowiednio silnych, aby mogły odbijać się od ludzkiej skóry.

Przetwornik ultradźwiękowy składa się głównie z materiału piezoelektrycznego przymocowanego do metalowej obudowy z wewnętrznym izolatorem akustycznym. Wytwarza fale ultradźwiękowe, ponieważ materiał piezoelektryczny wibruje z dużą prędkością na skutek przyłożonego napięcia przemiennego. Dzięki tym drganiom o wysokiej częstotliwości wytwarzane są ultradźwiękowe fale akustyczne. Aby fale ultradźwiękowe mogły kształtować interfejs dotykowy „w powietrzu", stosuje się macierze przetworników ultradźwiękowych (**fotografia 2**) o wysoce kierunkowej charakterystyce. Emitując ultradźwięki w określony sposób są one w stanie generować złożone efekty, np. fale stojącą w powietrzu (**rysunek 1**). Technologia ultradźwiękowa zapewnia wyjątkowe wrażenia dotykowe, tworząc w powietrzu wyczuwalne wirtualne przyciski, przełączniki, pokrętła czy inne obiekty.

Fotografia 2. Ultradźwiękowy moduł haptyczny



Rysunek 1. Ilustracja pokazująca zasadę działania ultradźwiękowych systemów haptycznych

Porównanie

W **tabeli 1** znajduje sie porównanie opisanych rozwiązań. Metoda wykorzystująca strumień powietrza wydaje się być prostsza w projektowaniu i wdrażaniu w porównaniu z systemami ultradźwiękowymi. Ponadto dotykowe sprzężenie zwrotne wytwarzane przez urządzenie ze strumieniem powietrza może osiągnąć większą odległość. Ma jednak niższą rozdzielczość przestrzenną i wolniej dociera do punktu ogniskowego w przeciwieństwie do urządzenia wykorzystującego metodę ultradźwiękową. Także rozdzielczość przestrzenna systemu ultradźwiękowego jest znacznie wyższa, pozwalając na generowanie naprawdę zaawansowanych interfejsów.

Zastosowania

Istnieje wiele potencjalnych zastosowań, gdzie systemy tego rodzaju mogą się sprawdzić. Wcześniej zostały wymienione interfejsy systemów multimedialnych w przemyśle motoryzacyjnym i urządzenia medyczne – to jedne z najbardziej oczywistych miejsc. Zastosowanie interfejsu, który do obsługi nie wymaga dotyku ani wzroku, jest niezwykłą cechą. Dzięki

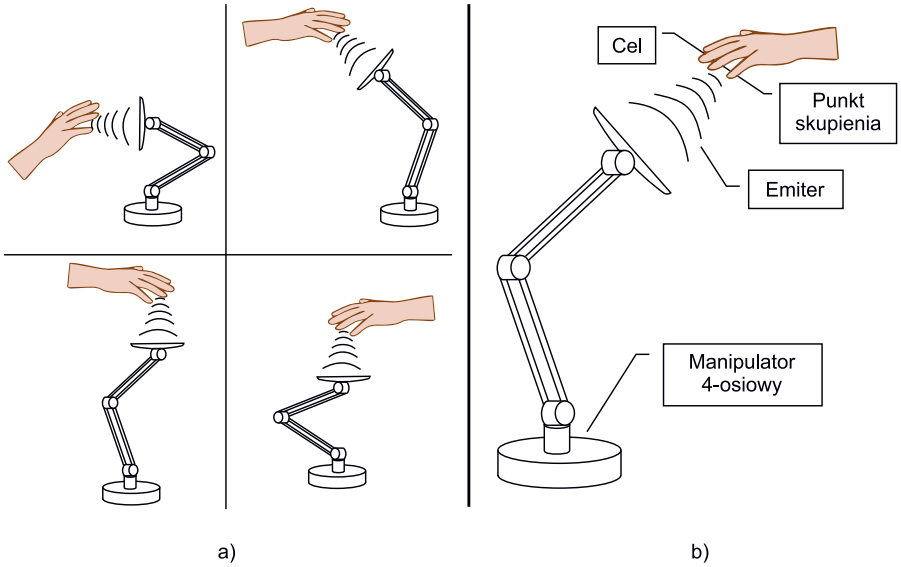
Tabela 1. Porównanie wad i zalet omawianych technologii

	Air-Jet	Przetworniki ultradźwiękowe
Zalety	łatwe w implementacji, duży zakres odległości pracy (duży zasięg)	niewielki rozmiar, wysoka rozdzielczość prestrzenna
Wady	duże i nieporęczne urządzenia, niewielka rozdzielczość przestrzenna, długi czas reakcji – sygnały poruszają się dosyć wolno przez medium	wysoki poziom szumu, niewielki zasięg
Zużycie mocy	w większości wypadków niewielkie (jedynie sygnały sterujące)	dosyć duże, w typowych systemach około 40 W

eprasa.pl b4234fed20

temu staje się on bardziej wygodny, a co za tym idzie, również bezpieczny.

W kontekście systemów, które są w stanie generować w powietrzu trójwymiarowe, wirtualne interfejsy, często mówi się o budowaniu „dotykowego hologramu". Na **rysunku 2** pokazano przykład tego rodzaju systemu, który wykorzystuje emiter ultradźwiękowy, zainstalowany na robotycznym ramieniu z czterema osiami swobody. Emiter zastosowany w urządzeniu zawiera kwadratową matrycę 324 przetworników ultradźwiękowych, sterowanych z dziewięciu 36-kanałowych wzmacniaczy, sterowanych z pojedynczej jednostki centralnej. System ten osiąga nacisk około 1,6 grama, co jest dostateczną wartością, aby zagwarantować dobry odbiór uczucia nacisku. Inne systemy, budowane przez naukowców, zawierają nawet więcej przetworników – nawet kilka tysięcy, i są w stanie wywoływać nacisk sięgający ok. 10 gramów.



Rysunek 2. Robotyczny, „dotykowy hologram": a) różne pozycje ramienia, b) elementy składowe systemu

Dodatkowo, dzięki temu, że macierz przetworników ultradźwiękowych zamontowana jest na robotycznym ramieniu, „dotykowy hologram" może być emitowany w każdym kierunku. Aby śledzić cel, można użyć czujnika, takiego jak zintegrowany w Kinekcie czy Leap Motion, który pozwoli śledzić rękę użytkownika i porównać jej lokalizację w trzech wymiarach z rzutowanym dotykowym modelem 3D w systemie wirtualnego świata. Haptyczne sprzężenie zwrotne jest generowane po wykryciu kolizji dłoni i modelu w systemie wirtualnego świata. Śledzenie dłoni i ruch robota pozwalają na utrzymywanie optymalnej pozycji i odległości pomiędzy macierzą przetworników a dłonią.

Tego rodzaju przetworniki wytwarzają bezkontaktowe haptyczne sprzężenie zwrotne za pomocą ultradźwięków na odległość do 300 mm. Większe układy mogą osiągnąć nawet do 600 mm zasięgu, poświęcając przy tym rozdzielczość przestrzenną, która spada wtedy do około 20 mm. Kompaktowe przetworniki, jakie najpewniej trafią do urządzeń konsumenckich, osiągają zasięg na poziomie 250 mm i rozdzielczość przestrzenną 20 mm.

Spojrzenie w przyszłość

Istnieją pewne wady korzystania z powyższych metod w celu wygenerowania bezdotykowej, haptycznej informacji zwrotnej dla użytkownika. Metoda strumienia powietrza jest prosta w implementacji i może dać stosunkowo akceptowalne sprzężenie zwrotne, jednak ze względu na fizyczne właściwości powietrza, metoda ta nie posiada możliwości korelowania przestrzenno-czasowego w wysyłanych sygnałach, co jest niezbędne w zastosowaniach multimedialnych. Z drugiej strony metoda ultradźwiękowa przezwycięża te wady, jednak też nie jest idealna.

Wielu specjalistów zwraca uwagę na to, że aby przetestować swój system, musieli poprosić ochotników o umieszczenie rąk bardzo blisko dotykowego systemu ultradźwiękowego (ok. 250 mm). Inną kwestią, która budzi obawy przy stosowaniu ultradźwięków jest pewien słyszalny dźwięk wytwarzany przez przetworniki ultradźwiękowe. Ochotnicy często podczas testów tych prototypowych systemów muszą nosić słuchawki, inaczej byliby narażeni, na co najmniej nieprzyjemne dźwięki o dosyć dużym natężeniu.

Istnieje wiele możliwości dalszej poprawy parametrów. Możliwe jest zwiększenie rozdzielczości przestrzennej – wyższa częstotliwość ultradźwięków może zminimalizować średnicę ogniska, co jest preferowane w większości zastosowań dotykowych. Jednak charakterystyka stratna medium przenoszącego ultradźwięki (tj. powietrza), nie działa na korzyść tego rodzaju systemów. Istnieje pewien kompromis między utratą energii a częstotliwością, ponieważ im wyższa częstotliwość, tym większy procent energii jest tracony w medium.

Nie można również ignorować niebezpieczeństw, wpływających na bezpieczeństwo ludzi korzystających z tego rodzaju systemów. Skóra może ulec uszkodzeniu pod wpływem ciepła, jeśli zastosowana zostanie duża moc, powyżej 100 mW/cm². Dodatkowo ludzka skóra może ulec lekkiemu nagrzaniu, jeśli jest wystawiona na działanie fal ultradźwiękowych o mocy większej niż 140...150 dB. W przypadku większości zastosowań związanych z bezdotykowymi systemami haptycznymi wykorzystywane są znacznie mniejsze moce, co jednak nie znaczy, że w przyszłości inżynierowie nie będą sięgać po większe natężenia.

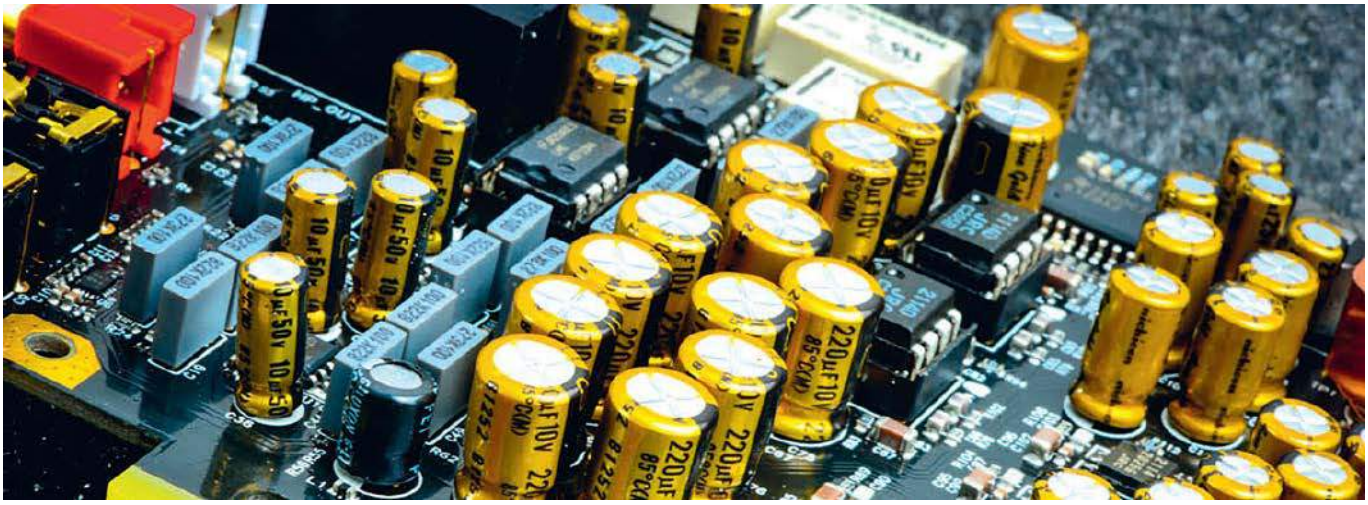
Są również inne skutki uboczne stosowania ultradźwięków. Badania pokazują, że niektóre skutki uboczne długiej ekspozycji na ultradźwięki w powietrzu mogą obejmować nudności, zmęczenie i bóle głowy. Podczas gdy maksymalny zalecany poziom ciśnienia akustycznego wynosi 110 dB, poziom ciśnienia akustycznego w odległości 300 mm od pojedynczego przetwornika używanego w większości systemów wynosi około 121,5 dB, czyli więcej niż maksymalne zalecenie. Dlatego bardzo ważne jest, aby badacze i użytkownicy wzięli to pod uwagę i przeprowadzili niezbędne pomiary, od których zależy możliwość unikania wypadków.

Z drugiej strony szereg badań, prototypów i projektów dowodzi, że bezdotykowe sprzężenie haptyczne może być z powodzeniem stosowane w szerokiej gamie aplikacji multimedialnych, przemysłowych itp. Opisane dwa możliwe rozwiązania technologiczne, mające na celu wytworzenie haptycznego sprzężenia zwrotnego w powietrzu – strumień powietrza i ultradźwięki – mają swoje wady i zalety, dzięki czemu doskonale odnajdą się w różnych zastosowaniach. Metoda strumieniowa wykazuje tańszą i stosunkowo łatwiejszą implementację, z możliwością dotykowego sprzężenia zwrotnego sięgającego większych odległości w porównaniu z metodą ultradźwiękową. Jednak nieporęczne systemy pneumatyczne mogą napotkać pewne wyzwania przy komercjalizacji takich produktów. Dla porównania metoda ultradźwiękowa oferuje bardziej zwarte konstrukcje z wysoką rozdzielczością przestrzenną i dokładnością w punktach ogniskowych, jednak o ograniczonym zasięgu.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła:
1. Ch. Desnoyers, S. Pohorecky 6.101 Final Project: „Ultrasonic Haptic Feedback" May 18, 2017;
2. Faisal Arafsha, Longyu Zhang, Haiwei Dong, and Abdulmotaleb El Saddik, „Contactless Haptic Feedback: State of the Art", Conference: 2015 IEEE International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE);
3. T. Hoshi, T. Iwamoto, H. Shinoda, „Non-contact tactile sensation synthesized by ultrasound transducers," Proceedings of the 3rd Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environments Teleoperator Systems, pp. 256–260, 2009.

eprasa.pl b4234fed20



Obwody ze wzmacniaczami

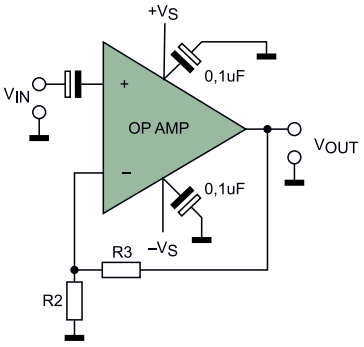
Jak uniknąć podstawowych problemów przy projektowaniu

Układy ze wzmacniaczami operacyjnymi i pomiarowymi mają wiele zalet. Są znacznie prostsze niż wersje oparte na elementach dyskretnych, jednakże potrafią zastawić na niedoświadczonego projektanta szereg pułapek…

Wzmacniacze operacyjne i pomiarowe są niezwykle użyteczne i, wydawałoby się, proste w aplikacji w układzie. Niestety bardzo często, na skutek drobnych przeoczeń przy projektowaniu takiego obwodu, pomija się pewne bardzo podstawowe kwestie, które prowadzą do tego, że obwód nie działa zgodnie z oczekiwaniami, a być może w ogóle. W poniższym artykule omówiono kilka najczęściej występujących problemów z aplikacjami op-ampów i wzmacniaczy pomiarowych, wraz z propozycjami praktycznego rozwiązania każdego z wymienionych problemów.

Brak ścieżki powrotnej stałego prądu polaryzacji dla sprzężenia zmiennoprądowego

Jednym z najczęściej napotykanych problemów związanych z aplikacjami op-ampów jest brak ścieżki powrotnej DC dla prądu polaryzacji wejścia w obwodach wzmacniacza operacyjnego lub pomiarowego ze sprzężeniem wejścia AC. Na schemacie z **rysunku 1** kondensator wejściowy jest połączony szeregowo z nieodwracającym „+" wejściem wzmacniacza operacyjnego. Jest to łatwy sposób blokowania napięć stałych związanych z napięciem wejściowym (VIN) i powinien być szczególnie przydatny w zastosowaniach o dużym wzmocnieniu, gdzie nawet małe napięcie stałe na wejściu wzmacniacza może ograniczyć użyteczny zakres dynamiki, a nawet spowodować nasycenie wyjścia. Jednakże pojemnościowe sprzężenie z wejściem o wysokiej impedancji bez zapewnienia ścieżki dla prądu stałego płynącego na wejściu „+" doprowadzić może do problemów z działaniem układu.

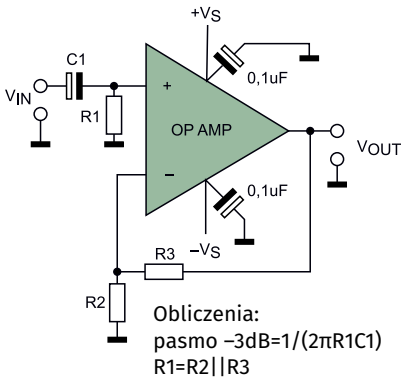


Rysunek 1. Układ ze zmiennoprądowym sprzężeniem na wejściu, któremu brakuje ścieżki powrotnej dla prądu stałego

W rzeczywistym układzie wejściowy prąd polaryzacji wejścia będzie przepływać przez kondensator sprzęgający, ładując go, aż do przekroczenia wartości znamionowej napięcia współbieżnego na wejściu op-ampa lub do przekroczenia wartości granicznej napięcia wyjściowego. W zależności od biegunowości wejściowego prądu polaryzacji kondensator będzie ładował się w kierunku dodatniego lub ujemnego napięcia zasilania. Napięcie polaryzacji jest wzmacniane przez wzmocnienie stałoprądowe wzmacniacza, działającego w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego.

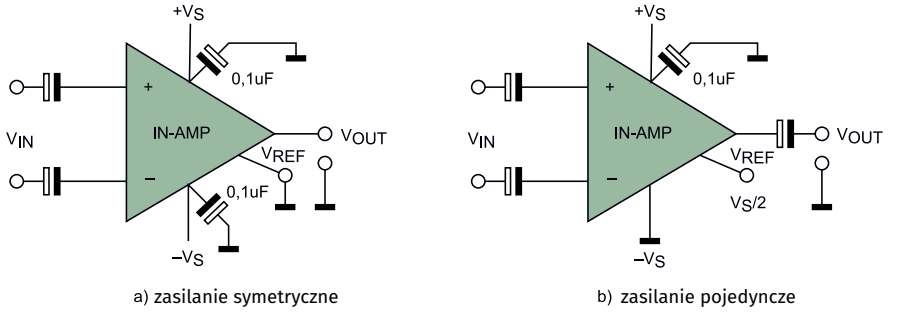
Proces ten może zająć dużo czasu. Na przykład przy wzmacniaczu z wejściem w postaci tranzystora polowego (FET), o prądzie polaryzacji na poziomie pojedynczych pikoamperów, podłączonym poprzez kondensator 0,1 μF, napięcie na pojemności wejściowej narastać będzie z prędkością ($I/C=10^{-12}/10^{-7}$) równą około 10 μV/s, czyli 600 μV na minutę. Jeśli wzmocnienie tego op-ampa równe będzie 100 V/V, to obserwowany na skutek ładowania pojemności wejściowej dryf napięcia na wyjściu wyniesie około 0,06 V/min. To zbyt mało, aby można było to zaobserwować za pomocą zwykłych testów laboratoryjnych, szczególnie przy użyciu

eprasa.pl b4234fed20

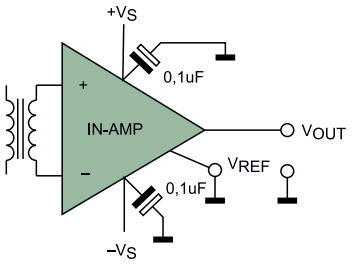


Rysunek 2. Poprawny sposób podłączania wejścia ze sprzężeniem zmiennoprądowym w systemie z zasilaniem symetrycznym

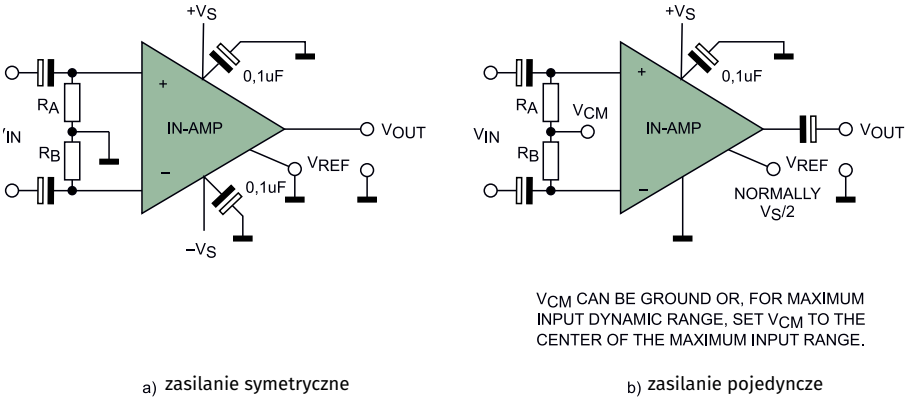
oscyloskopu ze sprzężeniem wejścia AC. Zatem podczas testów nie wykryjemy tego problemu, a obwód ulegnie awarii dopiero po np. kilku godzinach pracy. Kluczowe jest więc całkowite uniknięcie tego problemu. Na **rysunku 2** zostało pokazane proste rozwiązanie tego bardzo powszechnego problemu. Dodatkowy rezystor jest podłączony między wejściem wzmacniacza operacyjnego a masą, aby zapewnić ścieżkę do odprowadzania wejściowego prądu polaryzacji. Aby zminimalizować



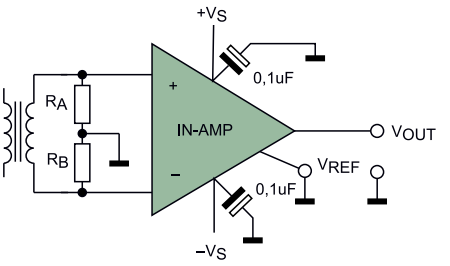
Rysunek 3. Niefunkcjonalne przykłady wzmacniaczy pomiarowych ze sprzężonymi pojemnościowo wejściami i zasilaniem: a) symetrycznym, b) asymetrycznym



Rysunek 4. Niefunkcjonalny przykład układu ze wzmacniaczem pomiarowym sprzęgniętym poprzez transformator



Rysunek 5. Oporniki o wysokiej rezystancji podłączone pomiędzy wejścia wzmacniacza pomiarowego a punkt wspólny: a) masę dla układów z zasilaniem symetrycznym, b) napięcie VCM dla układów z pojedynczym napięciem zasilania



Rysunek 6. Poprawna metoda podłączania transformatora separującego do wejścia wzmacniacza pomiarowego

napięcia offsetu wyjściowego, spowodowane wejściowymi prądami polaryzacji, R1 jest zwykle dobierany jako równy równoległemu połączeniu oporników R2 i R3.

Należy jednak pamiętać, że ten rezystor zawsze będzie wprowadzał pewien dodatkowy szum do obwodu, więc jego finalny dobór jest kompromisem między impedancją wejściową obwodu, rozmiarem wymaganego wejściowego kondensatora sprzęgającego i szumem Johnsona dodanym przez ten rezystor. Typowe wartości rezystorów R1 mieszczą się na ogół w zakresie od około 100 kΩ do 1 MΩ.

Podobny problem może mieć wpływ na działanie obwodu ze wzmacniaczem pomiarowym. Schemat z **rysunku 3** pokazuje aplikację tego rodzaju wzmacniacza z wejściami sprzężonymi pojemnościowo. W układach tych nie zapewniono ścieżki powrotnej dla prądu polaryzacji wejść wzmacniacza. Ten problem występuje w przypadku obwodów wzmacniacza pomiarowego wykorzystujących zarówno podwójne (rysunek 3a), jak i pojedyncze (rysunek 3b) zasilanie.

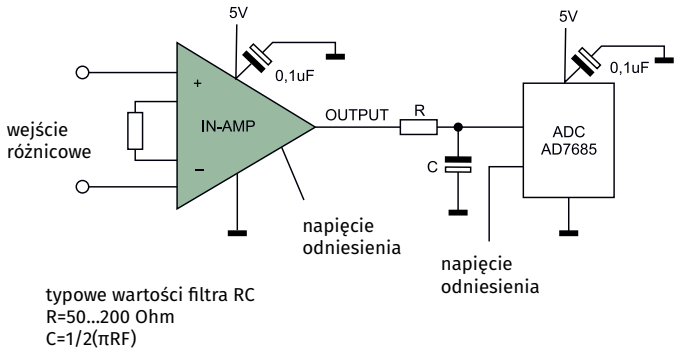
Problem taki wystąpić może również w układach pomiarowych sprzężonych ze źródłem sygnału za pomocą transformatora tak, jak pokazano na **rysunku 4**, jeśli obwód uzwojenia wtórnego nie ma stałoprądowej ścieżki do masy. Najprostsze rozwiązanie dla wspomnianych układów zaprezentowano na **rysunku 5** oraz **rysunku 6**. Wystarczy, podobnie jak dla wzmacniacza operacyjnego, dodać ścieżkę DC od wejść do masy lub innego napięcia. Dlatego też w układach tych dodane są oporniki (R_A, R_B) pomiędzy wejściami a masą (dla układów zasilanych symetrycznie) lub napięciem V_{CM} (dla układów zasilanych asymetrycznie). Może to być dowolne napięcie pomiędzy masą a zasilaniem, ale dla uzyskania maksymalnej dynamiki napięcie to powinno być równe połowie napięcia zasilania. Takie samo podejście można zastosować do wejść sprzężonych poprzez transformator (rysunek 6), chyba że uzwojenie transformatora ma wyprowadzenie na środku, które można podłączyć do masy lub V_{CM}.

W pokazanych obwodach wystąpi niewielki błąd napięcia offsetu, spowodowany niedopasowaniem między rezystorami i wejściowymi prądami polaryzacji. Aby zminimalizować takie błędy, trzeci rezystor, o wartości około 1/10 rezystancji R_A i R_B (ale nadal duży w porównaniu do różnicowej rezystancji źródła), można podłączyć między dwoma wejściami we wzmacniaczu, mostkując oba rezystory.

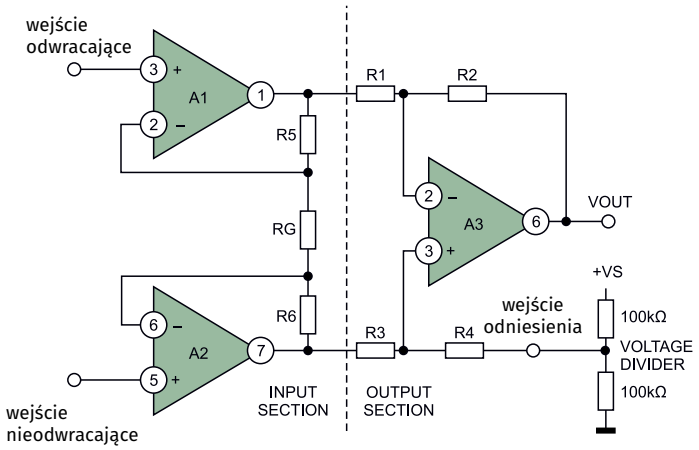
Dostarczanie napięcia odniesienia dla wzmacniaczy operacyjnych, pomiarowych i przetworników analogowo-cyfrowych (ADC)

Na **rysunku 7** został pokazany obwód z pojedynczym napięciem zasilania, w którym

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 7. Wzmacniacz steruje przetwornikiem ADC w typowym obwodzie z pojedynczym napięciem zasilania



Rysunek 8. Nieprawidłowe użycie prostego dzielnika napięcia do bezpośredniego sterowania pinem napięcia odniesienia wzmacniacza pomiarowego (złożonego z 3 wzmacniaczy operacyjnych)

wzmacniacz wejściowy steruje asymetrycznym przetwornikiem analogowo-cyfrowym (ADC). Napięcie odniesienie wzmacniacza zapewnia napięcie polaryzacji odpowiadające zerowemu wejściu różnicowemu, a napięcie odniesienia ADC zapewnia współczynnik skalowania. Prosty dolnoprzepustowy filtr antyaliasingowy RC jest często używany między wyjściem wzmacniacza a wejściem ADC, którym steruje, aby zredukować szum pozapasmowy. Projektanci często ulegają pokusie stosowania prostych rozwiązań, takich jak dzielniki rezystancyjne do uzyskania napięć referencyjnych we wzmacniaczu i przetworniku ADC. Może to prowadzić do błędów w przypadku niektórych wzmacniaczy pomiarowych.

Poprawne podłączanie napięcia odniesienia do wzmacniacza pomiarowego

Powszechnym założeniem jest, że wejście napięcia odniesienia we wzmacniaczu pomiarowym ma wysoką impedancję, ponieważ jest traktowane jak każde inne wejście. Dlatego projektant może ulec pokusie, aby podłączyć do niego źródło napięcia o wysokiej impedancji, takie jak na przykład dzielnik rezystancyjny. Może to jednakże spowodować poważne błędy w przypadku niektórych typów wzmacniaczy pomiarowych (**rysunek 8**). Weźmy za przykład popularną konfigurację wzmacniacza pomiarowego, która wykorzystuje trzy wzmacniacze operacyjne połączone jak na rysunku 8. Całkowite wzmocnienie sygnału w takim układzie wynosi:

$$G = \left(1 + \frac{R_5}{R_G} + \frac{R_6}{R_G}\right)\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

gdzie $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$

Wzmocnienie dla wejścia odniesienia (jeśli jest sterowane ze źródła o niskiej impedancji) wynosi jeden. Jednak w zaprezentowanym przypadku pin odniesienia wzmacniacza pomiarowego jest bezpośrednio połączony z prostym dzielnikiem napięcia. To powoduje nierównowagę symetrii obwodu odejmującego i współczynnika podziału dzielnika napięcia. Redukuje to tłumienie w trybie wspólnym wzmacniacza i wpływa na jego dokładność wzmocnienia. Jeśli jednak można zmniejszyć wartość rezystancji R_4 (jest on dostępny w systemie, a nie zawarty w układzie scalonym), o wartość równą rezystancji wynikającej z równoległego umieszczenia dzielnika napięcia (50 kΩ w pokazanym obwodzie), to obwód taki będzie zachowywał się jak źródło napięcia o niskiej impedancji równe (w tym przykładzie) połowie napięcia zasilania. Pozwoli to na zachowanie dokładności pracy części odejmującej wzmacniacza pomiarowego.

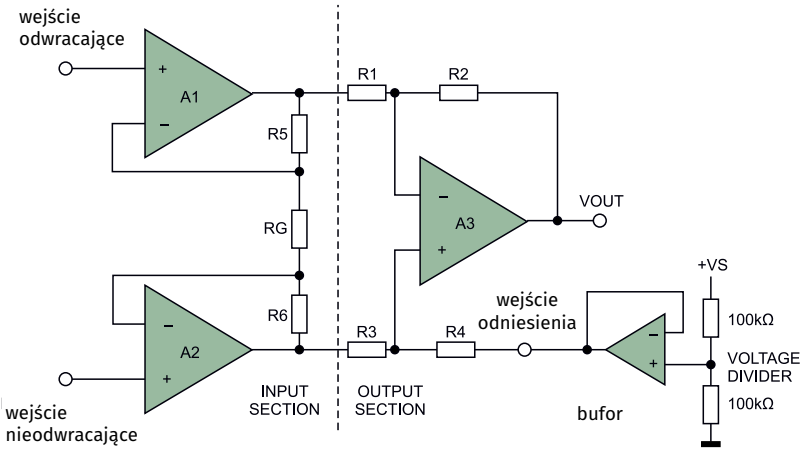
Tego podejścia nie można zastosować, jeśli wzmacniacz jest dostarczany jako zamknięty pojedynczy element (układ scalony). Inną kwestią jest to, że współczynniki temperaturowe rezystorów w dzielniku napięcia powinny odpowiadać współczynnikom TWR opornika R_4 i innych rezystorów w gałęzi odejmowania. Podejście to blokuje również możliwość zmiany napięcia odniesienia. Z drugiej strony, jeśli spróbujemy zastosować małe wartości rezystorów w dzielniku napięcia, starając się, aby dodana rezystancja była pomijalna, spowoduje to wzrost poboru prądu z zasilacza i zwiększenie poziomu rozpraszania mocy w obwodzie. Takie podejście jest dalekie od optymalnego i nie jest rekomendowane w projekcie.

Na schemacie z **rysunku 9** pokazano lepsze rozwiązanie, wykorzystujące bufor w postaci wzmacniacza operacyjnego małej mocy pomiędzy dzielnikiem napięcia a wejściem odniesienia wzmacniacza pomiarowego. Eliminuje to problem dopasowania impedancji i śledzenia temperatury oraz umożliwia łatwą regulację napięcia odniesienia.

Jak zachować PSRR op-ampa, przy wykorzystaniu napięcia zasilania jako napięcia odniesienia

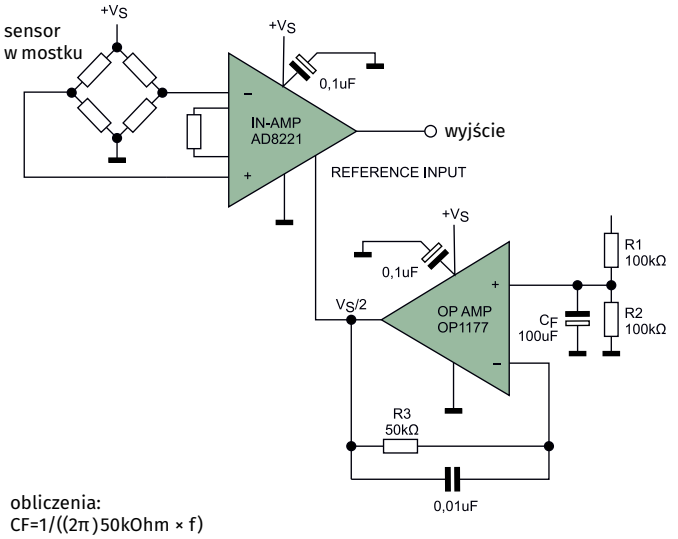
Często pomijanym faktem jest to, że wszelkie zakłócenia, stany nieustalone lub dryfty napięcia zasilającego V_S, podawane przez wejście odniesienia, dodają się bezpośrednio do napięcia wyjściowego, tłumione tylko przez współczynnik dzielnika napięcia odniesienia. Praktyczne rozwiązania obejmują różnego rodzaju filtry pasmowe czy stabilizatory napięcia odniesienia, na przykład za pomocą precyzyjnego układu scalonego – stabilizatora napięcia odniesienia, takiego jak ADR121, zamiast stosowania prostego dzielnika na linii V_S.

Kwestia ta jest bardzo ważna podczas projektowania obwodów zawierających zarówno wzmacniacze pomiarowe, jak i operacyjne. Techniki



Rysunek 9. Sterowanie pinem napięcia odniesienia wzmacniacza pomiarowego ze źródła o niskiej impedancji – wzmacniacza operacyjnego

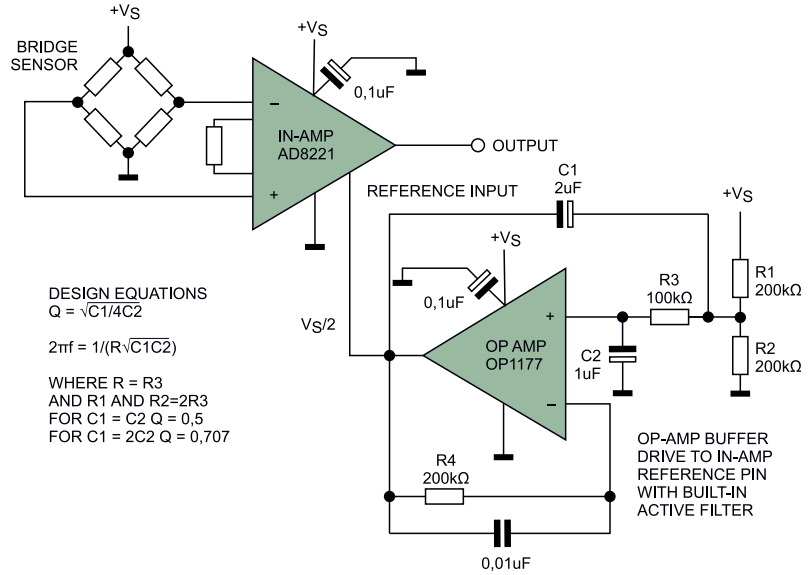
eprasa.pl b4234fed20



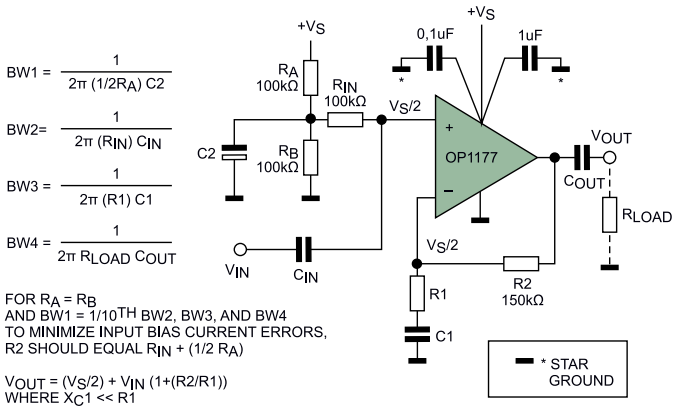
obliczenia:
CF=1/((2π)50kOhm × f)
10 uF dla 0,3 Hz, 100 uF dla 0,03 Hz
R3=R1||R2

Rysunek 10. Filtrowania sygnału napięcia odniesienia w celu zachowania wysokiego PSRR systemu

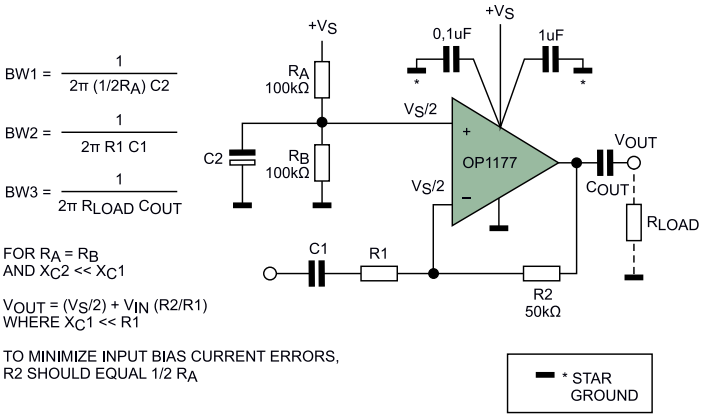
tłumienia wpływu napięcia zasilania są stosowane w celu odizolowania wzmacniacza od zakłóceń w domenie zasilania: przydźwięku sieciowego, szumu i wszelkich przejściowych zmian napięcia występujących na szynach zasilających. Jest to ważne, ponieważ wiele rzeczywistych



Rysunek 11. Bufor wzmacniacza operacyjnego podłączony jako filtr aktywny steruje pinem napięcia odniesienia we wzmacniaczu pomiarowym



Rysunek 12. Obwód wzmacniacza nieodwracającego z pojedynczym napięciem zasilania pokazujący prawidłowy sposób filtrowania linii zasilania. Wzmocnienie dla pasma środkowego równe jest 1+R2/R1



Rysunek 13. Prawidłowe filtrowanie zasilania obwodu wzmacniacza odwracającego z pojedynczym zasilaniem. Wzmocnienie pasma środkowego równe jest –R2/R1

obwodów istnieje i pracuje w środowiskach, które oferują mniej niż idealne napięcie zasilania dla wzmacniaczy. Ponadto sygnały prądu przemiennego obecne w przewodach zasilających mogą być wprowadzane z powrotem do obwodu, wzmacniane i w odpowiednich warunkach stymulować oscylacje pasożytnicze w układzie, które obecne mogą być na wyjściu toru analogowego, pogarszając jego parametry.

Nowoczesne wzmacniacze operacyjne i wzmacniacze pomiarowe zapewniają znaczne tłumienie zasilania w zakresie zakłóceń o niskiej częstotliwości w ramach swojej konstrukcji. Jest to coś, co większość inżynierów elektroników uważa za oczywiste. Wiele nowoczesnych wzmacniaczy operacyjnych i wzmacniaczy pomiarowych ma specyfikację odrzucenia wpływu napięcia zasilania (PSRR) na poziomie od 80 dB do ponad 100 dB, zmniejszając wpływ wahań napięcia zasilania o współczynnik od 10 000 do 100 000. Nawet dość skromna specyfikacja PSRR wynosząca 40 dB izoluje sygnał od wahania zasilania ze wzmacniacza o współczynnik 100. Niemniej jednak kondensatory filtrujące zakłócenia wysokiej częstotliwości (takie jak te na **rysunkach 1...7**) są zawsze pożądane w układzie, a na ogół wręcz niezbędne.

Ponadto w systemie używa się prostego dzielnika rezystancyjnego na szynie zasilającej i bufora w postaci wzmacniacza operacyjnego do dostarczania napięcia odniesienia do wzmacniacza, wszelkie zmiany napięcia zasilania są przepuszczane przez ten obwód z niewielkim tłumieniem i dodawane bezpośrednio do poziomu napięcia wyjściowego wzmacniacza pomiarowego. Tak więc, jeśli nie zostanie tutaj dodany odpowiedni filtr dolnoprzepustowy, to wysoki PSRR scalonego wzmacniacza pomiarowego zostanie istotnie pogorszony.

Na **rysunku 10** duży kondensator został dodany do dzielnika napięcia, aby odfiltrować na jego wyjściu wahania napięcia zasilania i zachować wysoki PSRR systemu. Biegun –3 dB tego filtra dolnoprzepustowego jest konfigurowany przez równoległą kombinację rezystorów R1 i R2 oraz pojemność kondensatora C1. Biegun ten powinien być ustawiony około 10 razy niżej niż najniższa częstotliwość analizowana w układzie. Pokazane wartości domyślne zapewniają filtrowanie przy częstotliwości równej około 0,03 Hz. Mały (0,01 μF) kondensator na R3 minimalizuje szum rezystora.

Naładowanie filtra zajmie trochę czasu. Przy użyciu sugerowanych wartości, czas narastania na wejściu odniesienia wynosi kilka stałych czasowych (gdzie $T=R_3C_f=5$ sekund dla tych wartości) lub około 10…15 sekund.

Obwód z **rysunku 11** oferuje dalszą poprawę parametrów tego systemu. W układzie tym bufor wzmacniacza operacyjnego działa jako filtr aktywny, co pozwala na zastosowanie znacznie mniejszych

eprasa.pl b4234fed20

kondensatorów przy takim samym filtrowaniu zasilania. Ponadto filtr aktywny można zaprojektować tak, aby zapewniał większą dobroć, a tym samym zapewniał szybszy czas włączenia filtra. Przy pokazanych wartościach komponentów i przyłożeniu 12 V do wzmacniacza doprowadzono filtrowane napięcie odniesienia 6 V. Do modulowania zasilania 12 V zastosowano falę sinusoidalną o napięciu międzyszczytowym 1 V o zmiennej częstotliwości, przy wzmocnieniu wzmacniacza ustawionym na jedność. W tych warunkach, gdy częstotliwość spadła, żaden sygnał AC nie był widoczny na oscyloskopie, przy VREF lub na wyjściu wzmacniacza, aż do około 8 Hz. Zmierzony zakres zasilania dla tego obwodu wynosił od 4 V do ponad 25 V, przy niskim poziomie sygnału wejściowego przyłożonego do wzmacniacza. Czas włączania się obwodu wynosił jakieś 2 sekundy.

Filtrowanie zasilania op-ampów – układy z zasilaniem asymetrycznym

Obwody wzmacniaczy operacyjnych z pojedynczym zasilaniem wymagają polaryzacji wejściowego poziomu sygnału wspólnego w celu obsługi dodatnich i ujemnych wahań sygnałów dla prądu przemiennego na wejściu układu. Gdy to napięcie polaryzacji jest dostarczane z szyny zasilającej za pomocą dzielnika napięcia, wymagane jest odpowiednie filtrowanie tego napięcia, aby zachować wysoki PSRR układu, analogicznie do tego, co zostało opisane wcześniej.

Powszechną, ale niepoprawną praktyką jest stosowanie dzielnika rezystorowego z dwóch oporników 100 kΩ z kondensatorem filtrującym na poziomie 0,1 μF w celu dostarczenia napięcia polaryzacji $V_S/2$ do nieodwracającego wejścia wzmacniacza operacyjnego. Przy tych wartościach filtrowanie zasilania jest często niewystarczające, ponieważ częstotliwość biegunów wynosi tylko 32 Hz. Często występuje niestabilność obwodu, zwłaszcza podczas zasilania obciążeń indukcyjnych.

Na rysunku 12 (nieodwracający) i **rysunku 13** (odwracający) pokazane są obwody, które realizują polaryzację filtrowanym napięciem $V_S/2$ dla uzyskania możliwie najlepszych parametrów układu. W obu przypadkach na wejściu nieodwracającym podawane jest napięcie polaryzacji, a sprzężenie zwrotne powoduje, że wejście odwracające przyjmuje takie samo napięcie, a wzmocnienie równe jedności również polaryzuje wyjście do tego samego poziomu napięcie. Kondensator sprzęgający C1 obniża wzmocnienie dla sygnałów niskiej częstotliwości do jedności na poziomie częstotliwości BW3. Dobrą praktyczną zasadą przy stosowaniu dzielnika napięcia 100 kΩ/100 kΩ, jak pokazano, jest użycie wartości pojemności C2 wynoszącej co najmniej 10 μF, co zaowocuje przesunięciem się krawędzi –3 dB pasma do 0,3 Hz. Wartość 100 μF (biegun przy 0,03 Hz) jest jeszcze lepsza i należy ją stosować, jeśli jest to możliwe.

Podsumowanie

Projektowanie układów analogowych z wykorzystaniem scalonych wzmacniaczy jest znacznie uproszczone. Nie oznacza to jednak, że nie można napotkać żadnych problemów. W powyższym artykule omówiliśmy, w jaki sposób należy zadbać o wejścia ze sprzężeniem AC, aby uniknąć powstawania dryftu napięcia offsetu wyjściowego w tego rodzaju układach oraz w jaki sposób należy filtrować napięcia odniesienia, wykorzystywane ze wzmacniaczami pomiarowymi oraz op-ampami z pojedynczym napięciem zasilania.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło: https://bit.ly/3i7w5Ww

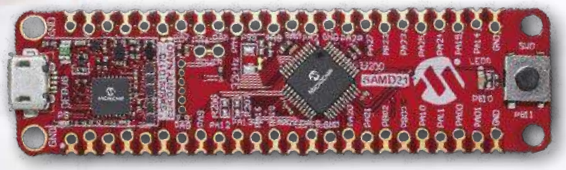
KONKURS

Wygraj zestaw ewaluacyjny Microchip SAM D21 Curiosity Nano

Firma Microchip organizuje konkurs dla czytelników Elektroniki Praktycznej, w ramach którego można wygrać płytkę ewaluacyjną DM320119 z wydajnym i energooszczędnym mikrokontrolerem SAMD21G17D bazującym na rdzeniu ARM Cortex-M0+ (Microchip SAM D21 Curiosity Nano Evaluation Kit).

Zestaw ewaluacyjny SAM D21 Curiosity Nano Evaluation Kit to gotowa platforma sprzętowa przeznaczona do rozpoczęcia pracy z mikrokontrolerem SAMD21G17D. Ten energooszczędny, wysokowydajny układ jest wyposażony w procesor ARM Cortex-M0+ działający z częstotliwością do 48 MHz oraz 128 kB programowanej w systemie pamięci FLASH i 16 kB pamięci SRAM. Wśród bogatego asortymentu szeroko konfigurowalnych bloków peryferyjnych znajduje się m.in. sześć interfejsów do realizacji komunikacji szeregowej (SERCOM), 12-bitowy przetwornik ADC działający z szybkością 350 ksps, obsługujący do 14 kanałów oraz 256-kanałowy pojemnościowy czujnik dotykowy i zbliżeniowy. Taka konfiguracja sprawdzi się w szerokiej gamie zastosowań z zakresu automatyki domowej, urządzeń konsumenckich i pomiarowych oraz w wielu aplikacjach przemysłowych.

Zestaw ewaluacyjny SAM D21 Curiosity Nano Evaluation jest wspierany przez zintegrowane środowisko programistyczne MPLAB X (IDE) i platformę programistyczną MPLAB Harmony v3. Zapewnia łatwy dostęp do funkcji mikrokontrolera SAM D21 i umożliwia zintegrowanie urządzenia z niestandardowym projektem. Zestaw ewaluacyjny jest kompatybilny z płytą bazową Curiosity Nano Base (numer części – AC164162), która umożliwia szybkie skalowanie i prototypowanie bardziej złożonych i innowacyjnych projektów z zastosowaniem układu SAMD21G17D.

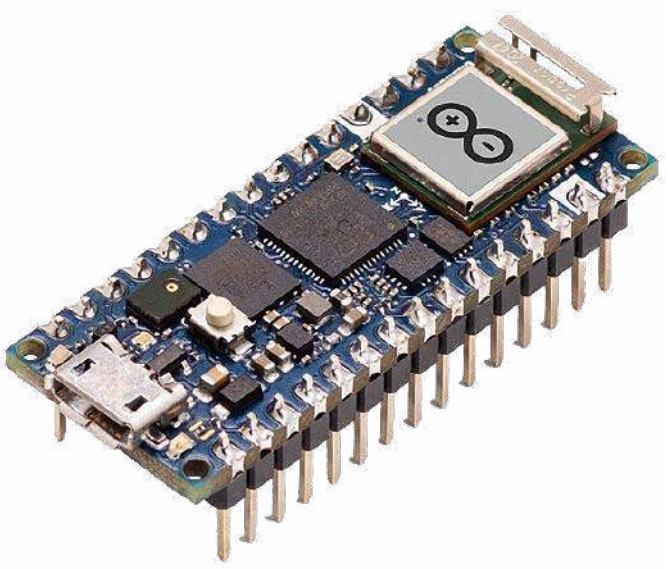


Aby mieć szansę na wygranie zestawu ewaluacyjnego SAM D21 Curiosity Nano, lub aby otrzymać kupon rabatowy 20% i bezpłatną wysyłkę, należy wypełnić formularz zgłoszeniowy na stronie https://bit.ly/3gMIBs1.

Szczegółowe informacje na temat płytki ewaluacyjnej oraz mikrokontrolera SAMD21G17D można znaleźć pod adresem: https://bit.ly/3vGXrFV.

eprasa.pl b4234fed20

Arduino Nano RP2040 Connect



Zgodnie z wcześniejszymi zapowiedziami, w maju światło dzienne ujrzała nowa płytka z rodziny Arduino Nano, wyposażona w udostępniony przez Fundację Raspberry procesor RP2040. Aktualnie oprócz Pi Pico dostępne są płytki uruchomieniowe z RP2040 zaprojektowane przez Pimoroni i SparkFun, o zróżnicowanym wyposażeniu i stopniu zgodności z Pi Pico. Pojawiły się, także pierwsze handlowe partie procesorów RP2040, co pozwala zastanowić się nad wyborem gotowego modułu lub projektem rozwiązania autorskiego. Czy warto w takim przypadku zainteresować się Arduino Nano RP2040 Connect?

Ze względu na zastosowanie procesora RP2040, specyfikacja podstawowa w porównaniu z Pi Pico nie ulega zmianie, w dalszym ciągu dostępne są dwa 32-bitowe rdzenie Cortex M0+ taktowane zegarem do 133 MHz, wykonane w technologii 40 nm, 264 kB pamięci RAM, wbudowany kontroler DMA, pamięć programu FLASH 16 MB, kontroler USB 1.1, elastyczne porty GPIO i przetwornik ADC. Wygląd płytki Nano RP2040 Connect został pokazany na **fotografii tytułowej**.

Całkowicie odmienne jest podejście do peryferiów współpracujących z RP2040, w przypadku Pi Pico do dyspozycji użytkownika jest dioda LED i przycisk Boot, a większość wyprowadzeń GPIO procesora dostępna jest na złączach szpilkowych. Takie okrojenie części sprzętowej do absolutnie niezbędnego minimum umożliwiło utrzymanie niskiej ceny Pico (ok. 20 PLN). Zespół Arduino postawił na bogate wyposażenie modułu. Schemat blokowy Nano RP2040 Connect został pokazany na **rysunku 1**, a układ wyprowadzeń na **rysunku 2**.

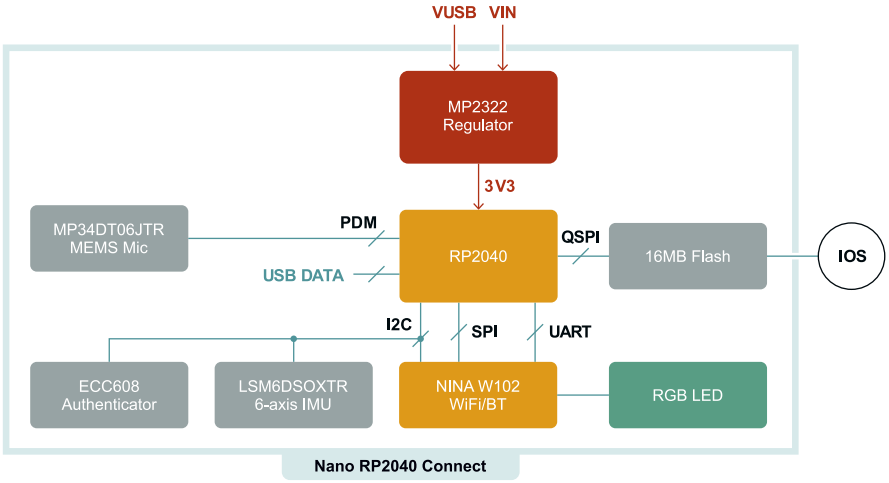
Zasoby sprzętowe

Najważniejszym elementem, jak sugeruje „Connect" w nazwie, jest moduł komunikacji radiowej Nina W102 (uBlock) odpowiedzialny za łączność Wi-Fi (802.11 bgn), Bluetooth i BLE (v 4.2), co predestynuje moduł do aplikacji IoT. Na płytce znalazło się też miejsce na mikrofon MEMS typu MP34DT05 przydatny w aplikacjach detekcji i rozpoznawania mowy, sześcioosiowy akcelerometr LSM6DSOXTR użyteczny w aplikacjach Wearable oraz układ autentykacji ATECC608A. Całość uzupełnia dioda RGB (podłączona do linii GPIO modułu Nina), przycisk Boot i wyprowadzone na złącza szpilkowe 22 linie GPIO, w tym 8 analogowych (z 12-bitową rozdzielczością). Dwadzieścia z wyprowadzeń GPIO może pełnić funkcję PWM. Dostępny jest UART, magistrala I²C oraz SPI. Dodatkowe kanały ADC uzyskano z wejść I/O modułu Nina W102 (Pico ma tylko 3 wyprowadzone wejścia ADC). Moduł jest zgodny rozmiarami (45×18 mm) i wyprowadzeniami (2×15 pin) z pozostałymi modułami rodziny Nano: Every, BLE, IoT, co pozwala na wykorzystanie, zgodnych płyt bazowych i rozszerzeń oraz dobór procesora bazowego do wymogów aplikacji, bez zmiany układów współpracujących. Wyprowadzenia GPIO są zgodne ze standardem 3,3 V.

Arduino Nano RP2040 Connect ma wbudowaną przetwornicę DC/DC dopuszczającą zasilanie 5 V przez gniazdo mikro USB lub napięciem z zakresu 5...21 V poprzez wyprowadzenie Vin. Dla układów użytkownika dostępne jest zasilanie 3,3 V o całkowitej obciążalności maksymalnej 800 mA. Co jest oczywiste i uzasadnione nie udało się zachować niskiej ceny Pi Pico, Arduino kosztuje ok. 120 PLN w wersji bez wlutowanych wyprowadzeń. Udostępniona została pełna dokumentacja, co ułatwia szybkie poznanie funkcjonalności i rozpoczęcie pracy z modułem.

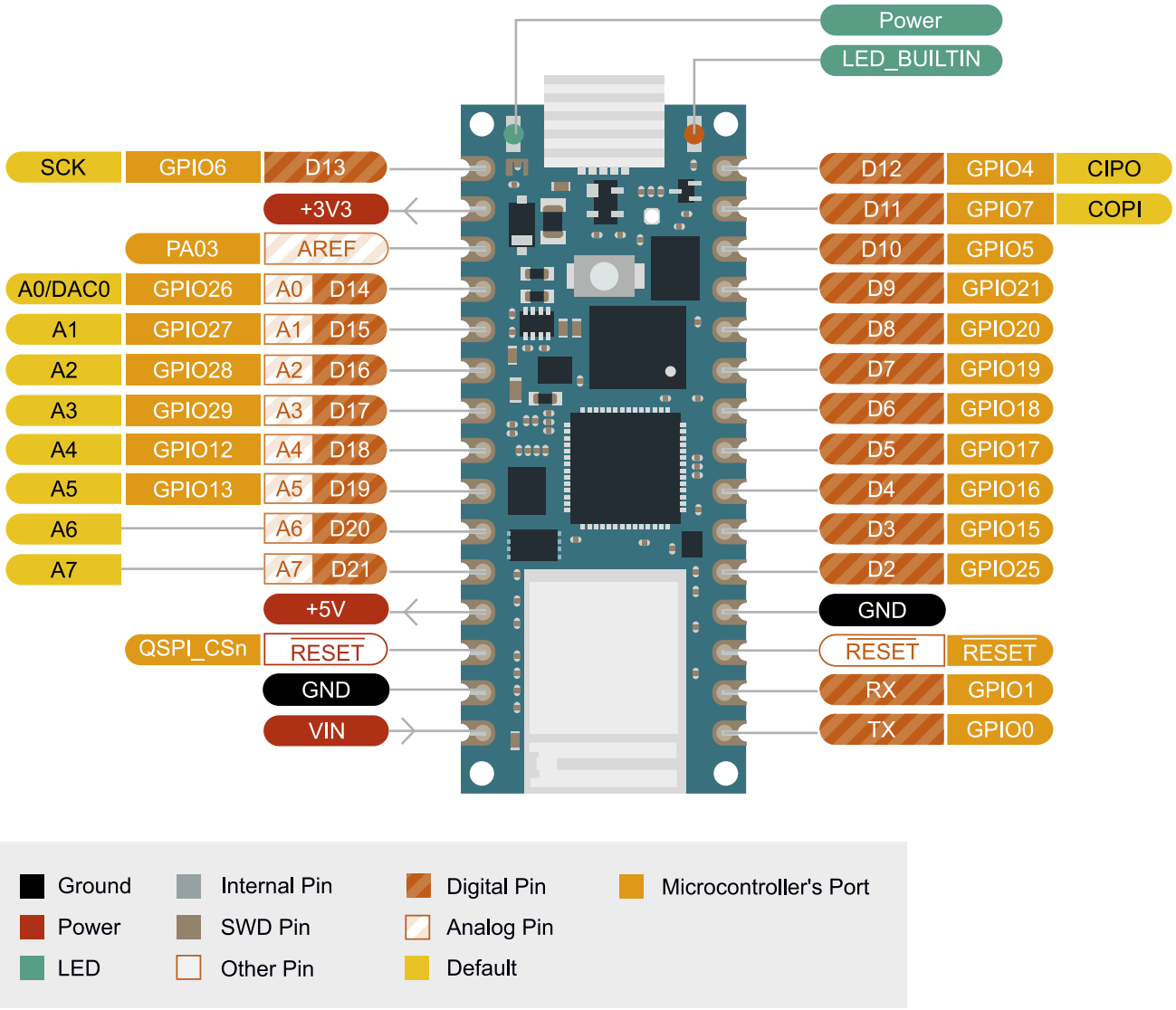
Oprogramowanie

Programowanie modułu odbywa się w środowisku Arduino zarówno w wersji stacjonarnej Desktop jak i chmurowej – Arduino Cloud. Przeportowana została część podstawowych bibliotek oraz dedykowane biblioteki PCM, BLE, IMU, Wi-Fi. Samo programowanie procesora odbywa się przy pomocy interfejsu USB. Jako, że wszystko jest jeszcze „świeże", zdarzają się niestety problemy zarówno z samym środowiskiem, bibliotekami, które nie zawsze działają zgodnie z oczekiwaniami, jak i samymi sterownikami odpowiedzialnymi za współpracę z Arduino, z portem USB i UART. Na niektórych komputerach problematyczny jest instalator sterowników, który nie potrafi



Rysunek 1. Schemat blokowy Nano RP2040 Connect

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 2. Wyprowadzenia Nano RP2040

prawidłowo zainstalować sterownika USB Serial CDC niezbędnego do programowania i komunikacji z modułem. W tej sytuacji Arduino RP2040 w systemie jest widoczne, ale nie ma możliwości wgrania oprogramowania bezpośrednio ze środowiska w trybie automatycznym – ze względu na brak możliwości wyboru portu programowania. Rozwiązaniem tego problemu jest samodzielna instalacja wymaganych sterowników USB Serial CDC przy pomocy oprogramowania zadig.exe (aktualnie wersja 2.5). Po tej czynności Arduino jest dostępne i ładowanie odbywa się bez problemu (dotyczy to też płytki Pi Pico).

Możliwe, że problemy zostaną wyeliminowane przy okazji rozwoju środowiska Arduino 2.0. Należy też zauważyć, że wydajność środowiska Arduino przy współpracy z RP2040 jest dramatycznie niska, a jakość generowanego kodu, co najmniej zastanawiająca (tzw. *blink* zajmuje 78840 bajtów – 19% pamięci dynamicznej). Niestety od dłuższego czasu jakość oprogramowania nie nadąża za możliwościami sprzętu i podobnie jak w przypadku Pi Pico brak odpowiedniego wsparcia programowego raczej nie zapewni zainteresowania profesjonalistów, a i amatorzy dysponujący nadmiarem czasu i zapału mają sporą przeszkodę do pokonania...

Podsumowanie

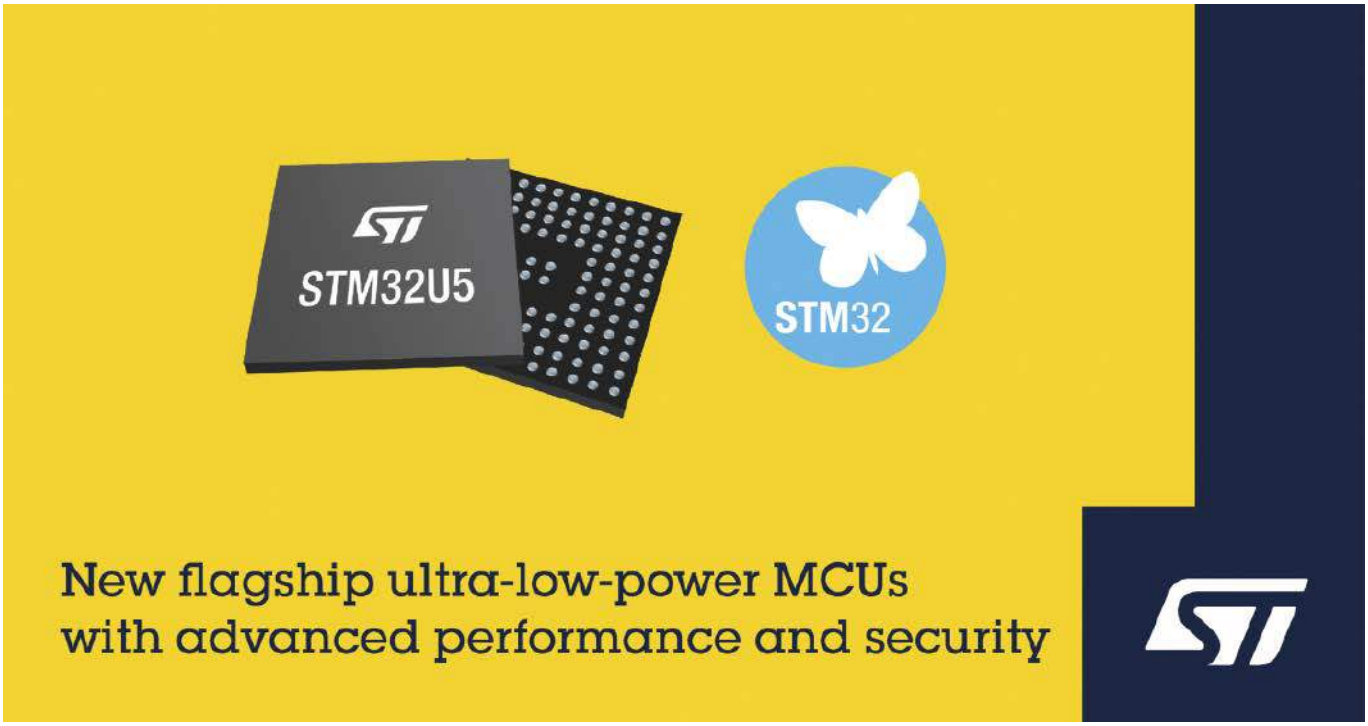
Jak widać, same moduły sprzętowe przeznaczone są dla różnych grup odbiorców. Pi Pico praktycznie pozbawione peryferiów pozwoli szybko i tanio zapoznać się z możliwościami samego procesora RP2040, a Nano zdecydowanie lepiej sprawdzi się w aplikacjach IoT, gdzie wyposażenie płytki w moduł Nina i peryferia, znacząco przyspieszą opracowanie gotowego rozwiązania, przy zachowaniu rozsądnych kosztów. Nie bez znaczenia jest też zgodność Nano RP2040 Connect z pozostałymi modułami z rodziny Nano oraz popularność i nieskomplikowana obsługa środowiska Arduino, które stało się niekwestionowanym liderem wśród twórców DIY, o ile usunięte zostaną błędy i problemy wieku niemowlęcego.

Dla mnie moduł RP2040 pozostaje niestety tylko ciekawostką i w żaden sposób nie może zagrozić rozwiązaniom dostarczanym przez wielkich rynkowych graczy takich jak NXP, STM, Ti co zdaje się potwierdzać fakt, że nawet najlepszy sprzęt, bez naprawdę solidnego wsparcia programowego, jest tylko kolejnym kawałkiem laminatu z wlutowanymi elementami. W przypadku Nano RP2040 Connect dochodzi jeszcze kwestia ceny. Moduł jest co prawda dobrze wyposażony, ale w dalszym ciągu ponad dwa razy droższy od Raspberry Pi Zero Wi-Fi, co może znacząco wpłynąć na jego popularność.

Poczekajmy więc na rozwój sytuacji, chociaż z większym entuzjazmem przywitałbym w miejscu wysypu różnej maści klonów Pi Pico – nowe Raspberry Pi 4 Zero, ale w formie modułu DIP, tak jak kiedyś próbował zespół FriendlyElec z modułem NanoPi Duo2 – ale to moje zdanie i może się mylę...

Adam Tatuś, EP

eprasa.pl b4234fed20



STM32U5

– nowa generacja mikrokontrolerów Ultra-Low Power

STM32 to nazwa popularnej rodziny mikrokontrolerów bazujących na rdzeniu ARM Cortex-M. Historia tych układów to okres trwający od roku 2008 do dnia dzisiejszego. Na przestrzeni lat producent, firma STMicroelectronics, konsekwentnie inwestował we wprowadzanie nowych serii układów, które sklasyfikowane zostały w czterech różnych kategoriach produktów: Mainstream (STM32Fx, STM32Gx), Ultra-Low Power (STM32Lx), High-Performance (STM32Fx, STM32Hx) oraz Wireless (STM32Wx).

W ramach artykułu prezentujemy najważniejsze informacje na temat nowych mikrokontrolerów STM32U5 i wprowadzone w nich innowacyjne rozwiązania.

Oferta układów STM32 Ultra-Low Power

W mikrokontrolerach Ultra-Low Power (w skrócie ULP) duży nacisk położony został na możliwość realizowania zaimplementowanych w aplikacji zadań z możliwie minimalnym zużyciem energii. W osiągnięciu tego celu pomagają dedykowane rozwiązania. Pierwszym z kluczowych elementów jest niski pobór prądu w trybie aktywnym. Drugim elementem jest zestaw trybów low-power o niskim poborze prądu. Finalnie pomocne są peryferia low-power, pobierające małą ilość prądu i mogące pracować w trybach low-power oraz umożliwiające wygenerowanie przerwania skutkującego wybudzeniem układu. Mikrokontrolery Ultra-Low Power to rozwiązanie wysoce pożądane w szerokiej gamie aplikacji, które używają baterii jako źródła energii. Użycie tych układów pozwala na minimalizację poboru prądu, co przekłada się na dłuższy czas pracy aplikacji. Przykładowe zastosowania to liczniki mediów (wodomierze, gazomierze), urządzenia noszone na ciele (opaski sportowe, smart watche), czujniki (czujki dymu, detektory obecności, sensory parametrów środowiskowych) i wiele innych.

Kategoria Ultra-Low Power mikrokontrolerów STM32 rozwija się dynamicznie na przestrzeni lat. Kierunek rozwoju niejako wyznaczany jest przez firmę ARM, która stopniowo wprowadzała nowe rdzenie typu Cortex-M. Tak więc historycznie pierwszą grupą Ultra-Low Power były bazujące na rdzeniu Cortex-M3 układy STM32L1, które powstały w 2009 roku. Cztery lata później, a więc w 2013 r., producent rozszerzył tą kategorię o układy STM32L0 oparte na rdzeniu Cortex-M0+. Odpowiednio w 2015 r. i 2016 r. do oferty dodane zostały rodziny z rdzeniem Cortex-M4F: STM32L4 i STM32L4+. W 2019 r. producent wprowadził do portfolio rodzinę STM32L5 bazującą na rdzeniu Cortex-M33.

Warto w tym miejscu krótko scharakteryzować każdą z wymienionych serii. STM32L1 to układy, które w momencie powstania były pierwszymi na rynku mikrokontrolerami Ultra-Low Power wykorzystującymi architekturę Cortex-M. STM32L0 to układy dysponujące prostym rdzeniem oraz stosunkowo małymi zasobami pamięci i peryferiów, co czyni je bardzo atrakcyjnym rozwiązaniem Ultra-Low Power pod kątem ceny. STM32L4 to niezwykle wszechstronne układy, których mocną stroną jest umiejętne połączenie energooszczędności, dobrej wydajności obliczeniowej oraz bogatych zasobów. Ich rozszerzeniem jest seria STM32L4+, która dysponuje większą mocą obliczeniową, dodatkową pamięcią oraz funkcjami graficznymi. Finalnie STM32L5 to mikrokontrolery, które akcentują mocno funkcje bezpieczeństwa. Tak zdefiniowane portfolio (zestawienie porównawcze

eprasa.pl b4234fed20

Tabela 1. Zestawienie mikrokontrolerów STM32 Ultra-Low Power

Parametr	STM32L1	STM32L0	STM32L4	STM32L4+	STM32L5	STM32U5
Rok powstania	2009	2013	2015	2016	2019	2021
Rdzeń i częstotliwość	Cortex-M3 32 MHz	Cortex-M0+ 32 MHz	Cortex-M4 80 MHz	Cortex-M4 120 MHz	Cortex-M33 110 MHz	Cortex-M33 160 MHz
Główna cecha	Pierwsze na świecie mikrokontrolery ULP z Cortex-M	Niski koszt	Połączenie ULP, mocy obliczeniowej i bogatego wyposażenia	Rozwiązanie do aplikacji ULP z grafiką	Zaawansowane funkcje bezpieczeństwa	Więcej ULP, więcej mocy obliczeniowej, więcej zasobów pamięci i peryferiów

pokazano w **tabeli 1**) pozwoliło firmie STMicroelectonics najpierw zaistnieć jako producent mikrokontrolerów Ultra-Low Power, a potem sukcesywnie budować swoją pozycję. Obecnie STM32 to jeden z rynkowych liderów w kategorii mikrokontrolerów Ultra-Low Power, za czym przemawiają liczby: łącznie 2 miliardy sprzedanych układów STM32L na przestrzeni lat 2009...2020. W lokalnych realiach przełożyło się to na wybitny wynik w postaci blisko 3 milionów sztuk dostarczonych do polskich klientów tylko w 2020 roku.

Najnowszą propozycją firmy STMicroelectronics w kategorii Ultra-Low Power jest rodzina mikrokontrolerów STM32U5. Bazuje ona na rdzeniu Cortex-M33, co sprawia, że na pierwszy rzut oka wydają się one być pewnego rodzaju kontynuacją mikrokontrolerów STM32L5. To skojarzenie jest jak najbardziej trafne, natomiast warto zdawać sobie sprawę z tego, że układy STM32U5 to także szereg innych usprawnień lub nowości w aż trzech obszarach: mocy obliczeniowej, energooszczędności oraz bezpieczeństwa. Dzięki temu można z pełnym przekonaniem mówić o innowacyjnym produkcie lub innymi słowy o nowej generacji mikrokontrolerów. W kolejnych rozdziałach tego artykułu przyjrzymy się szczegółowiej każdemu istotnemu aspektowi tych układów.

Proces technologiczny i jego wpływ na mikrokontrolery STM32

Jak wiadomo każdy układ scalony zbudowany jest z ogromnej liczby tranzystorów. Z kolei elementarnym parametrem tranzystora jest jego wielkość, która określona jest przez tzw. proces technologiczny. Jest to wartość wyrażona w nanometrach, która określa szerokość bramki tranzystora.

Mikrokontrolery STM32 Ultra-Low Power przeszły długą ewolucję pod kątem procesu technologicznego. Pierwsza seria, a więc STM32L1 korzysta z procesu technologicznego 130 nm. Druga w kolejności seria, a więc STM32L0, to już zoptymalizowany proces technologiczny – 110 nm. Konsekwentnie kolejne usprawnienie zastosowano w seriach STM32L4 i STM32L5. Obie bazują na procesie technologicznym 90 nm. Finalnie najnowsza seria STM32U5 reprezentuje znowu znaczący postęp w tym zakresie. Mamy tu do czynienia z procesem technologicznym 40 nm. Jest to obecnie najbardziej zaawansowany proces technologiczny stosowany w mikrokontrolerach STM32.

Proces technologiczny to pojęcie fundamentalne dla przemysłu półprzewodnikowego. Wielkość ta nie definiuje parametrów mikrokontrolera bezpośrednio, ale pośrednio ma na nie ogromny wpływ. Wyróżnić można tu trzy zasadnicze obszary oddziaływania. Pierwszy z nich to moc obliczeniowa. Mniejszy proces technologiczny pozwala uzyskać wyższą częstotliwość zegara, z którą pracuje mikrokontroler. Drugi obszar to energooszczędność. Mniejszy proces technologiczny sprawia, że mikrokontroler ogranicza zużycie prądu w trybie aktywnym. Trzeci obszar ma wymiar komercyjny. Mniejszy proces technologiczny umożliwia zmniejszenie gabarytów struktury krzemowej mikrokontrolera, co przekłada się na niższy koszt produkcji i w konsekwencji niższą cenę zakupu dla klientów.

Doskonałym przykładem wpływu procesu technologicznego na parametry układu są mikrokontrolery STM32F7 i STM32H7. Obie serie należą do kategorii High-Performance i bazują na rdzeniu Cortex-M7. Przejście z procesu technologicznego 90 nm w STM32F7 na 40 nm w STM32H7 pozwoliło zoptymalizować każdy z wymienionych wcześniej obszarów tzn. częstotliwość zegara wzrosła ok. dwukrotnie, pobór prądu w trybie aktywnym (tzn. na pojedynczy MHz) zmalał o ok. połowę, a cena (przy założeniu tej samej pojemności pamięci Flash i tej samej obudowy) pozostała na tym samym poziomie.

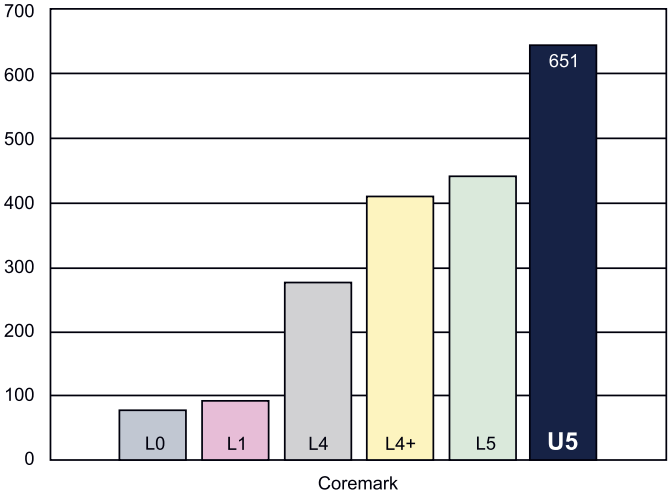
Moc obliczeniowa

W kontekście mocy obliczeniowej kluczowym elementem mikrokontrolerów STM32U5 jest rdzeń. Użyta tu jednostka to Cortex-M33. Jest to najnowsza propozycja firmy ARM biorąc pod uwagę rdzenie Cortex-M. Cortex-M33 wykorzystuje architekturę ARMv8-M i w zakresie mocy obliczeniowej rdzeń ten określić można przez dwie wartości: 1,5 punktu DMIPS/MHz i 4 punkty CoreMark/MHz. Jest to wynik o ok. 20% wyższy niż wynik uzyskany przez popularny rdzeń Cortex-M4F.

Po analizie charakterystyki rdzenia warto spojrzeć na osiąganą przez niego wydajność. Maksymalna częstotliwość pracy jednostki Cortex-M33 w mikrokontrolerach STM32U5 to 160 MHz. Jest to zatem praktycznie o połowę więcej niż w przypadku tego samego rdzenia w mikrokontrolerach STM32L5.

W kontekście wydajności warto wspomnieć jeszcze o bloku ART Accelerator. Pozwala on zredukować liczbę jednostek *wait states* pamięci Flash (wbudowanej i zewnętrznej), co korzystnie wpływa na wydajność wykonania kodu (jest ona liniowa w funkcji częstotliwości zegara rdzenia i magistral).

Dobrym sposobem porównania mocy obliczeniowej różnych mikrokontrolerów jest test wydajności CoreMark. Na **rysunku 1** pokazano



Rysunek 1. Zestawienie wyników testu wydajności Coremark wszystkich mikrokontrolerów STM32 Ultra-Low Power

eprasa.pl b4234fed20

Tabela 2. Zestawienie poboru prądu mikrokontrolerów STM32U5

Wartość Range	Pobór prądu dla LDO	Pobór prądu dla SMPS
Range 1 (1,2 V, do 160 MHz)	88,6 µA/MHz	43,0 µA/MHz
Range 2 (1,1 V, do 100 MHz)	81,5 µA/MHz	36,7 µA/MHz
Range 3 (1,0 V, do 50 MHz	73,0 µA/MHz	32,7 µA/MHz
Range 4 (0,9 V, do 24 MHz)	64,4 µA/MHz	22,8 µA/MHz
Range 4 (0,9 V, do 24 MHz) z wyłączonym podtrzymaniem SRAM 2, 3 i 4	55,3 µA/MHz	19,7 µA/MHz

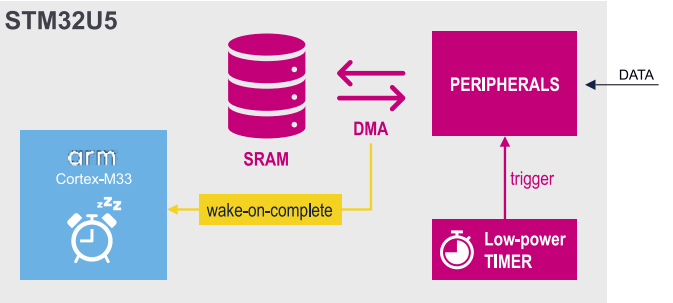
zestawienie wyniku uzyskanego przez układy STM32U5 na tle wyników innych mikrokontrolerów Ultra-Low Power STM32. STM32U5 osiągnął 651 punktów Coremark, znacząco więcej niż najbliższe mu STM32L4+ i STM32L5.

Energooszczędność

Blok zasilania mikrokontrolerów STM32U5 wyposażony jest domyślnie w regulator napięcia LDO. Napięcie wejściowe dla regulatora pochodzi z wyprowadzeń VDD, a generowane napięcie wyjściowe o nazwie Vcore zasila zasoby mikrokontrolera: rdzeń, pamięć i peryferia. Vcore w zależności od przyjętej konfiguracji może mieć jeden z czterech poziomów: Range1 (1,2 V), Range2 (1,1 V), Range3 (1,0 V) lub Range4 (0,9 V). Wartość napięcia określa maksymalną możliwą do uzyskania częstotliwość zegara (24...160 MHz), jak też definiuje poziom poboru prądu (55,3...88,6 µA/MHz).

Część mikrokontrolerów STM32U5 ma na swoim wyposażeniu nie tylko regulator napięcia LDO, ale również przetwornicę napięcia SMPS. W takim przypadku można zdecydować który z tych elementów zasila zasoby mikrokontrolera (można też przełączać się między nimi w locie). Dla przetwornicy SMPS dostępne są takie same cztery poziomy Range definiujące wartość napięcia Vcore, częstotliwość zegara i poziom poboru prądu. W tym przypadku pobierany prąd jest jednak znacznie niższy (19,7...43,0 µA/MHz).

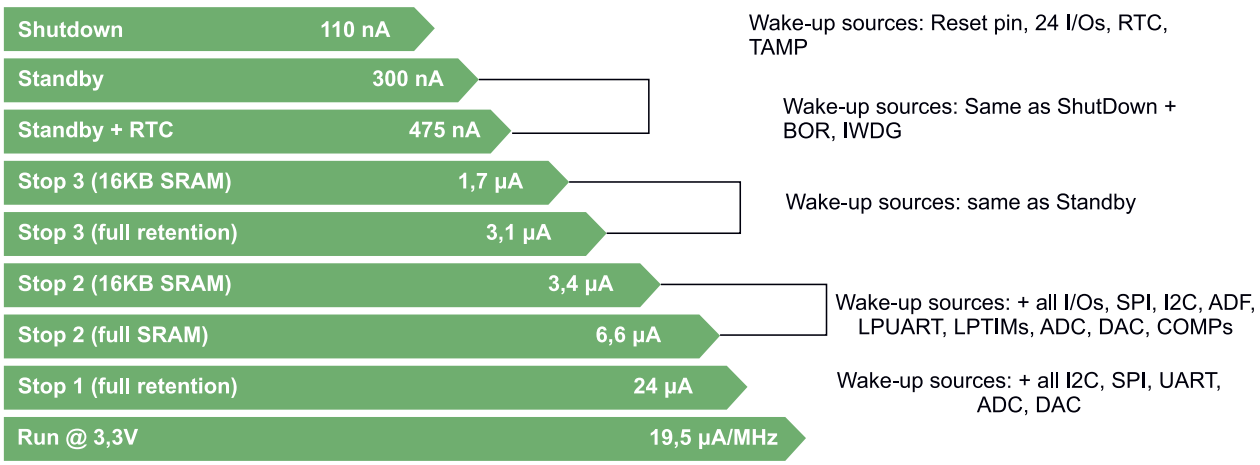
W mikrokontrolerach STM32U5 wprowadzono innowacyjny mechanizm polegający na możliwości wskazania jaka część pamięci SRAM jest podtrzymana. Częściowe wyłączenie podtrzymania pamięci SRAM skutkuje obniżeniem poboru prądu mikrokontrolera. W **tabeli 2** pokazano zestawienie poboru prądu dla wszystkich opisanych wariantów konfiguracji bloku zasilania (tzn. z LDO, z SMPS, Range1/2/3/4, z częściowym podtrzymaniem pamięci SRAM). Warto w tym miejscu zaznaczyć, że wartości uzyskane przez układy STM32U5 są znacząco niższe niż w przypadku innych mikrokontrolerów STM32 Ultra-Low Power.



Rysunek 3. Schemat blokowy funkcjonalności LPBAM dostępnej tylko w układach STM32U5

Zaprezentowane wartości odnoszą się do trybu aktywnego tzn. trybu o nazwie RUN. W trybie tym wszystkie elementy mikrokontrolera mogą pracować: rdzeń, zegary, pamięć i peryferia. Taka konfiguracja jest pożądana w momencie gdy kod jest wykonywany, co w aplikacjach Ultra-Low Power jest niezbędne tylko w krótkich momentach. Przez większość czasu mikrokontroler przebywa w trybie low-power, w którym oczekuje na przerwanie, które go wybudzi. W mikrokontrolerach STM32U5 przewidziano szereg trybów low-power. Pierwszy z nich to Sleep, w którym tylko rdzeń jest uśpiony, a pamięć, zegary i peryferia ciągle mogą pracować. Kolejny tryb to STOP, w którym nieaktywny jest rdzeń, większość zegarów i część peryferiów. STOP ma cztery warianty: 0, 1, 2 i 3. Warto tu podkreślić, że tryb STOP3 jest innowacją, ponieważ żadne inne układy STM32 nim nie dysponują. Warianty trybu STOP różnią się od siebie liczbą peryferiów, które są zdolne wygenerować przerwanie i wybudzić mikrokontroler. Ostatnie tryby to Standby i Shutdown. W trybach tych większość zasobów mikrokontrolera jest wyłączona. Istnieje tylko kilka źródeł mogących wybudzić układ, a dodatkowo po wybudzeniu wykonywany jest reset, co wiąże się z koniecznością ponownej inicjalizacji peryferiów. Duży zestaw trybów low-power daje projektantom elastyczność i możliwość doboru odpowiedniego trybu do każdej aplikacji. Zestawienie trybów pracy mikrokontrolerów STM32U5 wraz z listą peryferiów zdolnych do wybudzenia układu przez wygenerowanie przerwania pokazano na **rysunku 2**.

Niezwykle innowacyjnym elementem mikrokontrolerów STM32U5 w dziedzinie energooszczędności jest funkcjonalność o nazwie LPBAM (*Low Power Background Autonomous Mode*). Polega ona na wykorzystaniu funkcji DMA do transferu danych pomiędzy peryferiami a pamięcią SRAM w warunkach, kiedy rdzeń nie pracuje. Jest to mechanizm znany już z innych serii STM32, przy czym dotychczas jedynym trybem low-power wspierającym taką funkcjonalność był tryb Sleep, natomiast w STM32U5 możliwe jest użycie również trybów STOP, co radykalnie obniża zużycie prądu. LPBAM jest możliwy do zrealizowania dzięki przeprojektowanemu modułowi DMA. Do standardowego wariantu DMA pracującego w trybach RUN i Sleep



Rysunek 2. Zestawienie trybów pracy mikrokontrolerów STM32U5

eprasa.pl b4234fed20

dodano wariant LPDMA, który ma możliwość pracy w trybach STOP. Peryferia, które mogą być użyte w LPBAM to: ADC, DAC, USART, I²C, SPI, LPTIM, MDF/ADF. Zasadę działania LPBAM zilustrowano na **rysunku 3**.

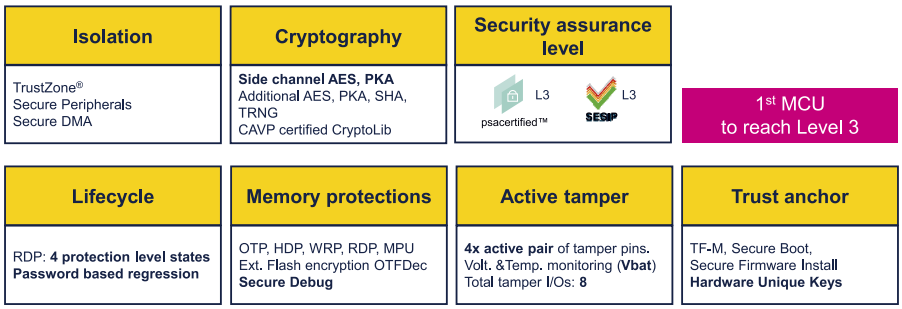
Funkcje bezpieczeństwa

W mikrokontrolerach STM32U5 zaimplementowano cały szereg funkcji bezpieczeństwa. W tym zakresie układy STM32U5 przypominają układy STM32L5, względem których wprowadzono pewne usprawnienia. Zestawienie funkcji bezpieczeństwa mikrokontrolerów STM32U5 pokazano na **rysunku 4**. Istotnym elementem bezpieczeństwa jest mechanizm izolacji. Odpowiada za niego rozwiązanie o nazwie TrustZone, które definiuje obszary secure i non-secure. TrustZone jest elementem rdzenia Cortex-M33, natomiast w mikrokontrolerach STM32U5 funkcjonalność ta objęła również inne zasoby: pamięć i peryferia.

W zakresie bezpieczeństwa istotną rolę pełni funkcja RDP (Readout Protection), która zabezpiecza dostęp do mikrokontrolera. Zdefiniowano cztery poziomy RDP: 0 (brak ograniczeń dostępu), 0,5 (wymagane jest użycie TrustZone), 1 (brak możliwości zapisu i odczytu pamięci Flash), 2 (brak możliwości zapisu i odczytu pamięci Flash oraz wyłączony interfejs debugowania/pogramowania). Nowością w STM32U5 jest możliwość obniżenia poziomu RDP z 2 do 1 lub z 1 do 0/0,5 poprzez użycie hasła.

Ważnym blokiem w kontekście bezpieczeństwa jest też Tamper. Pozawala on wykryć różne próby nieupoważnionego uzyskania dostępu do mikrokontrolera i wykasować wrażliwe dane. W układach STM32U5 przewidziano aż 8 linii Tamper. Mogą one monitorować sygnały na pinach (tamper zewnętrzny) lub wewnętrzne peryferia (tamper wewnętrzny) i obejmują np. zegar LSE/RTC, temperaturę, napięcie VBAT/Vcore/VREF+ czy też interfejs JTAG/SWD.

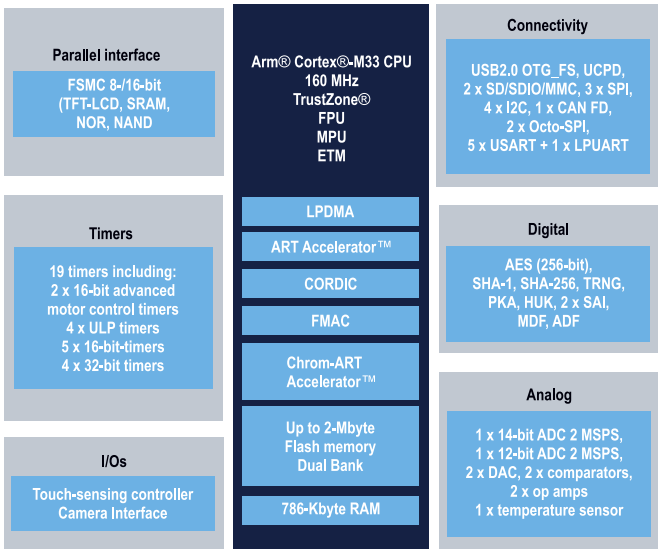
Na bazie zintegrowanych funkcji bezpieczeństwa producent uzyskał dla układów STM32U5 certyfikację PSA oraz SESIP, w obu przypadkach poziom 3. Dodatkowo w teście SecureMark-TLS mikrokontrolery te osiągnęły wynik na poziomie 133000 punktów.



Rysunek 4. Zestawienie funkcji bezpieczeństwa w układach STM32U5

Architektura

Po zaprezentowaniu kluczowych usprawnień i nowości w zakresie mocy obliczeniowej, energooszczędności oraz bezpieczeństwa warto spojrzeć całościowo jakie bloki funkcjonalne zintegrowano w mikrokontrolerach STM32U5. Odpowiedni schemat pokazano na **rysunku 5**. Sercem mikrokontrolera jest rdzeń ARM Cortex-M33, który może pracować z częstotliwością maksymalną 160 MHz. Elementami rdzenia są też między innymi: jednostka FPU do obliczeń zmiennoprzecinkowych, blok MPU do konfiguracji atrybutów dostępu do pamięci, interfejsy debugowania SWD i JTAG, moduł ETM do zaawansowanego debugowania oraz kontroler przerwań NVIC.



Rysunek 5. Schemat blokowy mikrokontrolerów z rodziny STM32U5

Mikrokontroler ma wbudowaną pamięć. Zasoby pamięci Flash obejmują maksymalnie 2 MB. Pamięć Flash podzielona jest na dwa niezależne banki, co pozwala na korzystanie z funkcji Read-While Write. Pojemność pamięci SRAM jest zawsze stała i ma wartość 786 kB. Zasoby wbudowanej pamięci można w przystępny sposób rozszerzyć o pamięć zewnętrzną dzięki dedykowanym do tego celu interfejsom. FSMC to interfejs równoległy pozwalający na podłączenie zewnętrznej pamięci SRAM. Z kolei Octo-SPI to interfejs szeregowy, kompatybilny zarówno z pamięciami zewnętrznymi Flash, jak i SRAM. W mikrokontrolerze obecne są dwa takie interfejsy. Niezwykle ważną funkcją Octo-SPI jest OTFDEC, co oznacza możliwość wykonywania aplikacji z zewnętrznej pamięci z deszyfracją w locie.

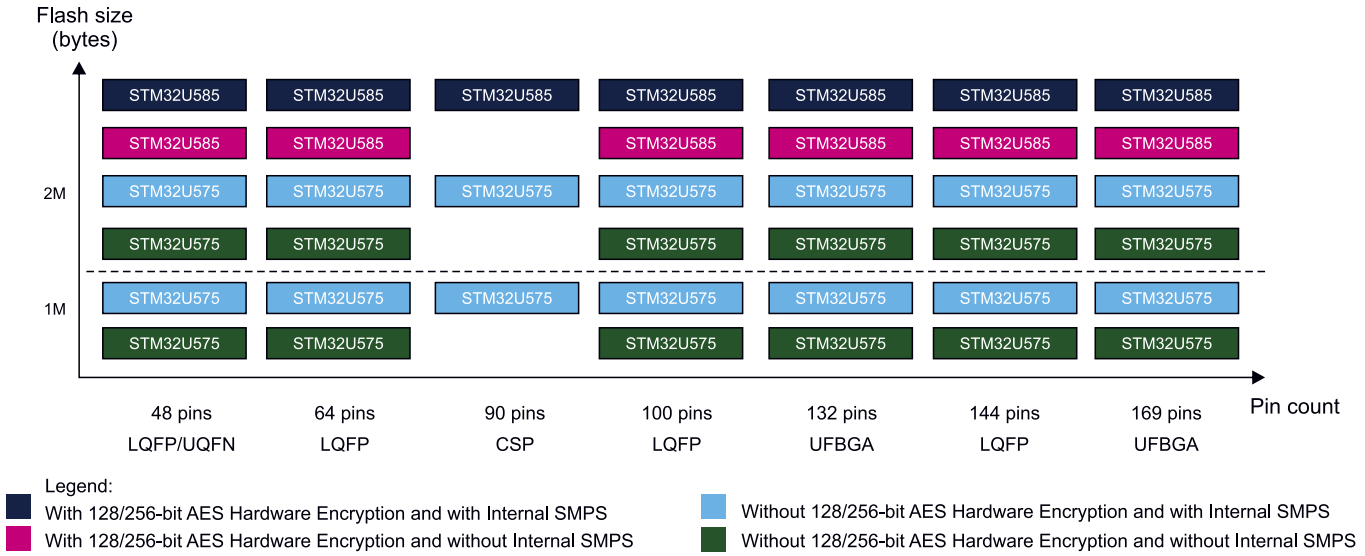
Wyposażenie mikrokontrolera obejmuje moduły DMA. Należy wyróżnić ich trzy rodzaje. Pierwszy z nich to standardowy moduł DMA (GPDMA), powszechnie stosowany we wszystkich układach STM32. Drugi moduł DMA jest dedykowany do obsługi grafiki (Chrom-ART, inaczej DMA2D) i również on obecny jest w niejednej rodzinie STM32. W końcu trzeci moduł DMA to rozwiązanie potrafiące pracować w trybach STOP (LPDMA).

Mikrokontroler dysponuje dwoma akceleratorami matematycznymi. Pierwszy z nich to CORDIC, który wspiera obliczenia trygonometryczna. Drugim jest FMAC pozwalający na sprzętową realizację filtrów, zarówno FIR o skończone odpowiedzi impulsowej, jak i IIR o nieskończonej odpowiedzi impulsowej. Kolejną grupą zintegrowanych zasobów są peryferia analogowe. W pierwszej kolejności są to dwa przetworniki A/C typu SAR o rozdzielczości odpowiednio 12 i 14 bitów, każdy o maksymalnej prędkości konwersji 2,5 Msps. Dodatkowo w domenę analogową wkomponowane zostały dwa 12-bitowe przetworniki C/A, dwa wzmacniacze operacyjne z możliwością konfiguracji wzmocnienia, dwa komparatory analogowe oraz czujnik temperatury.

Istotnym blokiem zasobów mikrokontrolera są peryferia komunikacyjne. Podstawę stanowią tu standardowe interfejsy: SPI, I²C, U(S)ART oraz dedykowany do pracy razem z trybami low-power LPUART. Dodatkowo do dyspozycji są bardziej zaawansowane interfejsy: USB 2.0 OTG, USB Power Delivery, interfejs do kart pamięci, interfejs CAN w nowej specyfikacji FD i wspomniany już wcześniej przy okazji opisu zasobów pamięci interfejs Octo-SPI.

Kolejna grupa wbudowanych zasobów to liczniki, których jest łącznie dziewiętnaście sztuk. Do puli tej należą zaawansowane timery do sterowania silnikiem, 16- i 32-bitowe timery ogólnego przeznaczenia oraz ULP timery, które są niezwykle cenne podczas pracy z trybami low-power. Na zakończenie warto jeszcze wymienić pozostałe peryferia. Są to: interfejs SAI do komunikacji z układami audio, generator liczb losowych (TRNG), blok sprzętowego szyfrowania (AES, SHA), jednostka MDF/ADF będąca ulepszeniem istniejącego wcześniej modułu DFSDM, interfejs do kamery oraz kontroler pojemnościowy do realizacji dotykowego interfejsu użytkownika.

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 6. Oferta mikrokontrolerów STM32U5 z podziałem na warianty z różną pamięcią Flash, różnym modelem zasilania (LDO/SMPS), różnymi typami obudowy i z opcją/bez opcji bloku sprzętowego szyfrowania

Oferta

Oferta mikrokontrolerów STM32U5 jest bardzo zróżnicowana. Rodzina ta oferuje łącznie kilkadziesiąt typów układów, które różnią się od siebie kilkoma parametrami. Zacznijmy od pojemności zintegrowanej pamięci Flash. W tym zakresie do wyboru pozostają dwie opcje: 2 MB Flash i 1 MB Flash. Drugi parametr to blok sprzętowego szyfrowania: w zależności od preferencji konstruktora może być on dostępny w mikrokontrolerze lub nie. Trzeci element rozróżniający układy to blok zasilania. Może on bazować albo tylko na wbudowanym regulatorze napięcia LDO, albo może wykorzystywać zarówno regulator napięcia LDO, jak i przetwornicę SMPS. Warto zwrócić uwagę, że parametr ten wpływa na funkcje pinów, co przekłada się na brak kompatybilności układu wyprowadzeń wersji mikrokontrolera z LDO w porównaniu do mikrokontrolera z LDO i SMPS. Do wyboru jest też szeroki wachlarz typów obudowy (LQFP, UQFN, CSP, UFBGA) i liczby pinów (od 48 do 169). Pełną ofertę rodziny mikrokontrolerów STM32U5 pokazano na **rysunku 6**.

Narzędzia

Firma STMicroelectronics przygotowała dla układów STM32U5 kompleksowy zestaw narzędzi, który jest spójny z ekosystemem od lat dostępnym dla innych rodzin STM32. W warstwie sprzętowej są to trzy platformy z serii Nucleo, Discovery oraz Eval. Nucleo (NUCLEO-U575ZI-Q) to płytka wyposażona w układ dysponujący 144 pinami. Większość wyprowadzeń jest dostępna z poziomu gniazd sygnałowych typu Morpho oraz Arduino. Dodatkowo elementem wyposażenia jest prosty interfejs użytkownika (diody LED, przycisk) oraz wbudowany programator/debugger ST-Link. Nucleo to bardzo przystępna cenowo platforma sprzętowa pomocna zarówno do testowania możliwości mikrokontrolera, jak też przydatna w budowaniu prototypu urządzenia. Discovery (B-U585I-IOT02A) to dużo bardziej rozbudowana płytka w porównaniu z Nucleo. Mikrokontroler połączony jest z grupą komponentów go otaczających: modułem Wi-Fi, modułem Bluetooth Low Energy, czujnikami MEMS i pamięciami. Do dyspozycji pozostają też gniazda sygnałowe, na których wyprowadzone są wybrane piny mikrokontrolera. Eval (STM32U575I-EV) to sporych rozmiarów płyta zaprojektowana bez żadnych kompromisów. Na wyposażeniu znajduje się nie tylko mikrokontroler i większość komponentów znanych z Discovery, ale są też gniazda komunikacyjne oraz wyświetlacz.

W warstwie programowej ekosystem narzędzi nosi nazwę STM32Cube. Składa się na niego kilka elementów: graficzny konfigurator mikrokontrolera i generator kodu STM32CubeMX, bazujące na Eclipse i GCC środowisko programistyczne STM32CubeIDE oraz pakiet bibliotek do peryferiów i przykładowych aplikacji STM32CubeU5. Warto też pamiętać o dwóch opcjonalnych, ale bardzo pomocnych narzędziach: programatorze STM32CubeProgrammer oraz aplikacji monitorującej STM32CubeMonitor, która może np. posłużyć do pomiaru poboru prądu mikrokontrolera i w konsekwencji do stworzenia profilu energetycznego aplikacji.

Harmonogram dostępności

Na obecnym etapie (maj 2021 r.) układy STM32U5 używają krzemu w rewizji 1.2 (Y). W celu usunięcia wykrytych ograniczeń planowane są jeszcze dwie rewizje krzemu. Rewizja 2.0 (B) spodziewana jest w czerwcu tego roku, natomiast finalna rewizja 2.1 (X) oczekiwana jest do końca lipca tego roku. Od tego momentu mikrokontrolery STM32U5 uzyskają dojrzałość produkcyjną i w konsekwencji rozpocznie się ich masowa produkcja. Jednocześnie do końca czerwca powinny zostać ukończone prace nad finalną wersją ekosystemu narzędzi programowych. Oficjalna premiera układów, z którą wiązać należy opublikowanie kompletnej dokumentacji, udostępnienie pełnego ekosystemu narzędzi programowych i rozpoczęcie produkcji wszystkich zestawów ewaluacyjnych, spodziewana jest do końca września tego roku.

Podsumowanie

Układy STM32U5 w kompleksowy sposób rozszerzają ofertę mikrokontrolerów STM32 w segmencie Ultra-Low Power. W porównaniu z istniejącymi seriami STM32L nowe układy oferują więcej mocy obliczeniowej, nowe rozwiązania w zakresie energooszczędności oraz bardziej zaawansowane funkcje bezpieczeństwa. Wszystko to bez radykalnego zwiększenia ceny układów.

Rodzina STM32U5 w przyszłości stanie się flagowym rozwiązaniem Ultra-Low Power firmy STMicroelectronics. Do opisanych w tym artykule układów STM32U575/585 dołączą jeszcze trzy grupy. Pierwsza z nich jest już na etapie projektowania. Nosi ona nazwę STM32U595/5A5 i wyróżniać się będzie większą pojemnością pamięci (4 MB Flash i 2,5 MB SRAM) oraz bogatszym wyposażeniem, zorientowanym na aplikacje graficzne. W późniejszym etapie należy spodziewać się dwóch skromniej wyposażonych serii, zoptymalizowanych pod kątem ceny. Firmy zainteresowane rozpoczęciem pracy z układami STM32U5 zapraszamy do kontaktu z autorem artykułu.

Szymon Panecki
szymon.panecki@st.com
STMicroelectronics

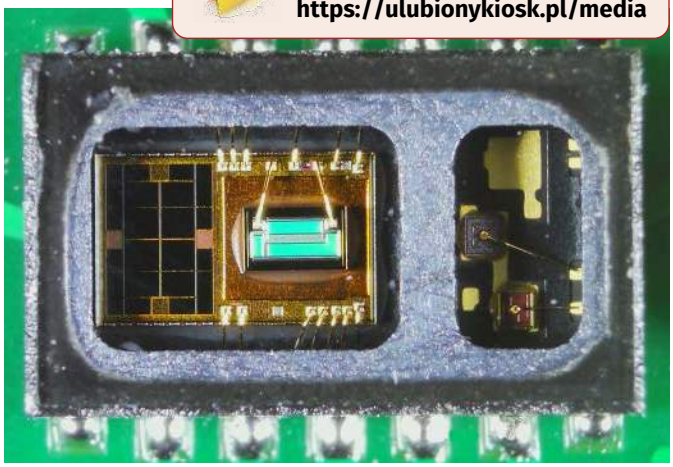
eprasa.pl b4234fed20

Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (5)

Podstawy PPG i SpO2. Hybrydowe front-endy fotometryczne

Wszystkie poprzednie odcinki cyklu znajdują się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

W poprzednich odcinkach cyklu opisaliśmy dość szeroko front-endy przeznaczone do akwizycji sygnałów bioelektrycznych, tj. przebiegów napięciowych generowanych przez organy i tkanki człowieka. Tym razem omówimy kolejną, obszerną grupę aplikacji biomedycznych, poczynając od popularnych smartwatchy i opasek sportowych, a kończąc na klinicznych kardiomonitorach czy też pulsoksymetrach przyłóżkowych.



Fotopletyzmografia – podstawy fizyczne

Na współczesną fotopletyzmografię (określaną anglojęzycznym skrótem PPG) składa się szereg technik pomiarowych, mających wspólne źródło w, bardzo uproszczonej pod względem technicznym, (spektro) fotometrii. Podstawowym zjawiskiem fizycznym wykorzystywanym w tej metodzie jest absorpcja (pochłanianie) światła przez tkanki człowieka. Miarą stopnia intensywności, z jaką dany obiekt pochłania promieniowanie świetlne, jest jego absorbancja A, wyrażona wzorem (1):

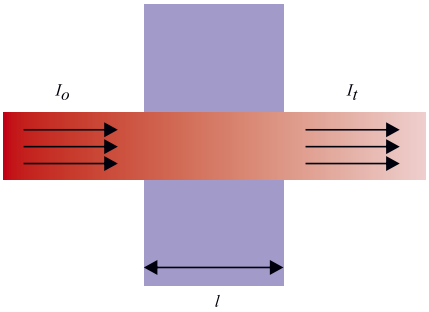
$$A = \log \frac{I_0}{I} \qquad (1)$$

gdzie I_0 oznacza natężenie promieniowania padającego na dany obiekt, zaś I to natężenie promieniowania po przejściu przezeń (**rysunek 1**). Wartość absorbancji rośnie zatem logarytmicznie wraz ze wzrostem stopnia, w jakim obiekt pochłania padającą nań wiązkę światła. W przypadku tkanek ludzkich stopień ten zależy od dziesiątek czynników, na całe szczęście jednak znakomitą większość z nich można w rozważaniach inżynierskich pominąć i skoncentrować się jedynie na tych czynnikach, które:

- istotnie odróżniają się od pozostałych pod względem charakterystyki częstotliwościowej,

oraz

- posiadają znaną (określoną) zależność od stosowanej w badaniu długości fali.



Rysunek 1. Ilustracja prawa Lamberta-Beera: światło o natężeniu I_0 po przejściu przez próbkę o grubości l ulega osłabieniu do natężenia I, w stopniu proporcjonalnym do grubości tkanki oraz gęstości i stopnia pochłaniania, charakterystycznego dla materiału danej próbki

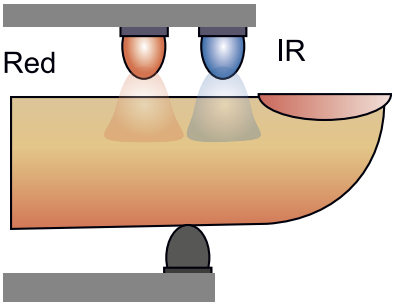
Klasyczna fotopletyzmografia korzysta zwykle z emiterów (źródeł światła) w postaci jednobarwnych diod LED oraz fotodetektorów, w roli których używane są zwykle fotodiody (rzadziej także fototranzystory). Najczęściej stosuje się diody czerwone (około 660 nm), zielone (około 530 nm) oraz pracujące w zakresie bliskiej podczerwieni (około 900 nm), zaś wybór ten jest podyktowany właściwościami optycznymi wszystkich warstw skóry, znajdujących się w niej naczyń krwionośnych oraz samej krwi.

Charakterystyki optyczne tkanek zależą od gęstości ich struktury komórkowej, a także procentowej zawartości określonych substancji chemicznych (np. pigmentów), składu płynów ustrojowych etc. Wspomniane czynniki są jednak w zdecydowanej większości stałe lub wolnozmienne (przynajmniej w obrębie danego organizmu, gdyż, ak zawsze w bioinżynierii, ulegają zmienności osobniczej). Dlatego też najsilniejszym czynnikiem relatywnie szybkozmiennym jest na tym tle przepływ krwi w naczyniach skórnych – mniejszych tętnicach, tętniczkach i częściowo w naczyniach włosowatych. Rytmiczne skurcze lewej komory serca, powodujące wtłaczanie porcji krwi w każdym cyklu pracy (porcja ta jest nazywana objętością wyrzutową) do aorty i dalej do coraz mniejszych naczyń krwionośnych, zostają zatem odwzorowane przez niewielkie, ale mierzalne zmiany objętości krwi, znajdującej się w naczyniach skóry.

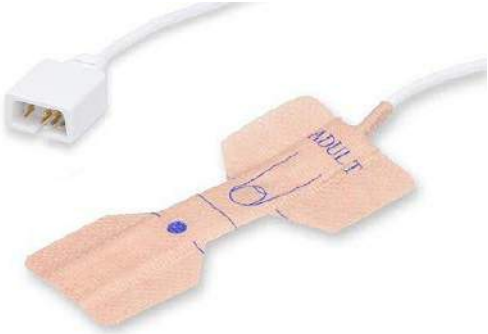
Dwie odmiany fotopletyzmografii

Dwa podstawowe elementy składające się na prosty czujnik fotopletyzmograficzny (nadajnik oraz odbiornik wiązki światła) mogą być ustawione względem siebie na dwa sposoby, które na początku trzeciej dekady XXI wieku, dzięki rosnącej popularności urządzeń ubieralnych, rozpowszechniły się już niemal w równym stopniu. Topologia transmisyjna (**rysunek 2**), stosowana głównie w czujnikach napalcowych (**fotografia 1**) oraz klipsowych, wymaga umieszczenia fotodetektora dokładnie naprzeciw nadawczej diody LED, a badanej części ciała – pomiędzy nimi. Wiązka światła penetruje zatem tkankę na wylot, a propagację fali wspomaga rozproszenie światła w objętości skóry,

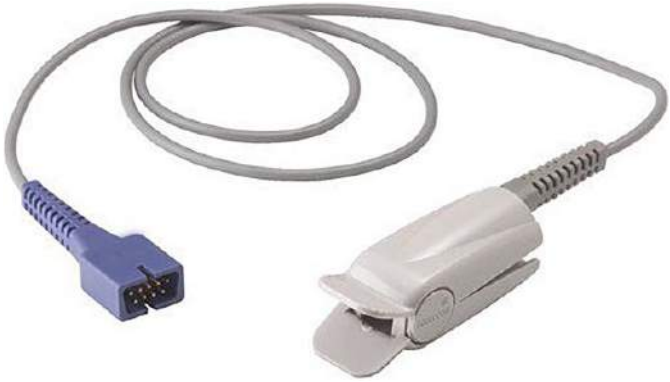
eprasa.pl b4234fed20



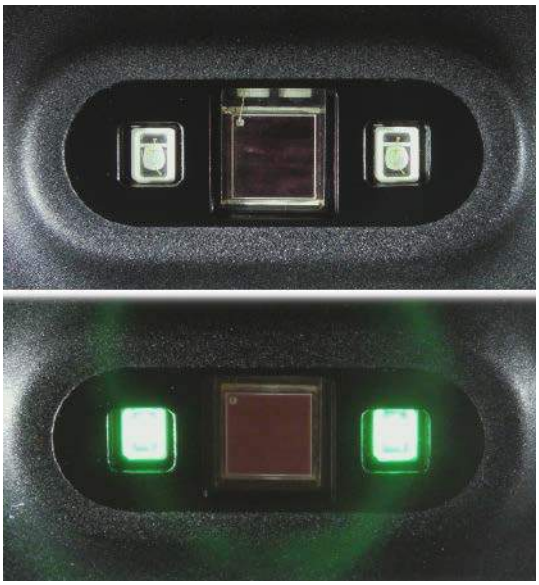
Rysunek 2. Konstrukcja czujnika optycznego o topologii transmisyjnej



Fotografia 2. Przykładowy samoprzylepny czujnik SpO2 (https://tinyurl.com/wfukuhyt)



Fotografia 1. Przykładowy napalcowy czujnik pulsoksymetryczny (https://tinyurl.com/4u28rnjs)



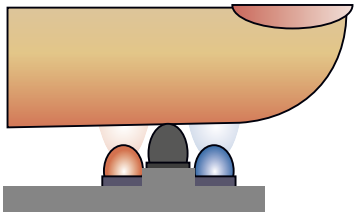
Fotografia 3. Widok elementów optoelektronicznych czujnika tętna w opasce sportowej Xiaomi Mi Band 4; widoczna struktura fotodiody oraz dwie superjasne, zielone diody LED

co umożliwia transmisję w przypadku pomiarów dokonywanych na palcach (kość stanowiłaby bowiem przeszkodę dla biegu wiązki świetlnej w linii prostej). Chwilowy wzrost objętości krwi w skurczowej fazie cyklu pracy serca powoduje osłabienie wiązki światła, rejestrowanej przez odbiornik.

Natomiast w konfiguracji refleksyjnej, pokazanej na **rysunku 3**, obydwa elementy znajdują się w tej samej obudowie, zaś światło z nadajnika jest rozpraszane i częściowo odbijane przez kolejne warstwy tkanek, dzięki czemu powraca do fotodetektora znajdującego się obok diody LED. Czujniki refleksyjne mogą być zatem stosowane w tych partiach ciała, których prześwietlenie jest niemożliwe lub w przypadku których natężenie sygnału powracającego do czujnika byłoby niemierzalnie niskie. Stąd też ogromna popularność sensorów refleksyjnych w zastosowaniach ubieralnych (smartwatche, smartbandy) oraz czujnikach samoprzylepnych, używanych głównie na powierzchni czoła lub w roli czujników napalcowych u pacjentów monitorowanych w warunkach szpitalnych (**fotografia 2**).

Wybór barwy światła nadajnika z punktu widzenia inżyniera elektronika

Jak wcześniej wspomniano, w przypadku klasycznej fotopletyzmografii możliwe jest zastosowanie diod LED o różnych długościach fali. Choć wybór konkretnej barwy światła spośród najczęściej stosowanych zakresów widma optycznego nie ma żadnego wpływu na wyniki badania w znakomitej większości codziennych zastosowań tej technologii (dziś prosta fotopletyzmografia jest używana prawie wyłącznie do badania rytmu serca), to może on mieć znaczenie dla jakości (siły) uzyskiwanego sygnału. Światło czerwone i bliska podczerwień (NIR) dobrze penetrują w głąb tkanek (nietrudno zauważyć, że po prześwietleniu ostatniego paliczka za pomocą silnej latarki jedynym widocznym składnikiem wiązki wyjściowej jest właśnie czerwień), dlatego to właśnie te barwy stały się najpopularniejsze niemal od samych początków istnienia pulsoksymetrii. Co ciekawe, liczne wyniki badań opublikowane w ostatniej dekadzie przekierowały techniki fotopletyzmograficzne w kierunku światła zielonego. Okazało się bowiem, że dokładnie ten zakres pasma widzialnego dobrze odwzorowuje przepływ krwi w powierzchownych (płytko położonych) naczyniach skóry, co pozwala uzyskać silny zapis o wysokim poziomie odstępu sygnał-szum, z użyciem stosunkowo słabego (a zatem – energooszczędnego) źródła światła. Stąd tak popularne stały się oświetlacze w postaci zielonych diod LED, spotykane w bijących rekordy popularności zegarkach i opaskach sportowych (**fotografia 3**).

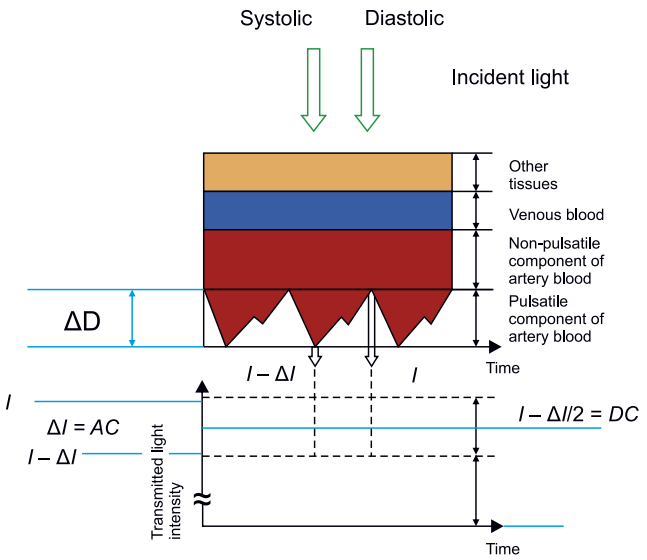


Rysunek 3. Konstrukcja czujnika optycznego o topologii refleksyjnej

Pulsoksymetria, czyli... dwukanałowe PPG z dodatkiem matematyki

Pulsoksymetria jest techniką nieinwazyjnego pomiaru saturacji krwi tętniczej, a dokładniej rzecz ujmując – udziału oksyhemoglobiny (czyli natlenowanej frakcji Hb, będącej niezbędnym nośnikiem życiodajnego tlenu w procesie oddychania komórkowego) w całkowitej ilości hemoglobiny, znajdującej się w erytrocytach. W istocie technika ta – choć zyskuje pierwszorzędne znaczenie w medycynie ratunkowej, monitoringu śród- i pooperacyjnym oraz intensywnej terapii, jest jedynie nieznacznym (pod względem technicznym) rozwinięciem opisanej wcześniej, klasycznej fotopletyzmografii. Pulsoksymetria opiera

eprasa.pl b4234fed20



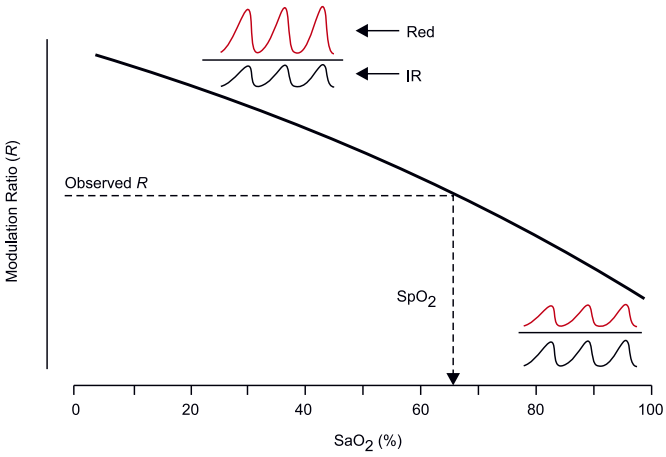
Rysunek 4. Składowe całościowej absorbancji tkanek badanego obszaru

się na rejestracji fali tętna w dwóch zakresach widma optycznego w sposób (pseudo)jednoczesny. Celem tego zabiegu jest „wyłuskanie" składowej pochodzenia tętniczego (związanej z przepływem krwi o wysokim stopniu natlenienia, czyli wysokiej zawartości oksyhemoglobiny) z całościowego sygnału, na którego wartość (a zatem pośrednio – absorbancję) składają się także wpływy wspomnianych wcześniej czynników stałych i wolnozmiennych (pochłanianie przez pigment skóry, tkankę tłuszczową, płyny śród- oraz wewnątrztkankowe i in. – **rysunek 4**).

Faktami sprzyjającymi tworzeniu algorytmów obliczeniowych, na których bazuje pulsoksymetria, są:

- praktycznie laminarny, stały przepływ krwi w niskociśnieniowym układzie żylnym – pulsowanie pochodzi zatem przede wszystkim od tętniczej strony krwiobiegu obwodowego, co pozwala przyjąć pewne założenia, bez których określenie poziomu saturacji krwi byłoby niemożliwe;
- znaczna różnica pomiędzy absorbancją światła czerwonego oraz podczerwonego dla oksyhemoglobiny i deoksyhemoglobiny – w dużym uproszczeniu można przyjąć, że modulacja sygnału dla oświetlenia tkanek diodą czerwoną będzie znacznie głębsza dla deoksyhemoglobiny i płytsza dla oksyhemoglobiny, zaś odwrotna zależność będzie obserwowana dla pasma NIR).

Techniczną realizacją (pseudo)jednoczesnej rejestracji przebiegów tętna w pasmach czerwieni i podczerwieni jest multipleksowanie



Rysunek 5. Zasada stosowania krzywej kalibracji: na podstawie wyliczonej wartości R określana jest saturacja krwi tętniczej (SpO2), przy czym jako metody referencyjnej używa się pomiaru saturacji (SaO2) metodą gazometrii

w dziedzinie czasu. Zasilanie nadajników – czerwonej i podczerwonej diody LED, jest naprzemiennie kluczowane i zsynchronizowane z odbiornikiem, po którego stronie następuje rozdział sygnału z fotodetektora na próbki należące do obu ww. sygnałów. Następnie z poszczególnych przebiegów wyznaczane są ich składowe stałe i zmienne (AC_r i DC_r – dla fali czerwonej oraz AC_{ir} i DC_{ir} dla fali podczerwonej), które w efekcie trafiają do wzoru, pozwalającego na wyznaczenie stosunku modulacji R (2):

$$R = \frac{\frac{AC_r}{DC_r}}{\frac{AC_{ir}}{DC_{ir}}} \qquad (2)$$

Ostatnim etapem działania algorytmu pulsoksymetrii jest zastosowanie empirycznie wyznaczonej krzywej kalibracji [1] (czyli funkcyjnej (nieliniowej) zależności pomiędzy wartością współczynnika R dla danego typu czujnika, a rzeczywistym poziomem saturacji pacjenta), do określenia wyniku SpO2 na podstawie zmierzonych sygnałów. Przykładowa krzywa kalibracji została pokazana na **rysunku 5**.

Artefakty w badaniach PPG i SpO2

Podobnie jak wszystkie inne techniki pomiarów biomedycznych, także fotopletyzmografia i według tych samych mechanizmów, również pulsoksymetria są podatne na liczne rodzaje artefaktów. Zakłócenia mogą pochodzić zarówno z samego układu pomiarowego, otoczenia pacjenta, jak i od procesów zachodzących wewnątrz organizmu. Do najistotniejszych artefaktów, z którymi zmagają się twórcy pulsoksymetrów i monitorów tętna bazujących na PPG, należą:

- **artefakty ruchowe** – wynikają przede wszystkim ze zmian objętości tkanek leżących w obrębie czujnika (np. skurcz okolicznych mięśni), wzajemnego przesuwania warstw skóry, redystrybucji nieznacznych ilości krwi (np. ze względu na zwiększenie nacisku), a także zmian położenia czujnika względem ciała pacjenta. Efektem artefaktów ruchowych mogą być zarówno niewielkie zaburzenia sygnału nakładające się na zapis fali tętna, jak i dryf izolinii, a nawet, w skrajnych przypadkach, całkowita utrata mierzalnej pulsacji lub przesterowanie wzmacniacza wejściowego. Szczególnym wyzwaniem dla programistów jest filtracja sygnałów pozyskiwanych z czujników ubieralnych, gdyż pasmo artefaktów często pokrywa się z częstotliwością podstawową rytmu serca (np. w przypadku chodu lub biegu cykliczne zaburzenia spowodowane ruchem oraz właściwy sygnał pulsu mogą być w pewnych warunkach trudne do rozróżnienia);
- **oświetlenie zewnętrzne** – silne oświetlenie przedostające się z otoczenia do badanego rejonu tkanek może powodować zarówno wolnozmienne przesunięcia linii bazowej sygnału, jak i szybkie zmiany o ostrych zboczach, mogące zaburzać działanie filtrów cyfrowych wyższego rzędu. W warunkach szpitalnych oraz ambulatoryjnych problem ten manifestuje się przede wszystkim podczas ekspozycji czujnika na otoczenie ze sztucznym oświetleniem sieciowym. Najczęściej spotykane w praktyce są zakłócenia o częstotliwości sieci (50 lub 60 Hz wraz z harmonicznymi wyższych rzędów) oraz wysokoczęstotliwościowe przebiegi świetlówek lub sterowników PWM, stosowanych do zasilania paneli LED. W zależności od rodzaju źródła światła zakłócającego, zastosowanej w układzie filtracji oraz wzajemnej zależności pomiędzy częstotliwością próbkowania (kluczowania) a częstotliwością zakłóceń, artefakty tego rodzaju mogą być widoczne jako fale okresowe lub pseudolosowe ciągi impulsów i mogą stanowią spory problem dla twórców algorytmów przetwarzania sygnałów PPG/SpO2.

Rodzaje front-endów PPG/SpO2

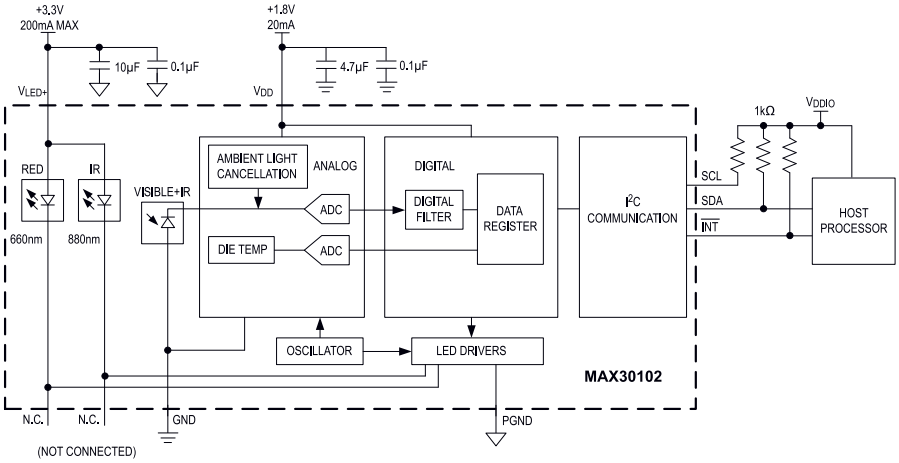
Obecnie na rynku dostępne są dwie grupy układów przeznaczonych do realizacji pomiarów metodami PPG i SpO2.

- **układy hybrydowe** – integrują w ramach pojedynczej obudowy (wyposażonej w okno optyczne) zarówno właściwy front-end

eprasa.pl b4234fed20

analogowy, jak wszystkie elementy optoelektroniczne niezbędne do realizacji pomiaru (jedną lub kilka diod LED i fotodiodę);
- **monolityczne** – dostosowane do bezpośredniej współpracy z zewnętrznymi sondami pomiarowymi.

Wybór technologii jest podyktowany szeregiem czynników, spośród których do najważniejszych należą:
- **rodzaj aplikacji** – choć większość czujników hybrydowych może pracować zarówno w trybie transmisyjnym, jak i refleksyjnym, to z czysto praktycznych względów „zaszywanie" cyfrowego układu scalonego w przewodowym czujniku napalcowym bądź klipsowym byłoby nie tylko trudne, ale także wysoce nieopłacalne. Z tego też względu front-endy zintegrowane z optoelektroniką lepiej pasują do urządzeń noszonych bezpośrednio na ciele (np. opasek sportowych), zaś monolityczne układy AFE, do aplikacji klinicznych wykorzystujących zewnętrzne, wielo- lub jednorazowe sondy optyczne, stosowane powszechnie w pulsoksymetrach stacjonarnych i kardiomonitorach. Od tej reguły są jednak wyjątki – w kolejnej części cyklu przedstawimy front-endy monolityczne przeznaczone do urządzeń wearable;
- **jakość metrologiczna układu** – układy monolityczne oferują przeważnie szersze możliwości pomiarowe i wyższą jakość uzyskiwanych wyników, w porównaniu z rozwiązaniami kompaktowymi (hybrydowymi); dotyczy to m.in. rozdzielczości przetworników ADC i odstępu sygnał-szum, zakresu dynamiki sterowania prądem diod LED, czy też obecności zaawansowanych, sprzętowych bloków redukcji wpływu oświetlenia zewnętrznego;
- **elastyczność** – układy monolityczne są zwykle wyposażane w szereg dodatkowych funkcji, w tym przede wszystkim relatywnie rozbudowane obwody autodiagnostyki, umożliwiające detekcję awarii lub też całkowitego braku zewnętrznego czujnika; oferują ponadto wiele zróżnicowanych trybów pracy, pozwalających na wykorzystanie odmiennych konfiguracji fotodetektora i emiterów w zależności od aplikacji;

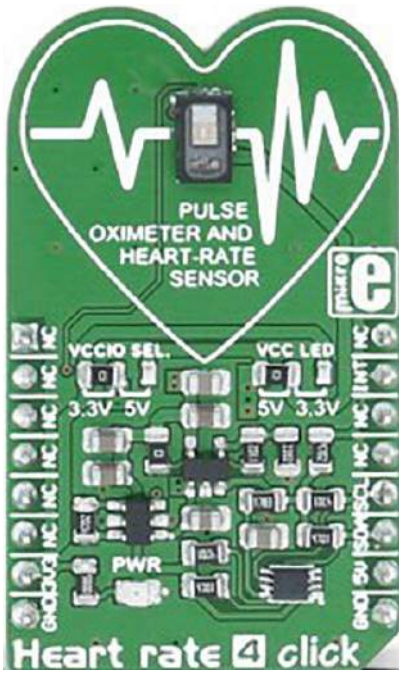


Rysunek 6. Schemat funkcjonalny hybrydowego czujnika MAX30102

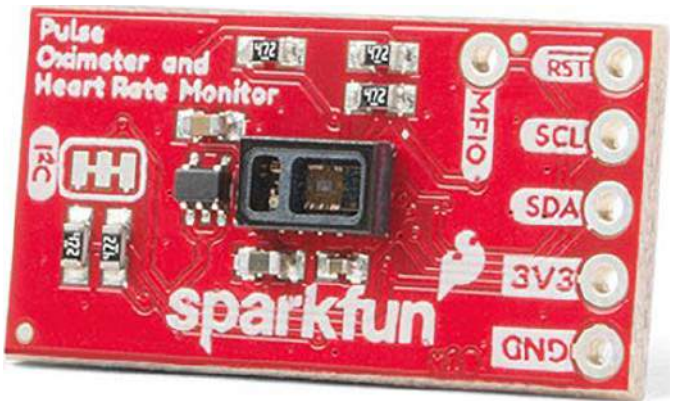
- **cena** – zastosowanie front-endów hybrydowych niweluje problem doboru elementów optoelektronicznych oraz konstrukcji mechanicznej czujnika, co przy dość wysokich cenach klasycznych czujników napalcowych, samoprzylepnych oraz klipsowych, znacząco wpływa na obniżenie ceny docelowego rozwiązania i dodatkowo skraca czas opracowania projektu;
- **stopień złożoności implementacji sprzętowej** – czujniki hybrydowe są nieporównanie prostsze w implementacji od front-endów monolitycznych z zewnętrzną optoelektroniką. Minimalna aplikacja tego typu układów wymaga zaledwie kilku kondensatorów odsprzęgających zasilanie oraz… dwóch rezystorów podciągających szyny I²C (dotyczy to m.in. omówionego dalej układu MAX30102);
- **rozmiary układu pomiarowego** – mniejsza złożoność obwodów peryferyjnych AFE oraz silna integracja wszystkich niezbędnych bloków funkcjonalnych w ramach pojedynczej obudowy sprawia, że wynikowe rozmiary układu bazującego na czujniku hybrydowym są zdecydowanie mniejsze, niż analogicznej implementacji opartej na front-endzie monolitycznym. Ma to niebagatelne znaczenie dla urządzeń ubieralnych, w których ilość dostępnego miejsca jest okrojona do granic możliwości technologicznej.

MAX30101/MAX30102

Opis przykładowych front-endów rozpoczniemy od popularnego układu hybrydowego MAX30102, którego schemat funkcjonalny został pokazany na **rysunku 6**. Obudowa zawiera całkowicie przezierne, szklane okno pomiarowe, pokrywające dwa przedziały optyczne, które rozdzielone zostały przegrodą redukującą bezpośrednie oświetlenie czujnika przez struktury LED. Mikrofotografia układu (pokazana na fotografii tutułowej) ujawnia jego dokładną strukturę – większy przedział zawiera duży, wielopolowy fotodetektor, zaś



Fotografia 4. Moduł Heart Rate 4 Click marki MikroElektronika, wyposażony w układ MAX30101 (https://bit.ly/3AhEpcB)



Fotografia 5. Moduł SparkFun SEN-15219 z układem MAX30101 i cyfrowym procesorem biomedycznym MAX32664 (https://bit.ly/2SEjAan)

eprasa.pl b4234fed20

obok niego, na tym samym podłożu, znajduje się właściwa struktura AFE. W mniejszej komorze znajdują się miniaturowe struktury LED o długości fali w szczytowym punkcie emisji widma równej 660 nm i 880 nm. Całość obudowy układu ma wymiary 5,6×3,3×1,55 mm i zawiera 14 pinów w dwóch rzędach.

Właściwy front-end układu MAX30102 wyposażony został w dwa przetworniki ADC – jeden z nich (18-bitowy delta-sigma czasu ciągłego, o zakresie pomiarowym od 2 do 16 μA) jest połączony z fotodiodą i układem aktywnej redukcji wpływu oświetlenia zewnętrznego ALC, zdolnym do usunięcia offsetu prądu fotodiody do 200 μA (ponad 12-krotnie większego, niż maksymalny zakres dynamiczny sygnału). Drugi przetwornik przeznaczony jest natomiast do pomiaru temperatury struktury krzemowej za pomocą wewnętrznego czujnika o rozdzielczości aż 0,0625°C. Dane z pierwszego konwertera są filtrowane cyfrowo, producent nie podaje jednak żadnych szczegółów technicznych samego filtra. Sterownik diod LED, pracujący pod kontrolą sprzętowego sekwencera, jest w stanie dostarczać prąd o wartości od 0 do 50 mA w impulsach o szerokości od 69 do 411 μs, wymaga przy tym zasilania napięciem 3,1...5,0 V (podczas, gdy sam układ jest zasilany napięciem z zakresu od 1,7 do 2,0 V). Układ zawiera ponadto pamięć FIFO o długości 32 próbek, co pozwala znacznie zredukować pobór prądu urządzenia dzięki zmniejszeniu częstotliwości wybudzeń nadrzędnego procesora. Szeroki zakres parametrów konfiguracyjnych sekwencera oraz częstotliwości próbkowania przetworników ADC (od 50 do 3200 Sps) pozwala na pracę układu zarówno w trybie (relatywnie) wysokiej jakości pulsoksymetru, jak i energooszczędnego monitora tętna (wykorzystującego tylko jedną diodę LED) o średnim poborze mocy poniżej 1 mW. Układ komunikuje się z procesorem nadrzędnym przez interfejs I²C.

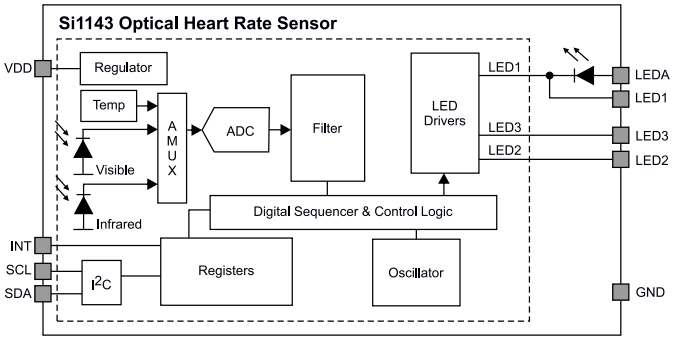
Firma Maxim wprowadziła na rynek także bliźniaczy układ MAX30101, wyposażony w trzy diody LED – zieloną, podczerwoną oraz czerwoną. Dla obydwu modeli dostępne są liczne moduły ewaluacyjne, zarówno uniwersalne (wyposażone w niezbędne obwody zasilania i rezystory podciągające dla szyny I²C), jak i kompatybilne z własnościowymi standardami takimi, jak mikroBUS marki MikroElektronika (fotografia 4) czy też Qwiic marki SparkFun (**fotografia 5**).

Si1143-AAGX

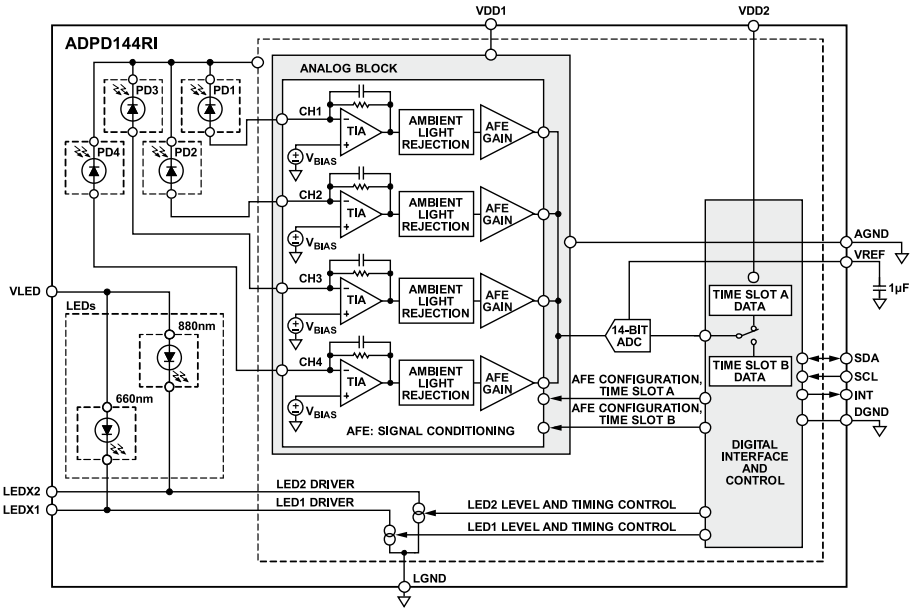
Firma Silicon Labs wprowadziła na rynek prosty układ hybrydowy Si1143-AAGX (schemat funkcjonalny został pokazany na **rysunku 7**), którego konstrukcja jest najlepszym dowodem wpływu nauk biomedycznych na rozwój elektroniki konsumenckiej. Zamiast klasycznych diod LED w paśmie czerwonym i podczerwonym, w układzie zastosowano bowiem… tylko jedną diodę zieloną. Brak elementów koniecznych do realizacji typowych aplikacji pulsoksymetrycznych kompensuje obecność dwóch dodatkowych wyjść drivera LED, co ciekawe, oferującego bardzo szeroki, bo dochodzący aż do 360 mA, zakres prądu wyjściowego. Zakres czułości spektralnej wewnętrznej fotodiody obejmuje natomiast pasmo VIS-NIR od 525 nm aż do 940 nm. Całość zamknięta jest w obudowie LGA o wymiarach 4,9×2,85×1,2 mm. Układ komunikuje się z procesorem za pośrednictwem interfejsu I²C.

ADPD144RI

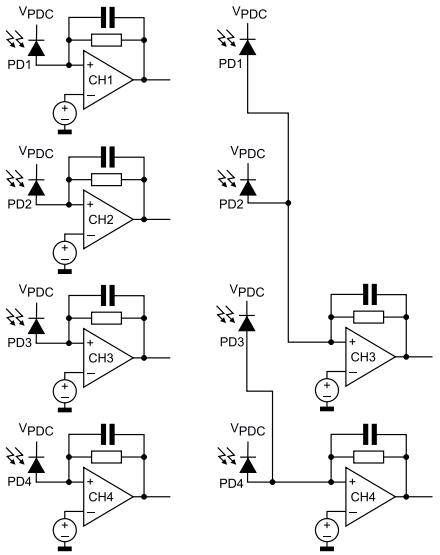
Bardzo interesujące rozwiązania zaoferowała firma Analog Devices. Podczas, gdy konkurencja wyraźnie postawiła na pojedyncze lub, co najwyżej podwójne wejścia fotometryczne, inżynierowie ADI doszli do wniosku, że zwiększenie liczby wejść daje dodatkowe możliwości rozszerzenia zakresu dynamiki oraz rozdzielczości efektywnej, a przez to zwiększenia jakości pomiarów. Hybrydowy układ ADPD144RI posiada aż cztery niezależne bloki wejściowe (**rysunek 8**), złożone ze skompensowanych wzmacniaczy transimpedancyjnych, wyposażonych w źródła offsetu napięciowego, bloki redukcji wpływu oświetlenia zewnętrznego oraz wzmacniacze PGA. Taka topologia daje sporą elastyczność aplikacyjną, gdyż umożliwia niezależne wykorzystanie każdego z pól czterosegmentowej fotodiody w połączeniu



Rysunek 7. Schemat blokowy czujnika Si1143



Rysunek 8. Schemat funkcjonalny układu ADPD144RI



Rysunek 9. Dopuszczalne konfiguracje wejść front-endu ADPD144RI

eprasa.pl b4234fed20

z odpowiadającym jej układem wejściowym (w układach wymagających szerszego zakresu dynamiki), bądź też podłączenie fotodiod parami do ostatnich dwóch kanałów wejściowych (CH3 i CH4), w celu zmniejszenia poziomu szumów podczas pomiaru słabych sygnałów wejściowych. obydwie konfiguracje zostały pokazane na **rysunku 9**.

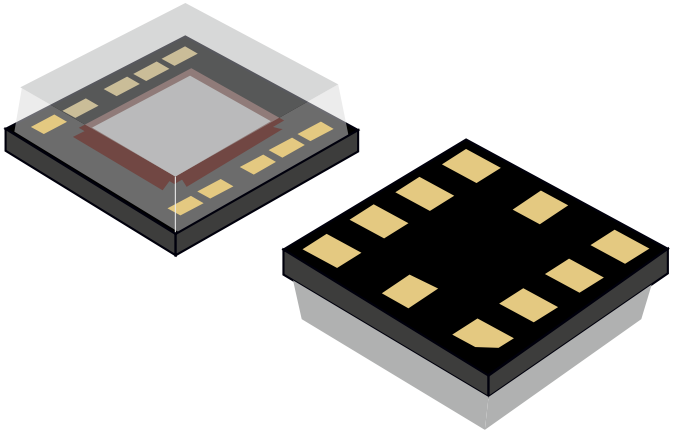
Natywna rozdzielczość przetwornika analogowo-cyfrowego wynosi 14 bitów, ale rozbudowany blok cyfrowego przetwarzania danych umożliwia uśrednianie próbek w dwupoziomowych, sprzętowych akumulatorach, w celu uzyskania rozdzielczości sięgającej aż 20 (*burst accumulator*), a nawet 27 bitów (*sample to sample accumulator*). Dzięki temu układ może być stosowany nie tylko w aplikacjach wymagających relatywnie szybkich pomiarów (min. 50 próbek na sekundę dla podstawowej detekcji tętna), ale także w precyzyjnych układach do pomiarów fotometrycznych. Wydajne źródła prądowe o zakresie aż do 370 mA pozwalają na uzyskanie silnego strumienia świetlnego w najbardziej wymagających aplikacjach.

Last, but not least – BH1790GLC

Na koniec pozostawiliśmy interesujący front-end hybrydowy BH-1790GLC, wprowadzony na rynek już w 2015 roku przez firmę Rohm Semiconductor. Silnie zminiaturyzowany układ w obudowie WLGA o wymiarach zaledwie 2,8×2,8×1,0 mm (**rysunek 10**) ma wbudowaną fotodiodę oraz dwa sterowniki zewnętrznych diod LED o wydajności prądowej od 5 do 15 mA. Charakterystyka spektralna fotodetektora jest zoptymalizowana pod kątem odbioru światła zielonego (poprzez zastosowanie optycznych filtrów: zielonego i podczerwonego), co sprawia, że układ może być stosowany jedynie w monitorach tętna i nie nadaje się do użycia w konstrukcji przenośnych pulsoksymetrów. Co ciekawe, producent w nocie katalogowej nie podaje explicite natywnej rozdzielczości przetwornika – wiadomo jedynie, że maksymalna zawartość rejestru wyjściowego to 3650, a słowo wyjściowe ma długość 16 bitów.

Podsumowanie

Rynki urządzeń medycznych oraz ubieralnych gadżetów sportowych spotykają się w jednym, wspólnym punkcie. Fotopletyzmografia,



Rysunek 10. Widok obudowy optycznego czujnika tętna BH1790GLC firmy Rohm Semiconductor

znana od kilkudziesięciu lat, jest obecnie podstawową metodą detekcji szybkości tętna (HR – heart rate) i w postaci pulsoksymetrii, saturacji krwi tętniczej. Układy AFE, zaprezentowane w tym artykule, pozwalają na relatywnie tanią i, z pewnością, prostą implementację podstawowych pomiarów PGG i SpO2, wspierając konstruktorów oraz programistów wbudowanymi elementami optoelektronicznymi, funkcjami automatycznej diagnostyki oraz automatycznej redukcji fundamentalnych artefaktów. Reszta, jak zawsze należy już do programisty, gdyż warto pamiętać, że sama akwizycja to dopiero początek działania biomedycznych urządzeń pomiarowych.

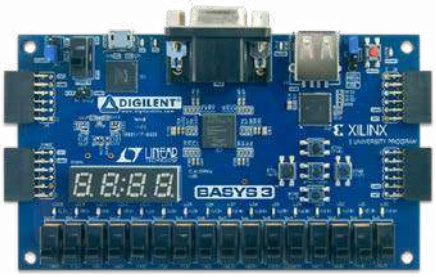
inż. Przemysław Musz, EP

[1] Złotym standardem metody referencyjnej jest badanie laboratoryjne – gazometria krwi tętniczej. W praktyce inżynierskiej zdecydowanie łatwiej jest jednak zastosować odpowiedni kalibrator lub, w warunkach początkowej ewaluacji, testować projektowane urządzenie pod kontrolą zwalidowanego klinicznie pulsoksymetru o wysokiej dokładności.

REKLAMA

Zestawy uruchomieniowe FPGA

Zestaw Basys 3 Artix-7 FPGA Trainer Board http://bit.ly/2MW1wFS



Kod handlowy: FPGA0001
Producent: Digilent

Zestaw Basys 3 jest w szczególności polecany hobbystom i organizatorom kursów poświęconych układom programowalnym, oraz uczestnikom tych kursów.

Oryginalny Basys 3 to zestaw do projektowania układów/systemów cyfrowych w środowisku Vivado Design Suite, z układem FPGA w wersji 35-T rodziny Artix 7 firmy Xilinx pozwalającym je praktycznie wdrożyć.

Zestaw ten to najnowsza odsłona linii produktów Basys powstała specjalnie z myślą o osobach początkujących i studentach kierunków elektronicznych. W ich ręce producent oddaje gotowy do użycia produkt o dużej liczby peryferii zawierający niezbędne obwody. Tym samym nie ma potrzeby dołączania odrębnych komponentów, by stworzyć określone rozwiązanie. Ostatnie może być przy tym proste (np. bramki logiczne) lub bardziej złożone (np. namiastka domu inteligentnego). Zatem to sprzęt do zastosowań domowych oraz profesjonalnych, w tym do układów czasu rzeczywistego (RTOS).

http://sklep.avt.pl

AVT SPV Sp. z o.o. 03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Sklep stacjonarny czynny jest od poniedziałku do piątku w godzinach: 8:00–16:00, tel. 22 257 84 66
e-mail: handlowy@avt.pl, tel. 22 257 84 51 (w godzinach: 9:00–15:00)

eprasa.pl b4234fed20

koktajl niusów

Wymiary kart SIM

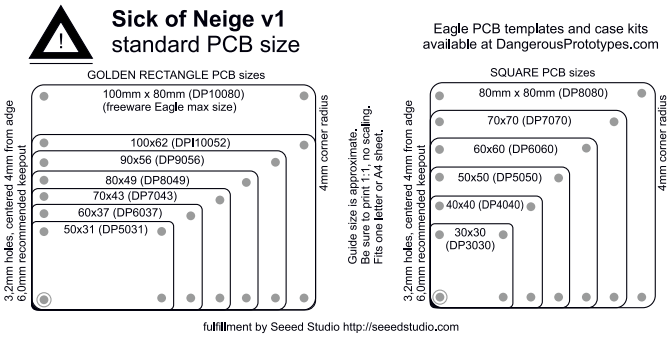
Na rysunku zostały pokazane trzy rodzaje kart SIM: standardowa (15 mm szerokości i 25 mm długości), Micro (12 mm szerokości i 15 mm długości) i Nano (8,8 mm szerokości i 12,3 mm długości). Którą z nich wybrać? Oczywiście taką, którą akceptuje docelowe urządzenie. Na chwilę obecną są to przeważnie dwa ostatnie rodzaje, ponieważ zajmują niewiele miejsca – a to istotne w urządzeniach przenośnych. Operatorzy komórkowi dostarczają abonentom karty Nano SIM w dwóch plastikowych ramkach pełniących rolę adapterów, które z łatwością można wyłamać. Przed ich usunięciem karta jest standardowych rozmiarów. Natomiast po usunięciu pierwszej z ramek staje się kartą Micro SIM. Z kolei po usunięciu drugiej z nich staje się właściwą Nano SIM. Niestety, potem trudno całość poskładać. Co zrobić, gdy zajdzie taka potrzeba? Można zaopatrzyć się w dostępne na rynku przejściówki wielokrotnego użycia.

źródło rysunku: https://bit.ly/3w8oMkr

Padł Ci laptop?

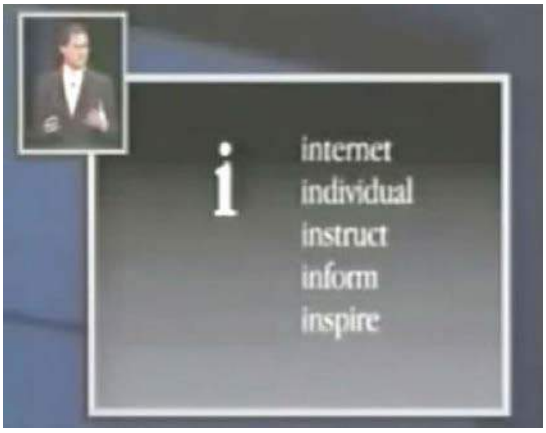
Nic się nie stało – przełóż jego dysk twardy do drugiego komputera. Jest to proste rozwiązanie, którym możemy posiłkować się w krytycznej sytuacji. System operacyjny uruchomi się jak zwykle, a dostęp do danych będzie taki sam jak dotychczas. Jedynie trzeba będzie zainstalować sterowniki do urządzeń oraz układów obsługiwanych przez drugi komputer. Kiedyś byłaby to mordęga, ponieważ wymagało to sporo płyt CD lub dyskietek potrzebnych do zgromadzenia wszystkiego. Dzisiaj jest szybki internet i instalatory do pobrania ze stron producentów urządzeń, które pozyskuje się błyskawicznie. To taka komputerowa transplantologia. O tyle prosta, że nie trzeba mieć do niej szczególnych kwalifikacji. Jedyne co trzeba wiedzieć, to gdzie są montowane dyski twarde w laptopach i jak się do nich dobrać. W tym względzie polecamy portal YouTube, gdzie znajdziemy filmy pokazujące demontaż najpopularniejszych modeli krok po kroku. Wbrew pozorom, to bardzo ważna sprawa, bowiem znajduje się tam wiele śrubek, które nie dość, że są małe, to jeszcze łatwo je zgubić, a do tego zapomnieć, gdzie, którą należy z powrotem przykręcić.

źródło fotografii: https://bit.ly/3huoD5T



Jakie są standardowe wymiary płytek PCB?

Odpowiedź jest widoczna na rysunku. Jak się okazuje takich typów jest łącznie trzynaście, przy czym siedem dotyczy kształtu prostokątnego, a pozostałe sześć kwadratowego. Nazewnictwo jest przy tym proste: dwie pierwsze cyfry to szerokość, a reszta to długość. Wszystko poprzedzone dwuznakiem DP. Prawda, że łatwe? Ciekawostkę tę dedykujemy projektantom, którym zwykle ten szczegół umyka.



Co oznacza „i" w produktach firmy Apple?

Jest to pochodzący z 1998 roku oryginalny pomysł Steve'a Jobsa, który chciał się nim wyróżnić na rynku. Jego powstanie wiąże się z konferencją, na której po raz pierwszy zaprezentowano komputer iMac (Macintosh) znany m.in. z braku stacji dyskietek. Jak mówił wówczas Jobs „iMac łączy w sobie ekscytację siecią Internet oraz prostotę komputera Macintosh" („*iMac comes from the marriage of the excitement of the Internet with the simplicity of Macintosh*"). W efekcie „i" oznacza tyle co internet. Ale czy tylko? Nie – to również pokazane na rysunku słowa: indywidualny/osobisty (*individual*), polecać (*instruct*), informować (*inform*) oraz inspirować (*inspire*), które doskonale oddają ducha produktów tytułowej firmy. Czy te znaczenia są nadal aktualne? Jak najbardziej. Choć internet jest dziś tak oczywisty, że nie ma

eprasa.pl b4234fed20

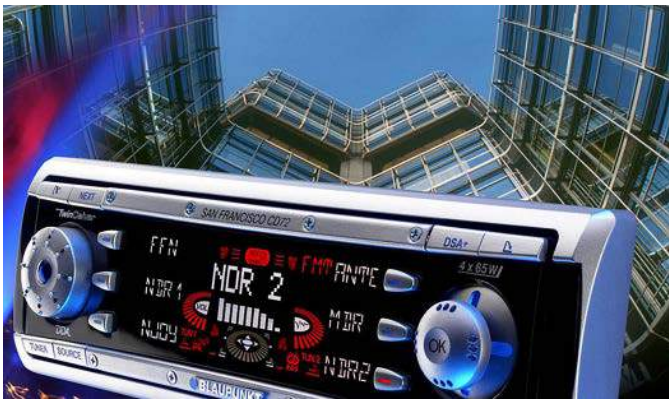
potrzeby go dłużej podkreślać, to reszta powinna pozostać. Zresztą czy usunięcie „i" nie spowoduje czasem utraty prestiżu przez Apple? Czy ona sama nie stała się przypadkiem synonimem samej firmy?

źródło rysunku: https://bit.ly/3wcH8Rk

Polacy nie gęsi, swoje diody LED też mają!

A przynajmniej mieli za czasów komunizmu. Spójrzcie na fotografię – są to wyroby znanego w czasach PRL (a obecnie już nieistniejącego) przedsiębiorstwa Unitra CEMI, które zajmowało się mikroelektroniką, wliczając podrabianie pierwszych mikroprocesorów firmy Intel (kto pamięta m.in. układ scalony MCY7880 będący klonem oryginalnego układu 8080A?). Oznaczenia tych wyrobów to: CQYP33A (dioda żółta), CQYP32B (dioda zielona) i CQYP40A (dioda czerwona). Robi wrażenie prawda? Są one dużo większe od współczesnych diod. Ich dokumentacja jest dostępna pod adresem: http://bit.ly/2qmNiyY – polecamy się z nią zapoznać. Taka ciekawostka, aby pokazać że kiedyś polska elektronika miała się dobrze. Koniecznie pochwalcie się, jeśli znajdziecie projekty, w których są one zastosowane.

źródło fotografii: http://bit.ly/2qmNiyY



Radio samochodowe już nie traci zasięgu

Przynajmniej w obrębie pojedynczego kraju. Jakim cudem? Otóż chodzi o system RDS i przekazywaną w jego ramach informację o alternatywnych częstotliwościach odbieranej radiostacji – AF, czyli *Alternative Frequency*, na które należy się przełączyć w przypadku zaników sygnału. Pomysł w praktyce znany od lat w telefonii GSM – że też wcześniej go nie zastosowało! Mając radio obsługujące tą funkcję można nie zauważyć, że w ogóle nastąpiła zmiana częstotliwości. W wielu przypadkach człowiek się o tym dowiaduje dopiero patrząc na nadawane w ramach wspomnianego wcześniej systemu napisy, które często wspominają o miejscu nadawania. Warunek jest jeden – trzeba mieć włączoną obsługę alternatywnych częstotliwości w radioodbiorniku.

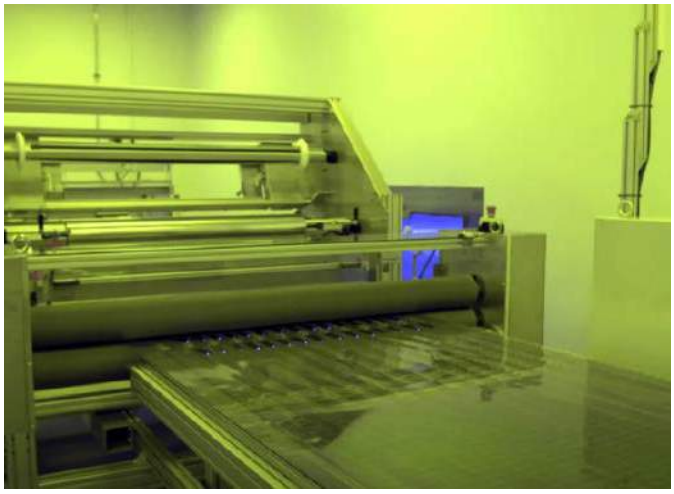
źródło fotografii: https://bit.ly/3ygQAoa

Opis IP44 w paru słowach

Wbrew pozorom nie kolejna wersja protokołu IP – wcale nie chodzi o sieci teleinformatyczne. To sprawa ściśle elektryczna. Jest to jeden z tzw. kodów IP zdefiniowanych przez normę PN-EN 60529:2003, która definiuje „system oznaczania stopni zapewnianej przez obudowy przed dostępem do części niebezpiecznych, wnikaniem obcych ciał stałych, wnikaniem wody oraz system podawania dodatkowych informacji związanych z taką ochroną". Mowa tu o… gniazdkach elektrycznych i ich ochronie przed czynnikami z zewnątrz (*Ingress Protection*). W przypadku tytułowego kodu pierwsza z nich oznacza ochronę przed dostępem do części niebezpiecznych drutem i przed obcymi ciałami stałymi o średnicy co najmniej 1 mm, podczas gdy druga wskazuje na ochronę przed bryzgami wody z dowolnego kierunku. I wystarczy do tego zaprezentowana na rysunku klapka zabezpieczająca gniazdko.

Należy jednak uważać – w praktyce często upraszcza się znaczenie wspomnianego kodu i gniazdko IP44 określa się jako gniazdko wodoodporne – a to nieprawda. W praktyce, powinno być stosowane w łazience, ale jest to również gniazdko chroniące dzieci przed wkładaniem przedmiotów mogących spowodować porażenie prądem.

źródło rysunku: https://bit.ly/3jxflsn



Wrocław perowskitami stoi!

Dnia 21 maja br., przy ul. Fabrycznej 16, otworzono pierwszą na świecie fabrykę perowskitowych ogniw słonecznych należącą do firmy Saule Technologies. Jak mówi jej główna założycielka, fizyczka Olga Malinkiewicz „Wierzę, że perowskitowe ogniwa słoneczne pomogą zmienić świat na lepsze. To nadzieja na tanią zieloną energię dla każdego i transformację energetyczną każdej rzeczy, która potrzebuje energii". Opracowany przez nią wynalazek umożliwia generację energii zarówno ze Słońca jak i sztucznego światła, przez co można go zastosować w wielu miejscach: od etykiet cenowych poprzez fasady budynków oraz powierzchnie sztucznych satelitów. Jest wręcz pożądanym kandydatem dla instalacji BIPV, tzn. ogniw zintegrowanych z fasadą na nowo budowanych budynkach i instalacji BAPV, tj. ogniw montowanych na fasadach już istniejących budynków.

Do zalet tego rozwiązania należą: odporność na uszkodzenia mechaniczne, szczególnie te spowodowane zginaniem i fałdowaniem, giętkość zależna wyłącznie od materiałów stanowiących podłoże, grubość poniżej 1 mikrona, produkcja oparta o elastyczną, przeźroczysta folię, czy wreszcie produkcja na zasadzie druku atramentowego. I nie przeszkadza w tym fakt, że wydajność wynalazku wynosi tylko 10%, i że ma na nią wpływ jego przeźroczystość - to bowiem da się zawsze poprawić. Na chwilę obecną ważne, że to działa i może być dostępne w przystępnej cenie, którą przewiduje na poziomie 50 zł do 2022 roku.

Ten bardzo obiecujący produkt, według Piotra Krycha – współzałożyciela Saule Technologies, stanowi „… krok milowy w rozwoju fotowoltaiki i przełom technologiczny dla wielu branż. Ze względu na swoje unikalne właściwości, ogniwa perowskitowe

eprasa.pl b4234fed20

znajdą zastosowanie wszędzie tam, gdzie tradycyjne ogniwa krzemowe nie mają szans się sprawdzić: na dachach budynków o lekkiej konstrukcji, na oknach (ogniwa mogą być częściowo transparentne), na samochodach, żaglach, namiotach, obudowach laptopów, czy telefonach. Zasilą drony i urządzenia IoT". Tylko czekać, aż się one upowszechnią na dobre, czego sobie życzymy, ponieważ to w końcu polski wynalazek!

źródło fotografii: https://bit.ly/3hq3dql

„Mocne" taśmy LED – dlaczego są takie prądożerne?

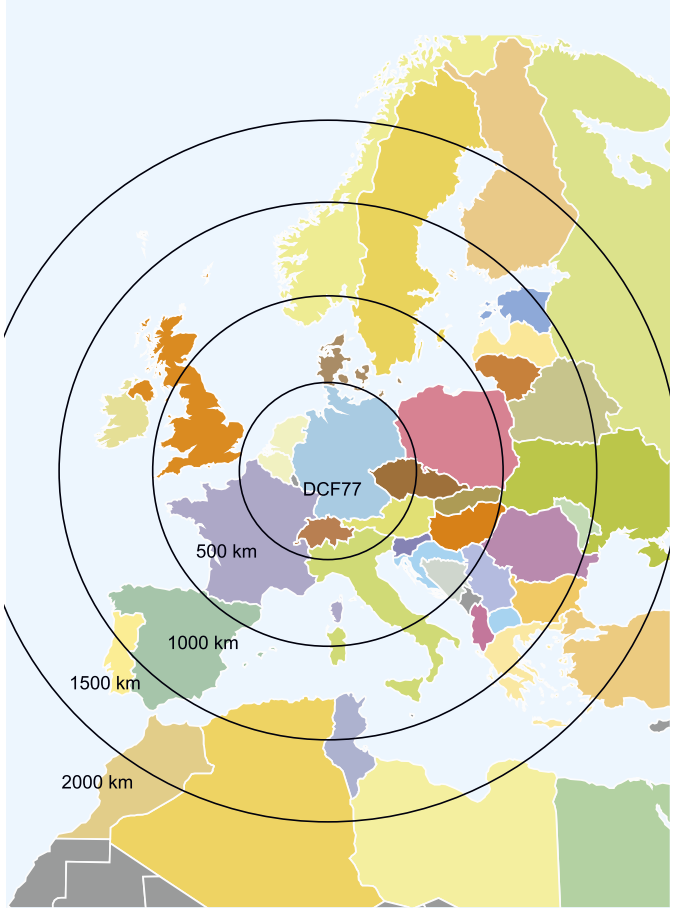
Ponieważ zastosowane tam diody LED, generują mnóstwo fotonów, których powstanie wiąże się z rekombinacją elektronów i dziur w półprzewodnikach tych diod (dokładniej chodzi o rekombinację promienistą). Aby każdy z nich zaistniał potrzeba zwykle jednej pary wspomnianych nośników obdarzonych konkretną energią kinetyczną (jeden foton to jedna taka para). W rezultacie liczba fotonów jest proporcjonalna do liczby tych nośników, a przez to natężenie światła diody tytułowej taśmy jest tak samo zależne od jej prądu przewodzenia. Teraz jeszcze warto wziąć pod uwagę wykładniczą w swej naturze charakterystykę prądowo-napięciową omawianego elementu (*I-V*) aby zauważyć, że już nieduża wartość napięcia prowadzi do sporej wartości wspomnianego wcześniej prądu, co z kolei przekłada się większe świecenie diody. Taśma LED to wiele takich diod, których rezystancja dynamiczna w stanie przewodzenia jest mała, dlatego tak dużo energii potrzebują.

źródło fotografii: https://bit.ly/3hfUHvr

Nigdy nie wchodź do stacji transformatorowej!

Grozi to śmiercią, o czym przekonał się (niestety w sposób tragiczny) szesnastolatek z miejscowości Chojny pod Kołem w województwie wielkopolskim, który doznał niemal natychmiastowego porażenia napięciem o wartości 15 tysięcy woltów. Do zdarzenia doszło w sobotę 29 maja tuż przy lokalnej farmie wiatrowej w obrębie siłowni przyłączeniowej. O wypadku zawiadomił kolega zmarłego nastolatka, który odmówił wejścia do tytułowej stacji. Zgodnie z relacją młodszej ogniomistrzyni Katarzyny Wojciechowskiej przed wydobyciem ciała chłopca strażacy musieli zaczekać na przyjazd energetyków. Było to niezbędne, by akcja ratunkowa została przeprowadzona bezpiecznie. W tym celu transformator został wyłączony, a następnie uziemiony. Trwa wyjaśnianie okoliczności zdarzenia i tego dlaczego młodzieniec zdecydował się na tak nierozważny krok. Śledztwo prowadzi miejscowa prokuratura. Podobne zdarzenie miało miejsce 8 maja (także sobota) w Kamiennej Górze przy ul. Fornalskiej. Wtedy jeden z trzech dwunastolatków wspiął się na słup średniego napięcia i dotknął przewodów elektrycznych, doznając rozległego poparzenia ciała trzeciego oraz czwartego stopnia. Pamiętajcie - prąd (napięcie) jest realnym niebezpieczeństwem dla zdrowia i życia człowieka, nie warto się o tym samemu przekonywać.

źródło: https://bit.ly/3w9nJRp



Dlaczego synchronizacja sygnałem radiowym DCF77 trwa tak długo?

Ponieważ korzysta z bardzo niskiej szybkości nadawania danych. Wynosi ona tylko jeden bit na sekundę, podczas gdy potrzebne do synchronizacji dane są zawarte na sześćdziesięciu. Tym samym potrzeba 1...2 minut na ich odczytanie (zależnie od tego, na który z bitów natrafimy na początku). Jednak to ma miejsce tylko w przypadku idealnym, kiedy tytułowy sygnał nie jest zniekształcany. W praktyce tak nie jest i zazwyczaj jest on mocno zaszumiony i zniekształcony. Do miejsca odbioru docierają nakładające się na siebie kopie sygnału DCF77 uniemożliwiające prawidłowe rozpoznanie bitów, dlatego należy je ponownie sprawdzić, co jest możliwe dopiero najwcześniej po minucie. Często nie wystarczy w tym względzie jeden raz - zwykle wymaganych jest kilka cykli. Wtedy czas synchronizacji ulega znacznemu wydłużeniu i zajmuje przynajmniej kilka minut, by nie powiedzieć kilkanaście.

W tej sytuacji wyjścia są dwa: albo przerwać synchronizację po pewnym czasie i ponowić ją za jakiś czas, albo spróbować skorygować

eprasa.pl b4234fed20

błędne bity, co jednak nie musi się udać, jako że nadawane dane nie są objęte jakimikolwiek mechanizmem korygującym. W rezultacie nie pozostaje nic innego jak cierpliwie zaczekać, aż uda się „złapać” synchronizację. Nie ma potrzeby wyrzucania w tym względzie tanich stacji pogodowych obsługujących sygnał DCF77 – te bowiem i bez niego dostarczają wielu użytecznych informacji.

Na koniec rysunek pokazujacy zasięg wspomnianego sygnału – polecamy się z nim zapoznać, szczególnie wyjeżdżając poza Polskę.

źródło rysunku: https://bit.ly/367UX9m

Tam gdzie radio DAB zawodzi, tam do akcji wchodzi... radio FM!

Sposobem na zaniki transmisji zgodnych z DAB, jest przejście na transmisję analogową z zastosowaniem ciągłej modulacji częstotliwości tzn. drugiego standardu z tytułu, zwanego łączem FM (*FM Link*). Jest ono szczególnym przypadkiem tzw. modulacji adaptacyjnej, w której lepszy rodzaj modulacji (w sensie szybkości przesyłania danych) zastępuję się gorszym, lepiej sprawdzającym się w warunkach pogorszonej propagacji. Warto to uaktywnić w swoim odbiorniku, o ile to możliwe.

źródło fotografii: https://bit.ly/2UkSpBR

REKLAMA

Ogłoszenia i reklamy hurtowni, sklepów, importerów, producentów, dealerów, itp. są płatne. Cena podstawowego modułu (35×20 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%.

KRAMIK i RYNEK

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 Krzykawski**, **tel. 22 257 84 60**, e-mail: **grzegorz.krzykawski@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 2021 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

RACK i Eurocarta 19” Wyposażenie szaf 19”
www.obudowa.pl
Producent obudów dla elektroniki tel. 032-230-2301

www.ep.com.pl

NINIEJSZE OGŁOSZENIA SĄ INFORMACJĄ HANDLOWĄ I NIE STANOWIĄ OFERTY W MYŚL ART. 66, § 1 KODEKSU CYWILNEGO. EWENTUALNIE PODANE CENY MOGĄ ULEC ZMIANIE.

eprasa.pl b4234fed20

Systemy dla Internetu Rzeczy (50)

Prognozy rozwoju

Wszystkie poprzednie odcinki kursu znajdują się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

W tym wydaniu „Elektroniki Praktycznej" prezentujemy 50. cześć cyklu artykułów o IoT, a więc „złote gody". To dobry moment, aby spojrzeć na branżę z nieco innej perspektywy oraz spróbować wywnioskować, czym może nas zaskoczyć w najbliższej przyszłości. Najpierw warto posłuchać samych inżynierów pracujących z IoT. Rezultaty wiarygodnych ankiet prowadzonych przez niezależne organizacje pokazują bardzo ciekawy obraz dotyczący nie tylko zagadnień technicznych, ale też stylu pracy. Pandemia COVID-19 wpłynęła na wiele branż i zmieniła wiele aspektów życia społecznego. Istnieje realna możliwość, że nowe technologie w niedługim czasie przyczynią się do podobnego przełomu. Przyszłość właśnie się rozpoczęła.

Badania „Mind of the Engineer" przeprowadzane są co dwa lata przez siostrzane periodyki EE Times i EDN. W ankiecie z roku 2020 wzięło udział prawie 1500 inżynierów z wielu dziedzin inżynierii, rynków i regionów. Ankieta ujawnia nowe informacje na temat satysfakcji z pracy, zawodu i nowych technologii, które zostały wdrożone.

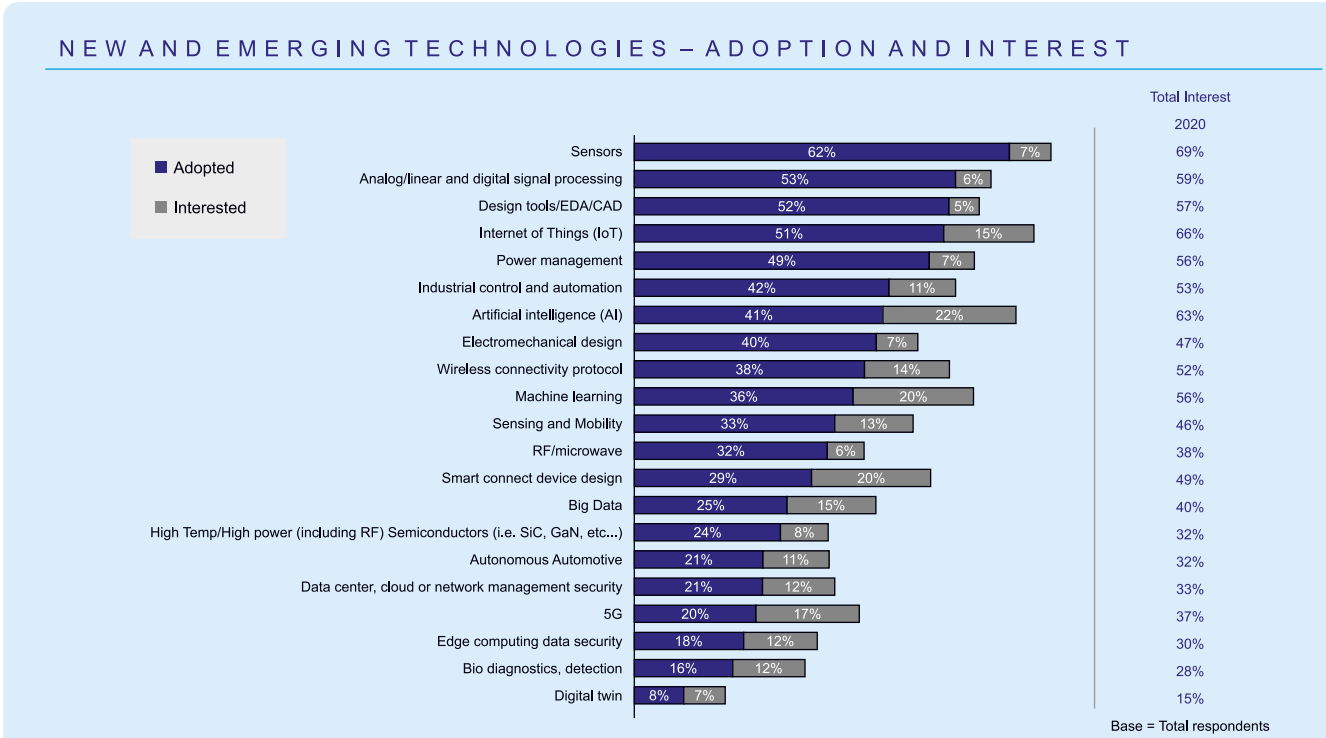
Na **rysunku 1** zawarte są wyniki odpowiedzi na pytanie „Które nowe technologie już zastosowałeś i jesteś zainteresowany ich przyjęciem w ciągu najbliższych dwóch lat?" [1]. Wśród nowych i powstających technologii pierwsze miejsce zajmują czujniki, a następnie analogowe i cyfrowe przetwarzanie sygnałów oraz zarządzanie energią. Te dyscypliny stanowią główne elementy składowe Internetu Rzeczy. Szybką przemianę przechodzą narzędzia projektowe, takie jak płytki referencyjne (i uruchomieniowe) oraz pakiety do tworzenia oprogramowania (SDK). Sztuczna inteligencja jest najbardziej interesującą technologia do przyjęcia w ciągu najbliższych dwóch lat. Aż 80% ankietowanych stwierdziło, że są zachęcani przez ich firmy do kreatywnego myślenia (nieszablonowego), z czego 34% określiło poziom tych działań jako „zdecydowany", a 46% jako „nieco". Nowością jest to, że utworzenie czegoś zupełnie nowego jest najwyższym priorytetem na całym świecie, a szczególnie wśród inżynierów w krajach EMEA.

Większość inżynierów przyznaje, że czuje się komfortowo w pracy zespołowej, choć doceniliby większy kontakt z rówieśnikami spoza własnej firmy. Ten impuls mógł być kiedyś zaspokojony poprzez obecność na targach i konferencjach, ale pandemia COVID-19 całkowicie to zamknęła. Utrudniło to również kontakt z rówieśnikami w firmach.

Wielodyscyplinarna integracja i mieszanie kompetencji w całym łańcuchu projektu nieuchronnie prowadzi do rosnącego zapotrzebowania na wiedzę specjalistyczną w wielu dziedzinach technologii. W tym przypadku dołączanie nowych inżynierów do bardziej doświadczonych zespołów inżynierów jest powszechnym podejściem szkoleniowym. Wybór numer jeden przy wyszukiwaniu informacji to wyszukiwanie za pomocą Google. Inne opcje obejmują bezpośrednie przejście do witryn internetowych producentów lub witryny internetowej dystrybutora produktów elektronicznych, udział w seminarium internetowym, sprawdzenie witryny internetowej z mediami branżowymi oraz telefonowanie lub wysyłanie e-maili do pracownika producenta lub dystrybutora. Kolejność preferencji zmienia się, czasami znacząco, w zależności od tego, co robi inżynier. Serwis internetowy YouTube stał się repozytorium ogromnej liczby samouczków o prawie wszystkim. Nowi inżynierowie znacznie częściej polegają na tych materiałach. LinkedIn, jako forum do profesjonalnego gromadzenia informacji, wyraźnie przoduje w stosunku do innych platform i mediów społecznościowych (Facebook, Twitter, Wechat itp.).

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

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 1. Wyniki badania „Mind of the Engineer" 2020 [1]

Co mówią inżynierowie?

Informacje z ostatniego raportu Farnell IoT Trends Report 2020 pokazują aktualny obraz problemów Internetu Rzeczy [5]. Raport powstał na podstawie ankiet uzyskanych w roku 2019 od 2015 inżynierów IoT. Na pytanie „Co według Ciebie jest najważniejszym aspektem do rozważenia przy opracowywaniu rozwiązań IoT?", aż 47% osób uważa bezpieczeństwo i ochronę danych. Najczęściej używane języki programowania urządzeń IoT to: C – 70%, Python – 47% oraz Javascript – 22%. Jednak przy programowaniu z rozwiązaniami z użyciem chmury obliczeniowej jest inaczej: Python – 52%, Javascript – 42% oraz Node – 24%. Okazuje się, że jest ścisła zależność pomiędzy rodzajem użytej platformy sprzętowej i zastosowanym językiem programowania. Moc obliczeniowa dostępna w mikrokontrolerach wzrosła do tego stopnia, że zredukowana wersja jądra Pythona może być uruchomiona na mikrokontrolerze, który kosztuje tylko kilka dolarów. Istnieją już popularne porty open source dla Pythona, takie jak MicroPython, które są dostępne dla kilkunastu układów.

Z raportu wynika, że komputery jednopłytkowe są nadal preferowanymi platformami do tworzenia produktów końcowych. Wyniki pokazują, że 54% programistów używa komputerów jednopłytkowych (takich jak Raspberry Pi, BeagleBone Black, Arduino itp.), ponieważ są one gotowe do użycia, pomagają przyspieszyć czas wprowadzenia produktu na rynek oraz zminimalizować koszty i ryzyko. Inni wolą używać własnych projektów (30% respondentów) lub platform programistycznych dostarczanych przez dostawców krzemu (13%). Projektowanie urządzeń z zastosowaniem modułów SiP może skrócić czas wprowadzania na rynek. Podstawową zaletą użycia modułu SiP jest brak konieczności certyfikowania systemu przed wprowadzeniem na rynek. Moduły wiodących producentów mają certyfikację praktycznie na cały świat. Zastosowanie modułu SiP ułatwia projektantom użycie najnowszych technologii, bez konieczności zdobywania wiedzy w obszarach, w których projektanci SiP zapewniają dobre rozwiązanie.

Podobnie raport ujmuje preferowane bezprzewodowe protokoły komunikacyjne. Przy dołączeniu do chmury obliczeniowej to: Wi-Fi – 67%, Cellular (4G/LTE) – 38%, Bluetooth (BLE 5.0) – 35% oraz LoRa – 21%. Coraz częściej stosowane są moduły przeznaczone do komunikacji komórkowej LTE. Dostępne są moduły z obsługą standardu NB-IoT oraz LTE-M. Moduły te pozwalają rozszerzyć obszar zastosowań technologii LTE o systemy wymagające niedużej maksymalnej przepustowości, bardzo niskiego poboru mocy, a także niskiej złożoności. Deklarowany jest dziesięcioletni czas pracy z jednej baterii. Czyli bardzo porównywalnie z wynikami dla komunikacji ze standardem Bluetooth 5 i IEEE 802.15.4. Zaletą tego rozwiązania jest gwarancja zasięgu, wadą – opłata abonamentowa.

Na podstawie wyników ankiety 49% już korzysta ze sztucznej inteligencji we wdrażaniu IoT, uczenie maszynowe (ML) jest najczęściej używanym rodzajem sztucznej inteligencji z 28% popularnością, a następnie AI w chmurze (19%). Jednak 51% respondentów waha się przed korzystaniem ze sztucznej inteligencji, ponieważ są nowicjuszami w tej technologii lub poszukują specjalistycznej wiedzy na temat wdrażania sztucznej inteligencji.

Niedawne badanie IoT Adoption Survey 2020 przeprowadzone przez IoT World Today potwierdza ten pogląd, a 57% respondentów twierdzi, że będzie używać sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego do monitorowania wydajności. Jednocześnie zdalne monitorowanie i inne technologie IoT w produkcji napotkały wolniejszy niż oczekiwano rozwój.

Tak jest teraz

Jest wiele obszarów IoT, które odnotowały intensywny rozwój w ostatnim czasie, jednak niektóre nowe rozwiązania mogą decydować o postępie w obrębie całej dziedziny.

Sztuczna inteligencja dla standardowych układów SoC

Firma Nordic Semiconductor nawiązała współpracę z Edge Impulse, wiodącym dostawcą narzędzi określanych jako „małe uczenie maszynowe" (lub TinyML), zaprojektowanych do pracy na urządzeniach półprzewodnikowych o ograniczonych zasobach [3]. Wszystkie układy scalone serii nRF52 i nRF53 będą teraz mogły w standardzie korzystać z łatwej w użyciu sztucznej inteligencji i funkcji uczenia maszynowego. Jest to pierwsze takie rozwiązanie w branży półprzewodników z komunikacją Bluetooth. Usunie ono całą złożoność i wcześniejsze bariery technologiczne związane z dodaniem funkcji AI do aplikacji Bluetooth.

Sztuczna inteligencja i uczenie maszynowe na chipach o ograniczonych zasobach przenosi potencjał zastosowań bezprzewodowych

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

eprasa.pl b4234fed20

technologii IoT, takich jak Bluetooth, na zupełnie nowy poziom pod względem świadomości środowiskowej i autonomicznego podejmowania decyzji. Jednym z przykładów zastosowania są udane projekty śledzenia dzikich zwierząt „ElephantEdge". Celem było zbudowanie urządzenia do śledzenia dzikich zwierząt, które przyczepia się do słonia za pomocą obroży, aby lepiej chronić ten zagrożony gatunek. Słonie są zagrożone wyginięciem już za 10 lat. Tracker powinien pomóc strażnikom parków zmniejszyć straty zwierząt spowodowane nielegalnym kłusownictwem na kość słoniową, polowaniem na trofea, konfliktami międzyludzkimi i degradacją środowiska.

Sztuczna inteligencja dla nowych układów SoC

Świat zmienił się ze skoncentrowanego na kontroli na skoncentrowany na danych, co wymusza ewolucję architektury procesorów [2]. Obecnie większość procesorów ma architekturę von Neumanna (lub jej modyfikację – Harvard) z pojedynczym zestawem: jednostka sterowania, pamięć, jednostka obliczeniowa (oraz I/O). Pojawienie się AI/ML wymusza zmiany w architekturze pamięci [S43].

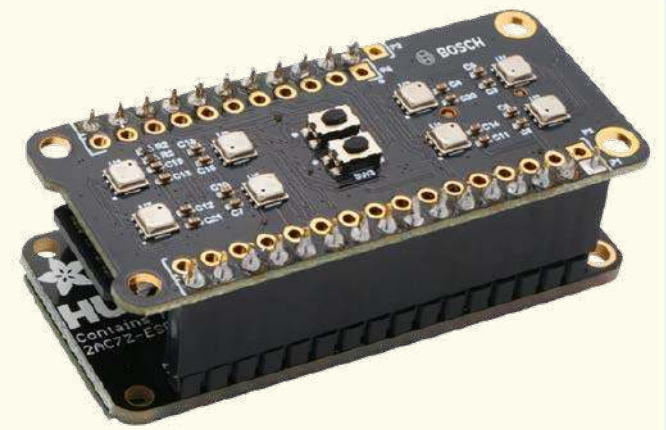
Sercem aplikacji AI jest funkcja mnożenia i akumulacji (MAC) lub operacja iloczynu skalarnego. Dwie liczby są mnożone, a wynik jest dodawany do akumulatora. Liczby są pobierane i zapisywane w pamięci. Operacje te są powtarzane wiele razy i stanowią zdecydowaną większość czasu i energii zużywanej zarówno na proces uczenia, jak i na wnioskowanie. Użycie obliczeń w pamięci, w których współczynniki mogą być przechowywane w pamięci „tuż obok" elementu przetwarzającego, radykalnie zmniejsza odległość przesyłania danych. Taka zmiana w architekturze pamięci wiąże się z dużymi konsekwencjami. Niektóre modele programowania, takie jak pamięć trwała (PMEM), wymagają od użytkownika zrozumienia, gdzie znajdują się dane, zastanowienia się, jak je transferować, oraz zapewnienia, że dane znajdują się w odpowiednim miejscu.

Zapotrzebowanie na pamięć AI różni się od potrzeb procesorów graficznych lub procesorów ogólnego przeznaczenia. W każdym tworzonym systemie zawsze będzie element sterowania. W rezultacie architektura von Neumanna nie odchodzi. Jest to komputer o najbardziej uniwersalnym zastosowaniu i dlatego jest niezastąpiony. W tym samym czasie wiele obciążeń obliczeniowych przenosi się na architektury inne niż von Neumanna. Akceleratory i niestandardowe rdzenie mogą wykonywać znacznie lepszą pracę przy znacznie mniejszym zużyciu energii [S43].

Inteligentne sensory

BME688 firmy Bosch Sensortec jest pierwszym czujnikiem jakości powietrza MEMS, który łączy wykrywanie gazu, wilgotności, temperatury i ciśnienia atmosferycznego z funkcją sztucznej inteligencji (AI) [4]. BME688 umożliwia szkolenie czujnika pod kątem niestandardowych zastosowań wykrywania gazów, do takich aplikacji, jak wykrywanie nieświeżego oddechu, wykrywanie psucia się żywności czy wykrywanie powstawania pożarów lasów. Czujnik BME688 jest w pełni kompatybilny wstecz z istniejącym czujnikiem BME680 [S36], ale charakteryzuje się wyższym zakresem rezystancji gazu oraz zawiera specjalizowany układ scalony (ASIC). Ma również specjalny tryb skanowania gazu dla wykrywania lotnych związków siarki (VSC). Czujnik wykrywa teraz obecność wielu gazów, w tym lotnych związków organicznych (VOC), lotnych związków siarki (VSC) i innych rodzajów gazów, takich jak tlenek węgla i wodór, w zakresie części na miliard (ppb).

Nowe oprogramowanie BME AI-Studio umożliwia importowanie, etykietowanie, a następnie wykorzystywanie danych w określonych środowiskach użytkownika do tworzenia niestandardowych algorytmów. Użytkownik kategoryzuje własne dane, a następnie stosuje je przy opracowywaniu swojego modelu AI w BME AI-Studio, zasadniczo szkoląc BME688 w rozpoznawaniu na przykład



Fotografia 1. Zestaw uruchomieniowy BME688 Development Kit [4]

charakterystycznych oznak wzrostu bakterii na żywności. Po przeszkoleniu czujnika ostateczny kod AI jest uruchamiany na mikrokontrolerze systemowym w produkcie końcowym klienta. Ten kod AI jest ogólnie lekki i będzie działał dość łatwo na zastosowanym mikrokontrolerze, który obsługuje zadania sterowania i zarządzania systemem.

Sensor BME688 został opracowany do zastosowań mobilnych, w których rozmiar i niskie zużycie energii odgrywają kluczową rolę. Czujnik jest umieszczony w kompaktowej obudowie 3,0×3,0×0,9 mm. Pobór prądu można skonfigurować w zakresie od 2,1 μA do 11 mA w zależności od wymaganych szybkości transmisji danych i funkcji. Bosch Sensortec udostępnia wstępnie zaprogramowany i gotowy do użycia zestaw uruchomieniowy BME688 Development Kit (**fotografia 1**). Dzięki 8 czujnikom BME688 na płytce pośredniej/przejściowej (shuttle board) BME688 można testować i zbierać dane z więcej niż jednej konfiguracji w tym samym czasie. To znacznie zwiększa statystyki i skraca czas opracowania. Zestaw pracuje z modułem Adafruit Huzzah32 – ESP32 z wpisanym oprogramowaniem Bosch. W zestawie jest też karta 16 GB microSD zawierająca pliki konfiguracyjne. Można również użyć płytki BME688 Breakout Board zgodnej z Raspberry PI 1B-4B oraz Zero.

Pandemia COVID-19

Firmy technologiczne odgrywają kluczową rolę w walce z pandemią COVID-19. Działania obejmują kilka obszarów.

Układy MEMS do testów genetycznych PCR

Ostatnio bardzo przyspieszyły prace nad wdrażaniem nowych technologii produkcji wielkoskalowej szybkich, tanich, dokładnych czujników do wykrywania wirusa SARS-CoV-2 [S40]. Większość dostępnych obecnie testów wirusowych, jest przeprowadzana przy użyciu technologii RT-PCR (*real-time reverse transcription polymerase chain reaction* – łańcuchowa reakcja polimerazy w czasie rzeczywistym). Jest to test genetyczny, który pozwala na wykrycie RNA wirusa w próbce pobranej od pacjenta. Technologia MEMS dodaje dwie główne zalety do techniki PCR: zmniejszenie rozmiaru i integrację techniki mikroprzepływów (*microfuidic*).

Grzejniki i komory reakcyjne w skali MEMS mają niewielką masę termiczną, co zapewnia znacznie szybszy cykl grzania/chłodzenia i umożliwia osiągnięcie szybkiego wyniku w ciągu kilku minut. Integracja mikroprzepływowa do obsługi próbek i odczynników umożliwiła nowe techniki niemożliwe w skali makro, takie jak cyfrowa PCR (dPCR). Metoda cyfrowej PCR wykorzystuje kanały mikroprzepływowe do podziału próbki pacjenta na wiele pojedynczych próbek, między matrycami mikrodołków lub emulsjami mikrokropelek (ta ostatnia jest znana jako cyfrowa PCR kroplowa lub ddPCR). Mikropróbki następnie poddawane są równoległym procesom PCR, które po agregacji generują całkowitą liczbę cząsteczek docelowych

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

eprasa.pl b4234fed20

w próbce. To równoległe przetwarzanie próbki w mikroskali znacznie poprawia dolną granicę wykrywalności, zwiększając w ten sposób dokładność wyniku testu [15].

Amerykańska Agencja ds. Żywności i Leków (FDA) wydała 21 marca 2020 firmie Cepheid specjalne zezwolenie na sprzedaż nowego testu molekularnego do szybkiego wykrywania wirusa SARS-CoV-2 [15]. Ponadto w dniu 8 maja 2020 r. Cepheid otrzymał na ten test certyfikat europejski CE-IVD. System GeneXpert został zbudowany z myślą o testach laboratoryjnych PCR o jakości referencyjnej – na miejscu w centrach medycznych i szpitalach lub bliżej pacjenta w klinikach zdrowia i domach opieki. Mniejsze systemy GeneXpert są skonfigurowane z dwoma lub czterema modułami – co oznacza, że można jednocześnie uruchomić do czterech różnych testów. Testy nowej generacji Xpert Xpress SARS-CoV-2 pozwalają wykryć wirusa SARS-CoV-2 w ciągu ok. 30 min. Wynik ujemny jest dostępny po 45 minutach. Czas przygotowania próbki z wymazu nie przekracza minuty.

Automatyzowanie nadzoru dystansu społecznego

Dwie technologie, mogą odgrywać kluczową rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa publicznego w życiu codziennym: technologie bezdotykowe oraz technologie bezprzewodowe krótkiego zasięgu, takie jak Bluetooth Low Energy (BLE) i Ultra-wideband (UWB) [S25]. UWB to technologia bezprzewodowa o niskiej mocy, która może przesyłać dane na krótkie odległości i jednocześnie umożliwia wysoką dokładność lokalizacji w pomieszczeniach [S44].

Firma Estimote produkuje urządzenia do noszenia w miejscu pracy, aby pomóc zabezpieczyć pracowników, umożliwiając szybkie śledzenie kontaktów pracowników z objawami COVID-19. Urządzenia noszą wszyscy w określonym miejscu pracy, takim jak szpital, magazyn, zajezdnia, gospodarstwo, fabryka farmaceutyczna lub sklep spożywczy. Dzięki temu urządzenie do noszenia może automatycznie zarejestrować przez Bluetooth wszystkie fizycznie bliskie interakcje ze współpracownikami. Jeśli u jednego pracownika rozwiną się objawy COVID-19, dane te można natychmiast wykorzystać (za pośrednictwem opracowanego przez firmę Estimote pulpitu nawigacyjnego w chmurze) w celu zidentyfikowania pracowników, którzy mogli być narażeni na wirusa, a przede wszystkim określić czas ekspozycji w minutach, a zatem ryzyko zarażenia. Umożliwia to pracodawcom, w ramach środków ostrożności, zapewnienie natychmiastowej izolacji osób o średnim i wysokim ryzyku jednocześnie umożliwiając kontynuowanie pracy osobom o niskim lub zerowym ryzyku.

Badania przesiewowe przed diagnostyką

Podejmowane są próby zidentyfikowania unikalnych wzorców kaszlu związanych z infekcjami COVID-19. Pozwala to na tworzenie mechanizmów przesiewowych przed diagnostyką, które mogą pomóc spowolnić rozprzestrzenianie się wirusa. SensiML, spółka zależna QuickLogic, która opracowuje rozwiązania programowe dla urządzeń IoT o bardzo niskim poborze mocy, pozyskuje próbki kaszlu z placówek opieki zdrowotnej w celu tworzenia dużych zbiorów danych. Następnie zastosuje algorytmy analizy kaszlu oparte na sztucznej inteligencji do tych zbiorów danych, aby zbudować skuteczny mechanizm przesiewowy COVID-19 [17]. Wieloczujnikowy system z obsługą sztucznej inteligencji analizuje próbki kaszlu, aby przewidzieć, czy ludzie wykazują objawy zakażenia COVID-19. Źródło: SensiML.

Domowy test COVID-19

Testy na przeciwciała, zwane również testami serologicznymi, umożliwiają wykrycie czy ktoś miał wirusa w przeszłości, a nie czy jest on obecnie chory. Mierzą, czy układ odpornościowy pacjenta zaczął wytwarzać przeciwciała przeciwko konkretnemu wirusowi, używając krwi ze standardowego pobrania lub małej próbki z ukłucia palca. Przeciwciała we krwi wiążą się z białkiem osadzonym w pasku

Fotografia 2. Domowy test Ellume COVID-19 [16]

testowym, wywołując zmiany kolorów, które pokazują wynik, działając podobnie jak test ciążowy. Na rynek wprowadzono ponad 100 testów przeciwciał na koronawirusa, ale ich dokładność jest różna.

Wykazano, że domowy test COVID-19 firmy Ellume jest bezpiecznym i prostym w użyciu autotestem, który umożliwia osobom sprawdzenie aktywnej infekcji COVID-19 w 15 minut lub krócej (**fotografia 2**). Test antygenu wykazał 96-procentową dokładność w porównaniu z testem molekularnym z pozwoleniem na użycie w sytuacjach awaryjnych (EUA) w niezależnie prowadzonym badaniu klinicznym w USA w pięciu stanach. Firma Ellume otrzymała EUA od Amerykańskiej Agencji ds. Żywności i Leków (FDA) za swój domowy test COVID-19. Test będzie dostępny bez recepty do objawowego i bezobjawowego wykrywania SARS-CoV-2. (SARS-CoV-2 to koronawirus, który powoduje COVID-19). Domowy test Ellume COVID-19 to doskonały przykład tego, jak zaawansowana diagnostyka cyfrowa i łączność IoT mogą pomóc w rozwiązaniu najgorszych skutków pandemii SARS-CoV-2 [16].

Przejęcia

Znaczącym trendem w dziedzinie elektroniki są przejęcia przez dużych producentów nowych firm w celu zwiększenia portfolio o produkty w strategicznych obszarach. Sztuczna inteligencja wymaga układów FPGA. Firma Intel przejęła firmę Altera a teraz AMD ma zakupić firmę Xilinx. Firma Infineon przejmuje firmę Cypress. I hit przejęć – ARM ma być przejęty przez AMD. Lista przejęć jest bardzo długa i może oznaczać zmniejszenie różnorodności oferty rozwiązań układów scalonych.

Sieci bezprzewodowe

Sporo się dzieje w obszarze komunikacji bezprzewodowej. Obejmuje to również obszar inteligentnego domu. Ostatnio projekt CHIP, który wystartował w grudniu 2019 jako inicjatywa firm Amazon, Apple, Google i innych, w celu zunifikowania standardu warstwy aplikacyjnej dla inteligentnego domu, przeobraził się w projekt Matter. Ma on umożliwić współpracę z systemami takimi jak Siri, Google Assistant czy Alexa.

Brakuje powszechnego standardu w pasmie Sub 1 GHz. Pojawiają się nowe propozycje jak MIOTY. Zapowiedziane było rozszerzenie standardu Thread na pasmo Sub 1 GHz.

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

eprasa.pl b4234fed20

Co nas czeka

Technologia 2 nm

W maju tego roku firma IBM ogłosiła nowy przełom, prezentując pierwszy na świecie chip wykorzystujący technologię procesorową 2 nm [12]. Obecnie układy są wytwarzane najczęściej w procesie 14, 7 lub czasem 5 nm. Dla porównania wirus SARS-CoV-2 ma średnicę „aż" 60...140 nm. IBM zastosował technologię nanopłytek. W tym procesie stosy nanoszeregów krzemu zapewniają strukturę tranzystora zamiast tradycyjnej architektury FinFET (**fotografia 3**). Odkrycie architektury nanoskładu było częścią wartej 3 miliardy dolarów, pięcioletniej inicjatywy badawczo-rozwojowej, rozpoczętej w 2014 roku w IBM. Nowy projekt 2 nm ma przynieść 45% wyższą wydajność i 75% mniejsze zużycie energii niż dzisiejsze chipy 7 nm. IBM po raz pierwszy zademonstrował 5 nm w 2017 roku, a wprowadzenie go do produkcji zajęło TSMC na Tajwanie trzy lata. Obecnie pracuje nad technologią 3 nm. Pierwsza produkcja chipów 2 nm mogłaby pojawić się w 2024 r. Masowe użycie może nastąpić około 2025 r.

Firma IBM twierdzi, że nowa technologia 2 nm może „zmieścić 50 miliardów tranzystorów w chipie wielkości paznokcia", czyli 150 milimetrów kwadratowych, co dałoby gęstość tranzystorów 2 nm na poziomie 333 milionów tranzystorów na milimetr kwadratowy. Według tej samej miary, układ TSMC 5 nm ma 171 milionów tranzystorów na milimetr, podczas gdy jego układ 3 nm ma 292 miliony tranzystorów na milimetr kwadratowy. Intel często używa gęstości, aby opisać swoje chipy jako oferujące wyższą gęstość niż konkurenci, nawet przy węzłach 7 nm i 10 nm, częściowo po to, aby obalić argumenty, że opóźnił się we wprowadzaniu nowych technologii. Dane pokazują, że 7 nm Intela ma znacznie większą gęstość niż rozwiązania firm TSMC lub Samsung. Na przykład Intel 7 nm ma szacunkowo 237 milionów tranzystorów na milimetr kwadratowy.

IBM nie produkuje masowo chipów, tak jak robią to TSMC i inne fabryki, ale ogłosił niedawno partnerstwo z Intelem, który tworzy jednostkę biznesową do wykonywania prac kontraktowych w zakresie produkcji chipów. Ponadto Intel inwestuje 20 miliardów dolarów w dwie fabryki w Arizonie i 3,5 miliarda dolarów w nową fabrykę w Nowym Meksyku. Dla porównania, TSMC na Tajwanie planuje zainwestować 100 miliardów dolarów w fabryki chipów w ciągu najbliższych trzech lat, nawet gdy buduje nową fabrykę w Arizonie [13]. Współpraca badawcza firm IBM i Intel będzie koncentrować się na rozwoju logiki i technologii pakowania nowej generacji, co jest wskazówką, o możliwości wspólnej produkcji chipów 2 nm lub wielu innych technologii w nadchodzących latach.

UE podpisuje deklarację o rozwoju procesorów nowej generacji i technologii 2 nm

Chcąc zapewnić Europie miejsce w globalnym ekosystemie projektowania i wytwarzania półprzewodników, 17 państw członkowskich UE podpisało w grudniu 2020 wspólną deklarację, że zobowiązują się do współpracy w opracowywaniu nowej generacji, bezpiecznych procesorów wbudowanych o niskiej mocy i zaawansowanych technologii procesowych do 2 nm [14]. Na tę europejską inicjatywę EU przeznaczy do 145 miliardów euro w ciągu najbliższych 2...3 lat. Uznając fundamentalny charakter procesorów wbudowanych, bezpieczeństwa i najnowocześniejszych technologii półprzewodnikowych we wszystkim, od samochodów, sprzętu medycznego, telefonów komórkowych i sieci po monitorowanie środowiska oraz inteligentne urządzenia i usługi, Komisja Europejska stwierdziła, że jest to powód, dla którego kluczowe branże będą mogły konkurować w skali globalnej i móc projektować i produkować najmocniejsze procesory.

Quantum Computing

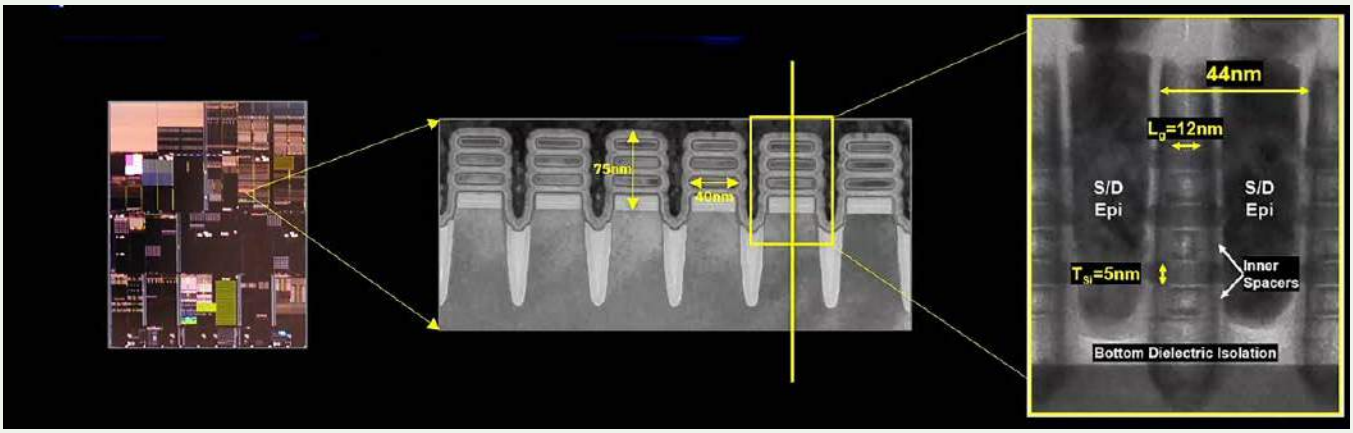
Omówienie głównych tematów mechaniki kwantowej jak i technologii zamieszczone w serii artykułów [6].

Zbudowanie i uruchomienie komputera kwantowego jest niezwykle trudne i złożone [7]. Co więcej, wyzwania nasilają się, przy zwiększaniu liczby kubitów (bitów kwantowych) w systemie. Mimo całej swojej mocy, obliczenia kwantowe nie są po to, aby zabić klasyczne komputery lub wywrócić cały świat do góry nogami. Ponieważ kubity mogą znajdować się w obu stanach, 0 i 1, w przeciwieństwie do konwencjonalnych bitów binarnych, mogą przechowywać wykładniczo więcej informacji. Jednak ich stan jest określany przez prawdopodobieństwo, więc nadaje się tylko do niektórych typów algorytmów. Inne mogą być lepiej obsługiwane przez klasyczne komputery. Zasadniczo, jeśli potrzeba odpowiedzi, to należy uruchomić ten sam program 8000 razy i wtedy otrzymuje się histogram rozwiązań.

Komputery kwantowe mogą zostać sparaliżowane przez błędy w postaci hałasu, usterek i utraty kwantowej spójności spowodowane przez wibracje, wahania temperatury, fale elektromagnetyczne i inne interakcje ze środowiskiem zewnętrznym. Utrzymanie stabilności systemu przy niskim poziomie błędów przez dłuższy czas jest kolejnym celem. Jednym ze sposobów osiągnięcia tego jest kriogeniczne chłodzenie sprzętu do poziomu bliskiego zera absolutnego w celu wyeliminowania szumu termicznego.

Czujniki kwantowe

Obliczenia kwantowe oferują ogromne możliwości obliczeniowe dla urządzeń Internetu Rzeczy [8]. Już pod koniec 2019 roku „ultraprecyzyjny czujnik kwantowy" został dostarczony na Międzynarodową Stację Kosmiczną. Ale trzeba pamiętać, że technologia kwantowa jest nadal w fazie przejściowej. Uświadomienie sobie potencjału technologii kwantowej w urządzeniach IoT może zająć lata lub może nastąpić wcześniej, gdy naukowcy i programiści będą wzajemnie wykorzystywać swoje postępy. Firmy *venture capital* ponad dwukrotnie podwoiły pieniądze zainwestowane w kwantowe firmy komputerowe w 2020 roku w porównaniu z poprzednimi latami, a rząd



Fotografia 3. Technologia 2 nm firmy IBM [12]

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

eprasa.pl b4234fed20

USA przeznaczył 625 milionów dolarów na wieloletnią inicjatywę. Wysiłek opłaci się wykładniczym wzrostem wydajności obliczeń, a „to samo stanie się z czujnikami kwantowymi – będą one od 100 do 1000 razy dokładniejsze niż cyfrowe". Możliwe zastosowania obejmują kwantowy system pozycjonowania dla samochodów lub samolotów, który zapewnia niezależne funkcje nawigacyjne bez konieczności stosowania systemów globalnego pozycjonowania satelitarnego (GPS).

Teleportacja kwantowa

Można śmiało powiedzieć, że komputery kwantowe oznaczają koniec konwencjonalnej kryptografii. Oczywiście ma to wpływ na technologie takie, jak blockchain, które mają wspierać systemy finansowe przyszłości. Gdy komputery kwantowe zostaną w pełni rozwinięte, komputer wykorzystujący algorytm Shora, kwantowy algorytm wielomianu w czasie do rozkładania na czynniki całkowite, będzie w stanie złamać 2048-bitową implementację RSA w zaledwie kilka dni.

Z powodu splątania, informacje w kubicie w jednym punkcie sieci mogą być udostępniane – lub teleportowane – w sposób bezcielesny do innego punktu w sieci. Narodowe laboratorium Fermilab w 2020 roku zademonstrowało teleportację kubitów przez 44-kilometrową sieć światłowodową. Jednym z wartościowych zastosowań teleportacji kwantowej jest dystrybucja kluczy szyfrujących. Nazywa się to dystrybucją klucza kwantowego. Obecne metody dystrybucji kluczy kwantowych są ograniczone odległością. W styczniu 2021 roku chińscy naukowcy donieśli, że stworzyli „pierwszą zintegrowaną kwantową sieć komunikacyjną", która łączy światłowody na Ziemi z dwoma łączami Ziemia-satelita, aby uzyskać kwantową dystrybucję klucza na łączną odległość 4600 kilometrów.

Algorytmy kryptografii postkwantowej są bardziej złożone niż nasze obecne algorytmy [9]. Jednym z głównych wyzwań jest rozmiar samych kluczy. Obecne algorytmy szyfrowania i podpisu mają klucze o długości kilkuset lub tysięcy bitów. Niektóre z proponowanych algorytmów postkwantowych mają rozmiary kluczy od kilkudziesięciu kilobajtów do czasami megabajta. Oznacza to, że musimy być w stanie efektywnie przechowywać te klucze. Gdy klucze publiczne są używane w certyfikatach infrastruktury klucza publicznego (PKI) i muszą być przekazywane lub przechowywane lokalnie na urządzeniu końcowym, będzie to również kosztować większą przepustowością i pamięcią.

Kolejne duże wyzwanie pojawi się w IoT, gdzie urządzenia końcowe mają już ograniczoną moc zasilania i obliczeniową. Ponieważ

Fotografia 4. Komputer kwantowy IBM Q System One [10]

Wybrane pozostałe artykuły kursu Systemy dla Internetu Rzeczy

[S25] Dokładna lokalizacja w pomieszczeniach w standardzie Bluetooth v5.1, EP 4/2019
[S36] Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad, EP 4/2020
[S40] IoT w czasach pandemii COVID-19, EP 8/2020
[S43] Układy przyspieszania działania aplikacji Sztucznej Inteligencji bardzo małej mocy, EP 12/2020
[S44] Technika UWB – bardzo szerokiego widma emisji radiowej, EP 1/2021

Bibliografia

[1] Mind of the engineer: Sensors top new technologies adopted, Gina Roos, August 7, 2020, Electronic Products, https://bit.ly/3xDsqUM
[2] Von Neumann Is Struggling, January 18th, 2021, Brian Bailey, https://bit.ly/3gQGIul
[3] Nordic Semiconductor makes AI and machine learning easily accessible on resource-constrained wireless IoT chips for the very first time, 19 Jan 2021, Oslo, Norway, Nordic Semiconductor, https://bit.ly/35K1hUm
[4] BME688, Environmental sensing with Artificial Intelligence, Bosch Sensortec, https://bit.ly/3qf05lh
[5] IoT Trends Report 2020, Farnell Global IoT Survey, September--December 2019, Farnell, https://bit.ly/379YkOQ
[6] Quantum Thoughts, April 17, 2021 Maurizio Di Paolo Emilio, https://bit.ly/2SSup8Y
[7] Quantum Computing in the Cloud-Can It Live Up to the Hype?, Nov 16th, 2020, Sebastian Richter, https://bit.ly/3j1TMzG
[8] Quantum Computing Hits Growing Pains, Peter Bartolik, Apr 23, 2021, https://bit.ly/3vHc1NP
[9] What is Post-Quantum Cryptography? Nov 5th, 2020, Helena Handschuh, https://bit.ly/3qlc2Wr
[10] Quantum Computing, IBM, https://ibm.co/3d1aJ9O
[11] Statistics and Research Coronavirus Pandemic (COVID-19), Our World In Data, https://bit.ly/3zKtqs6
[12] IBM Unveils World's First 2 Nanometer Chip Technology, Opening a New Frontier for Semiconductors, May 6, 2021, IBM, https://ibm.co/2SRW0qR
[13] IBM marks another creative milestone with 2 nm chip, Matt Hamblen, May 6, 2021, Fierce Electronics, https://bit.ly/3gLtb8D
[14] EU Signs €145bn Declaration to Develop Next Gen Processors and 2nm Technology, December 9, 2020, Nitin Dahad, https://bit.ly/2UhsCuo
[15] MEMS in the Fight Against Covid-19, Alissa M. Fitzgerald, Farzad Khademolhosseini, May 20, 2020, EETimes, https://bit.ly/39j48ob
[16] Ellume selects Nordic's Bluetooth solution for high volume, FDA-authorized COVID-19 Home Test, 21 Dec 2020, Nordic Semiconductor, https://bit.ly/3vLJ2bD
[17] 4 design venues to watch in the fight against the COVID-19 pandemic, August 12, 2020, Majeed Ahmad, https://bit.ly/3vNeZ3k
[18] Manufacturing Predictions for the Next Decade, Rob Spiegel, Mar 02, 2021, DesignNews, https://bit.ly/3vH2R3K
[19] Predictions 2021: Technology Diversity Drives IoT Growth, Michele Pelino, OCT 28 2020, Forrester Research, https://bit.ly/3j1Apag

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

eprasa.pl b4234fed20

przetwarzanie brzegowe i IoT stają się coraz bardziej wszechobecne, ważne będzie, aby te urządzenia były chronione przed atakami kwantowymi. Uważa się, że ciężar przetwarzania algorytmów szyfrowania spadnie na sprzęt, ponieważ oprogramowanie może nie mieć takich możliwości i jest z natury mniej bezpieczne.

Procesory IBM Quantum

Zespół IBM Quantum buduje procesory kwantowe – procesory komputerowe, które opierają się na matematyce cząstek elementarnych, obsługując obwody kwantowe, a nie obwody logiczne komputerów cyfrowych [10]. Dane są przedstawiane za pomocą elektronicznych stanów kwantowych sztucznych atomów znanych jako nadprzewodzące kubity transmonowe, które są połączone i manipulowane sekwencjami impulsów mikrofalowych w celu uruchomienia tych obwodów.

Obecnie pracują ponad dwa tuziny stabilnych systemów w chmurze IBM Cloud, na których można eksperymentować, w tym 5-kubitowe procesory IBM Quantum Canary i 27-kubitowe procesory IBM Quantum Falcon (**fotografia 4**). W roku 2020 został udostępniony 65-kubitowy procesor IBM Quantum Hummingbird w sieci IBM Q Network. W roku 2021 zadebiutuje 127-kubitowy procesor IBM Quantum Eagle, który oferuje kilka ulepszeń, aby przekroczyć kamień milowy 100 kubitów. W 2023 roku zadebiutuje 1121-kubitowy procesor IBM Quantum Condor, wykorzystując wnioski wyciągnięte z poprzednich procesorów.

Prognoza na rok 2021

W 2021 r. popyt na nowe aplikacje, technologie i rozwiązania Internetu Rzeczy (IoT) będzie napędzany przez połączoną opiekę zdrowotną, inteligentne biura, zdalne monitorowanie zasobów i usługi lokalizacyjne, a wszystko to w oparciu o rosnącą różnorodność technologii sieciowych [19]. Zapanuje chaos w łączności sieciowej. Liderzy technologii zostaną zalani przez szereg opcji łączności bezprzewodowej. Firma Forrester spodziewa się, że wdrażanie technologii 5G i Wi-Fi spadnie do poziomu z 2020 r., Jeśli chodzi o łączność na duże odległości, satelity o niskiej orbicie okołoziemskiej stanowią teraz dodatkową opcję, z ponad 1021 (do 1500) satelitami Starlink zapewniającymi dziś łączność satelitarną. Oczekujemy, że zainteresowanie satelitami i innymi technologiami sieciowymi o niższej mocy wzrośnie o 20% w nadchodzącym roku.

Prognozy produkcyjne na następną dekadę

COVID-19 napędzał nowe technologie produkcji, ale co będzie przez następne 10 lat? Jeśli chodzi o informatykę, prawdopodobnie będziemy świadkami zwiększonego wykorzystania oprogramowania typu open source. Wydaje się, że platforma dla sztucznej inteligencji i produkcji będzie w dużym stopniu open source [18]. Chociaż łączność w chmurze stała się powszechna w przypadku nowych technologii, natura systemów przemysłowego IoT wymaga szybszej reakcji niż jest to możliwe w przypadku systemów opartych na chmurze. W przyszłości przetwarzanie brzegowe będzie prawdopodobnie bardziej rozpowszechnione w systemach produkcyjnych.

Podsumowanie

Nie dotknęliśmy wielu zagadnień, które mogą być istotne, np. komunikacja z zastosowaniem światła, procesory (rdzenie) DSP, Wi-Fi6, 5G, pozyskiwanie energii z otoczenia lub układy do noszenia i opieki zdrowotnej. Jest pewien problem z raportami o stanie IoT. Uwzględniają one dane sprzed lub z początku pandemii COVID-19. A przez ostatni rok dużo się zmieniło. Z jednej strony spowodowała ona spory wzrost niektórych zastosowań IoT, z drugiej strony pogłębiający się niedobór elementów elektronicznych, szczególnie układów scalonych, zaczyna być znaczącą barierą nie tylko rozwoju, co nawet bieżącej działalności. O przełomowym rozwoju w dziedzinie elektroniki decyduje współpraca. Szkoda, że wśród krajów włączających się do wizji tego rozwoju zabrakło Polski.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

REKLAMA

Zestawy uruchomieniowe FPGA

Zestaw Altera MAX 10 FPGA Evaluation Kit http://bit.ly/3qB5EsV

Kod handlowy: FPGA0014
Producent: Digilent

Oryginalny zestaw Altera MAX 10 – minimalistyczny do projektowania prostych układów/systemów cyfrowych, idealny dla osób początkujących, zwłaszcza tych, którym nauka elektroniki cyfrowej sprawia wiele problemów.

Zestaw zawiera układ FPGA z rodziny Max 10 firmy Intel, którego pojemność wynosi 8 tysięcy programowalnych bloków logicznych. Jest w nim obecny tylko nieskomplikowany przetwornik analogowo-cyfrowy z 8 kanałami oraz złącze Arduino Uno R3 do dołączania modułów typu shield, w tym pod platformę Arduino. Oprócz tego MAX 10 zawiera 2 złącza GPIO 40 pinów i jedno odrębne, których wyprowadzenia są dołączone do układu FPGA. W ten sposób możliwe jest dołączanie innych komponentów i zestawów, w tym bez układów FPGA. Istnieje możliwość pomiaru napięć i prądów zestawu oraz mocy przez niego pobieranej w punktach do których należy przyłożyć końcówki multimetru. W rezultacie użytkownik, poza światem układów programowalnych, zapoznaje się również z diagnostyką dostępnych na rynku płytek PCB.

Zestaw dla opornych.

AVT sklep

http://sklep.avt.pl

AVT SPV Sp. z o.o. 03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Sklep stacjonarny czynny jest od poniedziałku do piątku w godzinach: 8:00–16:00, tel. 22 257 84 66
e-mail: handlowy@avt.pl, tel. 22 257 84 51 (w godzinach: 9:00–15:00)

eprasa.pl b4234fed20

Wszystkie poprzednie odcinki kursu znajdują się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

Eksperymenty z FPGA (20)

Konsola retro

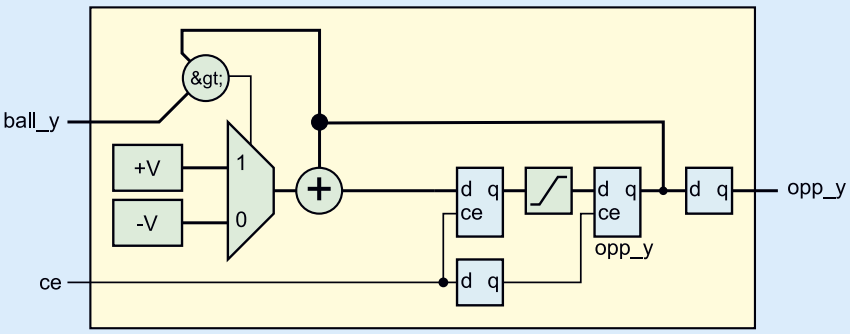
Piłka w grze. Teraz czas na zawodników! Najpierw przygotujemy przeciwnika, a później połączymy wszystkie komponenty dodając logikę PONGa. Płytka „Rysino" zmieni się w retro konsolę.

Przeciwnik

Rysunek 1 pokazuje schemat blokowy przeciwnika. Mamy tu dwa wejścia:

- `ball_y` – aktualna pozycja piłki,
- `game` – stan wysoki oznacza, że trwa rozgrywka, pozwala na resetowanie pozycji.

Oponent, podobnie jak gracz, wykonuje ruch jedynie w osi pionowej. Rejestr `opp_y` przechowuje jego obecne położenie. W każdym kroku symulacji (czyli dla każdej ramki) ma on dwie możliwości: ruch w górę, albo w dół o `V` pikseli. Decyzję o kierunku podejmuje komparator porównujący obecną pozycję z położeniem piłki. Ostatnim krokiem obliczeń jest saturacja. Sprawdzamy tu, czy



Rysunek 1. Schemat blokowy przeciwnika

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

eprasa.pl b4234fed20

Listing 1. Implementacja przeciwnika (16_PONG/opponent.sv)

```
10 module opponent #(
11   parameter V = 480,
12   parameter H = 640,
13   parameter LOG_Y = $clog2(V),
14   parameter HIGH = 100,
15   parameter BALL_HIGH = 20,
16   parameter VELOCITY = 2
17 ) (
18   input wire clk,
19   input wire rst,
20   input wire ce,
21   input wire [LOG_Y-1:0] ball_y,
22   output logic [LOG_Y-1:0] opponent_y
23 );

40   always_ff @(posedge clk)
41     if (!rst) begin
42       opponent_y <= (V-HIGH)/2;
43       oy <= (V-HIGH)/2;
44     end else begin
45       if (ce) begin
46         oy_tmp <= oy + (((by - HIGH/2 + BALL_
HIGH/2) > oy) ? VELOCITY : -VELOCITY);
47       end
48
49       if (ce1) begin
50         if (oy_tmp < Y_MIN)
51           oy <= Y_MIN;
52         else if (oy_tmp > Y_MAX - HIGH)
53           oy <= Y_MAX-HIGH;
54         else
55           oy <= oy_tmp;
56     end
57             opponent_y <= oy;
58         end
```

Listing 2. Generowanie wymuszeń w testbenchu (16_PONG/opponent_tb.sv)

```
39 initial begin
40   ball_y <= 0;
41   #100 ball_y <= V-1;
42   #100 ball_y <= V/2;
43   #100 ball_y <= 2*V/3;
44   #100 $stop;
45 end
```

nowa pozycja mieści się na ekranie. Jeżeli nie, wpisujemy skrajne górne, albo dolne położenie. Na końcu wynik zatrzaskujemy jeszcze w dodatkowym rejestrze.

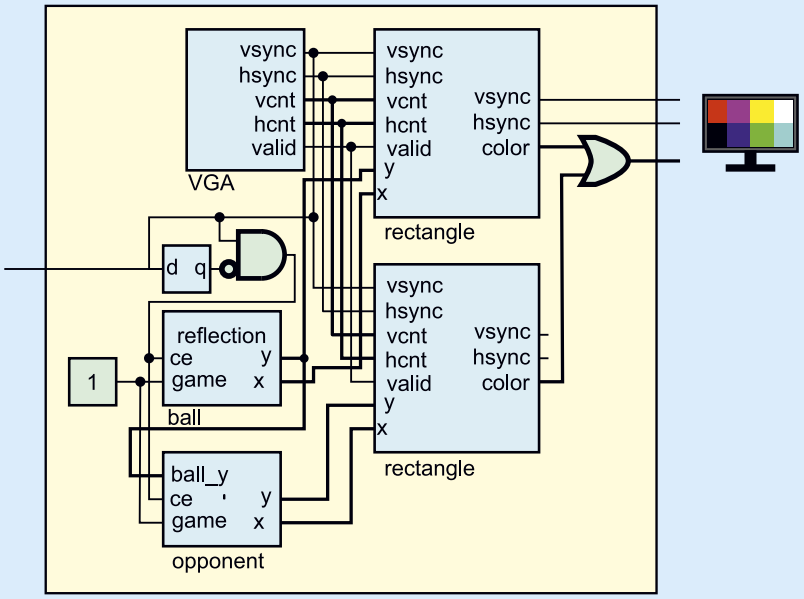
Implementację znajdziemy na **listingu 1**. Na początku (linie 10...17) definiujemy sobie kilka stałych: rozmiar ekranu, wielkość paletki oraz piłki. Na końcu zostaje ilość pikseli, o które może poruszyć się przeciwnik pomiędzy dwoma klatkami obrazu. W dalszej części (linie 18...23) widzimy wejścia i wyjścia. Ich funkcje znamy już z diagramu z rysunku 1.

Najciekawsze rzeczy dzieją się w bloku `always_ff`. Na samym początku obsługujemy reset (linie 41...43). W dalszej kolejności widzimy dwie fazy obliczeń. W liniach 45...47 obliczmy nową pozycję. W zależności od względnej pozycji piłki i paletki dodajemy, albo odejmujemy stałą `VELOCITY`. Druga część, która zostanie wykonana w kolejnym takcie zegara, ma miejsce w liniach 49...56. Sprawdzamy, czy obliczona wartość mieści się w zadanym zakresie. Na samym końcu, w wierszu 57 zapisujemy wyliczona wartość w rejestrze wyjściowym.

Kolejnym krokiem jest przygotowanie symulacji. Tym razem wymuszenia będą bardzo proste. Widzimy je na **listingu 2**. Po prostu zadajemy kolejne położenia piłki i czekamy na reakcje naszego zawodnika. Symulację uruchamiamy w programie ModelSim poleceniem:

```
do ./opponent.do
```

Uzyskany wynik został pokazany na **rysunku 2**. Pierwsze trzy wiersze to zegar, reset oraz sygnał `ce`. Dalej widzimy zadaną pozycję piłki: w wersji tekstowej oraz jako wykres. Następnie widzimy kolejne etapy obliczeń. Wartość `oy_tmp` jest wynikiem przed dodaniem saturacji. Widzimy, że potrafi on mieć wartości ujemne. Dopiero `oy` jest poprawną pozycją, która zostanie zatrzaśnięta na wyjściu.



Rysunek 3. Połączenie piłki z przeciwnikiem

Listing 3. Wyświetlanie dwóch prostokątów równocześnie (16_PONG/opponent_top.sv)

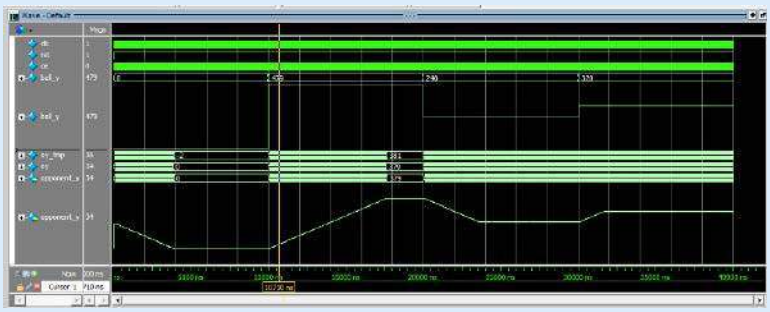
```
110 always_ff @(posedge clk_vga) begin
111   vga.hsync <= b_vga.hsync;
112   vga.vsync <= b_vga.vsync;
113   vga.red <= b_vga.red | o_vga.red;
114   vga.green <= b_vga.green | o_vga.green;
115   vga.blue <= b_vga.blue | o_vga.blue;
116 end
```

W ramach eksperymentu podłączymy teraz nasz nowy moduł razem z piłką. Pozwoli nam to sprawdzić jego działanie na ekranie monitora. W tym celu przygotujemy projekt, którego schemat widzimy na **rysunku 3**. Blok przeciwnika pracuje równolegle z modułem piłki. Korzysta z jej położenia zapisanego w poprzednim kroku (dla poprzedniej ramki). Nowością jest wyświetlanie dwóch prostokątów naraz. One także pracują równolegle, korzystając z tego samego modułu VGA. Następnie wybieramy tylko jeden wyjściowy sygnał synchronizacji. Natomiast na kolorach wykonujemy operację *lub* (*or*). Implementację tego zachowania widzimy na **listingu 3**. Pamiętajmy, że latencja danych oraz sygnałów synchronizacji musi być identyczna!

Aby uruchomić moduł w sprzęcie otwieramy projekt *rectangle.qpf*, zmieniamy moduł top na *opponent_top.sv* i uruchamiamy budowę. Uzyskany efekt możemy zobaczyć w filmie [2].

PONG

Teraz przygotujemy logikę gry. Będziemy tu sprawdzać, czy nie nastąpiło zwycięstwo, albo klęska. Skorzystamy tu z jednego z najpopularniejszych wzorców projektowych w świecie FPGA: **maszyny stanów**. Najpierw zdefiniujemy typ wyliczeniowy reprezentujący stan (**listing 4**):



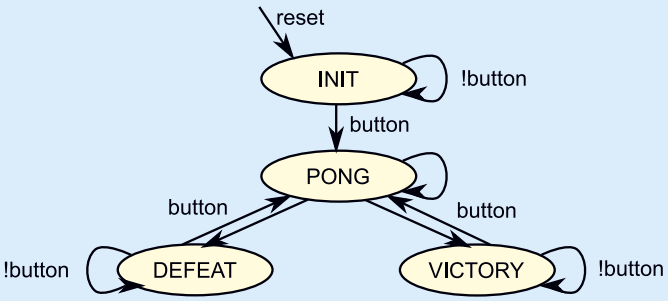
Rysunek 2. Wynik symulacji oponenta

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

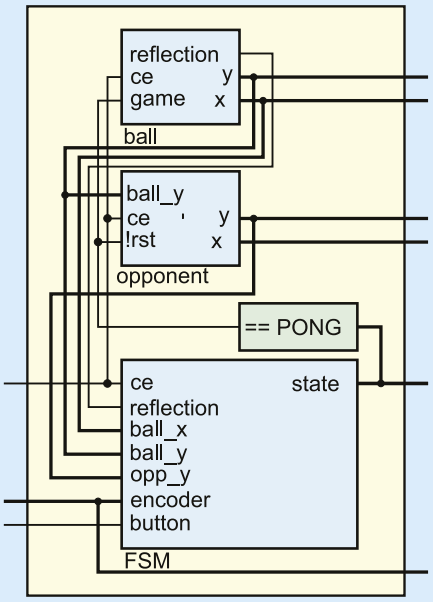
eprasa.pl b4234fed20

Listing 4. Typ wyliczeniowy określający stany FSM(16_PONG/pong_pkg.sv)

```
10 package pongPkg;
11
12   typedef enum logic [1:0] {
13     INIT,
14     PONG,
15     VICTORY,
16     DEFEAT
17   } state_t;
18
19 endpackage : pongPkg
```



Rysunek 4. Maszyna stanów



Rysunek 5. Połączenie maszyny stanów z pozostałymi modułami

Listing 5. Funkcja sprawdzająca, czy piłka odbiła się od paletki (16_PONG/pong.sv)

```
66 function automatic check_ball([V_BIT-1:0]pos);
67
68   logic signed [V_BIT:0]pos_
ball = $signed({1'b0, pos}) - $signed(BALL);
69   logic signed [V_BIT:0]pos_rec = pos + RECTANGLE_V;
70   logic signed [V_BIT:0]ball = ball_y;
71
72   check_ball = (ball < pos_ball || ball > pos_rec);
73 endfunction
```

Listing 6. Maszyna stanów (16_PONG/pong.sv)

```
75 always_ff @(posedge clk)
76   if (!rst)
77     state <= INIT;
78   else if (ce) begin
79     case (state)
80       INIT: state <= button ? PONG : INIT;
81       PONG:
82         if (reflection)
83           if (ball_x < 320)
84             state <= check_ball(encoder) ? DEFEAT : PONG;
85           else
86             state <= check_ball(opp_y) ? VICTORY : PONG;
87       VICTORY: state <= button ? PONG : VICTORY;
88       DEFEAT: state <= button ? PONG : DEFEAT;
89     endcase
90   end
```

- `INIT` – po resecie, wyświetla ekran startowy,
- `PONG` – trwa rozgrywka,
- `VICTORY` – wyświetla ekran zwycięstwa,
- `DEFEAT` – wyświetla ekran klęski.

Przejścia pomiędzy kolejnymi stanami prezentuje **rysunek 4**. Zaczynamy od `INIT`. Czekamy w nim na naciśnięcie przycisku, który spowoduje przejście do stanu `PONG` i rozpoczęcie rozgrywki. Tutaj sprawdzamy, czy piłeczka uderzyła w krawędź ekranu. Jeżeli tak, przechodzimy do któregoś ze stanów: `VICTORY` albo `DEFEAT`. W nich wyświetlamy informację i znów czekamy na naciśnięcie przycisku. Wtedy przejdziemy do stanu `PONG` i rozgrywka zacznie się od nowa.

Implementacje zaczniemy od funkcji, która sprawdza, czy nastąpiło odbicie. Widzimy ją na **listingu 5**. Przyjmuje ona jedną zmienną: pozycję paletki `pos`. Zwróćmy uwagę na słowo kluczowe `automatic` pojawiające się przed nazwą funkcji. Dzięki temu, każde wywołanie będzie traktowane jako osobny byt. Coś jakbyśmy po prostu zrobili kopiuj-wklej zawartego w niej kodu. Wewnątrz naszej funkcji sprawdzamy, czy piłka trafiła w paletkę, czy może jednak wypadła z boiska.

Listing 7. Wymuszenia symulujące grę (16_PONG/pong_tb.sv)

```
44 initial begin
45   button = '0;
46   encoder = '0;
47   repeat(10) @(posedge clk);
48
49   button = '1;
50   while (dut.state != pongPkg::PONG)
51     @(posedge clk);
52   button = '0;
53
54   for (int i=0; i<4000; i++) begin
55     if (dut.ball_y < 30)
56       encoder = 0;
57     else if (dut.ball_y > 429)
58       encoder = 400;
59     else
60       encoder = dut.ball_y-30;
61     @(posedge clk);
62   end
63
64   button = '1;
65   while (dut.state != pongPkg::PONG)
66     @(posedge clk);
67   button = '0;
68
69   repeat(500) @(posedge clk);
70   $stop;
71 end
```

Samą maszynę stanów znajdziemy na **listingu 6**. Jak zwykle zaczynamy od resetu. Następnie w instrukcji `case` wykonujemy akcje dla kolejnych stanów. Dla stanu `PONG` korzystamy z sygnału `reflection` zwracanego przez moduł piłki. Informuje on, że nastąpiło odbicie i należy sprawdzić, czy rozgrywka się nie zakończyła. Sposób połączenia maszyny stanów z pozostałymi modułami pokazuje **rysunek 5**. Wejściami modułu jest informacja o nowej ramce (`ce`) oraz pozycja gracza (`encoder`) oraz stanie przycisku (`button`). Wyjściem są natomiast położenia piłki, przeciwnika i gracza oraz aktualny stan.

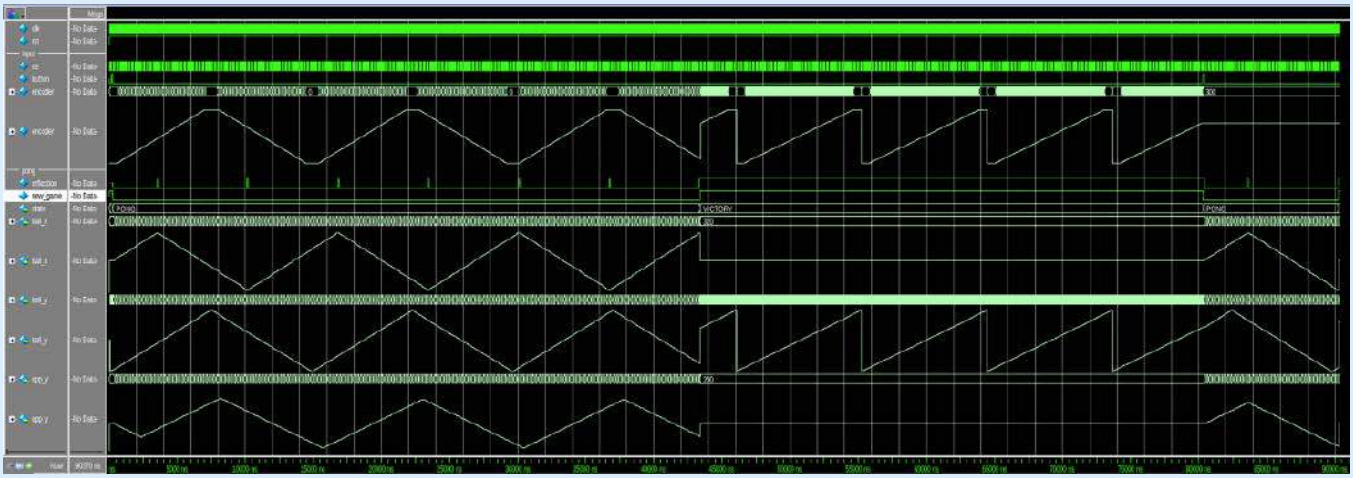
Mamy już gotową logikę gry. Czas aby ją przetestować. Na **listingu 7** widzimy wymuszenia, które spowodują rozegranie dwóch gier. W pierwszej będziemy sterować paletką gracza (wiersze 54...62). W drugiej natomiast zostawimy ją bez ruchu w oczekiwaniu klęski. Symulację uruchamiamy w programie ModelSim poleceniem:

```
do ./pong.do
```

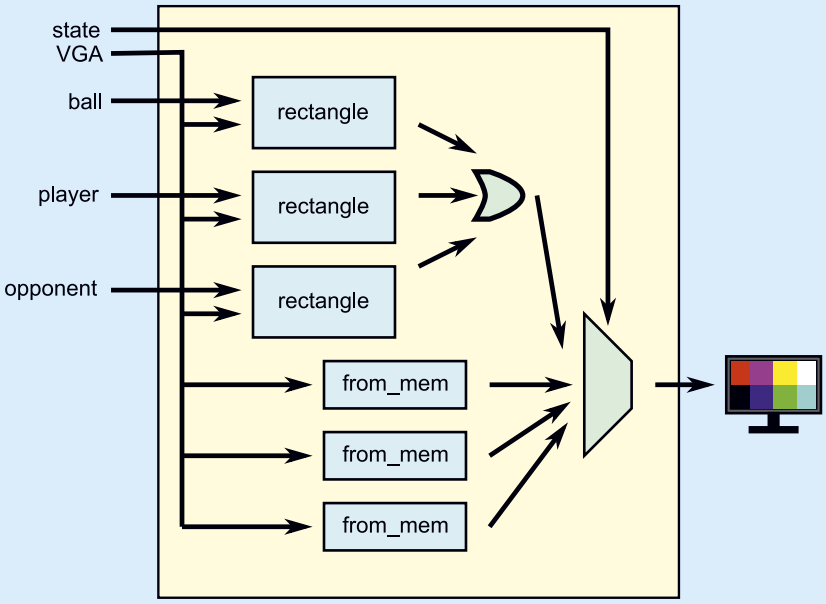
Uzyskany wynik widzimy na **rysunku 6**. Pierwsze dwa wiersze to reset i zegar. Poniżej znajdują się wejścia: `ce`, przycisk oraz pozycja z enkodera. Dalej znajdziemy informację o przebiegu gry. `reflection` to informacja, że nastąpiło odbicie i należy sprawdzić, czy gra nie dobiegła końca. Dalej widzimy `new_game`. Stan niski oznacza, że rozgrywka się toczy. Kolejny sygnał to stan. Dzięki zastosowaniu typu

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

eprasa.pl b4234fed20



Rysunek 6. Wynik symulacji gier



Rysunek 7. Schemat blokowy GUI

Rysunek 8. Ekrany startowe

wyliczeniowego zamiast numeru widzimy odpowiadającą mu nazwę. Na samym końcu znajdziemy po kolei pozycję piłki w dwóch osiach oraz przeciwnika.

Na początku widzimy grę, w której celem zawodnika jest zwycięstwo. Następuje w niej kilka odbić, aż w końcu oponent nie zdąża do piłki. Wtedy stan zmienia się na `VICTORY`. Widzimy, że w tym momencie trwa losowanie startowej pozycji piłki. Nasz gracz ciągle za nią biegnie, ale to nie psuje symulacji. Po naciśnięciu przycisku rozpoczyna się druga rozgrywka. Tym razem gracz w ogóle nie rusza swoją paletką, co doprowadza do szybkiej klęski.

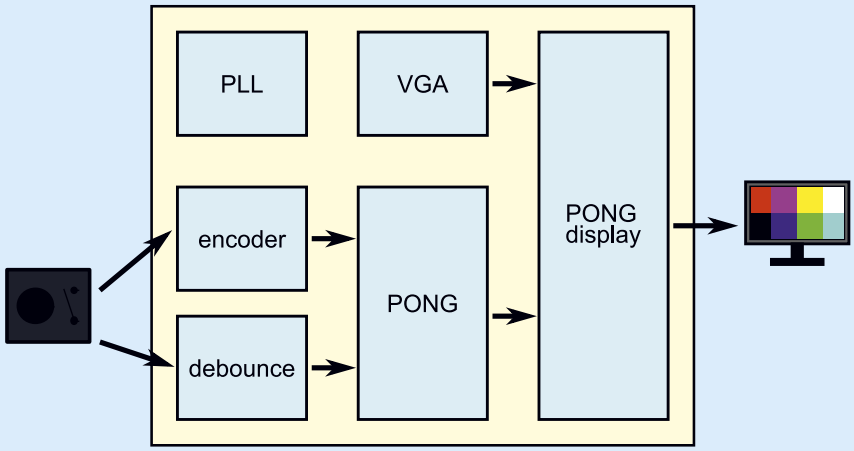
Listing 8. Multiplekser portu VGA (16_PONG/pong_disp.sv)

```
24 always_ff @(posedge clk)
25   case (state)
26     INIT: vga <= vga_i;
27     PONG: vga <= vga_p;
28     VICTORY: vga <= vga_v;
29     DEFEAT: vga <= vga_d;
30   endcase
```

GUI

Przygotowaliśmy już logikę gry. Dzięki temu, że jest oddzielona od generowania obrazu mogliśmy ją łatwo przetestować. Teraz zostało nam jeszcze przygotowanie GUI. Użyjemy przygotowanych wcześniej modułów: wyświetlania prostokąta oraz bitmapy. Uproszczony schemat prezentuje **rysunek 7**. Wejściem są: stan, pozycje paletek i piłki oraz sygnały synchronizujące z modułu VGA. Za generowanie obrazu rozgrywki odpowiadają trzy „prostokąty". Tak jak poprzednio ich wyjścia kolorów są sumowane za pomocą instrukcji lub. Dodatkowo używamy trzech modułów `from_mem`. Wyświetlą one trzy ekrany: startowy oraz informujące o zwycięstwie albo przegranej.

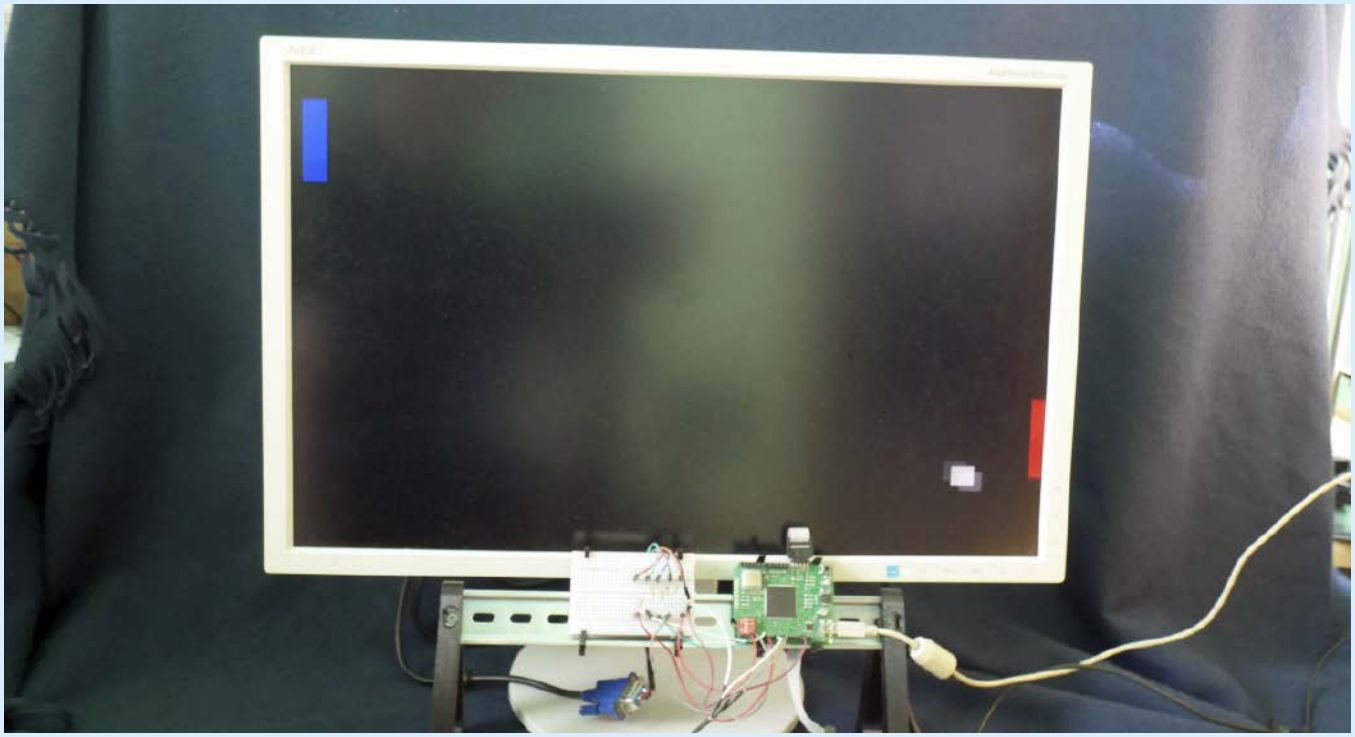
Wyboru aktualnego ekranu dokonuje multiplekser, na podstawie aktualnego stanu. Jego implementacja jest przedstawiona na **listingu 8**. Używamy tu po prostu instrukcji `case`. Warto zwrócić uwagę o ile udało się skrócić ten kod



Rysunek 9. Schemat blokowy gry PONG

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

eprasa.pl b4234fed20



Fotografia 1. Gra PONG w trakcie działania

```
Listing 9. Paleta kolorów (16_PONG/images/colors.txt)

ff0000,0000ff,00ff00,ffff00,ff00ff,00ffff,000000,ffffff
```

dzięki użyciu struktury opisującej port VGA. Grafiki dla ekranów startowych (**rysunek 8**) utworzyłem przy pomocy narzędzia [3]. Jest to działający w przeglądarce edytor piksel artu. Możemy w nim zdefiniować własne palety kolorów. **Listing 9** pokazuje taką, która odpowiada naszej 3-bitowej implementacji. Przy tworzeniu swojej możemy po prostu wkleić podane kody kolorów.

Ostatnim krokiem, który dzieli nas od rozgrywki jest integracja wszystkich modułów. Uproszczony schemat prezentuje **rysunek 9**. Moduły encoder i debounce obsługują sterowanie od użytkownika. Przekazują one parametry do modułu PONG. Równolegle działa moduł VGA. Ostatnia część PONG display odbiera od nich sygnały i generuje odpowiedni obraz. Włączamy program Quartus. Ładujemy projekt *rectangle.qpf*. Jako moduł top wybieramy *pong_top.sv*. Uruchamiamy budowę. Programujemy płytkę i gramy. Uzyskany efekt możemy zobaczyć na **fotografii 1** oraz pod koniec filmu [2].

Podsumowanie

Przygotowaliśmy grę PONG. Teraz czas na rozgrywkę. Ale to nie koniec zabawy z VGA. Już w przyszłym miesiącu przygotujemy terminal znakowy.

Rafał Kozik
rafkozik@gmail.com

[1] Repozytorium http://bit.ly/33uYPxs
[2] Film demonstrujący działanie projektu https://bit.ly/3fZkHsP
[3] Narzędzie do rysunków: https://bit.ly/3x8R3sx

Miesięcznik **„Elektronika Praktyczna”** (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT-Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.

Wydawnictwo:
AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, faks 22 257 84 00

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 60
faks 22 257 84 00
e-mail: redakcja@ep.com.pl
www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Damian Sosnowski

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Grzegorz Becker

Redakcja strony internetowej *www.ep.com.pl*
MAD Sp. z o.o.

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64
Bożena Krzykawska, tel. 22 257 84 42
Grzegorz Krzykawski, tel. 22 257 84 60

Sekretarz Redakcji:
Grzegorz Krzykawski, tel. 22 257 84 60

DTP i okładka:
MAD Sp. z o.o.

Stali Współpracownicy:
Lucjan Bryndza, Nikodem Czechowski, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Henryk Kowalski, Rafał Kozik, Michał Kurzela, Przemysław Musz, Szymon Panecki, Sławomir Skrzyński, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Jakub Tyburski, Robert Wołgajew

Uwaga!
Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

Prenumerata w Wydawnictwie AVT
www.ulubionykiosk.pl
lub tel. 22 257 84 22
e-mail: prenumerata@avt.pl

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. Leszczynowa 11

Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej” mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej” jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”.

eprasa.pl b4234fed20

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 8/2021

Stereofoniczny aktywny regulator głośności

Regulacja poziomu sygnału audio jest tematem raczej banalnym, pod jednym warunkiem – możliwości zakupu dobrej jakości potencjometru. Niestety jakość większości potencjometrów jest niska, natomiast rozwiązania specjalistyczne, oparte na elementach ALPS, ELMA, DACT są niestety wyjątkowo kosztowne. Zaprezentowany układ regulatora VCA wykorzystuje nieco inną zasadę. Do regulacji głośności użyty jest wysokiej jakości układ VCA (wzmacniacz kontrolowany napięciem), popularny w profesjonalnym sprzęcie audio układ THAT2162.

Licznik czasu z czujnikiem odbiciowym

Niektóre procesy muszą przebiegać przez określony czas. Na przykład napełnianie opakowań towarem, który zsypuje się w jednakowym tempie z podajnika. Co określony czas trzeba je wymienić na nowe, puste, aby nie dochodziło do ich przepełnienia. Dodatkowo należy zasygnalizować błąd, który wystąpi jeżeli opakowanie zostanie wyjęte przed upływem zadanego czasu. Prezentowany układ pozwoli realizować takie zadania, a odmierzanie czasu jest wyzwalane przy pomocy bezkontaktowego czujnika odbiciowego.

Ponadto, jak co roku, w sierpniowym wydaniu zaprezentujemy szczególnie dużo niewielkich i nieskomplikowanych, a jednocześnie praktycznych układów i modułów – miniprojektów. Wśród nich:

Czteroportowy mikro HUB USB dla systemów wbudowanych

Gdy nasz SBC ma tylko jeden port USB (np. RPi Zero), a potrzebujemy ich większej ilości, oczywistym jest zastosowanie wieloportowego Huba USB. Ale gdy mamy niewielką ilość miejsca, to zastosowanie klasycznego rozwiązania nie wchodzi w grę. Rozwiązaniem będzie zaprezentowany mikro HUB.

Mikroładowarka/zasilacz bezprzewodowy

Jest to moduł bezprzewodowego zasilacza z układem ładowania akumulatora Li-Po/Li-Ion, z układem LTC4124 firmy Analog Devices. Do transmisji energii używane jest bezpośrednie sprzężenie obwodów magnetycznych cewki nadawczej i odbiorczej pracujących w rezonansie. Integracja ładowarki, zabezpieczeń akumulatora oraz klucza zasilania pozwala na kompleksowe rozwiązanie toru zasilającego urządzenia Iot lub Wearables o niewielkim poborze mocy.

Ekspander wyświetlacza OLED z interfejsem I²C

Graficzne wyświetlacze OLED dzięki niskiej cenie stały się powszechne w konstrukcjach DIY. Dają przyjemny dla oka jasny i ostry obraz... tylko czasem zbyt mały. Jeżeli chcemy większego ekranu warto wrócić do sprawdzonego wyświetlacza 2×16, ale wykonanego technologii OLED. Zaprezentowany moduł umożliwia sterowanie takim wyświetlaczem poprzez magistralę I²C.

a ponadto tematy wiodące EP 8/2021:

- ELEKTRONICZNE ZABEZPIECZENIA BIOMETRYCZNE
- LUTOWANIE ELEMENTÓW BGA

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK 106
ARMEL 106
BORNICO 5
COMPUTER CONTROLS 7
ELMAX 106
FERYSTER 6
GAMMA 6
GLYN 43
MASTERS 15
MICROCHIP 120
NANOTECH 9
PIEKARZ 6
RENEX 6
UNISYSTEM 72, 73

eprasa.pl b4234fed20

Pożegnaj się z przesuwnikami poziomów logicznych

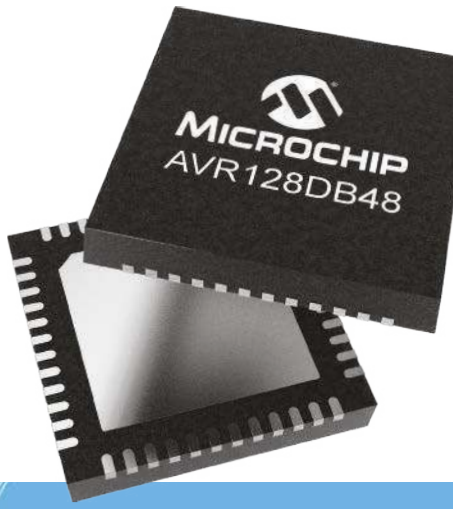
Przywitaj wielopoziomowe linie we-wy w rodzinie MCU AVR® DB

Realizacja projektu systemu embedded obsługującego wiele standardów poziomów logicznych często wymaga dodania zewnętrznego układu przesuwnika w celu zapewnienia kompatybilności. Rodzina mikrokontrolerów AVR DB ma dedykowany port do jednoczesnej pracy z wieloma poziomami napięć, co pozwala im działać w wielu domenach zasilania bez konieczności stosowania zewnętrznych przesuwników. Ten port obsługuje natywnie napięcie od 1,8 V do 5,5 V, co pozwala na zmniejszenie kosztów i zajmowanego miejsca na PCB.

Pożegnaj się z przesuwnikami poziomów i stwórz swój kolejny system embedded z użyciem MCU AVR DB.

Kluczowe funkcje to m.in.:

- Wewnętrzny oscylator 24 MHz
- Do 128 KB Flash i 16 KB SRAM
- Inteligentne analogowe peryferyjne, w tym 12-bitowy przetwornik ADC, DAC i wzmacniacze operacyjne
- Interfejsy komunikacyjne, w tym USART/SP / interfejs dwuprzewodowy (TWI) typu dual-mode
- Dostępne w szerokiej gamie obudów, od 28 do 64 pinów



MICROCHIP

microchip.com/AVRDB

Nazwa i logo Microchip, logo Microchip i AVR są zastrzeżonymi znakami towarowymi firmy Microchip Technology w USA i innych krajach. Wszystkie inne znaki towarowe są własnością ich zarejestrowanych właścicieli. © 2021 Microchip Technology Inc. Wszelkie prawa zastrzeżone. DS30010238A. MEC2368A-POL-06-21

eprasa.pl b4234fed20