Wersja elektroniczna wydania dostępna na ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● Lipiec ● 7/2022 ●

Tylko Prenumeratorzy

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



ELEKTRONIKA W PRZESTRZENI KOSMICZNEJ

TEMAT NUMERU

inspirujące, użyteczne projekty

Kamera z ruchomym ramieniem • Bezprzewodowy wyłącznik wi-link • Ogromny zegar LCD bez procesora • Ekspander wyświetlacza LCD 2×16 z I²C i podświetleniem RGB • Interfejs aparatury kontrolnej i sygnalizacyjnej standardu M22 do Raspberry Pi • Konwerter napięcia z ujemnego na dodatnie • Sterownik mikrosilników prądu stałego do RPi Pico • Moduł przekaźników półprzewodnikowych do RPi Zero i nie tylko • Półprzewodnikowy sygnalizator obecności napięcia sieciowego • Miniaturowa konsola do gier z RPi Pico • Laserowo kierowany detektor psich... spraw • Dwukołowy robot balansujący sterowany przez Arduino

podzespoły, sprzęt, aplikacje

Nowoczesne źródła napędu dla konstrukcji robotycznych i nie tylko • Dobór komponentów do interfejsów dotykowych • Elektronika w przestrzeni kosmicznej – nowe podejście do branży Space • Kluczowe zagadnienia techniki kosmicznej

tutoriale

Jak podejmować decyzje projektowe w aplikacjach sterowania bezszczotkowymi silnikami stałoprądowymi • Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE. Front-endy do pomiarów ultradźwiękowych • Multipleksowanie wielu wyświetlaczy LED • Mikrokontrolery z rozbudowanymi funkcjami analogowymi. Optymalizacja projektu na praktycznym przykładzie

kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy. Przetwornice podwyższająco-obniżające dla IoT

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

ISSN 1230-3526 Indeks 357677

9 771230 352221 07

NAPĘDY ELEKTRYCZNE Z SILNIKAMI BLDC

eprasa.pl d8e2d0846e



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

* 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.

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 d8e2d0846e

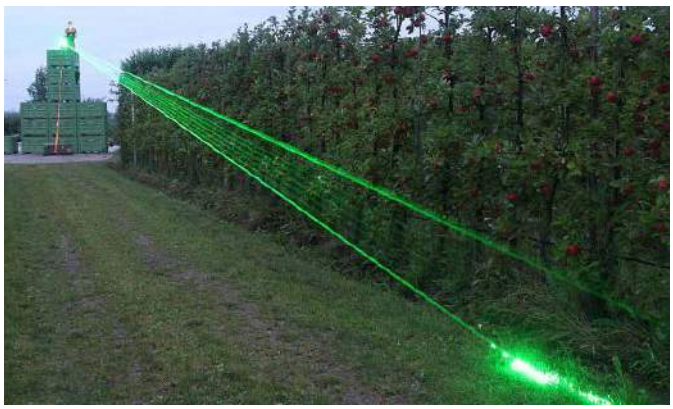
Cała nadzieja w robotach

Przestrzeń kosmiczna przestała być postrzegana jako niedostępne miejsce, zarezerwowane wyłącznie dla agencji kosmicznych. Obecnie stała się miejscem dla nowoczesnych technologii i nowym, niezwykle wysoko szacowanym rynkiem. Jednak kosmos jest niezwykle trudnym środowiskiem pracy. Wahania temperatury osiągają wartości niespotykane na ziemi, promieniowanie kosmiczne oddziałuje na elementy elektroniczne i zakłóca ich działanie, a w perspektywie czasu wręcz powoduje ich degradację i pogarszanie parametrów… W tym wydaniu EP dokładnie omówiliśmy zagadnienia i problemy, z którymi muszą zmierzyć się konstruktorzy urządzeń przeznaczonych do pracy w kosmosie. Co ważne, pomimo wysokiej bariery wejścia do branży kosmicznej, nasi młodzi konstruktorzy oraz polskie firmy, mają swoje osiągnięcia i sukcesy w tej dziedzinie.



Fotografia 1. Robot FarmDroid FD20, który może działać zasilany w 100% z energii słonecznej

Zejdźmy jednak na ziemię, ponieważ mamy tu równie dużo do zrobienia co w kosmosie. Uprawa roślin jest głównym źródłem produkcji żywności na całym świecie. Na przestrzeni dziejów wymagania dotyczące zwiększenia ilości upraw były zaspokajane przede wszystkim przez zwiększanie ilości pracowników albo przez opracowywanie bardziej wydajnych narzędzi umożliwiających zwiększenie produkcji żywności. Niestety te zasady przestały funkcjonować we współczesnym przemyśle rolniczym, który zmaga się ze znacznym niedoborem siły roboczej, a nowe rozwiązania technologiczne już nie powodują tak znacznego wzrostu wydajności. Ponadto dzisiejsi rolnicy walczą również ze skutkami zmian klimatycznych oraz nasilającymi się plagami i chorobami niszczącymi rośliny, a jednocześnie muszą zadbać o to, aby uprawy były ekologiczne i wolne od zanieczyszczeń chemicznych.



Fotografia 2. Ruchoma wiązka zielonego światła lasera odstrasza ptaki

W ciągu ostatnich lat powstało wiele startupów technologicznych ukierunkowanych na poprawę obecnych warunków branży rolniczej. Część skoncentrowała się na opracowaniu szerokiej gamy czujników, które pozwalają na zdalne monitorowanie stanu roślin, parametrów gleby itd. Inne firmy skupiły się na produkcji różnych urządzeń robotycznych, które mogą zastąpić pracowników w wielu tradycyjnych czynnościach. Powszechną konstrukcją jest pojazd kołowy, a przykładem takiej maszyny może być FarmDroid FD20 [1]. Jest wyposażony w dokładny system nawigacji, dzięki czemu zaznacza położenie upraw podczas siewu, a w późniejszym czasie wykonuje mechaniczną, precyzyjną kontrolę chwastów na tym obszarze. Do tego FarmDroid FD20 może działać zasilany w 100% z energii słonecznej. Inna maszyna tego typu, skonstruowana przez firmę Carbon Robotics [2], jest wyposażona w kamerę wysokiej rozdzielczości oraz zaawansowany system rozpoznawania obrazu, który odróżnia rośliny uprawiane od chwastów. Te niepożądane wypala laserem. To zaskakujące rozwiązanie jest w pełni automatyczne, ekologiczne (nie stosuje się żadnych środków chemicznych) i niesamowicie wydajne – usuwa ok. 100 tys. chwastów na godzinę. Lasery mają jeszcze jedno ciekawe zastosowanie w rolnictwie – ruchoma wiązka zielonego światła lasera odstrasza ptaki [3]. Natomiast inną metodą usuwania chwastów może być ich wypalanie za pomocą wysokiego napięcia [4].

Różnorodność zadań wykonywanych w rolnictwie jest ogromnym wyzwaniem dla konstruktorów i wymaga nieszablonowych rozwiązań oraz współdziałania wielu technologii. Jednak to właśnie roboty rolnicze mogą być rozwiązaniem problemów niedoboru siły roboczej i zwiększania plonów, a to jest niezbędne do zapewnienia zrównoważonej produkcji żywności dla konsumentów na całym świecie.

[1] https://bit.ly/3R17wJE
[2] https://bit.ly/3Ray9fq
[3] https://bit.ly/3AoJt1m
[4] https://bit.ly/3P2BiMw

Damian Sosnowski

eprasa.pl d8e2d0846e

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 7 (354) • Lipiec 2022



Miniaturowa konsola do gier z RPi Pico
Kieszonkowe konsole do gier mogą być szalenie wciągającymi zabawkami. Bardzo popularne stały się urządzenia emulujące starsze konstrukcje, ale powstają, także zupełnie nowe systemy. Większość bazuje na dobrze znanych platformach takich, jak Arduino czy Raspberry Pi, jednak każdy projekt tego typu daje zupełnie inne efekty. W artykule prezentujemy kieszonkową konsolę, która zaskoczy niecodziennym wykonaniem i zapewni wiele godzin dobrej zabawy.



Dwukołowy robot balansujący sterowany przez Arduino
Utrzymywanie równowagi nie jest takie proste. Pewne przysłowie mówi, że „koń ma cztery nogi i też się potknie", a co w przypadku robota, który ma tylko dwa koła i to ustawione w jednej osi? Zaprezentowany projekt jest przykładem tego, że trudny problem można rozwiązać w ciekawy sposób. W tym przypadku postawa robota jest kontrolowana przy użyciu czujnika ultradźwiękowego.

Nie przeocz

Nowe podzespoły 5
Dodaj do obserwowanych 10
Konkurs 17
Koktajl niusów 100

Projekty

Kamera z ruchomym ramieniem 18
Bezprzewodowy wyłącznik wi-link 22
Ogromny zegar LCD bez procesora 26

Miniprojekty

Ekspander wyświetlacza LCD 2×16 z I²C i podświetleniem RGB 31
Interfejs aparatury kontrolnej i sygnalizacyjnej standardu M22 do Raspberry Pi 33
Konwerter napięcia z ujemnego na dodatnie 36
Sterownik mikrosilników prądu stałego do RPi Pico 38
Moduł przekaźników półprzewodnikowych do RPi Zero i nie tylko 40
Półprzewodnikowy sygnalizator obecności napięcia sieciowego 42

Prezentacje

Dobór komponentów do interfejsów dotykowych 44
Jak podejmować decyzje projektowe w aplikacjach sterowania bezszczotkowymi silnikami stałoprądowymi 84

Temat numeru: Elektronika w przestrzeni kosmicznej

Elektronika w przestrzeni kosmicznej – nowe podejście do branży Space 46
Kluczowe zagadnienia techniki kosmicznej 54

Podzespoły

Mikrokontrolery z rozbudowanymi funkcjami analogowymi. Optymalizacja projektu na praktycznym przykładzie 65

Projekty soft

Miniaturowa konsola do gier z RPi Pico 68
Laserowo kierowany detektor psich... spraw 72
Dwukołowy robot balansujący sterowany przez Arduino 75

Elektronika w praktyce

Nowoczesne źródła napędu dla konstrukcji robotycznych i nie tylko 78

Notatnik konstruktora

Multipleksowanie wielu wyświetlaczy LED 88

Poradnik implementacji

Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (16).
Front-endy do pomiarów ultradźwiękowych (1) 91

Kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy (62).
Przetwornice podwyższająco-obniżające dla IoT 103

Prenumerata 2
Od wydawcy 3
Hity następnego numeru 107

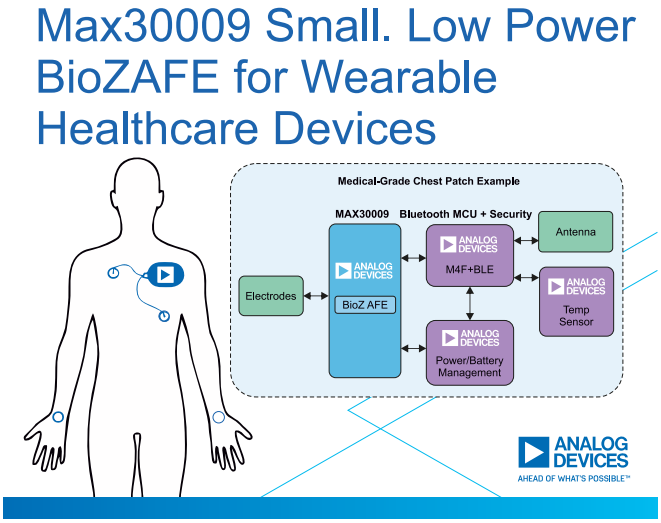
Dodatkowe materiały do artykułów znajdziesz na https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl d8e2d0846e

Szczegóły na stronie 90

nowe podzespoły

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



Precyzyjny układ kondycjonowania sygnału do współpracy z czujnikami bioimpedancyjnymi

MAX30009 to układ kondycjonowania sygnału, zaprojektowany do współpracy z różnego typu czujnikami bioimpedancyjnymi (BioZ) przenoszonymi na ciele użytkownika, mogący znaleźć zastosowanie w medycynie i akcesoriach fitness. Charakteryzuje się mniejszym o 62% poborem mocy od najbliższych odpowiedników i mniejszą o 30% powierzchnią. Zawiera m.in. zabezpieczenie przed wyładowaniami ESD, filtr EMI, układ polaryzacji, detektor zasilania i detektor odłączenia elektrod czujnika. Może być przełączany w tryb standby o ograniczonym poborze mocy. Kanał odbiorczy BioZ zapewnia dużą impedancję wejściową, małe szumy i duży współczynnik tłumienia składowej sumacyjnej (CMRR). Umożliwia programowanie wzmocnienia oraz oferuje różne warianty filtrów dolno- i górnoprzepustowych. Dwa wewnętrzne przetworniki A/C o dużej rozdzielczości umożliwiają równoczesną akwizycję składowych I i Q.

Kanał nadawczy BioZ zawiera generator prądu sinusoidalnego, doprowadzający do ciała użytkownika sygnały testowe o szerokim zakresie częstotliwości od 16 Hz do 806 kHz i natężeniu od 16 nA do 1,28 mA RMS. Elastyczny multiplekser umożliwia pracę przy pomiarach 2- i 4-punktowych przy użyciu wielu zestawów elektrod. Gdy wymagana jest bardzo duża dokładność pomiaru impedancji, np. w analizie bioimpedancji elektrycznej (BIA) i bioimpedancji spektroskopowej (BIS), MAX30009 oferuje różne opcje kalibracyjne. Dla zapewnienia największej dokładności można podłączyć precyzyjny zewnętrzny rezystor do 4-punktowego portu kalibracyjnego.

MAX30009 jest zamykany w obudowie WLP-25 o powierzchni 2,03×2,03 mm. Został przystosowany do pracy w zakresie temperatury otoczenia od –40 do +85°C. Jego cena hurtowa wynosi 5,26 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. Dostępny jest też zestaw ewaluacyjny MAX30009EVKIT# w cenie 198,22 USD.

www.maximintegrated.com

Bezpieczniki klasy motoryzacyjnej o napięciu pracy do 1000 VDC



Bezpieczniki Littelfuse serii EV1K jako pierwsze zapewniają ochronę klasy motoryzacyjnej w zakresie napięcia roboczego do 1000 VDC w nowej generacji samochodów osobowych i pojazdów komercyjnych o napędzie elektrycznym. Są produkowane na zakres prądów znamionowych od 60 do 125 A przy zdolności wyłączania do 30 kA. Obecnie trwają prace projektowe nad wersjami 600-amperowymi. Bezpieczniki serii EV1K mogą realizować zabezpieczenie nadprądowe m.in. w pakietach akumulatorowych, układach ładowania, falownikach trakcyjnych i konwerterach DC-DC. Nadają się do pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –55 do +125°C. Są produkowane w obudowach o wymiarach 73×25 mm, odpornych na wilgoć oraz udary i wibracje mechaniczne.

www.littelfuse.com

REKLAMA



eprasa.pl d8e2d0846e



Liniowe silniki wibracyjne o średnicy od 3 mm

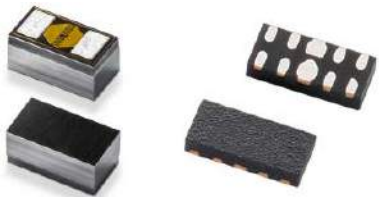
Wiele dostępnych na rynku smartfonów i smartwatchy zawiera silnik wibracyjny. Najczęściej jego zadaniem jest powiadamianie użytkowników o przychodzącej wiadomości i potwierdzenie naciśnięcia przycisku. Oczekuje się, że silniki wibracyjne będą teraz instalowane również w takich urządzeniach, jak rysiki oraz inteligentne gogle i rękawice. Do tego typu zastosowań firma Nidec opracowała serię miniaturowych, cylindrycznych silników wibracyjnych CA, na podstawie większych konwencjonalnych silników wibracyjnych.

	CA7-VH9	CA7-VH5	CA3
Objętość	Ø 6,55×8,8 mm	Ø 6,55×5,0 mm	Ø 3,0×10,7 mm
Napięcie	0,2 V rms	0,2 V rms	0,1 V rms
Częstotliwość rezonansowa	150 Hz	200 Hz	190 Hz
Przyspieszenie	0,25 g rms	0,14 g rms	0,05 g rms
Czas narastania (0...50%)	13 ms	13 ms	16 ms
Prąd znamionowy	25 mA RMS	25 mA RMS	16 mA RMS
Rezystancja	8,7 Ω	8,7 Ω	6,2 Ω
Pobór mocy	6 mW	6 mW	1,6 mW

Silniki serii CA, dostępne w wariantach CA3, CA7-VH5 i CA7-VH9, charakteryzują się rekordowo małą średnicą, wynoszącą od 3 mm. Są przeznaczone głównie do zastosowań w rysikach, pozwalając na odwzorowanie sposobu, w jaki wibruje końcówka tradycyjnego pióra podczas pisania. Silniki serii CA charakteryzują się bardzo małym poborem mocy, wynoszącym od 1,3 do 6 mW. Stanowi to około 2% mocy pobieranej przez wcześniejsze silniki wibracyjne produkcji Nidec, co umożliwia stosowanie mniejszych baterii i zredukowanie masy urządzeń końcowych. Podstawowe parametry silników zestawiono w tabeli:

www.nidec.com

Matryce diodowe do ochrony przepięciowej szybkich linii danych



Littelfuse informuje o wprowadzeniu na rynek nowej serii 4-kanałowych matryc diodowych o bardzo małej pojemności wewnętrznej, przeznaczonych do ochrony przepięciowej szybkich linii danych m.in. interfejsów USB 3.2/4.0, Thunderbolt 3.0/4.0 i PCI Express 6.0. Mogą one bezpiecznie pochłaniać powtarzające się wyładowania elektrostatyczne o napięciu do co najmniej ±12 kV, przenoszone przez kontakt oraz do ±15 kV, przenoszone przez powietrze, bez degradacji parametrów, co wykracza poza wymogi normy IEC 61000-4-2. Rozpraszają impulsy prądowe do 3 A (8/20 μs), zgodnie z wymogami IEC 61000-4-5, 2nd Edition. Nowe matryce charakteryzują się bardzo małą pojemnością wewnętrzną (około 0,2 pF), dzięki czemu wpływają w minimalnym stopniu na kształt transmitowanego sygnału. Są obecnie produkowane w wersjach 4-kanałowej (ozn. SP33R6) i jednokanałowej (SP00R6), zamykanych w obudowach odpowiednio µDFN-10 (2,5×1,0×0,5 mm) i 0201 (0,6×0,3×0,3 mm).

www.littelfuse.com



Moduł komunikacyjny Wi-Fi 6E/Bluetooth 5.2 do medycznych i przemysłowych urządzeń IoT

Silex Technology wprowadza na rynek swój pierwszy moduł komunikacyjny Wi-Fi 6E/Bluetooth 5.2, zapewniający dużą szybkość transmisji przy małym poborze mocy i bardzo dobrej stabilności, przeznaczony do medycznych i przemysłowych aplikacji IoT. SX-PCEAX zapewnia doskonałe parametry w środowiskach o dużym zagęszczeniu bezprzewodowych sieci komunikacyjnych, np. w fabrykach, magazynach i placówkach medycznych. Jest dostarczany w trzech formatach: M.2, Mini PCI Express oraz jako moduł do montażu SMT. Uzyskał niezbędne certyfikaty do zastosowań w Ameryce Północnej, Europie i w Japonii.

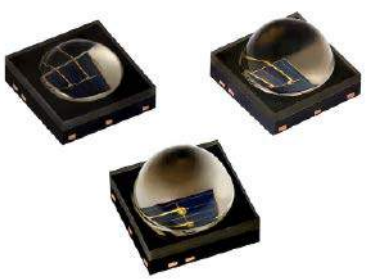
SX-PCEAX jest modułem 3-zakresowym (2,4/5/6 GHz), zrealizowanym na bazie układu Qualcomm QCA2066. Dzięki 7 kanałom komunikacyjnym o szerokości pasma 160 MHz, dostępnym w standardzie Wi-Fi 6E, zapewnia 6-krotnie większą szerokość pasma niż w przypadku sieci Wi-Fi 6 korzystających z częstotliwości 2,4 GHz i 5 GHz. Obsługuje tryby pracy station i access point. Został wyposażony w funkcje unikalne dla Wi-Fi 6, takie jak OFDMA (*Orthogonal Frequency-Division Multiple Access*) i TWT (*Target Wake Time*), zapewniające szybką i stabilną transmisję danych.

Pozostałe dane techniczne:

- standard WLAN: IEEE802.11 a/b/g/n/ac/ax (2×2) Wi-Fi 6E,
- standard Bluetooth: Bluetooth 5.2 (zgodny z BR/EDR/HS/LE),
- opcja anteny: 2×złącze MHF4,
- zakres temperatury pracy: od –20 do +65°C,
- wymiary:
- SX-PCEAX-SMT: 18×14×1,9 mm,
- SX-PCEAX-HMC: 29,85×26,65×2,9 mm,
- SX-PCEAX-M2: 30×22×2,7 mm.

www.silextechnology.com

Emitery IR o małych gabarytach i dużej intensywności promieniowania



Emitery podczerwieni nowej serii SurfLight firmy Vishay różnią się od poprzedników większą o 30% intensywnością promieniowania przy mniejszej o 20% powierzchni montażowej. Ich oferta obejmuje obecnie 6 modeli, pracujących z maksymalnym prądem sterowania

eprasa.pl d8e2d0846e

do 1,5 A w trybie ciągłym oraz do 5 A w impulsie. Są one produkowane w wariantach o dominującej długości fali 850 nm i 940 nm, zapewniających intensywność promieniowania do 6000 mW/sr, większą o 30% od emiterów poprzedniej generacji oraz o 10% od najbliższych odpowiedników.

Emitery serii SurfLight mogą znaleźć zastosowanie w oświetlaczach CCTV, przemysłowych systemach wizyjnych, systemach rozpoznawania tablic rejestracyjnych pojazdów oraz do śledzenia wzroku w grach elektronicznych. W zależności od wersji oferują trzy kąty emisji: ±28°, ±40° i ±60°. Mogą pracować w temperaturze otoczenia od –40 do +125°C. Są produkowane w obudowach SMD o powierzchni 3,4×3,4 mm. Podstawowe parametry zestawiono w tabeli:

	Długość fali	Intensywność		Kąt emisji
		I_F=1 A	I_F=5 A	
VSMA1085250	850 nm	1350 mW/sr	6000 mW/sr	±28°
VSMA1085400	850 nm	925 mW/sr	4100 mW/sr	±40°
VSMA1085600	850 nm	490 mW/sr	2200 mW/sr	±60°
VSMA1094250	940 nm	1250 mW/sr	5300 mW/sr	±28°
VSMA1094400	940 nm	850 mW/sr	3600 mW/sr	±40°
VSMA1094600	940 nm	460 mW/sr	1950 mW/sr	±60°

www.vishay.com

1200-watowy nieizolowany konwerter DC-DC formatu quarter-brick

BMR350 to nieizolowany konwerter DC-DC formatu quarter-brick (58,4×36,8 mm) o wyjściowej mocy szczytowej 1200 W i ciągłej 860 W, przekształcający napięcie 40...60 V do wartości z zakresu 8...13,2 V. Został on zaprojektowany do systemów zasilania z szyną



pośrednią. Zapewnia sprawność przekraczającą 97,8% przy połowie obciążenia. Jest odporny na chwilowe przepięcia do 80 V (maks. 100 ms). Może pracować w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40 do +125°C. Spełnia wymogi normy EN 55032/FCC part 15J Class B w zakresie emisji elektromagnetycznej. Istnieje możliwość łączenia wyjść kilku modułów przy współpracy z dużymi obciążeniami.

www.flexpowermodules.com

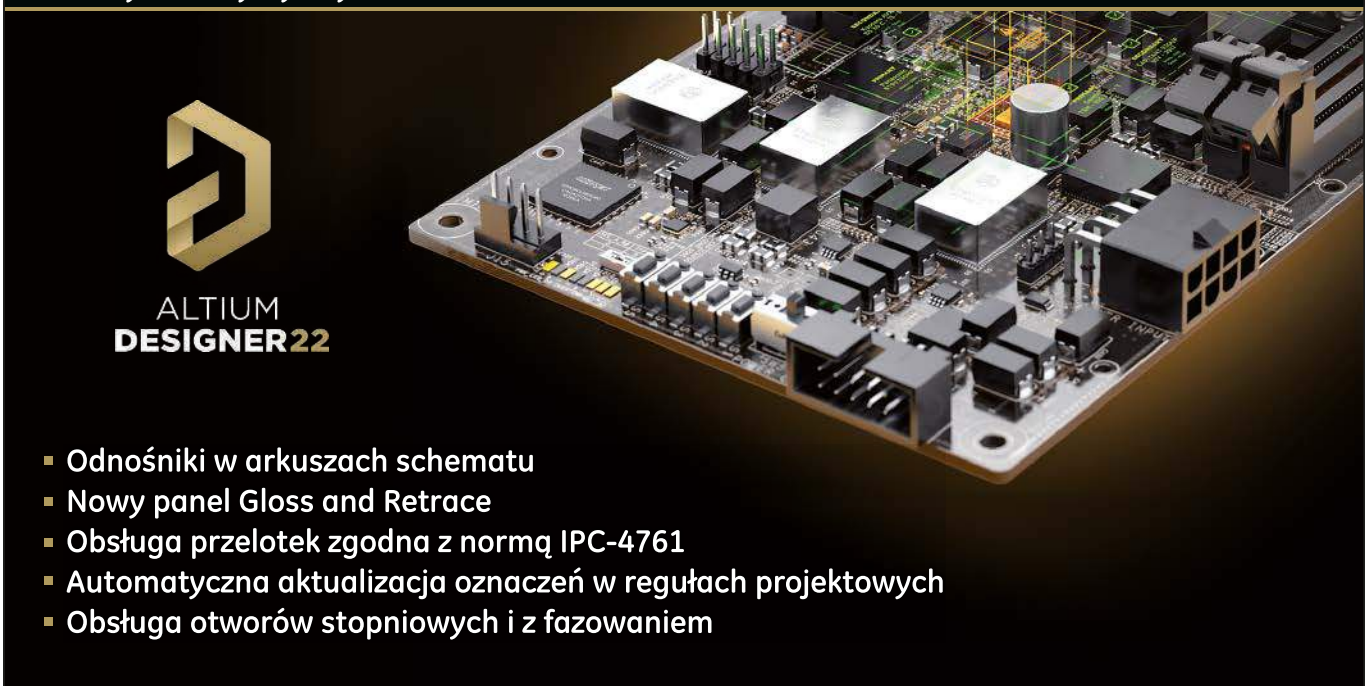
Jedno- i dwukanałowe karty digitizerów PCIe o szybkości transmisji danych 12,8 GBps

Firma Spectrum Instrumentation wprowadziła na rynek dwie nowe karty digitizerów na szynę PCIe Gen. 3, zapewniające szybkość transmisji danych do 12,8 GBps – prawie dwukrotnie większą niż w przypadku innych digitizerów PCIe dostępnych obecnie na rynku. Jednokanałowy model M5i.3330-x16 charakteryzuje się szybkością próbkowania do 6,4 GSps, a dwukanałowy M5i.3337-x16 zapewnia synchroniczne próbkowanie z szybkością 3,2 GSps w obu kanałach oraz 6,4 GSps w trybie jednokanałowym.

REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

Autoryzowany dystrybutor Altium w Polsce



- Odnośniki w arkuszach schematu
- Nowy panel Gloss and Retrace
- Obsługa przelotek zgodna z normą IPC-4761
- Automatyczna aktualizacja oznaczeń w regułach projektowych
- Obsługa otworów stopniowych i z fazowaniem

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 d8e2d0846e



Oba digitizery charakteryzują się 12-bitową rozdzielczością i szerokim zakresem dynamicznym. Wbudowana pętla PLL zapewnia dokładność częstotliwości lepszą niż 1 ppm. Szerokość pasma analogowego przekracza 2 GHz, a zakres pełnej skali może być programowany od ±200 mV do ±2,5 V. Duża pamięć wewnętrzna umożliwia przechowywanie długich i złożonych przebiegów. Standardowo jej pojemność wynosi 2 GB (2 G próbek), a opcjonalnie może zostać rozszerzona do 16 GB. Dostępne są tryby pracy single-shot i multiple-waveform z rejestracją znacznika czasu. W trybie multiple-waveform wbudowana pamięć jest dzielona na segmenty i umożliwia akwizycję wielu zdarzeń, nawet przy bardzo dużej szybkości wyzwalania. Doskonale sprawdza się podczas testowania magistrali szeregowych lub w systemach wykorzystujących procesy wyzwalanie-odpowiedź, np. w radarach i lidarach.

Obie karty zawierają wejścia sygnałowe i zegarowe wyprowadzone na złączach SMA oraz 4 wielofunkcyjne linie DIO. Ponadto dostępne są dodatkowe linie zegarowe i wyzwalania, umożliwiające synchronizowanie kart z innymi digitizerami i urządzeniami pomiarowymi. Tworzenie aplikacji pomiarowych przez użytkowników jest możliwe w środowiskach Windows i Linux we wszystkich popularnych językach programowania, w tym C, C++, C#, Delphi, VB.NET, J#, Python, Julia, Java, LabView i Matlab.

Podobnie jak wszystkie produkty z oferty Spectrum Instrumentation, również nowe karty M5i.3330-x16 i M5i.3337-x16 są objęte 5-letnią gwarancją. Producent oferuje bezpłatne aktualizacje oprogramowania oraz pełne wsparcie klienta bezpośrednio zespołu inżynierów przez cały czas użytkowania.

www.spectrum-instrumentation.com



Czujniki temperatury o ultramałym poborze prądu i dokładności ±0,2°C

Do oferty firmy Sensirion wchodzi 4. generacja czujników temperatury STS40, wyróżniających się małymi gabarytami (1,5×1,5×0,5 mm) i małym poborem prądu. Pracują one w zakresie pomiarowym od –40 do +125°C, zapewniając dokładność pomiaru od ±0,2°C w podzakresie 0...+60°C. Mogą być zasilane napięciem od 1,08 V do 3,6 V. Pobierają średnio 0,4 µA prądu w stanie aktywnym przy pojedynczym pomiarze na sekundę oraz 80 nA w trybie shutdown. Komunikują się przez interfejs I²C, co eliminuje problemy z zakłóceniami sygnału pomiarowego ze strony obcych pól elektromagnetycznych. Obecnie czujniki STS40 są dostarczane w wariantach z jednym z 3 dostępnych, prekonfigurowanych fabrycznie adresów I²C. Pozostałe parametry:

- powtarzalność: od 0,04°C,
- rozdzielczość: 0,01°C,
- czas odpowiedzi (t63%): 2 s,
- dryft długoterminowy: <0,03°C/rok,
- zabezpieczenie ESD: 2 kV (HBM).

www.sensirion.com



Programowalny bezpiecznik elektroniczny eFuse o zakresie programowania prądu od 1 do 5 A

AOZ18101DI to programowalny bezpiecznik elektroniczny eFuse o zakresie programowania prądu od 1 do 5 A i małej rezystancji wewnętrznej. Jego struktura wewnętrzna obejmuje obwód sterowania z funkcjami zabezpieczającymi oraz dwa tranzystory Trench MOSFET o szerokim obszarze bezpiecznej pracy i rezystancji RDS(on) równej 20 mΩ, połączone w układzie back-to-back.

Układ pracuje z napięciem wejściowym z zakresu od 3,5 V do 14 V. Jego działanie polega na monitorowaniu przepływającego prądu. Jeśli jest on większy od ustawionego limitu, nastąpi automatyczne ograniczenie prądu do dozwolonego maksimum. Jeśli przetężenie będzie się utrzymywało, bezpiecznik się wyłączy, chroniąc obciążenie przed uszkodzeniem.

AOZ18101DI wytrzymuje wyładowania ESD do ±8 kV (IEC 61000-4-2) na linii wejściowej oraz do ±2 kV (HBM) na pozostałych. Występuje w dwóch wersjach, różniących się reakcją na wykrycie przetężenia: AOZ18101DI-01 wykonuje auto-restart, a AOZ18101DI-02 wyłącza wyjście. Układ zawiera zabezpieczenie przepięciowe wejścia i wyjścia do 22 V oraz zabezpieczenie termiczne, nadprądowe i przed odwróceniem polaryzacji prądu w przypadku zwiększenia się napięcia wyjściowego powyżej napięcia VIN.

AOZ18101DI jest zamykany w obudowie DFN-10 o powierzchni 3×3 mm.

www.aosmd.com

Wysokostabilny 2-osiowy czujnik nachylenia MEMS z interfejsem SPI



Murata opracowała nowy 2-osiowy czujnik nachylenia MEMS z interfejsem SPI, charakteryzujący się bardzo dobrą stabilnością i bardzo małym offsetem w szerokim zakresie temperatury i w długim okresie. Jego podwójna, różnicowa struktura MEMS obejmuje kilka mas ruchomych, zapewniających kompensację

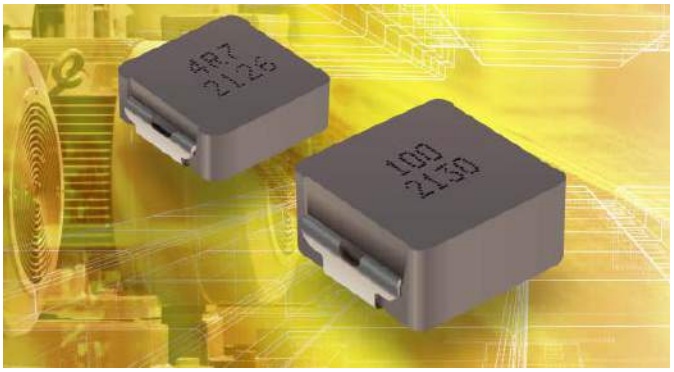
eprasa.pl d8e2d0846e

źródeł błędów oraz układ ASIC z zestawem wbudowanych funkcji diagnostycznych. Całość zamknięto w 12-wyprowadzeniowej obudowie SMD o wymiarach 8,6×7,6×3,3 mm. Układ jest kompatybilny pod względem rozkładu wyprowadzeń z wprowadzonym wcześniej na rynek czujnikiem nachylenia SCL3300 i czujnikiem przyspieszenia SCA3300, co pozwala na łatwe zwiększenie funkcjonalności wcześniej opracowanych projektów.

SCL3400 oferuje dwa konfigurowalne przez użytkownika tryby pomiaru: z zakresem ±30° i częstotliwością próbkowania 10 Hz oraz z zakresem ±90° i częstotliwością próbkowania 40 Hz. Mały offset długoterminowy (≤0,05°) w wielu przypadkach pozwala na bezobsługową pracę, eliminując konieczność rekalibracji urządzeń. Z kolei mały pobór prądu, wynoszący zaledwie 2 mA przy napięciu zasilania 3,3 V, pozwala na zastosowania układu w aparaturze bateryjnej.

SCL3400 może pracować w zakresie temperatury otoczenia od –40 do +85°C. Nadaje się doskonale do stabilizacji platform, długotrwałego monitorowania stanu konstrukcji, takich jak mosty, tunele i budynki oraz może znaleźć zastosowanie w przyrządach geodezyjnych, laserach obrotowych, poziomnicach itp.

www.murata.com



Ekranowane cewki wysokoprądowe wytrzymałe na wibracje do 30 g

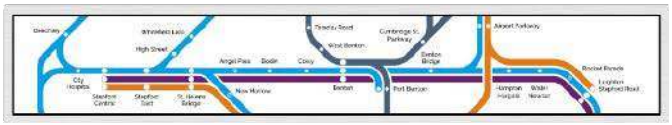
Nowe ekranowane cewki wysokoprądowe SRP1038WA i SRP1265WA firmy Bourns wyróżniają się odpornością na wibracje do typowo 15 g (30 g w szczycie), co 6-krotnie wykracza poza wymogi specyfikacji samochodowej AEC-Q200. Uzyskano to dzięki zwiększeniu o ponad 50% szerokości wewnętrznej ramki konstrukcyjnej, bez zwiększania powierzchni montażowej. Testy wytrzymałościowe przeprowadzono zgodnie z wymogami normy MIL-STD-202 (Method 204). Poza wzmocnioną konstrukcją nowe cewki charakteryzują się małą rezystancją DC, dużym prądem nasycenia, małym przydźwiękiem akustycznym i bardzo dobrą stabilnością w szerokim zakresie temperatury roboczej od –55 do +165°C. Cechy te czynią je idealnymi do zastosowań w układach zasilania i filtrach EMI w motoryzacji oraz aplikacjach przemysłowych.

Cewki serii SRP1038WA i SRP1265WA są produkowane w wersjach na zakres indukcyjności odpowiednio 0,47...47 µH i 0,68...47 µH oraz na zakres dopuszczalnych prądów przewodzenia odpowiednio 3,6...34 A RMS i 5,2...36,5 A RMS. Ich zakres rezystancji DC wynosi od 1,35 do 149 mΩ, współczynnik dobroci 15...20, a częstotliwość rezonansu własnego sięga 60 MHz.

www.bourns.com

Panoramiczny wyświetlacz LCD od AUO

Model P366IVN01.0 zostaje zastąpiony przez swoją nowszą wersję: P366IVN01.1. Podobnie jak swój poprzednik, najnowszy produkt od AUO wyróżnia się połączeniem szerokiego formatu ze świetnymi parametrami oraz dużą uniwersalnością. Wysoki kontrast, długa żywotność LED i odporność na skrajne temperatury sprawdzą się nie tylko w transporcie, ale i jako nośnik reklamowy w innych aplikacjach. W porównaniu do starszej wersji model P366IVN01.1 cechuje



się niższym zużyciem energii elektrycznej, zachowuje jednak przy tym wszystkie wyróżniające ten wyświetlacz cechy. Nadal jest to rozwiązanie przeznaczone przede wszystkim do aplikacji wewnętrznych, zapewniające pełną czytelność wyświetlanych na nim treści nawet przy intensywnym oświetleniu. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu jasności 700 cd/m² oraz wysokiego kontrastu (4000:1).

Opisywany produkt reprezentuje opracowaną przez AUO serię TARTAN, zawierającą nazwaną tak samo technologię. Użycie skomplikowanych procesów wytwarzania (m.in. fotolitografii) pozwala na produkcję wyświetlaczy o praktycznie dowolnych kształtach i rozmiarach, w tym także okrągłych. P366IVN01.1 charakteryzuje się również gwarancją bezawaryjnego działania diod LED przez nawet 70 000 godzin. Może dzięki temu działać w trybie całodobowym, 24/7 – to prawie 8 lat! W tabeli zaprezentowano najistotniejsze parametry urządzenia:

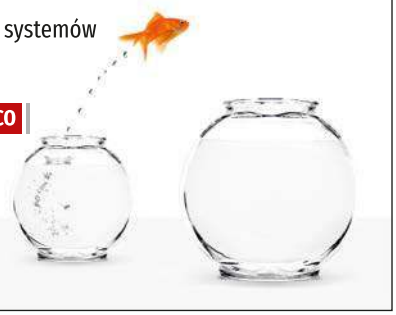
parametr	P366IVN01.1
rozmiar	36,6”
rozdzielczość	1920×290
obszar aktywny	919,3(H)×138,9(V) mm
jasność	700 cd/m²
kontrast	4000:1
kąty obserwacji	89° /89° /89° /89° (IPS)
powierzchnia	anti-glare, 3H
czas życia LED	70 000 h
interfejs	LVDS
czas reakcji	8 ms
pobór prądu	25,6 W
wymiary	951,3(H)×170,8(V)×18,3(D) mm
rozmiar ramki	14/14/14/14 mm
waga	2700 g
zakres temperatur pracy	–20...60°C
orientacja	horyzontalna/wertykalna

Tytułowy wyświetlacz znajdzie zastosowanie nie tylko w aplikacjach typowych dla transportu, jako nośnik niezbędnych informacji, zarówno w samych pojazdach, jak i w budynkach dworców oraz lotnisk. Obszarami, w których się sprawdzi, mogą być także m.in. systemy digital signage oraz handel detaliczny – odpowiednio wdrożony P366IVN01.1 będzie nietypowym, przyciągającym uwagę nośnikiem reklamowym.

www.unisystem.pl

REKLAMA

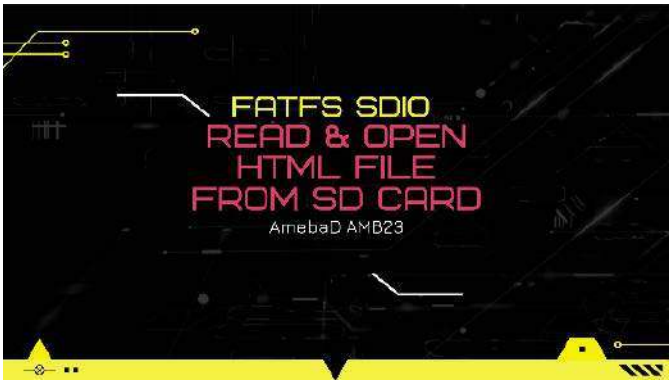
BORNICO Teraz większe MOŻLIWOŚCI
bornico.com.pl
montaż kontraktowy elektroniki
projektowanie urządzeń i systemów
Zakład Elektroniczny BORNICO
ul. Małęczyńska 25
26-600 Radom
tel. +48 48 365 58 22
bornico@bornico.com.pl



eprasa.pl d8e2d0846e

dodaj do obserwowanych

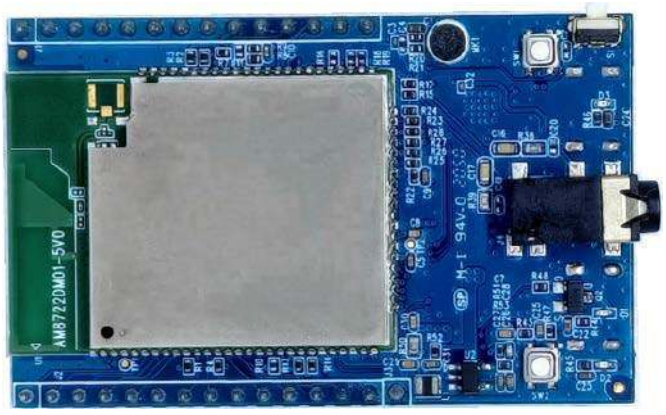
Przedstawiamy redakcyjny wybór najciekawszych projektów spośród ostatnio anonsowanych w internecie. Są to projekty na różnych etapach realizacji. Warto się zapoznać z projektami zakończonymi i śledzić realizację projektów niegotowych, by czerpać z nich inspirację do własnych prac.

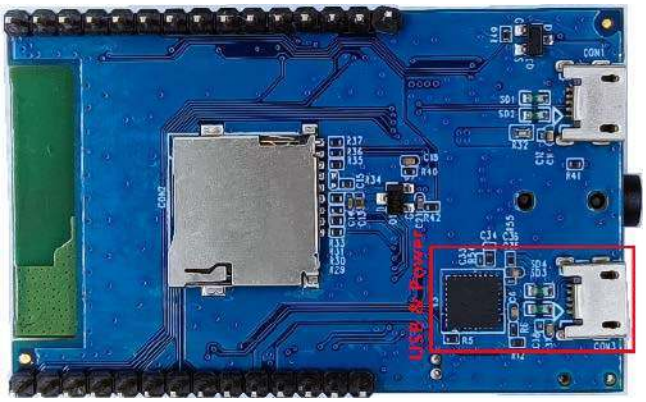


AMB23 Fatfs SDIO – platforma do zapisywania i odczytywania danych i plików HTML dla systemów Internetu Rzeczy

AMB23, nazywany również przez swojego twórcę „AmebaD", to łatwa w programowaniu platforma do tworzenia wszelkiego rodzaju aplikacji IoT. AMB23 jest wyposażony w różne interfejsy peryferyjne, w tym interfejsy Wi-Fi, linie GPIO z obsługą przerwań i wyjściami PWM, a także interfejsy I²C, UART, SPI oraz ADC. Za pośrednictwem tych interfejsów „AmebaD" może łączyć się z komponentami elektronicznymi, takimi jak diody LED, przełączniki, manometr, higrometr, czujniki pyłu PM2,5 itp. Zebrane dane mogą być przesyłane przez Wi-Fi i wykorzystywane przez aplikacje na urządzeniach inteligentnych do realizacji rozmaitych funkcji w systemach Internetu Rzeczy. Ma mniejszy rozmiar niż Arduino Uno, jak pokazano na rysunku.

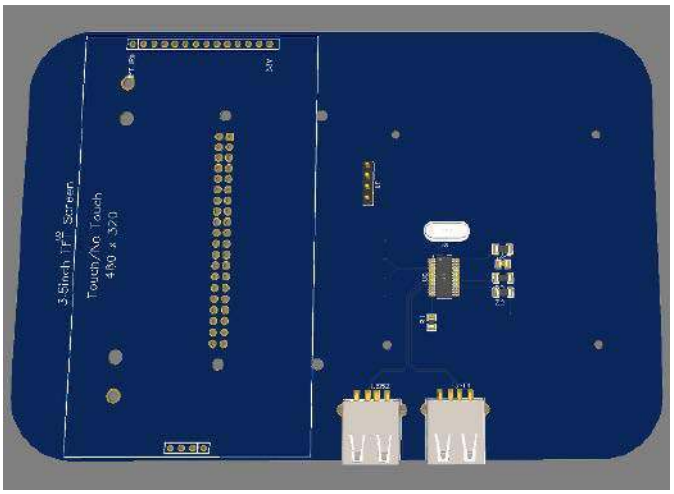
AMB23 zawiera złącze micro USB do zasilania, co jest powszechne w wielu układach tego rodzaju. Na spodzie płytki na środku znajduje się gniazdo dla kart micro SD. Jego obecność jest kluczowym wyróżnikiem systemu na tle konkurencji. Na kartę SD należy skopiować specjalnie przygotowany plik HTML (należy go umieścić bezpośrednie na karcie, a nie na folderze). Następnie można umieścić kartę w czytniku na płytce z RTL8722DM MINI i wgrać do mikrokontrolera odpowiednie firmware. Odbywa się to przez Arduino IDE, obsługujące





tę płytkę. Po zakończeniu przesyłania nowego programu i zresetowaniu modułu można nawiązać połączenie z systemem, aby zobaczyć na monitorze szeregowym komunikat: „Aby zobaczyć tę stronę w akcji, otwórz przeglądarkę pod adresem http://xxx.xxx.xxx.xxx". Wystarczy wejść na podana stronę (xxx.xxx.xxx.xxx to adres IP modułu), by zobaczyć w przeglądarce laptopa lub telefonu komórkowego plik HTML zapisany na karcie SD.

https://bit.ly/39RmEsz



Linuksowy palmtop

Autorka tej konstrukcji buduje samodzielnie palmtopa z Linuksem. Pomysł polega na tym, aby opracować kieszonkowy komputer z systemem Linux wielkości telefonu komórkowego z rzeczywistą, fizyczną klawiaturą. System ten bazuje na Raspberry Pi Zero, a do wyświetlania ma używać 3,5-calowego wyświetlacza LCD. Klawiaturą dla pierwszej wersji urządzenia ma być klawiatura z Blackberry Q10. Jest to tylko test – jeśli dobrze się sprawdzi, to klawiatura taka trafi do finalnej konstrukcji. Właściwie klawiatura ta to tylko moduł, który podłącza się do palmtopa i będzie również działała jako klawiatura

eprasa.pl d8e2d0846e

USB z dowolnym innym systemem. Klawiatura ma pozwalać na uruchamianie oprogramowania układowego klawiatury QMK.

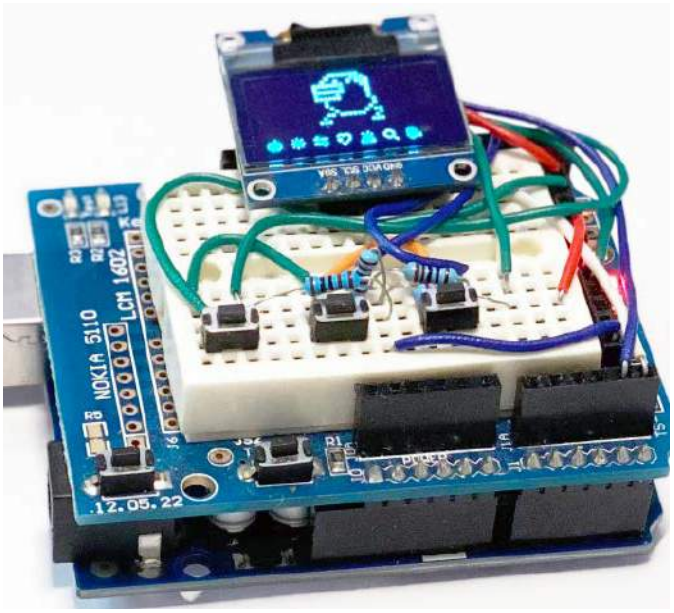
Autorka nie zdecydowała się jeszcze na konkretne rozwiązanie zasilania, ale pierwsza wersja będzie prawdopodobnie zawierała ogniwo 18650, co daje około 2...3 godziny pracy układu. W tej chwili cały system istnieje tylko na schemacie i w projektach PCB w chmurze. Autorka obecnie zbiera wszystkie elementy i zamawia płytkę drukowaną. Wśród elementów znajduje się Raspberry Pi Pico (RP2040) – być może posłuży do uruchomienia oprogramowania kontrolera klawiatury, chociaż nie jest to jeszcze pewne, gdyż jego firmware może działać też na mikrokontrolerze ATmega. Niestety ten drugi jest obecnie droższy i gorzej osiągalny niż RP2040.

„W tej chwili czekam na części. Kiedy już dotrą, następnym etapem będzie zbudowanie prototypu działającej klawiatury USB z klawiaturą BBQ10. (...) Pierwszym krokiem w tym projekcie jest uruchomienie działającej klawiatury USB, która może być używana oddzielnie lub bezpośrednio zintegrowana z palmtopem. Jest to część projektu, która ma dla mnie najwięcej niewiadomych, więc zajmę się tym w pierwszej kolejności", opisuje postęp prac autorka.

Istnieje doskonała dokumentacja projektu kontrolera klawiatury QMK na GitHubie, jednak autorka dalej ma wiele innych wyzwań przed sobą. Dotyczą one m.in. sterowania podświetleniem LED klawiatury – na złączu diod LED są 4 piny, ale nie udało się jej znaleźć żadnych informacji, jak nimi sterować. Kolejne wyzwanie to skorzystanie z mikrofonu MEMS wbudowanego w klawiaturę. Nie jest to konieczne, ale byłoby niezwykle przydatne.

Obecnie do autorki docierają pierwsze zamówione podzespoły, które będą testowane przed zastosowaniem ich w finalnym prototypie urządzenia. Na ten moment realizacja projektu to głównie czekanie na wyprodukowanie i dostarczenie płytek PCB, oczekiwanie na przybycie elementów, złączy itd.

https://hackaday.io/project/184746-linux-palmtop



ArduinoGotchi – emulator Tamagotchi P1 dla Arduino UNO

ArduinoGotchi to prawdziwy emulator Tamagotchi P1 działający na sprzęcie Arduino UNO. Autorem tego projektu jest Gary Kwok. Zasadnicza część kodu programu bazuje na emulacji zawartej w TamaLib, która została poddana daleko idącej optymalizacji, aby działała na Arduino UNO, które jest dostarczane z zaledwie 32 kB pamięci Flash i 2 kB pamięci RAM. Aby zrealizować taki projekt samodzielnie, nie potrzeba wiele. Jeśli chodzi o narzędzia/oprogramowanie, musimy zaopatrzyć się w:

- dostęp do Gita, aby sklonować repozytorium z GitHuba,
- środowisko Arduino IDE, aby poprawnie skompilować i załadować szkic do pamięci układu,
- Java 8 Runtime – środowisko potrzebne do działania oprogramowania.

Jeśli chodzi o elementy, to oprócz Arduino Uno potrzebny będzie wyświetlacz (ekran OLED o rozdzielczości 128×64 z kontrolerem SSD1306, dołączony przez I²C do mikrokontrolera), trzy oporniki 1 kΩ, trzy przyciski i buzzer.

ArduinoGotchi jest emulatorem, wymaga kompatybilnego kodu Tamagotchi P1 o nazwie *rom.bin* i umieszczenia go w folderze projektu. Ze względu na prawa autorskie plik ROM nie jest dostarczany przez autora projektu... trzeba zdobyć go samodzielnie. Aby zdobyć sam emulator, wystarczy sklonować go z repozytorium na GitHubie. ArduinoGotchi jest dystrybuowany na licencji GPLv2. Więcej informacji można znaleźć w pliku LICENSE w repozytorium.

https://github.com/GaryZ88/ArduinoGotchi
https://hackaday.io/project/184723-arduinogotchi

Gestro – system do kontrolowania komputera za pomocą gestów

Rozpoznawanie gestów rewolucjonizuje sposób sterowania komputerem w czasie rzeczywistym za pomocą gestów dłoni. Jest to możliwe dzięki zastosowaniu algorytmów widzenia maszynowego. „Czy kiedykolwiek chciałeś sterować systemem bez konieczności bezpośredniej interakcji z komputerem podczas prezentacji? Czy znasz kogoś, kto nie jest przyzwyczajony do używania klawiatury i myszy do kontrolowania swojego komputera? Gestro ma na celu rozwiązanie takich problemów poprzez opracowanie nowego sposobu sterowania systemami w czasie rzeczywistym za pomocą gestów dłoni", opisuje swój projekt Wong Tian Jie, autor systemu Gestro.

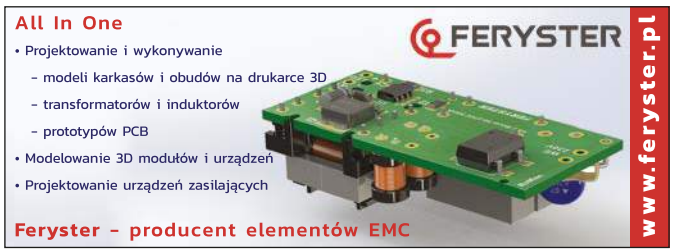
REKLAMA











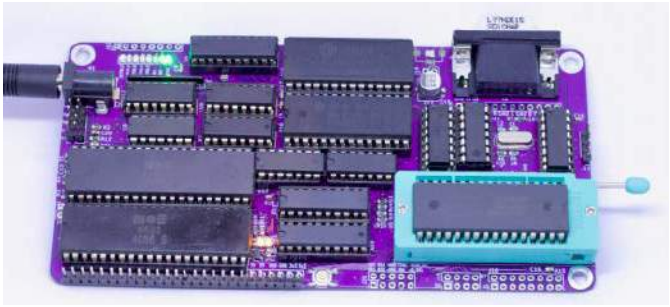
eprasa.pl d8e2d0846e

Gestro to aplikacja, która pozwala użytkownikom kontrolować swój system Linux za pomocą gestów dłoni, dzięki czemu będą mogli oni wykonywać określone czynności bez użycia klawiatury i myszy. Jest to szczególnie przydatne w przypadkach, gdy użytkownicy chcą kontrolować swój komputer z systemem Linux, będąc z dala od niego, nie znając nowoczesnych urządzeń (tak jak w przypadku osób starszych) i tak dalej… System korzysta z kamery internetowej i bibliotek, takich jak OpenCV, X11 itp., Gestro jest w stanie z powodzeniem przełożyć gesty wykonywane przez użytkowników na polecenia, które realizują określone operacje, w tym między innymi zwiększanie lub zmniejszanie głośności systemu, przesuwanie, minimalizowanie lub zamykanie okna i kliknięcia myszą. Gestro jest przeznaczone do wyświetlania za pomocą aplikacji Qt w systemie Linux z dystrybucją Ubuntu. W szczególności przetestowano, że działa idealnie na komputerach z systemem Ubuntu 18.04 LTS.

Gestro wymaga do działania następujących narzędzi i bibliotek (inne wersje nie są testowane):

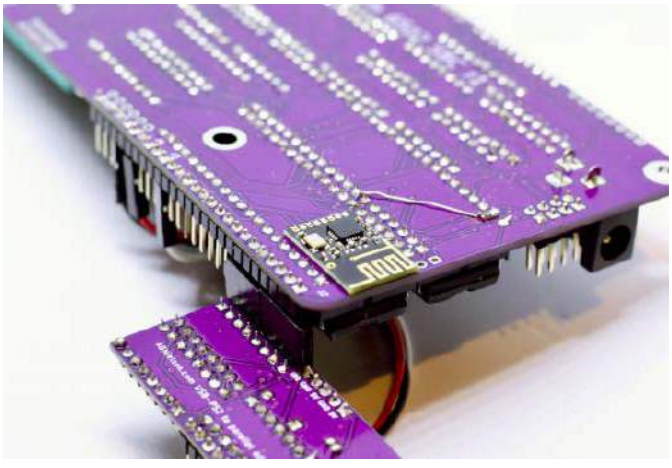
- X11,
- Qt 5,
- OpenCV 4.5.5,
- libasound2-dev,
- framework Boost Unit Test.

https://github.com/RandomGuy-coder/Gestro
https://hackaday.io/project/184728-gestro



Retrokomputer jednopłytkowy ABN6502 R1

Comiesięczny przegląd projektów nie byłby kompletny bez co najmniej jednej konstrukcji retro. W tym numerze prezentujemy konstrukcję Andersa Nielsena. Jest to jednopłytkowy komputer bazujący na procesorze 6502. Jest to w pełni funkcjonalny komputer jednopłytkowy z wyjściem VGA, wejściem dla klawiatury, liniami GPIO, interfejsami SPI, I²C i wbudowaną komunikacją 2,4 GHz (Wi-Fi). Podstawowym założeniem, jakie przyświecało autorowi, był recykling. Do konstrukcji komputera chciał zastosować komponenty, które już miał, dlatego też lista elementów może być bardzo łatwa do skompletowania przez innych hobbystów z elementów zalegających w warsztacie. Jeśli nie, to z pewnością można znaleźć te elementy na prawie każdej starej płytce drukowanej z elektroniką cyfrową z lat 70....90. XX wieku.



Są to głównie układy logiczne z serii 7400. Wystarczą podstawowe elementy z tej serii, aby uruchomić ten komputer jednopłytkowy.

Projekt ten bazuje na wcześniejszej konstrukcji komputera jednopłytkowego na układzie 6502, ale ma całkowicie przeprojektowaną płytkę drukowaną, dodany moduł SMD z nRF24L01+, dodane buforowanie zegara, mniejszą płytkę drukowaną i odpowiedni obwód resetowania oraz wiele innych ulepszeń – i nie wymaga już absolutnie niedostępnych współcześnie układów do grafiki.

Parametry komputera są następujące:

- płyta kompatybilna z procesorami 6502 w wersji CMOS i NMOS,
- zegar 2 MHz (podzielony z oscylatora 16 MHz. Wyjścia 8 MHz, 4 MHz, 2 MHz i 1 MHz dostępne dla modułów rozszerzeń),
- 64 kB lub 128 kB pamięci ROM,
- 32 kB pamięci RAM,
- moduł z układem nRF24L01+ do ładowania oprogramowania,
- wyjście obrazu – 51 znaków w 30 liniach monochromatycznego obrazu (w kolorze zielonym) na czarnym tle na wyjściu VGA,
- układ 6522 do realizacji dwóch 8-bitowych portów I/O + CA1+2/CB1+2 + dwa 8-bitowe timery,
- port bazujący na układzie 74HC273 działający tylko jako wyjście, do bankowania czcionek, włączania wideo + 5 bitów GPO – linie dla użytkownika.
- obwód resetowania, który zapobiega wyświetlaniu linii wygaszania i usprawnia niezawodną pracę systemu (opcjonalnie),
- wszystkie sygnały sterujące wyprowadzone w sposób umożliwiający debugowanie i dołączanie rozszerzeń,
- szyna danych i szyna adresowa wyprowadzona dla łatwego dostępu.

https://www.youtube.com/watch?v=w5cA64xof2I
https://hackaday.io/project/184725-abn6502-sbc-r1



Bezprzewodowy, kieszonkowy terminal do urządzeń Internetu Rzeczy

Przedmiotem tego projektu jest ręczny terminal do systemów Internetu Rzeczy (IoT) z kolorowym wyświetlaczem i ekranem dotykowym. Twórcą tego systemu jest Simon Xi z portalu Hackaday.io, gdzie zaprezentował on swoją konstrukcję. „Układ ten całkowicie uwalnia Twój telefon i działa najlepiej z dowolnym projektem IoT, może być używany do wyświetlania danych/obrazów lub sterowania urządzeniami IoT. Najlepsze jest to, że nie zajmuje tyle pamięci ani mocy obliczeniowej, co inne wyświetlacze", opisuje swój projekt autor.

Terminal IoT może być naprawdę przydatny do wyświetlania danych z czujników IoT i kontrolowania systemów IoT. Smartfon też to potrafi, ale nie można używać telefonu jako terminalu przez cały dzień. To niewielkie urządzenie może pomóc uwolnić telefon. System można zaprogramować do pracy z różnymi protokołami komunikacji IoT, które niekoniecznie są dostępne w Twoim telefonie, takimi jak ZigBee, Signal RF, LoRa itp.

eprasa.pl d8e2d0846e

Interesującą częścią tego projektu jest to, że zawiera osobny ekran dotykowy HMI z interfejsem USART, który wyposażony jest we własny procesor, pamięć RAM i Flash, co oznacza, że główny kontroler IoT nie musi dysponować dużą pamięcią i zasobami niezbędnymi do wyświetlania obrazu i skanowania wejść pod kątem sterowania dotykowego. Kontroler może skupić się na wysyłaniu i odbieraniu danych z systemu IoT i innych ważniejszych zadaniach, takich jak uruchamianie modeli uczenia maszynowego i wykonywanie skomplikowanych obliczeń matematycznych.

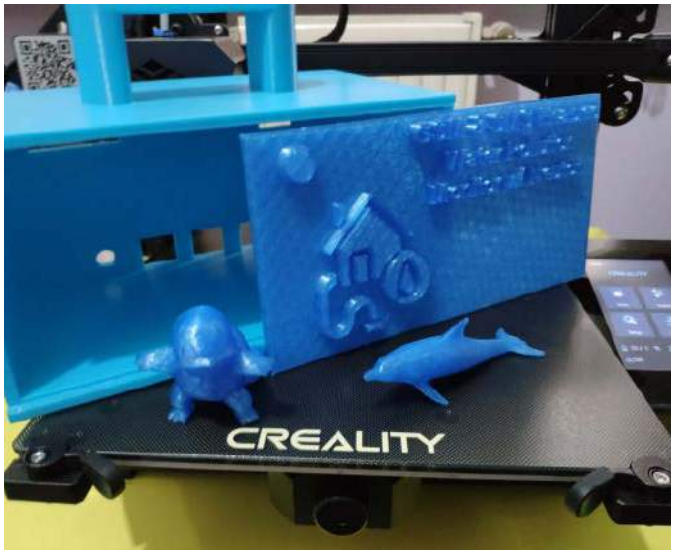
Firma, która produkuje ten wyświetlacz HMI, dzieli sprzęt i oprogramowanie na 2 różne wersje, jedną dla użytkowników chińskich, a drugą dla użytkowników anglojęzycznych. Obie wersje są dostarczane z bezpłatnym oprogramowaniem do edycji graficznego interfejsu użytkownika (GUI) oraz sterowania i kontroli logiki wyświetlania. Pakiet jest bardzo łatwy w użyciu i zawiera wiele przydatnych przykładów i zasobów, które pomogą zaoszczędzić czas podczas opracowywania GUI. Więcej szczegółów można znaleźć na witrynie producenta (https://nextion.tech/ dla wersji anglojęzycznej). Po zakończeniu programowania części związanej z GUI można z łatwością używać dostarczonej biblioteki Arduino do zaprogramowania głównego kontrolera IoT, pamiętając, że używa on UART do komunikacji z kontrolerem wyświetlacza. Drastycznie zmniejsza to wymagania dotyczące pamięci i procesora dla wyświetlania obrazu i sterowania interfejsem graficznym. Zaprezentowany projekt tylko demonstruje potencjał tego, co można zrobić w tej kombinacji. Można dodać więcej samodzielnie, np. zaimplementować menedżer sieci Wi-Fi, skaner BT, kontroler samochodu RC i monitor danych MQTT i tak dalej i tak dalej… Warto obserwować ten projekt, aby zobaczyć, jakie funkcjonalności w przyszłości doda jego autor.

https://hackaday.io/project/184761-diy-iot-terminal



Monitor poziomu zanieczyszczeń wód z GSM i wiadomościami SMS

Autor projektu – Kutluhan Aktar, skupił się na opracowaniu niedrogiego urządzenia bazującego na sztucznej inteligencji, które mogłoby znaleźć zastosowanie w systemach do zbierania danych o jakości wody z różnych zasobów wodnych w terenie i prognozowania poziomów zanieczyszczenia wody na podstawie pomiaru potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP), pH, poziomu całkowitych rozpuszczonych substancje stałych (TDS) oraz pomiarom zmętnienia. W opisie swojego projektu Aktar duży nacisk kładzie na zaznaczenie środowiskowego i ekologicznego aspektu swojego projektu: „Dlaczego zanieczyszczenie wody jest problemem globalnym?", pyta autor. W odpowiedzi wskazuje m.in. na fakt, że nieustannie zanieczyszczamy nasze ograniczone zasoby wody, które „toną w chemikaliach, odpadach, plastiku i innych zanieczyszczeniach". To istotne z uwagi na kurczące się zasoby bezpiecznej wody pitnej. Chociaż podejmowane są międzynarodowe wysiłki na rzecz ograniczenia zanieczyszczeń wody, pilną kwestią jest lokalne śledzenie poziomu zanieczyszczenia wody, aby uzyskać przewidywalne ostrzeżenia



dotyczące możliwych zagrożeń dla naszego bezpośredniego otoczenia. W tym miejscu właśnie pojawia się opisywane urządzenie.

Aby niepotrzebnie nie komplikować systemu, a jednocześnie zapewnić mu realną przydatność, autor zdecydował się na śledzenie potencjału oksydacyjno-redukcyjnego (ORP), pH, całkowitego poziomu rozpuszczonych substancji stałych (TDS) oraz pomiar zmętnienia wody. Wskaźniki te łatwo przełożyć na poziom zanieczyszczeń analizowanej wody czy też używać do prognozowania jakości wody.

Potencjał oksydacyjno-redukcyjny (ORP) jest miarą wymiany jonowej: Substancje chemiczne o ujemnej wartości ORP mogą oddawać dodatkowe jony, a te o dodatnie wartości ORP prowadzą do absorpcji jonów. Gdy wartość ORP w wodzie jest wysoka to bakterie skuteczniej rozkładają martwą tkankę i zanieczyszczenia. Ogólnie rzecz biorąc, im wyższa wartość ORP, tym zdrowszy jest badany akwen. Jednak wartości ORP zmniejszają się bliżej osadów dennych, nawet w zasobach czystej wody, ponieważ wiele bakterii ciężko pracuje w głębszych osadach, aby rozłożyć znajdującą się tam materię organiczną, zużywając większość dostępnego tlenu. Ponieważ tlen szybko znika w mule dennym wartości ORP szybko spadają.

Wartość pH ma znaczenie przy określaniu korozyjności wody, a związek z innymi parametrami jest złożony. Wody naturalne zawierają gazy, materię koloidalną oraz różne związki elektrolitowe i nieelektrolitowe, które wraz z pH określają stopień korozji w systemie. Jednak generalnie im niższe pH, tym wyższy potencjalny poziom występującej korozji. pH większości wody pitnej mieści się w zakresie od 6,5 do 8,5. Wody naturalne mogą mieć nieco niższe pH, na przykład w wyniku występowania kwaśnych deszczy lub wyższe pH na obszarach wapiennych.

Całkowite rozpuszczone substancje stałe (TDS) to termin używany do opisania soli nieorganicznych i niewielkich ilości materii organicznej obecnych w roztworze. Głównymi składnikami są zazwyczaj kationy wapnia, magnezu, sodu i potasu oraz aniony węglanowe, wodorowęglanowe (wodorowęglanowe), chlorkowe, siarczanowe i azotanowe. TDS w wodzie pochodzą ze źródeł naturalnych, ścieków, ścieków komunalnych i rolniczych oraz ścieków przemysłowych. Sole używane do odladzania dróg mogą również przyczyniać się do zwiększania poziomu TDS w analizowanej wodzie.

Zmętnienie wody jest spowodowane zawieszonymi cząstkami lub materią koloidalną, które utrudniają przepuszczanie światła przez wodę. Może to być spowodowane materią nieorganiczną lub organiczną lub kombinacją tych dwóch. Mikroorganizmy (bakterie, wirusy i pierwotniaki) są zazwyczaj przyczepione do cząstek stałych, a usunięcie zmętnienia przez filtrację znacznie zmniejsza poziom zanieczyszczenia mikrobiologicznego wody. Zmętnienie jest mierzone za pomocą nefelometrycznych jednostek zmętnienia (NTU) i może być zauważone gołym okiem powyżej około 4,0 NTU. Aby

eprasa.pl d8e2d0846e



jednak zapewnić bezpieczną wodę pitną, należy zadbać, aby zmętnienie nie było większe niż 1 NTU, a najlepiej znacznie niższe.

Pomiary opisanych powyżej wartości to tylko część składowa omawianego systemu. Oprócz urządzenia pomiarowego autor opracował model sieci neuronowej do prognozowania zanieczyszczenia wody. Jakkolwiek same pomiary ORP, pH, TDS i zmętnienia zapewniają wgląd w poziom zanieczyszczenia wody, nie jest możliwa dokładna interpretacja wyników korzystając z tych ograniczonych danych bez stosowania skomplikowanych algorytmów, ponieważ poziomy zanieczyszczenia wody zmieniają się w zależności od różnych zjawisk. Dlatego też autor zdecydował się na zastosowanie wytrenowanej sztucznej sieci neuronowej. Wykorzystując eksperymentalnie przypisane klasy zanieczyszczeń do przewidywania poziomów zanieczyszczenia wody na podstawie pomiarów ORP, pH, TDS i zmętnienia stworzył on działający algorytm sztucznej inteligencji, który pozwala na ocenę jakości wody na podstawie opisanych wcześniej, ograniczonych pomiarów.

Urządzenie zbudowano na bazie Arduino MKR GSM 1400. Wybrano ten moduł z uwagi na możliwości w zakresie komunikacji poprzez GPRS. Pozwala to na łatwe zbieranie danych w terenie. Do modułu tego podłączono odpowiednie sensory i wyświetlacz OLED na bazie SH1106, który pozwala na monitorowania zbieranych danych. Po przesłaniu danych przez GPRS, aplikacja napisana w PHP do rejestrowania przesyłanych danych, zapisuje je w pliku CSV, który posłużył, jako zbiór danych uczących.

Ponieważ MKR GSM 1400 nie jest powszechnie preferowaną platformą do uruchamiania modeli sieci neuronowych, większość platform i oficjalnych bibliotek dla TinyML go nie obsługuje. Niezależnie od powyższego, Neuton obsługuje prawie każdy dostępny na rynku mikrokontroler, dzięki swojej unikalnej strukturze modelu. Dlatego po skompletowaniu zestawu danych autor zbudował model sztucznej sieci neuronowej (ANN) za pomocą Neutona, aby przewidywać klasy zanieczyszczenia wody na podstawie pomiarów. Jako etykiety zastosował eksperymentalnie przypisane klasy zanieczyszczenia wody dla każdego rekordu danych podczas zbierania danych w terenie:

- czysty,
- ryzykowny,
- zanieczyszczony.

Dzięki temu urządzenie jest w stanie precyzyjnie oszacować klasę czystości wody, uruchamiając model zupełnie offline. Ponadto, po pomyślnym uruchomieniu modelu, MKR GSM 1400 ma także możliwość przesłania wyniku analizy za pomocą wiadomości SMS na podany numer telefonu.

Urządzenie zainstalowane jest w wytrzymałej i solidnej, obudowie ozdobionej figurką pokemona Squirtle. Pozwala to na łatwe i wygodne użytkowanie urządzenia w terenie, a jednocześnie podkreśla połączenie systemu z wodą – wspomniany pokemon jest związany właśnie z tym żywiołem.

https://bit.ly/3u5Paxd



Automatyczny dyspenser do tabletek z ESP32

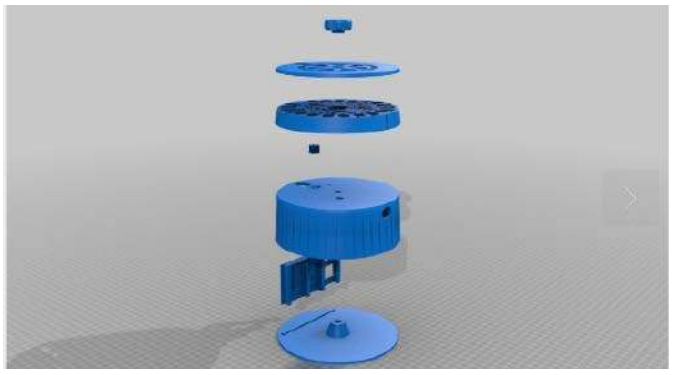
Zaprezentowany system to automatyczny dozownik do leków. Oprócz samej funkcjonalności dyspensera do tabletek, układ jest mocno zintegrowany z serwisami w sieci, co pozwala mu przesyłać powiadomienia poprzez Amazon Alexa czy Telegram. Autor konstrukcji, który ukrywa się pod pseudonimem quibueno zaprezentował swój projekt na portalu Hackaday.io i udostępnia go w całości na licencji GPLv3. Projekt ma na celu zaspokojenie potrzeb użytkowników, którzy mają trudności z przyjmowaniem leków w ustalonych przez lekarza godzinach, głównie z uwagi na niepamięć czy roztargnienie. Dotyczy to głównie osób starszych. System MED_PILL ma na celu automatyczne dostarczenie leku i powiadomienie pacjenta za pomocą sygnału dźwiękowego i/lub świetlnego oraz wiadomości wysłanej za pośrednictwem Alexa czy Telegrama, że lek jest dostępny. System informuje również opiekuna lub krewnego, że pacjent zażył lek, w momencie wyjęcia go z podajnika urządzenia.

Dzięki zastosowaniu Arduino i ESP32 możliwa jest daleko idąca automatyzacja i integracja układu z wieloma usługami w sieci. ESP32 łączy się z siecią Wi-Fi, aby mieć dostęp do wysyłania alertów przez Telegram i Alexa. Do wykonania prototypu projektu, jaki prezentuje autor, zastosowano moduł Wemos D1 R32. Projekt podzielony jest na trzy części.

- elementy drukowane w 3D,
- aplikacje i webhooki do integracji z innymi usługami,
- oprogramowanie układowe.

Elementy do druku w 3D powstały na podstawie projektu autorstwa Kamila Sopaka. Aby uzyskać dostęp do oryginalnego modelu, można wejść na link do portali Thingverse, podanego na końcu artykułu. Konieczne były jednakże pewne zmiany w pierwotnym projekcie, aby sprostać nowym potrzebom projektowym. System ma 21 przegródek na tabletki, które można podawać raz, dwa lub trzy razy dziennie, zgodnie z zadanym planem.

W systemie dodano integrację z wieloma aplikacjami – m. in. Telegramem, Alexa, IFTTT oraz MkZense. Jeśli chodzi o współpracę z Telegramem, tworzony jest specjalny bot, który służy do komunikacji poprzez specjalny token, podawany w kodzie programu. Token pozwala na uzyskanie dostępu do API Telegram.org. Jeśli chodzi

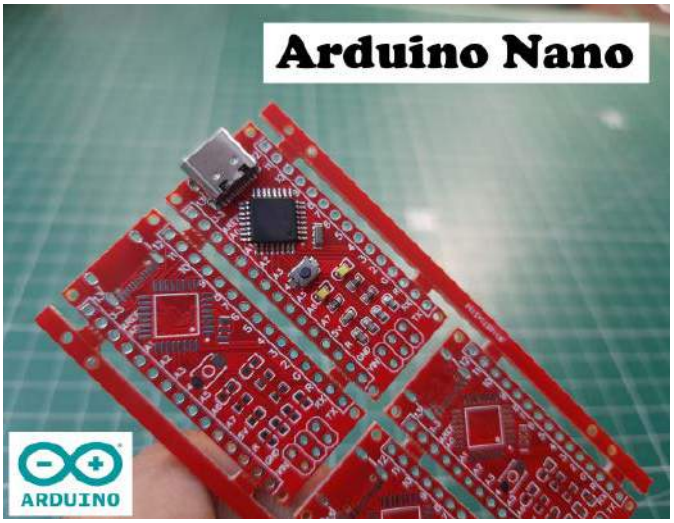


eprasa.pl d8e2d0846e

o dostęp do Alexa, to wymagane jest posiadanie urządzenia Echo Dot. Jeśli jednak potrzebna jest nam tego rodzaju lub podobna integracja z automatyką, czy współpraca z osobistym asystentem, można zastosować IFTTT. Integracja tych usług ma na celu wygenerowanie informacji dla pacjenta, mówiącej, że nadszedł czas przyjęcia leku. Można uzupełnić ją motywacyjną wiadomością. Dodatkową funkcją jest wykrywanie pobrania leku, co pozwala na poinformowanie nadzorcy pacjenta, ze ten wziął lek.

Oprogramowanie systemu zostało napisane w C++, ponieważ jest to najprostsza metoda tworzenia programów na Arduino. Nic nie stoi na przeszkodzie, aby przenieść firmware np. do Pythona.

https://github.com/quibueno/med_pill
https://www.thingiverse.com/thing:1291374
https://bit.ly/3Non2fL



Klon Arduino Nano z USB typu C

Celem tego projektu było opracowanie klonu Arduino Nano, który miałby być wyposażony w port USB typu C. Poza tą jedną zmianą klon jest w pełni zgodny z oryginalnym urządzeniem. Może nie jest to nazbyt odkrywcze podejście, ale zaprezentowany projekt pozwala prześledzić krok po kroku w jakiś sposób projektowane i wykonywane przemysłowo jest takie urządzenie. W projekcie zastosowano 32-pinowy mikrokontroler ATmega328P, który zasilany jest napięciem 5 V. Moduł ma wbudowany stabilizator napięcia 5 V i może być zasilany napięciem 7...12 V podawanym z zewnątrz.

Mikrokontroler jest wyposażony w 32 kB pamięci Flash, z czego 0,5 kB używane jest przez bootloader, 2 kB pamięci SRAM i EEPROM o pojemności 1 kB. Mikrokontroler ATmega328P jest taktowany zegarem o częstotliwości 16 MHz. Z układu wyprowadzono szereg linii I/O:

- 14 pinów GPIO,
- 6 pinów cyfrowych z wyjściem PWM,
- 6 pinów wejść analogowych.

Prąd wyjściowy pinów cyfrowych wynosić może do 20 mA. Dodatkowo w systemie znajduje się stabilizator 3,3 V, wyprowadzony na piny modułu. Jego prąd wyjściowy wynosi 50 mA. Kompletny schemat modułu znajduje się na stronie z projektem. Oprócz sekcji zasilania, mikrokontrolera i wyprowadzonych wyjść, moduł wyposażony jest w konwerter USB-TTL na układzie CH340G.

Jak zaznacza sam autor, najtrudniejszą rzeczą jest utrzymanie kosztów na jak najniższym poziomie. Dlatego też wybrano do programowania tańszy konwerter CH340 czy też niedrogie rezonatory SMD dla mikrokontrolera. Płytka PCB dla moduły ma taki sam format, jak oryginalne Arduino Nano. Pliki Gerber płytki zostały umieszczone na stronie z projektem, dzięki czemu każdy może je pobrać i samodzielnie zamówić PCB do montażu tych modułów.

https://bit.ly/3nphQNS



Muzyczna cewka Tesli z Bluetoothem

Przedmiotem tego projektu jest muzyczna cewka Tesli opracowana w pełni na płytce drukowanej. Oznacza to, że nawet uzwojenie transformatora wysokiego napięcia wykonano w technologii PCB. Obwód zawiera również przetwornicę typu boost, potrzebną, aby uzyskać wysokie napięcie przy zasilaniu na poziomie zaledwie 12 V.

Nie jest klasyczna cewka Tesli. Jej głównym założeniem jest możliwość odtwarzania muzyki. Autor postarał się, aby możliwe było odtwarzanie jej z możliwie wysoką jakością, tak, aby zrozumiałe były np. słowa piosenki. Audio pobierane jest z modułu Bluetooth, dzięki czemu nie ma ryzyka uszkodzenia komputera czy smartfona, który miałby być źródłem dźwięku – urządzenia mogą być w bezpiecznej odległości od siebie, co jest niezwykle istotne w przypadku systemów pracujących z wysokim napięciem, jak cewka Tesli.

Wtórne uzwojenie cewki tesli jest wytrawione na płytce drukowanej. Głównym powodem takiego postępowania była wygoda – cewkę na PCB dużo prościej jest wytrawić, niż wykonać zwykłą, nawijaną na rdzeniu cewkę elektryczną. Cały system jest zasilany napięciem 12 V. Wbudowany zasilacz wysokiego napięcia i driver cewki mogą pracować, co najmniej 10 minut bez przegrzewania. Kluczowym elementem cewki jest przetwornica typu boost, która zwiększa napięcie z zasilacza 12 V. Kontroler PWM zastosowany w systemie to UC3843, który wysyła przebieg prostokątny o modulowanym wypełnieniu do tranzystora polowego. Im wyższe wypełnienie, tym wyższe napięcie i na odwrót. UC3843 kontroluje napięcie wyjściowe, porównując je z napięciem odniesienia ustawionym na 2,5 V, więc wszystko, co trzeba w systemie zrobić, to umieścić dzielnik napięcia na wyjściu, który daje napięcie równe 2,5 V na wyjściu dla zadanego napięcia wyjściowego z przetwornicy. Więcej informacji na temat działania tego kontrolera i innych jego parametrów znaleźć można w jego karcie katalogowej.

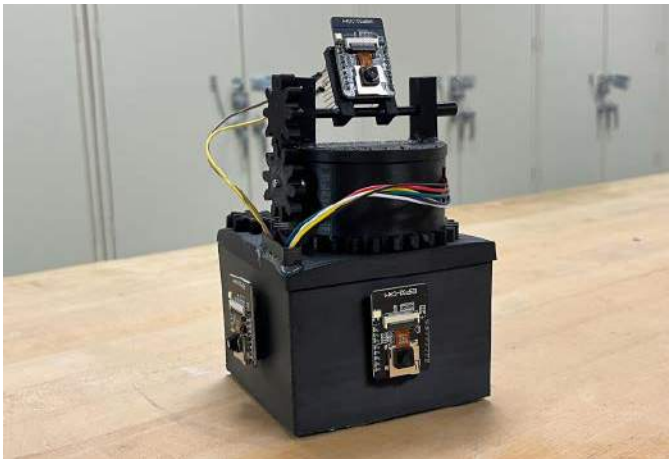
Najciekawszą częścią całej konstrukcji i wymagającą najwięcej pracy, był fragment odpowiedzialny za to, aby usłyszeć głosy z iskier wysokiego napięcia. Aby to zrobić, tranzystor MOSFET przetwornicy musi być uruchamiany w trybie ciągłego przewodzenia, co oznacza, że istotnie zwiększa się ciepło strat. W około 10 minut osiąga on temperaturę 70 stopni Celsjusza. Wydawać może się to problematyczne, jednakże, kto by słuchał muzyki na cewce Tesli przez 10 minut lub więcej… Sposób działania tego obwodu jest dość prosty, działa podobnie jak wzmacniacz klasy D, najpierw sygnał muzyczny w postaci

eprasa.pl d8e2d0846e

analogowej wychodzi z modułu Bluetooth. Następnie układ LM358 wzmacnia ten sygnał, po czym podawany jest na komparator z przebiegiem trójkątnym, aby wygenerować sygnał o zmiennym wypełnieniu (PWM). Przebieg ten trafia następnie do pinu 3 kontroler UCC37322, który włącza i wyłącza sterownik przetwornicy w zależności od muzyki.

Cewka wtórna znajduje się na górnej stronie płytki drukowanej. Jest pojedynczą ścieżką o szerokości 0,15 mm zwiniętą w okrąg i ma łącznie 240 zwojów. Dolna strona płytki to pojedyncza ścieżka 3,5 mm. Największym problemem związanym z tym projektem jest to, że ta cewka ma bardzo wysoki współczynnik Q, co oznacza po prostu, że uzwojenie pierwotne i wtórne są sprzężone zbyt blisko siebie, co znacznie ogranicza rozmiary łuku. Jest to poniekąd wynik oszczędności i chęci zmieszczenia obu uzwojeń na jednej płytce drukowanej.

https://bit.ly/3u622Dw

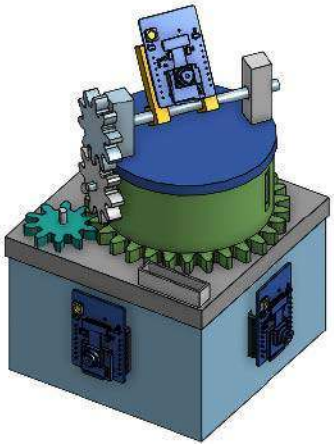


Kamera Dum-E – inteligentny strażnik

Dum-E to cyfrowa „wieża strażnicza" zdolna do zdalnego sterowania kierunkiem obserwacji. Jest sterowana bezprzewodowo przez zdalny serwer, do którego także transmituje obraz. Dum-E jest zdolny do wykrywania osób i może śledzić przechodzących ludzi. Wyposażony jest w dwa tryby pracy, które można przełączać. Pierwszy z nich to tryb automatyczny, w którym kamera rejestruje obrazy, wysyła je do serwera w celu przetworzenia, a serwer mówi urządzeniu, jak powinno się poruszać, aby zachować śledzony obiekt pośrodku kadru. Drugi tryb to tryb ręczny, w którym użytkownik może kontrolować działanie zdalnej kamery poprzez interfejs sieciowy.

Zespół skonstruował system w zaledwie 10 tygodni. Dlatego kluczowym zadaniem było to, aby jasno określić, co jest ważne dla tego projektu, aby ukończyć go na czas. Strona programowa Dum-E polegała na skonfigurowaniu serwera WWW, utworzeniu atrakcyjnego interfejsu użytkownika i zaimplementowaniu algorytmu wykrywania osób, działającego po stronie serwera. Sprzętowa strona projektu polegała na zaimplementowaniu odpowiedniej logiki sterowania silnikiem, wybraniu odpowiednich komponentów, aby cała elektronika mogła być zasilana z jednego zasilacza, i zaprojektowaniu płytki drukowanej dla systemu. Dum-E składa się również z niestandardowej obudowy z uchylnym, zmotoryzowanym montażem dla kamery.

Jednym z głównych celów, jaki przyświecał temu projektowi, było zrobienie czegoś, co obejmuje wiele dyscyplin i jest zgodne z dzisiejszym trendem technologicznym. System integruje w sobie algorytmy zaawansowanego przetwarzania danych, łączność bezprzewodową i systemy IoT. System można podzielić na trzy główne elementy: oprogramowanie, sprzęt elektryczny i obudowa drukowana w 3D wraz z mechaniką. Oprogramowanie można dalej podzielić na trzy elementy: serwer centralny i programy Arduino działające na urządzeniach brzegowych oraz interfejs sieciowy. Interakcja między tymi kategoriami jest dokładnie opisana na stronie projektu, linkowanej w dalszej części.

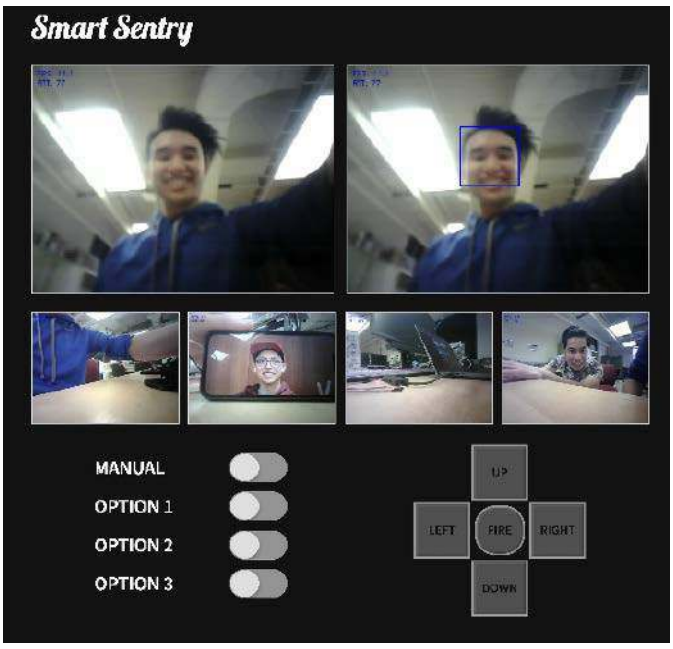


Kamera może działać w dwóch trybach, automatycznym i ręcznym, z których oba można wybrać poprzez interfejs WWW. W trybie ręcznym użytkownik może kontrolować kamery bezpośrednio przez interfejs sieciowy, który w sposób ciągły przesyła z niego obraz na żywo. W trybie automatycznym kamera może być skonfigurowana do śledzenia osób lub przedmiotów. Serwer centralny jest mózgiem całego systemu. Serwer jest hostowany przy użyciu frameworka Tornado, a przetwarzanie obrazu odbywa się za pomocą OpenCV.

Logika przetwarzania obrazu jest dosyć podstawowa. Po pierwszym uruchomieniu system znajduje się w trybie skanowania. Celem tego stanu jest określenie ogólnego kierunku, w którym znajduje się cel. W tym stanie strumień danych z kamer będzie przetwarzany korzystając z kaskadowego algorytmu Haara do wykrywania twarzy. Kamera, która uchwyci cel przekazuje dalej informacje do systemu, a ten przekręca kamerę w kierunku wykrytej twarzy. Jeśli cel zostanie znaleziony, kamera przechodzi do trybu śledzenia. Jeśli nie, wraca do trybu skanowania i ponownie rozpoczyna przetwarzanie obrazu w poszukiwaniu twarzy.

W trybie śledzenia używany jest algorytm śledzenia KCF do śledzenia wykrytego celu. Algorytm ten wybrano, ponieważ jest znacznie szybszy w obliczeniach. Wszystko, czego potrzebuje algorytm śledzenia KCF, to początkowa ramka ograniczająca cel, która jest przekazywana temu algorytmowi przez algorytm kaskadowy Haara. Jeśli kamera kiedykolwiek zgubi cel na więcej niż 40 klatek, natychmiast wraca do trybu skanowania.

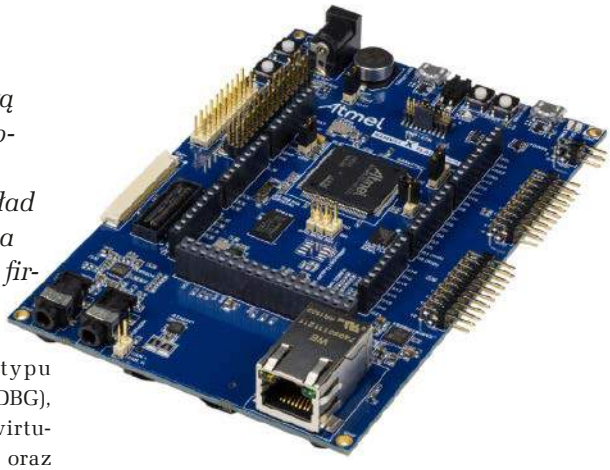
https://hackaday.io/project/185773-dum-e-smart-sentry



eprasa.pl d8e2d0846e

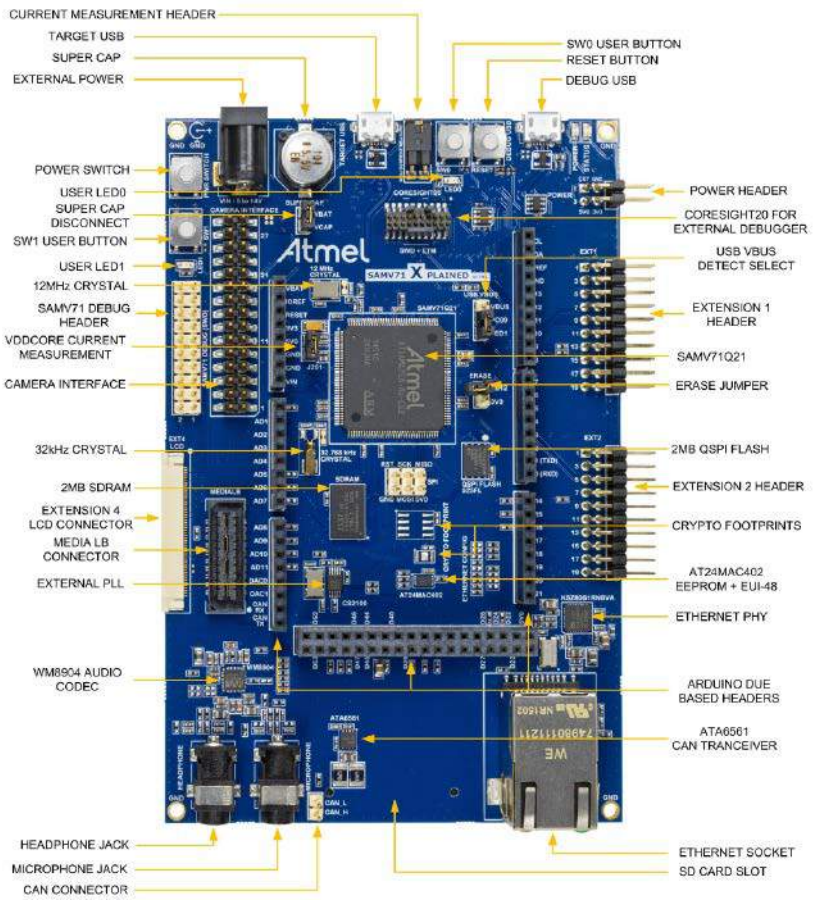
Wygraj zestaw uruchomieniowy SAM V71 Xplained Ultra Evaluation Kit od firmy Microchip

Mikrokontrolery Microchip serii SAM V71 to układy wyposażone w nowoczesny 32-bitowy procesor ARM Cortex-M7 ze zintegrowaną jednostką zmiennoprzecinkową podwójnej precyzji (FPU), działające z częstotliwością aż do 300 MHz. Zestaw uruchomieniowy SAM V71 Xplained Ultra Evaluation Kit (ATSAMV71-XULT) został wyposażony w ten wydajny układ oraz komplet peryferiów umożliwiających szybkie rozpoczęcie tworzenia aplikacji. Gotowy do użycia zestaw można teraz za darmo otrzymać od firmy Microchip.



Zestaw uruchomieniowy SAM V71 Xplained Ultra Evaluation Kit zawiera mikrokontroler typu ATSAMV71Q21 wyposażony w 2 MB pamięci Flash, 384 kB pamięci RAM, sprzętowe bloki obliczeniowe FPU i DSP, kontroler zewnętrznych pamięci równoległych SRAM, NOR i NAND Flash oraz 24-bitowy interfejs wyświetlacza LCD. Ponadto jest przystosowany do pracy w zakresie temperatur –40°…+105° – spełnia kwalifikację AEC-Q100 wymaganą dla aplikacji branży automotive. Ponadto na płytce zintegrowane są:

- programator/debugger USB typu Microchip Embedded Debugger (EDBG), który dodatkowo pełni funkcję wirtualnego portu szeregowego COM, oraz interfejsu Data Gateway Interface (DGI) pozwalającego śledzić działanie mikrokontrolera,
- układy pamięci SDRAM, QSPI Flash oraz EEPROM,
- kontroler Ethernet typu KSZ8061,
- kodek audio stereo WM8904,
- transceiver CAN ATA6561,
- interfejs USB Host i Device
- złącze kamery,
- złącze dla wyświetlacza graficznego z 24-bitową szyną danych i obsługą panelu dotykowego,
- złącze kompatybilne ze standardem Arduino Mega,
- przyciski, diody, zworki konfiguracyjne i wyprowadzenia istotnych sygnałów.



Konfiguracja zestawu ATSAMV71-XULT pozwala na realizację aplikacji z zakresu graficznych interfejsów użytkownika i systemów in-vehicle infotainment dla branży automotive, systemów Internetu Rzeczy (IoT), digital audio, a dzięki interfejsom CAN FD oraz Ethernet 10/100 Mb/s umożliwiają realizację rozwiązań z zakresu automatyki, motoryzacji i robotyki. Jak każdy produkt firmy Microchip, płytka ma przygotowaną rozbudowaną dokumentację, tutoriale oraz pakiety oprogramowania.

Aby mieć szansę na wygranie zestawu ewaluacyjnego SAM V71 Xplained Ultra Evaluation Kit lub aby otrzymać kupon rabatowy 15% i bezpłatną wysyłkę, należy wypełnić formularz zgłoszeniowy na stronie: https://bit.ly/3n1QtJL.

Szczegółowe informacje na temat zestawu ewaluacyjnego ATSAMV71-XULT można znaleźć na: https://bit.ly/3n0LhWr, https://bit.ly/3y447Ch.

Dokumentacja mikrokontrolera ATSAMV71Q21 oraz wiele dodatkowych materiałów znajduje się na stronie https://bit.ly/3QtOkUR.

eprasa.pl d8e2d0846e

W ofercie AVT*
AVT5943

Podstawowe parametry:

- uzyskuje się pole widzenia o zakresie 180° zarówno w płaszczyźnie horyzontalnej, jak i wertykalnej dla kamerki ze standardowym obiektywem,
- sterowanie modułem kamery odbywa się za pośrednictwem przeglądarki internetowej i stron generowanych przez sam moduł,
- możliwość sterowania kamerą i ramieniem za pomocą rozkazów wpisywanych bezpośrednio w pasku przeglądarki i przesyłanych w trybie GET.

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

AVT5897	Sterownik mikroserwomechanizmów do Pi Pico (EP 11/2021)
AVT5886	16 kanałowy kontroler PWM – sterownik serwomechanizmów dla RPi Zero (EP 9/2021)
AVT5752	Rozgałęźnik dla serwomechanizmów (EP 3/2020)
AVT5731	Radiowy sterownik serwomechanizmów (EP 12/2019)
AVT1632	Tester serwomechanizmów modelarskich (EP 8/2011)
AVT5290	3-kanałowa aparatura do zdalnego sterowania modeli (EP 5/2011)
AVT1605	Dwustanowy sterownik serwomechanizmu (EP 2/2011)
AVT1570	Spowalniacz serwomechanizmu (EP 5/2010)

* 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

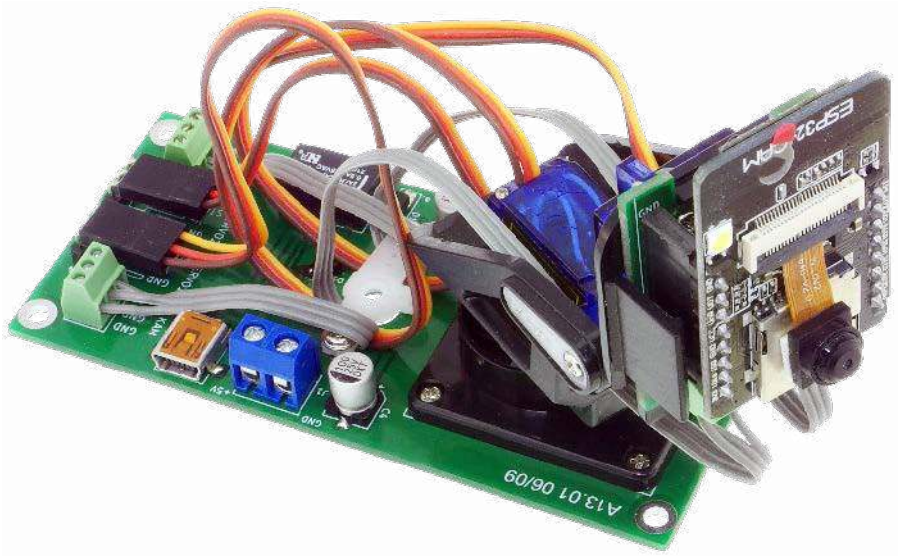
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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.

Kamera z ruchomym ramieniem

Moduł ESP32-CAM, czyli mikrokontroler ESP32 zintegrowany z miniaturową kamerką, cieszy się od lat zasłużoną popularnością. Za umiarkowaną cenę użytkownik dostaje urządzenie pozwalające uzyskać obraz wideo o przyzwoitych parametrach. W dodatku oprogramowanie modułu ma otwarty kod źródłowy, co pozwala dostosowywać je do swoich potrzeb i pomysłów. Zapewne dlatego wciąż powstaje wiele projektów z tym modułem. Inspiracją dla zaprezentowanego projektu była potrzeba rozruszania ESP32-CAM – co miało poszerzyć jego możliwości np. w opiece nad dziećmi czy chorymi itp.



Kamera montowana w gnieździe ZIF modułu ma niewymienny obiektyw o kącie widzenia około 25°. W niektórych serwisach internetowych oferowane są kamerki z obiektywami o szerszym kącie, który powoduje zniekształcenie obrazu, czyli tzw. efekt rybiego oka. W tym projekcie dzięki umieszczeniu modułu na ruchomym ramieniu uzyskuje się pole widzenia o zakresie 180° zarówno w płaszczyźnie horyzontalnej, jak i wertykalnej i to dla kamerki ze standardowym obiektywem. Wygląd gotowej konstrukcji pokazuje zdjęcie tytułowe.

Konstrukcja zdalnie sterowanego mechanizmu

W skład projektu wchodzi: ramię przegubowe z miniaturowymi serwomechanizmami, 2 płytki drukowane i moduł ESP32-CAM, który po zaprogramowaniu pracuje jako serwer sieciowy dodatkowo sterujący ruchami ramienia. Mniejsza z płytek drukowanych służy do zamocowania modułu na końcu ramienia oraz do doprowadzenia zasilania i sygnałów do ESP32-CAM. Większa płytka pełni funkcję stabilnej podstawy dla ramienia. Znajdują się na niej gniazda do przyłączenia kabli serwomechanizmów, przewodów sygnałowych z modułu oraz elementy obwodu zasilania.

Budowa i działanie

Schemat ideowy układu zamontowanego na obydwu płytkach pokazany został na **rysunku 1** i **rysunku 2**. Jak widać, nie jest on bardzo skomplikowany. Na schemacie z rysunku 1 pokazano połączenia elementów zamontowanych na małej płytce.

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: 1 kΩ
R2: 30 kΩ
R3: 50 kΩ
R1: 2,2 kΩ

Kondensatory:
C1: 10 µF SMD0805
C2: 100 nF SMD0805
C1: 100 nF SMD0805
C2: 10 µF SMD0805
C3, C4: 100 µF/25 V SMD

Pozostałe:
J1, J2: DG308-2,54/3 złącze śrubowe do druku
2 × listwa gniazd goldpin 1×8
K1: P-5 przekaźnik miniaturowy przewlekany
J2: USB B-Mini gniazdo USB
J5,J6: DG308-2.54/3 złącze śrubowe do druku
J1: DG127-5.0/2 złącze śrubowe do druku
J3, J3: styki kątowe goldpin 1×3
uchwyt przegubowy do kamery FPV
2 × serwomechanizm SG90

Półprzewodniki:
D1: SMBJ5.0A dioda zabezpieczająca szybka
M1: ESP32-CAM
D1: 1N4007 SMD
Q1: BC847 SMD

eprasa.pl d8e2d0846e

Do osadzenia modułu ESP32-CAM służy gniazdo M1 składające się z 2 listw gniazd goldpin o rastrze 2,54 mm. Gniazdo J1 dostarcza do modułu zasilania VCC o napięciu +5 V. Na kolejnych stykach gniazda J2 wyprowadzono:

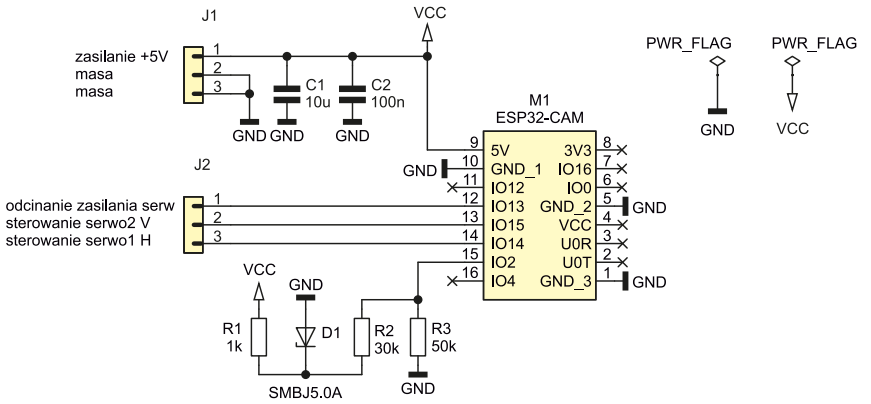
- sygnał załączania przekaźnika doprowadzającego zasilanie do serw – J2-1,
- sygnały PWM sterujące serwomechanizmami ramienia w płaszczyźnie:
  - wertykalnej – J2-2,
  - horyzontalnej – J2-3.

Oporniki R2, R3 tworzą dzielnik obniżający wartość napięcia VCC do poziomu umożliwiającego jego podanie na wejście przetwornika ADC IO2. Szybka dioda D1 dodatkowo zabezpiecza wejście przed przepięciami. Pomiary napięcia VCC będą wykorzystywane w kolejnych wersjach oprogramowania.

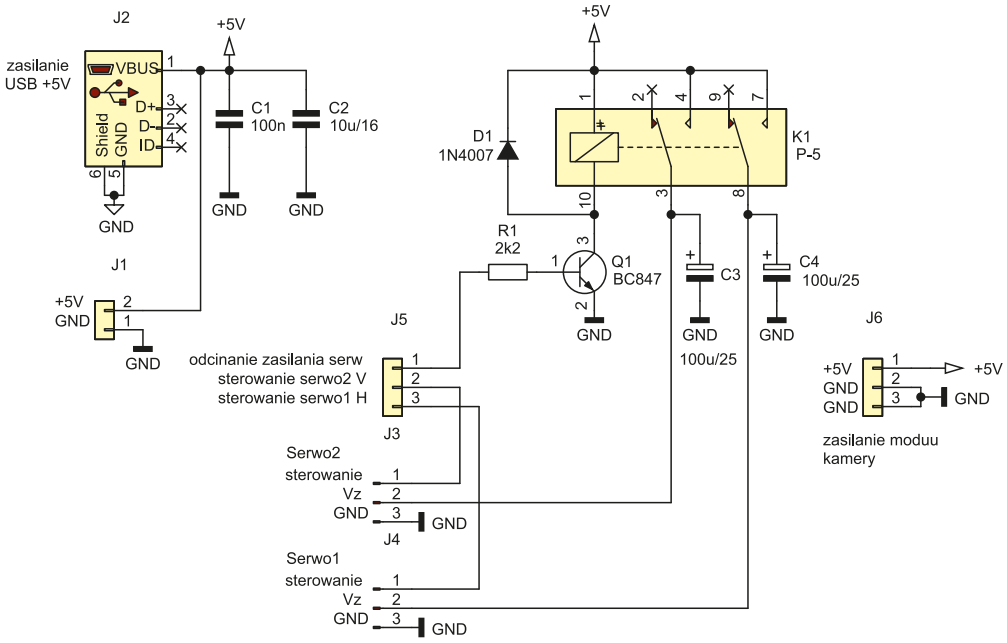
Na schemacie z rysunku 2 pokazane zostały połączenia pomiędzy elementami zamontowanymi na dużej płytce. Napięcie zasilania +5 V z zewnętrznego zasilacza podawane jest na gniazdo J2 typu mini USB. Do gniazda podłączona jest równolegle kostka zaciskowa J1. Zasilanie można podłączyć albo do gniazda, albo do kostki.

Uwaga! Obwody zasilania nie są zabezpieczone przed omyłkową zmianą polaryzacji. Nie należy podłączać zasilania jednocześnie do gniazda i do kostki.

Gniazdo J6 służy do podania zasilania na małą płytkę. Z kolei z małej płytki do gniazda J5 podawane są sygnały PWM sterujące serwami. Z tego samego gniazda, ze złącza J5-1 pobierany jest sygnał załączania przekaźnika K1. Przewody serwomechanizmów należy podłączyć do styków złączy J3 i J4.



Rysunek 1. Schemat układu z modułem ESP32 (mała płytka)



Rysunek 2. Schemat części bazowej (duża płytka)

Montaż i uruchomienie

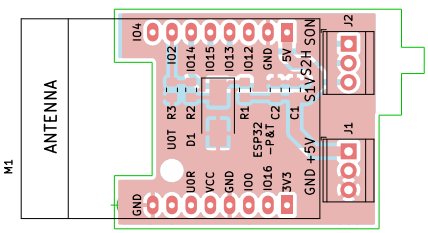
Montaż można rozpocząć od złożenie ruchomego ramienia poruszanego miniaturowymi serwomechanizmami typu SG90 lub MG90. Ułatwieniem może być dokumentacja producenta ramienia [1].

Schematy płytek PCB zostały pokazane na **rysunku 3** i na **rysunku 4**. Końcówki elementów przewlekanych przeznaczonych do montażu na małej płytce należy maksymalnie skrócić i obciąć tak, żeby nie wystawały ponad pola lutownicze. Ułatwia to mocowanie płytki drukowanej, którą przykręca się jednym wkrętem do uchwytu kamery na końcu ramienia. Otwór pod wkręt należy wywiercić w plastikowej płytce uchwytu kamery. Gniazda J1, J2 trzeba wlutować otworami dla kabli na zewnątrz w kierunku brzegu płytki.

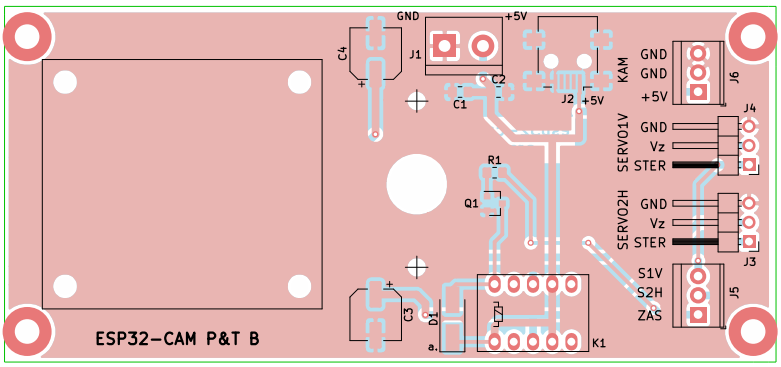
Z kolei na dużej płytce drukowanej śrubowe gniazda zaciskowe J5, J6 należy wlutować otworami na kable do wewnątrz płytki, co ułatwi poprowadzenie przewodów (**fotografia 1**).



Fotografia 1. Mocowanie przewodów do dużej płytki



Rysunek 3. Schemat płytki PCB dla modułu ESP32



Rysunek 4. Schemat płytki PCB bazowej

eprasa.pl d8e2d0846e

To samo dotyczy złączy J3, J4 do podłączania kabli serwomechanizmów. Następnym krokiem jest przykręcenie podstawy ramienia do dużej płytki drukowanej. Posłużą do tego śrubki dołączone do zestawu montażowego ramienia o długości 6 mm i średnicy 2 mm.

Należy poprowadzić przewody łączące styki gniazda J1 małej płytki ze stykami gniazda J6 dużej płytki oraz styki gniazda J2 ze stykami J5. Połączone powinny być ze sobą styki gniazd o tych samych numerach. Do połączeń należy użyć cienkich kabli, które nie będą stawiać dużych oporów w czasie ruchów ramienia. W modelu użyto fragmentów szarego wielożyłowego kabla taśmy komputerowej. Każdy z odcinków powinien mieć długość 15...20 cm. Należy usunąć kilkumilimetrowe końcówki izolacji na krańcach przewodów, a druty żyły zagiąć do tyłu. Następnie zacisnąć żyłę razem z izolacją w otworach kostek gniazd śrubowych. Dzięki temu zapewniony zostanie kontakt elektryczny, a przewód nie będzie się urywał podczas ruchu ramienia.

Przewody można pozostawić swobodnie albo przed zamocowaniem w gniazdach dużej płytki zwinąć w pętle i unieruchomić poprzeczką przykręconą dwoma wkrętami (po obu stronach dużego otworu) do większej płytki. W modelu do mocowania pętli przewodów zastosowano niewykorzystaną belkę orczyka, skróconą i z nawierconymi otworami dla wkrętów mocujących.

Na koniec w rogach większej płytki można przylepić gumowe nóżki, które zapewnią lepszą stabilność całej konstrukcji.

Oprogramowanie

Sterowanie modułem kamery odbywa się za pośrednictwem przeglądarki internetowej i stron generowanych przez sam moduł. Oprogramowanie modułu powstało jako rozszerzenie szkicu dla Arduino [2], który z kolei bazuje na przykładowym opracowaniu producenta procesora ESP32, firmy Espressif [3]. W porównaniu do pierwowzoru wprowadzono kilka zmian: zrezygnowano z funkcji rozpoznawania twarzy, dodano możliwość zdalnej aktualizacji nowych wersji oprogramowania drogą radiową (OTA), wprowadzono możliwość przywracania ustawień kamery, uporządkowano i uproszczono wygląd wyświetlanych w przeglądarce stron generowanych przez moduł ESP32-CAM. No i oczywiście dodano możliwość sterowania serwami użytymi do poruszania ramieniem.

Można wybierać pomiędzy maksymalnie uproszczonym widokiem strony sterującej (**rysunek 5**), rozwinięciem z dostępem zarówno do suwaków, jak i przycisków precyzyjnego ustawiania położenia ramienia z kamerą (**rysunek 6**) albo uzyskać dostęp do wielu nastaw kamery (**rysunek 7**). Przełączanie pomiędzy różnymi widokami strony z elementami sterującymi uzyskuje się po naciśnięciu elementu oznaczonego jako *Menu*.

Klawisz *Get Still* powoduje kolejne wyświetlanie kilku ostatnich stop klatek. Klawisz *Start/Stop Stream* wznawia lub wstrzymuje transmisję strumieniową. Natomiast naciśnięcie przycisku *Full* spowoduje rozwinięcie ekranu z nastawami parametrów pracy kamery. Na samym dole listy nastaw dodano napis *Servo* będący linkiem do podstrony z ustawieniami związanymi z serwomechanizmami. W wersji obecnej można tam zaprogramować pozycję ramienia, którą przyjmie po resecie oraz ograniczenia jego ruchów w pionie i poziomie.

Dodatkową opcją jest możliwość sterowania kamerą i ramieniem za pomocą rozkazów wpisywanych bezpośrednio w pasku przeglądarki i przesyłanych w trybie *GET*. Pozwala to tworzyć skrypty i zautomatyzować proces sterowania. Listę rozkazów można znaleźć tutaj [4].

Pliki źródłowe oprogramowania modułu dla środowiska Arduino można pobrać tu [5].

Przed zaprogramowaniem modułu zaleca się przeprowadzić kompilację z własnymi ustawieniami predefiniowanymi dla wybranego typu modułu. Dalszy opis dotyczyć będzie ESP32-CAM AI-THINKER z kontrolerem w wersji ESP32-S z dostępem do dodatkowej zamontowanej pamięci PSRAM.

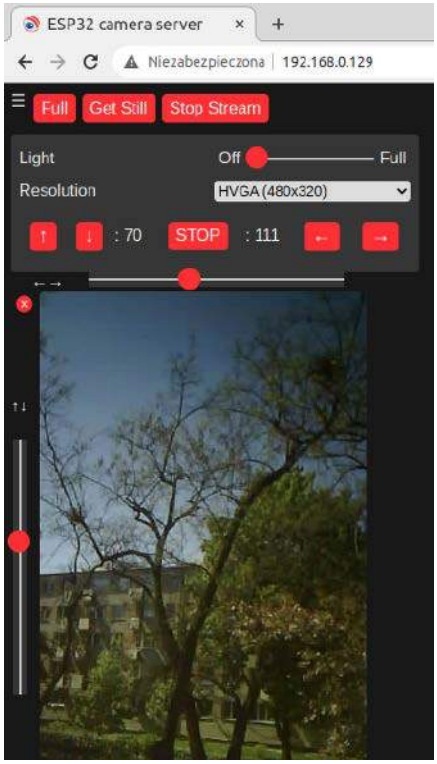
Żeby móc przeprowadzić kompilację, należy w środowisku Arduino mieć zainstalowaną obsługę modułów z procesorem ESP32. Jeżeli jeszcze tego nie zrobiłeś, dodaj dodatkowy wpis w polu

File → Preferences → Additional Board Manager URLs:
https://raw.githubusercontent.com/espressif/arduino-esp32/gh-pages/package_esp32_index.json

Następnie przejdź do Tools → Boards → ESP32 Arduino i wybierz ESP32 Dev Module. Dla płytki ustaw parametry:



Rysunek 5. Uproszczony wygląd pulpitu sterującego



Rysunek 6. Pulpit z elementami sterującymi ruchem ramienia



Rysunek 7. Ustawianie parametrów kamery

eprasa.pl d8e2d0846e

- CPU Frequency: 240 MHz
- Flash Mode: QIO
- Flash Size: 4 MB
- Partition Scheme: Minimal SPIFFS (1.9 MB APP with OTA/190 KB SPIFFS)
- PSRAM: Enabled

Wybierz w ustawieniach port USB, do którego podłączony jest interfejs USB-Rx/Tx za pomocą którego zaprogramujesz moduł ESP32-CAM. Pamiętaj, żeby podłączyć:

- wyjście interfejsu Tx z UOR (GPIO3) modułu,
- wejście interfejsu Rx z UOT (GPIO1) modułu,
- zewrzyj wyprowadzenie GPIO0 modułu z GND,
- doprowadź do wejścia 5 V napięcie zasilania +5 V o wydajności prądowej zasilacza co najmniej 500 mA.

Pamiętaj, żeby wyprowadzenia Tx i Rx interfejsu pracowały z sygnałami o maksymalnych poziomach 3,3 V. To ważne gdyż praca z wyższymi poziomami może uszkodzić moduł.

Zanim przejdziesz do kompilacji, edytuj plik *myconfig.h* lub utwórz nowy o takiej nazwie, korzystając z szablonu *myconfig.sample.h*. Jest to plik z predefiniowanymi ustawieniami użytkownika. Uzupełnij strukturę `struct station stationList[]`, wpisując nazwę sieci (ssid) i hasło dostępu (password). Można podać 2 pary parametrów dostępu do jednej sieci lub więcej.

Po włączeniu zasilania moduł zacznie szukać sieci o nazwie z pozycji 2 lub kolejnych. Jeżeli żadnej nie znajdzie i nie będzie się mógł zalogować, automatycznie przejdzie w tryb pracy punktu dostępowego i utworzy własną sieć o nazwie i haśle z pierwszego miejsca listy. Żeby tak się stało, należy odkomentować pozycję

```
#define WIFI_AP_ENABLE
```

Możesz także zmienić domyślny adres IP punktu dostępowego, edytując pozycję

```
#define AP_ADDRESS 192,168,4,1
```

(zwróć uwagę, że kolejne pozycje adresu IP w tej definicji są oddzielone znakiem przecinka).

Używając modułu AI-THINKER, pamiętaj, aby linia

```
#define CAMERA_MODEL_AI_THINKER
```

pozostała odkomentowana.

Prawdopodobnie przed kompilacją będziesz musiał w zwykły dla Arduino sposób doinstalować niektóre z wymienionych poniżej bibliotek:

AsyncTCP
ESPAsyncWebServer
AsyncElegantOTA
uTimerLib

W przypadku gdy moduł ESP32-CAM zalogował się do sieci, o jego numer IP w jej zasięgu należy odpytywać router zarządzający siecią. Po pierwszym zaprogramowaniu modułu kolejne aktualizacje oprogramowania można już przeprowadzać zdalnie, drogą radiową korzystając z trybu OTA. Najpierw należy odpowiednio skompilować źródła oprogramowania, korzystając z opcji Sketch → Export compilet binary. Po zakończeniu kompilacji w pasku przeglądarki wpisujemy adres IP modułu uzupełniony o numer portu 83 i rozkaz update np. tak:

```
http://192.168.0.129:83/update
```

Gdy zgłosi się strona Elegant OTA, należy wybrać opcję Firmware i wskazać lokalizację wygenerowanego podczas kompilacji pliku binarnego (jeżeli korzystamy ze szkicu Arduino o nazwie *esp32-cam-pan-tilt.ino*, plik będzie się nazywał *esp32-cam-pan-tilt.ino.esp32.bin*). Gdy wyświetli się informacja o sukcesie zdalnego zapisu, należy nacisnąć przycisk *Back* i w pasku przeglądarki wpisać IP modułu bez numeru portu.

Bilans prądów

Moduł wraz z ramieniem zależnie od trybu pracy mogą pobierać różny, czasem znacząco wyższy prąd. Poniżej znajdują się wartości pomiarów dla różnych sytuacji przy zasilaniu napięciem 5 V:

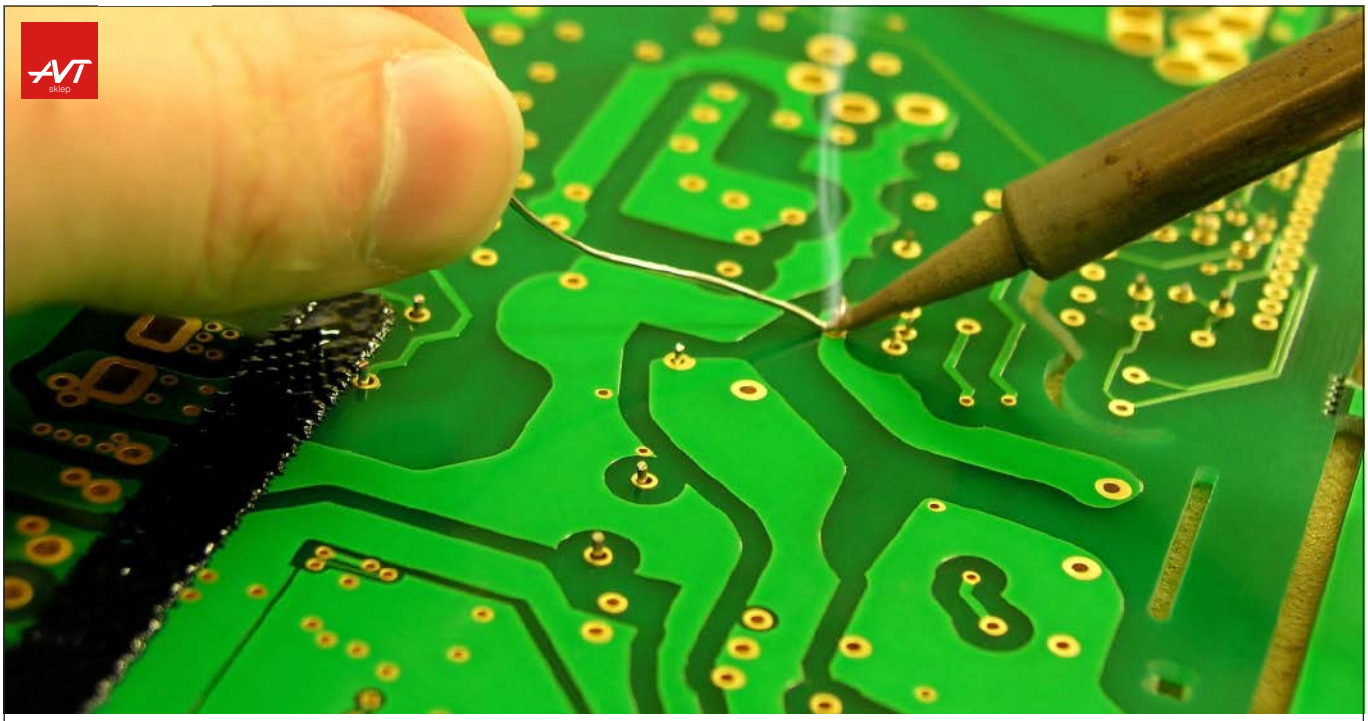
- serwa w trybie oczekiwania: 6 mA,
- 1 serwo stabilne 2 pracuje: 12 mA,
- moduł transmituje strumień obrazów: ok. 180 mA,
- wstrzymana transmisja obrazu: 170 mA,
- transmisja obrazu, lampa LED włączona na max.: 330 mA.

Z pomiarów wynika, że zewnętrzny zasilacz powinien dostarczać stabilnego napięcia zasilania +5 V przy wydajności co najmniej 500 mA.

Ryszard Szymaniak
biuro@ars.info.pl

[1] https://bit.ly/3HIN7oC
[2] https://bit.ly/3yclMrv
[3] https://bit.ly/3xR4Bux
[4] https://bit.ly/3xNOFZR
[5] https://bit.ly/3ybyy9M

REKLAMA



eprasa.pl d8e2d0846e

Podstawowe parametry:

- moduł nadawczy jest zasilany baterią CR2032 i podłączamy do niego wyłącznik oświetlenia koniecznie tzw. dzwonkowy, czyli chwilowy,
- moduł odbiorczy steruje źródłem światła 230 V i jest zasilany z tego napięcia,
- maksymalny prąd styków: 5 A, 250 VAC,
- moduł nadawczy zaprojektowany na okrągłej płytce o średnicy zaledwie 40 mm,
- moduł odbiorczy zaprojektowany na okrągłej płytce o średnicy 60 mm,
- moduły są powiązane ze sobą za pomocą ustawianego adresu, liczba adresów: 32,
- częstotliwość pracy transceivera: 868 MHz,
- zasięg w terenie otwartym: ok. 100 m.

W ofercie AVT*

AVT5942

* 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.

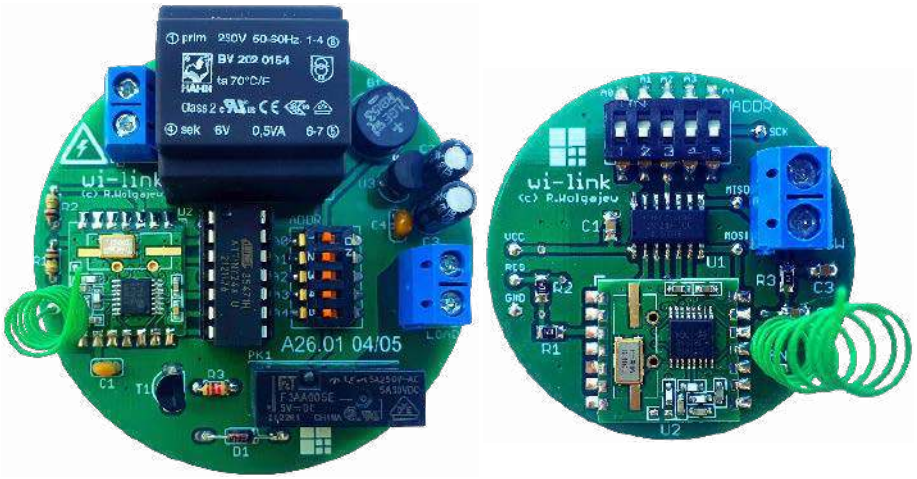
W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt Via e-mail: kity@avt.pl.

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

AVT5855	Bezprzewodowy system powiadamiania z informacją zwrotną (EP 4/2021)
AVT5731	Radiowy sterownik serwomechanizmów (EP 12/2019)
AVT5635	Bezprzewodowy, energooszczędny system pomiaru temperatury (EP 8-9/2018)
AVT5623	4-kanałowy termometr z interfejsem Wi-Fi (EP 4/2018)
AVT5530	Regulator natężenia oświetlenia z Wi-Fi (EdW 10/2017)
AVT5590	Zdalny włącznik radiowy (EP 6/2017)
AVT5566	THPStation – rozbudowany termometr z Wi-Fi (EP 1/2017)
AVT5535	Termometr 2-kanałowy z interfejsem Bluetooth (EP 4/2016)
AVT5518	Termometr bezprzewodowy (EP 11/2015)
AVT1863	Termometr z interfejsem Bluetooth (EP 8/2015)
AVT5455	Zdalny włącznik dwukanałowy (EP 6/2014)
AVT5290	3-kanałowa aparatura do zdalnego sterowania modeli (EP 5/2011)
AVT1540	Zdalny miernik napięcia (EP 9/2009)
AVT1468	Lokalne radiopowiadomienie (EP 7/2008)

Bezprzewodowy wyłącznik wi-link

Projekt ten, jak to często bywa, powstał z potrzeby chwili. Otóż okazało się, że w moim domu wyłącznik oświetlenia został zamontowany w nieodpowiednim miejscu, zaś wszystkie prace wykończeniowe zostały już dawno zakończone. Nie było więc mowy o kuciu ścian i modyfikacji bieżącej instalacji elektrycznej. Po krótkim namyśle i na bazie swoich doświadczeń z systemami bezprzewodowego sterowania i akwizycji postanowiłem zbudować bezprzewodowy link sterujący, który nazwałem wi-link.



Zależało mi na tym, by nadajnik tego systemu pracował na zasilaniu bateryjnym i charakteryzował się minimalnym poborem mocy zapewniającym długą pracę urządzenia. W jednym z moich poprzednich projektów – energooszczędnym systemie pomiaru temperatury z EP 8/2018 i EP 9/2018 zdobyłem duże doświadczenie w zakresie obsługi bardzo ciekawych modułów RFM-12B pracujących w paśmie 433, 868 lub 915 MHz (w zależności od wersji). Są one przedstawicielami całej rodziny modułów radiowych produkowanych przez firmę HopeRF. Dlatego zdecydowałem się na ich zastosowanie również w tym projekcie.

Moduły, o których mowa, stanowią kompletne rozwiązanie toru radiowego nadawczo-odbiorczego, dostarczając wygodny interfejs komunikacyjny SPI pozwalający na przeprowadzenie pełnej konfiguracji elementu w ramach dostępnej szerokiej palety ustawień i sterowanie komunikacją radiową. W tym miejscu nie będę powtarzał informacji dotyczących specyfikacji i obsługi tych peryferiów, gdyż takowe zamieściłem w ramach wspomnianych wcześniej artykułów, w związku z czym zainteresowanych tymi szczegółami Czytelników odsyłam do pozycji powyżej.

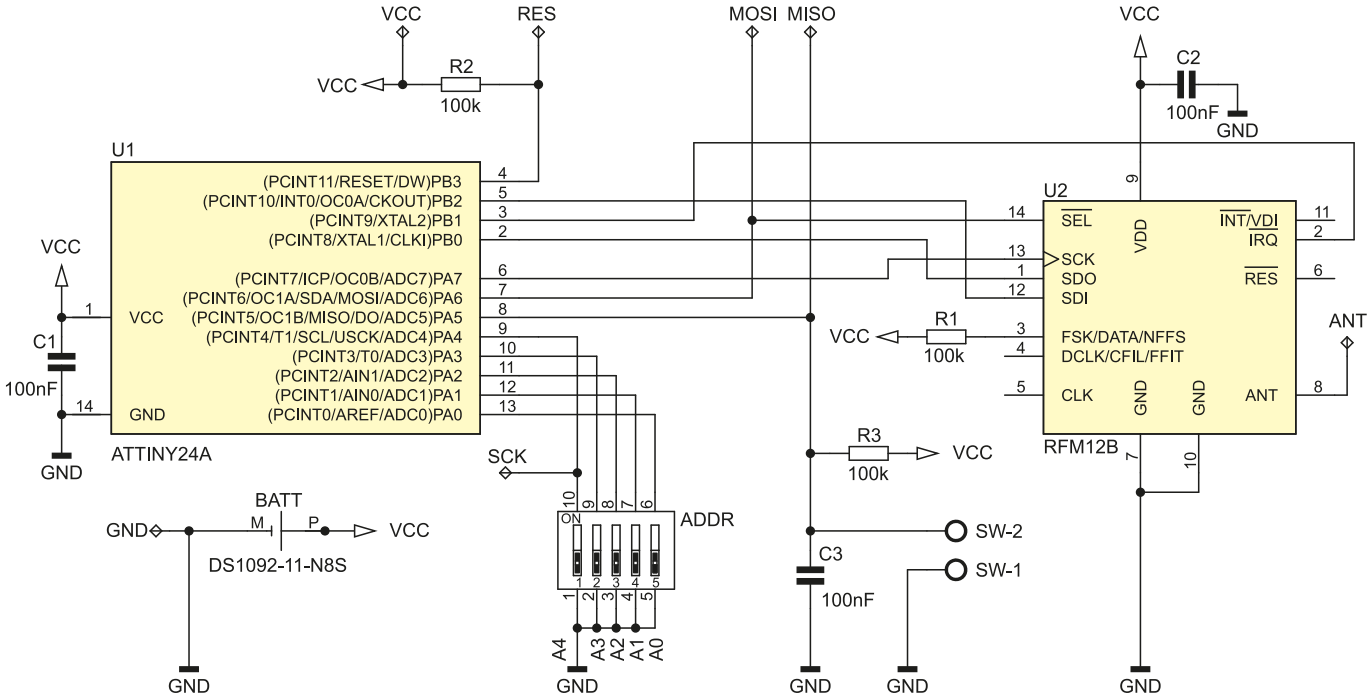
Specyfikacja systemu

Zanim przejdę do schematów urządzenia, kilka słów na temat specyfikacji całego systemu. Tak jak wspomniano, system wi-link składa się z dwóch modułów komunikacyjnych: nadawczego (wi-link-tx), do którego podłączamy obsługiwany wyłącznik oświetlenia (koniecznie tzw. dzwonkowy, czyli chwilowy) i odbiorczego (wi-link-rx), który steruje źródłem światła 230 V (zasilany sieciowo). Moduł nadawczy pracuje na zasilaniu bateryjnym w postaci pastylki CR2032 i większość swojego czasu spędza w uśpieniu (dla ograniczenia poboru mocy), czekając na zmianę stanu obsługiwanego wyłącznika. Wspomnianej zmianie stanu towarzyszy wybudzenie układu (mikrokontrolera i modułu RF), wysłanie komunikatu do adresowalnego odbiornika i ponowne uśpienie urządzenia. W ten prosty sposób ograniczamy do minimum pobór energii ze źródła zasilania, pozwalając na wieloletnią pracę urządzenia.

Uważny Czytelnik dostrzeże pewne ograniczenia i sformułuje związane z nimi zapytania. Otóż bateria CR2032 przeznaczona jest do zasilania urządzeń (3 V) cechujących się bardzo niskim poborem prądu rzędu ułamków mA do pojedynczych mA. Nasz układ po wybudzeniu aktywuje nadajnik modułu RFM-12B, który w czasie transmisji pobiera prąd rzędu 23 mA, co stanowi bardzo duże obciążenie dla niewielkiej baterii zasilającej.

eprasa.pl d8e2d0846e

Uwaga! Na płytce modułu odbiornika zamontowano kompletny zasilacz łącznie z transformatorem zasilanym napięciem sieciowym 230 V AC oraz zamontowano elementy będące na potencjale tegoż napięcia. Istnieje niebezpieczeństwo porażenia prądem elektrycznym o napięciu 230 V AC, co może stanowić zagrożenie dla życia i zdrowia użytkowników. W związku z tym montaż układu powierzyć należy osobie posiadającej uprawnienia elektryczne w zakresie eksploatacji urządzeń o napięciu do 1 kV oraz niezbędną wiedzę i doświadczenie.



Rysunek 1. Schemat ideowy nadajnika systemu wi-link

Na szczęście transmisja trwa około 10 ms, w związku z czym pobrana energia jest bardzo mała, niemniej jednak takie obciążenie skromnej baterii ma pewne reperkusje. Po pierwsze z czasem spada jej znamionowa pojemność, napięcie znamionowe oraz wzrasta rezystancja wewnętrzna. Spadek pojemności nie jest jakiś drastycznie wielki, ale można go szacować na 25%, przy spadku napięcia baterii do 2,2 V. Zagadnienie jest naprawdę bardzo ciekawe, w związku z czym zachęcam ambitnych Czytelników do zgłębienia tematu. Warto zajrzeć na stronę https://bit.ly/3Ol42zY, gdzie inżynierowie firmy Energizer i Nordic Semiconductor bardzo drobiazgowo omówili ten interesujący temat w dokumencie o nazwie *High pulse drain impact on CR2032 coin cell battery capacity*.

Na szczęście główne podzespoły nadajnika pracują już przy niewielkich napięciach zasilających (moduł RF: 2,2 V, mikrokontroler: 1,8 V) i nawet przy 25% spadku pojemności tego typu aplikacja powinna zapewnić wieloletnią pracę urządzenia. Aby ocenić, jak długo nadajnik będzie pracował na pojedynczej baterii CR2032, należy zastanowić się, z jakich etapów składa się jego praca i jakie są wtedy prądy pobierane ze źródła napięcia zasilającego. Przystępując do obliczeń, przyjąłem następujący podział cyklu pracy urządzenia:

- etap trybu power-down (uśpienia), który trwa z dużym przybliżeniem 24 h/dobę i podczas którego pobierany jest prąd rzędu 0,2 µA;
- etap transmisji przez moduł RFM-12B (po wybudzeniu), który trwa średnio 10 ms i podczas którego pobierany jest prąd rzędu 22,6 mA.

Założono ponadto, że wybudzanie nadajnika, a więc zmiana stanu podłączonego wyłącznika instalacyjnego następuje 15 razy na dobę. Przy tych założeniach otrzymano teoretyczny, ponad 62-letni czas pracy na pojedynczej baterii CR2032 (o zredukowanej o 25% pojemności), co wydaje się wartością niespotykaną i grubo przekraczającą czas życia samej baterii.

Budowa i działanie

W ramach układu nadajnika zaprojektowano bardzo prosty system mikroprocesorowy (**rysunek 1**), którego sercem jest niewielki mikrokontroler ATtiny24A (niskonapięciowy) taktowany wewnętrznym oscylatorem 1 MHz. Steruje on pracą modułu transceivera dzięki realizacji programowej obsługi interfejsu SPI oraz obsłudze przerwania zewnętrznego Pin Change Interrupt 1 (wyprowadzenie PCINT9) odpowiedzialnego za mechanizm wysyłania danych. Ponadto mikrokontroler obsługuje przełącznik DIP-SWITCH, za pomocą którego ustawiamy adres nadajnika, który powinien się pokrywać z adresem powiązanego odbiornika oraz wyłącznik instalacyjny podłączany do złącza SW (koniecznie tzw. dzwonkowy, czyli chwilowy), którego obsługa realizowana jest z użyciem przerwania zewnętrznego Pin Change Interrupt 0 (wyprowadzenie PCINT5) inicjującego wybudzanie mikrokontrolera (i modułu RF).

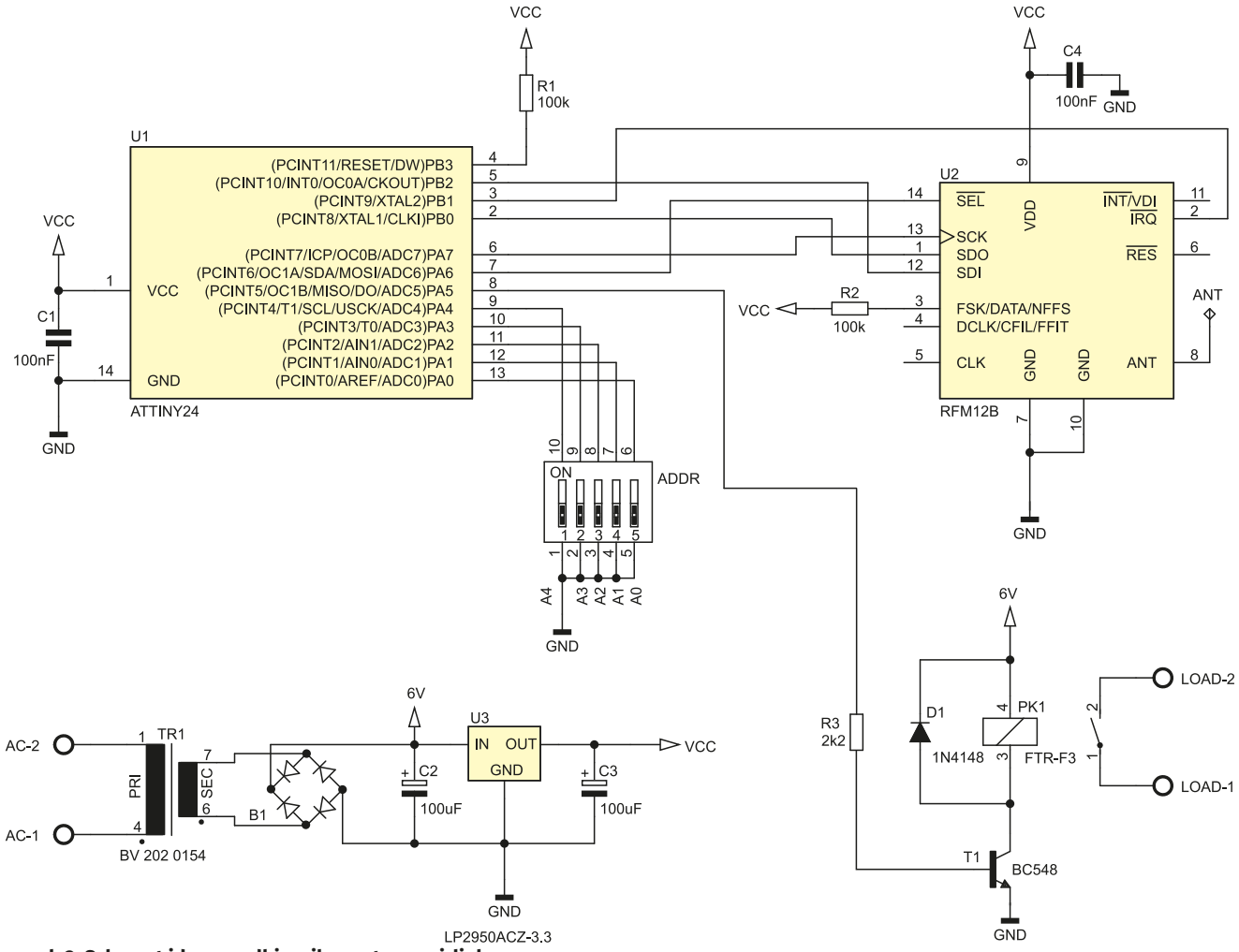
Zgodnie z tym, co napisano wcześniej, nasz nadajnik powinien charakteryzować się minimalnym zapotrzebowaniem na energię elektryczną, jako że jest zasilany niewielką baterią CR2032. W związku z tym zastosowano poniższe mechanizmy programowo-sprzętowe:

- wyłączono wszystkie nieużywane peryferia mikrokontrolera (komparator analogowy, TIMER1, TIMER0, USI, ADC);
- wprowadzono mikrokontroler w tryb niskiego poboru mocy Power-down, z którego wybudzany jest wyłącznie poprzez zmianę stanu wyłącznika SW. Wybudzony mikrokontroler inicjuje transmisję danych, po czym przechodzi ponownie w tryb Power-down;
- nieużywany transceiver RFM-12B wprowadzany jest każdorazowo w tryb niskiego poboru mocy.

Na **listingu 1** zaprezentowano kompletną funkcję *main* programu obsługi aplikacji nadajnika systemu wi-link. Prawda że prosta? Dzięki takim mechanizmom otrzymano wspomniane wcześniej wartości zapotrzebowania na energię dla całego urządzenia.

Tyle w kwestii nadajnika, przejdźmy do schematu ideowego odbiornika, który pokazano na **rysunku 2**. Tak jak poprzednio, zaprojektowano bardzo prosty system mikroprocesorowy, którego sercem jest ten sam niewielki mikrokontroler ATtiny24

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 2. Schemat ideowy odbiornika systemu wi-link

Ustawienia Fuse-bitów obu modułów:
CKSEL3...0: 0010
SUT1...0: 10
CKDIV8: 0
CKOUT: 1

sterujący pracą modułu transceivera dzięki realizacji programowej obsługi interfejsu SPI oraz obsłudze przerwania zewnętrznego Pin Change Interrupt 1 (wyprowadzenie PCINT9) odpowiedzialnego za mechanizm odbierania danych. Ponadto mikrokontroler obsługuje przełącznik DIP-SWITCH, za pomocą którego ustawiamy adres odbiornika oraz przekaźnik REL, który steruje pracą podłączonego źródła światła (lub innego odbiornika).

W odróżnieniu od układu nadajnika, w ramach aplikacji odbiornika zaprojektowano niewielki, kompletny układ zasilający przeznaczony do podłączenia do sieci 230 V. Było to niezbędne z uwagi na fakt, iż moduł odbiornika steruje pracą przekaźnika, który w czasie załączenia pobiera prąd rzędu 50 mA. Pomimo to sumaryczny pobór mocy urządzenia w czasie załączenia przekaźnika nie przekracza 0,25 W.

Co oczywiste, aby komplet urządzeń typu nadajnik-odbiornik pracował ze sobą, stanowiąc bezprzewodowy link, oba moduły muszą mieć skonfigurowany ten sam adres (przełączniki DIP-SWITCH). Zastosowany rodzaj przełącznika umożliwia implementację 32 kompletów typu nadajnik-odbiornik/odbiorniki, przy czym jeden nadajnik sterować może pracą kilku odbiorników.

Na **listingu 2** zaprezentowano kompletną funkcję main programu obsługi aplikacji odbiornika systemu wi-link. Banalna, nieprawdaż?

Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy nadajnika pokazano na **rysunku 3**. Jak widać, zaprojektowano bardzo niewielki obwód drukowany (średnica jedynie 40 mm) z przewagą elementów SMD, który w zamyśle przeznaczony jest do umieszczenia w puszce połączeniowej obsługiwanego wyłącznika instalacyjnego.

Montaż obwodu drukowanego nadajnika rozpoczynamy od warstwy TOP, na której przylutowujemy mikrokontroler, następnie lutujemy moduł RFM-12B, dalej elementy bierne a na końcu elementy mechaniczne. Potem

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):

Moduł nadajnika
Rezystory: (SMD0805)
R1, R2, R3: 100 kΩ

Kondensatory: (obudowy SMD0805)
C1, C2, C3: 100 nF

Półprzewodniki:
U1: ATtiny24A (SOIC14)
U2: RFM12B-866MHz (SMD)

Pozostałe:
SW: złącze śrubowe AK500/2 (raster 0,1")
BATT: koszyczek baterii CR2032 typu CONNFLY
DS1092-11-N8S
ADDR: dip-switch SMD 5-polowy typu A6S-5101-H OMRON lub podobny

Moduł odbiornika
Rezystory: (obudowy miniaturowe 1/8 W, raster 0,2")
R1, R2: 100 kΩ
R3: 2,2 kΩ

Półprzewodniki:
U1: ATtiny24 (DIL14)
U2: RFM12B-866MHz (SMD)
U3: LP2950ACZ-3.3 (TO92)
T1: BC548 (TO92)
B1: mostek prostowniczy 1 A (raster 0,2")
D1: 1N4148 (DO35)

Kondensatory:
C1, C4: 100 nF (raster 0,1")
C2, C3: 100 µF/16 V (raster 0,1")

Pozostałe:
TR1: transformator do druku typu BV 202 0154 (6 V, 0,5 VA)
PK1: przekaźnik FTR-F3AA005E-HA FUJITSU
AC, LOAD: złącze śrubowe AK500/2 (raster 0,1")
ADDR: przełącznik DIP-SWITCH 5-polowy THT typu A6T-5104 lub podobny

eprasa.pl d8e2d0846e

Listing 1 Funkcja main programu obsługi aplikacji nadajnika systemu wi-link

```
int main(void){
    char Data, Address, Switch = 0;

    //Podciągnięcie portu adresu do VCC
    ADDRESS_PORT |= ((1<<PA4)|(1<<PA3)|(1<<PA2)|(1<<PA1)|(1<<PA0));
    _delay_ms(1);
    //Odczytanie adresu urządzenia
    Address = READ_ADDRESS;
    //Wyłączenie podciągania portu adresu do VCC z uwagi na redukcję poboru mocy
    ADDRESS_PORT &= ~((1<<PA4)|(1<<PA3)|(1<<PA2)|(1<<PA1)|(1<<PA0));
    //Wyłączenie komparatora analogowego dla zmniejszenia poboru mocy
    ACSR = (1<<ACD);
    //Redukcja poboru mocy przez wyłączenie modułów (lub ich zegarów):
    //TIMER1, TIMER0, USI, ADC
    PRR = (1<<PRTIM1)|(1<<PRTIM0)|(1<<PRUSI)|(1<<PRADC);
    //Konfiguracja i uruchomienie przerwania zewnętrznego obsługującego
    //switch SW wybudzający procesor
    GIMSK |= (1<<PCIE0);  //Uruchomienie przerwania od switcha SW
    PCMSK0 = (1<<PA5);  //Zmiana stanu na PA5 generuje przerwanie
    //Uruchomienie i konfiguracja RFM12B, w tym interfejsu SPI
    RFM12bInit(0xFF);
    //Wprowadzmy moduł RFM12B w tryb powerDown
    RFM12bPowerDown();

    while(1){
        cli();
        set_sleep_mode(SLEEP_MODE_PWR_DOWN);
        sleep_enable();
        sei();
        sleep_cpu();
        //-----------------------------------------------------------------
        //W tym miejscu śpimy i czekamy na wybudzenie
        //przez zmianę stanu przycisku SW
        //-----------------------------------------------------------------
        sleep_disable();

        _delay_ms(40);

        //Tylko dla załączonego wyłącznika SW
        if(!READ_SWITCH){
            if(Switch) Data = 0b10100000; else Data = 0b10101111;
            Switch ^= 0x01;
            //Wychodzimy z trybu powerDown modułu RFM12b
            RFM12bPowerUp();

            //Uruchomienie przerwania odpowiedzialnego za nadawanie
            GIFR |= (1<<PCIF1);
            GIMSK |= (1<<PCIE1);

            //Wysyłamy ramkę danych do odbiornika
            RFM12bStartTx(&Data, 1, Address);
            //Czekamy na zakończenie transmisji
            while(RFM12B.Status != PACKET_SENT);

            //Wyłączenie przerwania odpowiedzialnego za nadawanie
            GIMSK &= ~(1<<PCIE1);

            //Wprowadzmy moduł RFM12B w tryb powerDown
            RFM12bPowerDown();
        }

        //Uruchomienie przerwania od switcha SW
        GIFR |= (1<<PCIF0);
        GIMSK |= (1<<PCIE0);
    }
}
```

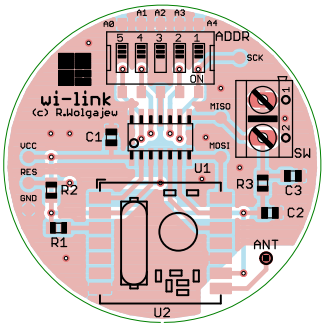
przechodzimy na warstwę BOTTOM, gdzie przylutowujemy koszyczek baterii zasilającej. Do tak przygotowanej płytki przylutowujemy antenę nadawczą w postaci kawałka przewodu o długości około 17 cm (może być odpowiednio zwinięty). Wygląd zmontowanego nadajnika od strony warstwy TOP pokazano na fotografii tytułowej.

Przejdźmy zatem do schematu montażowego odbiornika, który pokazano na **rysunku 4**. Tym razem zaprojektowano nieco większy obwód drukowany

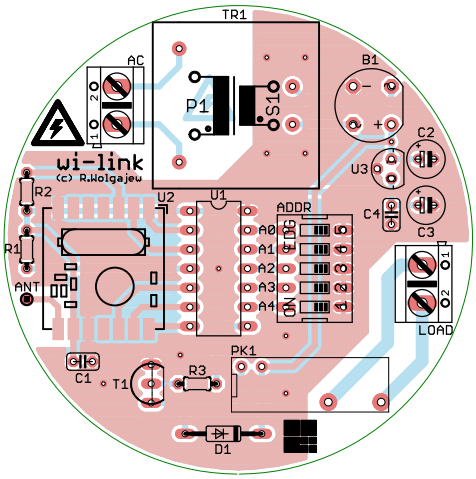
Listing 2. Funkcja main programu obsługi aplikacji odbiornika systemu wi-link

```
int main(void){
    //Podciągnięcie portu adresu do VCC
    ADDRESS_PORT |= (1<<PA4)|(1<<PA3)|(1<<PA2)|(1<<PA1)|(1<<PA0);
    //Wyłączenie komparatora analogowego dla zmniejszenia poboru mocy
    ACSR = (1<<ACD);
    //Redukcja poboru mocy przez wyłączenie modułów (lub ich zegarów):
    //TIMER1, USI, ADC
    PRR = (1<<PRTIM1)|(1<<PRUSI)|(1<<PRADC);
    //Port przekaźnika, jako wyjściowy i wyłączony
    RELAY_PORT_AS_OUTPUT;
    //Inicjalizacja RFM12B w trybie odbiornika
    RFM12bInit(READ_ADDRESS);

    sei();
    while(1){
        //Odebrano poprawną ramkę danych: Size|Payload|CRC8
        if(dataReady){
            dataReady = 0;
            if(Payload == COMMAND_ON) RELAY_ON;
            else if(Payload == COMMAND_OFF) RELAY_OFF;
        }
    }
}
```



Rysunek 3. Schemat płytki PCB nadajnika systemu wi-link



Rysunek 4. Schemat płytki PCB odbiornika systemu wi-link

(o średnicy 60 mm), który integruje w sobie kompletny, transformatorowy zasilacz sieciowy i zbudowany jest w zdecydowanej większości z elementów przewlekanych. Miejscem podłączenia tego modułu będzie zazwyczaj połączeniowa puszka instalacyjna o nieco większej średnicy aniżeli puszka wyłącznika instalacyjnego, przez co możliwa stała się integracja niezbędnego, z uwagi na obecność przekaźnika, zasilacza.

Montaż obwodu drukowanego odbiornika rozpoczynamy od przylutowania modułu RFM-12B, następnie lutujemy pozostałe elementy półprzewodnikowe, dalej elementy bierne, zaś na samym końcu elementy mechaniczne oraz transformator do druku. Do tak przygotowanej płytki przylutowujemy antenę odbiorczą w postaci kawałka przewodu o długości około 17 cm (może być odpowiednio zwinięty). Wygląd zmontowanego odbiornika od strony warstwy TOP pokazano na fotografii tytułowej.

Warto zaznaczyć, że zarówno w przypadku nadajnika, jak i odbiornika odczytanie adresu urządzenia odbywa się wyłącznie podczas włączania zasilania, więc jeśli zmieniliśmy adres urządzenia za pomocą przełącznika DIP-switch, należy wyłączyć i ponownie włączyć zasilanie modułu.

Robert Wołgajew, EP

eprasa.pl d8e2d0846e

Podstawowe parametry:

- konstrukcja wykonana bez zastosowania mikrokontrolera (układu programowanego)
- podczas pracy pobiera prąd średni ok. 800 µA,
- zastosowano wyświetlacz typu reflective, który nie wymaga podświetlania,
- cyfry wyświetlacza są bardzo duże i są czytelne nawet przy słabym oświetleniu w środku nocy.

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

AVT5920	Licznik czasu pracy z wyświetlaczem LCD (EP 1/2022)
AVT5906	Clock (EP 12/2021)
–––	Zegar na rękę (EP 12/2020)
–––	µClock (EP 9/2020)
AVT5735	Estetyczny zegar (EP 1/2020)
AVT5677	Zegar ClockRDS (EP 6/2019)
AVT5640	Rozbudowany zegar EP 7/2018)
AVT5522	Zegar ustawiany za pomocą GPS (EP 9/2015)
AVT3132	Prosty zegar LED (EdW 7/2015)
AVT1832	Zegar z budzikiem (EP 10/2014)
AVT5377	Mega stoper – wielofunkcyjny licznik, nie tylko czasu (EP 12/2012)
AVT513	Zegar ze stuletnim kalendarzem i termometrem (EP 10–11/2011)
AVT5281	„Inteligentny" zegar z wyświetlaczem LED (EP 3/2011)
AVT5273	Zegar cyfrowy z analogowym sekundnikiem (EP 1/2011)
AVT2632	Gigantyczny zegar (EdW 5/2002)
AVT5022	Programowany zegar z DCF77 (EP 6–7/2001)
AVT5002	Zegar cyfrowy z wyświetlaczem analogowym (EP 3/2001)

* 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.



Ogromny zegar LCD bez procesora

Czasami robimy jakieś projekty tylko po to, by się przy tym bawić i nauczyć czegoś ciekawego. Tak właśnie powstał zegar z wielkim wyświetlaczem LCD. Choć nie jest tańszy od gotowego rozwiązania, to jego projektowanie dało dużo nowego doświadczenia, a finalna konstrukcja doskonale się prezentuje.

Gotowy zegar został pokazany na fotografii tytułowej, dla porównania na **fotografii 1** widoczny jest też prototyp zmontowany na pięciu płytkach stykowych, zasilanych z power banku. Projekt rozpoczął się od promocji na cyfrowe wyświetlacze LCD w jednym z polskich sklepów z elementami elektronicznymi. Udało mi się kupić 6-cyfrowy wyświetlacz DE 337-RU-30 firmy Display Elektronik. Wyświetlacz ma konstrukcję „tafli szkła" z metalowymi wyprowadzeniami połączonymi z każdym aktywnym segmentem na matrycy. Nie zawiera żadnego wbudowanego kontrolera, na szczęście samodzielne wykonanie odpowiedniego układu sterującego nie jest skomplikowane.

Filmu prezentujący zmontowany zegar: https://bit.ly/3bzvE5K

Budowa i działanie

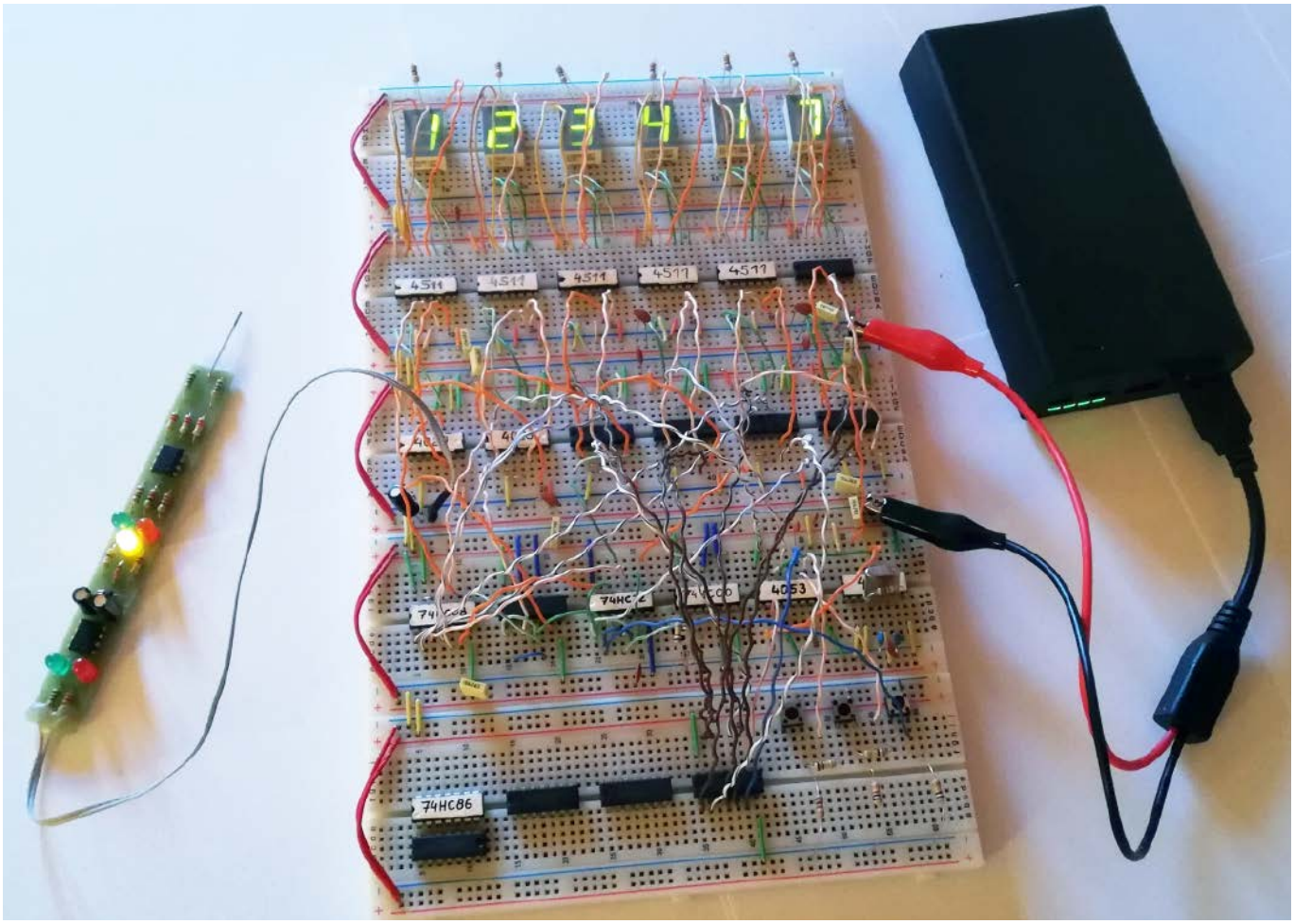
Schemat zegara został pokazany na **rysunku 1**. Każdy segment wyświetlacza, a jest ich 49, jest wyprowadzony na osobny pin. Ponadto wyprowadzone są piny sterujące elektrodą wspólną, nazywaną backplane, która stanowi podłoże dla wszystkich segmentów.

Sterowanie wyświetlaczem LCD różni się od sterowania wyświetlaczami LED. Na elektrodę wspólną trzeba dostarczyć sygnał prostokątny o częstotliwości kilkudziesięciu herców, wypełnieniu 50% i amplitudzie 5 V. Aby zaczernić wybrany segment, trzeba dostarczyć do odpowiadającego mu pinu, taki sam sygnał jak do backplane, lecz zanegowany. Aby segment był niewidoczny, należy mu dostarczyć taki sam sygnał jak do backplane, bez negacji. Natomiast poważnym błędem jest sterowanie wyświetlaczami LCD napięciem stałym i prowadzi to do szybkiego uszkodzenia segmentów.

Bufor wyświetlacza

Najprostszą metodą dostarczenia odpowiednich sygnałów do wyświetlacza LCD jest zastosowanie bramek XOR typu 74HC86. Uproszczony schemat takiego bufora został pokazany na **rysunku 2**. Każda bramka XOR ma dwa wejścia. Oznaczmy je A i B. Wszystkie wejścia B połączone są ze sobą i sterowane sygnałem prostokątnym o częstotliwości 16 Hz, pochodzącym z generatora. Ten sam sygnał doprowadzony jest do elektrody wspólnej backplane. Wejścia A podłączone są do pinów sterujących segmentami, wychodzącymi ze sterowników 4511. Jeżeli do wejścia A dostarczymy stan niski, wówczas bramka XOR przepuszcza sygnał sterujący bez odwracania. Powoduje to, że segment, podłączony do wyjścia bramki, jest niewidoczny.

eprasa.pl d8e2d0846e



Fotografia 1. Prototyp urządzenia zmontowany na płytkach stykowych

Jeżeli natomiast do wejścia A dostarczymy stan wysoki, to bramka XOR odwraca sygnał dostarczony do wejścia B. Powoduje to zaczernienie segmentu. Musimy zastosować po jednej bramce XOR na każdy segment. Z tego powodu w układzie jest aż 12 układów 74HC86, co daje razem 48 bramek.

Dekodery BCD

W zegarze zastosowano dekodery kodu BCD typu 4511 – po jednym na każdą cyfrę. Działanie tych scalaków jest niesamowicie proste. Na wejściu są czteru linie, odbierające sygnały z liczników w standardzie BCD, czyli kodzie binarnym dla cyfr od 0 do 9. Dekodery przekształcają tę informację na siedem sygnałów, które doprowadzone są do bramek XOR, sterujących segmentami wyświetlacza. Oprócz tego mają także kilka innych wejść sterujących, jednak nie są one używane w tej aplikacji.

Liczniki

W układzie zastosowano sześć liczników typu 4029, po jednym na każdą cyfrę. Liczą od 0 do 9 i reagują na zbocze rosnące sygnału zegarowego doprowadzonego do wejścia CLK. Licznik 4029 ma wyjście przeniesienia Cout, które umożliwia łączenie wielu liczników i łączy się je z wejściem CLK następnego licznika. Działanie wyjścia przeniesienia Cout jest bardzo proste – kiedy licznik na swoim wyjściu ma cyfry od 0 do 8, wówczas to wyjście jest w stanie wysokim. W momencie ustawienia dziewiątki stan tego wyjścia zmienia się na niski. W chwili przepełnienia się licznika i przełączenia z 9 na 0 wyjście Cout zmienia stan z niskiego na wysoki, co powoduje inkrementację kolejnego licznika.

Niestety liczba sekund i minut nie może przekroczyć 60, a liczba godzin 24. Z tego powodu musimy sami zadbać o wykrywanie stanów, kiedy ma nastąpić przeniesienie oraz zerowanie licznika.

Zacznijmy od zerowania. Licznik minut i sekund należy zresetować, kiedy osiągną one wartość 60. Wejście resetujące licznik działa na stan wysoki, a liczba 6 zapisana binarnie to 0110. Zatem wystarczy zastosować bramkę AND do wykrywania, czy dwa środkowe bity mają wartość 1. Na schemacie są to układy U83A, U83B i U83C typu 74HC08. Licznik dziesiątek sekund i dziesiątek minut liczy od 0 do 6, jednak cyfra 6 występuje tak krótko, że nie da się jej zauważyć. Czas występowania tego stanu zależy tylko od czasu reakcji licznika i bramki AND.

Trochę większy problem jest z sygnałem przeniesienia. Nie możemy zastosować tego samego sygnału, który resetuje licznik w momencie wystąpienia szóstki, ponieważ mogłoby się tak zdarzyć, że licznik dziesiątek sekund zresetuje się wcześniej,

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):

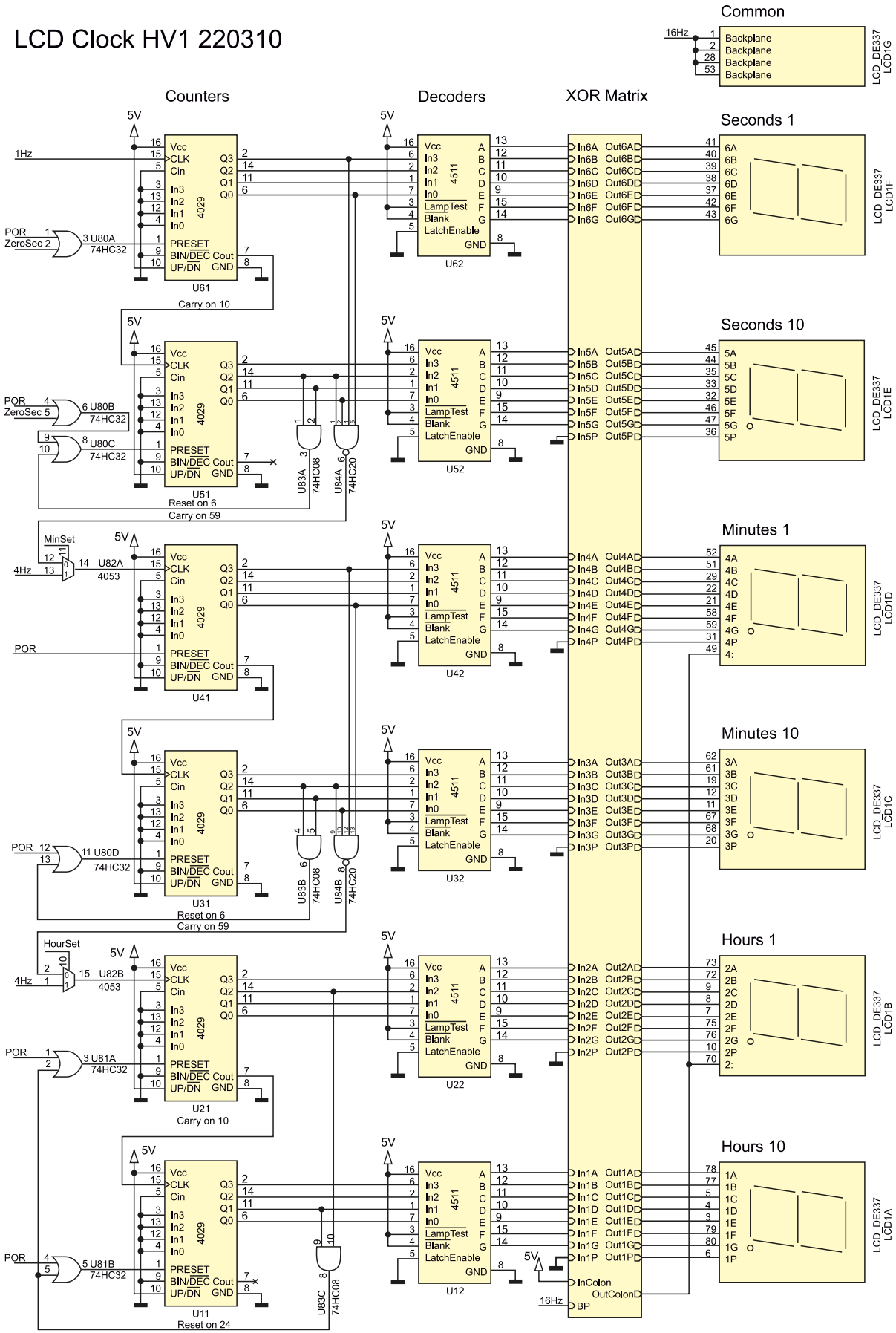
Rezystory: (SMD1206)
R11, R13: 1 kΩ
R70: 1 MΩ
R12, R14, R15, R90: 100 kΩ

Kondensatory:
C11, C12, C21, C22, C31, C32, C41, C42, C51, C52, C61, C62, C80, C83, C81, C84, C82, C85: 100 nF
C70, C71: 22 pF
C72: 100 nF
C90: 100 nF
C91, C92: 1 nF

Półprzewodniki: (SMD)
U12, U22, U32, U42, U52, U62: 4511
U11, U21, U31, U41, U51, U61: 4029
U13, U14, U23, U24, U33, U34, U43, U44, U53, U54, U63, U64: 74HC32
U70: 4521
U80, U81: 74HC32
U82: 4053
U83: 74HC08
U84: 74HC20
U85: 74HC00

Pozostałe:
X70: rezonator kwarcowy 4,194304 MHz
LCD1: 6-cyfrowy wyświetlacz DE 337-RU-30 firmy Display Elektronik
2× koszyk na baterie 2×R6
3× mikroswitch
2× podstawka DIL40

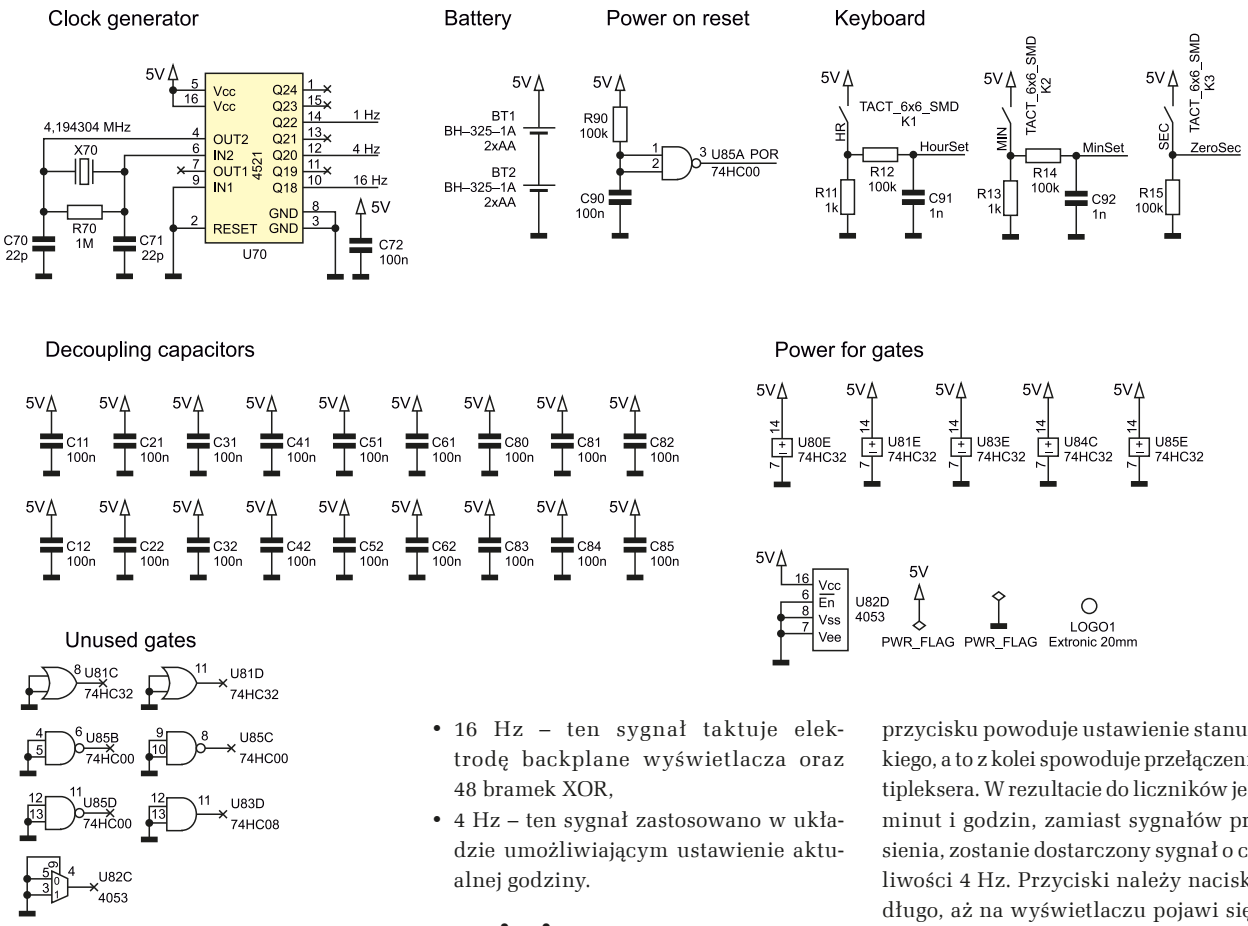
eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 1. Schemat zegara (w bloku XOR Matrix znajdują się tylko bramki XOR, pominięte dla czytelności)

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

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 1. Schemat zegara cd.

nim licznik jedności minut zdąży zareagować na ten sygnał.

Aby uzyskać prawidłowy sygnał przeniesienia, musimy zbudować układ, który wykryje kombinację cyfr 59, ustawi wtedy stan na 0, a następnie po przełączeniu licznika na 60 (lub jego zresetowaniu) zmieni stan na 1, co będzie sygnałem dla kolejnego licznika w szeregu, by wykonać inkrementację. W ten sposób sygnał przeniesienia będzie wystarczająco długi. Rozwiązaniem tego problemu są układy U84A i U84B, czterowejściowe bramki NAND typu 74HC20, które wykrywają wystąpienie liczby 59 na licznikach.

Generator zegarowy

Doszliśmy do układu, który jest na początku całego cyklu przetwarzania i napędza licznik jedności sekund, a także sygnał sterujący backplane oraz sygnały ustawiania czasu, o których będzie za chwilę.

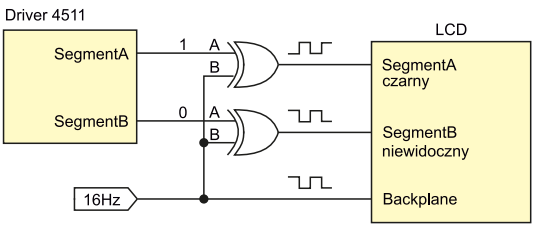
Zastosowano generator 4521 – układ umożliwiający dołączenie rezonatora kwarcowego o częstotliwości 4,194304 MHz, wyposażony w szereg przerzutników dzielących tę częstotliwość przez dwa. Układ ma kilka wyjść, które umożliwiają otrzymanie sygnałów prostokątnych o wypełnieniu 50% o częstotliwości od 16 Hz do 0,25 Hz. W zegarze wykorzystano trzy wyjścia tego układu:

- 1 Hz – jest to sygnał idealny do taktowania licznika jedności sekund U61,
- 16 Hz – ten sygnał taktuje elektrodę backplane wyświetlacza oraz 48 bramek XOR,
- 4 Hz – ten sygnał zastosowano w układzie umożliwiającym ustawienie aktualnej godziny.

Ustawianie czasu

Liczniki jednostek minut i godzin taktowane są odpowiednio sygnałami przeniesienia z liczników dziesiątek sekund i dziesiątek minut. Aby wykorzystać sygnał 4 Hz, musimy „podmienić” sygnał sterujący tymi licznikami. Do tego celu nadaje się multiplekser 4053, który zawiera trzy przełączniki dwupozycyjne.

Ustawieniem multiplekserów sterują przyciski K1, K2 i K3. Kiedy nie są wciśnięte, wówczas na liniach sterujących HourSet, MinSet i ZeroSec jest stan niski. Naciśnięcie przycisku powoduje ustawienie stanu wysokiego, a to z kolei spowoduje przełączenie multipleksera. W rezultacie do liczników jedności minut i godzin, zamiast sygnałów przeniesienia, zostanie dostarczony sygnał o częstotliwości 4 Hz. Przyciski należy naciskać tak długo, aż na wyświetlaczu pojawi się aktualna godzina. Elementy R12, C91, R14, C92 mają za zadanie odfiltrowanie drgań przycisków, które mogłyby sprawić, że w momencie naciskania i puszczania licznik przełącza się wielokrotnie. Przycisk K3 resetuje licznik

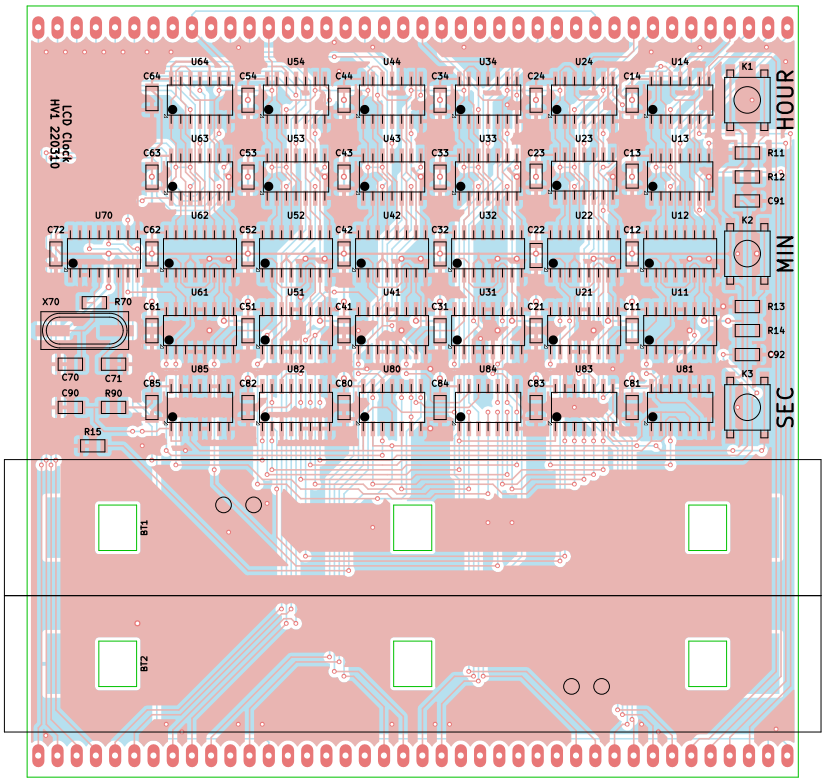


Rysunek 2. Uproszczony schemat bufora wyświetlacza LCD zbudowanego z bramek XOR

REKLAMA



eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 3. Schemat płytki PCB

sekund. Można go użyć do precyzyjnego ustawienia zagara.

Power on reset

Ostatnim układem wartym omówienia jest blok „power on reset". Po włączeniu zasilania liczniki 4029 zaczynają pracę od losowej liczby. To może spowodować wyświetlanie cyfr większych, niż zegar wyświetlać powinien, np. godzinę 49:71:88, co mogłoby zostać odebrane przez użytkownika jako wadliwe działanie. Rozwiązaniem tego problemu jest dodanie układu czasowego, który przez krótką chwilę po włączeniu zasilania będzie podawał sygnał resetujący liczniki. W tym celu zastosowano rezystor R90 oraz kondensator C90. Krótko po włączeniu zasilania kondensator jest rozładowany, co daje stan 0. Następnie kondensator jest ładowany poprzez rezystor R90 i po chwili układ czasowy daje stan 1, i tak pozostaje aż do wyłączenia zasilania.

Liczniki 4029 resetowane są stanem 1, a żeby pracowały normalnie, trzeba do nich doprowadzić 0. Z tego powodu zastosowano pojedynczą bramkę NAND typu 74HC00 z połączonymi wejściami, co w rezultacie daje bramkę NOT i zapewnia właściwy sygnał resetujący. Jest on łączony z kilkoma innymi sygnałami resetującymi, generowanymi przez układy wykrywające liczby 60 na licznikach sekund i minut oraz 24 na liczniku godzin.

Montaż i uruchomienie

Wybierając wyświetlacz dla zegara, należy koniecznie zwrócić uwagę na typ polaryzatora, możliwe są trzy opcje:

- Reflective – tylna ścianka wyświetlacza pokryta jest srebrną folią. Nie wymaga podświetlania, aby treść była widoczna, wystarczy światło zewnętrzne;
- Transmissive – wyświetlacz jest niemal przezroczysty. Trzeba umieścić za nim białe tło lub panel podświetlający;
- Transflective – tylna ścianka wyświetlacza zawiera półprzepuszczalną srebrną folię. Umożliwia zastosowanie podświetlenia oraz dodatkowo korzysta ze światła z innych źródeł. Wadą jest słabszy kontrast.

Wyświetlacz zastosowany w zegarze jest typu reflective. Dzięki temu, że cyfry wyświetlacza są bardzo duże są czytelne nawet przy słabym oświetleniu w środku nocy.

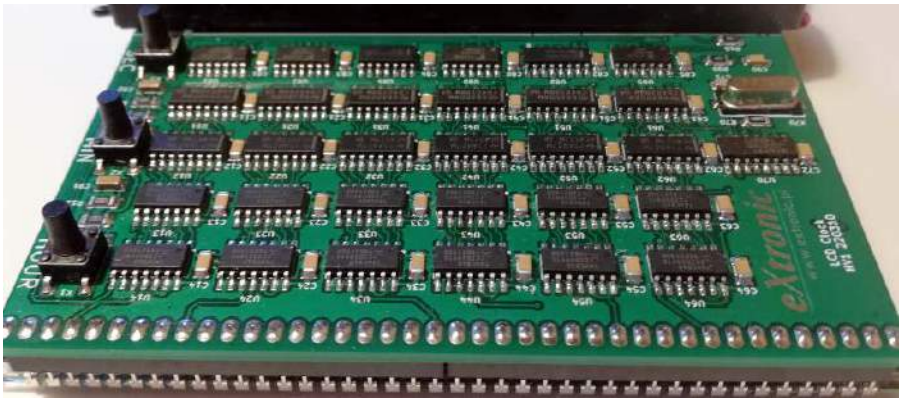
Schemat płytki PCB został pokazany na **rysunku 3**. Wszystkie elementy, z wyjątkiem gniazd baterii i samego wyświetlacza, są w technologii SMD. Wszystkich, którzy jeszcze nie opanowali lutowania elementów SMD, gorąco zachęcam, by się tego nauczyli, ponieważ takie elementy, wbrew opinii początkujących, lutuje się łatwiej i szybciej niż elementy przewlekane. Na płytce zastosowano układy scalone w obudowach SO14 lub SO16, które są dość duże, a rezystory i kondensatory w obudowach SMD1206 lutuje się równie łatwo.

Wyświetlacz ma 80 pinów przewlekanych. Ponieważ może wystąpić potrzeba jego wymontowania, zalecam montaż w podstawkach. W tym celu rozcinamy dwie podstawki DIL40 i lutujemy je po przeciwnej stronie niż elementy. Zamontowana płytka została pokazana na **fotografii 2**.

Aby ustawić czas, należy nacisnąć i przytrzymać przyciski HOUR i MIN. Przycisk SEC służy do resetowania licznika sekund, aby precyzyjnie ustawić czas. Zegar podczas pracy pobiera średni prąd ok. 800 µA. Wyświetlacz pobiera tylko 300 µA, natomiast najbardziej prądożernym układem jest generator zegarowy – „pożera" 500 µA. Pozostałe układy scalone, ponieważ są wykonane w technologii CMOS i pracują z bardzo małą częstotliwością, pobierają naprawdę mały prąd.

Gdyby udało się zastąpić układ 4521 jakimś innym, mniej prądożernym generatorem sygnałów zegarowych można by zdecydowanie wydłużyć czas pracy na baterii. Szacuje się, że cztery alkaliczne paluszki AA powinny wystarczyć na pół roku pracy przy obecnym generatorze. Gdyby któryś z czytelników miał pomysł, czym zastąpić układ 4521, zachowując wysoką precyzję, proszę o kontakt.

Dominik Bieczyński
leonow32@gmail.com



Fotografia 2. Wygląd zmontowanej płytki zegara zamontowanej na wyświetlaczu

www.ep.com.pl/EPwtoku

eprasa.pl d8e2d0846e

Podstawowe parametry:

- sterowanie poprzez I²C o napięciu 3,3 V,
- współpraca z wyświetlaczami o zasilaniu 5 V pomimo zasilania modułu napięciem niższym: 3,3...5 V,
- sterowanie podświetleniem RGB wyświetlacza LCD.

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

----	Ekspander IO z układem PCA9531 (EP 4/2022)
----	Dwukanałowy multiplekser magistrali I²C (EP 2/2022)
AVT5912	Expander wyjść z interfejsem I²C (EP 1/2022)
AVT5901	Moduł z zegarem RTC i pamięcią FRAM po I²C (EP 11/2021)
AVT5894	Ośmiokanałowy multiplekser magistrali I²C (EP 10/2021)
AVT5884	Expander portu szeregowego UART dla magistrali I²C (EP 9/2021)
AVT5881	Multiplekser analogowy sterowany z magistrali I²C (EP 8/2021)
AVT5854	Przedłużacz magistrali I²C (EP 4/2021)
----	Izolator magistrali I²C (EP 3/2021)
AVT5786	Translator adresu magistrali I²C (EP 8/2020)
----	Expander IO z interfejsem I²C (EP 6/2020)
AVT5769	Podwójny potencjometr z interfejsem I²C (EP 5/2020)
----	Moduł wyjść dużej mocy z kontrolą poprzez I²C (EP 5/2020)
AVT5751	I²C Extender – przedłużacz i rozdzielacz magistrali I²C (EP 3/2020)
AVT5708	Przedłużacz magistrali I²C (EP 8/2019)
AVT5687	Konwerter poziomów magistrali I²C (EP 7/2019)
AVT5154	Wyświetlacz LCD sterowany magistralą I²C (EP 10/2008)
AVT5147	Moduł wyświetlacza LED sterowany magistralą I²C (EP 9/2008)
AVT1439	Sprzętowy konwerter RS232<–>I²C (EP 8/2006)
AVT816	Uniwersalne moduły I²C (EP 5/1999)
AVT480	Mikroprocesorowy interfejs I²C (EP 12/1998)

* 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.

Ekspander wyświetlacza LCD 2×16 z I²C i podświetleniem RGB

Nie zawsze interfejs użytkownika musi zawierać duży wyświetlacz LCD, w wielu przypadkach wystarczy typowy wyświetlacz 2×16 znaków zgodny z HD44780. Ekspander wyświetlacza sterowany poprzez interfejs I²C umożliwia rozbudowę nawet niewielkiego układu z mikrokontrolerem o wyświetlanie różnych wskazań i komunikatów, a możliwość swobodnego sterowania kolorem podświetlenia RGB, podnosi atrakcyjność wizualną aplikacji.



Do sterowania wyświetlaczem zgodnym z HD44780 potrzeba sporo pinów GPIO, nawet podczas pracy w trybie 4-bitowym. Dlatego w prezentowanym module wyświetlacz LCD podłączony jest przez ekspander I²C-IO typu PCF8574. Dodatkowo, można łatwo skonfigurować jego adres, co umożliwia współpracę do czterech wyświetlaczy na jednej magistrali. Jako wyświetlacz można zastosować tak, jak w prototypie, łatwo dostępny moduł ABC016002E87-FIS-R lub jego wersję negatywową ABC016002E88-DIS-R.

Budowa i działanie

Schemat modułu został pokazany na **rysunku 1**. Aplikacja układu U3 typu PCF8574 jest typowa, uzupełniają ją zwory A0, A1 konfigurujące adres układu na magistrali. Większość wyświetlaczy zgodnych z HD44780 wymaga zasilania 5 V, aby zapewnić zgodność z systemami 3,3 V moduł został wyposażony w przetwornicę U2 typu MCP1253 zapewniającą zasilanie 5 V dla wyświetlacza przy zasilaniu modułu napięciem 3,3...5 V.

W dość nietypowej roli zastosowany jest układ izolatora I²C typu ADUM1251 (U1). Konieczność konwersji poziomów logicznych 3,3/5 V, w sytuacji gdy napięcie zasilania wynosi 5 V, nie pozwala spełnić warunku różnicy napięć pomiędzy stronami układu translatora. Większość translatorów poziomów pracuje w tej sytuacji niepoprawnie. Izolacja galwaniczna stron U1 pozwala uniknąć tego zagrożenia i ułatwia zastosowanie tylko jednego typu wyświetlacza w systemach 3,3/5 V, co jest szczególnie istotne podczas prototypowania z użyciem różnych platform. Jeżeli moduł będzie stosowany w systemach 5 V, można nie montować układów U1, U2, a w ich miejsce wlutować zwory ZW1...ZW3.

Do sterowania diodami RGB podświetlenia LCD wybrano układ U4 czterokanałowego modulatora PWM typu PCA9632 (jest zgodny programowo z PCA9633). Adresacja U4, jest wspólna z U3, adres bazowy ustalany jest także przy pomocy zwór A0, A1. Diody podświetlenia podłączone są do wyjść LED0... LED2 układu U4, rezystory R5, R6, R7 ograniczają prąd podświetlenia. Zwory A i R umożliwiają zastosowanie wyświetlaczy z innym sposobem podłączenia podświetlenia. Ich położenie oraz konieczność montażu rezystorów należy sprawdzić w karcie katalogowej wyświetlacza. Magistrala I²C oraz zasilanie

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):

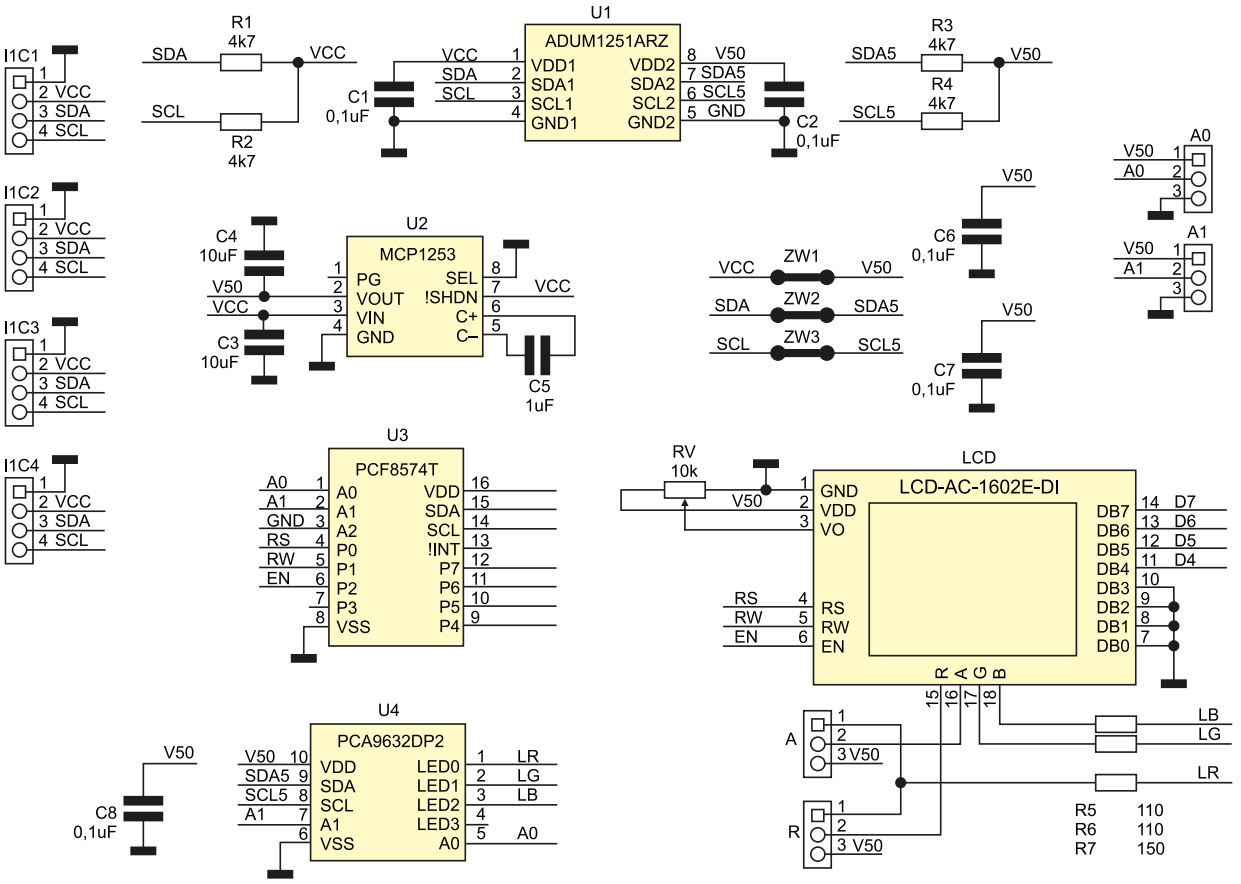
Rezystory:
R1, R2, R3, R4: 4,7 kΩ 1% (SMD0805)
R5, R6: 110 Ω (SMD0805)
R7: 150 Ω (SMD0805)
RV: potencjometr 10 kΩ

Kondensatory: (SMD0805)
C1, C2, C6, C7, C8: 0,1 µF
C3, C4: 10 µF
C5: 1 µF

Półprzewodniki:
U1: ADUM1251ARZ (SO8)
U2: MCP1253-33x50 (MSOP8)
U3: PCF8574T (SO16W)
U4: PCA9632DP2 (TSSOP10)

Pozostałe:
I²C1: złącze SM 4 piny 1 mm
I²C2: złącze PH 4 piny 2 mm
I²C3: złącze SIP4 2,54 mm
I²C4: złącze Grove proste
LCD: wyświetlacz LCD z podświetleniem np. RGB ABC016002E87-FIS-R lub ABC016002E88-DIS-R

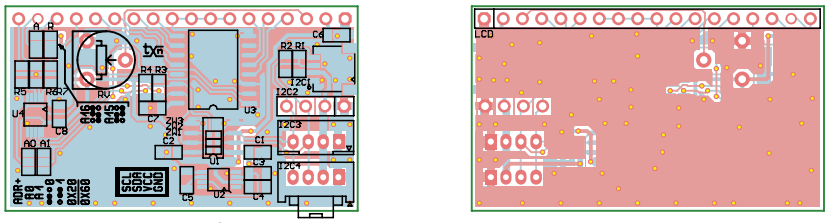
eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 1. Schemat ideowy układu

```
Listing 1. Modyfikacja pliku pca9633.h

void PCA9633::chipinit(void) { // setup chip with desired operating parameters
  uint8_t m1 = 0x00; // set sleep = 0, turn on oscillator, disable allcall and subaddrs
  //uint8_t m2 = ((INVRT) | (OUTDRV)); // output inverted, totem pole drivers enabled
  uint8_t m2 = 0x00; // output no inverted, totem pole drivers disabled
  uint8_t ldout = 0xFF; // all outputs under individual and group control
  _i2c_write(_pcaAddr, MODE1, m1);
  _i2c_write(_pcaAddr, MODE2, m2);
  _i2c_write(_pcaAddr, LEDOUT, ldout);
}
```



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

```
Listing 2. Program testowy

/* LCD_I²C – 16x2 LCD I²C PCF8574
PCA9632 BACKLIGHT RGB
//UINT8_T M2 = ((INVRT) | (OUTDRV));
//UINT8_T M2 = 0x00;
//OUTPUT NO INVERTED,
//TOTEM POLE DRIVERS DISABLED
*/
#INCLUDE <LCD_I²C.H>
#INCLUDE <PCA9633.H>
PCA9633 RGBW;
LCD_I²C LCD(0x20, 16, 2);
VOID SETUP(){
  LCD.BEGIN();
  LCD.BACKLIGHT();
  RGBW.BEGIN(0x60);
  RGBW.SETRGBW(0,0,0,0);
  LCD.PRINT("RGB LCD");
  LCD.SETCURSOR(0, 1);
  LCD.PRINT("PCF8574/PCA9632");
}

VOID LOOP(){
  RGBW.SETRGBW(255,0,0,0); //R
  DELAY(1000);
  RGBW.SETRGBW(0,255,0,0); //G
  DELAY(1000);
  RGBW.SETRGBW(0,0,255,0); //B
  DELAY(1000);
  RGBW.SETRGBW(255,255,255,0); //W
  DELAY(1000);
}
```

doprowadzone są do modułu za pomocą złącz I²C1...I²C4 w standardach popularnych systemów uruchomieniowych. Potencjometr RV służy do ustawienia kontrastu.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowano na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 2**. Do połączenia z wyświetlaczem w zależności od upodobań, można użyć listwy i gniazda SIP, wtedy możliwe jest łatwe rozłączenie i wymiana współpracującego wyświetlacza. Zmontowany moduł nie wymaga uruchamiania, należy tylko skonfigurować adresację oraz połączenie podświetlania.

Adres bazowy określa położenie zwór A0, A1. Przy zworach zwartych do masy PCF8574 znajduje się pod adresem 0x20, a PCA9632 pod adresem 0x60. Zmiana ustawienia zwór umożliwia adresację pod kolejnymi czterema adresami 0x20/0x60...0x23/0x63. W zależności o typu wyświetlacza ustalamy położenie zwór A, R, oraz konieczność montażu R5...R7. Dla ABC016002E87-FIS-R lub ABC016002E88-DIS-R, wyprowadzenie 16 jest wspólną anodą diody RGB, więc zworę A należy zalutować w położeniu 2–3, zworę R w położeniu 1–2. W przypadku innych typów wyświetlaczy oprócz konfiguracji zwór A/R konieczna może być zamiana w programie kanałów LED0...LED2 sterujących kolorami składowymi.

Dla szybkiego sprawdzenia działania wyświetlacza z Arduino użyto biblioteki *LCD_I²C.h* i *pca9633.h*. Korzystając z biblioteki pca9633 autorstwa Gordona McLellan'a w pliku nagłówkowym *pca9633.h* należy przed kompilacją zmienić sposób inicjacji rejestru MODE2 (uint8_t m2) na wyjścia typu OD i brak inwersji sterowania (**listing 1**). Krótki program testowy zmieniający kolor podświetlenia RGB (dla adresu 0x20/0x60) dla środowiska Arduino pokazano na **listingu 2**. Jeżeli wszystko działa poprawnie, można moduł zastosować we własnej aplikacji.

Adam Tatuś, EP

eprasa.pl d8e2d0846e

Podstawowe parametry:

- cztery wejścia dla przycisków lub styków wyposażone w układ eliminacji drgań styków oraz zabezpieczenie przed skutkami wyładowań ESD,
- cztery wyjścia dla sygnalizatorów LED zasilanych napięciem 24 V, o obciążalności 20 mA na każde wyjście,
- kontrola pracy układu za pomocą programowalnego ekspandera GPIO dla magistrali I²C typu PCA9531,
- płytka formatu RPi Zero.

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

–––	Ekspander 16×PWM (EP 6/2022)
–––	Moduł BLE4.1 dla RPi Pico (EP 6/2022)
–––	Moduł LoRa dla Raspberry Pi Zero (EP 6/2022)
–––	Ekspander modułów dla RPi Pico (EP 4/2022)
–––	Podwójny interfejs Ethernet dla RPi (EP 4/2022)
–––	Moduł multiIO dla RPI Zero (EP 3/2022)
–––	Interfejs użytkownika z wyświetlaczem OLED dla Pi Pico (EP 3/2022)
–––	Zasilacz bezprzerwowy z akumulatorem litowym dla Raspberry Pi Pico (EP 2/2022)
–––	Vintage audio DAC na TDA1387 (EP 2/2022)
AVT5914	Zasilacz buforowy dla RPi Zero (EP 1/2022)
AVT5909	Sterownik czterech mikrosilników dla Pi Zero (EP 12/2021)
AVT5896	Karta sieciowa z PoE dla RPi Zero (EP 10/2021)
AVT5890	Interfejs wyświetlacza TFT RGB dla RPi Zero (EP 9/2021)
AVT5882	Podwójny klucz zasilania High Side (EP 8/2021)
–––	Zasilacz PoE do Raspberry Pi (EP 7/2021)
–––	Cyfrowy wzmacniacz audio w formacie RPi Zero (EP 7/2021)
–––	Moduł DSP Audio do Raspberry Pi (EP 6/2021)
AVT5858	Płytka bazowa dla Raspberry Pi Pico (EP 5/2021)
AVT5851	Dwukanałowy port szeregowy dla Raspberry (EP 3/2021)
AVT5847	Interfejs wyświetlacza TFT-RGB dla RPi Zero (EP 3/2021)
–––	Sterownik 18 LED dla Pi Zero (EP 2/2021)
AVT5837	Moduł do pomiaru napięcia i prądu z interfejsem I²C (EP 1/2021)

* 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

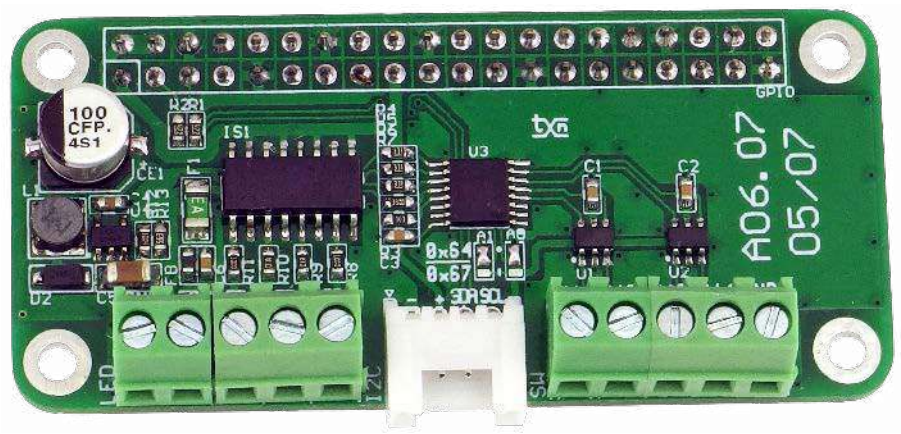
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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.

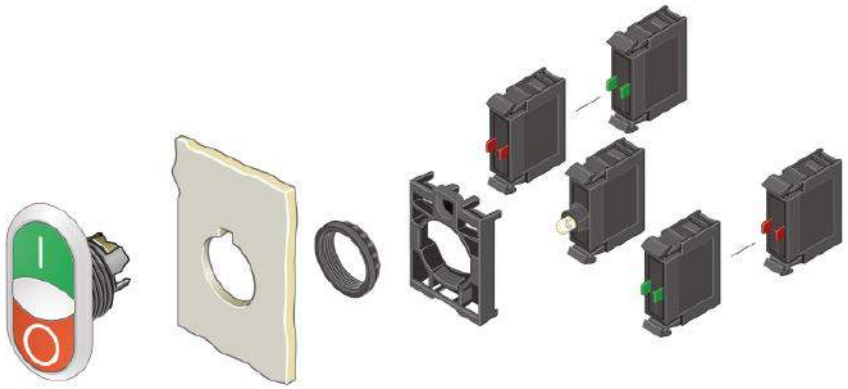
Interfejs aparatury kontrolnej i sygnalizacyjnej standardu M22 do Raspberry Pi

Wymogi stawiane aparaturze kontrolnej i sygnalizacyjnej dla automatyki są znacznie wyższe niż dla komponentów standardowych. Dotyczy to m.in. trwałości, odporności na temperaturę, wilgotność i zanieczyszczenia środowiska. Dlatego w aplikacjach, gdzie warunki pracy nie należą do najłatwiejszych, warto rozważyć zastosowanie typowej modułowej aparatury przemysłowej np. standardu M22.



Aparatura standardu M22 zaprojektowana jest w formie składanych elementów łączących, sygnalizacyjnych, manipulacyjnych oraz ramki montażowej. Elementy M22 oferowane są przez praktycznie wszystkich producentów osprzętu automatyki, a dzięki modułowej budowie w łatwy sposób możemy poskładać żądany element sterująco-sygnalizacyjny (**rysunek 1**). Jako akcesoria dodatkowe dostępne są tabliczki z oznaczeniami położenia przełączników, uszczelnienia elementów manipulacyjnych oraz standardowe obudowy z otworami montażowymi dla jednego lub kilku elementów, co w typowych rozwiązaniach uwalnia od uciążliwych prac mechanicznych.

Podłączenie elektryczne elementów stykowych jest trywialne niezależnie od typu styku NO lub NC, większym problemem jest sterowanie elementami sygnalizacyjnymi. Podzielone są one na dwa typy: przystosowane do pracy bezpośrednio z napięciem sieciowym 230 V AC lub napięciem bezpiecznym 24 V AC/DC. Polecam elementy zasilane napięciem bezpiecznym 24 V, większość typów toleruje zakres 12...30 V zarówno napięcia stałego jak i przemiennego.



Rysunek 1. Przykładowy element systemu M22 (za notą Eaton)

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):

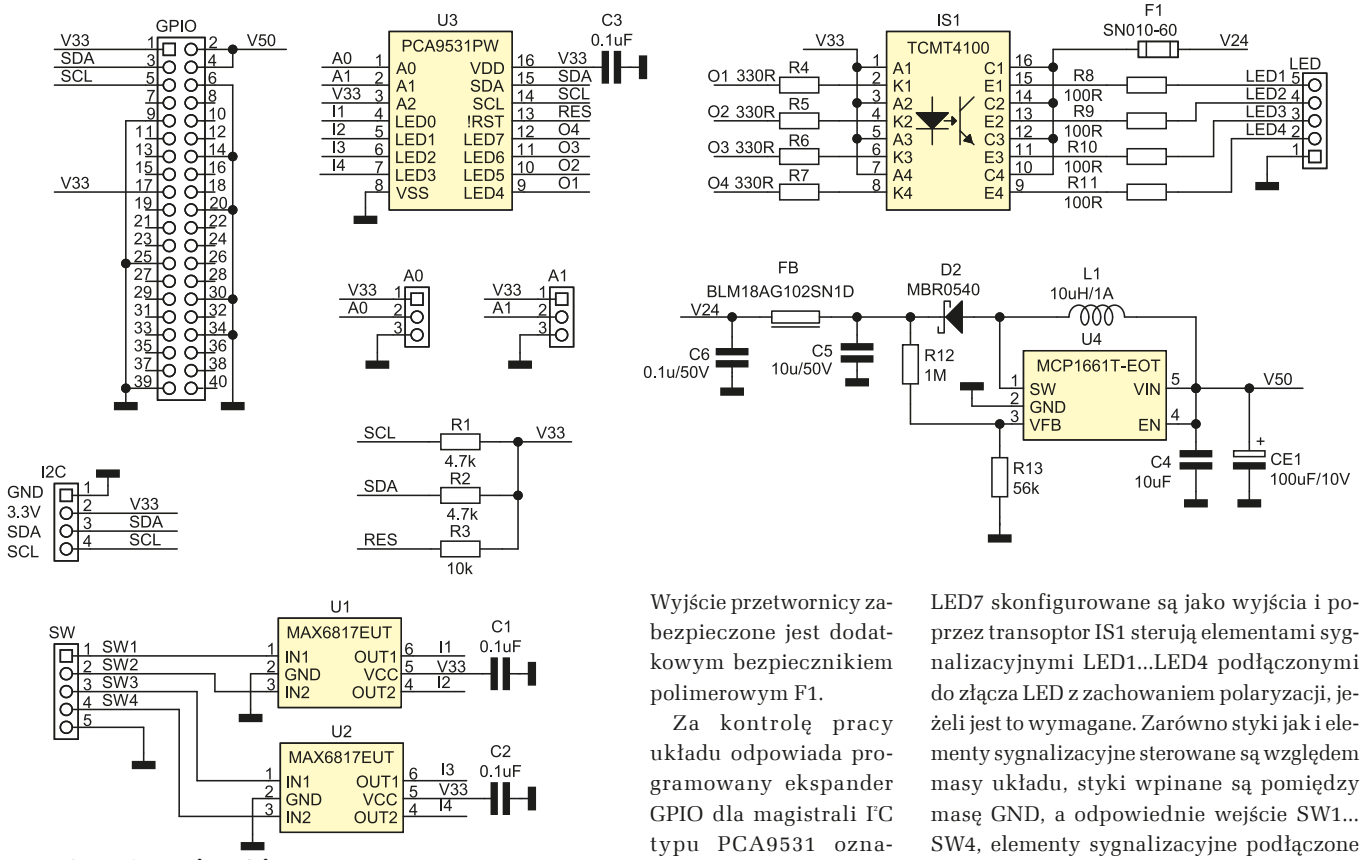
Rezystory: (SMD0603)
R1, R2: 4,7 kΩ 5%
R3: 10 kΩ 5%
R4, R5, R6, R7: 330 Ω 5%
R8, R9, R10, R11: 100 Ω 5%
R12: 1M Ω 1%
R13: 56 kΩ 1%

Kondensatory:
C1, C2, C3: 0,1 µF 16 V (SMD0603)
CE1: 100 µF/10 V elektrolityczny 6,3 mm
C4: 10 µF (SMD0603)
C5: 10 µF/50 V (SMD1206)
C6: 0,1 µF/50 V (SMD0603)

Półprzewodniki:
D2: MBR0540 (SOD123)
LED, SW: złącze śrubowe DG381-3,5-5
U1, U2: MAX6817EUT (SOT-23-6)
U3: PCA9531PW (SSOP16)
U4: MCP1661T-E\OT (SOT-23-5)

Pozostałe:
F1: bezpiecznik polimerowy SN010-60 (SMD1206)
FB: dławik ferrytowy BLM18AG102SN1D (SMD0603)
GPIO: złącze żeńskie IDC40
I²C: złącze kątowe Grove (110990037)
IS1: Transoptor TCMT4100 (SO16)
L1: dławik 10 µH/1 A DJNR4018-100-S

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 2. Schemat interfejsu aparatury M22

W przypadku sygnalizatorów LED, pobierany prąd mieści się w granicach kilkudziesięciu mA. Elementów sygnalizacyjnych z żarówkami, ze względu na zawodność i znaczny pobór mocy, należy raczej unikać.

Zaprezentowany minimoduł ułatwia zastosowanie standardowej przemysłowej aparatury M22, takiej jak przyciski i lampki kontrolne, w połączeniu z płytkami RPi Zero i nie tylko.

Budowa i działanie

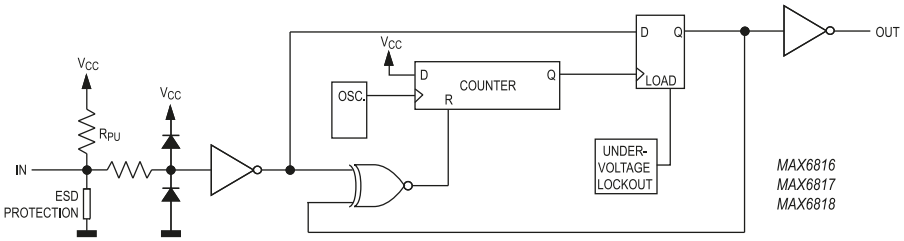
Opisany układ posiada cztery wejścia przystosowane do współpracy z czterema elementami łączącymi NO lub NC oraz cztery wyjścia do sterowania elementów sygnalizacyjnych o zasilaniu 24 V DC/20 mA. Schemat interfejsu został pokazany na **rysunku 2**. Układ składa się z dwóch bloków funkcjonalnych. Pierwszy zawiera układu U1, U2 typu MAX6817, które są podwójnymi interfejsami przycisków mechanicznych, z wbudowanym układem polaryzacji i eliminacji drgań styków oraz zabezpieczeniem wejść przed skutkami wyładowań ESD. Ich budowę wewnętrzną pokazano na **rysunku 3.** Drugi blok zawiera przetwornice podwyższającą U4 typu MCP1661 dostarczającą napięcia 24 V do zasilania elementów sygnalizacyjnych kluczowanych transoptorem IS1. Przetwornica może dostarczyć 24 V, przy obciążeniu do 80 mA, co wystarcza do zasilania elementów LED i większości sygnalizatorów piezoelektrycznych. Dodatkowy filtr FB, C6 zmniejsza zakłócenia RFI na wyjściu układu. Wyjście przetwornicy zabezpieczone jest dodatkowym bezpiecznikiem polimerowym F1.

Za kontrolę pracy układu odpowiada programowany ekspander GPIO dla magistrali I²C typu PCA9531 oznaczony na schemacie jako U3. Ma rozszerzoną funkcjonalność sprzętową o sterowanie diod LED w trybie ściemniania i migania, bez dodatkowego obciążenia układu nadzorującego. Budowę wewnętrzną układu PCA9531 pokazano na **rysunku 4**.

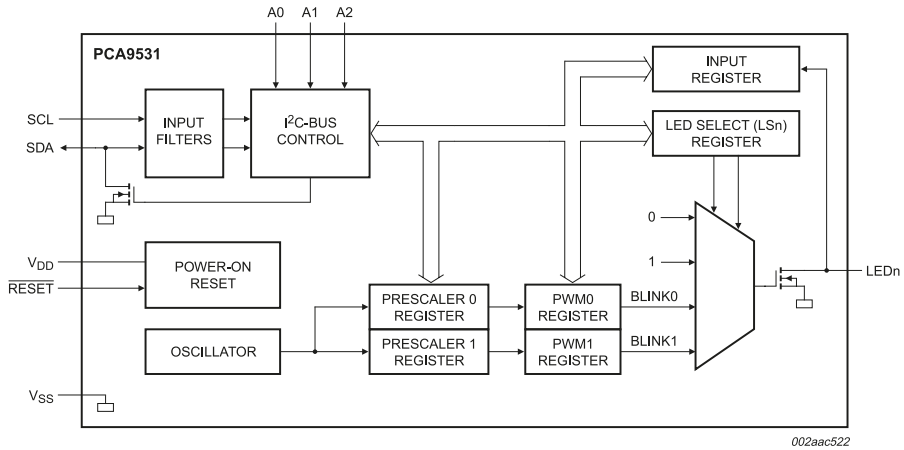
Wyprowadzenia LED0...LED3 układu U3, skonfigurowane są jako wejścia i służą do odczytu stanu styków SW1...SW4 podłączonych do złącza SW, wyprowadzenia LED4... LED7 skonfigurowane są jako wyjścia i poprzez transoptor IS1 sterują elementami sygnalizacyjnymi LED1...LED4 podłączonymi do złącza LED z zachowaniem polaryzacji, jeżeli jest to wymagane. Zarówno styki jak i elementy sygnalizacyjne sterowane są względem masy układu, styki wpinane są pomiędzy masę GND, a odpowiednie wejście SW1... SW4, elementy sygnalizacyjne podłączone są pomiędzy GND a odpowiednie wyjście LED1...LED4. Wejścia w stanie „otwartym" polaryzowane są napięciem 3,3 V i współpracują tylko ze stykami NO/NC lub wyjściami bezpotencjałowymi OC/OD. Wyjścia LED1... LED4 zasilane są napięciem 24 V, obciążalność każdego wyjścia wynosi 20 mA.

Uwaga:

- wszelkie połączenia elementów stykowych i sygnalizacyjnych należy wykonać przy wyłączonym zasilaniu modułu,



Rysunek 3. Budowa wewnętrzna MAX6817



Rysunek 4. Budowa wewnętrzna PCA9531

eprasa.pl d8e2d0846e

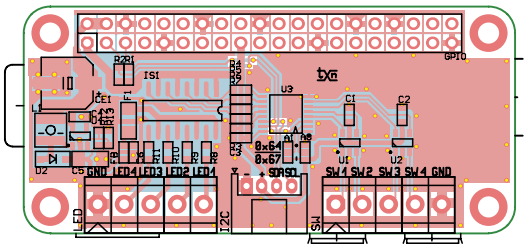
Tabela 1. Rejestry sterujące PCA9531

B2	B1	B0	Adres	Typ	Opis
0	0	0	INPUT	R	Rejestr wejściowy IO
0	0	1	PSC0	RW	Preskaler 0
0	1	0	PWM0	RW	PWM 0
0	1	1	PSC1	RW	Prescaler 1
1	0	0	PWM1	RW	PWM1
1	0	1	LS0	RW	Rejestr sterujący LED0...3
1	1	0	LS1	RW	Rejestr sterujący LED4...7

Tabela 2. Tryb konfiguracji LED

LSx		Funkcja LED
0	0	Wysoka impedancja LEDx = OFF w trybie IO wymaga rezystora podciągającego do zasilania
0	1	LED = ON, w trybie IO stan niski
1	0	Miganie z ustawioną częstotliwością PWM0 (BLINK0)
1	1	Miganie z ustawioną częstotliwością PWM1 (BLINK1)

- doprowadzenie napięcia do wejść SW1...SW4 może spowodować uszkodzenie układu,
- wyjścia LED1...LED4, zabezpieczone są w stopniu podstawowym i nie należy zwierać ich do masy, gdyż może to spowodować uszkodzenie układu.



Rysunek 5. Schemat płytki PCB

Moduł zasilany jest napięciami 3,3 V i 5 V ze złącza GPIO płytki RPi, pobór mocy nie przekracza 2,5 W. Napięcie 5 V jest potrzebne do zasilania przetwornicy U4, napięcie 3,3 V zasila ekspander U3. Na złącze I²C w standardzie Grove lub PH 2,00 mm wyprowadzona jest magistrala I²C 3,3 V. Zwory A0, A1 umożliwiają ustawienie czterech adresów na magistrali I²C modułu.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na miniaturowej płytce dwustronnej zgodnej mechanicznie z Raspberry Pi Zero, której schemat został pokazany na **rysunku 5**. Moduł nie wymaga uruchamiania, po podłączeniu styków do złącza SW, elementów sygnalizacyjnych do złącza LED i włączeniu zasilania należy tylko sprawdzić obecność napięcia V24 na kondensatorze C6. Jego wartość powinna zawierać się w granicach 24 V ±10%.

Dalsze sprawdzenie działania odbywa się na drodze programowej. Po ustaleniu adresu modułu zworami A0, A1 (0x64...0x67) sprawdzamy jego obecność na magistrali I²C z użyciem narzędzi i2ctools poleceniem:

```
i2cdetect -y 1
```

PCA9531 powinien zostać odnaleziony pod adresem ustalonym zworami A0, A1.

Mapa rejestrów konfiguracyjnych układu PCA9531 znajduje się w **tabeli 1**. Zapis do rejestrów odbywa się zgodnie z **rysunkiem 6**. Po adresie slave zapisywany jest bajt sterujący, adresujący rejestr do zapisu (bity B2, B1, B0) oraz określający tryb auto-inkrementacji adresu – bit AI (AI = 1). Sposób odczytu rejestrów pokazano na **rysunku 7**. Dla odczytu stanu przycisków należy w rejestrze LS0, ustawić wyprowadzenia LED0... LED3 (SW1...SW4) w stan wysokiej impedancji LS0=00, wpisując polecenie:

```
i2cset -y 1 0x64 0x06 0x00
```

Odczyt stanu klawiszy z rejestru INPUT wykonujemy poleceniem:

```
i2cget -y 1 0x64 0x00
```

Naciśnięty przycisk NO sygnalizowany jest stanem niskim odpowiadającego bitu 3...0.

Dla sterowania wyjść diod LED1...LED4, wystarczająca jest ich odpowiednia konfiguracja w rejestrze LS1, **tabela 2**.

Przypisanie LED do rejestrów LS wykonujemy wpisując:

```
LS1 [0x06, B7..0] : LED4|LED3|LED2|LED1
```

dla sprawdzenia ustawiamy wyjścia w stan niski (załączenie LED):

```
i2cset -y 1 0x64 0x06 0x55
```

oraz wysoki (wyłączenie LED):

```
i2cset -y 1 0x64 0x06 0x00
```

W celu konfiguracji migania konieczne jest ustawienie rejestrów PSCx, PWMx, okres migania określony jest wzorem:

BLINK0=(PSC0+1)/152 oraz
BLINK1=(PSC1+1)/152

wypełnienie:

BLINK0=PWM0/256 oraz
BLINK1=PWM1/256

Dla przykładu – ustalamy częstotliwość BLINK0 na 1 Hz (0x97) oraz wypełnienie na 50% (0x80), dla testu konfigurujemy układ:

```
i2cset -y 1 0x64 0x01 0x97
i2cset -y 1 0x64 0x02 0x80
```

Następnie ustawiamy na sterowanie LED1... LED4 z BLINK0:

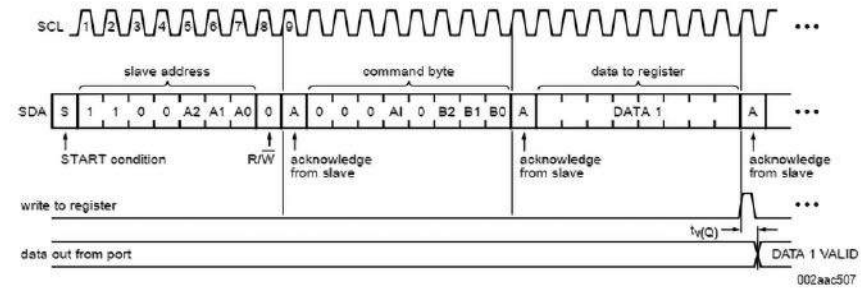
```
i2cset -y 1 0x64 0x06 0xAA
```

diody powinny migać z częstotliwości 1 Hz. Bez zmiany parametrów PSC/PWM diody można wyłączyć (LSx = 00), załączyć (LSx = 01) lub zmienić częstotliwość migania (LSx = 10/11) tylko przez zapis rejestru LS1, bez potrzeby ponownej konfiguracji układu np.:

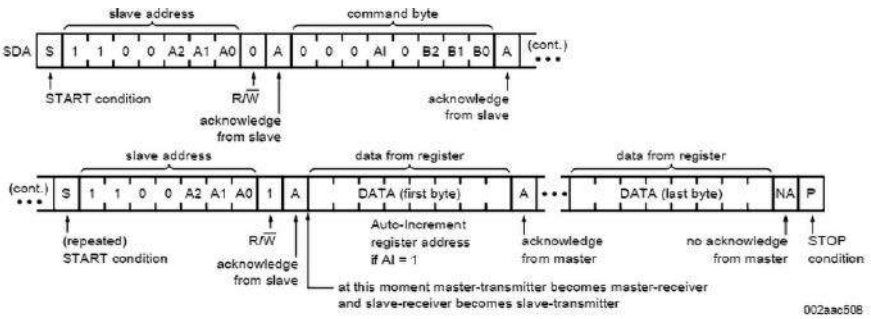
```
i2cset -y 1 0x64 0x06 0x1A
```

ustawi LED4 = OFF, LED3 = ON, LED2, LED1 = BLINK0. Kontrolnie stan LED można sprawdzić odczytując bity B7...B4 rejestru INPUT. Jeżeli wszystko działa można układ zastosować we własnych projektach, powodzenia.

Adam Tatuś, EP



Rysunek 6. Zapis PCA9531



Rysunek 7. Odczyt PCA9531

eprasa.pl d8e2d0846e

W ofercie AVT*
AVT5940

Podstawowe parametry:

- konwersja napięcia wejściowego z ujemnego na dodatnie,
- płynnie regulowane wzmocnienie z przedziału 0...–0,2 V/V,
- wbudowana filtracja dolnoprzepustowa,
- rezystancja wejściowa: 100 kΩ, wyjściowa: 47 Ω,
- minimalne napięcie wejściowe: –250 V,
- maksymalne napięcie wyjściowe: o 4 V niższe od zasilającego,
- zasilanie napięciem 8...27 V, pobór prądu około 6 mA przy 12 V.

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

AVT5933	Miernik napięcia dodatniego i ujemnego (EP 5/2022)
AVT5844	Energooszczędny woltomierz (EP 3/2021)
AVT5828	Volta – miniaturowy woltomierz (EP 11/2020)
Projekt 233	3-fazowy woltomierz TRMS (EP 10/2017)
AVT5507	Miernik UIPTR (EP 7/2015)
AVT5399	Dwukanałowy multimetr panelowy (EP 6/2013)
AVT5386	Podwójny woltomierz i amperomierz (EP 3/2013)
AVT5383	Miernik tablicowy UIPt (EP 2/2013)
AVT5339	Woltomierz cyfrowy (EP 4/2012)
AVT5333	Multimetr panelowy (EP 3/2012)
AVT5300	VMOD – Uniwersalny miernik napięcia (EP 7/2011)
AVT5233	3-kanałowy woltomierz (EP 5/2010)
AVT5182	Wielokanałowy rejestrator napięć (EP 4/2009)
AVT2857	Moduł woltomierza/amperomierza (EdW 3/2008)
AVT5086	Programowany 4-kanałowy komparator/woltomierz (EP 11/2002)
AVT2270	Moduł miliwoltomierza (EdW 3/1998)
AVT2126	Moduł woltomierza na LCD (EdW 3/1997)
AVT2004	Woltomierz do modułowego zestawu pomiarowego (EdW 1/1996)
AVT266	Woltomierz 4,5 cyfry (EP 9/1995)

* 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

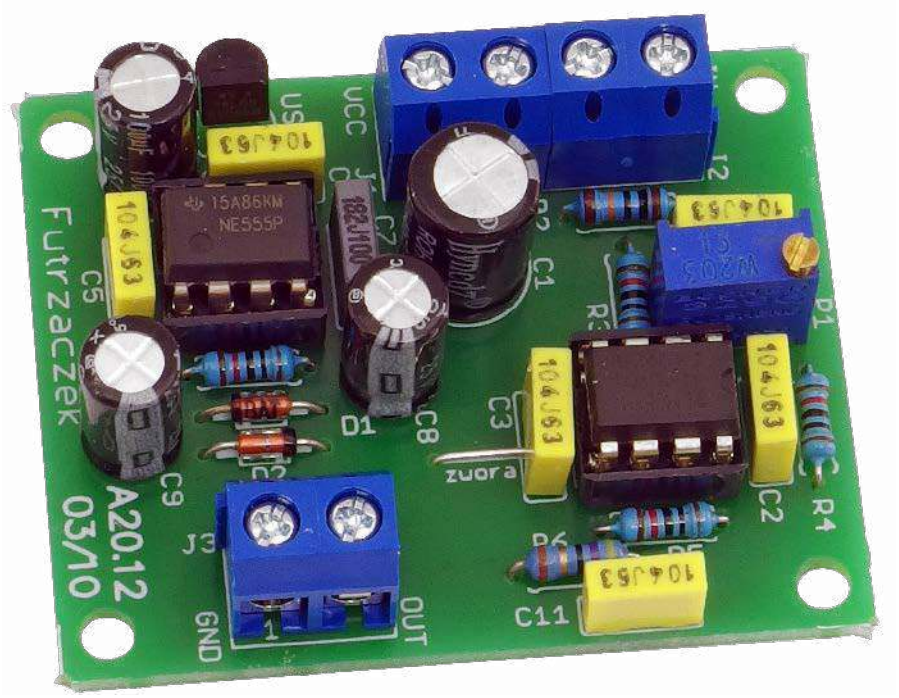
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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.

Konwerter napięcia z ujemnego na dodatnie

Wiele gotowych modułów mierzących napięcie stałe jest przystosowanych wyłącznie do pomiaru napięcia dodatniego, wyższego niż potencjał masy. Jednak w niektórych zastosowaniach, takich jak diagnostyka wzmacniaczy mocy, potrzebny jest pomiar napięcia ujemnego. Zaprezentowany układ w prosty sposób „odwraca" znak napięcia wejściowego, jednocześnie redukując je z ustawionym współczynnikiem podziału.



Kiedy mamy do dyspozycji woltomierz z oddzielną masą dla sygnału mierzonego lub odrębnym zasilaniem, sprawa jest bardzo prosta: wystarczy podłączyć jego wejście do mierzonego napięcia ujemnego. Przykładem mogą być urządzenia zasilanie bateryjne lub zasilane poprzez separowaną przetwornicę DC/DC albo z odrębnym transformatorem sieciowym. Ale nie zawsze mamy do dyspozycji coś takiego, na przykład kiedy w obudowie nie ma już za bardzo miejsca na dodatkowy zasilacz sieciowy. Możemy wtedy sięgnąć po opisany dalej niewielki moduł, który realizuje konwersję napięcia stałego z ujemnego na dodatnie. Realizuje przy tym jeszcze dwie pożądane rzeczy: dzieli wejściowe napięcie oraz filtruje je z zakłóceń. Można w ten sposób łatwo dostosować mierzony przedział np. –100…0 V do wejścia przetwornika A/C obsługującego 0…5 V. Wszystkie wymagane do tego celu elementy znajdują się na niewielkiej płytce.

Budowa i działanie

Schemat ideowy omawianego układu znajduje się na **rysunku 1**. Na złącze J1 podaje się napięcie zasilające cały układ. Kondensatory C1, C2 i C4 filtrują je. Elementy C2 i C3 znajdują się blisko wzmacniacza operacyjnego, aby zapobiec jego wzbudzeniu. W tym miejscu powstaje również stabilizowane napięcie o wartości 5 V, którego dostarcza prosty stabilizator liniowy typu 78L05.

Układ US2, dobrze znany od wielu lat układ czasowy typu 555, wytwarza przebieg prostokątny o częstotliwości około 40 kHz i wypełnieniu zbliżonym do 50%. Taki sygnał trafia na obwód wytwarzający napięcie ujemne: kondensatory C8 i C9 oraz diody D1 i D2. Na jego wyjściu mamy do dyspozycji około –3,6 V. Układ pracuje na częstotliwości ponadakustycznej, aby generowany pisk nie był irytujący. To niewielkie napięcie ujemne jest w zupełności wystarczające, bowiem potrzebuje go wzmacniacz operacyjny US3. W teorii, układ typu LM358 jest w stanie obsłużyć napięcie wejściowe równe 0 V (przy zasilaniu pojedynczym), ale jego stopień wyjściowy radzi sobie już nieco gorzej z osiąganiem tak niskich wartości napięcia na wyjściu. Zapewnienie mu niewielkiego „marginesu"

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):

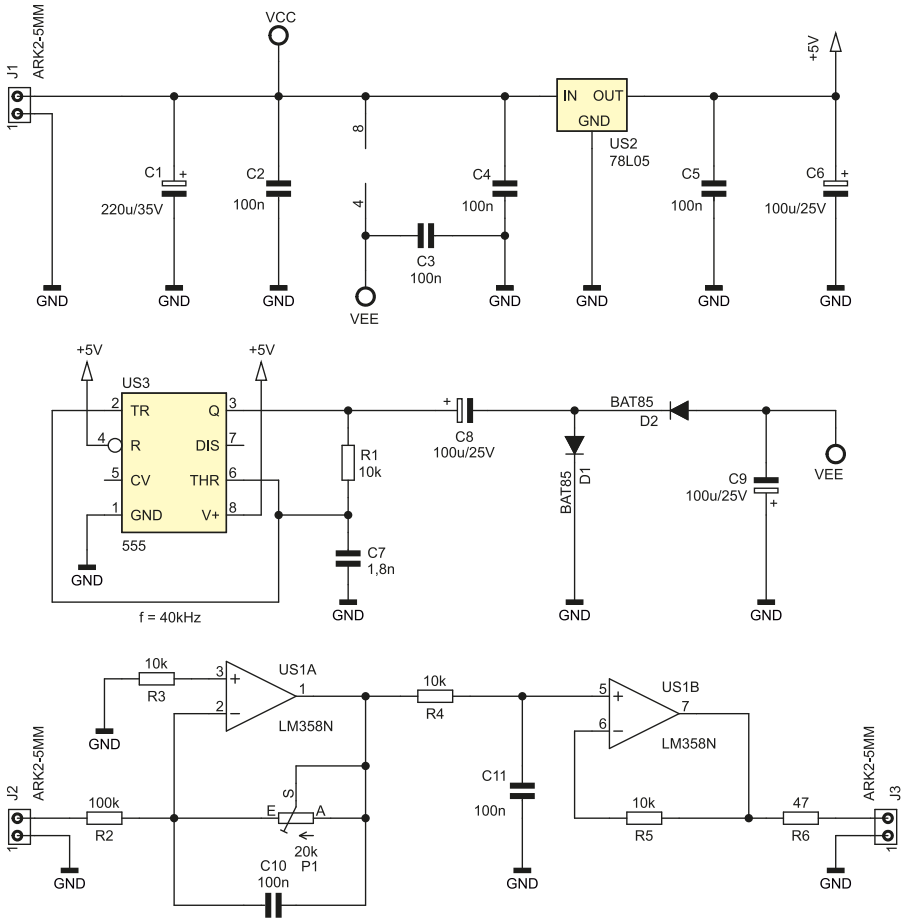
Rezystory: (THT o mocy 0,25 W jeżeli nie napisano inaczej)
R1, R3...R5: 10 kΩ
R2: 100 kΩ 1% 0,6 W
R6: 47 Ω
P1: 20 kΩ wieloobrotowy pionowy 3296W

Kondensatory:
C1: 220 µF 35 V raster 3,5 mm
C2...C5, C10, C11: 100 nF raster 5 mm MKT
C6, C8, C9: 100 µF 25 V raster 2,5 mm
C7: 1,8 nF raster 5 mm MKT

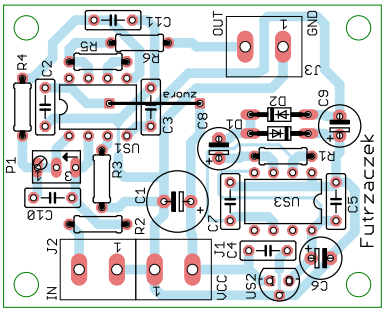
Półprzewodniki:
D1, D2: BAT85
US1: 78L05 (TO92)
US2: NE555 (DIP8)
US3: LM358 (DIP8)

Pozostałe:
J1...J3: ARK2/500
Dwie podstawki DIP8

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 1. Schemat ideowy konwertera napięcia



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

napięcia poniżej potencjału masy pozwala na w pełni liniową pracę wszystkich obwodów wchodzących w jego skład. Ponadto, umożliwia wymianę wzmacniacza operacyjnego na inny model, który – na przykład – cechuje się mniejszym offsetem napięciowym, ale wymaga do poprawnej pracy napięcia ujemnego.

Wejściowe napięcie ujemne trafia na zaciski złącza J2. Jest ono kierowane na wzmacniacz odwracający, którego głównym elementem jest wzmacniacz operacyjny US3A. Potencjometrem P1 można ustalić wzmocnienie tego członu. Najniższa możliwa (co do wartości bezwzględnej) do ustawienia wartość to zero, wtedy sygnał jest idealnie tłumiony. Ustalając P1 w połowie mamy –0,1 V/V, co umożliwia przekształcanie napięć na wartość dziesięciokrotnie mniejszą, na przykład z –33…0 V do 0…3,3 V. Przy maksymalnej rezystancji P1, układ cechuje się wzmocnieniem –0,2 V/V, czyli tłumi pięciokrotnie, odwracając przy tym znak napięcia. Potencjometr ten jest wieloobrotowy, zatem można łatwo skalibrować wskazania.

W układzie są zawarte dwa dolnoprzepustowe człony filtracyjne. Pierwszy jest zaszyty już w US3A, a to za sprawą kondensatora C10, który zawęża pasmo przenoszenia układu, poprawiając jednocześnie jego stabilność i zawężając pasmo szumowe. Ale dokładna częstotliwość graniczna tego bloku jest zależna od zadanej rezystancji P1, co przy małym wzmocnieniu (wysokim tłumieniu) może okazać się niewystarczającą filtracją. Dlatego dodano drugi człon, prosty filtr RC, na który składają się rezystor R4 i kondensator C11. Jego częstotliwość graniczna to około 160 Hz, więc skutecznie wyeliminuje z sygnału szybkie zakłócenia.

Na końcu znajduje się wtórnik napięciowy ze wzmacniaczem operacyjnym US3B. Rezystor R5 stanowi kompensację prądu polaryzującego bazy tranzystorów w stopniu wejściowym tego wzmacniacza operacyjnego, aby różne rezystancje „widziane” przez te tranzystory nie wywoływały znaczącego napięcia niezrównoważenia. Rezystor R5 nadaje pewną niezerową rezystancję wyjściową układu, co zapobiega jego wzbudzeniu po obciążeniu go znaczną pojemnością np. przewodu.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 40×50 mm, której schemat został pokazany na **rysunku 2**. Montaż proponuję rozpocząć od zworki, która częściowo znajduje się pod układem US3. Potem można przejść do wlutowania elementów o najmniejszej wysokości obudowy, czyli rezystorów i diod. Pod układy US2 i US3 proponuję zastosować podstawki, aby ułatwić ich wymianę w razie uszkodzenia. Listwy zaciskowe złącz J1 i J2 należy złączyć ze sobą przed wlutowaniem. Zmontowany układ wygląda jak na fotografii tytułowej.

Układ można zasilać napięciem stałym, dobrze filtrowanym (i najlepiej stabilizowanym) z przedziału 8…27 V. Dolna wartość wynika z konieczności zapewnienia warunków do poprawnej pracy stabilizatora US1. Z kolei górna granica tego zakresu wynika z ograniczenia napięcia zasilającego wzmacniacz operacyjny US3 – jest ono o około 3,6 V wyższe od tego, które trafia na zaciski złącza J1. Ponadto należy mieć na uwadze ciepło wydzielane w US1 i jego wytrzymałość napięciową. Pobór prądu przez prototyp wynosi 6 mA przy napięciu 12 V i przy niepodłączonych zaciskach złącz J2 i J3.

Dopuszczalne napięcie wejściowe wynika w dużej mierze z wytrzymałości dwóch elementów: rezystora R2 oraz złącza J2. Rezystory o tolerancji 1% i dopuszczalnej mocy strat mają z reguły dopuszczalne napięcie pracy wynoszące 250 V. Złącza zaciskowe typu DG301 również mają taką samą wartość dopuszczalnego napięcia pracy. Proponuję zatem przyjąć 250 V jako maksimum. Można to rozszerzyć, wstawiając w szereg z zaciskiem wejściowym złącza J2 dodatkowy rezystor. Wtedy jego wartość będzie się sumowała z R2.

Maksymalne napięcie wyjściowe zależy w dużej mierze od napięcia zasilającego układ. Jeżeli mowa o LM358 w roli układu US3, to jego stopień wyjściowy pracuje poprawnie, jeżeli napięcie wyjściowe jest o 4 V (lub więcej) niższe od jego dodatniego napięcia zasilającego. Czyli przy zasilaniu układu konwertera napięciem 12 V możemy oczekiwać maksymalnego napięcia wyjściowego na poziomie 8 V.

W prototypie użyto układu LM358, który w wielu zastosowaniach będzie wystarczający, choć nie zawsze – przy bardziej dokładnych pomiarach może dać znać o sobie jego offset napięciowy. W układzie prototypowym, na wyjściu (złącze J3) panowało napięcie 2,2 mV przy rozwartych zaciskach złącza J2. Można użyć innego podwójnego wzmacniacza operacyjnego, na przykład OP200, godząc się również z wyższą ceną takiego układu.

Michał Kurzela, EP

eprasa.pl d8e2d0846e

Podstawowe parametry:

- bazuje na podwójnym mostkowym driverze silników typu A3906,
- umożliwia sterowanie dwoma silnikami komutatorowymi lub jednym silnikiem krokowym,
- maksymalnym prąd wyjściowy: 0,4 A, napięcie zasilania: 3,6...9 V.

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

----	Ekspander IO z układem PCA9531 (EP 4/2022)
----	Dwukanałowy multiplekser magistrali I²C (EP 2/2022)
AVT5912	Expander wyjść z interfejsem I²C (EP 1/2022)
AVT5901	Moduł z zegarem RTC i pamięcią FRAM po I²C (EP 11/2021)
AVT5894	Ośmiokanałowy multiplekser magistrali I²C (EP 10/2021)
AVT5884	Expander portu szeregowego UART dla magistrali I²C (EP 9/2021)
AVT5881	Multiplekser analogowy sterowany z magistrali I²C (EP 8/2021)
AVT5854	Przedłużacz magistrali I²C (EP 4/2021)
----	Izolator magistrali I²C (EP 3/2021)
AVT5786	Translator adresu magistrali I²C (EP 8/2020)
----	Expander IO z interfejsem I²C (EP 6/2020)
AVT5769	Podwójny potencjometr z interfejsem I²C (EP 5/2020)
----	Moduł wyjść dużej mocy z kontrolą poprzez I²C (EP 5/2020)
AVT5751	I²C Extender – przedłużacz i rozdzielacz magistrali I²C (EP 3/2020)
AVT5708	Przedłużacz magistrali I²C (EP 8/2019)
AVT5687	Konwerter poziomów magistrali I²C (EP 7/2019)
AVT5154	Wyświetlacz LCD sterowany magistralą I²C (EP 10/2008)
AVT5147	Moduł wyświetlacza LED sterowany magistralą I²C (EP 9/2008)
AVT1439	Sprzętowy konwerter RS232<–>I²C (EP 8/2006)
AVT816	Uniwersalne moduły I²C (EP 5/1999)
AVT480	Mikroprocesorowy interfejs I²C (EP 12/1998)

* 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

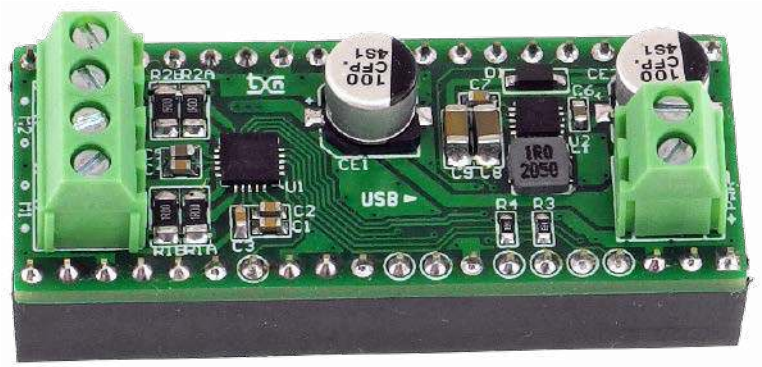
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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.

Sterownik mikrosilników prądu stałego do RPi Pico

Nakładka na Raspberry Pi Pico z driverem dwóch mikrosilników prądu stałego z regulacją PWM będzie przydatna w robotyce amatorskiej i nie tylko.



Moduł bazuje na podwójnym mostkowym driverze silników typu A3906, którego budowę pokazano na **rysunku 1**. Umożliwia sterowanie dwoma silnikami komutatorowymi o prądzie maksymalnym 1 A zasilanymi napięciem 2,5...9 V lub jednym silnikiem krokowym. Regulacja prędkości obrotowej może odbywać się sygnałem PWM. Układ ma zabezpieczenie termiczne oraz sygnalizację przekroczenia prądu drivera. Logika wejść sterujących układu A3906 została pokazana w **tabeli 1**.

Tabela 1. Logika wejść sterujących układu A3906

IN1/3	IN2/4	OUT1A	OUT1B	OUT2A	OUT2B	Tryb
0	0	OFF	OFF	OFF	OFF	Disabled
1	0	H	L	H	L	Forward
0	1	L	H	L	H	Reverse
1	1	L	L	L	L	Brake

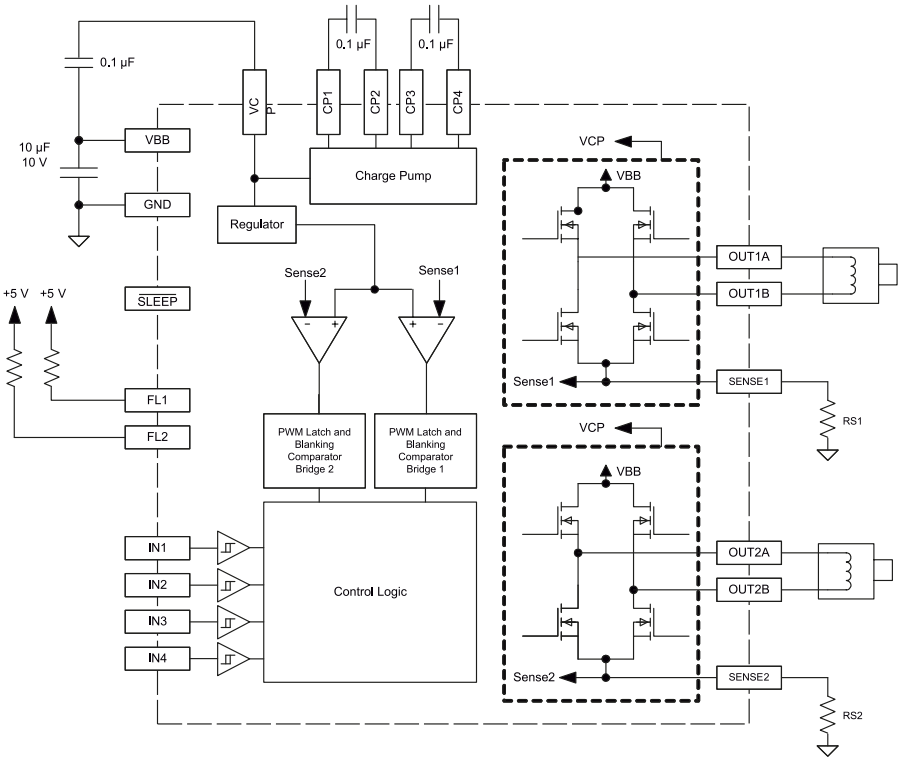
Budowa i działanie

Schemat sterownika silników znajduje się na **rysunku 2**. Prąd uzwojenia silnika określany jest wartościami rezystorów R1A/R1B, R2A/R2B według wzoru:

$$I_{trip} = 0{,}2 / (R1A||R1B)$$

dla wartości R1A = R1B = 1 Ω, prąd uzwojeń wynosi ok. 0,4 A. Podczas doboru rezystorów ograniczenia należy spełnić warunek taki, aby napięcie na wyprowadzeniu SENSE nie przekraczało 0,5 V.

Dla sterowania driverem A3906 przeznaczono wyprowadzenia 2 i 3 oraz 6 i 7 ustalające kierunek obrotów lub prędkość silnika, jeżeli GPIO pracuje w trybie PWM, wyprowadzenie 10 ustawione w tryb wysoki aktywuje driver. Stan wyjść A3906 sygnalizujących przeciążenie drivera FLT1, FTL2 dostępny jest na wyprowadzeniach 4 i 5 płytki RPi Pico. Silniki podłączone są do złącz śrubowych M1, M2. Zasilanie VM 3,6...9 V doprowadzone jest do złącza PWR, należy pamiętać o odpowiedniej wydajności zasilacza i jego odpowiednim odsprzęganiu.



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny układu A3906

eprasa.pl d8e2d0846e

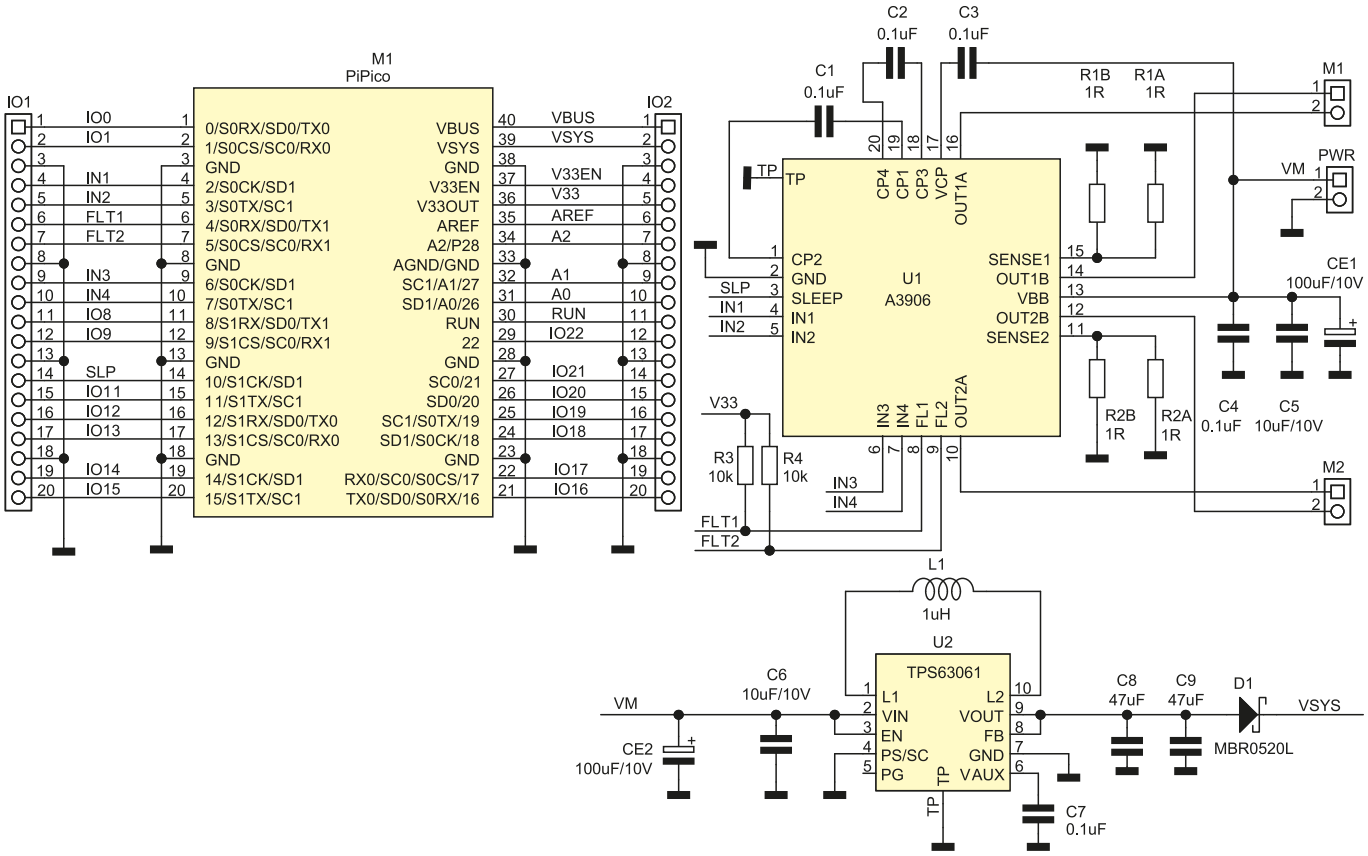
WYKAZ ELEMENTÓW, które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory:
R1A, R1B, R2A, R2B: 1 Ω (dobrać do prądu silnika) (SMD1206)
R3, R4: 10 kΩ (SMD0603)

Kondensatory:
C1, C2, C3, C4, C7: 0,1 µF/50 V (SMD0603)
CE1, CE2: 100 µF/10 V elektrolityczny miniaturowy 6,3 mm
C5, C6: 10 µF (SMD0603)
C8, C9: 47 µF (SMD1206)

Półprzewodniki:
D1: MBR0520L (SOD123)
U1: A3906 (QFN20)
U2: TPS63061DSC (WSON10)

Pozostałe:
IO1, IO2: listwa żeńska 20 pinów, 2,54 mm
L1: 1 µH dławik DLJ4018 1 µH/1,8 A
M1, M2, PWR: złącze DG381-3.5-2



Rysunek 2. Schemat ideowy modułu

Moduł uzupełnia przetwornica powyższająco-obniżająca U2 typu TPS63061, zasilana z napięcia VM. Dostarcza ona napięcia VSYS o wartości ok. 4,8 V do zasilania płytki RPi Pico, dioda D1 zapobiega przepływowi prądu wstecznego, gdy moduł zasilany jest także z USB np. podczas uruchamiania. Kondensatory CE1, CE2 zapewniają podstawową filtrację zasilania, w przypadku współpracy z silnikami o większym poborze mocy należy odpowiednio uzupełnić układ o zewnętrzny kondensator odsprzęgający.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach zgodnych z Raspberry Pi Pico, której schemat został pokazany na **rysunku 3**. Montaż jest typowy, należy tylko zwrócić uwagę na przylutowanie padów termicznych układów U1,U2, dla zapewnienia prawidłowego odprowadzania ciepła.

Zmontowany moduł nie wymaga uruchamiania. Sterowanie silnikami odbywa się poprzez odpowiednią konfigurację wyprowadzeń GPIO lub generatorów PWM. Sterując GPIO i generatory można ustawić stany logiczne 0/1 zmieniając odpowiednio sterowanie silnikiem, a generowanie sygnału PWM podłączonego do jednego z wejść A3906 umożliwi płynną regulację obrotów w odpowiadającym kierunku. Szybkiego sprawdzenia modułu po podłączeniu silników i zasilania można dokonać korzystając z IDE Thonny i micropythona oraz terminala szeregowego. Po imporcie bibliotek Pin, PWM, sleep:

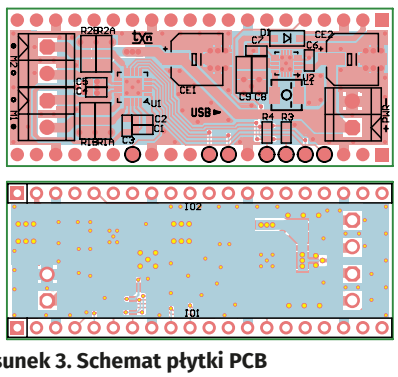
```
from machine import Pin, PWM
from time import sleep
```

zdefiniowaniu wyjść sterujących:

```
SLP = Pin(10, Pin.OUT)
IN1 = Pin(2, Pin.OUT)
IN2 = Pin(3, Pin.OUT)
IN3 = Pin(6, Pin.OUT)
IN4 = Pin(7, Pin.OUT)
```

lub pwm:

```
SLP = Pin(10, Pin.OUT)
pwm1 = PWM(Pin(2))
pwm2 = PWM(Pin(3))
pwm3 = PWM(Pin(6))
pwm4 = PWM(Pin(7))
pwm.freq(10000)
```



Rysunek 3. Schemat płytki PCB

Teraz możemy sterować kierunkiem pracy silników zmieniając stany wyjść IN1...In4 np:

```
SLP.value(1)
IN1.value(0)
IN2.value(1)
IN3.value(1)
IN4.value(0)
```

lub prędkością zmieniając odpowiednio wartość sygnału PWM:

```
SLP.value(1)
pwm1.duty_u16(0)
pwm2.duty_u16(32000)
pwm3.duty_u16(16000)
pwm4.duty_u16(0)
```

Jeżeli po sprawdzeniu wszystko działa poprawnie można moduł zastosować we własnej aplikacji.

Adam Tatuś, EP

eprasa.pl d8e2d0846e

Podstawowe parametry:

- zawiera cztery niezależne niskonapięciowe przekaźniki półprzewodnikowe,
- maksymalne parametry wyjść: 24 V, 0,5 A,
- sterowanie poprzez interfejs I²C (bazuje na układzie ekspandera GPIO dla typu TPIC2810).

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

----	Ekspander IO z układem PCA9531 (EP 4/2022)
----	Dwukanałowy multiplekser magistrali I²C (EP 2/2022)
AVT5912	Expander wyjść z interfejsem I²C (EP 1/2022)
AVT5901	Moduł z zegarem RTC i pamięcią FRAM po I²C (EP 11/2021)
AVT5894	Ośmiokanałowy multiplekser magistrali I²C (EP 10/2021)
AVT5884	Expander portu szeregowego UART dla magistrali I²C (EP 9/2021)
AVT5881	Multiplekser analogowy sterowany z magistrali I²C (EP 8/2021)
AVT5854	Przedłużacz magistrali I²C (EP 4/2021)
----	Izolator magistrali I²C (EP 3/2021)
AVT5786	Translator adresu magistrali I²C (EP 8/2020)
----	Expander IO z interfejsem I²C (EP 6/2020)
AVT5769	Podwójny potencjometr z interfejsem I²C (EP 5/2020)
----	Moduł wyjść dużej mocy z kontrolą poprzez I²C (EP 5/2020)
AVT5751	I²C Extender – przedłużacz i rozdzielacz magistrali I²C (EP 3/2020)
AVT5708	Przedłużacz magistrali I²C (EP 8/2019)
AVT5687	Konwerter poziomów magistrali I²C (EP 7/2019)
AVT5154	Wyświetlacz LCD sterowany magistralą I²C (EP 10/2008)
AVT5147	Moduł wyświetlacza LED sterowany magistralą I²C (EP 9/2008)
AVT1439	Sprzętowy konwerter RS232<–>I²C (EP 8/2006)
AVT816	Uniwersalne moduły I²C (EP 5/1999)
AVT480	Mikroprocesorowy interfejs I²C (EP 12/1998)

* 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

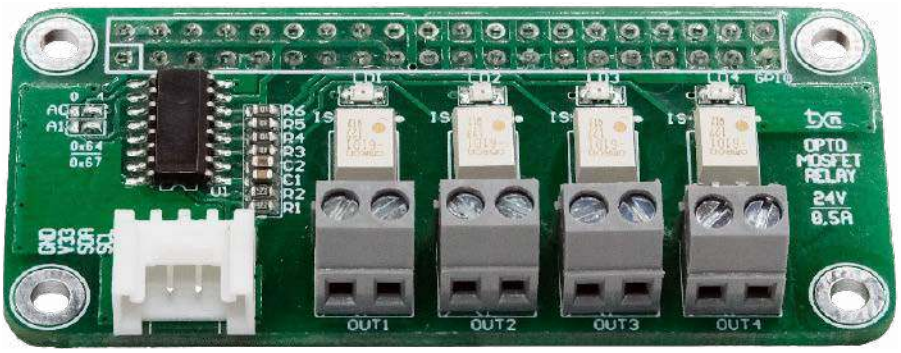
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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.

Moduł przekaźników półprzewodnikowych do RPi Zero i nie tylko

Moduł rozszerza możliwości RPi Zero o cztery niezależne niskomocowe przekaźniki półprzewodnikowe. W przeciwieństwie do klasycznych przekaźników elektromechanicznych nie występuje w nich zjawisko drgania styków, mogą załączać sygnały o bardzo małej amplitudzie, mają krótszy czas reakcji i niemal nieskończoną żywotność. Takie cechy umożliwiają stosowanie ich w różnorodnych aplikacjach wymagających precyzyjnego, niezawodnego sterowania.



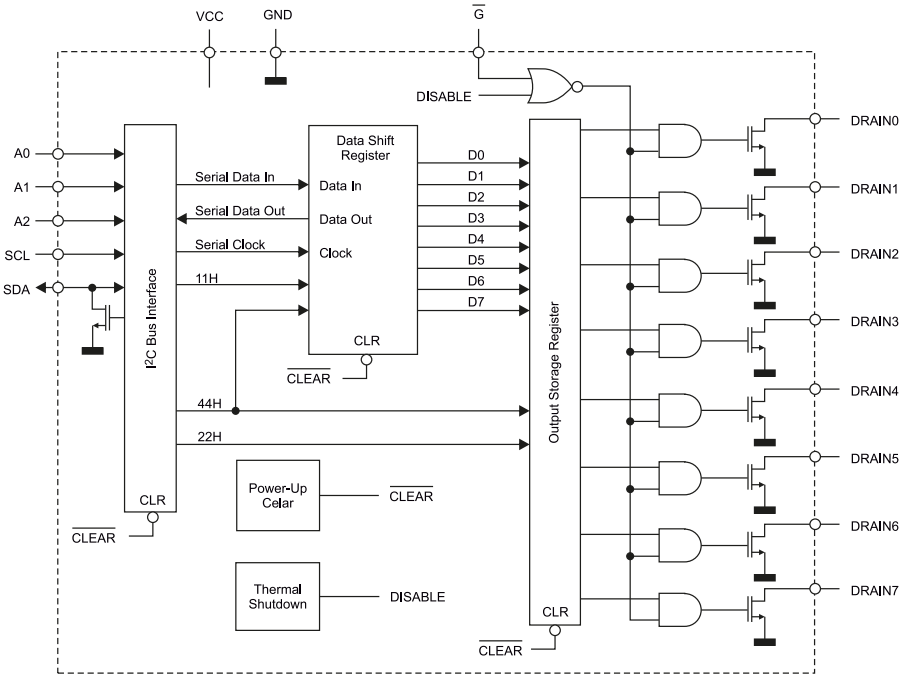
Moduł bazuje na układzie ekspandera GPIO z interfejsem I²C typu TPIC2810, którego strukturę wewnętrzną pokazano na **rysunku 1**. Wyróżnia się on zwiększoną obciążalnością wyjść – każde z 8 wyprowadzeń GPIO typu OD może być obciążone prądem do 100 mA, przy napięciu do 40 V. To pozwala np. na wysterowanie małych modułów LED czy przekaźników bez dodatkowych buforów prądowych.

Budowa i działanie

Schemat modułu przekaźników pokazano na **rysunku 2**. Adresację układu U1 wykonujemy zworami A0, A1, które umożliwiają ustawienie czterech adresów bazowych 0x64...0x67. Układ TPIC2810 ma trzy rejestry pod subadresami 0x11, 0x22, 0x44 służące do kontroli działania układu:

- 0x11 – odczyt danych z rejestru wejściowego – bufora,
- 0x11 – zapis danych do rejestru wejściowego – bufora (nie ustawia stanów wyjść),
- 0x22 – zapis powoduje przepisanie rejestru wejściowego – bufora do rejestru wyjściowego ustawiającego stan wyjść,
- 0x44 – zapis bezpośredni do rejestru wyjściowego, z ustawieniem stanu wyjść.

Wyjścia D0...D3 układu U1 sterują przekaźnikami półprzewodnikowymi IS1...IS4 typu G3VM-61DR1, których wyjścia doprowadzone są do złącz OUT1...OUT4. Stan aktywny przekaźników sygnalizowany jest diodami LD1... LED4. Wyjścia zabezpieczone są transilami TVS1...TVS4 typu SMAJ39CA. Układ uzupełnia złącze I²C zgodne ze standardem Grove 3,3 V.



Rysunek 1. Struktura wewnętrzna układu TPIC2810

eprasa.pl d8e2d0846e

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: 4,7 kΩ
R3, R4, R5, R6: 180 Ω

Kondensatory: (SMD0603)
C1: 0,1 µF
C2: 10 µF

Półprzewodniki:
LD1, LD2, LD3, LD4: dioda LED (SMD0805)
U1: TPIC2810D (SO16)

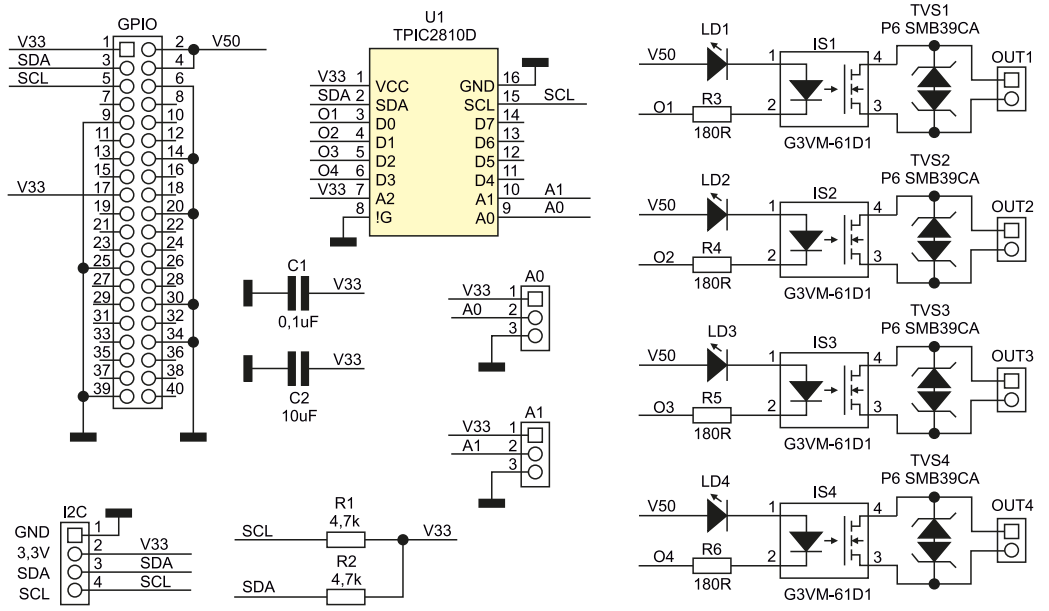
Pozostałe:
GPIO: złącze IDC żeńskie 2×20 pinów
I²C: złącze Grove kątowe
IS1, IS2, IS3, IS4: przekaźnik optyczny MOS typu G3VM-61D1
OUT1, OUT2, OUT3, OUT4: złącze DG381-3.5-2
TVS1, TVS2, TVS3, TVS4: Transil P6SMB39CA (SMB)

Montaż i uruchomienie

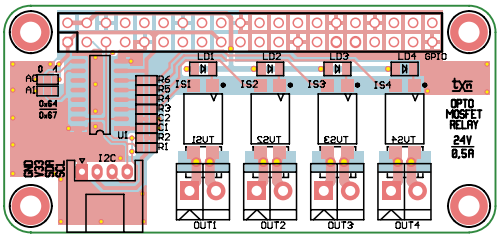
Moduł został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat pokazano na **rysunku 3**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga opisu, wszelkie wątpliwości wyjaśnia fotografia tytułowa. Należy tylko zadbać o odpowiednie zabezpieczenia przed ESD – można łatwo uszkodzić przekaźniki IS1...IS4.

Prawidłowo zmontowany moduł nie wymaga uruchomienia. Dla szybkiego sprawdzenia działania, należy podłączyć go do Raspberry i użyć pakietu i2ctools – moduł powinien być widoczny (**rysunek 4**) po skanowaniu magistrali poleceniem:

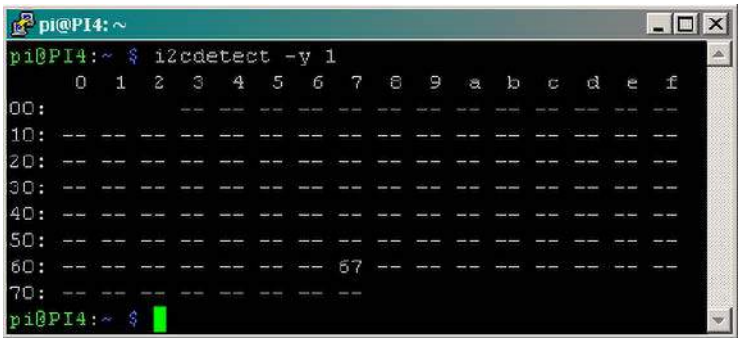
```
i2cdetect -y 1
```



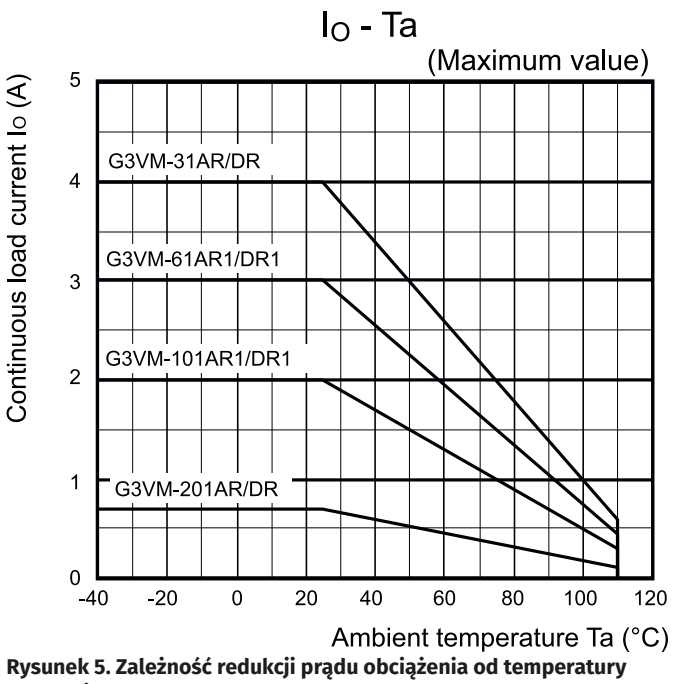
Rysunek 2. Schemat ideowy układu



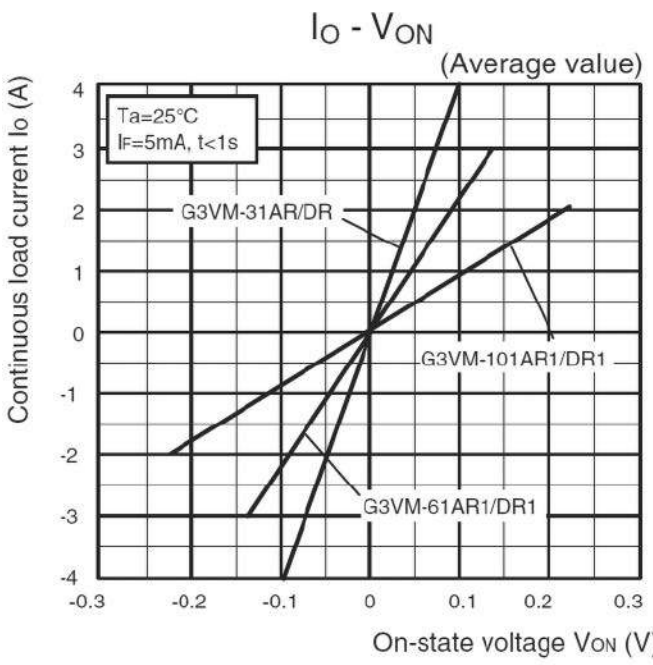
Rysunek 3. Schemat płytki PCB



Rysunek 4. Detekcja układu TPIC2810 przy użyciu narzędzia i2ctools



Rysunek 5. Zależność redukcji prądu obciążenia od temperatury otoczenia



Rysunek 6. Spadek napięcia na elemencie wykonawczym

eprasa.pl d8e2d0846e

Jeżeli detekcja układu przebiegła pomyślnie, zmiana stanu wyjść może odbywać się bezpośrednio poprzez ustawienie odpowiednich bitów rejestru 0x44 w stan wysoki np. załączenie wyjścia OUT1 nastąpi po wpisaniu:

```
i2cset -y 1 0x67 0x44 0x01
```

Po sprawdzeniu wszystkich wyjść moduł można zastosować we własnej aplikacji. Należy pamiętać, że przekaźniki półprzewodnikowe, oprócz zalet, jakimi są niski pobór mocy, szybkie przełączanie, trwałość mają także wady, z których najważniejsze to brak odporności na przeciążenia i silna zależność od temperatury. W rzeczywistych układach trudno osiągnąć deklarowane przez producenta parametry maksymalne. Zawsze należy upewnić się czy zapewnimy zdolność łączeniową elementu – czyli redukcję dopuszczalnego prądu w zależności od temperatury otoczenia. Charakterystyka przekaźnika G3VM-61DR1 została pokazana na **rysunku 5**. Ważne jest też sprawdzenie spadku napięcia na aktywnym elemencie w odniesieniu do prądu przewodzenia. Spadek ten skutkuje stratami mocy i co z tym związane podniesieniem temperatury układu. Przykładową zależność spadku napięcia od prądu przewodzenia klucza dla G3VM-61DR1 pokazano na **rysunku 6**. Uwzględniając wskazane zależności, nie należy obciążać wyjść modułu prądem większym niż 0,5 A, co jest wartością wystarczającą w większości aplikacji sterujących.

Adam Tatuś, EP

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT5941

Podstawowe parametry:

- detekcja napięcia stałego lub przemiennego,
- możliwość wykrywania zarówno napięcia przemiennego (AC), jak i stałego (DC),
- maksymalne napięcie skuteczne: ok. 300 V,
- minimalne wykrywane napięcie: ok. 70 V,
- izolacja galwaniczna: z użyciem transoptora,
- zasilanie napięciem od 3...15 V.

* 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

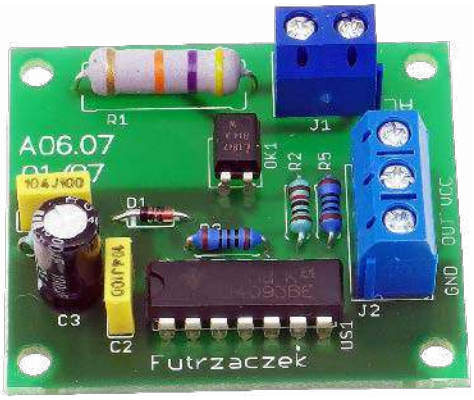
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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.

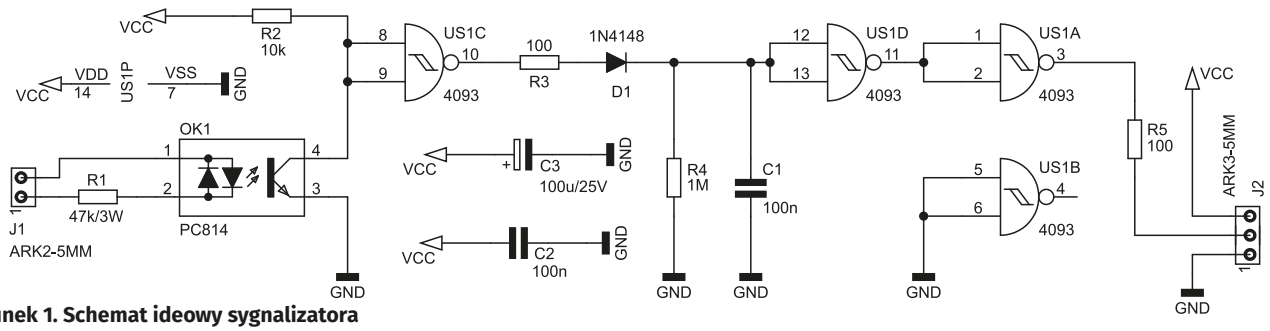
W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt Via e-mail: kity@avt.pl.

Półprzewodnikowy sygnalizator obecności napięcia sieciowego

Wykrywanie napięcia sieciowego 230 V AC w jakimś obwodzie może być trudne do zrealizowania w układach cyfrowych. Wysokie amplitudy, zmiana polaryzacji, liczne zakłócenia – aby dostosować taki sygnał do wejścia mikrokontrolera, na przykład z rodziny ATmega, należy uwzględnić wiele czynników. Zaprezentowany układ jest prostym i sprawdzonym rozwiązaniem.



Opisany układ z pozoru nie robi niczego poważnego: wystawia stan wysoki na wyjściu, jeżeli na jego wejście zostanie podane napięcie stałe lub przemienne. Jednak na tym nie kończy się jego funkcjonalność, gdyż zapewnia izolację galwaniczną między tymi obwodami oraz skutecznie zapobiega przedostawaniu się zakłóceń do delikatnego obwodu cyfrowego. Informacja o obecności napięcia jest reprezentowana stanem wysokim na wyjściu.



Rysunek 1. Schemat ideowy sygnalizatora

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: (THT o mocy 0,25 W jeżeli nie wskazano inaczej)
R1: 47 kΩ 3 W
R2: 10 kΩ
R3, R5: 100 Ω
R4: 1 MΩ

Kondensatory:
C1, C2: 100 nF raster 5 mm MKT
C3: 100 µF 25 V raster 2,54 mm

Półprzewodniki:
D1: 1N4148
OK1: PC814
US1: CD4093 (DIP14)

Pozostałe:
J1: ARK2/500
J2: ARK3/500

eprasa.pl d8e2d0846e

Brak napięcia spowoduje zmianę stanu logicznego na niski.

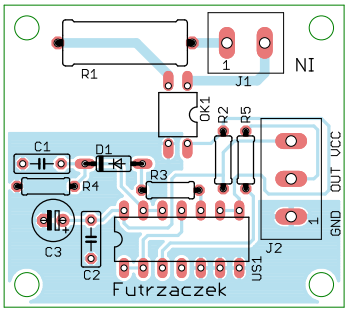
Układ może służyć do pobrania informacji zwrotnej o tym, że dany obwód maszyny jest załączony lub nie. Takie sprzężenie zwrotne będzie przydatne w sytuacji, kiedy nie mamy dostępu do sygnału sterującego tym obwodem lub może on pochodzić z kilku niezależnych źródeł, a nas interesuje tylko efekt końcowy: obwód działa lub nie.

Budowa i działanie

Schemat sygnalizatora został pokazany na **rysunku 1**. Monitorowane napięcie należy podłączyć do zacisków złącza J1. Jego obecność wywołuje przepływ prądu przez rezystor R1 i jedną z diod nadawczych transoptora OK1. Jedną, bowiem w strukturze PC814 znajdują się dwie diody nadawcze, włączone antyrównolegle. Światło emitowane przez załączoną diodę oświetla bazę zintegrowanego w strukturze układu fototranzystora, co z kolei powoduje jego przewodzenie. Rezystor R1 ogranicza prąd tych diod do niewielkiej wartości, rzędu kilku miliamperów.

Prąd płynący przez kolektor fototranzystora przepływa również przez rezystor R2, wywołując na nim spadek napięcia. Jeżeli potencjał tego węzła spadnie w dostatecznym stopniu, bramka US1C przełączy stan logiczny swojego wyjścia z niskiego na wysoki. W ten sposób dalsza część układu staje się niewrażliwa na natężenie prądu płynącego przez diodę nadawczą, czyli również na dokładną wartość wykrywanego napięcia. Wystarczy, aby było ono w stanie prawidłowo nasycić fototranzystor, co przyjęto jako umowną granicę 1,5 mA wartości skutecznej prądu rezystora R1.

Impulsy napięcia z wyjścia US1C doładowują kondensator C1. Dioda D1 zapobiega rozładowywaniu tego elementu w momencie wystąpienia niskiego stanu logicznego, a rezystor R4 odpowiada na jego powolne rozładowywanie. Ten obwód działa jak prosty detektor wartości szczytowej, którego zadaniem jest krótkotrwałe przechowanie informacji o tym, że na wejściu układu wystąpiły impulsy napięcia o prawidłowej wartości szczytowej. Rezystor R3 ogranicza prąd płynący przez wyjście bramki US1C podczas doładowywania kondensatora C1.



Rysunek 2. Schemat montażowy i wzór ścieżek płytki

Zastosowanie detektora szczytowego pozwoliło na łatwe przystosowanie układu do pracy z napięciem przemiennym, którego wartość chwilowa cyklicznie przechodzi przez zero. Stała czasowa rozładowania C1 wynosi około 100 ms, więc w obwodach napięcia 50 Hz lub 60 Hz sprawdzi się idealnie. Jednocześnie jest ona na tyle mała, że w przeciągu zaledwie kilku okresów napięcia sieciowego informacja o jego utracie zostanie wystawiona na wyjście – C1 rozładuje się. Układ może też wykrywać składową stałą, która w tym obwodzie przechodzi bez problemu.

Napięcie występujące między okładkami C1 jest na bieżąco monitorowane przez wejścia bramki US1D. Przerzutnik Schmitta, który znajduje się w jej strukturze, uodparnia je na wolno zmieniające się napięcie, które może znajdować się w przedziale zabronionym dla układów z rodziny CMOS 4000. Bramka US1A odwraca informację wystawioną przez US1D, wobec czego na wyjściu układu otrzymujemy wysoki stan logiczny w momencie detekcji napięcia.

Zastosowanie układu CD4093 dało spore możliwości jeżeli chodzi o rozpiętość zakresu dopuszczalnego napięcia zasilania. Może ono wynosić od 3 V do 15 V, więc układ łatwo będzie sprzęgnąć zarówno z mikrokontrolerami pracującymi przy napięciu 3,3 V lub 5 V, jak również ze sterownikami PLC i innymi.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 45×38 mm. Jej schemat został pokazany na **rysunku 2**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe o średnicy 3,2 mm. Wszystkie elementy znajdujące się na płytce są przystosowane do montażu przewlekanego. Należy je wlutować zgodnie z ogólnymi zasadami, zaczynając od najniższych, a na najwyższych kończąc. Rezystor R1 polecam wlutować na nieco dłuższych nóżkach, kilka milimetrów nad powierzchnią laminatu, aby ułatwić jego chłodzenie. Szczegóły montażu można zobaczyć na fotografii tytułowej. Pod układ scalony US1 można zastosować podstawkę.

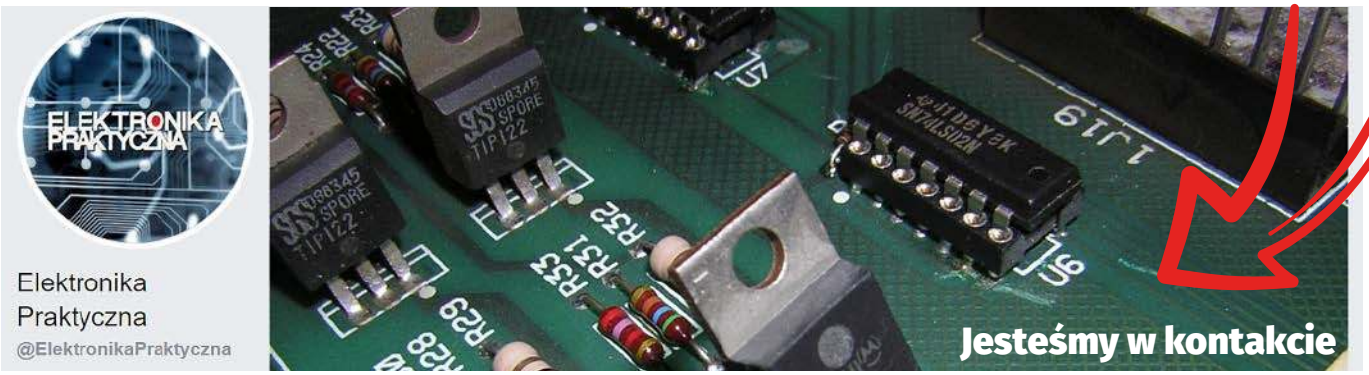
Prawidłowo zmontowany układ jest od razu gotowy do działania i nie wymaga jakichkolwiek czynności uruchomieniowych. Między zaciski GND i VCC złącza J2 należy podłączyć stałe napięcie zasilające (niekoniecznie stabilizowane) z podanego wcześniej przedziału, a do J1 – napięcie pochodzące z obwodu, który chcemy nadzorować. Sygnałem wyjściowym jest cyfrowa informacja pojawiająca się na zacisku OUT (względem masy GND): stan niski – nie ma napięcia, stan wysoki – napięcie występuje. Obciążalność prądowa wyjścia jest niewielka, rzędu kilku miliamperów, więc nadaje się wyłącznie do sterowania wejściem układu cyfrowego lub bramki tranzystora MOSFET.

Minimalne napięcie wejściowe zostało zdefiniowane jako taka wartość skuteczna, przy której przez wejście układu popłynie prąd o natężeniu 1,5 mA. Wynosi około 70 V. Z kolei maksymalne napięcie skuteczne wynosi 300 V i jest ograniczone przez wytrzymałość złącza śrubowego J1. Gdyby go nie montować, lecz wlutować przewody bezpośrednio w płytkę, maksymalna moc tracona na R1 ustanowiłaby limit na poziomie 375 V. Można rozszerzyć ten zakres jeszcze bardziej, na przykład na potrzeby wykrywania napięcia międzyfazowego w sieci 400 V, poprzez podłączenie dodatkowego rezystora w szereg z jednym z zacisków złącza J1.

Pobór prądu przez układ zależy od napięcia zasilania. Przy podaniu na wejście napięcia sieciowego 230 V, przy 3 V układ prototypowy pobierał 0,3 mA, zaś przy 15 V już 1,4 mA. W stanie spoczynku, przy braku napięcia na wejściu, pobór prądu wynosił około 1 µA, niezależnie od napięcia zasilania.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA



eprasa.pl d8e2d0846e



Dobór komponentów do interfejsów dotykowych

Coraz częściej interakcje pomiędzy człowiekiem a maszyną zachodzą poprzez interfejs dotykowy. Kupowanie biletów, zamawianie jedzenia, odbieranie przesyłek – te codzienne czynności łączy fakt, że urządzenia, z których korzystamy, obsługujemy za pomocą naszych palców. Projektując własne rozwiązanie z interfejsem dotykowym, warto zwrócić uwagę na kilka, wydawałoby się, prostych i oczywistych, ale niezmiernie ważnych parametrów.

Więcej informacji:
Unisystem sp. z o.o.
80-299 Gdańsk, ul. Nowy Świat 36
tel. +48587615420
biuro@unisystem.pl, www.unisystem.pl

Po pierwsze – wyświetlacz

Kluczową kwestią w początkowej fazie projektu jest wybór technologii. W aplikacjach dotykowych najczęściej stosowanymi wciąż pozostają wyświetlacze LCD TFT. O ich powszechności decyduje m.in. łatwość dostosowania do wymagań projektu – nie tylko w zakresie wyboru optymalnej przekątnej, ale również dopasowania kluczowych parametrów.

Rozdzielczość – jest to parametr określający liczbę pikseli obrazu wyświetlanych na ekranie i jest wyrażana w postaci liczby pikseli w poziomie i w pionie. Wysoka rozdzielczość jest ważna w przypadku aplikacji retail, takich jak np. wyświetlacze na wystawach sklepowych, videowall, ale także w przypadku wyświetlaczy służących jako nośniki informacji w obiektach użyteczności publicznej. W tych rozwiązaniach minimalna rozdzielczość to FullHD (czyli 1920×1080 px), chociaż uzasadniona będzie też 4k (3840×2160 px) – ze względu na duże wymiary ekranów stosowanych we wspomnianych projektach.

Jasność – wartość natężenia światła, jakie emituje ekran wyświetlający czystą biel. Optymalna jasność monitora zapewniająca komfort pracy to ok. 140...150 cd/m² (kandeli na metr kwadratowy). Wartości na poziomie 250...300 cd/m² są męczące dla ludzkiego oka i mogą wpływać na efektywność pracy. Jednak w przypadku rozwiązań przemysłowych takie a nawet wyższe wartości mają swoje uzasadnienie.

Projektowane urządzenia znajdują się w różnych, czasem bardzo specyficznych przestrzeniach, które różnią się między sobą m.in. intensywnością oświetlenia. Kioski informacyjne i totemy umieszczane w intensywnie oświetlonych wnętrzach, takich jak centra handlowe, dworce czy lotniska, powinny być wyposażone w wyświetlacze o jasności co najmniej 500 cd/m². Z kolei ekrany prezentujące reklamy we wspomnianych miejscach mają zazwyczaj co najmniej 750 cd/m². Wyświetlacze w aplikacjach umieszczanych poza budynkami powinny mieć jasność min. 1000 cd/m², aby zapewnić odpowiednią czytelność w mocno nasłonecznionych lokalizacjach.

Kontrast – to współczynnik określający natężenie światła pomiędzy najjaśniejszym i najciemniejszym punktem na ekranie. Wyświetlacz

eprasa.pl d8e2d0846e

o dużym kontraście i optymalnej jasności będzie prezentował wyraźny i czytelny obraz. Warto jednak pamiętać, że zwiększanie jasności nie wpłynie na wartość współczynnika kontrastu.

Kierunek obserwacji – jest to kryterium szczególnie istotne w przypadku aplikacji digital signage, ale także transportowych, w których ważnym aspektem jest czytelność i dostępność informacji. W takim wypadku proponujemy zastosowanie wyświetlacza o jak najszerszych kątach obserwacji (np. 89/89/89/89 stopni). Jednak nie każdy projekt będzie wymagał tak wyśrubowanych parametrów. W przypadku urządzeń, na które będziemy spoglądać z góry, w zupełności wystarczające będzie zastosowanie matrycy o kącie obserwacji na godzinę 12. Warto podkreślić, że wprowadzenie wyświetlacza o węższych kątach obserwacji może znacząco obniżyć koszty całego projektu.

Temperatura pracy – w przypadku aplikacji przemysłowych i outdoorowych jest to kluczowy czynnik. Wysokie i niskie temperatury mogą zaburzać poprawne działanie wyświetlacza. Rozwiązaniem dla tak wymagających projektów są produkty o szerokim zakresie temperatur pracy, w których jednocześnie zastosowano technologię hiTNI, zapobiegającą przegrzewaniu się ciekłych kryształów.

Po drugie – panel dotykowy

Najchętniej wybieraną technologią dotykową, również w branżach wymagających jak np. przemysł ciężki, jest technologia pojemnościowa. Jej działanie polega na wykrywaniu zakłóceń pola elektrostatycznego, które powstają przy zbliżaniu obiektów przewodzących prąd (np. palce). Warto podkreślić, że rozwiązania pojemnościowe mogą zawierać szereg udoskonaleń jak np. tryb *water rejection* czy *palm rejection*, wykrywające obecność wody lub obiektów na powierzchni panelu dotykowego, jednocześnie ograniczających ich wpływ na pracę urządzenia. W sensorach pojemnościowych dostępna jest także funkcja *multitouch*, która pozwala śledzić co najmniej kilka punktów dotyku jednocześnie.

Szkło – to jedna z form zabezpieczenia wyświetlaczy i sensorów, która zapobiega uszkodzeniom mechanicznym. Jednocześnie jest to element, który może nadać projektowanemu urządzeniu unikalny wygląd. Obecnie możliwe jest dostosowanie kształtu szkła do najbardziej nietypowych form, jakie wymyśli projektant. Problemem nie jest także wykonywanie otworów pod elementy mechaniczne, np. przyciski, gałki itp. Dodatkowo rozwój technik drukarskich zapewnił możliwość nanoszenia na szkło nie tylko logotypów, ale także fotorealistycznych grafik i zdjęć.

Powłoki – istnieje kilka wariantów powłok, które wpływają na komfort użytkowników korzystających z urządzenia. Są to m.in. powłoki *anti-glare* (AG) i *anti-reflective* (AR), które redukują odbicia świetlne, *anti-fingerprint* (AF) – zapobiegające przywieraniu zanieczyszczeń, *anti-shatter* (AS) – ograniczające rozprzestrzenianie się odłamków szkła w przypadku uszkodzenia modułu, a także zyskujące na popularności szczególnie w przestrzeniach publicznych powłoki *anti-microbial*/*anti-bacterial* (AM/AB), które redukują ilość drobnoustrojów pozostających na powierzchni urządzenia.

Po trzecie – obudowa

Czynnikami zagrażającymi urządzeniom służącym do wizualizacji informacji są m.in. pyły i woda, które mogą nie tylko zaburzać, ale nawet uniemożliwiać pracę modułu. Aby zapewnić odpowiednią ochronę urządzeniom, stosuje się obudowy o określonym poziomie szczelności opisywanym z użyciem kodów IP, które definiowane są przez normę PN-EN 60529 (odpowiednik międzynarodowej normy IEC 60529). Standardem przyjmowanym dla urządzeń pracujących we wnętrzach jest poziom co najmniej IP22, który zapewnia szczelność obudowy przed wnikaniem ciał obcych o średnicy 12,5 mm oraz kropel wody spadających pod kątem 15 stopni. Ten poziom ochrony to także gwarancja, że wszystkie elementy niebezpieczne znajdujące się w obudowie nie mają możliwości kontaktu z użytkownikiem. W halach produkcyjnych najczęściej stosuje się obudowy o szczelności na poziomie co najmniej IP65 – zapewniają one ochronę przed wnikaniem pyłów, a także w pewnym stopniu wody. Najwyższy opisany poziom, czyli IP69, stosuje się np. w przetwórstwie spożywczym. Obudowy na tym poziomie są całkowicie pyło- i wodoszczelne, można je myć w wysokiej temperaturze (+80°C) i pod wysokim ciśnieniem (80...100 barów).

Podsumowanie

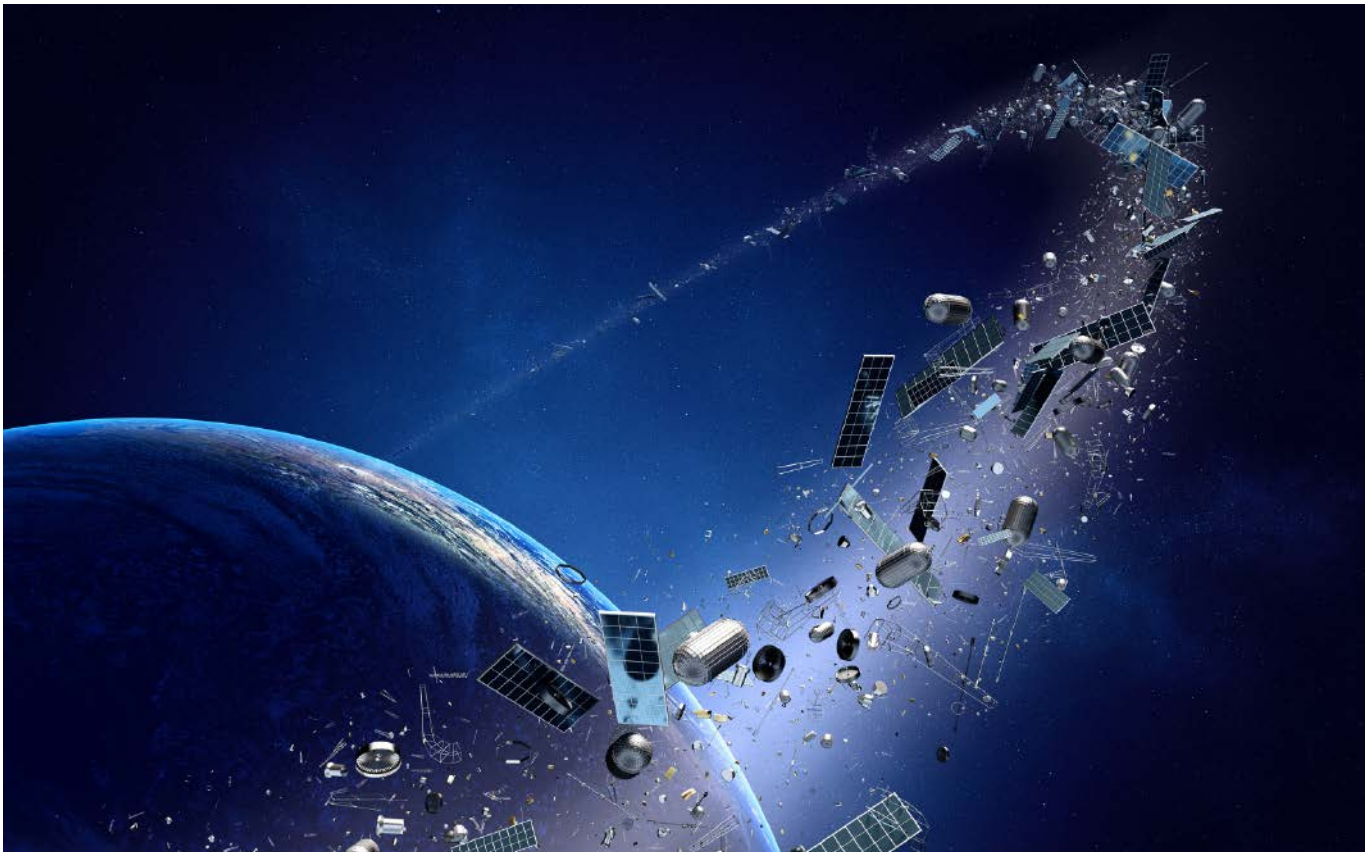
Wiemy, że każdy projekt jest inny i wymaga indywidualnego podejścia. Dzięki naszej wiedzy i doświadczeniu w pracy z wyświetlaczami i panelami dotykowymi oferujemy naszym klientom nie tylko kompletne rozwiązanie, ale przede wszystkim rozwiązanie idealnie dopasowane do ich potrzeb, spełniające nawet najbardziej wyśrubowane wymagania, a także charakteryzujące się nowoczesnym designem. Warto dodać, że pomagamy również w optymalizacji kosztów każdego projektu.

Unisystem
www.unisystem.pl

REKLAMA



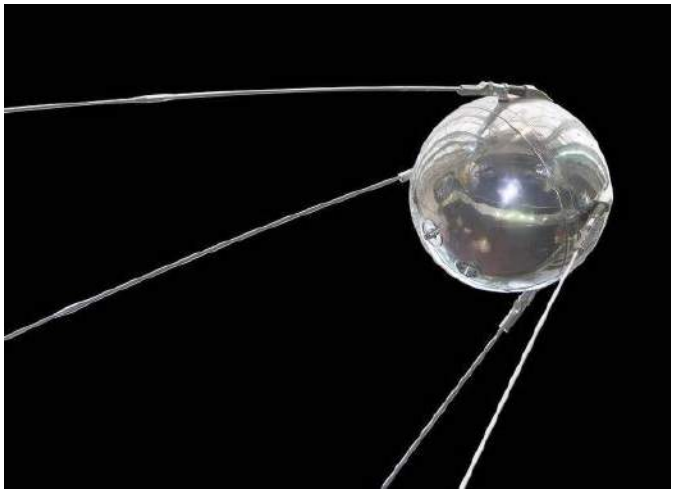
eprasa.pl d8e2d0846e



Elektronika w przestrzeni kosmicznej

– nowe podejście do branży Space

Eksploracja kosmosu, tak chętnie stosowana przez twórców literatury i kina science-fiction, stała się faktem przeszło sześć dekad temu. Od tamtej pory intensywnie i nieprzerwanie rozszerza się nie tylko zakres zastosowań statków kosmicznych, ale także zasoby wiedzy i doświadczenia naukowego, tak niezbędne dla rozwoju inżynierii kosmicznej. Naturalną konsekwencją pozaziemskiego wyścigu technologicznego jest zatem wkroczenie tej branży na ścieżkę czysto komercyjną – a nie tylko naukową czy zbrojeniową. I choć o komercyjnych podróżach kosmicznych na zauważalną skalę można póki co jedynie pomarzyć, to wbrew pozorom przestrzeń kosmiczna jest dziś dla niektórych dostępna wręcz na wyciągnięcie ręki. Tak się składa, że do grupy tych szczęśliwców należą… inżynierowie, a nawet studenci kierunków technicznych.



Fotografia 1. Replika radzieckiego Sputnika 1 – pierwszego sztucznego satelity Ziemi (https://t.ly/EbKk)

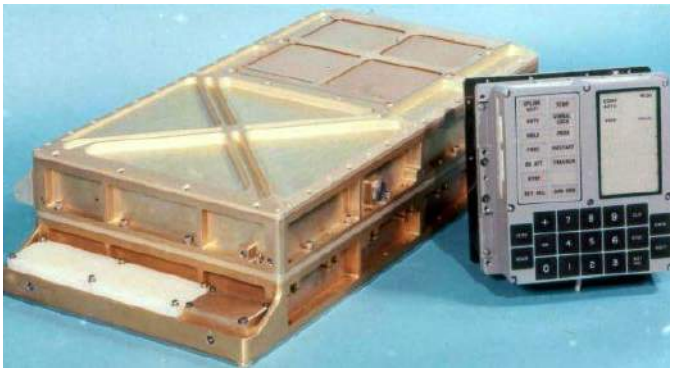
Początków biegu „kosmicznej" historii człowieka należy upatrywać jeszcze w latach 40. XX wieku, kiedy największe mocarstwa uczestniczące w II Wojnie Światowej zaciekle walczyły o pozyskanie jak największej ilości informacji, komponentów oraz (a raczej przede wszystkim) naukowców zaangażowanych w rakietowe projekty niemieckiego konstruktora Wernhera von Brauna. Prawdziwy start podboju kosmosu datuje się jednak na 4 października 1957 roku, ponieważ właśnie wtedy 58-centymetrowa, aluminiowa kapsuła

eprasa.pl d8e2d0846e

radzieckiego Sputnika 1 (**fotografia 1**) została wystrzelona z kosmodromu w Bajkonurze na niską orbitę okołoziemską (LEO). Od tego momentu kolejne sztuczne satelity, a później także załogowe statki kosmiczne, sukcesywnie zasiedlają zarówno tę najbliższą naszej planecie przestrzeń kosmiczną, jak i znacznie odleglejsze obszary Wszechświata.

Trudy i znoje branży kosmicznej

Chyba nikogo nie trzeba przekonywać, że branża kosmiczna należy do ścisłej czołówki najbardziej wymagających obszarów współczesnej techniki. Wyjątkowo niekorzystne warunki zarówno podczas procedury startowej, jak i przez cały okres misji powodują, że elektronika klasy *space-grade* musi cechować się niebywale wysoką niezawodnością i odpornością na silne wibracje, wahania temperatur oraz wpływ próżni i promieniowania kosmicznego. Nic więc dziwnego, że tak wiele misji legło w gruzach zarówno tuż po starcie rakiety, jak i później, już w czasie pracy w otwartej przestrzeni kosmicznej. Choć nie sposób porównywać stopnia złożoności współczesnych satelitów z ich poprzednikami z lat 70. ubiegłego wieku, to trudno byłoby zaprzeczyć potężnej wiedzy i umiejętnościom ówczesnych konstruktorów. Doskonałym przykładem może być tutaj postać



Fotografia 2. Komputer pokładowy zastosowany podczas misji Apollo (https://t.ly/r1i0C)



Fotografia 3. Margaret Hamilton – jedna z głównych programistek programu Apollo – prezentuje wydruki kodów źródłowych komputera pokładowego (https://t.ly/B1xt)

Margaret Hamilton – programistki, która współtworzyła oprogramowanie komputera pokładowego w ramach misji Apollo (**fotografia 2**). Nad powierzoną jej częścią oprogramowania – odpowiedzialną za detekcję i obsługę błędów – pracowała przychodząc do laboratorium ze swoją 4-letnią podówczas córką, a najlepszym dowodem na ogrom wypracowanego przez Hamilton kodu jest kultowe już zdjęcie programistki, stojącej obok potężnego stosu wydruków listingu (**fotografia 3**). Jak wiadomo, trudna i niebezpieczna misja załogowa na Księżyc zakończyła się sukcesem, otwierając kolejny etap na drodze do podboju kosmosu. Ciekawostką jest fakt, że kod źródłowy oprogramowania komputera Apollo-11 został… upubliczniony i można go dziś przeglądać w jednym z repozytoriów dostępnych na GitHubie [1].

Innym imponującym przykładem kunsztu technicznego i wynikającej z niego, niebywałej niezawodności sprzętu elektronicznego (i nie tylko), jest historia międzyplanetarnej sondy Voyager 1 (**fotografia 4**). Wystrzelony 5 września 1977 roku statek kosmiczny, pierwotnie przeznaczony do badania Jowisza i Saturna wraz z ich księżycami, jako pierwszy w dziejach przekroczył tzw. heliopauzę i w 2012 roku wkroczył w przestrzeń międzygwiezdną. W chwili pisania tego artykułu (czerwiec 2022) odległość sondy od Ziemi jest tak wielka, że sygnał nadany przez podsystem telekomunikacyjny Voyagera 1 na przebycie drogi do stacji naziemnej potrzebuje ponad 21,5 godziny. Trudno jednak powiedzieć, który aspekt jest w tej historii najbardziej niezwykły – czy wspomniana odległość (Voyager 1, za sprawą „pomocy" grawitacyjnej, został najdalej położonym od Ziemi obiektem stworzonym przez człowieka), czy wyjątkowo długi czas pracy w (nad wyraz „okrutnej" dla aparatury elektronicznej) otwartej przestrzeni



Fotografia 4. Sonda Voyager 1 (https://t.ly/-_yo)

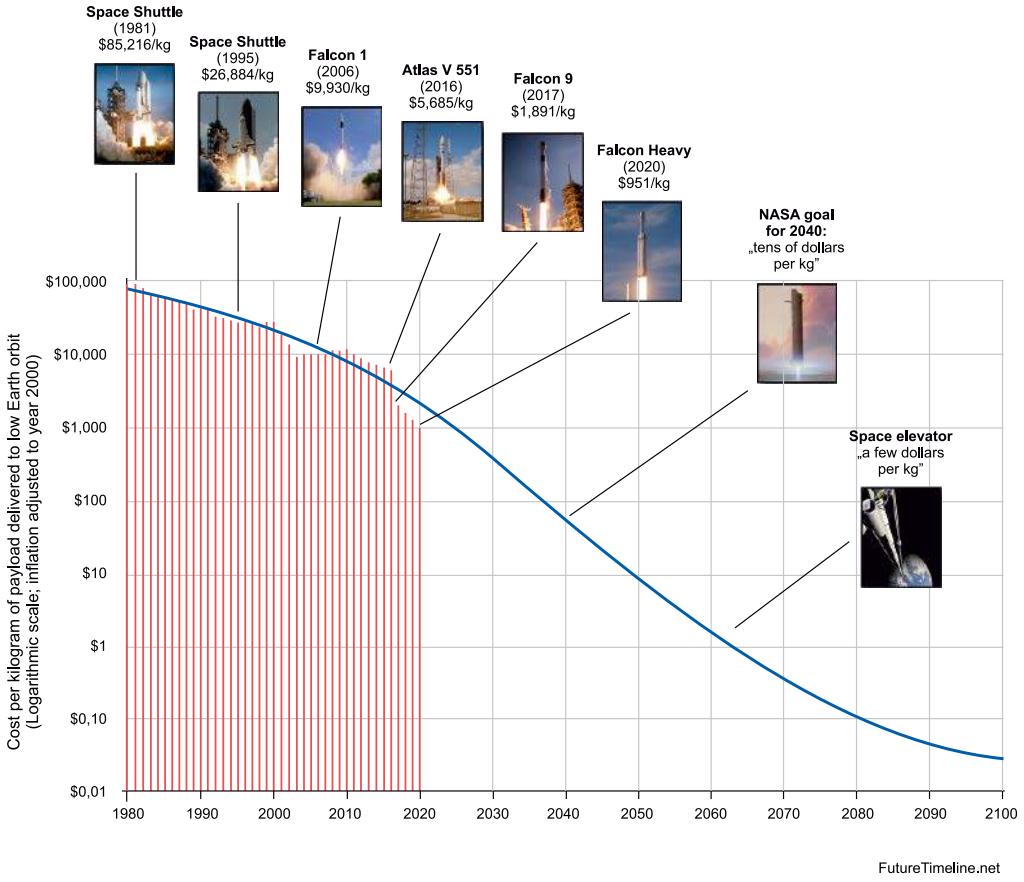


Fotografia 5. Jedna z płyt Voyager Gold Records, umieszczonych na bokach sond Voyager 1 i Voyager 2 (https://t.ly/Pkfp)

eprasa.pl d8e2d0846e

kosmicznej – sonda pracuje bowiem nadal po 44 latach (!), choć pod koniec maja tego roku NASA podała do wiadomości publicznej informację o odbiorze nieprawidłowych danych dotyczących położenia anteny wysokiego zysku, współpracującej z systemem AACS. Co więcej, bliźniaczy Voyager 2 funkcjonuje bez zarzutu, a obydwie sondy wciąż pozostają jedynymi obiektami technicznymi w przestrzeni międzygwiezdnej, z którymi nadal udaje się nawiązać łączność za pośrednictwem naziemnego systemu superczułych odbiorników, należących do sieci Deep Space Network. Warto dodać, że na stronie NASA można znaleźć zapierającą dech w piersiach, niemal fotorealistyczną wizualizację położenia sond w przestrzeni kosmicznej (https://t.ly/-2Kf).

Z sondami Voyager 1 i Voyager 2 wiąże się jeszcze jedna, niezwykle ciekawa ciekawa historia – na bocznych powierzchniach korpusów obu pojazdów umieszczone zostały pozłacane, miedziane dyski o średnicy 12 cali – są to nagrania zwane Voyager Golden Records (**fotografia 5**), zawierające szereg wybiórczych informacji o życiu na Ziemi: nagrania głosowe pozdrowień wypowiedzianych w różnych językach świata, proste zdjęcia (pokazujące m.in. kobietę w sklepie spożywczym), wzory chemiczne, informacje o DNA, a także dźwięki rozmaitych zwierząt oraz komplet przeszło dwudziestu utworów muzycznych (w tym Bacha, Beethovena oraz Mozarta). Przeznaczeniem dysków ma być wysłanie przekazu do potencjalnych obcych cywilizacji lub… ludzi, którzy w dalekiej przyszłości mieliby znaleźć sondy w nieznanych nam obecnie obszarach Wszechświata.



Rysunek 1. Wykres orientacyjnych kosztów umieszczenia na niskiej orbicie okołoziemskiej 1 kg aparatury oraz ekstrapolacja tego trendu na najbliższych siedem dekad (https://t.ly/YXK3)

Zmiany w podejściu do inżynierii kosmicznej

Nie da się ukryć, że w codziennym życiu odczuwamy obecność kosmicznych projektów użytkowych – takich, jak satelity meteorologiczne, obserwacyjne (odpowiedzialne np. za zbieranie danych dla projektu Google Maps), systemy nawigacyjne GPS czy Galileo, systemy telefonii satelitarnej (m.in. Iridium) czy też telewizji satelitarnej (system AMOS należący do konsorcjum Spacecom) oraz Internetu (słynny, ale z uwagi na spory rozmach ilościowy, także kontrowersyjny Starlink marki SpaceX). Warto jednak pamiętać, że w przestrzeni kosmicznej obecne były (i nadal są) także setki innych satelitów. Dość powiedzieć o konstrukcjach przeznaczonych do celów wojskowych, m.in. wywiadowczych – szczególnie wiele takich urządzeń było wystrzeliwanych w okresie zimnej wojny (lata 60. XX wieku), choć trudno ocenić, ile i jak wyposażonych satelitów wojskowych znajduje się obecnie nad naszymi głowami. Wiadomo jedynie, że w grudniu 2018 roku znanych opinii publicznej było 320 satelitów całkowicie lub częściowo przeznaczonych do użytku wojskowego i należących do USA, Rosji, Chin oraz Indii.

Zwiększenie liczby startów rakiet nośnych, rozwój współpracy agencji kosmicznych z przemysłem i światem nauki, a także spadek cen komponentów elektronicznych i specjalistycznych materiałów stanowią kluczowe czynniki, które zadecydowały o zmianie podejścia do inżynierii kosmicznej. Dziś wysyłka sprzętu w przestrzeń kosmiczną nie jest już zarezerwowana tylko dla największych instytucji państwowych i międzynarodowych (NASA, ESA, itp.) oraz komercyjnych gigantów czy też wojska – okazuje się bowiem, że znaczny udział w opracowaniu i przygotowaniu do wystrzelenia sztucznych satelitów mają dziś także znacznie mniejsze przedsiębiorstwa, specjalizujące się w określonych obszarach technologii (np. komunikacji mikrofalowej). Bez zbędnej przesady można więc stwierdzić, że za projektami firmowanymi przez agencje kosmiczne w dużej mierze stoją firmy z segmentu prywatnego, dostarczające rozmaite komponenty i podsystemy, często o znaczeniu kluczowym dla powodzenia misji.

Istotnym ułatwieniem dla mniejszych przedsięwzięć w branży space jest znaczący (i nadal postępujący) spadek cen wystrzelenia sprzętu w kosmos. Orientacyjne koszty są przeliczane w dolarach na kilogram masy ładunku, określanego jako tzw. *payload*. Wykres współczynnika cenowego, uwzględniający ekstrapolację na kilka najbliższych dekad pokazano na **rysunku 1**. Rzecz jasna, mowa tutaj tylko o orientacyjnych, zgrubnie szacowanych cenach logistyki „okołostartowej", gdyż koszty opracowania hardware'u, oprogramowania i mechaniki satelity, a także wykonania specjalistycznych analiz (symulacje termiczne i wytrzymałościowe, obliczenia parametrów lotu, budżet łącza, itd.), zakupu materiałów oraz właściwej produkcji, integracji, testów, itp. są nadal niemałe. Tak czy inaczej, komercyjne satelity tworzone przez uczelnie i konsorcja (także polskie) okazują się faktem, zaś dla branży space przeznaczone są nawet specjalne programy dofinansowania innowacji. Co ciekawe, ostatnie doniesienia prasowe wieszczą nawet powstanie polskiego kosmodromu, zarządzanego przez powstałą dość niedawno, bo w 2014 roku, Polską Agencję Kosmiczną – POLSA (**rysunek 2**). I choć niektórym małym firmom nie udało się uniknąć „zachłyśnięcia" marzeniem o szybkim podboju kosmosu (co nietrudno stwierdzić przeglądając dawne szumne doniesienia prasowe, opisujące na wyrost plany szybkiej „kolonizacji"

eprasa.pl d8e2d0846e

Rysunek 2. Aktualne logo Polskiej Agencji Kosmicznej POLSA (https://t.ly/Iso6)

przestrzeni kosmicznej), to na szczęście plany agencji POLSA są znacznie bardziej realistyczne: pierwszym celem jest bowiem opracowanie rakiet suborbitalnych, niezbędnych m.in. do przeprowadzania eksperymentów w stanie nieważkości.

Mówiąc o elektronice w przestrzeni kosmicznej należy brać pod uwagę nie tylko sztuczne satelity, ale także systemy kontrolne rakiet, łazików czy też kombinezonów przeznaczonych do pracy podczas tzw. spacerów kosmicznych (EVA – *Extra-Vehicular Activity*). Nie ulega jednak wątpliwości, że to właśnie satelity – których lwia część krąży wokół Ziemi stanowią najbardziej „rozpowszechnioną" grupę systemów w branży kosmicznej.

Klasyfikacja satelitów

Sztuczne satelity można podzielić nie tylko ze względu na funkcjonalność (o tym pisaliśmy już nieco wcześniej), ale także z uwagi na rozmiary, a dokładniej – masę startową [2]:

- **Minisatelity** (małe satelity) – mianem tym określa się zwykle konstrukcje o masie do 500 kg (najczęściej jednak od 100 do 500 kg),
- **Mikrosatelity** – o masie od 10 do 100 kg,
- **Nanosatelity** – o masie od 1 do 10 kg,
- **Pikosatelity** – o masie od 0,1 do 1 kg.
- **Femtosatelity** – o masie poniżej 100 g.

Jak widać, do kategorii satelitów małych można zaliczyć nawet relatywnie ciężkie urządzenia, umożliwiające świadczenie usług komercyjnych (przykładowo, satelity „internetowe" Starlink v1.5 mają masę aż 295 kg, choć już przy dwu- lub trzytonowych satelitach systemu GPS wydają się one naprawdę niewielkie (**fotografia 6**). Z uwagi na wciąż duże koszty wiążące się z wystrzeleniem aparatury na orbitę okołoziemską, nowe firmy wkraczające w branżę space inwestują głównie w mniejsze konstrukcje: przede wszystkim nanosatelity. Szczególnie obiecujący okazuje się przy tym standard znany jako *CubeSat*.

Cubesats – nanosatelity przyszłością inżynierii kosmicznej?

Satelity typu *CubeSat* to szczególna grupa nanosatelitów o masie rzędu około 1...2 kg oraz formie, będącej wielokrotnością „kostki jednostkowej" o wymiarach 100×100×113,5 mm, określanej mianem *unit* – stąd też często spotykane oznaczenia typu 1U, 2U, 3U bądź 6U. Najczęściej stosowane są konstrukcje użytkowe mające wymiary na poziomie 3U (100×100×340,5 mm), podczas gdy mniejsze satelity (głównie 1U, rzadziej 2U) są chętnie opracowywane przez zespoły studenckie z wyższych uczelni technicznych czy nawet… amatorów elektroniki. I tutaj otwiera się prawdziwe pole do popisu dla przyszłych inżynierów kosmicznych, gdyż zmieszczenie w tak niewielkiej objętości całego osprzętu pokładowego (podsystemu zasilania, komputera pokładowego, transceivera z systemem anten oraz osprzętu pomiarowego do przeprowadzania rozmaitych eksperymentów) wymaga nie lada umiejętności i pomysłowości. Co więcej – ograniczenia masowe i wymiarowe popychają konstruktorów do stosowania niezwykle interesujących rozwiązań, umożliwiających zwiększenie funkcjonalności miniaturowego satelity już po jego wystrzeleniu w otwartą przestrzeń kosmiczną.

Dobrym przykładem chętnie stosowanego przez projektantów CubeSatów usprawnienia jest użycie rozkładanych paneli ogniw fotowoltaicznych (**fotografia 7**), zapewniających niezbędne do pracy źródło zasilania – wszak światło słoneczne jest jedyną formą energii dostępną w kosmosie dla nanosatelitów. Trudno tutaj bowiem o powszechne zastosowanie niezwykle wydajnych (ale także rozbudowanych i kosztownych), radioizotopowych generatorów termoelektrycznych, stosowanych w większych satelitach do misji międzyplanetarnych, np. w sondach Voyager (**fotografia 8**). Rzecz jasna, ogniwa fotowoltaiczne są też umieszczane na praktycznie każdym „stałym" boku konstrukcji, o ile nie koliduje to z innym wyposażeniem (np. antenami, obiektywami kamer, itd.).

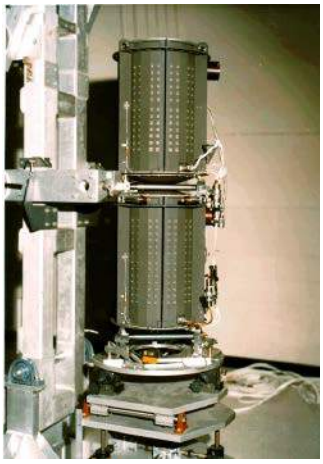
W niektórych przypadkach proste, umieszczone na zawiasach „skrzydła" nie są jednak najlepszym wyborem, nic więc dziwnego, że wiele idei konstrukcyjnych stanowi niebywale ciekawy mariaż nowoczesnej technologii materiałowej, inżynierii mechanicznej, elektroniki oraz… koncepcji wzorowanych na dawnej sztuce origami. Świetnym, malowniczym wręcz przykładem może być tutaj składana antena o dużym zysku, opracowana przez naukowców z NASA dla CubeSata meteorologicznego RaInCube. Podzespół pracował w paśmie mikrofalowym Ka [3] i był rozkładany przez 6-unitowego CubeSata (**fotografia 9**) wystrzelonego w roku 2018. Sprzęt uległ spaleniu w atmosferze po 2,5



Fotografia 6. Satelita GPS-3 podczas integracji (https://t.ly/T0D_)

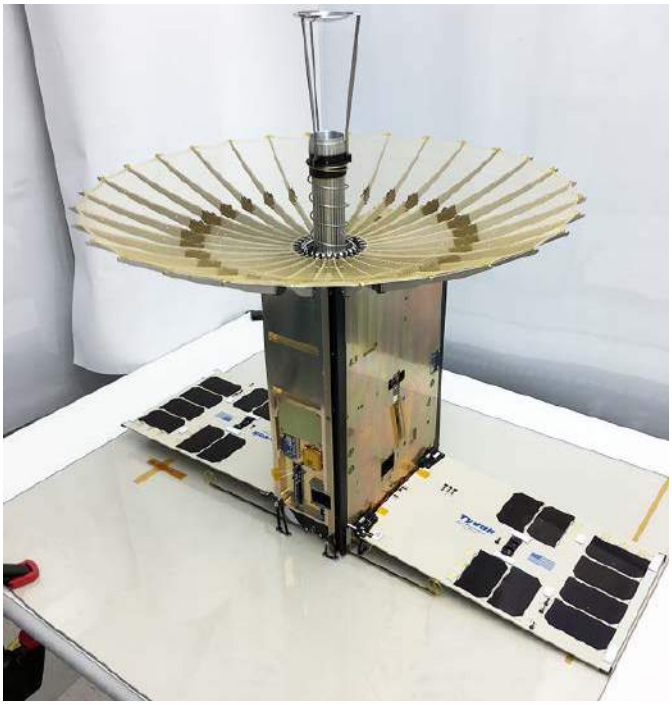


Fotografia 7. Rozkładane panele słoneczne w CubeSacie o rozmiarze 1U (https://t.ly/LZuC)

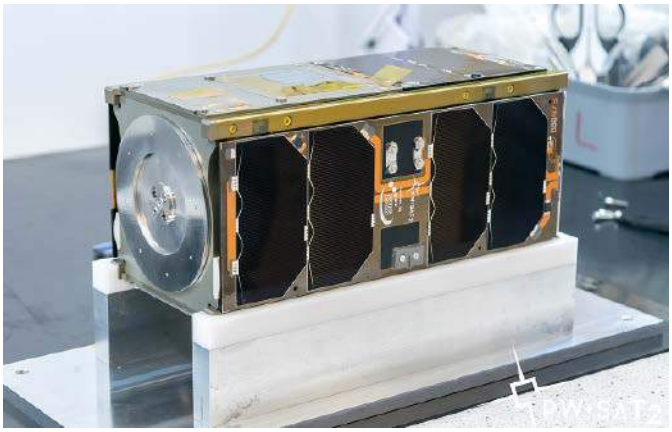


Fotografia 8. Radioizotopowy generator termoelektryczny sondy Voyager (https://t.ly/S2t_)

eprasa.pl d8e2d0846e



Fotografia 9. Rozkładana antena radarowa CubeSata RaInCube, opracowanego przez NASA. Rozmiar satelity to 6U, a masa startowa to 12 kg (https://t.ly/KdZg)



Fotografia 10. W pełni zintegrowany satelita PW-Sat2 (https://t.ly/DKpw)

roku, kończąc swoją misję w Wigilię Bożego Narodzenia 2020 r., a jego przeznaczeniem była demonstracja technologii opracowanej na potrzeby śledzenia dużych pasm burzowych.

Innym – tym razem rodzimym – przykładem rozwiązania „składanego" był żagiel deorbitacyjny, opracowany przez studentów Politechniki Warszawskiej na potrzeby CubeSata o nazwie PW-Sat2 (**fotografia 10**), będącego następcą pierwszego polskiego sztucznego satelity PW-Sat. Urządzenie zostało wyniesione na orbitę 3 grudnia 2018 roku przez rakietę Falcon 9 (SpaceX). Idea, która przyświecała projektowi, wiązała się z narastającym problemem obecności „kosmicznych śmieci", czyli szczątków satelitów i rakiet nośnych krążących wokół Ziemi. O ile dla naszego ziemskiego życia nie stanowią one zwykle większego zagrożenia (w przypadku obniżenia orbity przeważnie ulegają spaleniu w atmosferze), to dla urządzeń i pojazdów – a tym bardziej dla astronautów odbywających spacery kosmiczne – oznaczają potężne niebezpieczeństwo. Dlatego też studenci PW wpadli na pomysł, by po zakończeniu swojej planowej misji satelita rozwinął specjalny żagiel, który – stopniowo obniżając orbitę – spowoduje samoczynne spłonięcie satelity w atmosferze. Co ciekawe, dzięki zastosowaniu odpowiedniej konstrukcji opartej na sprężynach płaskich oraz supercienkiej folii mylarowej, niewielki



Rysunek 3. Artystyczna wizja CubeSata PW-Sat2 po otwarciu żagla deorbitacyjnego (https://t.ly/txJ-) (https://t.ly/sHEy)

satelita po całkowitym rozłożeniu żagla mógł zyskać powierzchnię rzędu aż 4 m^2 (**rysunek 3**), co miało pozwolić skutecznie zwiększyć opór aerodynamiczny podczas ruchu.

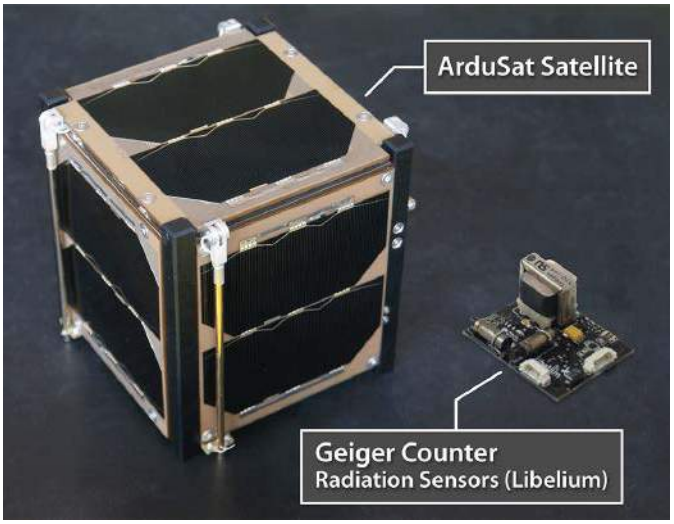
Komercyjne podzespoły dla branży CubeSatów

Niezwykle interesującym przejawem rewolucji w branży kosmicznej i sprowadzenia jej do rangi niemal ogólnodostępnej dziedziny techniki było… otwarcie sklepu internetowego z gotowymi komponentami do budowy CubeSatów (!). Zaopatruje on swoich odbiorców m.in. w moduły komputerów pokładowych OBC (*On-Board Computer*), redundantne podsystemy zasilania, moduły komunikacyjne na pasma UHF oraz S, a także aktuatory magnetyczne (magnetosiłowniki), a nawet koła reakcyjne do sterowania orientacją satelity względem Ziemi. W ofercie sklepu nie zabrakło także gotowych ram montażowych, anten, kamer, spektrometrów, jak również elementów wyposażenia telekomunikacyjnego stacji naziemnych.

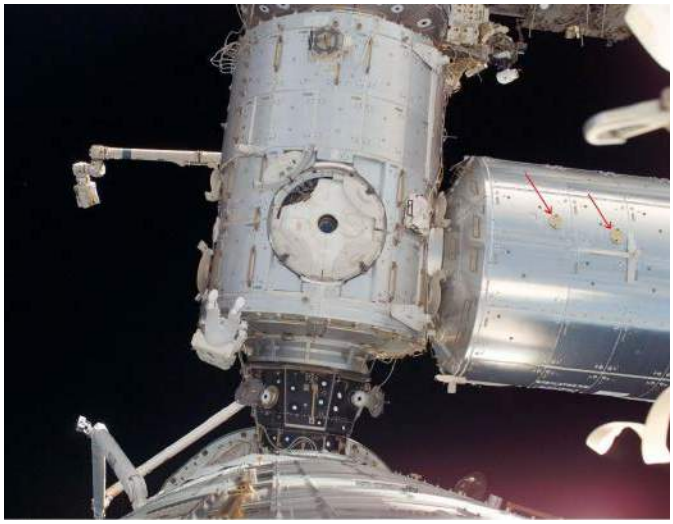
Godny uwagi pozostaje fakt, że – w przeciwieństwie do większych i „poważniejszych" misji kosmicznych – znaczna część CubeSatów jest wykonywana z komercyjnych „komponentów z półki" (stąd też często spotykany skrót COTS – *Commercial Off-The-Shelf Components*), a szczególnie atrakcyjne – z uwagi na większą odporność środowiskową i niezawodność – okazują się elementy klasy automotive. Nic więc dziwnego, że w dokumentacji satelitów (co zaskakujące: opisy techniczne i kody źródłowe niektórych konstrukcji są dostępne za darmo w internetowych repozytoriach ich projektantów) można znaleźć np. popularne mikrokontrolery Microchip, EFM32 czy STM32 H7. Takie podejście wynika z kilku głównych przesłanek:

- CubeSaty są najczęściej projektowane i budowane przez studentów, małe firmy bądź konsorcja nastawione na naukowe aspekty przedsięwzięcia, stąd dostęp do specjalistycznych komponentów przeznaczonych do aplikacji kosmicznych jest ograniczony z powodów logistycznych i budżetowych;
- Nanosatelity praktycznie zawsze pracują na niskiej orbicie okołoziemskiej, której warunki (pod względem zakresu temperatur czy też promieniowania kosmicznego) są przyjaźniejsze dla elektroniki, niż środowisko, w jakim funkcjonują konstrukcje opracowane dla wyższych orbit (lub – tym bardziej – misji międzyplanetarnych);
- Oczekiwany poziom niezawodności CubeSatów – z uwagi na przeważnie ewaluacyjny, edukacyjny lub naukowy charakter – jest znacznie niższy, niż w przypadku konstrukcji komercyjnych (np. telekomunikacyjnych czy nawigacyjnych), nie wspominając rzecz jasna o satelitach wojskowych.

eprasa.pl d8e2d0846e



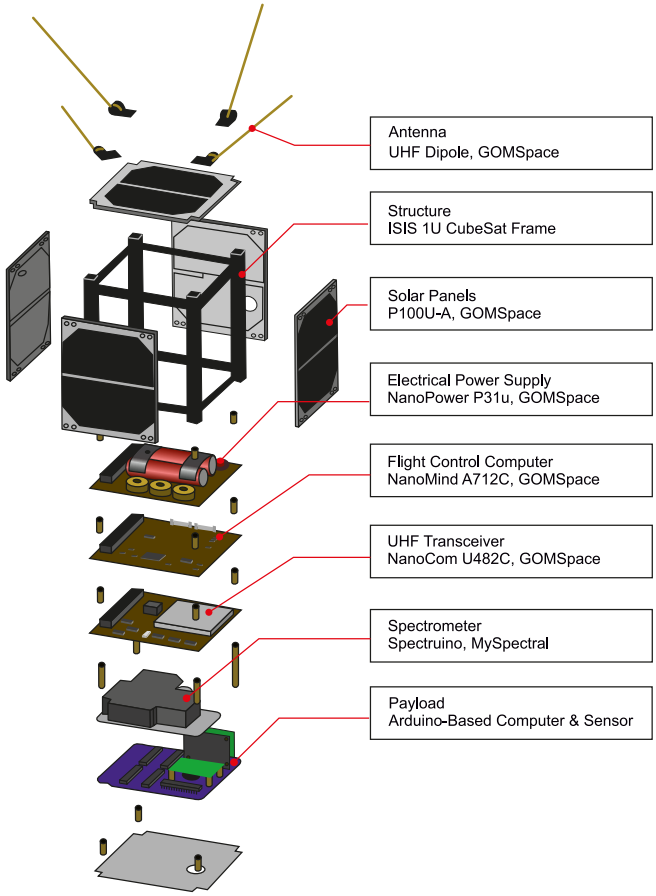
Fotografia 11. Widok satelity ArduSat-1 wraz z miniaturowym modułem licznika Geigera



Fotografia 12. Położenie anten ARISS na powierzchni modułu Columbus ISS (https://t.ly/-_rc)

Ciekawym i dość mało znanym faktem z historii rozwoju CubeSatów było wystrzelenie w przestrzeń kosmiczną w 2013 roku dwóch nanosatelitów bazujących na… platformie Arduino – ArduSat-1 i ArduSat-X (**fotografia 11**). Dwa bliźniacze satelity o rozmiarze 1U były wyposażone w komputery pokładowe o architekturze hierarchicznej (jeden procesor główny ATmega2561 zarządzający aż szesnastoma podrzędnymi mikrokontrolerami ATmega328P, przeznaczonymi do realizacji poszczególnych eksperymentów). Na pokładzie niepozornych konstrukcji (**rysunek 4**) znalazły się liczne czujniki, w tym 3-osiowe magnetometry, akcelerometry i żyroskopy, pirometry MLX90614, półprzewodnikowe czujniki temperatury TMP102, a także sensory natężenia światła TSL2561, podwójne liczniki Geigera, spektrometry optyczne oraz 1,3-megapikselowe kamery. CubeSaty komunikowały się z Ziemią za pomocą półdupleksowych transceiverów UHF w paśmie 435...438 MHz.

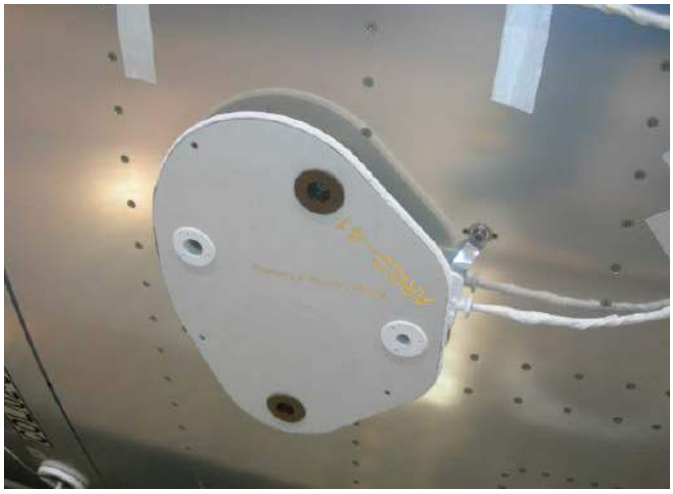
Na marginesie warto dodać, że łączność radioamatorska jest spotykana w branży kosmicznej znacznie częściej, niż mogłoby się wydawać. Dość powiedzieć, że anteny ARISS, umieszczone w 2008 roku na module Columbus Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (**fotografia 12**), a opracowane przez zespół naukowców z Politechniki Wrocławskiej, służyły właśnie do nawiązywania łączności z obsługą ISS przez radioamatorów oraz uczniów szkół z całego świata. Co ciekawe, zaawansowane technologicznie anteny (**fotografia 13**) były jedynymi elementami opracowanymi w Polsce, wysłanymi w kosmos w ładowni amerykańskiego promu kosmicznego.



Rysunek 4. Widok rozstrzelony CubeSata ArduSat-1 (https://t.ly/-cPU)

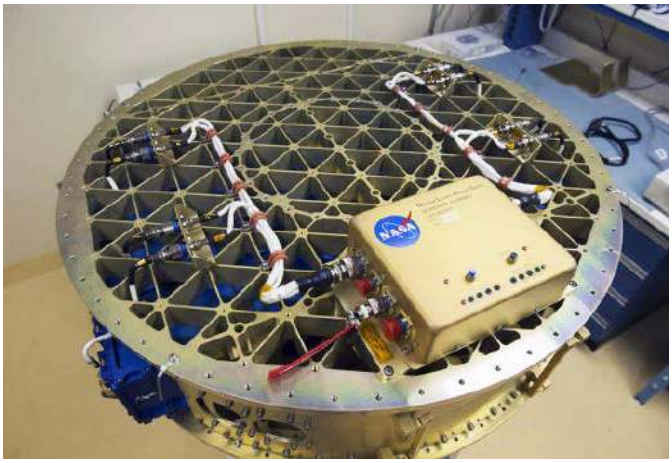
Systemy wystrzeliwania nanosatelitów

Upowszechnienie CubeSatów nie byłoby możliwe bez standaryzacji w dziedzinie metod i urządzeń przeznaczonych do umieszczania nanosatelitów w przestrzeni kosmicznej. Do realizacji tej procedury – określanej fachowo jako *deployment* – używane są specjalne wyrzutnie, mające postać podłużnych „pudełek" otwieranych zdalnie przez obsługę naziemną po osiągnięciu przez statek kosmiczny docelowej orbity i wyposażonych w system wystrzeliwania satelitów (zwykle grupami). Tego typu podsystemy mogą być instalowane zarówno na rakietach nośnych, przeznaczonych do przenoszenia

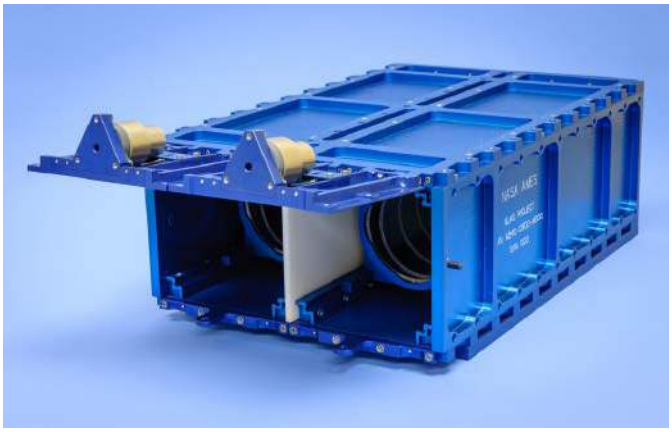


Fotografia 13. Jedna z anten ARISS, opracowanych przez zespół naukowców z Politechniki Wrocławskiej na potrzeby Międzynarodowej Stacji Kosmicznej ISS (https://t.ly/fSyM)

eprasa.pl d8e2d0846e



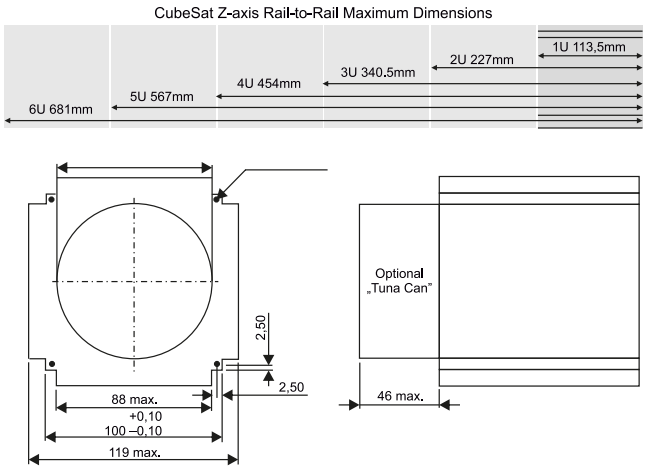
Fotografia 14. Podsystem NLAS (Nanosatellite Launch Adapter System). Źródło: NASA (https://t.ly/4xU7)



Fotografia 15. Jeden z zasobników systemu NLAS, przeznaczony do wystrzeliwania CubeSatów o przekroju poprzecznym 10×10 cm. Źródło: NASA (https://t.ly/IT-z)



Fotografia 16. CubeSat Phoenix o rozmiarze 3U tuż po wystrzeleniu przez system Nanoracks CubeSat Deployer, zainstalowany na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (https://t.ly/-MIT)



Rysunek 5. Najważniejsze wymiary CubeSata według standardu umożliwiającego współpracę z systemem NanoRacks NRCSD (https://t.ly/vBLR)



Fotografia 17. Zestaw 60 satelitów Starlink umieszczonych wewnątrz przedziału ładunkowego rakiety Falcon 9 (https://t.ly/I5Aw)

większego ładunku, jak i na stacjach kosmicznych. W pierwszym przypadku dyspensery są instalowane w specjalnych adapterach, nazywanych mianem NLAS (*Nanosatellite Launch Adapter System*), zdolnych do wystrzelenia łącznie nawet 24U CubeSatów – przykład pokazano na **fotografiach 14** i **15**.

Umieszczenie nanosatelitów na orbicie jest też możliwe przy użyciu urządzenia zwanego *Nanoracks CubeSat Deployer* – NRCSD (**fotografia 16**), opracowanego przez amerykańską firmę Quad-M Inc. Urządzenie ma budowę klastra, złożonego typowo z ośmiu dyspenserów o długości 6U każdy. NRCSD został zainstalowany

eprasa.pl d8e2d0846e

na pokładzie Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS) w 2014 roku i stanowi pierwszą, komercyjną „bramę" do przestrzeni kosmicznej dla firm i uczelni zainteresowanych umieszczeniem na orbicie okołoziemskiej własnych CubeSatów. Warto dodać, że standaryzacja wymiarów szyn (**rysunek 5**) oraz ogólnych wymogów konstrukcji mechanicznej (i nie tylko) CubeSatów stanowi znaczne ułatwienie dla przedsiębiorstw i zespołów niekomercyjnych, planujących opracowanie oraz wysyłkę w kosmos własnych piko- i nanosatelitów – zastosowanie ściśle określonych parametrów umożliwia (teoretycznie) bezproblemową współpracę satelitów z wyrzutniami. Teoretycznie, gdyż… także i w tej kwestii zdarzyło się już kilka „wpadek", związanych zarówno z nieplanowanym, przedwczesnym „wypuszczeniem" CubeSatów, jak ich zablokowaniem w przestrzeni komory startowej [4].

Dla ścisłości warto dodać, że odpowiednie systemy służące do „dystrybucji" satelitów na orbicie okołoziemskiej projektuje się także dla znacznie większych konstrukcji. Przykładowo – przywołane już wcześniej Starlinki są wysyłane w kosmos w pakietach po… 60 sztuk, co z oczywistych przyczyn wymaga już nie przenośnej wyrzutni, ale potężnego systemu zajmującego pokaźną przestrzeń w przedziale ładunkowym rakiety nośnej (**fotografia 17**).

Podsumowanie

Branża kosmiczna rozwija się już (albo – zaledwie) od niewiele ponad sześciu dekad i nie ulega wątpliwości, że udział elektroniki w kosmicznym wyścigu technologicznym jest nie do przecenienia. Rozbudowa komercyjnego, naukowego i edukacyjnego pola współpracy z największymi krajowymi oraz międzynarodowymi agencjami kosmicznymi wynika nie tylko z ogólnego postępu technicznego, ale przede wszystkim ze zmiany podejścia do misji kosmicznych. Otwarcie dostępu do przestrzeni kosmicznej – przede wszystkim niskiej orbity okołoziemskiej – dla małych i średnich firm oraz wyższych uczelni technicznych powoduje, że wręcz lawinowo rośnie liczba przedsiębiorstw oraz projektów badawczych związanych z branżą space. Mało tego – w przestrzeń startują nawet amatorskie satelity, zarządzane przez powstałą specjalnie do tego celu organizację AMSAT.

Czy jest czego się obawiać? Z pewnością tak, gdyż wraz z „zagęszczaniem" macierzy sztucznych satelitów Ziemi rośnie także ilość kosmicznych śmieci, które dryfując w otoczeniu naszej planety stanowią istotne zagrożenie nie tylko dla astronautów odbywających kosmiczne spacery, ale także dużych i niezwykle kosztownych satelitów, pojazdów, a nawet stacji kosmicznych, przeznaczonych do naprawdę (po)ważnych misji. Liczba samych tylko CubeSatów znajdujących się obecnie wokół Ziemi przekracza 1600, ale i tak największe kontrowersje budzą projekty takie, jak odbijające się szerokim, medialnym echem przedsięwzięcie Starlink – w tym przypadku mamy wszak do czynienia z potężną siecią przeszło 200-kilogramowych maszyn zarządzanych przez jedną tylko firmę. Czas pokaże, czy z monopolizacji przestrzeni kosmicznej uda nam się wyjść obronną ręką – wszak w tej kwestii ani całkowity monopol, ani zbytnia demokratyzacja dostępu do kosmosu nie wyjdą nam raczej na dobre. Korzystnie byłoby też, gdyby umieszczanie na orbicie okołoziemskiej kolejnych satelitów bez naprawdę istotnych przesłanek użytkowych bądź naukowych, nie stało się jedynie metodą na efektowną reklamę.

inż. Przemysław Musz, EP

Przypisy:

[1] https://github.com/chrislgarry/Apollo-11

[2] Masy startowej satelitów w niektórych przypadkach nie można utożsamiać z masą „netto", gdyż część z nich jest wyposażona w napędy, a więc także – zapas paliwa.

[3] Pasmo Ka obejmuje fale o częstotliwości od 26,5 do 40 GHz.

[4] Źródło: https://t.ly/E7va

REKLAMA

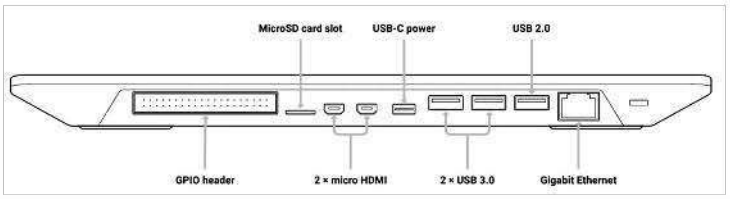
Raspberry Pi 400

Raspberry Pi 400 to potężny, łatwy w użyciu komputer wbudowany w zgrabną i przenośną klawiaturę

Wyposażony jest w czterordzeniowy 64-bitowy procesor, 4 GB pamięci RAM, sieć bezprzewodową, 2 wyjścia micro HDMI (możliwa praca z dwoma wyświetlaczami i odtwarzanie wideo 4K), 2 porty USB 3.0, port USB 2.0 a także 40-pinowe złącze GPIO.



W zestawie:
- Komputer z amerykańskim układem klawiatury
- Kabel micro HDMI - HDMI
- Mysz
- Zasilacz
- Karta SD z fabrycznie załadowanym systemem operacyjnym Raspberry Pi
- Oficjalny przewodnik dla początkujących w formie drukowanej publikacji (w języku angielskim)





AVT SPV Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Dział Handlowy tel. 22 257 84 51
e-mail: handlowy@avt.pl
sklep.avt.pl

eprasa.pl d8e2d08a6e



Kluczowe zagadnienia techniki kosmicznej

Aparatura kosmiczna jest szczególnym obszarem elektroniki – z jednej strony półprzewodnikowe nowinki trafiają tu zdecydowanie później, niż do urządzeń użytkowych, z drugiej zaś hardware sztucznych satelitów i innych statków kosmicznych należy do ścisłej czołówki najbardziej zaawansowanych technologicznie urządzeń tworzonych przez człowieka. Klucz do zrozumienia tego paradoksu leży w nadzwyczaj nieprzyjaznych warunkach, na jakie narażone są układy elektroniczne pracujące w przestrzeni kosmicznej.

Dogłębne zrozumienie niuansów środowiska pracy elektroniki kosmicznej stanowi podstawę merytorycznego arsenału każdego inżyniera aspirującego do branży space. Zdajemy sobie sprawę, że kompleksowe omówienie całości zagadnień w ramach pojedynczego artykułu jest całkowicie niewykonalne – dość powiedzieć, że na temat wpływu samego tylko promieniowania kosmicznego na elektronikę powstały całkiem obszerne monografie, silnie bazujące na fizyce ciała stałego – dlatego postaramy się pokrótce zasygnalizować wyłącznie najważniejsze zagadnienia, z jakimi na co dzień mierzą się inżynierowie kosmiczni.

Zasięg misji – rodzaje orbit okołoziemskich

Jednym z najistotniejszych założeń każdej misji kosmicznej jest jej zasięg. O ile przedsięwzięcia nakierowane na przestrzeń międzygwiezdną są naprawdę rzadkie – jak dotąd wysłano w kosmos zaledwie pięć sond które wleciały lub za pewien czas wlecą w tak daleki dla nas obszar kosmosu (Voyager 1, Voyager 2, Pioneer 10, Pioneer 11 oraz New Horizons – **fotografia 1**), o tyle zdecydowanie więcej satelitów i próbników znajduje się w obszarze Układu Słonecznego. Bogata historia lotów mających na celu badanie Słońca, Księżyca, a także pozostałych planet Układu wraz z ich księżycami stanowi jednak – pod względem liczbowym – zaledwie niewielki ułamek wszystkich misji związanych z umieszczeniem sztucznych satelitów na orbitach okołoziemskich. W zależności od odległości, mierzonej od powierzchni Ziemi, mówimy o następujących rodzajach orbit:

- **LEO (Low Earth Orbit)** – niska orbita okołoziemska; obejmuje orbity o wysokości w zakresie od 160 km do 1000 km nad powierzchnią Ziemi, choć w zależności od źródła można znaleźć także wartości krańcowe odpowiednio 200…300 km i 1600…2000 km.

eprasa.pl d8e2d0846e



Fotografia 1. Sonda New Horizons w czasie integracji. Dobrze widoczne pokrycia termiczne (żółte płachty) oraz zespół radioizotopowego generatora termoelektrycznego (czarne tubusy w lewym dolnym rogu) https://t.ly/Pbhk

Warto dodać, że niezależnie od umownych granic, cała przestrzeń LEO leży już powyżej tzw. linii Kármána, która – przebiegając na wysokości 100 km nad poziomem morza – stanowi umowną granicę pomiędzy atmosferą ziemską, a przestrzenią kosmiczną. Sztuczne satelity umieszczone we wspomnianym obszarze (czyli zdecydowana większość tego typu urządzeń) są mimo wszystko narażone na opory aerodynamiczne, które – pomimo znacznego rozrzedzenia cząstek gazów w jonosferze – są w stanie doprowadzić do deorbitacji satelity w ciągu (zazwyczaj) kilku lat od momentu jego wystrzelenia. Okres orbitalny (tj. czas, w którym ciało na danej wysokości przelatuje jedno pełne okrążenie dookoła Ziemi) nie przekracza 90…128 minut, co sprawia, że satelita wykonuje około 11…16 obiegów naszej planety w ciągu jednej doby. Czas widoczności nad horyzontem waha się przy tym od około 5 do 20 minut (zależnie od orbity). Dokładna znajomość okresu orbitalnego jest zatem ważna m.in. dla ustalenia okien czasowych, w których możliwa jest komunikacja z sondą za pomocą stacji naziemnych. Warto też dodać, że w obszarze LEO znajduje się także Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ISS – **fotografia 2**), umieszczona na orbicie o wysokości około 430 km nad powierzchnią Ziemi, jak również słynny Kosmiczny Teleskop Hubble'a (około 530 km).



Fotografia 2. Międzynarodowa Stacja Kosmiczna (ISS) widziana z pokładu wahadłowca Endeavour podczas jego ostatniej misji oznaczonej akronimem STS-134 (https://t.ly/CZF4)

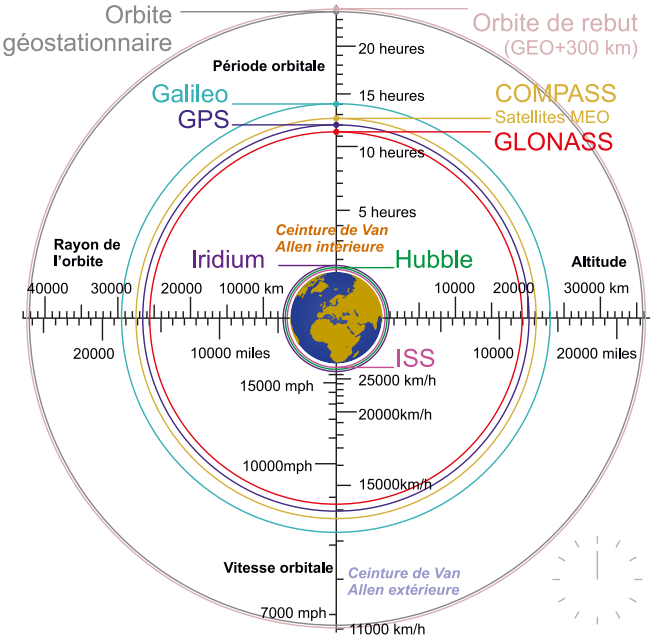
Umieszczenie satelitów na niskiej orbicie okołoziemskiej niesie ze sobą szereg korzyści: niższe wymagania związane z mocą nadawania (rzędu 500 mW) i wymaganą czułością odbiorników telekomunikacyjnych, mniejsze koszty wyniesienia w przestrzeń kosmiczną i łatwiejsze obrazowanie (stosunkowo niewielkich) obszarów powierzchni Ziemi z użyciem konwencjonalnej optyki to jedne z najważniejszych zalet LEO w odniesieniu do projektów satelitarnych. Spore znaczenie użytkowe ma też niewielkie opóźnienie w propagacji sygnałów radiowych (do kilku milisekund). Z drugiej zaś strony, intensywna eksploatacja niskiej orbity okołoziemskiej wiąże się z rosnącą lawinowo ilością kosmicznych odpadów, co stanowi obecnie jeden z najszerzej dyskutowanych problemów współczesnej inżynierii kosmicznej.

- **MEO (Medium Earth Orbit)** – średnia orbita okołoziemska: mianem tym określa się przestrzeń wokół naszej planety, rozciągającą się pomiędzy górną granicą LEO, a orbitą geostacjonarną, czyli od około 2000 km do 35786 km na poziomem morza. W obszarze MEO pracują przede wszystkim satelity systemów nawigacyjnych GPS, GLONASS, BeiDou oraz Galileo.
- **GEO (Geostationary Earth Orbit)** – orbita geostacjonarna – w przeciwieństwie do opisanych wcześniej LEO i MEO – nie obejmuje szerokiego zakresu wysokości nad powierzchnią Ziemi, ale jedną, ściśle określoną. Wyniesienie satelity na wysokość wspomnianych już wcześniej 35786 km n.p.m. umożliwia uzyskanie pełnego synchronizmu ruchu statku kosmicznego z częstotliwością obrotu Ziemi wokół własnej osi; dzięki temu, zgodnie z nazwą, satelita znajdujący się na orbicie geostacjonarnej pozostaje cały czas nad tym samym punktem Ziemi (leżącym na równiku). Dokładny okres orbitalny dla GEO to 23 godziny 56 minut i 4 sekundy (tzw. doba gwiazdowa). Orbita GEO jest zajmowana głównie przez satelity telekomunikacyjne i meteorologiczne, a to dzięki możliwości nawiązywania stałej łączności z użyciem anteny kierunkowej, wycelowanej ze stacji naziemnej w stronę satelity. Wadą zastosowania GEO jest natomiast znacznie większa odległość, która wymusza stosowanie czulszych odbiorników i nadajników o wyższej mocy, w porównaniu do satelitów pracujących na LEO i MEO. Co ważne, GEO jest szczególnym przypadkiem tzw. **orbity geosynchronicznej** (**GSO**) – obiekty znajdujące się na niej także obiegają Ziemię w rytmie zgodnym z dobą gwiazdową, mogą jednak mieć inną inklinację [1] i ekscentryczność [2].

Warto dodać także, że 300 km nad GEO znajduje się tzw. orbita cmentarna (*graveyard orbit*), wyznaczona arbitralnie jako miejsce docelowego „spoczynku" satelitów, które zakończyły już swoją misję. Międzynarodowy Komitet IASDC (*Inter-Agency Space Debris Coordination Committee*), zrzeszający największe światowe agencje kosmiczne (amerykańską NASA, europejską ESA, japońską JAXA, rosyjską ROSCOSMOS i in.) w celu zaradzenia problemowi kosmicznych śmieci, opracował wytyczne dotyczące bezpiecznej i kontrolowanej utylizacji „zużytego" sprzętu kosmicznego. W myśl zaleceń, satelity powinny albo zdeorbitować i spłonąć w atmosferze (w przypadku LEO), albo udać się na wyższą orbitę cmentarną i pozostać tam w celu ochrony innych statków kosmicznych przed potencjalną kolizją. Choć problem zderzenia dwóch sztucznych satelitów wydaje się być dość groteskowy (biorąc pod uwagę aktualny stopień zaawansowania zarówno statków kosmicznych, jak i metod zarządzania oraz śledzenia ich ruchu), w rzeczywistości takie wypadki miały już miejsce w historii inżynierii kosmicznej – głośnym echem odbiła się w mediach kolizja satelitów: telekomunikacyjnego Iridium 33 oraz nieczynnego już, wojskowego Kosmos 2251, która miała miejsce 10 lutego 2009 roku. Rzecz jasna, przy prędkości zderzenia rzędu ponad 11 km/s obydwa urządzenia uległy całkowitej zagładzie, co spowodowało czasowe ograniczenia w dostępności usług telefonii satelitarnej obsługiwanej przez konstelację Iridium.

Schematyczne zobrazowanie wzajemnego położenia poszczególnych orbit okołoziemskich zaprezentowano na **rysunku 1**.

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 1. Schematyczne zobrazowanie położenia orbit okołoziemskich oraz pasów Van Allena (https://t.ly/ncbg)

Normy dotyczące techniki kosmicznej

Dobrym punktem wyjścia do rozważań nad zagadnieniami branży space są materiały udostępnione przez agencję NASA na stronie https://go.nasa.gov/3HXfS11. Znajdujemy tam jedenaście kategorii norm dotyczących wszystkich obszarów techniki kosmicznej:

- 0000 – *Documentation and Configuration,*
- 1000 – *Systems Engineering and Integration, Aerospace Environments, Celestial Mechanics,*
- 2000 – *Computer Systems, Software, Information Systems,*
- 3000 – *Human Factors and Health,*
- 4000 – *Electrical and Electronics Systems, Avionics/Control Systems, Optics,*
- 5000 – *Structures/Mechanical Systems, Fluid Dynamics, Thermal, Propulsion, Aerodynamics,*
- 6000 – *Materials and Processes, Parts,*
- 7000 – *System and Subsystem Test, Analysis, Modeling, Evaluation,*
- 8000 – *Safety, Quality, Reliability, Maintainability,*
- 9000 – *Operations, Command, Control, Telemetry/Data Systems, Communications,*
- 10000 – *Construction and Institutional Support.*

Dla nas – elektroników – szczególnie interesujące są kategorie 4000 (elektronika, systemy sterowania, optyka), 7000 (metody testowania systemów i podsystemów), 8000 (zagadnienia bezpieczeństwa, jakości, niezawodności i utrzymywalności) oraz 9000 (telekomunikacja [3]).

Analogiczną listę norm opracowała także powiązana z ESA organizacja normalizacyjna ECSS (European Cooperation for Space Standardization) – pełną listę aktywnych standardów można znaleźć pod adresem https://ecss.nl/standards/active-standards/. Warto zwrócić uwagę na dokumenty oznaczone numerami:

- ECSS-E-ST-20C Rev.2 – *Electrical and electronic,*
- ECSS-Q-ST-70-12C – *Design rules for printed circuit boards,*
- ECSS-Q-ST-70-60C *Corrigendum 1 – Qualification and procurement of printed circuit boards,*
- ECSS-Q-ST-70-28C – *Repair and modification of printed circuit board assemblies for space use,*
- ECSS-Q-ST-60C Rev.3 – *Electrical, electronic and electromechanical (EEE) components,*
- ECSS-Q-ST-60-13C Rev.1 – *Commercial electrical, electronic and electromechanical (EEE) components,*
- ECSS-Q-ST-60-02C – *ASIC and FPGA development.*

Organizacja ISO również opracowała normy dotyczące testowania aparatury kosmicznej – zagadnienia branży space, jak i lotnictwa, mieszczą się w kategorii 49 klasyfikacji ICS, zaś bardzo szeroka podkategoria 49.140 o nazwie *Space systems and operations* obejmuje obecnie przeszło 270 obowiązujących standardów (i prawie 30 kolejnych w trakcie opracowywania). Szczególnie interesujące dla twórców małych satelitów są normy:

- **ISO 19683:2017** – *Space systems – Design qualification and acceptance tests of small spacecraft and units* – dokument obejmuje minimalne wymagania dotyczące testów kwalifikacyjnych i akceptacyjnych małych statków kosmicznych oraz ich podsystemów, w szczególności zaś taktuje o mini-, mikro-, nano- i pikosatelitach, wprost odwołuje się też do klasy określanej jako CubeSat (więcej informacji na ten temat można znaleźć w artykule pt. *Elektronika w przestrzeni kosmicznej – nowe podejście do branży Space*).
- **ISO 15864:2021** – *Space systems – General test methods for space craft, subsystems and units* – norma obejmuje podstawowe zagadnienia testowania podsystemów bezzałogowych sond i satelitów, któremu poddawane są gotowe elementy statków kosmicznych (tj. po zakończeniu procesu projektowania).

Warunki pracy elektroniki kosmicznej

Najistotniejszą częścią przygotowania statków kosmicznych do ich wystrzelenia są skrupulatne, w większości bardzo obciążające dla konstrukcji pojazdu oraz zainstalowanych na jego pokładzie podsystemów elektronicznych, testy środowiskowe. Praktyka pokazuje, że ogromne przeciążenia termiczne, mechaniczne, wibracyjne oraz narażenia na wysokoenergetyczne promieniowanie kosmiczne, są w stanie szybko i nieodwracalnie uszkodzić zarówno precyzyjną elektronikę, jak i elementy poszycia, uszczelnień czy też konstrukcji satelitów, sond i rakiet nośnych. Dlatego też tak ważne jest zrozumienie najważniejszych zjawisk, z którymi mają do czynienia układy elektroniczne w branży space.

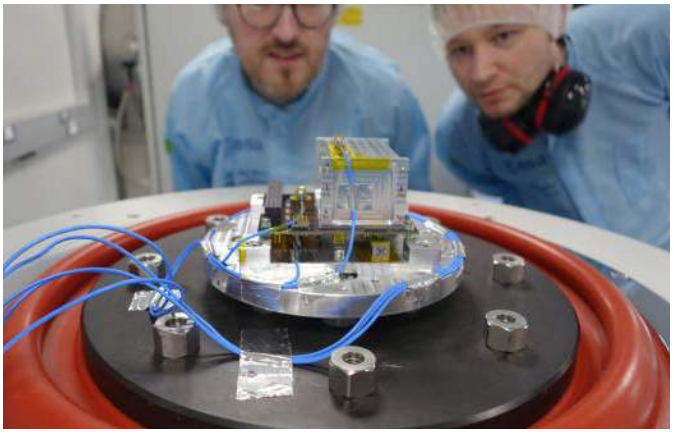
Wibroakustyka

Zbytnim uproszczeniem byłoby stwierdzenie, że narażenie elektroniki na nieprzyjazne warunki środowiskowe ma miejsce tylko podczas orbitowania lub przemieszczania się w odległe zakątki przestrzeni kosmicznej. Paradoksalnie, znaczna część trudności wiąże się z etapem wynoszenia aparatury za pomocą rakiet nośnych – zarówno w momencie startu, jak i podczas przelotu przez kolejne warstwy atmosfery. Za powstawanie potencjalnie niszczących, bardzo silnych i – co gorsza – szerokopasmowych drgań, odpowiedzialne są zarówno wibracje przenoszone (przez konstrukcję statku i mocowania ładunku, np. satelity) dalej do elektroniki pokładowej, jak i efekty akustyczne, związane ze startem i dalszą pracą silnika, turbulencjami powietrza wokół rakiety oraz licznymi efektami rezonansowymi potęgowanymi dodatkowo przez konstrukcję samej rakiety czy też pobliskich elementów stanowiska startowego. Nie wolno także zaniedbywać roli wstrząsów powstających podczas oddzielania kolejnych członów rakiety nośnej czy też uwalniania satelitów w przestrzeń kosmiczną. Stąd też pojawia się konieczność wykonywania skrupulatnych testów:

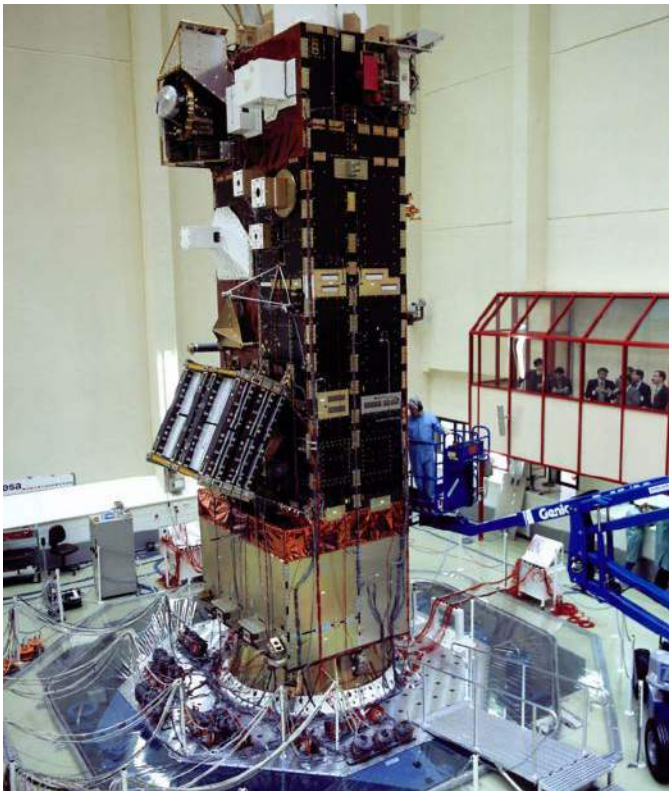
- **wibracyjnych** – za pomocą wytrząsarek z pobudzeniem sinusoidalnym, udarowym oraz losowym, w których do drgającej podstawy metalowej zamocowane są badane elementy statku kosmicznego (**fotografia 3**) lub nawet całość konstrukcji (np. kompletny satelita bądź sonda kosmiczna – **fotografia 4**),
- **wibroakustycznych** – poprzez ekspozycję badanego obiektu na silne fale dźwiękowe o częstotliwości od 25 Hz do 10 kHz i poziomie natężenia przekraczającym 150...160 dB (**fotografia 5**).

Co ważne, w przypadku testów wibracyjnych o charakterystyce losowej (*Random Vibration Test*) określa się widmową gęstość mocy [g^2/Hz] dla poszczególnych przedziałów pasma. Przykładowy profil badania pod kątem potencjalnych słabych punktów w montażu

eprasa.pl d8e2d0846e



Fotografia 3. Podsystem CubeSata o nazwie EIRSAT-1 podczas testów na wytrząsarce (https://t.ly/xdK1)



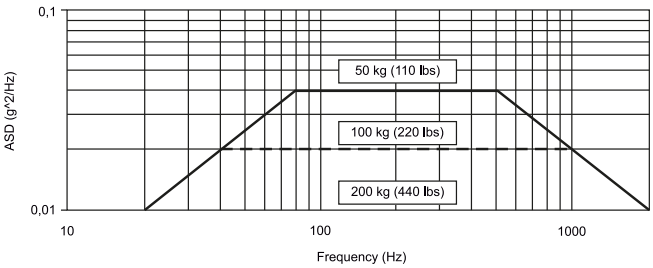
Fotografia 4. Ośmiotonowa (!) konstrukcja satelity Envisat zamontowana na platformie testowej potężnej wytrząsarki wieloosiowej Hydra, znajdującej się w centrum ESTEC (https://t.ly/CFvI)



Fotografia 5. Mobilne stanowisko MSI-DFAT przeznaczone do realizacji testów wibroakustycznych. Widoczne potężne kolumny głośników elektrodynamicznych ustawione wokół testowanego obiektu (https://t.ly/mKqI)

Tabela 1. Profil testów wibracji losowych dla elektroniki kosmicznej wg standardu NASA-STD-7001B. Źródło: https://t.ly/QuiF

Częstotliwość/pasmo [Hz]	Gęstość widmowa/przyrost
20	0,01 g^2/Hz
20...80	+3dB/oktawę
80...500	0,04 g^2/Hz
500...2000	–3 dB/oktawę
2000	0,01 g^2/Hz



Rysunek 2. Obwiednia gęstości widmowej drgań w teście wibracyjnym, w zależności od masy badanego obiektu (https://t.ly/QuiF)

podzespołów elektronicznych, elektrycznych lub elektromechanicznych, zaczerpnięty ze standardu NASA-STD-7001B, pokazano w **tabeli 1**. Lewa kolumna określa częstotliwość lub zakres pasma, zaś prawa – gęstość widmową lub (w przypadku przedziału pasma) – zalecane nachylenie charakterystyki w funkcji częstotliwości (**rysunek 2**). Warto dodać, że standard określa wartość skuteczną poziomu drgań jako 6,8 g_{RMS}. Co ważne, opisana powyżej obwiednia drgań powinna być stosowana do komponentów i podsystemów o masie poniżej 50 kg, jednak – z uwagi na ryzyko uszkodzenia – nie zaleca się przeprowadzania takich prób na delikatnej optyce bądź czujnikach, dla których test wiązałby się z nieodwracalnym zniszczeniem. Parametry zmieniają się też zależnie od rodzaju badania – przykładowo, testy w fazie kwalifikacyjnej powinny trwać 2 minuty (dla każdej z osi osobno), podobnie zresztą jak badania akustyczne.

Oprócz opisanych wyżej badań wibracyjnych z użyciem pobudzeń przypadkowych, w użyciu są także metody testów modalnych, mające na celu określenie częstotliwości rezonansowych konstrukcji. Stąd też laboratoria zajmujące się sprawdzaniem odporności na narażenia mechaniczne oferują testy z użyciem pobudzenia sinusoidalnego z przemiataniem częstotliwości (*chirp*) oraz pobudzenia udarowego (za pomocą specjalnego młota). Część testów może być ponadto wykonywana w komorach klimatycznych, co pozwala rozszerzyć procedury o aspekt termiczny.

Wśród standardów ISO także można znaleźć normy dotyczące testów wibroakustycznych – dla zainteresowanych Czytelników podajemy numery odpowiednich dokumentów.

- ISO 23670:2021 – *Space systems – Vibration testing,*
- ISO 19924:2017 – *Space systems – Acoustic testing.*

Warto dodać, że – choć niszczące wibracje są, jak już wcześniej wspomnieliśmy, powiązane ze startem rakiety nośnej oraz etapem wynoszenia statku kosmicznego na orbitę – to w otwartej przestrzeni kosmicznej należy również liczyć się z (wprawdzie nieporównanie mniejszymi) drganiami, spowodowanymi jednak głównie cykliczną zmiennością temperatur (o której za chwilę). Silne wibracje są także związane z powrotem na Ziemię (lądowaniem), co ma miejsce w przypadku lotów załogowych (dawniej realizowanych w dużej mierze za pomocą wahadłowców, dziś – kapsuł powrotnych).

Temperatura

Jednym z kluczowych czynników środowiskowych, które należy rozpatrywać projektując aparaturę kosmiczną, jest temperatura. Zakres temperatur niezbędny do uwzględnienia w przypadku zarówno

eprasa.pl d8e2d0846e



Fotografia 6. Widok przykładowej osłony MLI po rozwarstwieniu (https://t.ly/RbX_)



Fotografia 7. Sonda Cassini opracowana wspólnie przez NASA, ESA oraz ASI do badania Saturna (https://t.ly/vv-A)

satelitów krążących po orbitach okołoziemskich, jak i sond kosmicznych wysyłanych w kierunku Słońca lub odległych planet, okazuje się znacznie szerszy, niż w przypadku jakiegokolwiek systemu pracującego na Ziemi – stąd pojawia się konieczność zastosowania nie tylko odpowiednio wytrzymałych komponentów i materiałów, ale także rozmaitych technik projektowych oraz metod zarządzania przebiegiem misji na każdym jej etapie.

W przypadku sztucznych satelitów Księżyca, Ziemi bądź innych planet Układu Słonecznego, zakres zmienności temperatur – spowodowany cyklicznym przelotem przez obszar nasłoneczniony oraz ocieniony okrążanego ciała niebieskiego – zależy zarówno od odległości od Słońca, jak i szeregu innych efektów. Pod uwagę należy zatem brać również wpływ ewentualnej atmosfery, efekt promieniowania odbitego od powierzchni okrążanego obiektu, jak i jego własne promieniowanie termiczne (podczerwone). W przypadku najintensywniej eksploatowanej, niskiej orbity okołoziemskiej zakres temperatur wynosi od –150°C do +60°C, choć rozmaite źródła podają zupełnie odmienne wartości, przykładowo: od –170°C do +123°C lub od –65°C to +125°C. Diametralnie inna sytuacja panuje na orbicie geostacjonarnej – o ile warunki pracy przez większość czasu pozostają zbliżone do górnego przedziału temperatur dla LEO, to dwa razy w ciągu roku, przez czas rzędu 45 dni, satelita znajduje się w cieniu Ziemi – co powoduje znaczny spadek temperatury, ale znacząco utrudnia też zarządzanie zasilaniem aparatury (z uwagi na brak możliwości ciągłego doładowywania akumulatorów przez ogniwa słoneczne).

Niezwykle istotnym aspektem projektowania urządzeń kosmicznych jest odpowiednie zarządzanie przepływem ciepła. Z uwagi na wysoką próżnię panującą w górnych warstwach termosfery, jak i – tym bardziej – w otwartej przestrzeni kosmicznej, nie można liczyć na możliwość odprowadzania ciepła z elektroniki pokładowej przez zjawisko konwekcji. Pozostaje zatem głównie pasywne chłodzenie poprzez przewodzenie oraz promieniowanie. O ile większe statki kosmiczne mogą korzystać z zaawansowanych, aktywnych systemów termoregulacyjnych (chłodzenie kriogeniczne i termoelektryczne, zamknięte systemy chłodzenia cieczą, grzałki elektryczne i radioizotopowe, itd.), to w przypadku małych satelitów (np. CubeSatów) tego typu rozwiązania nie wchodzą w grę zarówno ze względu na ograniczenia masowe i wymiarowe, jak i bilans mocy podsystemu zasilania.

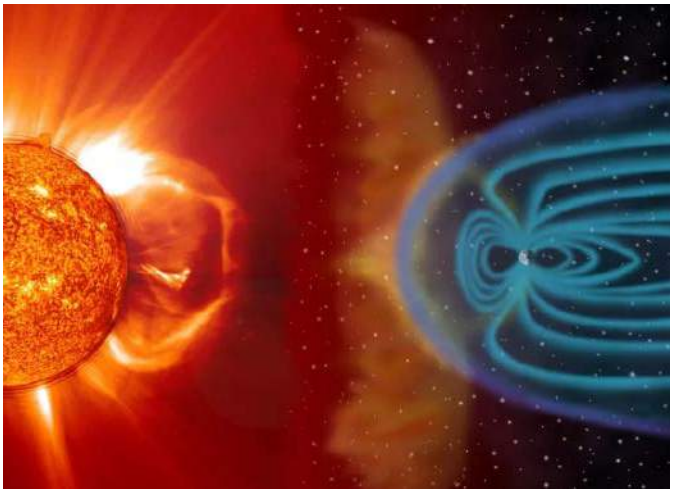
Między innymi z tego powodu tak ważne jest stosowanie odpowiednich osłon termicznych, wykonanych ze specjalnej, wielowarstwowej folii wzmacnianej siatką polimerową (**fotografia 6**). Tego typu „koc termiczny" nosi nazwę *Multi-layer Insulation* (MLI) i jest szeroko stosowany w niemal wszystkich rodzajach satelitów oraz sond kosmicznych. Dzięki metalizacji warstwami aluminium możliwe jest także uzyskanie efektu dość szczelnego ekranowania, co doskonale widać np. na przykładzie sondy Cassini (**fotografia 7**), w której 24-warstwowe (!) pokrycia termiczne zawierały – oprócz metalu – także szereg innych materiałów (Kapton, Mylar czy Dacron), zaś każda warstwa przewodząca została solidnie uziemiona w celu przeciwdziałania powstawaniu łuków elektrycznych podczas przelotu przez pasy radiacyjne Ziemi oraz Saturna. Co więcej – jak to zwykle bywa w branży kosmicznej – nawet tak pozornie drobny szczegół konstrukcyjny był przedmiotem obszernych badań i wielokrotnych ulepszeń. Przykładowo, specjalna siatka wewnątrz „koców termicznych" ma za zadanie nie tylko wzmocnić całość pod względem mechanicznym, ale także – wraz z otworami w poszczególnych warstwach (**fotografia 8**) – ułatwić przepływ powietrza podczas startu w celu zapobieżenia przypadkowej perforacji.

Ważnym aspektem jest także dostosowanie przebiegu misji do warunków termicznych – przykładowo, nanosatelita na LEO, który nie jest w stanie pracować w temperaturach poniżej kilkudziesięciu stopni Celsjusza, może wykorzystać „ciepłą" część okresu orbitalnego na wykonywanie eksperymentów, komunikację ze stacjami naziemnymi i wszelkie inne procedury przewidziane programem misji, zaś na czas przelotu przez ocienioną stronę Ziemi przejść w tryb obniżonego poboru mocy.



Fotografia 8. Część wewnętrznych warstw osłony termicznej z widoczną siatką oraz perforowanymi warstwami: grubszą, zewnętrzną (po lewej) oraz cieńszą wewnętrzną (w po prawej) (https://t.ly/RX7K)

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 3. Wizja artystyczna pokazujaca efekt ekranowania Ziemi od wiatru słonecznego przez jej własne pole magnetyczne (https://t.ly/Ayul)

Promieniowanie kosmiczne

Elektronika kosmiczna jest narażona na silne dawki promieniowania kosmicznego, pochodzącego zarówno z najbliższej nam gwiazdy, jak i z odległych galaktyk. Co więcej – o ile ilość cząstek o najwyższych rejestrowanych energiach (nawet rzędu bilionów MeV!), pochodzących z dalekich obszarów Wszechświata, jest stosunkowo niewielka, to za nieporównanie wyższą gęstość mocy odpowiada właśnie promieniowanie pochodzące od Słońca.

Słońce jest źródłem szeregu efektów, związanych z emisją promieniowania elektromagnetycznego oraz silnie przyspieszonych cząstek. O ile tzw. wiatr słoneczny (**rysunek 3**) – strumień relatywnie niskoenergetycznej plazmy opuszczającej Słońce – przeważnie jest znacznie słabiej odczuwalny przez aparaturę kosmiczną, to rozbłyski słoneczne i zdarzenia określane mianem CME (*Coronal Mass Ejection* – koronalny wyrzut masy) wiążą się z wyrzucaniem ogromnych ilości materii o bardzo wysokiej energii kinetycznej, zdolnej do uszkodzenia aparatury.

Sytuację dodatkowo komplikuje obecność atmosfery – o ile warstwy powietrza znajdujące się nad powierzchnią Ziemi skutecznie chronią nas (oraz ziemską aparaturę) przed cząstkami wysokoenergetycznymi i twardym promieniowaniem UV, o tyle w połączeniu z rozpędzonymi nukleonami bądź fotonami ultrafioletu o wysokiej energii ulegają one zjonizowaniu. To zaś powoduje utrzymywanie się plazmy w jonosferze oraz powstawanie tzw. wtórnego promieniowania kosmicznego.

Zagadnieniem istotnym dla planowania przebiegu misji kosmicznych są tzw. pasy Van Allena – toroidalne chmury cząstek, które w wyniku działania ziemskiego pola magnetycznego zostały „uwięzione" wokół naszej planety (**rysunek 4**). Wewnętrzny pas Van Allena, znajdujący się na wysokości około 1200...6000 km nad powierzchnią Ziemi, zawiera głównie protony o energii ok. 10 MeV i elektrony o energii 1…5 MeV, zaś zewnętrzny – „umieszczony" w rejonie około 13000...60000 km n.p.m. składa się przede wszystkim z elektronów o energiach rzędu 10...100 MeV i jest bardzo podatny na aktywność słoneczną [4]. Obecność pasów została wstępnie potwierdzona już w ramach misji pierwszego amerykańskiego sztucznego satelity okołoziemskiego o nazwie Explorer-1, wystrzelonego w przestrzeń kosmiczną w 1958 roku.

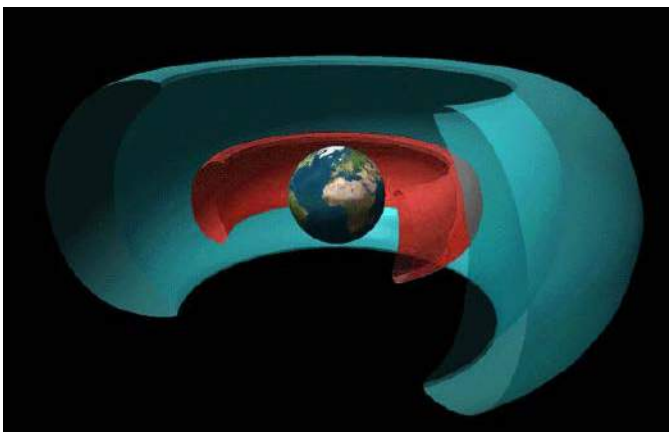
Wtórnym źródłem promieniowania jonizującego może być także… sama struktura urządzeń zainstalowanych na pokładzie statku kosmicznego – przykładowo, niskoenergetyczne neutrony uderzające w atom boru ^{10}B mogą doprowadzić do rozpadu promieniotwórczego, w efekcie którego powstanie cząstka alfa o energii 1,47 MeV i 840-kiloelektronowoltowy foton gamma – te zaś bez większego problemu są w stanie zaburzyć pracę układów scalonych, powodując np. przekłamania wartości bitów w pamięci. Co ważne – wbrew pozorom problem jest naprawdę spory, gdyż szkło na bazie boru (BPSG – *boron-doped phosphosilicate glass*) stanowi jeden z głównych surowców stosowanych w konwencjonalnym przemyśle półprzewodnikowym.

Wpływ promieniowania jonizującego na układy elektroniczne

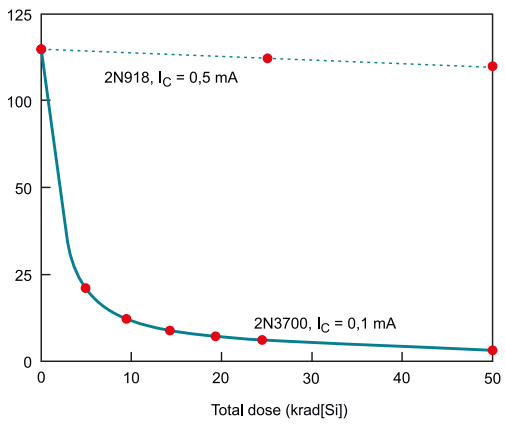
Promieniowanie jonizujące, czyli (w przypadku branży space) także promieniowanie kosmiczne, oddziałuje na układy półprzewodnikowe na drodze rozmaitych mechanizmów, których podłoża należy szukać na poziomie fizyki ciała stałego. Ogólnie rzecz ujmując, mamy do czynienia z trzema podstawowymi grupami efektów:

- uszkodzenia spowodowane przyjętą dawką całkowitą (*dose-effect*),
- uszkodzenia spowodowane przyjęciem dużej dawki w krótkim czasie (*dose-rate effect*),
- uszkodzenia i tymczasowe efekty jednostkowe (*single-event-effect*).

W przypadku efektów zależnych od całkowitej dawki pochłoniętej promieniowania jonizującego [5] (TID – *Total Ionising Dose*) mamy do czynienia ze zmianami na poziomie struktury półprzewodnikowej elementów dyskretnych lub układów scalonych, narastającymi podczas ekspozycji na promieniowanie. Proces ten odbywa się na drodze generowania, transportu oraz pułapkowania dziur w obszarach bramek tranzystorów polowych oraz tlenkowych warstw izolacyjnych. Zmiany te doprowadzają do istotnej zmiany parametrów pracy, a w skrajnych przypadkach – nawet do nieodwracalnego uszkodzenia układu. W komponentach wykonanych w technologii bipolarnej często spotykanym efektem pochłonięcia odpowiednio dużej dawki TID jest redukcja (nierzadko drastyczna) współczynnika wzmocnienia prądowego (h_{FE}). Przykładowy wykres zależności h_{FE} od dawki



Rysunek 4. Uproszczona wizualizacja 3D pasów Van Allena: wewnętrznego (kolor czerwony) oraz zewnętrznego (kolor niebieski) (https://t.ly/hyx4)



Rysunek 5. Wykres zależności hFE dwóch różnych tranzystorów bipolarnych od dawki pochłoniętej w przypadku powolnego bombardowania protonami (https://t.ly/1pgC)

eprasa.pl d8e2d0846e

pokazano na **rysunku 5**. Układy bazujące na strukturach polowych wykazują natomiast tendencje do wzrostu wartości prądu upływu, co przekłada się z kolei na stopniowe zwiększanie statycznego poboru mocy urządzenia. W skrajnym przypadku prowadzi to do nieodwracalnej awarii – po silnej ekspozycji całkowite wyłączenie tranzystora może wszak okazać się niemożliwe. Warto dodać – że wbrew pozorom – niektóre efekty (np. wspomniany spadek wzmocnienia prądowego tranzystorów BJT) są znacznie bardziej prawdopodobne w przypadku powolnego pochłaniania określonej dawki TID przez strukturę (LDR – *Low Dose Rate*), niż po przyjęciu dokładnie takiej samej TID, ale w krótkim czasie (HDR – *High Dose Rate*).

Uszkodzenia elementów elektronicznych w wyniku działania efektów TID obejmują zatem m.in. [6]:

- przesunięcie napięcia progowego tranzystorów MOS,
- obniżenie szybkości przełączania układów CMOS,
- wzrost statycznego prądu zasilania struktur CMOS,
- obniżenie h_{FE} tranzystorów bipolarnych,
- błędy funkcjonalne układów cyfrowych,
- zmiany offsetów napięciowych i prądowych układów analogowych,
- spadek wzmocnienia układów analogowych,
- zwiększenie prądu ciemnego matryc CCD.

Co ważne, rozmaite rodzaje promieniowania (fotony, neutrony, protony, elektrony czy też cząstki alfa) uruchamiają inne mechanizmy prowadzące do powstawania defektów struktury półprzewodnikowej. Objętościowe uszkodzenia strukturalne, określane mianem DD (*displacement damage*) występują głównie przy ekspozycji na działanie protonów i neutronów, a powstają w wyniku „wybicia" atomu ze struktury przez poruszającą się cząstkę. W wyniku zderzenia elastycznego powstaje defekt, przyczyniający się do trwałego pogorszenia parametrów półprzewodnika. Warto podkreślić, że – w odróżnieniu od opisanych wcześniej uszkodzeń TID – mówimy tutaj o efektach niezwiązanych z jonizującym charakterem promieniowania, ale z czysto „mechanicystycznym" uszkodzeniem sieci krystalicznej.

Do uszkodzeń spowodowanych efektem DD można zaliczyć:

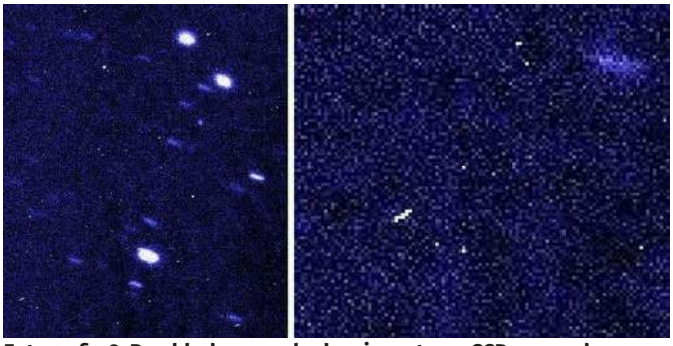
- obniżenie h_{FE} tranzystorów BJT,
- zwiększenie prądu upływu i napięcia przewodzenia diod krzemowych,
- zwiększenie prądu ciemnego oraz uszkodzenia pikseli i kolumn matryc CCD,
- zwiększenie prądu ciemnego oraz redukcja czułości fotodiod,
- obniżenie mocy wyjściowej diod LED oraz laserów półprzewodnikowych,
- obniżenie sprawności ogniw słonecznych (spadek prądu zwarcia, napięcia jałowego oraz mocy).

Praktyczna ilość i natężenie uszkodzeń typu TID oraz DD zależy w dużej mierze od obszaru przestrzeni kosmicznej, w którym pracuje dany statek kosmiczny. W przypadku sztucznych satelitów Ziemi znaczenie ma nie tylko wysokość i inklinacja orbity (m.in. ze względu na położenie względem pasów Van Allena), ale także czas trwania misji i sposób zabezpieczenia elektroniki (ekranowanie na poziomie obudowy, konstrukcji satelity, a nawet samych układów scalonych).

Bardzo szeroką grupą efektów są zdarzenia z grupy określanej mianem *Single Event Effects* (SEE). Jak sama nazwa wskazuje, wiążą się one z przejściem pojedynczej cząstki przez strukturę danego elementu (**fotografia 9**), zaś o praktycznym efekcie takiego zdarzenia decyduje zarówno rodzaj i energia cząstki, jak i typ komponentu oraz zastosowana w nim technologia półprzewodnikowa. Wszystkie efekty z tej grupy możemy podzielić na dwie główne kategorie:

- **zdarzenia niszczące** – powodujące nieodwracalne uszkodzenie struktury półprzewodnikowej, a – co za tym idzie – nierzadko także innych elementów układu elektronicznego,
- **zdarzenia nieniszczące** – przejściowe zjawiska powodujące wprawdzie zaburzenie działania urządzenia, jednak nie prowadzące (przynajmniej w sposób bezpośredni) do jego uszkodzenia.

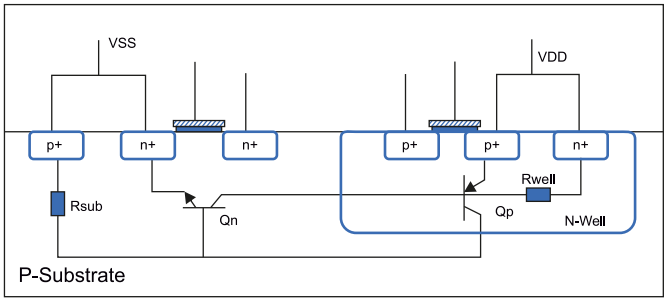
Pierwsza grupa zdarzeń obejmuje następujące podkategorie:



Fotografia 9. Przykładowe uszkodzenia matrycy CCD spowodowane promieniowaniem kosmicznym: po lewej – widoczne pojedyncze uszkodzone piksele, po prawej – zbliżenie lewego dolnego rogu z poprzedniego zdjęcia: uwagę zwraca ostro odgraniczona, biała kreska, będąca efektem przelotu wysokoenergetycznej cząstki pod niewielkim kątem do powierzchni matrycy (https://t.ly/8iA7)

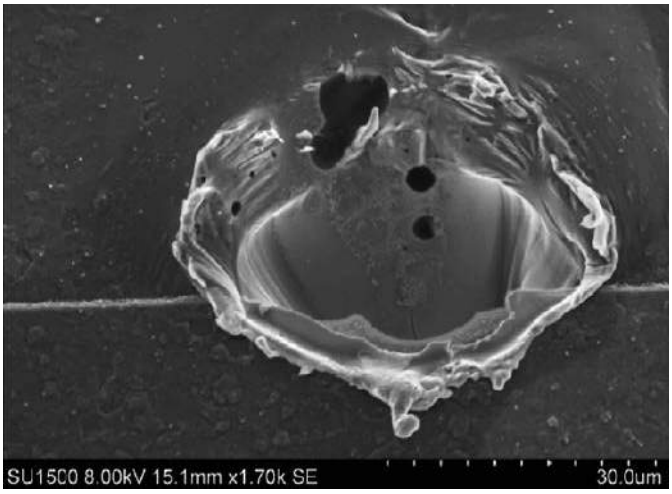
- **SEL** (*Single Event Latchup*) – dotyczy głównie układów wykonanych w technologiach CMOS oraz BiCMOS, gdyż układy bipolarne – zdecydowanie rzadziej dziś stosowane – są na zdarzenia SEL znacznie odporniejsze. Paradoksalnie jednak, to właśnie pasożytnicze struktury BJT – tworzące swego rodzaju „dodatkowy tyrystor" w konwencjonalnych układach CMOS (**rysunek 6**) – są odpowiedzialne za zwarcie szyn zasilania w wyniku działania ciężkiego jonu (a w pewnych warunkach nawet rozpędzonego, pojedynczego protonu). Dostarczenie niewielkiego ładunku do struktury powoduje wyzwolenie kaskady efektów, skutkujących włączeniem wspomnianego tyrystora i utworzeniem w ten sposób niskoimpedancyjnej ścieżki dla prądu zwarcia, płynącego pomiędzy szynami zasilania. Inne obwody mogą wprawdzie na chwilę odciąć zasilanie w wyniku przekroczenia dopuszczalnego poboru prądu (i „zresetować" w ten sposób pasożytniczą strukturę), jednak nie zawsze takie rozwiązanie jest możliwe do wdrożenia. Problem rozwiązuje się więc przede wszystkim na drodze wprowadzenia odpowiedniej modyfikacji samej struktury krzemowej.
- **SEGR/SEB** (*Single Event Gate Rupture/Single Event Burnout*) – efekty te – choć bazują na nieco innych zjawiskach – są zwykle wymieniane razem ze względu na zbliżoną charakterystykę z punktu widzenia warunków układowych. Obydwa efekty występują pod wpływem uderzenia ciężkiego jonu w strukturę wyłączonego w danym momencie tranzystora dużej mocy, powodując nagły wzrost wartości prądu (lub napięcia) i w efekcie uszkodzenie tranzystora, a zwykle także innych elementów urządzenia. SEB w odniesieniu do tranzystorów DMOS można porównać do efektu SEL, ale dotyczącego jedynie pojedynczej struktury pasożytniczej typu BJT. Zjawisko to jest także szeroko rozpatrywane w zakresie diod Schottky'ego, które również mogą ulec katastrofalnemu w skutkach uszkodzeniu przez ciężki jon (**fotografia 10**).

Jak widać, wymienione powyżej efekty prowadzą zwykle do uszkodzenia elementów/układów poprzez (dość klasyczne) przeciążenie zasilacza i przegrzanie układów scalonych bądź elementów dyskretnych.

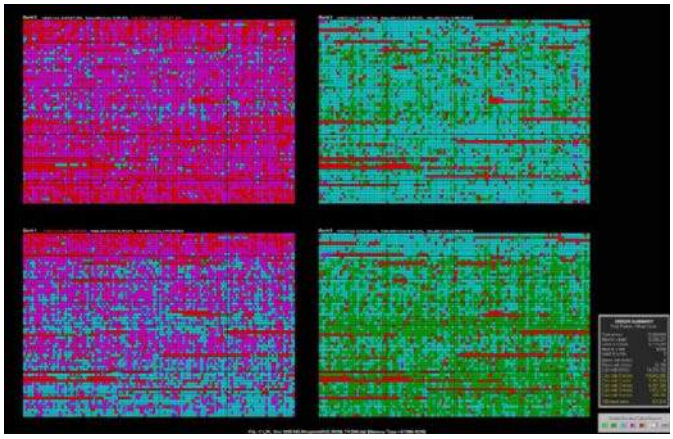


Rysunek 6. Przekrój typowej struktury CMOS z zaznaczoną pasożytniczą strukturą tyrystorową, biorącą udział w zjawisku zatrzaskiwania (ang. latchup) – https://t.ly/PFUP

eprasa.pl d8e2d0846e



Fotografia 10. Mikrofotografia SEM uszkodzenia typu SEB w strukturze diody Schottky'ego (https://t.ly/q3P9)



Rysunek 7. Mapa błędów pamięci spowodowanych przez promieniowanie jonizujące. Kolor zielony – pojedyncze (izolowane) uszkodzenia danych, kolor czerwony – bloki uszkodzeń spowodowanych przez SEFI (https://t.ly/gWSI)

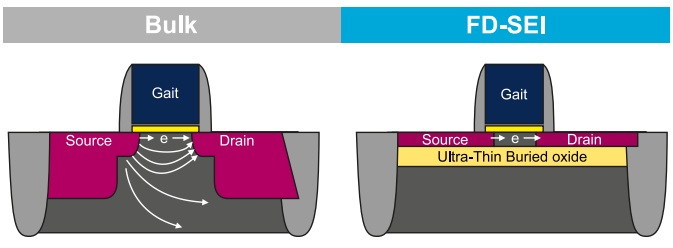
Z uwagi na katastrofalne skutki wielu takich zdarzeń (nietrudno znaleźć komunikaty prasowe traktujące o uszkodzeniach elementów zasilania niektórych satelitów, co doprowadziło do niepowodzenia całej misji) określane są one często mianem hard faults.

Druga kategoria – błędy typu soft faults – obejmuje natomiast nieniszczące zaburzenia pracy układów elektronicznych (najczęściej cyfrowych, choć nie tylko), tj.:

- **SET** (*Single Event Transient*) – pojedyncze cząstki o odpowiednio wysokiej energii, przelatujące przez wnętrze urządzenia elektronicznego, mogą wygenerować niepożądane impulsy, które – zależnie od rodzaju układu, szybkości taktowania oraz wartości napięcia zasilania – będą propagować w obwodach, zwykle zaburzając pracę układów cyfrowych. Im wyższa jest częstotliwość zegara, tym wyższe prawdopodobieństwo „wyłapania" przez układ takiego „nieplanowanego" impulsu. Z drugiej strony, margines zakłóceń w przypadku układów niskonapięciowych (a takie są szeroko stosowane także w branży kosmicznej z uwagi na konieczność optymalizacji poboru mocy) jest obniżony względem logiki o wyższej rozpiętości napięć, co powoduje dodatkowe zwiększenie podatności na zaburzenia impulsowe. Także układy analogowe mogą „odczuwać" skutki SET, jednak w przypadku układów liniowych propagowane będą także impulsy o mniejszych amplitudach (podczas gdy obwody cyfrowe z natury rzeczy będą dyskryminowały słabsze zdarzenia, niezdolne do zmiany stanu na danej linii).
- **SEU/MCU/MBU** (*Single Event Upset/Multiple Cell Upset/Multiple Bit Upset*) – jednym z zagrożeń dla misji kosmicznych są uszkodzenia danych w pamięci lub rejestrach ulotnych (zatrzaskach, rejestrach konfiguracyjnych, itd.). Mechanizmy działania poszczególnych efektów są zróżnicowane – przykładowo, cząstka wysokoenergetyczna może „dodać" ładunek do kondensatora pamięci DRAM lub zmienić stan tranzystora należącego do danej komórki pamięci. Jeżeli jednak trajektoria przelotu jonu jest w przybliżeniu równoległa do powierzchni półprzewodnikowej struktury pamięci bądź jon jest ciężki i niesie ze sobą sporą energię (wystarczającą do „obdzielnia" ładunkiem kilku sąsiadujących obszarów pamięci), możliwe jest wystąpienie uszkodzeń wielu – odpowiednio – komórek (MCU) lub bitów (MBU) – **rysunek 7**.
- **SEFI** (*Single Event Functional Interrupt*) – stanowi odmianę SEU, rozpatrywaną jednak – z funkcjonalnego punktu widzenia – jako zdarzenie znacznie wyższej rangi, niż SEU w obszarze pamięci masowej. W tym przypadku bowiem mamy do czynienia ze zmianą wartości szczególnie istotnego bitu – np. flagi przerwania bądź rejestru kontrolnego procesora. Nietrudno się domyślić, że przekłamanie pojedynczego bitu w pamięci framegrabbera czy też logów pomiarowych będzie zwykle nieporównanie mniej istotne dla powodzenia misji, niż nieplanowany reset procesora bądź przedwczesne uruchomienie ważnej procedury sterującej elementami wykonawczymi. Zdarzenia SEFI mogą też manifestować się poprzez uszkodzenia większych bloków danych w pamięciach. Podstawowymi mechanizmami ochrony przed tego typu problemami są: redundancja oraz kodowanie korekcyjne (ECC).

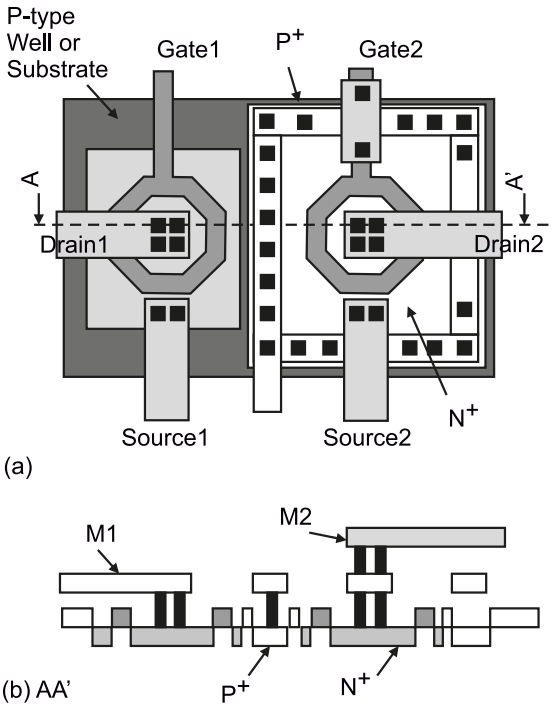
Ochronę układów scalonych i komponentów dyskretnych przed zgubnym wpływem promieniowania jonizującego określa się mianem *radiation hardening*. Zagadnienie to obejmuje szereg technik stosowanych przez producentów półprzewodników, w tym przede wszystkim:

- zmianę podłoży na silniej domieszkowane przy zachowaniu niezmienionych masek fotolitograficznych poszczególnych układów scalonych (poprawa przewodnictwa i zwiększenie odporności na SEL),
- redukcję ilości izotopu ^{10}Bo w strukturze półprzewodnika,
- zastosowanie izotopu ^{10}Bo w obudowie układu scalonego w roli ekranu „wyłapującego" neutrony, ale jednocześnie oddzielonego od właściwej struktury półprzewodnikowej na odległość uniemożliwiającą przechodzenie produktów rozpadu promieniotwórczego do płytki krzemowej,
- minimalizację ilości zanieczyszczeń zdolnych do emisji cząstek alfa w ramach procesu wytwarzania układów oraz w materiałach stosowanych do zalewania układów,
- rozdział strukturalny tranzystorów w strukturach CMOS w celu uniknięcia tworzenia pasożytniczych struktur tyrystorowych,
- stosowanie izolowanych podłoży (*Silicon On Insulator* – SOI, *Silicon On Sapphire* – SOS), uniemożliwiających gromadzenie niepożądanych ładunków wygenerowanych przy przejściu cząstki wysokoenergetycznej przez rejon podłoża (**rysunek 8**),
- stosowanie pierścieni ochronnych (*guard rings)* pomiędzy sąsiadującymi obszarami struktury półprzewodnikowej w celu zapobiegania SEL,
- stosowanie tranzystorów ELT (*Edge-Less Transistor*) w celu zapobiegania wzrostowi prądu upływu w ramach efektu TID (**rysunek 9**).



Rysunek 8. Porównanie konwencjonalnej technologii półprzewodnikowej (Bulk – po lewej) oraz SOI z zastosowaniem zagrzebanej warstwy tlenku (po prawej) – https://t.ly/WHkB

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 9. Struktura złożona z dwóch tranzystorów bezbrzegowych (ELT), redukująca prądy upływu; tranzystor znajdujący się po prawej stronie dodatkowo zabezpieczony pierścieniem ochronnym (ang. guard ring) – https://t.ly/_LW0



Fotografia 11. Zanieczyszczenia będące efektem odgazowania, osadzone na aluminiowym elemencie konstrukcji satelity (https://t.ly/v0uO)

Opisane powyżej techniki bazują na modyfikacjach zarówno w projekcie, jak i procesie wytwarzania komponentów półprzewodnikowych. Warto jednak pamiętać, że istnieje jeszcze szereg innych metod zapobiegania awariom powodowanym przez promieniowanie kosmiczne – co więcej, część z nich (np. redundancja) pozwala także unikać problemów wywoływanych przez inne rodzaje narażeń, m.in. temperaturę oraz wibracje.

Przeglądając katalogi komponentów rekomendowanych dla branży kosmicznej (i nie tylko) można spotkać się z następującymi wartościami charakteryzującymi odporność podzespołów na promieniowanie jonizujące:

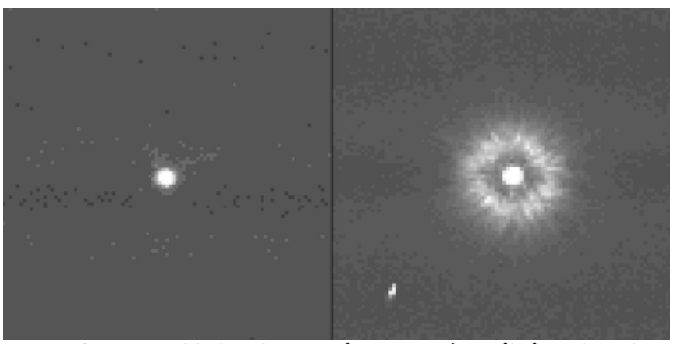
- **LETth** (*Linear Energy Transfer threshold*) – progowa wartość liniowego współczynnika przenoszenia energii, dla której należy spodziewać się wystąpienia w komponencie danego efektu (najczęściej SEL). Wartość ta, określana dla ustalonego natężenia strumienia cząstek wysokoenergetycznych, jest tym wyższa, im bardziej odporny na promieniowanie jest dany element. Sam współczynnik LET oznacza natomiast miarę energii promieniowania jonizującego absorbowanego przez materię na jednostkowym odcinku drogi. Jednostką LET, a więc też LETth, jest [MeV*cm²/mg] (zapisywana też jako MeV/mg/cm²).
- **TID** – wartość całkowitej dawki pochłoniętej przez układ, tolerowana dzięki konstrukcji komponentu. Pomyślne przejście testu jest rzecz jasna zdefiniowane inaczej dla każdego typu elementu (badane są więc np. wejściowe prądy upływu i napięcia niezrównoważenia wzmacniaczy operacyjnych czy też napięcia wyjściowe i prądy zasilania układów cyfrowych dla obu stanów logicznych). Wartość TID zapisywana jest zwykle w postaci [krad(Si)], czyli w kiloradach dla krzemu i często służy ona za czynnik różnicujący komponenty określane jako radiation tolerant i radiation hardened (rad-hard) – podczas gdy pierwsza grupa obejmuje zwykle komponenty o TID nieprzekraczającej 100 krad, to znacznie bardziej odporne podzespoły rad-hard mogą wytrzymać wielokrotnie większe dawki promieniowania. Czytelników zainteresowanych tematyką badań TID odsyłamy do obszernej bazy danych, zawierającej raporty z badań przeszło 400 komponentów przetestowanych przez Goddard Space Flight Center [7].

Próżnia

Rozpatrując warunki środowiskowe, w jakich pracują sztuczne satelity i sondy kosmiczne, nie można zapominać także o wpływie wysokiej próżni na działanie układów elektronicznych. Jednym z istotniejszych aspektów jest wspomniany wcześniej brak chłodzenia konwekcyjnego, znacznie utrudniający odprowadzanie ciepła z komponentów elektronicznych, zwłaszcza w obwodach zasilania, sterowania elementami wykonawczymi, czy też nadajników radiowych.

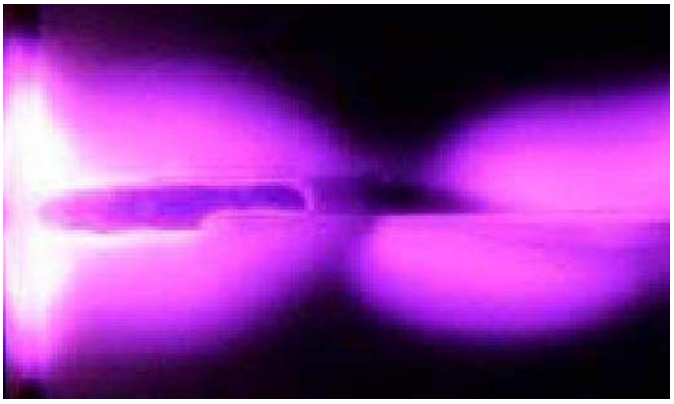
Innym efektem, który zawsze należy brać pod uwagę planując projekt urządzenia przeznaczonego do wyniesienia w przestrzeń kosmiczną, jest zjawisko odgazowywania (*outgassing* lub *offgassing*). Efekt ten – w przypadku elektroniki – polega na wydzielaniu przez materiały znajdujące się w stanie stałym (np. obudowy komponentów, uszczelki, kleje, zalewy czy też laminaty PCB) niewielkich ilości lotnych związków. Proces ten zachodzi pod wpływem wysokiej próżni panującej w przestrzeni kosmicznej, a jego efektem są zanieczyszczenia osadzające się na pobliskich powierzchniach (**fotografia 11**).

Choć pozornie problem odgazowania może wydawać się relatywnie mało istotny, to w rzeczywistości niesie on za sobą szereg poważnych konsekwencji, których znaczenie dla awaryjności aparatury wynika z rodzaju wydzielanych substancji, ich ilości oraz



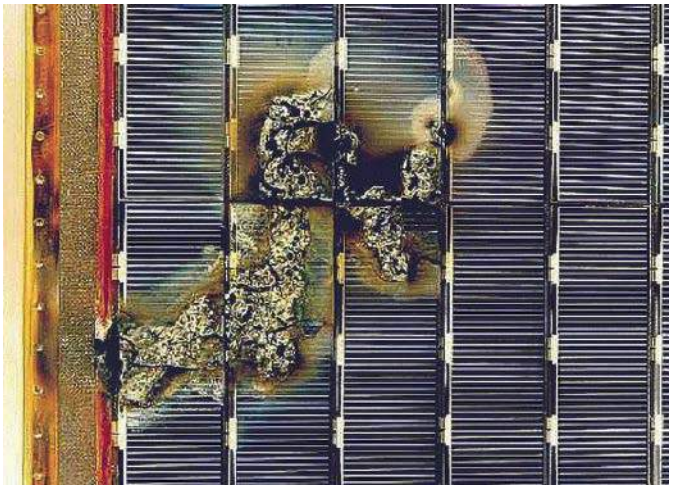
Fotografia 12. Przykład wpływu zanieczyszczeń wynikających z odgazowania na działanie układów obrazowania optycznego. Po lewej – widok planety uzyskany przez sondę Cassini przed zanieczyszczeniem optyki; po prawej – ten sam obraz po osadzeniu się zanieczyszczeń na powierzchni soczewki (https://t.ly/v0uO)

eprasa.pl d8e2d0846e

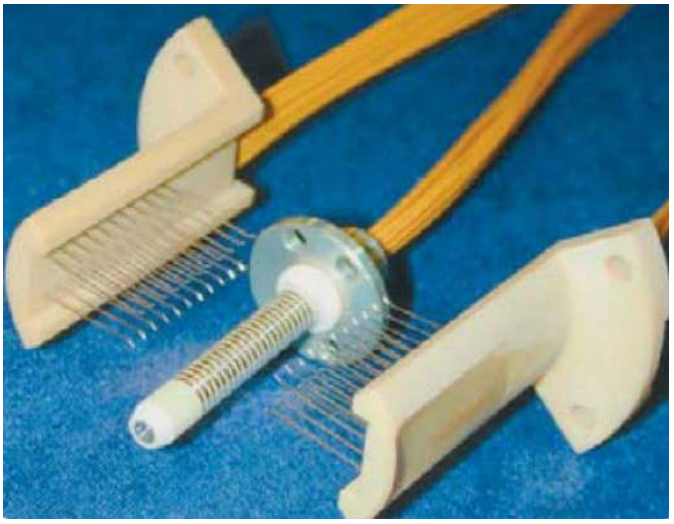


Fotografia 13. Wyładowanie koronowe w wysokonapięciowym układzie RF (https://t.ly/v0uO)

miejsca osadzania. Zdecydowanie największe zagrożenie dla powodzenia misji niesie zanieczyszczanie elementów optycznych (spadek przezierności soczewek, osłabianie natężenia światła docierającego do fotodetektorów, powstawanie błędów obrazowania – **fotografia 12**, itp.), układów wysokonapięciowych (ryzyko powstania łuków elektrycznych – **fotografia 13**) czy też czujników (wprowadzanie błędów pomiarowych lub nawet uniemożliwienie wykonywania pomiarów). Nie można także pominąć efektu pogorszenia



Fotografia 14. Uszkodzenia paneli słonecznych satelity EURECA, spowodowane przepaleniem materiału przez łuki elektryczne powstałe w otoczeniu plazmowym (https://t.ly/AkdN)



Fotografia 15. Przykładowe złącze obrotowe (slipring) przeznaczone do satelitów pracujących w obszarze niskiej orbity okołoziemskiej (https://t.ly/NZdD)

parametrów wytrzymałościowych z uwagi na zmiany strukturalne zachodzące w efekcie zjawiska *outgassing*.

W celu scharakteryzowania właściwości materiału pod względem zjawiska odgazowywania producenci podają w notach katalogowych dwie główne wielkości:

- **TML** (*Total Mass Loss*) – całkowity ubytek masy, podawany w procentach masy początkowej materiału. NASA oraz ESA wymagają, by wartość TML dla stosowanych w urządzeniach kosmicznych materiałach nie przekraczała 1%.
- **CVCM** (*Collected Volatile Condensable Material*) – oznacza ilość lotnego materiału uwolnionego z próbki, który ulega kondensacji na kolektorze w określonym przedziale czasowym i w warunkach zadanej temperatury. Wartość ta jest również określana jako procent masy początkowej próbki – wytyczne wspomnianych wyżej agencji kosmicznych określają dopuszczalną granicę CVCM jako 0,1%.

Normy określające testy zjawiska odgazowywania dla materiałów space-grade określają dokumenty:

- (ESA) ECSS-Q-ST-70-02C – *Thermal vacuum outgassing test for the screening of space materials*,
- (NASA) SP-R-0022A – *Vacuum stability requirements of polymeric material for spacecraft application*.

Plazma

Jak wspomnieliśmy już wcześniej, przestrzeń kosmiczna – pomimo tego, iż panuje w niej wysoka próżnia – zdecydowanie nie jest całkowicie pustym obszarem, pozbawionym jakiejkolwiek materii. Oprócz cząstek promieniowania kosmicznego, izotropowo penetrujących znane nam obszary Wszechświata, mamy do czynienia także z plazmą – zwłaszcza z uwagi na aktywność słoneczną.

Plazma, jako „chmura" zjonizowanych cząstek, może nie tylko z łatwością przewodzić prąd elektryczny, ale także skutecznie „ładować" elementy przewodzące satelity do potencjałów rzędu –100 V (względem jonosfery). Za zjawiska te odpowiedzialne są „gorące elektrony", otaczające satelitę i to zarówno w rejonie LEO, jak i GEO (przy czym w zależności od wysokości orbity zmienia się zarówno gęstość, jak i energia plazmy).

Opisane efekty prowadzą do wyładowań ESD, mających miejsce głównie w obszarze ogniw słonecznych (**fotografia 14**), ale także stosowanych do ich podłączenia złączy obrotowych (tzw. *sliprings* – **fotografie 15** i **16**). Warto tutaj podkreślić, że narażenie właśnie tych komponentów statków kosmicznych wynika nie tylko z ich ułatwionej

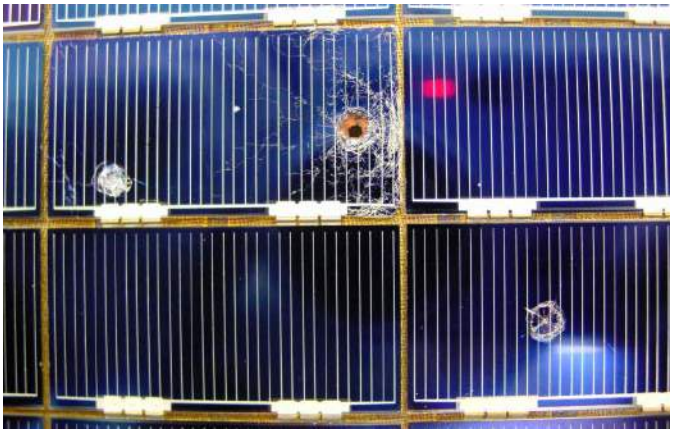
REKLAMA



eprasa.pl d8e2d0846e



Fotografia 16. Wyładowania koronowe widoczne w rejonie złącza obrotowego panelu słonecznego (https://t.ly/9tyw)



Fotografia 17. Panel solarny Kosmicznego Teleskopu Hubble'a po kolizji z mikroskopijnym meteorytem (https://t.ly/4gN0)

ekspozycji na otaczającą plazmę (są to przecież najbardziej wysunięte na zewnątrz elementy satelity), ale także z faktu, iż generowane przez nie napięcia są relatywnie wysokie [8], a impedancja – możliwie niska (dla zapewnienia maksymalnej sprawności). Taka „mieszanka wybuchowa" sprawia, że gdy dojdzie już do powstania łuku elektrycznego na powierzchni panelu solarnego, to zdarzenie takie często kończy misję z uwagi na nieodwracalne ograniczenie dostępnej mocy zasilania. Jakby tego było mało, panele solarne (jak i wszystkie inne komponenty wystawione na zewnątrz statków kosmicznych) są też narażone na „zwyczajne" (choć również katastrofalne w skutkach) uszkodzenia mechaniczne, spowodowane kolizjami z niewielkimi, kosmicznymi śmieciami. O ile bowiem swobodnie „fruwający" w przestrzeni kosmicznej fragment materii (np. poszycia jednego z odrzuconych modułów rakiety nośnej czy też mikroskopijnego meteorytu) wielkości kilku milimetrów nie wydaje się być szczególnym zagrożeniem dla (solidnych przecież) konstrukcji satelitarnych, to nietrudno wyobrazić sobie efekt jego działania w przypadku kolizji ze szklanym pokryciem panelu, gdy prędkość odłamka ma wartość rzędu 10 km/s (**fotografia 17**)...

Historia zna już wiele przypadków satelitów, z którymi obsługa naziemna straciła kontakt właśnie ze względu na uszkodzenie ogniw słonecznych. Problem jest bardzo poważny i nie sposób pominąć go w analizie ryzyka, dlatego też powstały standardy branżowe poświęcone zjawiskom gromadzenia ładunków na panelach satelitów:

- NASA-HDBK-4002 – *Mitigating In-Space Charging Effects-A Guideline*,
- ISO 11221:2011 – *Space systems – Space solar panels – Spacecraft charging induced electrostatic discharge test methods*.

Rzecz jasna, masywne wyładowania ESD w strukturze paneli solarnych stanowią największe zagrożenie dla „życia" satelitów i sond kosmicznych (w tym szczególnie przeznaczonych do badania Słońca), jednak tego typu zdarzenia mogą doprowadzić także do uszkodzeń wielu innych elementów aparatury. Co więcej, nawet niewielkie wyładowania nieniszczące są w stanie skutecznie zakłócać pracę czułej aparatury pomiarowej (zwłaszcza tej przeznaczonej do… badania cząstek naładowanych), czy też np. systemów telekomunikacyjnych. Sytuację dodatkowo pogarszają wspomniane wcześniej zanieczyszczenia osadzające się w wyniku odgazowania materiałów konstrukcyjnych satelity bądź osadzania mikroskopijnych, kosmicznych „śmieci" (cząstek stałych).

Podsumowanie

Zaprezentowane w artykule zagadnienia inżynierii kosmicznej jasno pokazują, że praca w tej branży wymaga doskonałej znajomości charakterystyki środowiska pozaziemskiego oraz zagadnień fizycznych, leżących u podstaw interakcji promieniowania jonizującego z półprzewodnikami. Wyjątkowo „niewdzięczne" warunki, w jakie wysyłane są sztuczne satelity oraz sondy kosmiczne do badania dalekich zakątków Układu Słonecznego (i nie tylko) doprowadziły już przecież do spektakularnego krachu niejednej misji. Tym bardziej więc zaskakują sukcesy projektów takich, jak chociażby sondy Voyager 1 i Voyager 2, które – mimo iż zaprojektowane zostały kilka dekad temu – były w stanie z sukcesem wejść w przestrzeń międzygwiezdną i nadawać z niej kolejne, bezcenne dane naukowe. Paradoksalnie, rozwój i miniaturyzacja elektroniki wyszły branży kosmicznej na dobre tylko częściowo, bowiem wraz ze wzrostem stopnia złożoności aparatury rośnie także liczba potencjalnych słabych punktów. A warunki panujące w kosmosie są w stanie z łatwością – zdawałoby się nawet, że na złość strudzonym inżynierom – wykorzystać wszystkie możliwości, by uszkodzić warte miliony dolarów urządzenia.

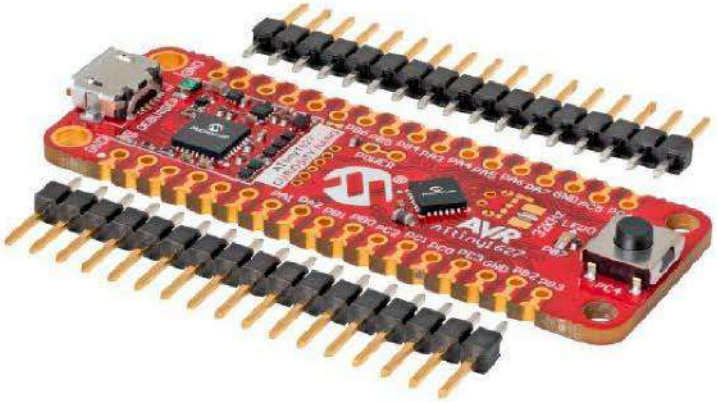
Mamy nadzieję, że zaprezentowany przegląd pozwoli naszym Czytelnikom na lepsze zrozumienie trudów branży space i zachęci do samodzielnego zgłębienia tej porywającej tematyki. Tym bardziej, że niewiarygodnie dużo cennych informacji, będących wynikiem wieloletnich, intensywnych badań prowadzonych przez największe agencje kosmiczne (NASA, ESA, itd.) jest dostępnych za darmo (lub za niewielką opłatą) w zasobach internetowych.

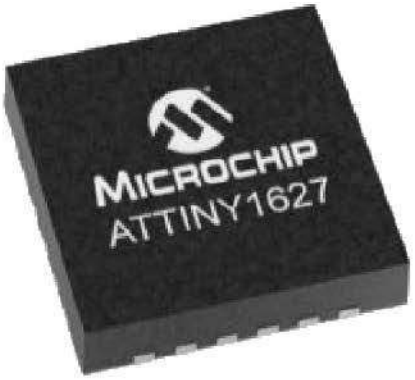
inż. Przemysław Musz, EP

Przypisy:

1. Inklinacja – kąt pomiędzy płaszczyzną zawierającą daną orbitę, a płaszczyzną równika.
2. Ekscentryczność (in. mimośród) – bezwymiarowa wielkość określająca kształt orbity. Ekscentryczność równa zeru oznacza orbitę kołową, mniejsza od jedności – eliptyczną, równa 1 – paraboliczną, a większa od jedności – hiperboliczną.
3. W chwili pisania niniejszego artykułu kategoria 9000, podobnie jak i 0000, pozostają puste (brak dokumentów udostępnionych do pobrania).
4. https://t.ly/1pgC
5. Jednostką dawki pochłoniętej, stosowaną w elektronice, jest 1 rad. Wartość ta odpowiada 0,01 Gy = 0,01 J/kg – grej jest natomiast oficjalnie przyjętą jednostką pochodną według układu SI, powszechnie używaną m.in. w zastosowaniach medycznych (radioterapii, obrazowaniu tomograficznym oraz ochronie radiologicznej).
6. https://t.ly/1BboZ
7. https://radhome.gsfc.nasa.gov/radhome/papers/tidpart.html
8. Dawniej systemy zasilania aparatury kosmicznej opierały się na szynie o relatywnie bezpiecznym (pod względem interakcji z plazmą) napięciu 28 V; wartość tę stopniowo podwyższano (np. do 100 V w przypadku satelitów umieszczanych na GEO), co rzecz jasna dodatkowo komplikowało sytuację związaną z wyładowaniami ESD. Co ciekawe, w późniejszych latach liczne zespoły naukowe prowadziły zaawansowane badania nad jeszcze bardziej drastycznym podwyższaniem napięcia paneli słonecznych – nawet do 1 kV (https://t.ly/-hKP).

eprasa.pl d8e2d0846e





Mikrokontrolery z rozbudowanymi funkcjami analogowymi

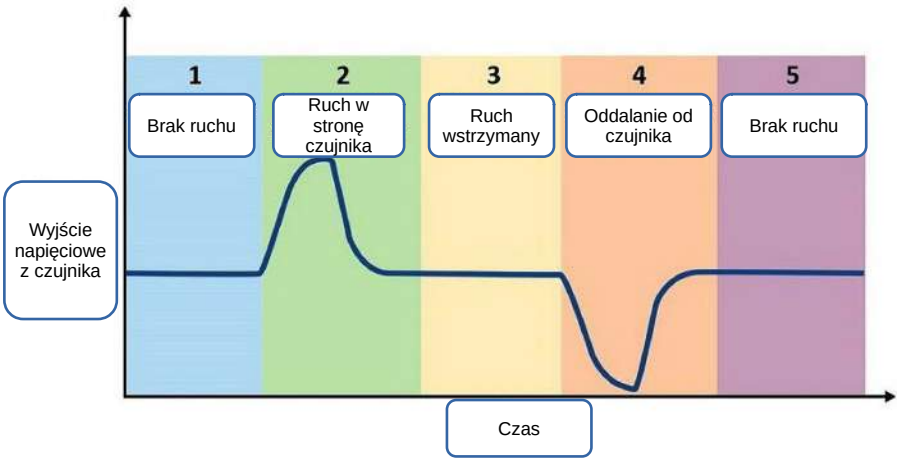
Optymalizacja projektu na praktycznym przykładzie

Rozwój aplikacji, takich jak sensory systemów bezpieczeństwa czy bezprzewodowe urządzenia do monitorowania medycznego, zależy od kilku czynników. Aby połączyć rozwój z sukcesem rynkowym, należy połączyć nowoczesną funkcjonalność z optymalnym rozwiązaniem układowym. Dodatkowym wymaganiem jest wysoka wydajność energetyczna – może być jednym z najważniejszych kryteriów, ponieważ wiele nowych aplikacji korzysta z zasilania bateryjnego lub uzyskanego z otoczenia.

Im niższe średnie zużycie energii, tym dłuższa żywotność baterii i dłuższe okresy przeglądów. Aby lepiej spełnić wymagania dotyczące zasilania, jednocześnie tworząc zwarte i niezawodne projekty, projektanci powinni najpierw rozważyć małe i energooszczędne mikrokontrolery (MCU) ze zintegrowanymi rozbudowanymi i inteligentnymi peryferiami i funkcjami. Takie mikrokontrolery są w stanie obsłużyć większość zadań wymaganych przez aplikację, zmniejszając liczbę zewnętrznych elementów pasywnych w całej konstrukcji i jednocześnie zapewniając niski pobór mocy. Natomiast wbudowane funkcje zapewniają dodatkową elastyczność i wygodną konfigurację.

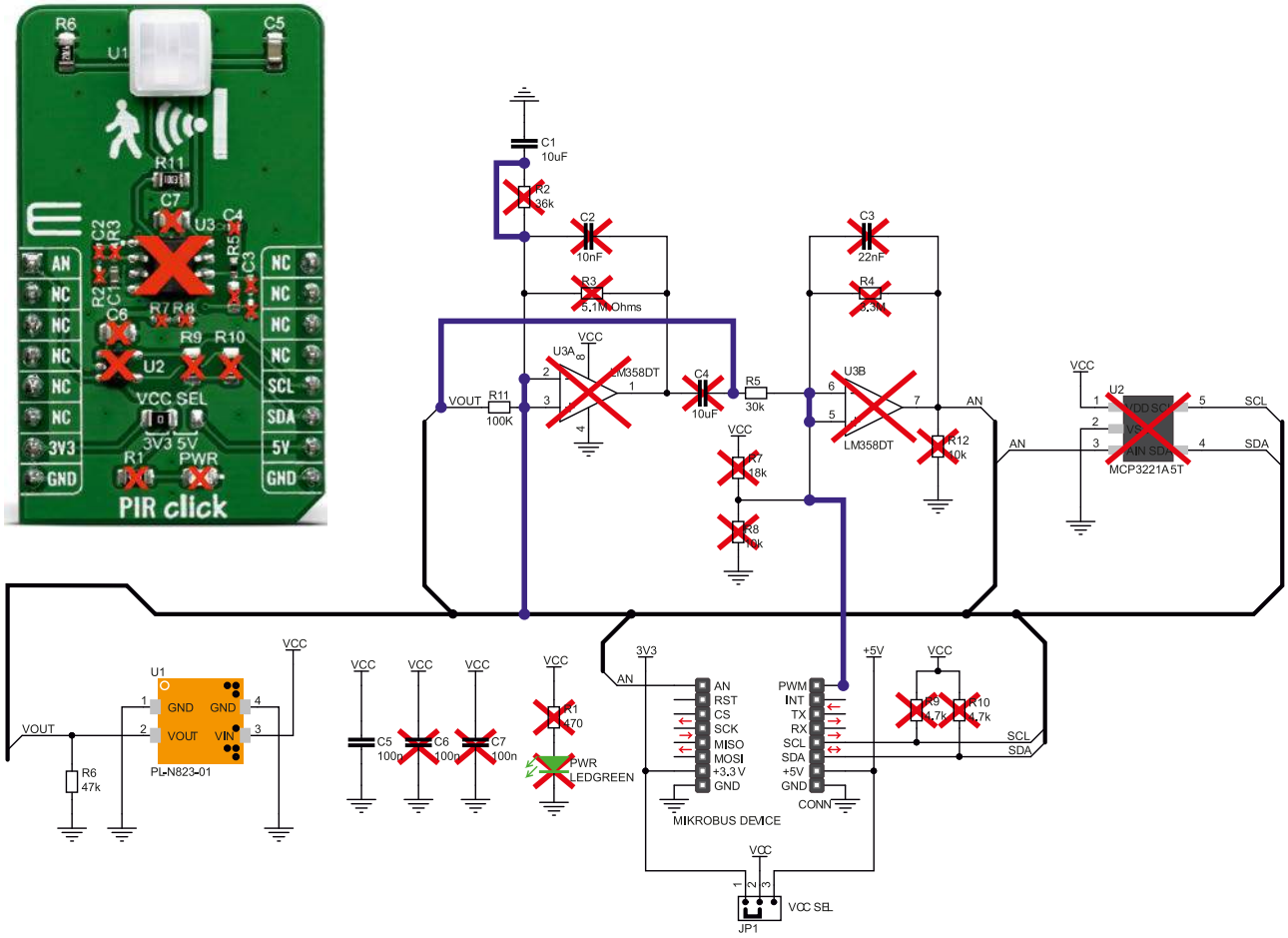
Praktyczny przykład – detektor ruchu z czujnikiem PIR

Zasilane bateryjnie węzły czujnikowe do zastosowań takich, jak systemy bezpieczeństwa w domu, to np. detektor ruchu na bazie czujnika pasywnej podczerwieni (PIR). Może być umieszczany wewnątrz i na zewnątrz domu. Wykrywa zmiany w ilości promieniowania podczerwonego widzianego przez czujnik, która zmienia się w zależności od temperatury i charakterystyki powierzchni obiektu przed czujnikiem. Gdy osoba przechodzi między czujnikiem a tłem, czujnik wykrywa zmianę temperatury otoczenia, uwzględniając temperaturę ciała. Powstała zmiana w promieniowaniu podczerwonym jest przekształcana na zmianę napięcia wyjściowego – $V_{PIR(t)}$. Inne obiekty o tej



Rysunek 1. Zasada działania sensora PIR

eprasa.pl d8e2d0846e



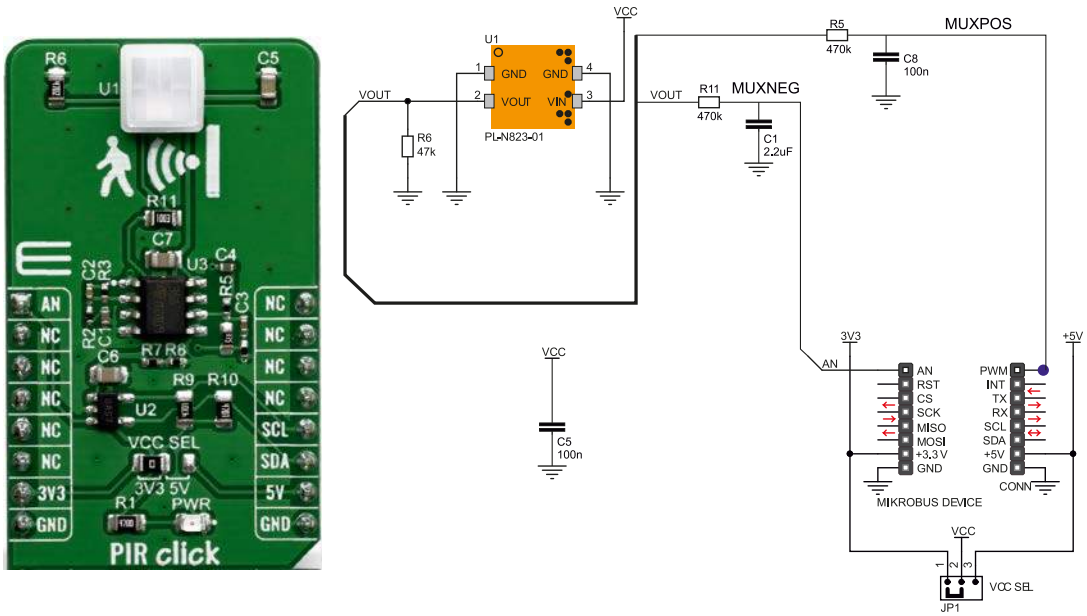
Rysunek 2. Zastosowane modyfikacje projektu modułu PIR Click

samej temperaturze co tło, ale o innej charakterystyce powierzchni, również spowodują, że czujnik wykryje inny wzorzec emisji. Cały cykl sposobu działania czujnika pokazano na **rysunku 1**.

Poziomy sygnału wyjściowego z czujnika PIR są zazwyczaj bardzo niskie – poniżej 1 mV. Aby wykryć ruch i uniknąć fałszywych alarmów, sygnał analogowy musi zostać wzmocniony przed próbkowaniem przez przetwornik analogowo-cyfrowy (ADC). W typowych rozwiązaniach osiąga się to za pomocą kilkustopniowego wzmacniacza na bazie układów wzmacniaczy operacyjnych (Op Amp) o wysokim wzmocnieniu. W ten sposób zwiększa się złożoność projektu i liczba komponentów, pogarsza się wydajność energetyczna i bilans kosztów, a ostatecznie rosną gabaryty produktu końcowego. W dalszej części artykułu zaprezentujemy, w jaki sposób niewielki mikrokontroler może pomóc w optymalizacji projektu.

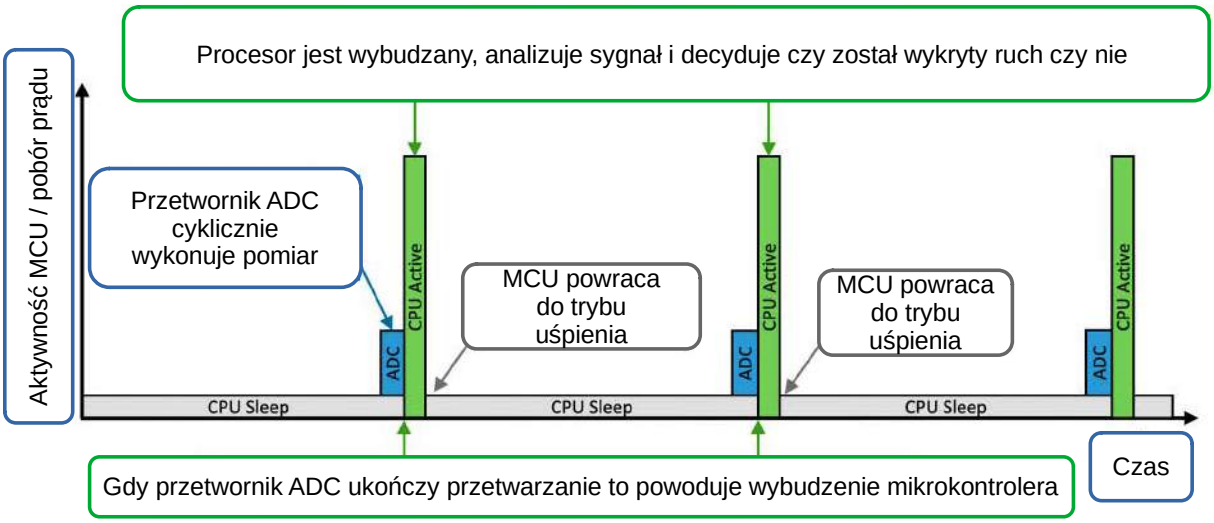
Złożoność projektu

Detektor z czujnikiem PIR można zbudować z zastosowaniem mikrokontrolera w małej obudowie z odpowiednim zestawem peryferiów, takim jak 12-bitowy różnicowy przetwornik ADC z programowalnym wzmacniaczem wzmocnienia PGA. Znacząco zmniejszy



Rysunek 3. Kompletny schemat aplikacji po modyfikacjach

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 4. Sposób funkcjonowania oprogramowania układowego

się zapotrzebowanie na komponenty zewnętrzne, zajmowane miejsce na płycie PCB i całkowity koszt materiałów (BOM).

W naszej prezentacji użyjemy modułu PIR Click firmy MickroE. Jest to płytka drukowana ze wszystkimi elementami tworzącymi kompletny detektor PIR. Zawiera wzmacniacze operacyjne, przetwornik ADC oraz wszystkie elementy pasywne i jest gotowa do pracy zaraz po wyjęciu z pudełka, co ułatwia prototypowanie i testy. Dobrą bazą do szybkiego startu może być użycie płytki PIR Click w połączeniu z płytką Microchip Curiosity Nano Base for Click Boards i zestawem ewaluacyjnym Curiosity Nano. Projekt detektora PIR zyska wiele korzyści przy zastosowaniu mikrokontrolera, takiego jak ATtiny1627 firmy Microchip Technology. Liczbę komponentów zewnętrznych można znacznie zmniejszyć, eliminując potrzebę stosowania zewnętrznego wzmacniacza operacyjnego do wzmacniania sygnału i zewnętrzny przetwornik ADC. Dzięki temu można też zrezygnować z kilkunastu elementów pasywnych, takich jak rezystory i kondensatory.

Stosując odpowiednio dobrany mikrokontroler, można znacznie uprościć układ. Na **rysunku 2** kolorem czerwonym zostały zaznaczone elementy zbędne, które można usunąć z płytki modułu PIR Click, natomiast kolorem niebieskim zaznaczono nowe połączenia, które należy wykonać. W tym przykładzie moduł PIR Click służy jako podstawa do modyfikacji, ponieważ było to wygodniejsze niż zaprojektowanie nowej płytki PCB i pozyskanie wymaganych komponentów. To zmodyfikowane rozwiązanie nie konkuruje z przeznaczeniem modułu. Na **rysunku 3** pokazano finalny schemat obwodu, który wyraźnie podkreśla różnice w projekcie, zwłaszcza to, jak niewiele elementów zewnętrznych jest wymaganych przy zastosowaniu właściwego MCU.

Modyfikacje tylko w oprogramowaniu

Przy mniejszej liczbie komponentów zewnętrznych konstrukcja PCB będzie prostsza i bardziej kompaktowa, ale zyskamy również po stronie oprogramowania, ponieważ więcej zadań i parametrów działania będzie określanych z MCU. Kiedy znaczna część złożoności projektu zostaje przeniesiona ze sprzętu do mikrokontrolera i zarządzana przez oprogramowanie układowe, zmiana i dodawanie funkcjonalności podczas procesu rozwoju staje się bardziej elastyczne – bez poświęcania czasu i kosztów na przeprojektowanie układu i płytki. Wygodniejsza staje się również optymalizacja kodu pod kątem różnych czynników, takich jak zużycie energii. Każda zmiana ustawień i parametrów wprowadzana jest na poziomie kodu aplikacji, tak samo jak dodawanie funkcjonalności lub optymalizowanie czułości związanej z warunkami środowiskowymi, takimi jak zmiany temperatury otoczenia. Warto wiedzieć, że sensory PIR mogą mieć trudności z wykryciem człowieka, gdy temperatura otoczenia przekracza 30°C.

Innym przykładem nowoczesnej funkcjonalności może być dodanie elementów uczenia maszynowego w celu rozpoznawania wzorców ruchu. W ten sposób można nauczyć system, jak odróżnić zakłócenia lub np. zwierzęta od poruszającej się osoby. W przypadku aplikacji do wykrywania ruchu z czujnikiem PIR mikrokontroler ATtiny1627 pozwala przenieść złożoność projektu ze sprzętu na oprogramowanie układowe. Duża część wymaganych funkcji jest wbudowana w MCU, zatem zmniejsza się konstrukcja, a jednocześnie zwiększa się elastyczność.

Wydajność energetyczna

W bezprzewodowych czujnikach kluczowe znaczenie ma zużycie energii. Dzieje się tak, ponieważ dłuższa żywotność baterii oznacza dłuższą żywotność węzła, a tym samym całej sieci czujników. Dotyczy to wszystkich bezprzewodowych rozwiązań. Jeśli dziesiątki, setki lub tysiące czujników zostaną zainstalowane w różnych systemach monitorowania, to każdy węzeł, który się wyłączy, zostanie uznany za martwy lub dysfunkcyjny. W przypadku większych systemów czujników wymiana baterii lub samego węzła oznacza dodatkowy koszt dla użytkownika końcowego, a także awarię lub niepełną funkcjonalność systemu. Takie incydenty są zdecydowanie niepożądane.

Ze względu na różne tryby uśpienia MCU i szybki czas wybudzania każdy czujnik może zużywać mniej energii. Węzeł może być uśpiony, a następnie może się szybko wybudzić po wykryciu ruchu, czyli zmiany temperatury w obrębie działania czujnika. Następnie sygnał będzie przetworzony, a po ukończeniu zadań czujnik wróci do stanu uśpienia. Przy takim schemacie działania węzeł będzie funkcjonował dłużej bez konieczności wymiany baterii.

Na **rysunku 4** pokazano, jak działa procesor podczas korzystania z trybów uśpienia i szybkiego czasu wybudzania. Zużycie energii zależy od aplikacji i będzie się różnić w zależności od konfiguracji czujnika PIR, czasu zbierania próbki i parametrów filtrowania, co również wpływa na zakres wykrywania i/lub czułość. Dostosowanie tych parametrów umożliwia dalsze zmniejszenie zużycia energii, gdy wymagania aplikacji są wyższe.

Podsumowanie

Rozbudowane i inteligentne peryferia i funkcje wbudowane w MCU poprawiają zużycie prądu i wydajność energetyczną. Niewielkie mikrokontrolery, takie jak ATtiny1627, zwiększą żywotność aplikacji zasilanych bateryjnie i podłączonych do sieci, jednocześnie zmniejszając złożoność projektu, całkowite koszty systemu i czas wprowadzenia na rynek. Aby dowiedzieć się więcej o projektowaniu energooszczędnej i ekonomicznej aplikacji do wykrywania ruchu z sensorem PIR, odwiedź www.microchip.com.

Stian Sogstad
Microchip Technology

eprasa.pl d8e2d0846e

Miniaturowa konsola do gier z RPi Pico

Kieszonkowe konsole do gier mogą być szalenie wciągającymi zabawkami. Bardzo popularne stały się urządzenia emulujące starsze konstrukcje, ale powstają także zupełnie nowe systemy. Większość bazuje na dobrze znanych platformach takich, jak Arduino czy Raspberry Pi, jednak każdy projekt tego typu daje zupełnie inne efekty. W artykule prezentujemy kieszonkową konsolę, która zaskoczy niecodziennym wykonaniem i zapewni wiele godzin dobrej zabawy.



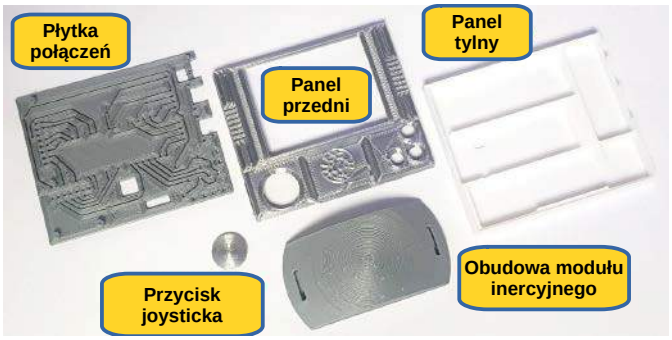
Konsola Pico Arcade Mini jest wykonana z tanich i łatwo dostępnych modułów, dzięki czemu każdy może skonstruować taki układ z elementów, które można zakupić w sklepach z elektroniką dla konstruktorów (takich jak sklep AVT). Koszt wszystkich modułów, potrzebnych do zestawienia tej konsoli, zamyka się w kwocie 50 dolarów (ok. 220 zł w momencie pisania artykułu). Aby uprościć konstrukcję urządzenia, autor zastosował technologię druku 3D do wykonania nie tylko obudowy urządzenia, ale także, swego rodzaju płytki drukowanej. Dzięki temu wyeliminowało złącza, skomplikowane okablowanie i wiele niejasności dotyczących konstrukcji, a dodatkowo projekt jest superkompaktowy.

Opis konstrukcji

Konsola bazuje na mikrokontrolerze Raspberry Pi RP2040, który znajduje się na płytce Raspberry Pi Pico. Do układu dołączono kolorowy ekran TFT o przekątnej 2,4 cala, joystick – 5-pozycyjny przełącznik oraz dodatkowe trzy dotykowe przyciski, które są całkowicie bezgłośne podczas grania. System zasilany jest z akumulatora litowo-polimerowego i ma wbudowany system zarządzania baterią, fizyczny włącznik zasilania i wskaźnik stanu naładowania i oczywiście ładowarkę.

Urządzenie wyposażono dodatkowo w dwa złącza z interfejsem I²C, które pozwalają na podłączenie dodatkowych elementów, takich jak żyroskop/moduł IMU, GPS czy różne inne detektory, sensory itp. Do urządzenia może być podłączony żyroskop/akcelerometr GY521. Będzie on działał jako kontroler w jednej z gier demonstracyjnych w domyślnym oprogramowaniu.

Konstrukcja jest wykonana ze standardowego tworzywa PLA bez specjalnych atramentów i włókien. Dzięki temu elementy drukowane można wykonać na każdej drukarce 3D z użyciem łatwo dostępnego filamentu. Konsola jest bardzo kompaktowa i cienka – ma jedynie około 10 mm grubości. Dzięki wykonaniu w pełni drukowanej w 3D konstrukcji wszystkie elementy są do siebie dopasowane, a jednocześnie proste do wykonania w domu.



Fotografia 1. Elementy konsoli z druku 3D

Oprogramowanie udostępnione przez autora projektu można podzielić na dwie części. Pierwsza z nich to skompilowane do pliku UF2 oprogramowanie firmware z 3 grami demonstracyjnymi i zestawem wygaszaczy ekranu. Drugą częścią jest potężny zestaw do rozwoju własnego oprogramowania (SDK) dostępny w repozytorium na GitHubie. Jak obiecuje autor, wykonanie tego projektu powinno zająć zaledwie kilka godzin, wliczając w to także czas wydruku PCB, które można okablować podczas drukowania obudowy.

Potrzebne elementy

Do zbudowania układu potrzebne będą następujące komponenty:

- akumulator litowo-polimerowy 3,7 V o pojemności 600 mAh (model 502060),
- pięciokanałowy moduł wyłącznika dotykowego,
- ekran o przekątnej 2,4" i rozdzielczości 240×320 z kontrolerem ILI9341 z interfejsem SPI,
- płytka Raspberry Pi Pico,
- trzy przyciski dotykowe o wymiarach 8×8×5 mm,
- ładowarka akumulatorów litowo-polimerowych 18650 z wyjściem 5 V,
- drucik miedziany (niecynowany i pozbawiony emalii) o średnicy 0,4 mm,
- miniaturowy, 3-pinowy przełącznik suwakowy (korpus 8,5×3,7×3,5 mm),
- dwie płytki z wyprowadzeniami micro USB,
- opcjonalnie – moduł z IMU GY-521 z interfejsem I²C (akcelerometr + żyroskop),
- przewód do podłączenia do USB – do wgrywania oprogramowania i ładowania akumulatora.

eprasa.pl d8e2d0846e

Oczywiście potrzebne będą też pewne narzędzia, które pozwolą nam wyprodukować elementy i zmontować konsolę w całość. Do konstrukcji tego urządzenia musimy mieć dostęp do:

- drukarki 3D,
- stanowiska do lutowania z lutownicą, wentylacją itd.,
- komputera do pobrania i instalacji firmware (PC/Mac/Raspberry Pi itp.),
- małej wiertarki,
- przyrządu do ściągania izolacji,
- materiałów do lutowania,
- taśmy klejącej.

Elementy wykonane za pomocą drukarki 3D

Pierwszym krokiem w budowie konsoli jest przygotowanie drukowanych elementów. Najpierw należy pobrać dołączone do projektu pliki drukarki 3D (STL). Układ składa się z trzech (lub czterech) drukowanych elementów:

- płytki drukowanej,
- tylnej części obudowy,
- przedniego panelu,
- opcjonalnie: obudowy modułu inercyjnego – tzw. krążeka.

Elementy do wydruku pokazane są na **fotografii 1**.

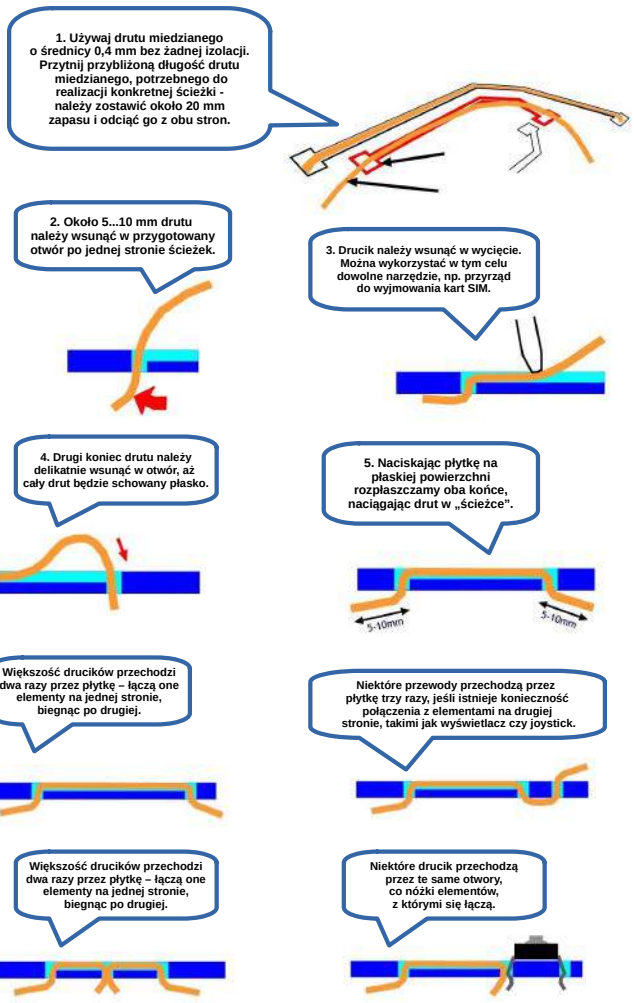
W pierwszej kolejności drukujemy płytkę dla elektroniki. Zajmuje to około 1 godziny na typowej drukarce 3D (Prusa lub Ender) przy użyciu standardowego filamentu PLA. Po wydrukowaniu płytki można przystąpić do prac nad okablowaniem. W międzyczasie należy zacząć drukowanie pozostałych elementów konsoli – frontu i tyłu systemu. Sam druk jest dosyć prosty, jednakże jest kilka aspektów, na które trzeba uważać. Projektant urządzenia załącza szereg wskazówek:

- płytka drukowana może być wydrukowana w jakości roboczej z grubością warstwy 0,3 mm;
- tylna część obudowy nie wymaga specjalnych ustawień (jakość robocza, warstwa 0,3 mm);
- przedni panel wymaga wydrukowania pełnego podparcia pod spodem oraz lepszej jakości druku – warstwy o grubości 0,2...0,1 mm i druku w średniej lub wysokiej jakości;
- krążek należy wydrukować w wysokiej jakości z warstwą o wysokości 0,1 mm. Element ten wymaga podpór wewnątrz sekcji skrzyni i wewnętrznej krawędzi.

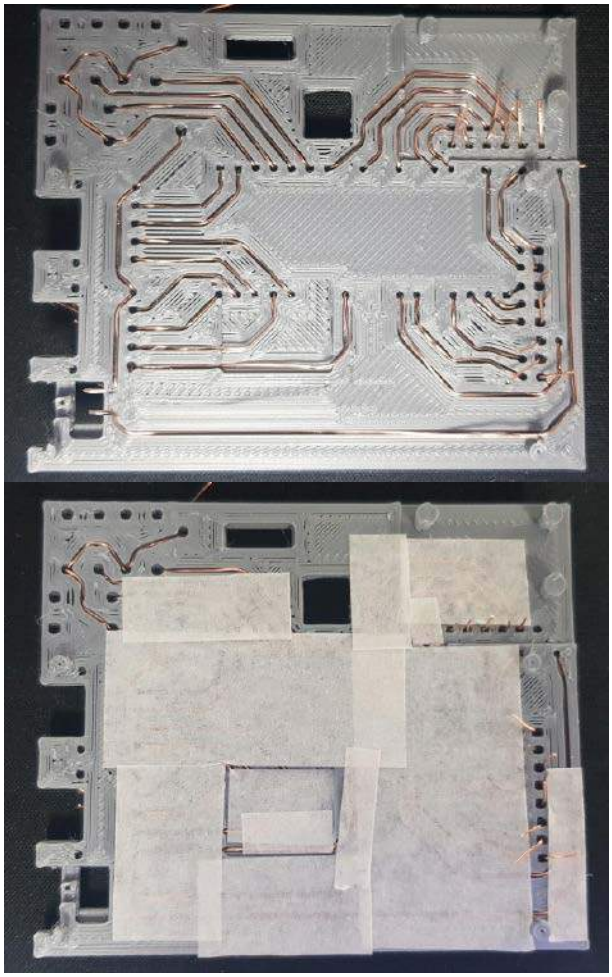
Drukowana płytka drukowana?

Ciekawym elementem systemu jest płytka drukowana, która jest... drukowana w technologii druku 3D. Jako że w ten sposób nie da się wyprodukować przewodzących ścieżek, trzeba dodać je później, manualnie. Autor wymyślił bardzo ciekawą technikę, zobrazowaną na **rysunku 1**. Na **fotografii 2a** pokazano gotową płytkę z umieszczonymi miedzianymi „ścieżkami". Jeśli mamy problemy z uzyskaniem tego efektu, istnieje kilka prostych rzeczy, jakie możemy zrobić. Jeśli ścieżka jest bardzo mała, należy wstępnie wygiąć drucik o takim samym rozmiarze jak ścieżka. Następnie można umieścić go na miejscu. Jeśli mamy problem z wypadającymi drucikami, można użyć taśmy maskującej, aby utrzymać je w miejscu, jak pokazano na **fotografii 2b**. Finalnie całą płytkę PCB dobrze jest pokryć taką taśmą, aby uniknąć zwarć z elementami. Zostawiamy odkryte tylko miejsca obsadzania elementów. Obsadzenie wszystkich drucików na ścieżce, w zależności od umiejętności, powinno zająć około 30...60 minut.

Następnie na płytce montujemy elementy. Należy upewnić się, że druciki ustawione są możliwie pionowo, aby łatwo było nałożyć moduły. Pokazano to dokładnie na **rysunkach 2** oraz **3**. Po zamontowaniu

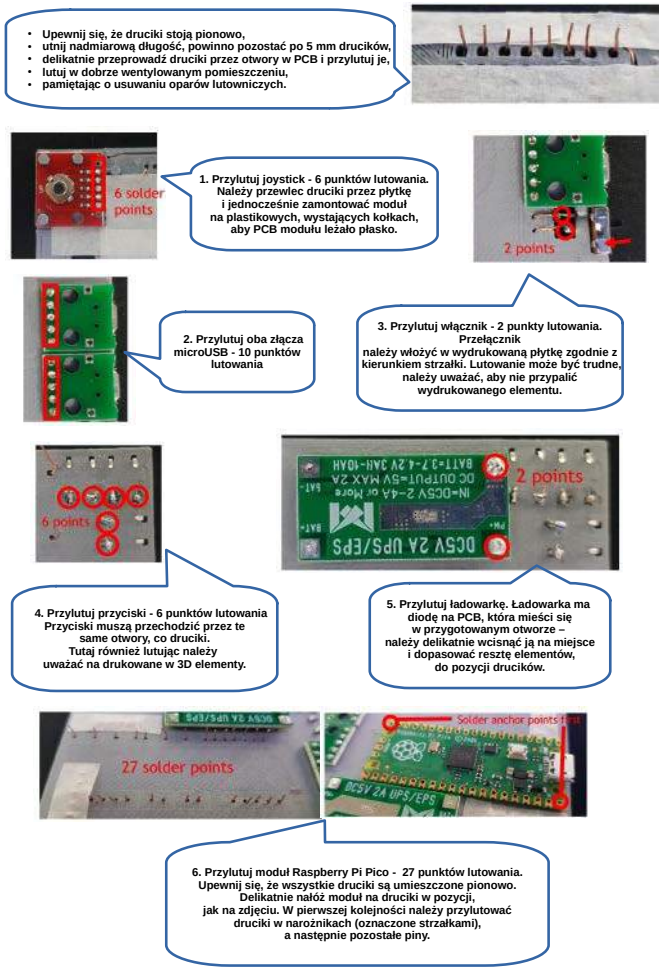


Rysunek 1. Instrukcja wykonywania połączeń

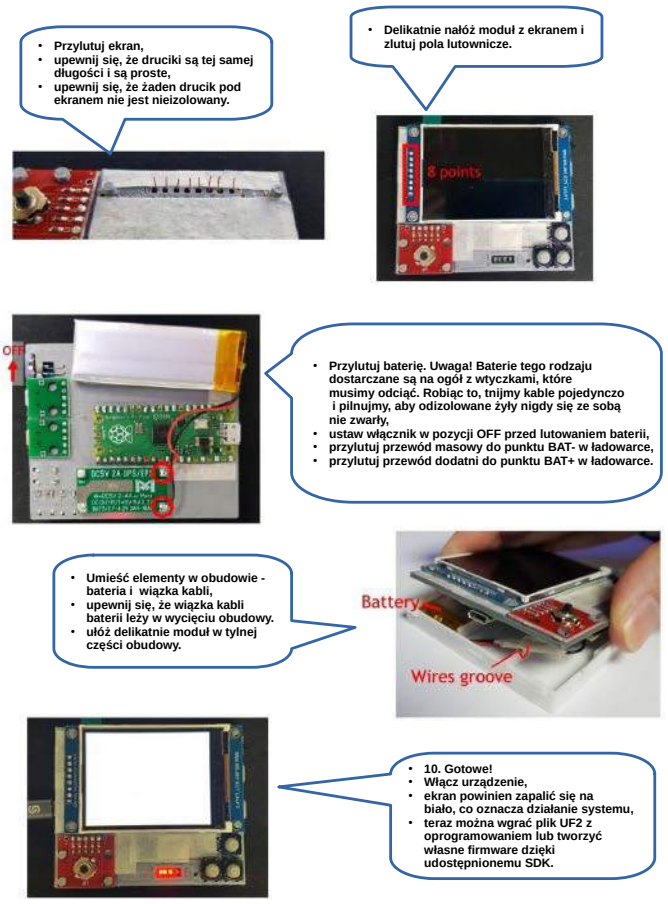


Fotografia 2. Wytwarzanie płytki drukowanej z użyciem bazy drukowanej w 3D

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 2. Montaż elementów w urządzeniu



Rysunek 3. Zamontowanie kluczowych komponentów

poszczególnych elementów można płytkę drukowaną zamknąć w obudowie. Gdy skończymy lutowanie elementów, obudowa powinna być już wydrukowana. Należy ostrożnie docisnąć osłonę do zestawu Pico Arcade Mini, a następnie zatrzasnąć przycisk joysticka (pad) na minijoysticku. Uwaga – element te są kwadratowe, więc mogą pasować do siebie na cztery sposoby!

Montaż modułu z żyroskopem

Na **rysunku 4** pokazano, krok po kroku, jak zmontować żyroskopowy kontroler do gry. Po podłączeniu kontrolera do konsoli można korzystać z niego w SDK. Analogicznie podłączać można do konsoli inne urządzenia wykorzystujące interfejs I²C.

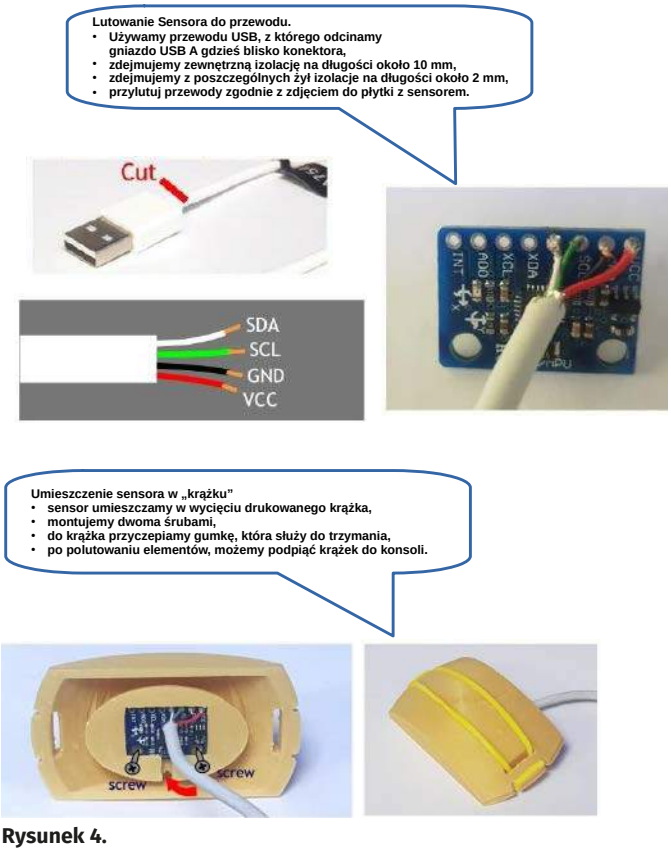
Programowanie modułu

Instalowanie gier i wersji demonstracyjnych jest bardzo proste. Wystarczy tylko pobrać z repozytorium autora projektu plik UF2, a następnie podłączyć Pico, Arcade Mini do komputera. Po jego włączeniu i przytrzymaniu przycisku na Pico Arcade Mini (w pobliżu portu Pico) i podłączeniu układu do komputera można zainstalować plik UF2. Komputer wykryje Pico, jako dysk USB, należy okno folderu Pico i przeciągnąć tam plik UF2 do folderu Pico. Instalacja trwa kilka sekund, po czym na ekranie powinna pojawić się pierwsza gra – Breakout (**rysunek 5**).

Pakiet SDK do rozwoju własnego firmware

Co jeszcze można zrobić z Pico Arcade Mini z pakietem programistycznym SDK? Wszystko, co możesz sobie wyobrazić! Do Pico Arcade można podłączyć wiele urządzeń I²C, więc nie musi to być tylko automat do gier. Autor przedstawia w źródłowym artykule szereg pomysłów funkcji, które można samodzielnie zaimplementować:

- podwójne sterowanie dla 2 graczy,



Rysunek 4.

- lokalizator GPS,
- oscyloskop cyfrowy,
- wyjście audio przez I²C,
- klawiatura muzyczna na I²C,

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 5. Ekrany przykładowych gier i funkcji demonstracyjnych

- stacja pogodowa,
- kompas elektroniczny,
- monitor pracy serca,
- wykrywacz gazu,
- komunikacja przez Wi-Fi lub Bluetooth,
- czujnik dźwięku z mikrofonem cyfrowym.

Podsumowanie

Ta prosta konsolka pozwala nie tylko na zbudowanie naprawdę kieszonkowej konstrukcji do gier i zabaw, ale także na tworzenie własnych aplikacji dla tego urządzenia. Dzięki wyprowadzeniu interfejsu I²C do urządzenia podłączać można różne sensory i urządzenia, co znacznie poszerza możliwości konsoli. Może to być nie tylko gra, ale także np. układ do pomiarów.

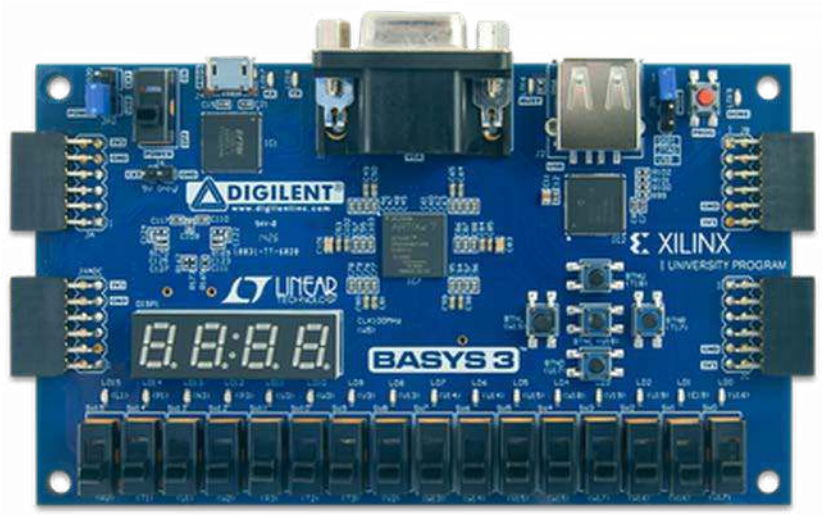
Nikodem Czechowski, EP

Źródła
https://www.instructables.com/Pico-Arcade-Mini/
https://github.com/timskillman/

REKLAMA

Zestawy uruchomieniowe FPGA

Zestaw Basys 3 Artix-7 FPGA Trainer Board http://bit.ly/2MW1wFS



Kod handlowy: FPGA0001 • Producent: Digilent

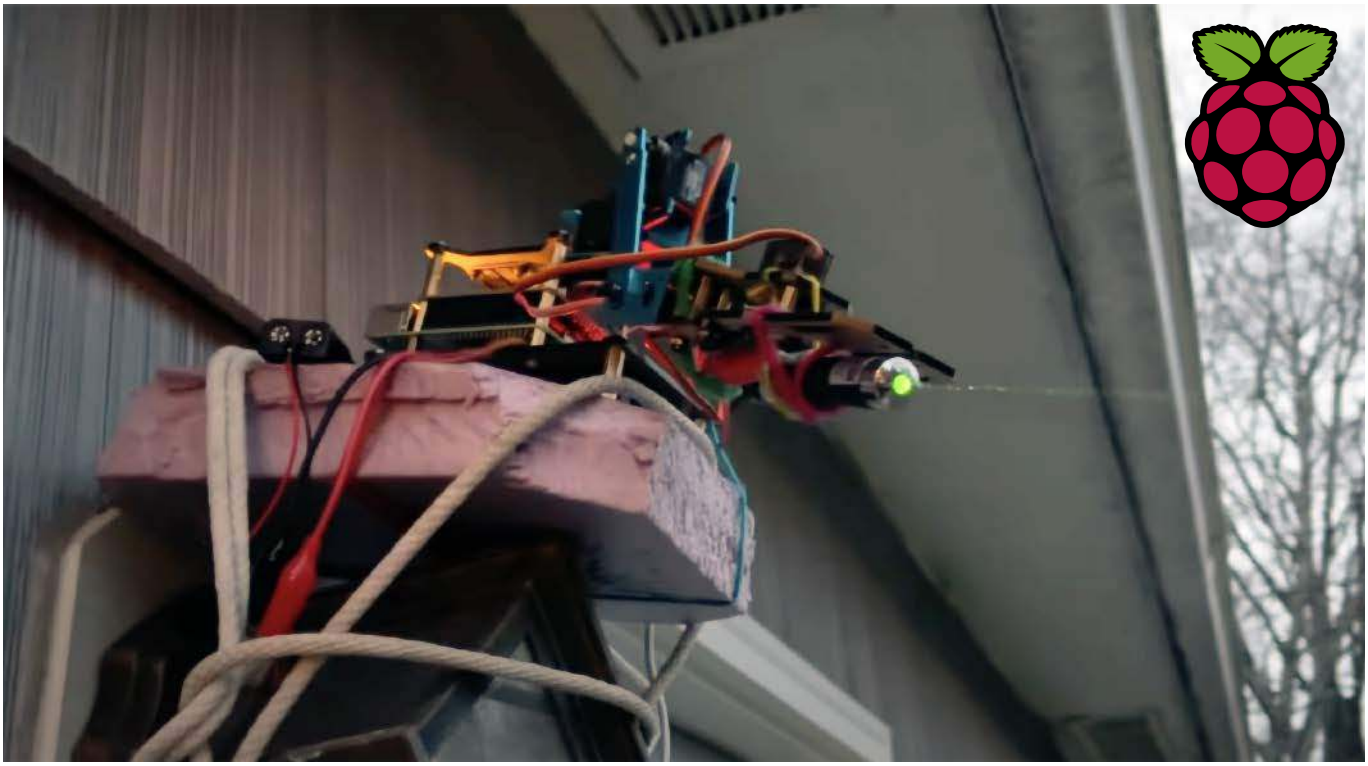
Zestaw Basys 3 jest w szczególności polecany hobbystom i organizatorom kursów poświęconych układom programowalnym, oraz uczestnikom tych kursów. Oryginalny Basys 3 to zestaw do projektowania układów/systemów cyfrowych w środowisku Vivado Design Suite, z układem FPGA w wersji 35-T rodziny Artix 7 firmy 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).

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 d8e2d0846e



Laserowo kierowany detektor psich... spraw

Typowe problemy czasami wymagają niestandardowych rozwiązań. Może być tak, że prostego zadania nie da się zrealizować bez użycia lasera i sztucznej inteligencji... nawet jeżeli tym typowym problemem są psie kupy rozrzucone po trawniku. Oczywiście właściciele psów powinni sprzątać od razu po swoich czworonogach, gdy wyprowadzają je na spacer. Gdyby praktyka była dokładnie taka, jak teoria, nie powstałoby to szalenie ciekawe urządzenie.

Wielu z nas trzyma w domach psy. Jeżeli biegają one po ogródku, to zupełnie naturalne jest, że czasami zdarza im się załatwić w ogrodzie, szczególnie jeżeli np. trzymamy zwierzaka w ogrodzie w nocy. W takiej sytuacji jest właśnie autor poniższego projektu, Caleb Olson. Samodzielnie sprzątał on ogródek, zbierając codziennie psie kupy z całego ogródka. Jednak nierzadko zdarzało się, że jakieś przeoczył, szczególnie w śniegu czy wyższej trawie. Dlatego też sięgnął po nowoczesną technologię aby rozwiązać swój problem.

Aby uniknąć konieczności zbierania odchodów od razu po wypuszczeniu psa na noc i upewnić się, że podczas przyszłego sprzątania nie przegapi niczego, Caleb Olson opracował inteligentny system, który nie tylko śledzi, gdzie jego szczeniak robi kupy, ale także używa lasera, by doprowadzić sprzątającą osobę do każdej z nich. Pomysł na zrobotyzowany laserowy system wspomagający zbierane kupek narodził się w rzeczywistości z innego, wcześniejszego projektu opracowanego przez Olsena. Używał on systemu ze sztuczną inteligencją do wykrywania, kiedy jego zwierzak zrobił kupę na podwórku. W dalszej części artykułu przyjrzymy się obu składowym systemom i ich zasadzie działania.

Zasada działania

Działanie urządzenia można podzielić na dwie części – działający w czasie rzeczywistym monitoring, który na podstawie obrazu z kamery, znajdującej się w ogródku, wykrywa miejsca, w którym piesek zrobił kupę oraz laserowy wskaźnik tych miejsc, który aktywowany jest podczas zbierania. Oba korzystają z AI i podobnych frameworków, ale oczywiście w zupełnie różnym celu.

Do wykrywania miejsc, gdzie pies zrobił kupę, zastosowano pakiet DeepLabCut (DLC). Jest to zestaw narzędzi do bezmarkerowego szacowania pozycji zwierząt wykonujących różne zadania, wykorzystujący wiele zaawansowanych narzędzi współczesnych systemów AI (**rysunek 1**). Brak markerów oznacza w tym przypadku brak konieczności umieszczania na zwierzęciu znaczników, jak to realizowane było np. w filmowych systemach *motion capture*. System bazuje tylko na obrazach i naniesionych wcześniej na zwierzęta oznaczeniach.

DLC wyposażone jest w interfejs graficzny, służący do oznaczania poszczególnych ruchów zwierząt itp. w celu nauki rozpoznawania przez system jego ruchów. Biblioteka DLC działa w Pythonie, można ją zainstalować za pomocą standardowego menedżera pakietów Pythona – pip, wpisując polecenie:

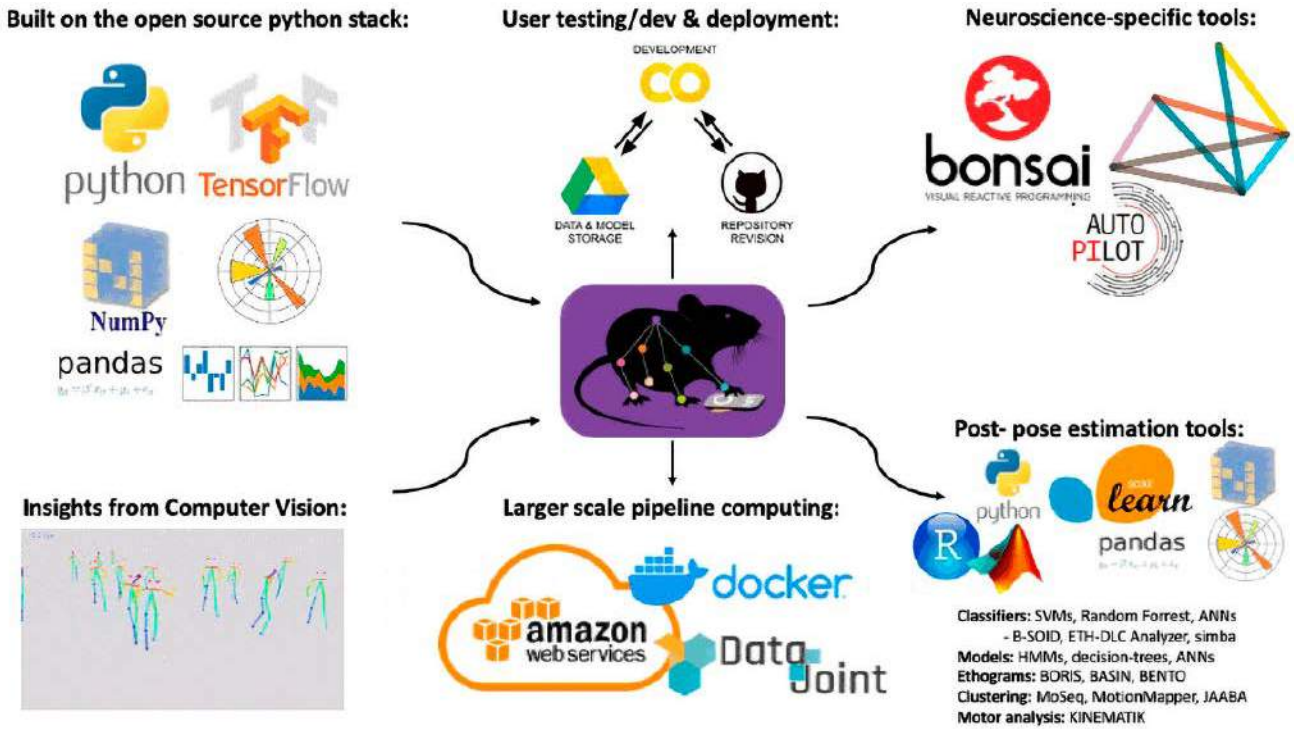
```
pip install "deeplabcut[gui]"
```

lub

```
pip install deeplabcut
```

W zależności od tego, czy chcemy zainstalować wersję, odpowiednio, z GUI oraz bez GUI. Oprogramowanie można zainstalować również jako bibliotekę conda (niezależny menedżer

eprasa.pl d8e2d0846e



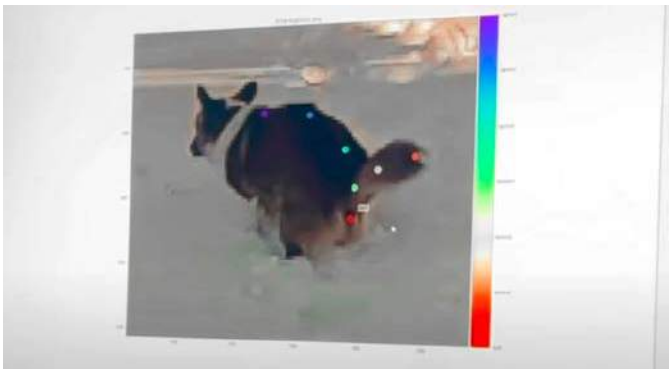
Rysunek 1. Pakiet DeepLabCut korzysta z nowoczesnych narzędzi do analizy obrazów, widzenia maszynowego, testowania i aplikacji

pakietów i środowiska dla dystrybucji Pythona znanej jako Anaconda) lub jako kontener dla Dockera.

W omawianym projekcie DLC zostało zastosowane do ekstrakcji pozycji obserwowanego pieska. Autor zauważył, że podczas wypróżniania się pies ustawia się w charakterystyczny sposób – przykuca i pręży ogon. Pozostaje w tej pozie nieruchomo przez jakiś czas, więc wykrycie miejsca, gdzie pies się załatwiał powinno być możliwe. Do nauki sieci neuronowej w DLC posłużyły obrazki zebrane za pomocą kamery obserwującej ogród, na które naniesiono następnie punkty identyfikujące poszczególne elementy pieska (kolorowe kropki nanoszone na zdjęciu na **rysunku 2**). Dzięki tym anotacjom algorytm wie, czego ma szukać w obrazach – uczy się. Po dostarczeniu odpowiedniej liczby i opisanych obrazów – danych uczących – system potrafi poprawnie wykrywać ruchy pieska, w tym także, oczywiście, interesujące nas zachowanie – robienie kupy.

Na bazie danych dostarczanych przez DLC, wykrywających pozycję zwierzaka, autor opracował detektor wypróżniania się, tj. momentu, gdy piesek będzie znajdował się w określonej pozycji. Model wykrywa pozycję trzech punktów wzdłuż grzbietu psa i trzy punkty na jego ogonie. Wystarczy to do wykrycia zachowania psa – gdy grzbiet jest wygięty, ogon prosty, a pies się nie porusza, to znaczy, że właśnie się załatwia.

Oprogramowanie zapamiętuje lokalizację pieska, podczas gdy detektor wykrył robienie kupy. Można bezpiecznie założyć, że zrobiona kupa znajduje się mniej więcej pomiędzy grzbietem a ogonem



Rysunek 2. Obrazek psa robiącego kupę w programie do anotacji



Rysunek 3. Zdjęcie ogrodu z oznaczonymi miejscami, gdzie znajdują się psie odchody

(których pozycja jest znana). Komputer zapamiętuje te pozycje na obrazie. Dodatkowo, nanosi na zdjęciu z ogródka czerwone okręgi (**rysunek 3**). Zdjęcie to jest udostępniane w sieci wewnętrznej, więc dowolne urządzenie dołączone do Wi-Fi w domu ma dostęp do tej specyficznej mapy.

Wskaźnik laserowy

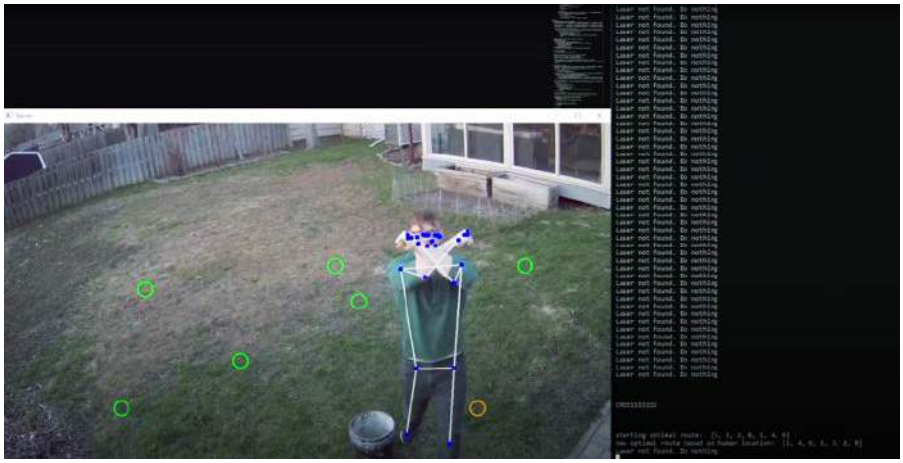
Sprzątanie z telefonem w ręki nie należy do najwygodniejszych, dlatego autor zdecydował się uzupełnić system laserowym wskaźnikiem, który pokazuje, gdzie znajdują się kupy. Jako że system ten również wymaga pewnej interakcji z użytkownikiem, jest on także wyposażony w system rozpoznawania gestów (również zrealizowany za pomocą DLC). Aby laser mógł wskazywać lokalizacje odchodów, należało nauczyć system wskazywania tam, gdzie chcemy. To nie jest takie trywialne, gdyż laser porusza się w zupełnie innym układzie odniesienia niż algorytm analizy obrazu z kamery przemysłowej. Istnieją zasadniczo dwa sposoby na rozwiązanie tego problemu – sprzęgnięcie ze sobą „na sztywno" obu układów współrzędnych za pomocą funkcji i przekształceń lub wykorzystanie analizy obrazu, aby system wiedział, gdzie skierowany jest laser. Autor konstrukcji wybrał tę drugą ścieżkę, dzięki czemu system jest bardziej uniwersalny i możliwe jest jego łatwe przeniesienie w dowolne miejsce.

Za pomocą narzędzi do segmentacji, zawartych w bibliotece Pythona OpenCV, oprogramowanie lokalizuje współrzędne, gdzie

eprasa.pl d8e2d0846e

pada laser. Pozwala to na wyuczenie systemu poruszaniem lasera w taki sposób, aby trafiał on tam, gdzie znajduje się punkt z odchodami. Powodować może to pewne niepokojące zachowania lasera – potrafi on delikatnie myszkować i drżeć na obrazie, jednak docelowy system działa sprawnie i powtarzalnie, niezależnie od warunków otoczenia itp. Można też przenieść laser w inne miejsce i nie ma konieczności mozolnej rekalibracji układu.

Laser wskazuje po kolei poszczególne kupy. Ale co to znaczy „po kolei"? Oprogramowanie stara się zoptymalizować trajektorię sprzątania. W momencie, gdy program wykryje sygnał do rozpoczęcia (**rysunek 4**), wyznacza optymalną trasę do zebrania wszystkich odchodów, względem pozycji, w której wykryto człowieka, dającego sygnał do rozpoczęcia sprzątania. Algorytm po wyznaczeniu optymalnej trajektorii zaczyna od razu wskazywać pierwsze miejsce, w którym należy sprzątnąć. W jaki sposób realizowane jest przejście do kolejnego punktu sprzątania? Są na to dwie opcje. Możemy albo po prostu sprzątnąć dane miejsce, albo wskazać programowi, że nie ma tam co sprzątać. Jedna i druga operacja realizowana jest z pomocą DLC, które monitoruje cały czas scenę. Algorytm wykrywa – na podstawie jego pozycji – czynność zbierania odchodów przez człowieka (**rysunek 5**) lub też gest anulowania, który po prostu kasuje dany punkt.



Rysunek 4. Sygnał rozpoczęcia zbierania odchodów. Algorytm rozpoznaje postać człowieka i wykrywa, gdy skrzyżuje on przed sobą ręce



Rysunek 5. Autor projektu kucający, zbierający psią kupę. Algorytm rozpoznaje jego pozycję i interpretuje ją jako sprzątanie

Oprogramowanie analizuje pozycję człowieka. Jeśli sprzątający nachyla się nad miejscem, gdzie spoczywa psia kupa, system interpretuje to – całkiem sensownie – jako sprzątanie. Jeśli nie znajdziemy tam odchodów, co może się zdarzyć – system wykrywania może się pomylić i zinterpretować ruchy pieska jako wypróżnianie się. Wtedy możemy poinformować system, że nie ma nic w tym miejscu, pokazując skrzyżowane ręce do kamery. Wtedy system skasuje ten punkt z listy i przeniesie wskaźnik laserowy na następny zapamiętany punkt. I cykl powtarza się, aż wszystkie kupy zostaną posprzątane.

Budowa

System składa się z dwóch zasadniczych elementów: kamery i zrobotyzowanego wskaźnika laserowego. Kamera to dowolne źródło obrazu, które może być odczytywane przez komputer, na którym pracują algorytmy rozpoznawania obrazu (np. Raspberry Pi). Autor zastosował zwykłą kamerę IP, jaką często montuje się w domach, celem ochrony przed włamywaczami itp. Przetwarzanie realizowane jest na zwykłym komputerze PC, ale może być realizowane na Raspberry Pi lub innym komputerze jednopłytkowym.

Drugim elementem składowym systemu jest laser, który podświetla punkty, w których znajdują się kupy – jeden po drugim. Aby było to możliwe, został on zamontowany na robotycznym ramieniu z czterema osiami swobody. Moduł poruszany jest przez cztery serwosilniki, podłączone do płytki na Raspberry Pi. SBC odpowiedzialny jest za sterowanie ramieniem robota na podstawie komend, otrzymywanych z głównego serwera, który realizuje obliczenia.

Podsumowanie

Jedno z praw Murphy'ego brzmi: „Jeśli coś jest głupie, ale działa, to nie jest głupie". Stanowczo da się powiedzieć to o opisanym systemie – działa, tj. spełnia swoje zadanie. Można zastanawiać się, czy tak skomplikowany system jest konieczny, aby uprzątnąć ogródek z psich kup… raczej na pewno nie. Ale należy na to spojrzeć od zupełnie odwrotnej strony – rozwiązanie tego problemu z użyciem AI jest doskonałą okazją, aby nauczyć się algorytmów sztucznej inteligencji. I tak należy patrzeć na tego rodzaju projekty.

Z uwagi na rozmiar i poziom skomplikowania kodu, w ogóle nie jest prezentowany w tym artykule. Co więcej, zasadniczo jest nieistotny, gdyż wynik działania oprogramowania jest zależny od danych uczących, jakie dostarczymy do systemu. Zatem, zamiast próbować skopiować ten projekt w swoim własnym ogródku (jeśli macie psa i podobny problem), warto sięgnąć po opisane w tekście narzędzia – takie jak DeepLabCut czy OpenCV i spróbować je zastosować do rozwiązania rozmaitych problemów. Pośród propozycji, jakie znajdują się w komentarzach w Internecie, gdzie opublikowano ten projekt, przewijają się systemy np. do tresowania kotów – automatyczny pistolet na wodę spryskuje zwierzę, gdy to np. wchodzi na stół, system do identyfikacji gryzoni i innych szkodników, i inne. A to dopiero początek narzędzi zawierających algorytmy uczenia maszynowego, jakie są obecnie dostępne!

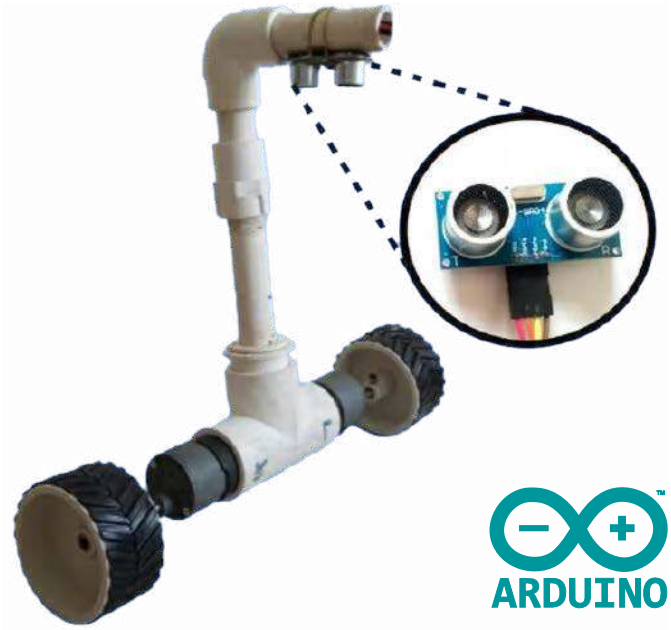
Nikodem Czechowski, EP

Źródło:
https://www.raspberrypi.com/news/laser-guided-dog-poop-spotter/
https://www.youtube.com/watch?v=uWZu3rnj-kQ
https://www.youtube.com/watch?v=rVzwHwN4-V0
https://github.com/DeepLabCut/DeepLabCut

eprasa.pl d8e2d0846e

Dwukołowy robot balansujący sterowany przez Arduino

Utrzymywanie równowagi nie jest takie proste. Pewne przysłowie mówi, że „koń ma cztery nogi i też się potknie”, a co w przypadku robota, który ma tylko dwa koła i to ustawione w jednej osi? Zaprezentowany projekt jest przykładem tego, że trudny problem można rozwiązać w ciekawy sposób. W tym przypadku postawa robota jest kontrolowana przy użyciu czujnika ultradźwiękowego.



Roboty balansujące to kategoria maszyn, które wyróżniają się utrzymywaniem pewnego systemu mechanicznego w tzw. równowadze chwiejnej. Jest to stan, w którym ruch maszyny, powoduje powstanie takich składowych siły, które dalej wypychają ją ze stanu równowagi. Przykładem może być tutaj np. balansowanie piłki na palcu – chwila zawahania i piłka spada na ziemię. Balansowanie jest tutaj aktywne – cały czas musimy dokonywać drobnych korekt pozycji, aby piłka pozostawała na czubku palca. System taki pracuje w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego – obserwując układ widzimy, jakie musimy dokonać korekty, aby pozostał on w równowadze.

W artykule prezentujemy konstrukcję samobalansującego robota na kółkach, który jest sterowany przez moduł Arduino UNO i ultradźwiękowy czujnik odległości. Dzięki pracy w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego, robot jest w stanie utrzymać stabilną pionową postawę.

Potrzebne elementy

Do budowy robota potrzebne będą następujące komponenty:

- moduł Arduino UNO,
- sterowniki silników typu L293D (Dual H-Bridge Texas Instruments),
- czujnik ultradźwiękowy typu HC-SR04,
- silnik prądu stałego 12 V z przekładnią,
- płytka stykowa i przewody połączeniowe,
- zasilacz 9 V, 1 A.

Napęd i konstrukcja mechaniczna

Pojazd napędzany jest dwoma silnikami prądu stałego, zintegrowanymi z przekładniami, które redukują obroty. Dzięki temu zwiększa się moment obrotowy silnika, a układ nie wymaga żadnej dodatkowej „skrzyni biegów” czy przekładni, która miałaby dopasować prędkość obrotową do wymagań aplikacji. Dzięki zastosowaniu dwóch niezależnych silników można dodatkowo sterować w prosty sposób kierunkiem poruszania się maszyny.

Na osiach silników, za motoreduktorem, zainstalowane są koła. Dzięki instalacji kół bezpośrednio na osi silnika, nie ma potrzeby stosowania dodatkowych elementów mechanicznych, które utrzymywałyby osie kół. Na **fotografii 1** pokazano zastosowane silniki z kołami zamontowanymi bezpośrednio na osiach. Po przygotowaniu silników można przystąpić do budowy „ciała” robota. Wykonane jest ono z rurek PCV. Centralnym elementem w dolnej części jest trójnik PCV. Będzie on służył do instalacji silników ale wcześniej należy je okablować. Przewody wyjdą z górnego otworu, a w bocznych montujemy silniki, tak jak pokazano na **fotografii 2**. Przewlekamy po dwa przewody, najlepiej w kontrastowych kolorach, takich jak czerwony i czarny. Z górnego otworu wychodzić muszą cztery przewody, a po bokach po dwa, które podłączamy do zacisków silników. Następnie

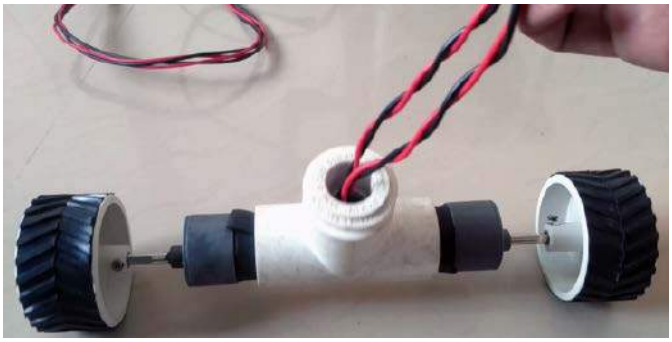


Fotografia 1. Silniki ze zintegrowanymi przekładniami z założonymi na osiach kołami

eprasa.pl d8e2d0846e

silniki instalowane są w trójniku. Jeśli mamy szczęście, to silniki da się zainstalować na wcisk, jeśli nie, to można użyć kleju na ciepło lub gumowych podkładek – tak zrobił autor projektu. Zmontowane „podwozie" robota, pokazano na fotografii 2.

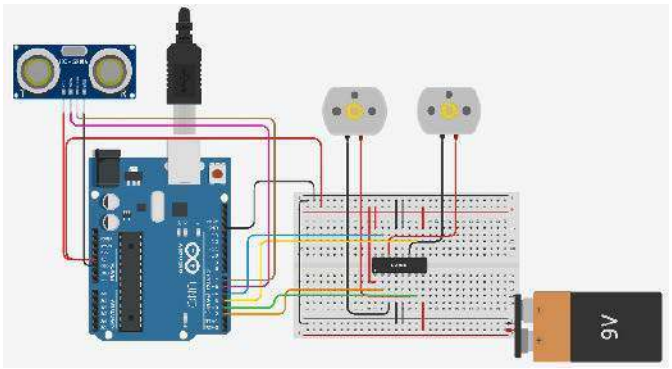
Finalnym elementem konstrukcji jest pionowa rura z wysięgnikiem na sensor. Te elementy także wykonane są z rurek i kształtek PCV. W centralnym otworze trójnika instalowana jest centralna kolumna pojazdu. Przewody zasilające silniki przechodzą jej środkiem. Długość tego elementu nie jest krytyczna, ale nie może on być zbyt długi, gdyż długa dźwignia utrudni działanie systemu – silniki będą miały zbyt mały moment, aby zbalansować przechylanie się robota. Na końcu pionowej rury należy zainstalować kolanko, za którym znajduje się kolejny, znacznie krótszy, kawałek rurki. Na nim zainstalowany zostanie sensor ultradźwiękowy.



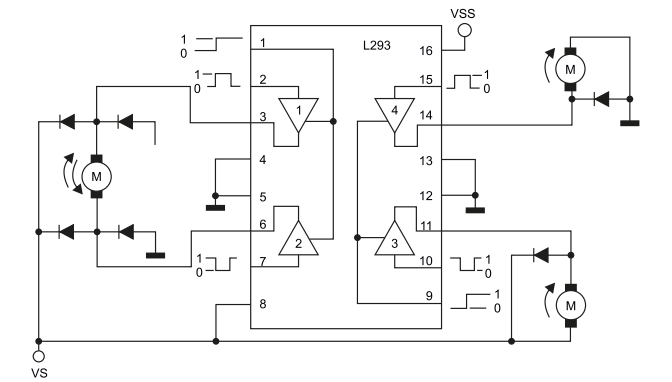
Fotografia 2. Zmontowane podwozie robota



Fotografia 3. Zmontowana cała konstrukcja robota



Rysunek 1. Schemat układu sterującego robotem



Rysunek 2. Różne sposoby podłączenia silników elektrycznych do sterownika L293B

Przewody przeprowadzone są środkiem rurek i wychodzą na samym ich końcu. Ułatwia to zebranie ich wszystkich w jednym miejscu i podłączenie do modułu Arduino. Na **fotografii 3** pokazano gotowe, zmontowane podwozie robota.

Elektronika sterująca

Na **rysunku 1** pokazano schemat ideowy układu sterującego robotem. Kluczowym elementem jest moduł Arduino UNO z mikrokontrolerem, który steruje całym systemem. Do mikrokontrolera podłączony jest pojedynczy sensor ultradźwiękowy – miernik odległości. Jeden przetwornik piezoelektryczny pełni rolę emitera – emituje on paczkę fal o częstotliwości powyżej akustycznej, najczęściej jest to około 40 kHz. Paczka ta odbija się od przeszkód przed sensorem i wraca do czujnika, który wykrywa jej dotarcie za pomocą drugiego przetwornika piezoelektrycznego na płytce. Czas pomiędzy wysłaniem paczki, a jej powrotem jest proporcjonalny do odległości pomiędzy sensorem, a przeszkodą.

Do sterowania silnikami zastosowano scalony sterownik typu L293B. Jest to podwójny, zintegrowany mostek H, pozwalający na sterowanie silnikiem w obu kierunkach, z płynne regulowaną prędkością obrotową, poprzez zastosowanie modulacji wypełnienia przebiegu prostokątnego – PWM. Ten scalony driver silników elektrycznych zawiera w sobie cztery drivery mocy, które pozwalają na sterowanie silnikiem. Pojedynczy driver pozwala na przepuszczanie prądu w jednym kierunku. Z dwóch takich elementów, połączonych z obu stron do silnika DC (lub dowolnego innego obciążenia), można zbudować układ, który pozwoli kontrolować przepływ prądu przez silnik w obu kierunkach, umożliwiając mu obracanie się w obie strony. Układ taki nazywa się mostkiem H.

Na **rysunku 2** pokazano przykładową aplikację drivera silników L293B – po lewej stronie dołączono pojedynczy silnik w topologii mostka H, co pozwala mu na obroty w obu kierunkach, a po prawej stronie dołączono dwa silniki asymetrycznie, co pozwala na obracanie nimi tylko w jednym kierunku.

Zasada działania

Koncepcja samobalansującego robota jest prosta. Konstrukcja wykorzystuje czujnik ultradźwiękowy, który mierzy odległość od ziemi przed nim. Jeśli odległość jest mniejsza niż ustalona, oznacza to, że robot jest pochylony do przodu bardziej, niż powinien. Jeżeli odległość ta jest większa, niż ustalono, oznacza to z kolei, że robot odchylony jest do tyłu.

Do kontrolowania pochylenia służą silniki robota. Jeśli jest on pochylony do przodu, musi ruszyć silnikami tak, jakby chciał jechać do tyłu. Jeśli pochylony jest do tyłu, analogicznie pojechać musi do przodu. Tarcie pomiędzy kołami, a podłożem spowoduje poruszenie się robota, zanim zacznie on jechać. Opisana metoda balansowania jest identyczna, jak metoda, której używa człowiek, balansujący np. piłką na dłoni, czy na palcu. Jeśli piłka spada w którąkolwiek stronę, dłoń musi poruszyć się w tę stronę.

Oczywiście, algorytm ten nie ma nieskończonych możliwości. Z uwagi na ograniczoną moc silników, istnieje taki punkt, poza którym robot nie będzie w stanie już powrócić do stanu równowagi. Silniki powinny mieć dużo więcej mocy, aby działanie systemu było na prawdę szybkie i responsywne.

Nie jest to jedyna metoda na zbudowanie balansującego urządzenia. Można użyć bezwładnościowej jednostki pomiarowej (IMU)

eprasa.pl d8e2d0846e

MPU-6050. Układ taki integruje w sobie akcelerometr i żyroskop, co pozwala na śledzenie przeciążeń robota i jego położenia względem ziemi w czasie rzeczywistym i reagowanie na pochylanie się urządzenia. Zastosowanie zamiast tego czujnika ultradźwiękowego ma ogromną zaletę w postaci istotnie niższej ceny.

Oprogramowanie

Oprogramowanie dla mikrokontrolera tego robota zostało napisane w Arduino IDE. Prosty szkic, kontrolujący podstawową funkcję robota – balansowanie, zgodnie z opisanym algorytmem – zamieszczony jest na **listingu 1**. Jak każdy szkic Arduino, firmware robota podzielone jest na dwie podstawowe sekcje: *setup()* oraz *loop()*. Pierwsza część to konfiguracja – sekcja ta jest uruchamiana jednorazowo, aby ustawić wszystkie porty, jako wejścia/wyjścia itp. Sekcja *loop()* to nieskończona pętla – zapisane w nim polecenia są cyklicznie powtarzane.

W pierwszej kolejności program mierzy odległość. W tym celu uruchamiana jest funkcja *distance()*, która zdefiniowana jest powyżej sekcji pętli. Następnie, jeśli odległość jest większa niż ustalony próg *height* to uruchamiane są silniki w jedną stronę, a jeśli jest mniejszy niż próg, to w drugą stronę.

Pomiar odległości jest bardzo prosty. Najpierw program generuje impuls ultradźwiękowy, załączając na 5 mikrosekund wyjście odpowiedzialne za transmiter ultradźwięków, a następnie czeka na przyjście impulsu odbitego, mierząc jednocześnie czas. Następnie czas przeliczany jest na odległość – wartość czasu jest dzielona przez 29 (czyli pomnożona razy 0,0345 – to prędkość dźwięku w centymetrach (w tej jednostce funkcja zwraca pomiar) na mikrosekundę – w takiej jednostce mierzone jest opóźnienie.

Podsumowanie

Użycie sensora ultradźwiękowego to tylko jedna z możliwości realizacji tego rodzaju algorytmu. Alternatywą dla pomiaru odległości od gruntu jest zastosowanie modułu inercyjnego, np. z sześcioma osiami swobody, zawierającego trójosiowy akcelerometr i trójosiowy żyroskop. Autor projektu twierdzi, że algorytm zaimplementowany w projekcie nie jest optymalny. Poprawę działania systemu można uzyskać przez dodanie algorytmu PID do kontroli silników. Pomimo tego zaprezentowana platforma jest ciekawą zabawką, a jednocześnie może być inspiracją dla bardziej zaawansowanych konstrukcji robotów balansujących.

Nikodem Czechowski, EP

Listing 1. Listing programu sterującego samobalansującym robotem

```
int ip3 = 2;
int ip4 = 3;
int t = 8;
int e = 9;
int height = 27;


void setup() {
// Konfiguracja pinów sensora odległości
  pinMode(t, OUTPUT);   // pin trigger
  pinMode(e, INPUT);    // pin echo

// Konfiguracja pinów sterujących silnikami
  pinMode(ip3,OUTPUT);
  pinMode(ip4,OUTPUT);
}

float distance(){
  float duration, cm;
  digitalWrite(t, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(t, HIGH);
  delayMicroseconds(5);
  digitalWrite(t, LOW);
  duration = pulseIn(e, HIGH);
  cm = duration / 29 / 2;
  return cm;        //odległość w centymetrach
}


void loop() {
  float dis = distance();=
  if (dis > height) {
    digitalWrite(ip3,LOW);
    digitalWrite(ip4,HIGH);
  }
  else if(dis < height) {
    digitalWrite(ip3,HIGH);
    digitalWrite(ip4,LOW);
  }
}
```

Źródło:
https://bit.ly/3Api5jU
https://bit.ly/3NEWiaZ

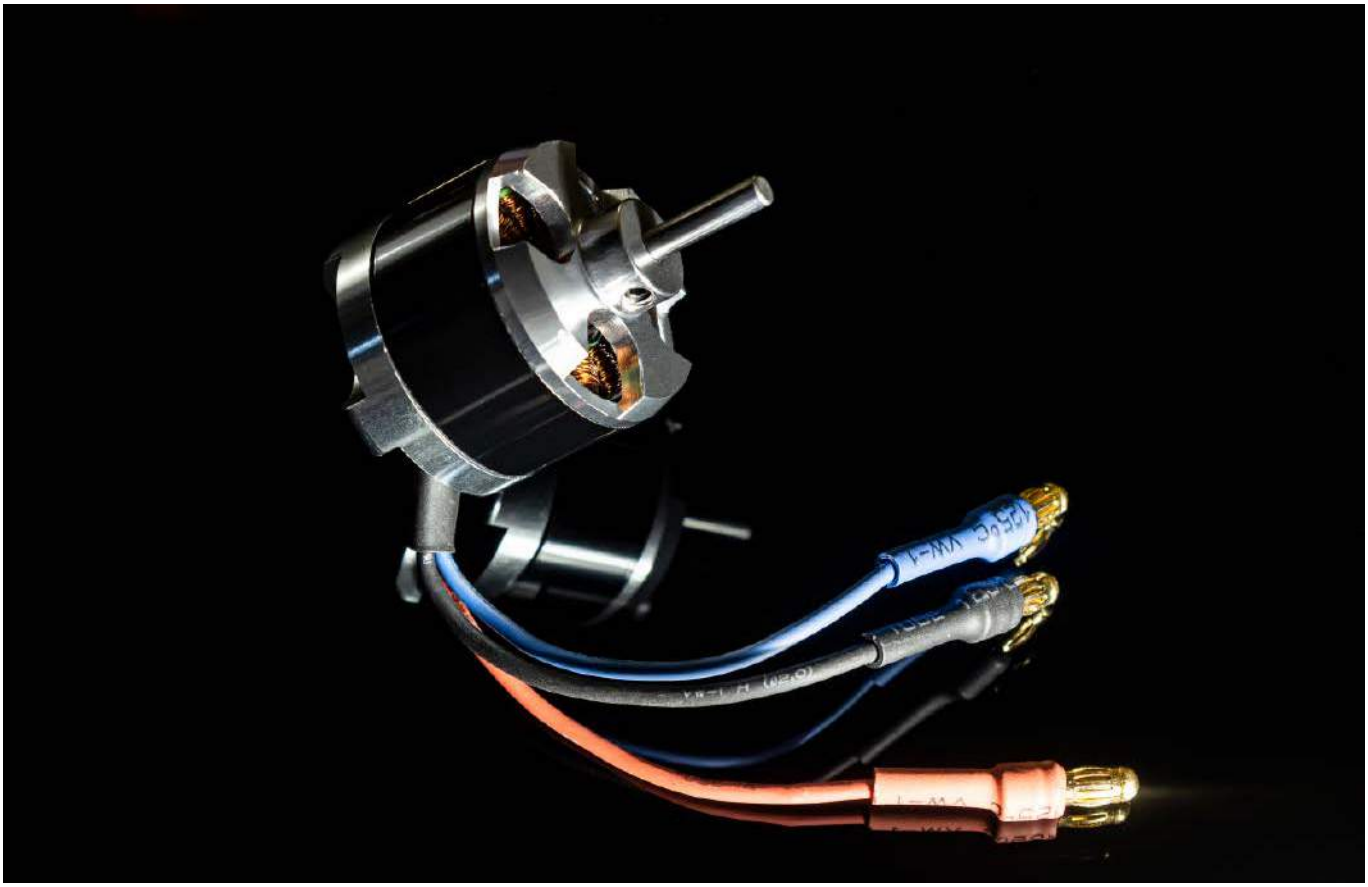
REKLAMA

Świat projektantów i programistów
dla elektroniki w nowej odsłonie.
Odwiedź nowy

ELPORTAL.pl

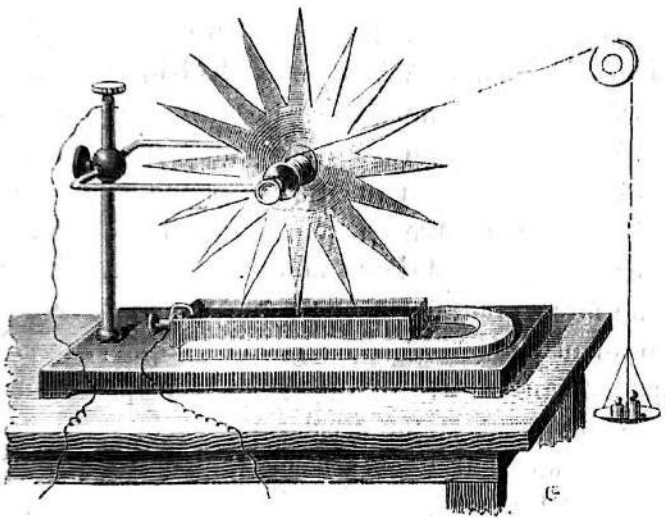
Obserwuj nas również na Facebooku:
www.facebook.com/Elportalpl

eprasa.pl d8e2d0846e



Nowoczesne źródła napędu dla konstrukcji robotycznych i nie tylko

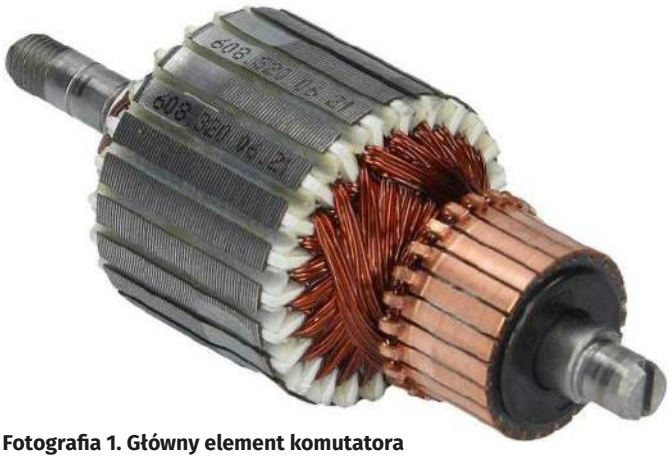
*Za konstruktora pierwszego silnika elektrycznego uważa się fizyka Petera Barlowa, który w roku 1822 zaprezentował swój wynalazek zwany później Kołem Barlowa (**rysunek 1**). Nie było to rozwiązanie nadające się do praktycznych zastosowań, jednak pokazywało w jaki energia elektryczna może napędzać prosty mechanizm. Konstrukcja silnika prądu stałego była długo rozwijana ale stale obecnym elementem był komutator – niezbędny do prawidłowej pracy, jednocześnie stanowił najsłabszy element. Naturalne było zatem dążenie do takiej zmiany konstrukcji silnika, aby wyeliminować z niego ten element.*



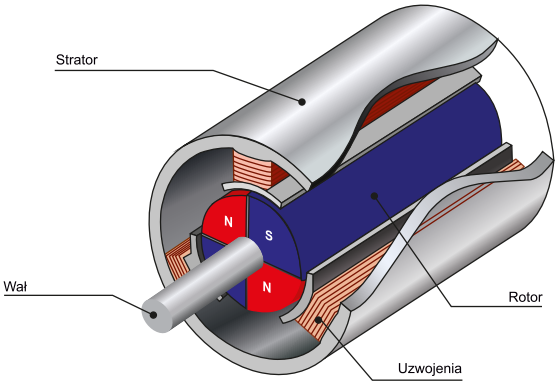
Rysunek 1. Pierwowzór silnika elektrycznego – wynalazek fizyka Petera Barlowa zwany później Kołem Barlowa

Silnik elektryczny to jedyny komponent, który jest stosowany na tak dużą skalę do przetwarzania energii elektrycznej na energię mechaniczną. Ruch obrotowy osi silnika może napędzać bezpośrednio koła maszyn i robotów lub może być przekształcany przy pomocy odpowiednich mechanizmów na ruch liniowy wymagany przy różnego rodzaju

eprasa.pl d8e2d0846e



Fotografia 1. Główny element komutatora



Rysunek 2. Budowa silnika bezszczotkowego na prąd stały – BLDC

manipulatorach. Praca silnika może napędzać pompę hydrauliczną lub pneumatyczną i w ten sposób może poruszać siłownikami. Silnik elektryczny może też obracać elementem o określonej masie i poprzez manipulowanie prędkością obrotową może wprawiać w ruch satelitę umieszczonego w kosmosie, w stanie nieważkości.

Aby sprostać tak różnym zadaniom silniki oraz układy sterujące silnikami muszą spełniać wiele wymagań. Oczekiwana jest duża moc przy niewielkich rozmiarach, wysoka sprawność i trwałość w trudnych i zmiennych warunkach, precyzja sterowania i nieskomplikowana konstrukcja, a wszystko to przy odpowiednim bilansie korzyści i nakładów finansowych. Takie kryteria spełniają tylko nowoczesne silniki bezszczotkowe, dlatego w artykule omówimy ich budowę, rodzaje i sposoby sterowania.

Bez komutatora

Większość silników elektrycznych składa się z części ruchomej – wirnika zdolnego do ruchu obrotowego, zamocowanego wewnątrz nieruchomego korpusu. Wirnik obraca się pod wpływem oddziaływania pola magnetycznego pomiędzy elementami wirnika i korpusu. W zależności od typu silnika oddziaływanie magnetyczne jest wytwarzane przez zespół odpowiednio ustawionych względem siebie magnesów i uzwojeń lub samych uzwojeń, umieszczonych w różnych konfiguracjach na wirniku i korpusie.

Klasyczny silnik prądu stałego zawiera magnesy umieszczone wewnątrz korpusu oraz kilka sekcji uzwojeń na wirniku. Doprowadzenie prądu elektrycznego do jednej sekcji uzwojenia wytworzy w nim bieguny magnetyczne, które zaczną oddziaływać z magnesami i w efekcie wirnik obróci się. Aby ten ruch był ciągły należy cyklicznie przełączać zasilanie pomiędzy sekcjami uzwojenia z częstotliwością dostosowaną do obrotów wirnika – to skomplikowane zadanie pełni komutator. Składa się on z przewodzących pół rozmieszczonych precyzyjnie dokoła osi wirnika (**fotografia 1**), połączonych elektrycznie z uzwojeniami oraz szczotek, które „ślizgają się" po polach komutatora i doprowadzają w ten sposób zasilanie. To bardzo uproszczony opis klasycznego silnika, ale już daje wyobrażenie o jego ograniczeniach i największych problemach. Komutator znacznie ogranicza moc silnika, ponieważ nie zapewnia dobrego połączenia elektrycznego, zwiększa gabaryty silnika, generuje duże zakłócenia elektromagnetyczne, jest nietrwały i wadliwy, nie umożliwia precyzyjnego sterowania itd., za to jest rozwiązaniem relatywnie nieskomplikowanym i tanim. Niestety taki zestaw ograniczeń dyskwalifikuje w zderzeniu z coraz większymi wymaganiami stawianymi silnikom elektrycznym.

Wyeliminowanie komutatora wymaga zastosowania innego sposobu przełączania zasilania uzwojeń. Naturalnym rozwiązaniem był elektroniczny system sterowania. Silnik przystosowany do takiej konfiguracji jest określany jako silnik bezszczotkowy na prąd stały – silnik BLDC (BrushLess Direct-Current), a jego uproszczoną budowę pokazuje **rysunek 2**. Jak widzimy, konstrukcja silnika została nieco zmieniona – wewnątrz korpusu znajdują się uzwojenia nawinięte na rdzeniach z materiału ferromagnetycznego, które stanowią tzw. stator. Wirnik określany jako tzw. rotor, jest magnesem trwałym i nie wymaga doprowadzania prądu.

Silniki te należą do silników synchronicznych ze względu na jednakową prędkość wirowania rotora oraz pola magnetycznego, wytwarzanego przez uzwojenia stojana. Wirnik silnika BLDC ma parzystą liczbę naprzemiennie rozmieszczonych biegunów N i S. Z biegiem czasu stosowanie klasycznego rozwiązania w postaci magnesów ferrytowych było stopniowo wypierane przez stopy charakteryzujące się mniejszą masą, a co za tym idzie mniejszym momentem bezwładności. Liczba biegunów, zarówno stojana, jak i wirnika, znacząco wpływa na zachowanie i działanie silnika. Jednym z podstawowych parametrów, który jest bezpośrednio związany z liczbą biegunów, jest krok silnika. Przy wyborze napędu warto pamiętać, że liczba faz wpływa bezpośrednio na tętnienia momentu obrotowego ze względu na inne przesunięcie w fazie. Im więcej faz silnika, tym mniejsze tętnienia. Jednym ze sposobów niwelacji tętnień jest właśnie zwielokrotnienie liczby uzwojeń stojana oraz zwiększenie liczby biegunów wirnika.

Wady i zalety silników BLDC

Silniki BLDC mają szereg zalet. Konstrukcja nie wymagająca szczotek i komutatora powoduje, że te silniki są trwałe, niezawodne, ciche i nie generujące zakłóceń EMI. Jedynym zużywającym się elementem są łożyska wirnika. Kolejnym atutem jest możliwość ciągłej pracy przy maksymalnym momencie obrotowym uzyskiwanym w szerokim zakresie prędkości obrotowych. Silniki BLDC przy porównywalnej mocy mogą być mniejsze i tańsze od silników szczotkowych. Można je precyzyjnie sterować w układach sterowania z pętlą sprzężenia zwrotnego w szerokim zakresie prędkości obrotowych i momentu obrotowego.

Zasadniczą wadą jest konieczność stosowania skomplikowanego układu sterowania zarówno w warstwie sprzętowej jak i programowej. Wydajne, prawidłowe sterowanie w układzie sprzężenia zwrotnego wymaga znajomości położenia wirnika względem biegunów stojana. To położenie jest zazwyczaj określane przez czujniki Halla, ale spotykane są też rozwiązania z czujnikami optycznymi, lub enkoderami. Zwiększa to koszt budowy silnika i komplikuje układ sterownika, bo silnik musi mieć zamontowane czujniki i konieczne są dodatkowe połączenia pomiędzy tymi czujnikami i sterownikiem. Dostępne są też rozwiązania eliminujące fizyczne czujniki położenia, ale układ sterowania musi do tego przystosowany. Wtedy konstrukcja silnika i sprzętowy układ sterowania są prostsze, ale za to komplikują się algorytmy sterujące wymagające użycia wydajnych mikrokontrolerów.

Parametry silników BLDC

Silniki BLDC charakteryzuje szereg parametrów elektrycznych i mechanicznych. Najważniejsze parametry elektryczne to:

- napięcie znamionowe U_r (*reference voltage*),

eprasa.pl d8e2d0846e

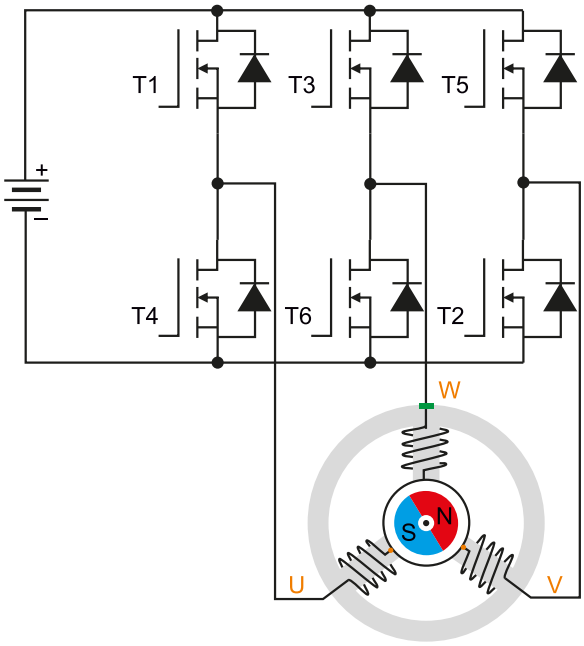
- prąd znamionowy I_r (*rated current*) – natężenie prądu pobieranego przez silnik w czasie, gdy wytwarza on znamionowy moment obrotowy,
- prąd szczytowy I_{pk} (*peak current*) – maksymalne dopuszczalne natężenie prądu pobieranego przez silnik,
- prąd jałowy I_{NL} (*no load current*) – natężenie prądu przy pracy bez obciążenia,
- rezystancja R – rezystancja uzwojeń stojana,
- indukcyjność L – indukcyjność uzwojeń. Na podstawie tej wielkości oraz rezystancji można obliczyć impedancję uzwojenia i elektryczną stałą czasową silnika,
- stała siły przeciwelektromotorycznej K_E (*back EMF constant*) – pozwala oszacować siłę przeciwelektromotoryczną przy danej prędkości,
- stała silnika K_M (*motor constant*) – stosunek momentu obrotowego silnika do jego mocy.

Z kolei najistotniejsze parametry mechaniczne to:

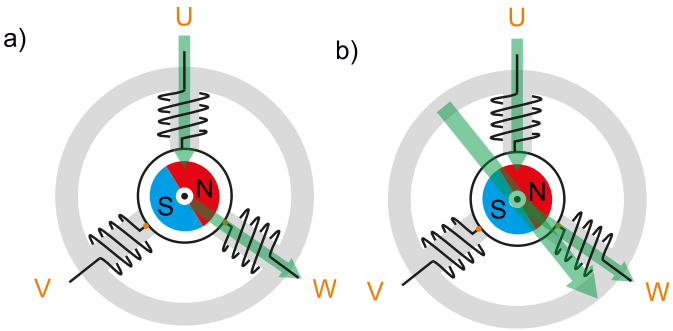
- prędkość N (rpm lub rad/s) – znamionowa prędkość silnika,
- ciągły moment obrotowy T_C (*continuous torque*) – moment obrotowy w określonym zakresie prędkości,
- szczytowy moment obrotowy T_{pk} (*peak torque*) – maksymalny moment obrotowy, który silnik może wytworzyć w krótkim przedziale czasowym,
- stała momentu obrotowego K_t (*torque constant*) – stosunek momentu obrotowego wytwarzanego przez silnik do natężenia pobieranego prądu,
- moment sił tarcia T_F (*friction torque*) – strata momentu obrotowego spowodowana tarciem,
- bezwładność wirnika J_M (*rotor inertia*) – potrzebna do wyznaczenia szybkości przyspieszania/hamowania i dynamicznej odpowiedzi systemu,
- temperatura pracy silnika – maksymalna temperatura uzwojeń (*maximum winding temperature*).

Sterowanie silnikiem BLDC

Dla łatwego zobrazowania procesu przyjmujemy, że stojan ma 3 uzwojenia rozmieszczone co 120°. Cewki stojana oznaczamy literami U, V i W, a prąd przez nie płynący prądami fazowymi U, V i W. Uzwojenia silnika będą połączone w topologii gwiazdy i punkt neutralny układu nie jest wyprowadzany na zewnątrz silnika. Zatem obwód prądu fazowego musi



Rysunek 3. Uproszczony schemat układu do sterownia silnikiem BLDC



Rysunek 4. Strumienie magnetyczne wytworzone w uzwojeniach (a) oraz strumień magnetyczny wypadkowy (b)

się zamykać przez dwa uzwojenia stojana. Potrzebny jest do tego układ taki, jak pokazano w uproszczeniu na **rysunku 3**. Kiedy na przykład zamkniemy obwód U-V to w uzwojeniach powstaną strumienie magnetyczne jak na **rysunku 4a** oraz wypadkowy strumień magnetyczny jak na **rysunku 4b**. Zadaniem sterownika silnika jest cykliczne przełączanie zasilania uzwojeń stojana tak, aby strumień magnetyczny wytwarzany przez prąd płynący przez uzwojenia wirował w jednym kierunku. Cykl sterowania potrzebny do jednego obrotu silnika zamyka się w sześciu krokach, co obrazuje **rysunek 5**. W pierwszym kroku uzwojenia stojana są zasilane przez sterownik tak, że prąd płynie przez U i W. W drugim przez uzwojenia U i V, w trzecim przez uzwojenia W i V i tak dalej. Każda zmiana prądu płynącego przez uzwojenia faz powoduje przesunięcie wypadkowego wektora strumienia magnetycznego stojana o 60°. Takie sterowanie nazywane jest trapezowym, wydaje się ono banalnie proste a jednak wystarczy do zakręcenia osią sinika. Jednak do zapewnienia stałego momentu obrotowego, czy stałej prędkości obrotowej przy zmiennym obciążeniu potrzeba bardziej zaawansowanego rozwiązania.

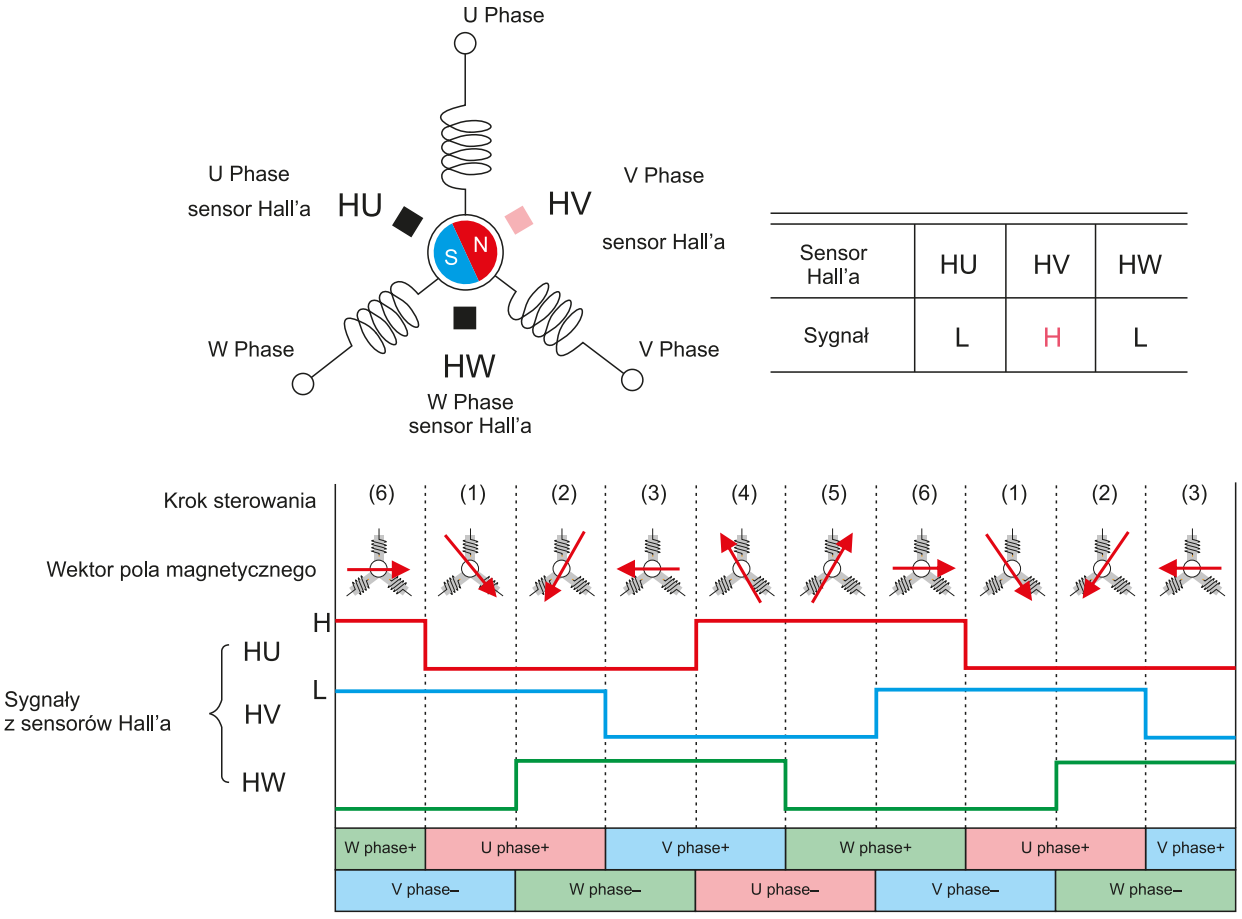
Aby moment obrotowy wału silnika, wynikający ze wzajemnego oddziaływania pola magnetycznego magnesu trwałego wirnika i pola magnetycznego stojana, był jak największy, sterownik musi przełączać zasilanie cewek stojana w odpowiednim momencie. Do uzyskania informacji o położeniu wirnika względem uzwojeń stojana często stosowane są czujniki Halla rozmieszczone w obudowie silnika co 120°, w połączeniu z trzema magnesami zamocowanymi na wirniku, również rozmieszczonymi co 120°. Wirujący wirnik sygnalizuje swoje położenie względem stojana tak, jak to zostało pokazane na **rysunku 6**. Sygnały z czujników Halla są oznaczone jako H1, H2 i H3.

Czujniki położenia wirnika względem stojana dodatkowo pozwalają na określenie prędkości wirowania wirnika. Układy sterowania zawierają pętlę regulacji, która porównuje zmierzoną prędkość wirowania wirnika z prędkością zadaną. Jeżeli prędkość wirowania jest mniejsza, to układ regulacji zwiększa współczynnik wypełnienia sygnału PWM, uzwojenia silnika są zasilane wyższym napięciem i prędkość

krok sterowania	zasilane fazy	wynikowy strumień
1	U → W	
2	U → V	
3	W → V	
4	W → U	
5	V → U	
6	V → W	

Rysunek 5. Pełny cykl sterowania silnikiem BLDC

eprasa.pl d8e2d0846e



Sensor Hall'a	HU	HV	HW
Sygnał	L	H	L

Rysunek 6. Sterowanie silnikiem BLDC z magnetycznymi czujnikami położenia rotora

obrotowa wzrasta. Kiedy prędkość jest zbyt duża to współczynnik wypełnienia maleje i prędkość obrotowa również. Odpowiednio dobrane parametry sterowania regulatora proporcjonalno-całkującego pozwalają optymalnie wyregulować pętlę regulacji prędkości tak, aby uniknąć oscylacji zmian prędkości silnika.

Idea sterowania trapezowego ma także wady. Niezbyt dobrze sprawdza się przy małych prędkościach obrotowych. Moment obrotowy z zasady działania podlega fluktuacjom (szarpnięciom). Ponadto czujniki położenia powodują, że silnik ma bardziej skomplikowaną budowę i potrzebuje większej liczby przewodów do połączenia ze sterownikiem (**rysunek 7**) i wymaga czyszczenia i przeglądów.

Metoda bez czujników

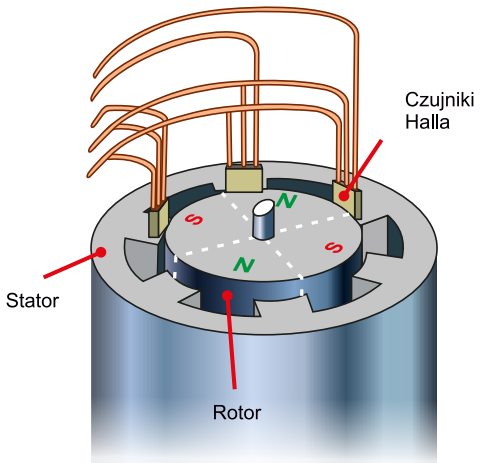
Istnieje metoda wykrywania położenia wirnika, która nie wymaga czujników, ale potrzebne jest rozbudowane oprogramowanie i dodatkowe układy peryferyjne. Wykorzystuje się tu zjawisko indukowania napięcia w uzwojeniu, które jest przenikane przez zmienne pole magnetyczne. Schemat sterowania trapezowego zakłada, że w każdym momencie są zasilane uzwojenia dwu faz i zawsze jest jedna faza nie zasilana – w niej można wykryć położenie wirnika przez detekcję przejścia indukowanego napięcia przez zero tak, jak to zostało pokazane na **rysunku 8**. Wykres strumienia magnetycznego przenikającego uzwojenie fazy ma kolor czerwony, natomiast wykres indukowanego napięcia – kolor niebieski. Oś pozioma określa kąt pomiędzy biegunami magnesu i uzwojeniem fazy. Przejście przez zero występuje łącznie sześć razy, tj. dwa razy w każdej fazie przy pełnym obrocie. Daje to rozdzielczość położenia co 60° i jest ekwiwalentem rozdzielczości uzyskiwanej przez czujniki Halla.

Ponieważ silnik jest połączony w topologii gwiazdy, a punkt środkowy nie jest podłączony do żadnego wyprowadzenia, to nie można bezpośrednio mierzyć napięcia indukowanego na nie zasilanym uzwojeniu silnika. Do tego celu stosuje się dodatkowy układ wirtualnego zera z komparatorami, taki jak pokazany na **rysunku 9**.

Jednofazowy silnik BLDC

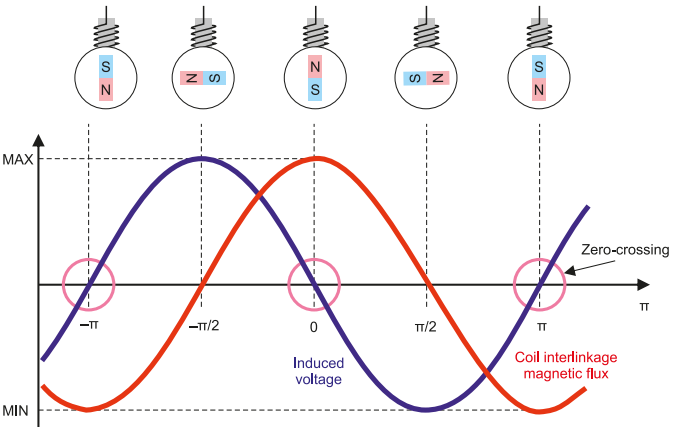
W aplikacjach małej mocy, w których istotny jest niski koszt, a wymagania odnośnie uzyskiwanego momentu obrotowego nie są duże, stosuje się jednofazowe silniki BLDC. Podobnie jak silniki trójfazowe (wielofazowe) są zasilane prądem stałym ale wymagają tylko pojedynczego sensora i prostszego układu sterującego. Ze względu na nieskomplikowaną budowę łatwe w produkcji, niedrogie i trwałe.

Silniki tego typu często są stosowane do napędzania wentylatorów w sprzęcie komputerowym, budowę przykładowego modelu pokazano na **fotografii 2**. Ta niesamowicie prosta konstrukcja jest też przykładem ciekawego rozwiązania – stator, choć nieruchomy, znajduje się wewnątrz silnika, a ruchomy rotor ma postać pierścienia magnetycznego, który jest zewnętrzną częścią silnika i na nim są zamontowane łopatki wentylatora.



Rysunek 7. Budowa silnika BLDC z wbudowanymi magnetycznymi czujnikami położenia rotora

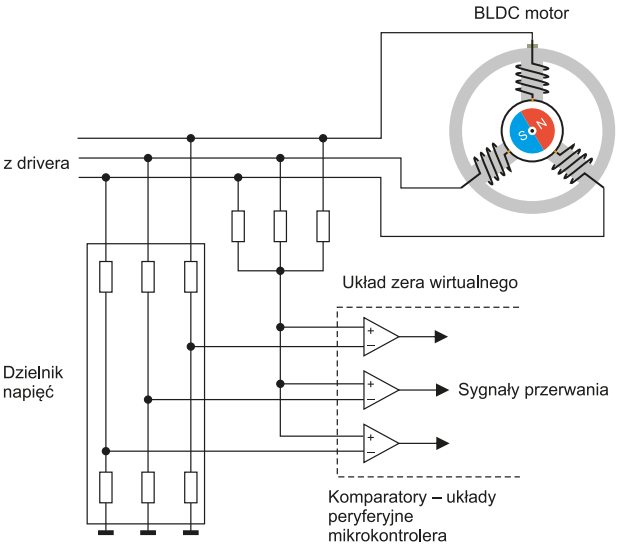
eprasa.pl d8e2d0846e



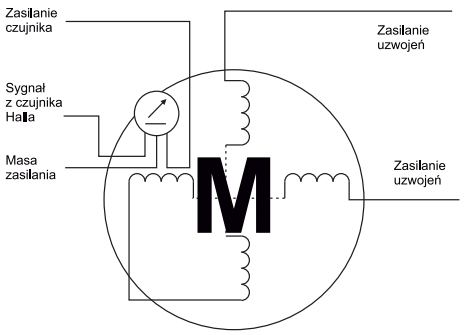
Rysunek 8. Metoda wykrywania położenia rotora bez stosowania czujników magnetycznych



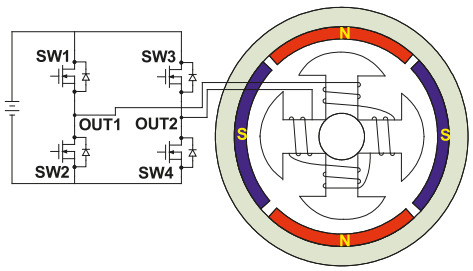
Fotografia 2. Konstrukcja jednofazowego silnika BLDC



Rysunek 9. Fragment układu niezbędnego do wykrywania położenia rotora bez stosowania czujników magnetycznych



Rysunek 10. Schemat elektryczny jednofazowego silnika BLDC



Rysunek 11. Uproszczony schemat układu do sterowania jednofazowym silnikiem BLDC

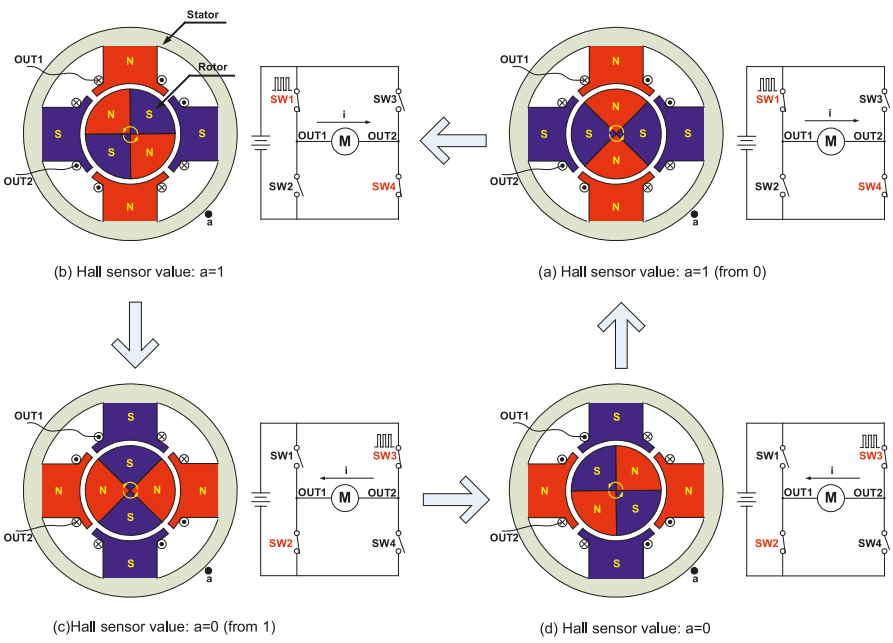
Schemat elektryczny jednofazowego silnika BLDC został pokazany na **rysunku 10**. Uzwojenie składa się z kilku sekcji, które są połączone szeregowo i w efekcie zasilanie do wirnika jest doprowadzane za pomocą tylko dwóch wyprowadzeń. Układ sterujący wygląda wtedy tak, jak na schemacie z **rysunku 11**, a pełny cykl sterowania zamyka się w 4 krokach – **rysunek 12**.

Osiowe, promieniowe i poprzeczne

Wszystkie silniki BLDC działają na tej samej zasadzie ale ich konstrukcja może mieć wiele różnych wariantów. Mogą być wyposażone w rotor zewnętrzny, jak wspomniany wentylator komputerowy, lub mogą mieć rotor wewnętrzny jak większość klasycznych modeli. Na **fotografii 3** zostały pokazane oba warianty.

Sposób wykonania uzwojeń statora określa trzy typy silników BLDC:

1. Silnik ze strumieniem promieniowym (*Radial Flux Motor*) – jest to konstrukcja, w której uzwojenia są nawinięte w taki sposób, że strumień magnetyczny każdego z nich jest skierowany do osi wału i ustawiony prostopadle do niej, tak jak zostało to pokazane na **fotografii 4**. Jest

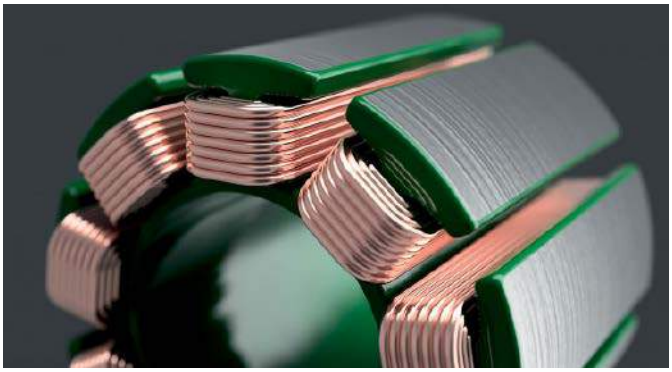


Rysunek 12. Pełny cykl sterowania jednofazowym silnikiem BLDC

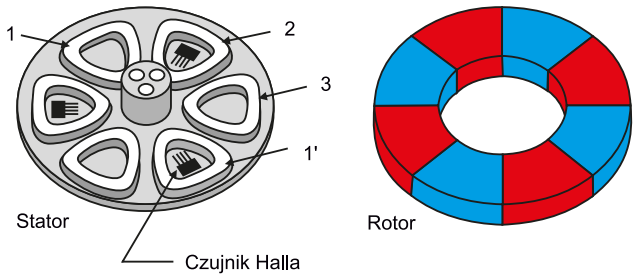
eprasa.pl d8e2d0846e



Fotografia 3. Porównanie silnika z wirnikiem wewnętrznym (po lewej) z silnikiem z wirnikiem zewnętrznym (po prawej)



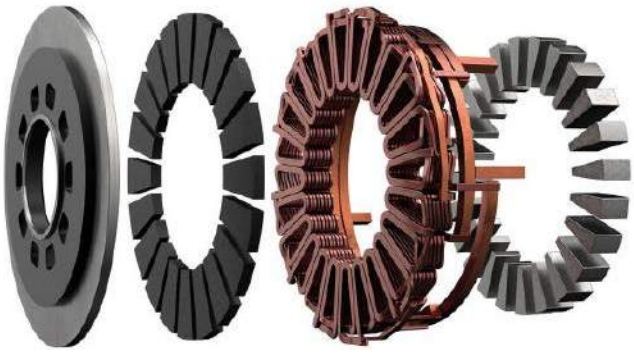
Fotografia 4. Konstrukcja uzwojeń silnika ze strumieniem promieniowym (*Radial Flux Motor*)



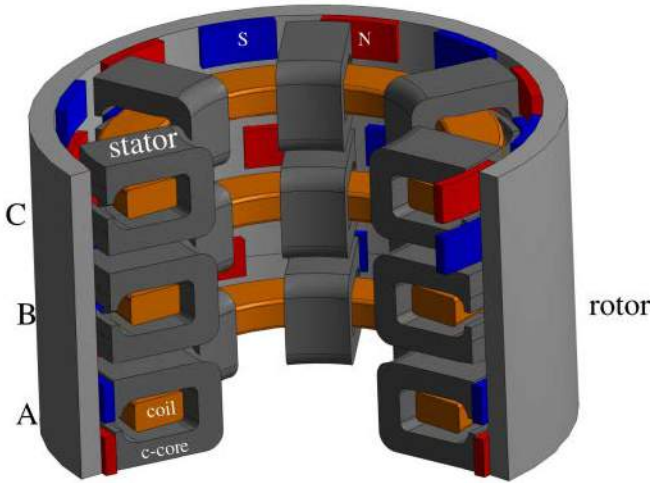
Rysunek 13. Konstrukcja silnika ze strumieniem osiowym (*Axial Flux Motor*)

to najczęściej stosowane rozwiązanie, silniki mogą mieć znaczą długość i niewielką średnicę;

2. Silnik ze strumieniem osiowym (*Axial Flux Motor*) – silnik o strumieniu osiowym to przeciwieństwo konstrukcji promieniowej. Uzwojenia są nawinięte w taki sposób, że strumień magnetyczny każdego z nich jest skierowany równolegle do osi wału. Schematycznie pokazuje to **rysunek 13**, wizualizacja rzeczywistego projektu została pokazana na **rysunku 14**. Silniki w takiej konfiguracji mają zwykle znaczną średnicę ale mogą być bardzo krótkie – w kształcie dysku;
3. Trzecia stosowana konfiguracja polega na wytworzeniu tzw. strumienia poprzecznego. Silniki o takiej konstrukcji są nazywane TFM (*Transverse Flux Motor*) i bazują na innym podejściu do projektowania uzwojeń stojana. Zamiast prowadzić uzwojenia wokół zębów stojana, są nawijane w płaszczyźnie równoległej



Rysunek 14. Wizualizacja projektu silnika ze strumieniem osiowym (*Axial Flux Motor*)



Rysunek 15. Wizualizacja projektu silnika TFM (*Transverse Flux Motor*)

do płaszczyzny wirnika – dobrze obrazuje to **rysunek 15**. Pozwala to zwiększyć moment obrotowy przy niskiej prędkości obrotowej i wydajność w określonych warunkach, a nawet zwiększyć moc.

Warto wiedzieć

Silniki bezszczotkowe z magnesami trwałymi są produkowane, także jako silniki na napięcie przemienne. Określane są jako PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Motor*) a ich budowa jest bardzo podobna do silników BLDC. Zasilanie sygnałem sinusoidalnym pozwala osiągnąć mniejsze tętnienia momentu obrotowego. Przy odpowiednim rozłożeniu uzwojeń gęstość strumienia magnetycznego ma sinusoidalny rozkład, którego nie da się uzyskać przy trapezowym sterowaniu silnika BLDC.

Podsumowanie

Silniki BLDC są lepsze niemal pod każdym względem od silników komutatorowych, a dzięki nowoczesnym mikrokntrolerom skonstruowanie odpowiedniego sterownika nie jest skomplikowane. Warto zapoznać się z ofertami kluczowych producentów i dystrybutorów, ponieważ w ostatnim czasie silniki BLDC przeszły wiele zmian i ich asortyment znacznie się poszerzył.

Damian Sosnowski, EP

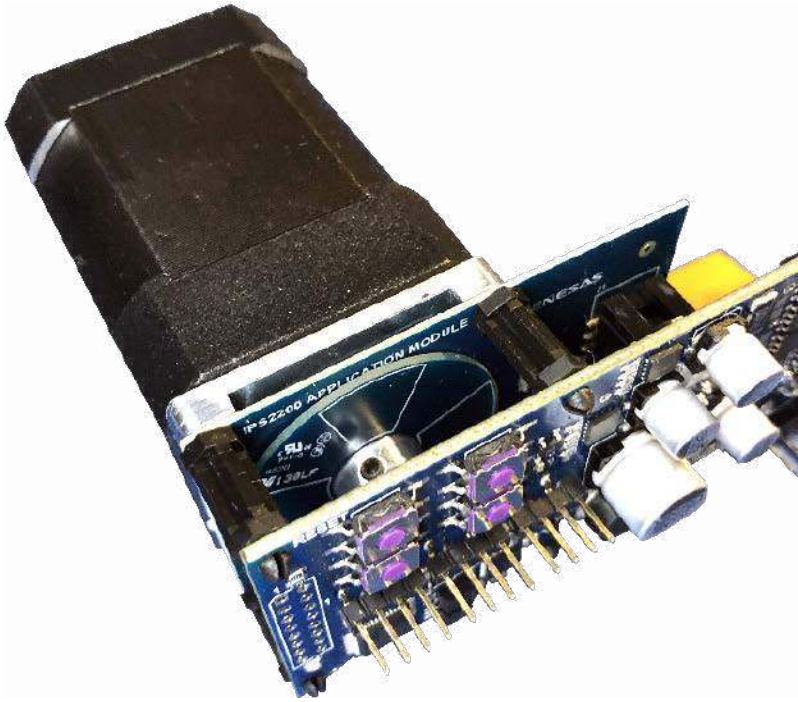
REKLAMA

Książki w Ulubionym Kiosku
Zobacz pełną ofertę na stronie www.ulubionykiosk.pl

eprasa.pl d8e2d0846e

Jak podejmować decyzje projektowe w aplikacjach sterowania bezszczotkowymi silnikami stałoprądowymi

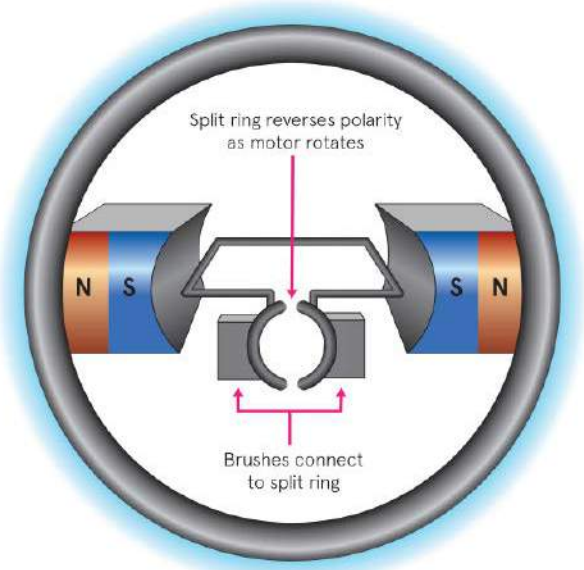
Bezszczotkowe silniki stałoprądowe – BLDC, są stosowane w różnorodnych aplikacjach, począwszy od symulatorów jazdy czy lotu, a kończąc na wentylatorach podsufitowych. Eksperci z zespołu System and Solutions firmy Renesas opracowali zoptymalizowany, demonstracyjny projekt systemu sterowania silnikiem BLDC, w którym użyto wiele komponentów z oferty firmy. Aby wesprzeć inżynierów opracowujących podobne systemy, doświadczeni architekci przygotowali koncepcyjną płytkę z prototypem, która pokazuje najlepsze praktyki w projektowaniu systemów, pozwalając przy tym na testowanie różnych algorytmów.



W artykule wyjaśniono, w jaki sposób płytka została zaprojektowana, uzasadniono podjęte decyzje projektowe i wskazano, jak płytka odpowiada na różne wymagania poszczególnych aplikacji. Takie gotowe rozwiązanie referencyjne pomaga inżynierom szybciej rozpocząć własne prace projektowe i skrócić czas potrzebny na wprowadzenie na rynek gotowych, dobrze przemyślanych rozwiązań, ograniczając wysiłki wkładane w projektowanie i weryfikację.

Bezszczotkowe silniki stałoprądowe

Silniki stałoprądowe znane są już od czasów Michaela Faradaya, Josepha Henry'ego i Andrew Gordona, a więc od lat 40. XVIII wieku, kiedy to zademonstrowano, że prąd przepływający przez przewód w polu magnetycznym powoduje powstawanie siły. Pomimo tych wczesnych badań, dopiero w latach 80. XIX wieku silniki tego typu weszły do komercyjnego użycia. Pierwsze z silników miały szczotki. To dlatego, że konieczne jest by co 180° odwracać polaryzację prądów, aby wirnik obracał się cały czas w tę samą stronę. Szczotki utrzymują kontakt z rozdzielonym komutatorem, co pozwala właśnie na zmianę kierunku przepływu prądu wewnątrz przewodnika (**rysunek 1**). Kontakt mechaniczny jest realizowany z użyciem szczotek, ale to znowu sprawia, że generowane są duże ilości zakłóceń elektromagnetycznych (EMI) oraz powstaje iskrzenie. Żywotność silnika spada ze względu na stopniowe ścieranie się szczotek i samego komutatora.



Rysunek 1. Sposób działania konwencjonalnego silnika stałoprądowego

W 1962 roku, opracowanie technologii układów półprzewodnikowych pozwoliło T.G Wilsonowi i P.H. Trickey'owi na zbudowanie pierwszego bezszczotkowego silnika stałoprądowego, w którym komutator został zastąpiony obwodem elektronicznym, eliminując tym samym wady szczotek i pozwalając na uzyskanie wyższego stosunku momentu do masy, a zarazem na zwiększoną sprawność silników. W silnikach BLDC wirnik ma magnesy stałe, a stator zawiera elektromagnesy, których polaryzację zmienia się elektronicznie, by napędzać wirnik (**rysunek 2**). Silniki BLDC można budować w wersjach jednofazowych, dwufazowych i trójfazowych, z czego ta ostatnia jest najbardziej popularna. Dziś bezszczotkowe silniki stałoprądowe to preferowana technologia, ponieważ pozwala poprawić wydajność wszelkiego rodzaju urządzeń, począwszy od twardych dysków komputerowych i robotów przemysłowych, a kończąc na pojazdach elektrycznych i wentylatorach.

eprasa.pl d8e2d0846e

Sterowanie silnikami BLDC

Jako że komutacja jest sterowana elektronicznie, konieczne jest zapewnienie jakiegoś sposobu monitorowania pozycji wirnika. Tradycyjnie było to realizowane za pomocą czujnika Halla, ale jeśli pozycja kątowa wirnika jest znana z większą dokładnością, sterowanie staje się bardziej precyzyjne. Alternatywą jest pomiar prądu płynącego przez każde z uzwojeń, do czego używa się odpowiednich boczników. Aby mieć pewność, że przygotowana płytka demonstracyjna znajdzie zastosowanie w tak wielu różnych aplikacjach, jak to tylko możliwe, firma Renesas zdecydowała się zaimplementować rezystory bocznikujące oraz zamontować czujnik pozycji, dzięki któremu możliwe będzie testowanie projektów wymagających większej precyzji pomiaru.

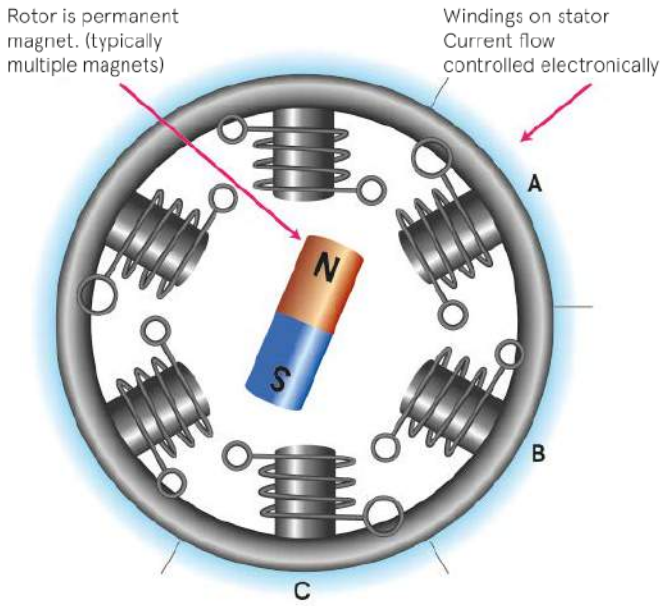
Istnieje wiele różnych algorytmów sterowania silnikami BLDC. Nowoczesne aplikacje wykorzystują zwykle fale sinusoidalne do napędzania silnika, gdyż pozwala to uzyskać większą wydajność, zapewnić gładkie zmiany momentów siły, a ponadto takie przebiegi prowadzą do bardziej precyzyjnego ruchu przy niskich prędkościach, niż fale trapezoidalne (PWM). Jeśli korzysta się właśnie z fal sinusoidalnych i obliczeń kąta z użyciem czujników pozycji, wymagania co do wydajności zainstalowanego mikrokontrolera znacząco rosną.

Wybór silnika i tranzystorów MOSFET

Kluczowym komponentem takiego systemu jest oczywiście silnik i to on zazwyczaj jest pierwszym elementem, od którego zaczyna się wybór. Ustalane kryteria obejmują dostępne napięcie, oczekiwaną prędkość obrotową, moment siły i moc, choć znaczenie mają także czynniki takie jak np. rozmiary. Dziś większość silników BLDC budowana jest w konfiguracji trójfazowej.

Na płytce od Renesas zainstalowano 24-woltowy silnik. Przy zasilaniu napięciem 24 V, gdy wirnik zatrzyma się z pełnej prędkości, powstanie wsteczny impuls EMF o napięciu 24 V, a więc tranzystory MOSFET używane do napędzania silnika muszą wytrzymywać przynajmniej 48 V. Tranzystory te muszą też móc dostarczać chwilowe prądy, znacznie wyższe niż przeciętne prądy znamionowe. Tranzystor mocy MOSFET – model RJK0651DBP idealnie sprawdza się w tej aplikacji ze względu na napięcie znamionowe 60 V i prąd znamionowy 25 A – istotnie większy niż potrzeba do wybranego silnika.

Mikrokontroler nie jest w stanie dostarczać zasilania do silnika bezpośrednio, dlatego wybrano układy HIP2211 w konfiguracji pół-mostka. To dosyć uniwersalne komponenty, mogące pracować z zasilaniem z zakresu od 6 V do 18 V, a ponadto mają zintegrowaną diodę podciągającą.



Rysunek 2. Sposób działania bezszczotkowego silnika stałoprądowego

Wybór mikrokontrolera

Wzorcowa płytka pozwala na określanie pozycji wirnika za pomocą rezystorów bocznikujących lub indukcyjnego czujnika pozycji. Oznacza to, że mikrokontroler musi mieć trzy przetworniki analogowo-cyfrowe z funkcjami próbkowania i zapamiętywania pozyskanego wskazania. Mikrokontroler użyty w takiej aplikacji musi także cechować się dobrą wydajnością, szczególnie w odniesieniu do obliczeń potrzebnych do określania pozycji kątowej wirnika. To z powyższego powodu projektanci zdecydowali się na użycie MCU z jednostką zmiennoprzecinkową.

Większość nowoczesnych mikrokontrolerów pracuje z napięciem 3,3 V, ale w środowisku z dużą ilością szumów może to stanowić wadę. Aby zapewnić niezawodne działanie, projektanci zdecydowali się wybrać mikrokontroler zasilany napięciem 5 V. Rodzina RX13T spełniła pokładane wymagania, a ponadto została zaprojektowana specjalnie z myślą o aplikacjach sterowania silnikami. Produkty dostępne są w kilku obudowach, z 12 kB pamięci RAM i wyborem 64 kB lub 128 kB pamięci programu. Ze względu na zastosowanie mikrokontrolera do aplikacji wzorcowej, wybrano model z dużą ilością pamięci, dzięki czemu uda się uniknąć wszelkich ograniczeń implementowanego algorytmu.

Płytka dostarczana jest z oprogramowaniem sterującym silnikiem. Można je skonfigurować do pracy zarówno z rezystorami bocznikującymi, jak i z indukcyjnym czujnikiem pozycji. Kod źródłowy oprogramowania też dostarczany wraz z płytką, dzięki czemu programiści mogą samodzielnie zoptymalizować algorytmy, skracając czas własnych prac.

Detekcja pozycji

O ile pierwsze silniki BLDC korzystały z bardzo popularnych czujników Halla by monitorować położenie wirnika, istnieją inne sposoby pozyskiwania tych informacji. Oprócz rezystorów za pomocą których mierzy się przepływający prąd, na płytce zainstalowano także indukcyjny czujnik pozycji IPS2200. Jego użycie skutkuje bardzo znaczącym poprawieniem dokładności monitorowania pozycji, względem użycia czujników Halla. Zamiast precyzji na poziomie 1/3 obrotu, IPS2200 pozwala na uzyskanie dokładności do 0,5°, w całym zakresie obrotowym. Czujnik pozwala na określenie pozycji absolutnej wirnika, podczas gdy układ obliczający o ile względnie dobrze (choć nie aż tak) radzi sobie z pozycjonowaniem w ruchu, będzie miał problemy z podaniem wartości absolutnej bez wskazania punktu odniesienia.

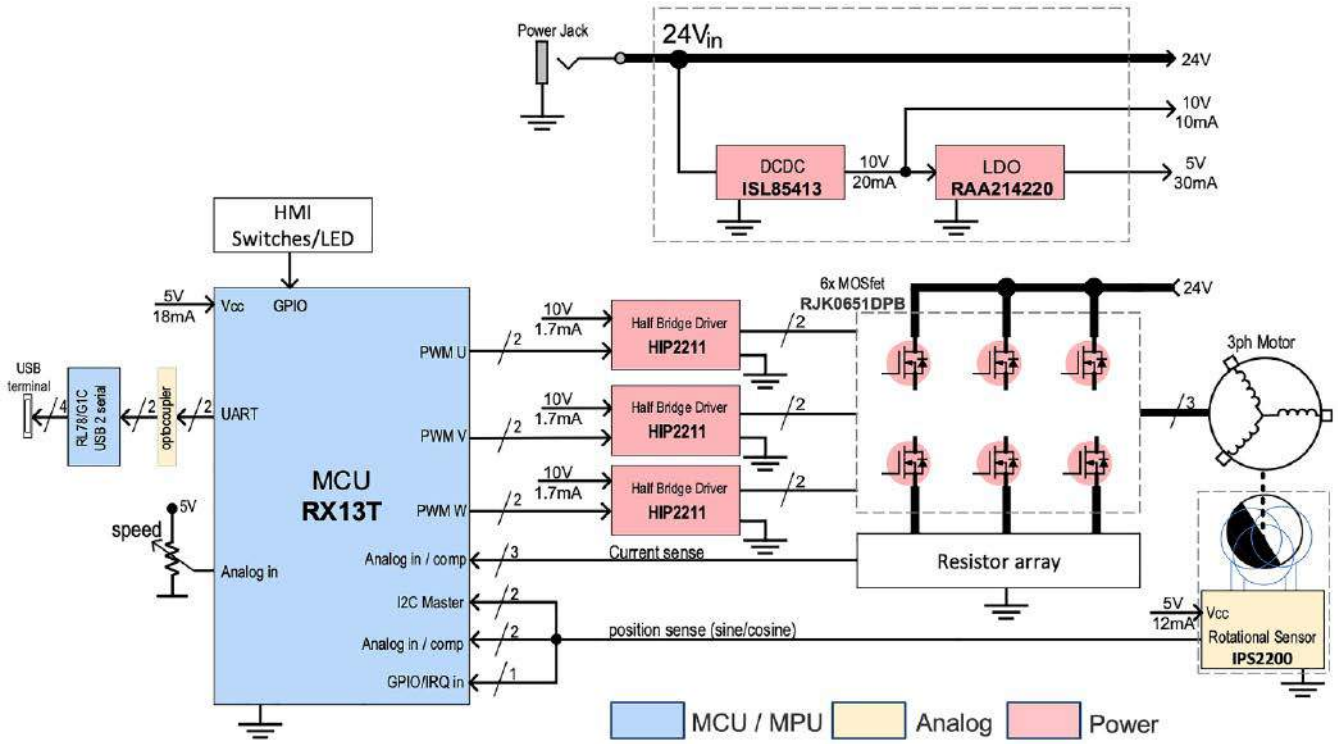
Zasilanie

Projektanci płytki zdecydowali się użyć 24-woltowego zasilacza z 5-milimetrowym złączem typu Jack. Oznacza to, że w razie potrzeby z łatwością można znaleźć zasilacz zastępczy. O ile reszta projektu pozwala na dostarczenie większej ilości mocy, wybór standardowego rodzaju złącza zasilania ograniczył maksymalny prąd do 4 A, zmniejszając tym samym maksymalną dopuszczalną moc systemu. Zostało to podyktowane przemyśleniem, że korzyści płynące z łatwego do zastąpienia zasilacza przewyższają zalety użycia większych silników, gdyż cała płytka prototypowa nie odnosi się do żadnego konkretnego rozmiaru silnika.

24-woltowe napięcie pozwala na zasilanie silnika bezpośrednio. Natomiast elektronika – tranzystory MOSFET – potrzebują zasilania o napięciu z zakresu od 6 V do 14 V. Jest to realizowane za pomocą układu ISL85413, który generuje napięcie 10 V. ISL85413 to uniwersalna, synchroniczna przetwornica obniżająca, generująca do 300 mA prądu przy zachowaniu wysokiej sprawności. Szczególnie łatwo ją użyć w aplikacji, gdyż wymaga jedynie kilku zewnętrznych komponentów i dzięki temu idealnie sprawdza się w takich płytkach demonstracyjnych, jak opisywana.

Tak jak omówiono powyżej, wybrano mikrokontroler zasilany napięciem 5 V by zwiększyć margines odporności na szumy

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 3. Diagram blokowy systemu

i poprawić niezawodność systemu. Jako że sam mikrokontroler nie wymaga dużej ilości prądu, zdecydowano się na użycie regulatora LDO – model ISL80410, zasilanego bezpośrednio z 10 V. W ten sposób zapewnione jest niezawodne zasilanie dla MCU.

Pozostałe decyzje podejmowane podczas projektowania

Na płytce zastosowano również port USB, by móc podłączyć komputer PC celem zbierania danych i sterowania silnikiem. Sam wybrany mikrokontroler nie ma interfejsu USB, dlatego konieczne stało się dodanie kolejnego podzespołu – wybór padł na mikrokontroler RL78/G1C. Zastosowanie oddzielnego podzespołu do łącza USB oznacza, że projektanci mogą użyć optoizolatora by ochronić komputer PC przed ewentualnymi awariami płytki. To niezwykle ważna kwestia, szczególnie jeśli elektronika mocy na płytce jest używana w trakcie prac rozwojowych.

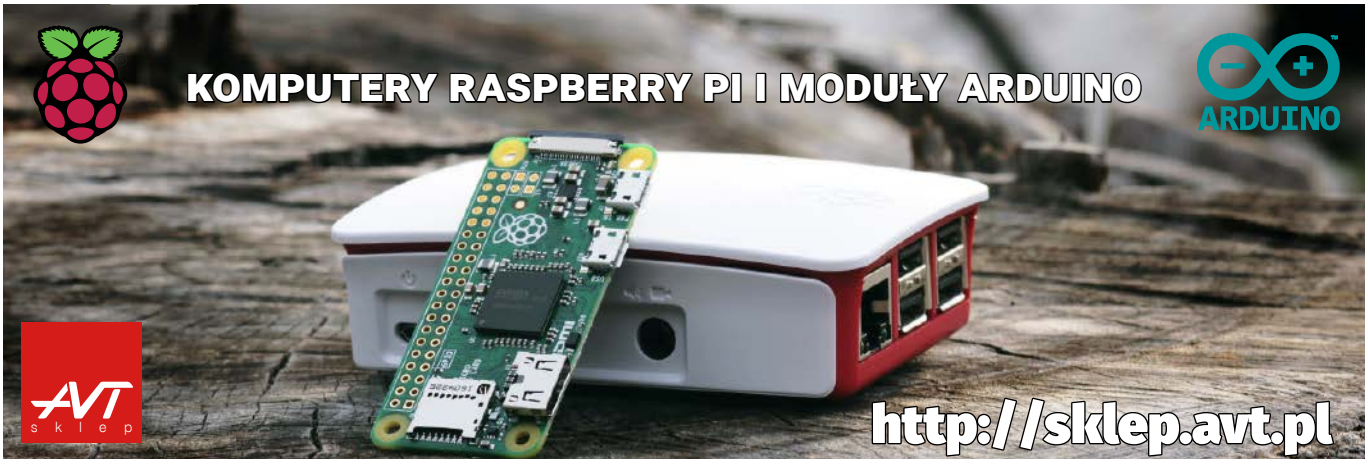
Czterowarstwowa płytka drukowana została wybrana by uzyskać dobry kompromis pomiędzy rozmiarem i kosztem. Komponenty umieszczone tylko na jednej stronie pozwoliły zmniejszyć koszty montażu. Warto zwrócić uwagę, że wybrane rodzaje obudów zostały wskazane m.in. z uwagi na rozmiar docelowy PCB.

Kompletny system

Schemat blokowy całego systemu został pokazany na **rysunku 3**, a wygląd płytki pokazuje fotografia tytułowa. W praktyce płytka okazała się cennym i elastycznym narzędziem, pomagającym inżynierom pracującym nad różnymi aplikacjami, począwszy od systemów sterowania do symulatorów jazdy i lotów, a kończąc na narzędziach mocy i zrobotyzowanych kosiarkach. We wszystkich tych obszarach, płytka pozwala na opracowywanie wysoce sprawnych systemów sterowania silnikami bezszczotkowymi.

Chociaż kompromisy przy doborze komponentów w ich zastosowaniach mogą się różnić od kompromisów podejmowanych na etapie sprawdzenia koncepcji, podstawowe decyzje projektowe pozostają takie same. Dostarczając dobrze przemyślane rozwiązanie, Renesas pomógł klientom skrócić ich czas wdrażania produktów na rynek i dał im pewność, że mogą przygotować sprawne i efektywne rozwiązanie dla wyzwań sterowania silnikami, przed jakimi stają.

Simon Meadmore
Global Head of Supplier and Product Management w firmie Farnell

REKLAMA


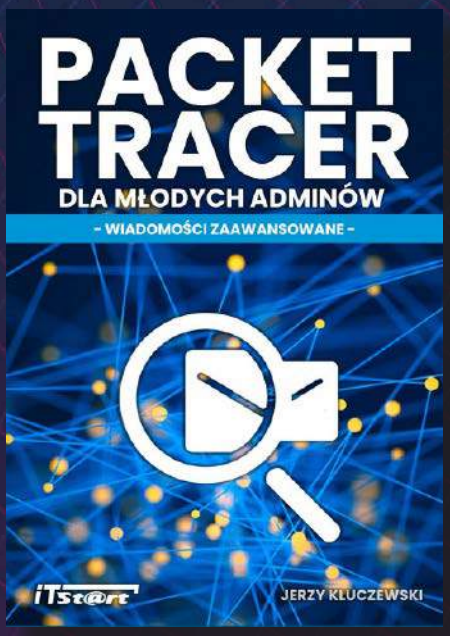
eprasa.pl d8e2d0846e

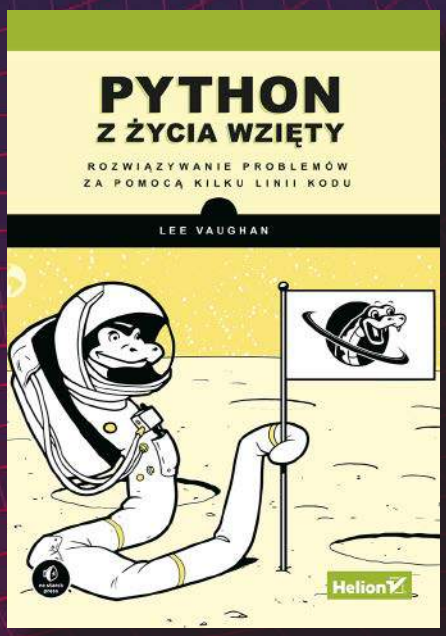
NOWOŚCI W ULUBIONYM KIOSKU

KSIĄŻKI Z RABATEM DO 30%







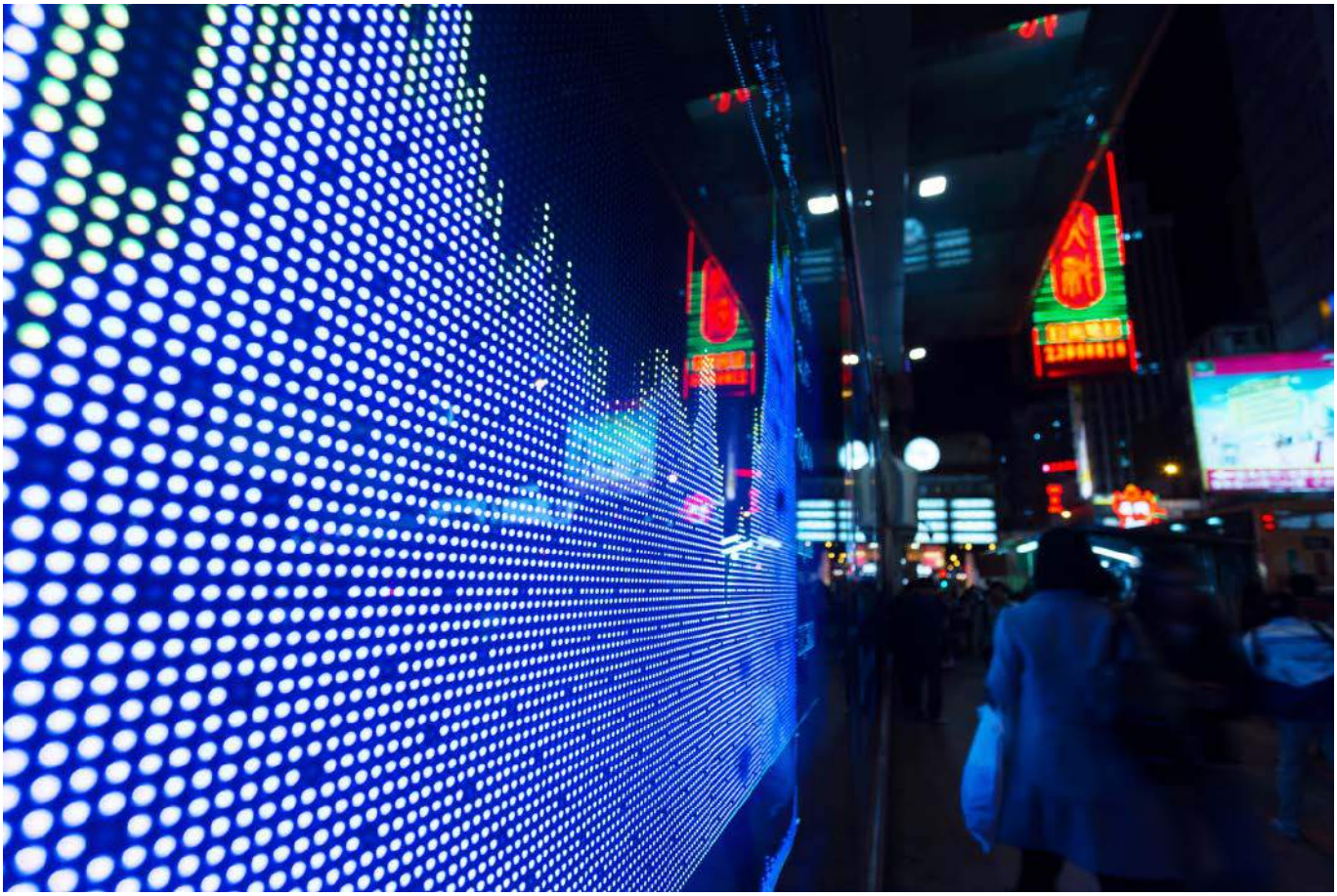






Zobacz pełną ofertę książek i zamów wygodnie na UlubionyKiosk.pl

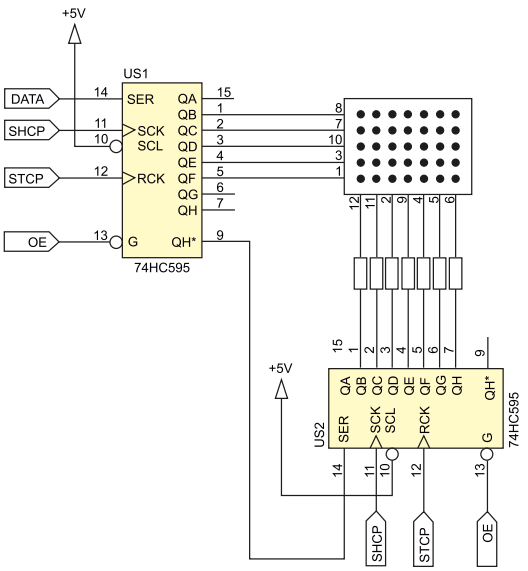
eprasa.pl d8e2d0846e



Multipleksowanie wielu wyświetlaczy LED

Niewielkie matryce LED oraz zwykłe wyświetlacze siedmiosegmentowe są chętnie stosowane w wielu urządzeniach. Prosty wygląd, niska cena, doskonała widoczność wyświetlanych znaków i trwałość – to atuty mogące przyciągnąć wielu nabywców. W przypadku jednego czy dwóch wyświetlaczy sterowanie nie wymaga specjalnych rozwiązań, ale w bardziej rozbudowanych konfiguracjach może znacznie skomplikować projekt. Jak sterować matrycami LED w sposób prosty i zoptymalizowany ekonomicznie?

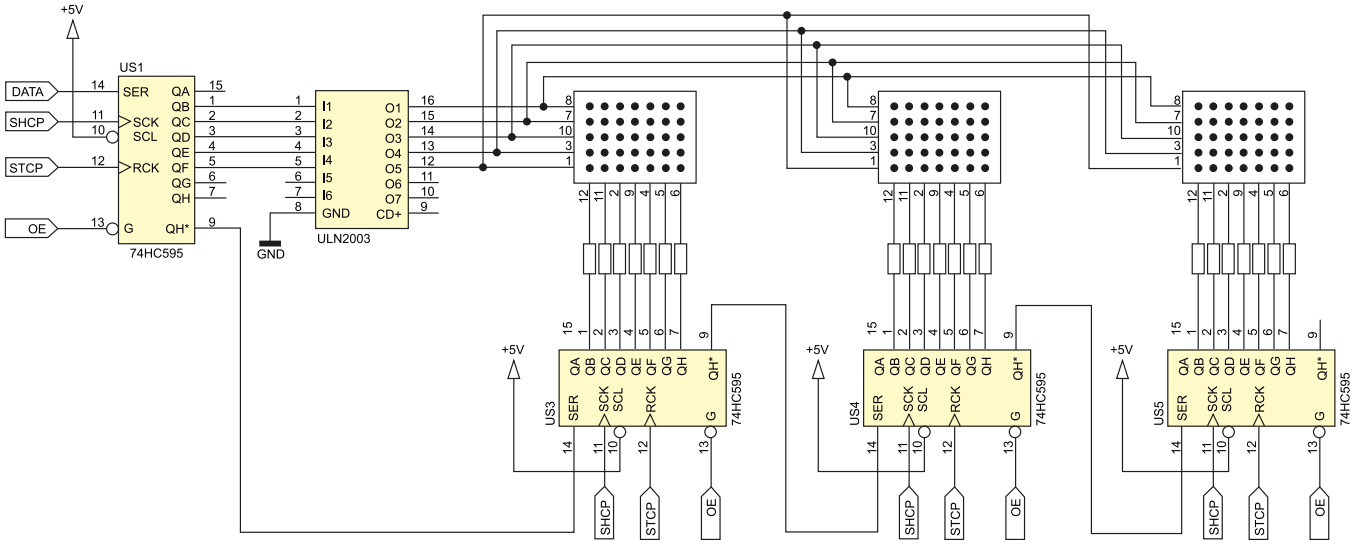
W projektowanych przeze mnie urządzeniach od wielu lat stosuję niewielkie matryce LED o organizacji 5×7 pikseli. Kiedy są ułożone dłuższą krawędzią poziomo, można na nich zbudować dwa pola odczytowe o wielkości 5×3 pikseli. A w razie konieczności można użyć całej powierzchni matrycy do sygnalizacji np. kodu błędu urządzenia lub ustawień serwisowych. Dla jednej takiej matrycy stosuję układ z **rysunku 1**. Rejestry przesuwne typu 74HC595 pozwalają ograniczyć liczbę koniecznych wyprowadzeń mikrokontrolera do zaledwie 3...4. Pierwszy bajt, wpisywany do układu US2, załącza odpowiednie kolumny, a drugi bajt zostaje zatrzaśnięty w US2, załączając odpowiedni wiersz. Do odświeżania zawartości rejestrów można użyć interfejsu SPI mikrokontrolera, bowiem wartości logiczne na linii



Rysunek 1. Schemat ideowy prostego sterownika pojedynczej matrycy LED

DATA są zatrzaskiwane na narastającym zboczu sygnału na linii SHCP. Po zakończeniu transmisji należy wystawić zbocze narastające

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 2. Schemat ideowy sterownika wielu matryc LED

na linii STCP (nawet krótko trwającą szpilkę), aby zaktualizować zawartość rejestrów wyjściowych w układach 74HC595. Wejść SCL nie używam, są podłączone na stałe do dodatniej linii zasilania.

Czwarty sygnał sterujący

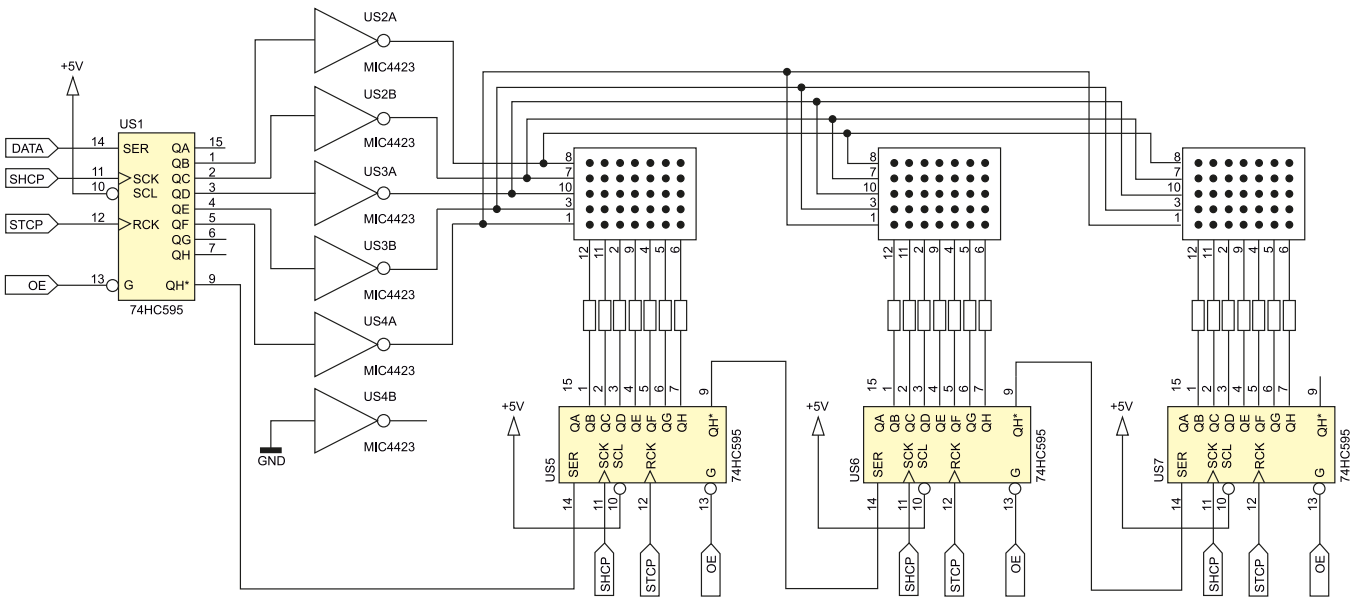
Opisana konfiguracja zajmuje trzy wyprowadzenia mikrokontrolera, a gdzie czwarte? Linia OE – *Output Enable*, kiedy przyjmuje stan niski, wyjścia QA…QH utrzymują zapisane stany logiczne. Stan wysoki na linii OE powoduje natychmiastowe przejście wszystkich tych wyjść w stan wysokiej impedancji (*Hi-Z*). Aż się prosi, aby podać tam sygnał PWM sterujący jasnością diod matrycy. Tak właśnie robię: im mniejsze wypełnienie, tym jaśniej świeci wyświetlacz. Podając stale stan wysoki, można diody po prostu wyłączyć. Zawartość rejestrów jest w tym czasie utrzymywana, zatem ich odświeżanie może przebiegać całkowicie asynchronicznie względem sygnału PWM regulującego jasność.

Mała uwaga ode mnie: warto wrócić myślami do początków techniki telewizji i przypomnieć sobie, w czym wybieranie międzyliniowe (najpierw linie nieparzyste, potem parzyste lub odwrotnie) było lepsze od kolejno liniowego (wszystkie linie rysowane jedna po drugiej). Powodem było znacznie słabsze migotanie obrazu i efekt ten można zaobserwować również w przypadku tak prostych wyświetlaczy, zwłaszcza gdy częstotliwość odświeżania nie jest zbyt wysoka. Można w prosty sposób skonstruować funkcję generującą takie ciągi bitów, aby wybierany był co drugi wiersz matrycy. Będzie to miało pozytywny wpływ na jakość wyświetlanej treści.

Więcej wyświetlaczy

Co jednak zrobić, kiedy takich wyświetlaczy mamy więcej niż jeden, na przykład trzy? Układ US1 obsługujący wiersze może się zbuntować, bowiem przez jedno jego wyprowadzenie może płynąć prąd o natężeniu nie większym iż 35 mA, zaś przez linie zasilające 70 mA. Nietrudno zatem obliczyć, że w przypadku pojedynczej matrycy (schemat z rysunku 1) prąd poszczególnych pikseli nie może przekraczać 5 mA. Daje to wystarczającą jasność, ale rozbicie tych 35 mA, które może zaoferować 74HC595 sterujący wierszami, na większą liczbę wyświetlaczy spowoduje znaczny spadek jasności maksymalnej. Dlatego trzeba zastosować dodatkowy driver do obsługi wierszy.

Pierwszy pomysł, jaki się nasuwa, to stary, dobry i tani ULN2003, który powinien wystarczyć. Na **rysunku 2** znajduje się schemat ideowy takiego rozwiązania. Ma ono jednak dwie poważne wady. Jedną z nich jest znaczący spadek napięcia na kluczach drivera, co w połączeniu z napięciem przewodzenia diod LED daje niewielką ilość napięcia odkładającego się na rezystorach ograniczających prąd. Może to powodować nierównomierne świecenie poszczególnych pikseli, odczuwalne szczególne przy małej jasności. A druga wada?



Rysunek 3. Schemat ideowy uniwersalnego sterownika wielu matryc LED

eprasa.pl d8e2d0846e

Taka konfiguracja wymusza stosowanie wyświetlaczy połączonych w określony sposób: anodami na kolumnach i katodami w wierszach. Tymczasem od wielu miesięcy magazyny hurtowni elektronicznych są puste lub zapełniają się na krótko. Nikt nie wie, kiedy ten stan się skończy, dlatego warto być przygotowanym na różne konfiguracje sprzętowe. Przykładowo – wpłynęło zamówienie na partię urządzeń z matrycami świecącymi w kolorze bursztynowym. Udało się takie znaleźć: wymiary odpowiednie, układ wyprowadzeń zgodny, cena w porządku, tylko kierunek podłączenia diod jest przeciwny. Ich katody są doprowadzone do kolumn, a anody do wierszy. O ile oprogramowanie sterujące można łatwo zmienić, aby wystawiało bity o przeciwnej wartości, o tyle kierunku prądu płynącego przez wyjścia driverów układu ULN2003 się nie zmieni. Odpowiedniki z kluczami typu P są mało dostępne i drogie. Co robić?

Drivery tranzystorów MOSFET

Do sterowania wierszami stosuję drivery tranzystorów MOSFET. Każdy taki driver to prosty półmostek o bardzo krótkim czasie przełączania, niskiej rezystancji wyjściowej i dużej wydajności prądowej. Czego więcej trzeba? Jeżeli tylko napięcie zasilające układ jest odpowiednio wysokie dla takiego mostka, wówczas nie ma najmniejszych przeszkód w ich stosowaniu. Schemat ideowy takiego rozwiązania znajduje się na **rysunku 3**. Pisząc odpowiednio oprogramowanie, można dopasować rodzaj sterowania do obu rodzajów konfiguracji matryc LED, ponieważ zarówno w wierszach, jak i w kolumnach mamy wyjścia typu totem-pole.

Używane przeze mnie do tego celu drivery typu MIC4423 mają dwa kanały odwracające w jednej obudowie SO8. Dlatego trzeba użyć trzech takich układów a wejście nieużywanego, szóstego kanału połączyć z masą – tak zaleca nota katalogowa tego układu. Ponadto, MIC4423 może zostać bardzo łatwo zastąpiony przez inny podwójny driver MOSFET, ponieważ ich układ wyprowadzeń jest zazwyczaj taki sam. Nie ma też większego znaczenia, czy będą one odwracające, czy też nie, ponieważ można to skorygować w oprogramowaniu. Trzeba zwrócić uwagę na impedancję wyjściową (dla MIC4423 wynosi ona 3,5 Ω) oraz minimalne napięcie zasilające: dla MIC4423 to 4,5 V, więc doskonale pracuje w układach zasilanych z 5 V. Napięcie o tej wartości jest również bezpieczne dla samych diod LED, ponieważ w stanie wygaszenia są one polaryzowane zaporowo, a najczęściej spotykana wartość napięcia zaporowego to właśnie 5 V.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA



Wszystkie materiały dodatkowe do wydania znajdziesz w jednym miejscu
ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl d8e2d0846e



Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (16)

Front-endy do pomiarów ultradźwiękowych (1)

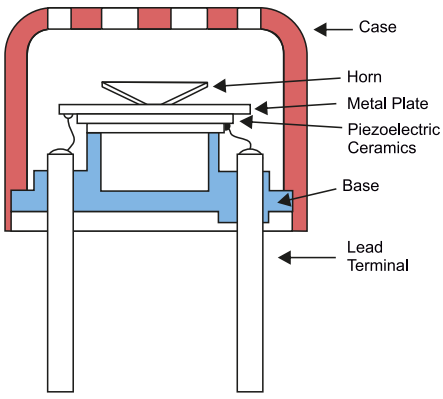
Ultradźwięki są intensywnie stosowane w elektronice już od wielu dekad, a w niektórych aplikacjach pomiarowych wciąż nie ustępują nawet znacznie nowocześniejszym (i nierzadko pod pewnymi względami lepszym) metodom, bazującym na innych zjawiskach fizycznych. W tej części Poradnika Implementacji zajmiemy się prostszymi pomiarami ultradźwiękowymi – odległości, poziomu czy też przepływu cieczy i gazów, zaś w przyszłości powrócimy do tematu fal naddźwiękowych, omawiając front-endy opracowane dla potrzeb obrazowania metodą ultrasonografii.



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

Niskoczęstotliwościowe przetworniki ultradźwiękowe – dzięki nieskomplikowanej budowie, niskiej cenie i relatywnie prostemu podłączeniu – są szeroko stosowane w obszarze robotyki, motoryzacji, metrologii, itp. Mówiąc o przetwornikach niskiej częstotliwości mamy zwykle na myśli elementy, których częstotliwość rezonansowa mieści się w przedziale do około stu kiloherców. Konstrukcję popularnego, konwencjonalnego przetwornika przeznaczonego do pracy w powietrzu zaprezentowano na **rysunku 1**, a przykładowe elementy pokazaliśmy na **fotografii 1**.

Najpopularniejsze, niedrogie przetworniki tego typu – o półotwartej konstrukcji (z membraną zasłoniętą jedynie przez metalową siatkę lub perforowane czoło tworzywowej obudowy) – rzecz jasna zupełnie nie nadają się do użycia ani pod wodą, ani też w bezpośrednim kontakcie z jakąkolwiek powierzchnią. Ostatnia wymieniona sytuacja ma natomiast miejsce np. w przypadku głowic ultrasonograficznych, które do prawidłowej pracy wymagają minimalizacji różnic w impedancji akustycznej pomiędzy tkanką (skórą pacjenta), a czołem głowicy – z tego też względu badania nie da się wykonać bez pokrycia skóry specjalnym żelem, gdyż suchy kontakt głowicy z powierzchnią ciała praktycznie blokuje propagację fal w głąb tkanek.



Rysunek 1. Schematyczny przekrój przez niskoczęstotliwościowy przetwornik ultradźwiękowy dostosowany do pracy w powietrzu (https://t.ly/qrY_)



Fotografia 1. Typowe przetworniki ultradźwiękowe niskiej częstotliwości (https://t.ly/wDS1)

eprasa.pl d8e2d0846e



Fotografia 2. Dyskowy przetwornik piezoelektryczny marki Audiowell (https://t.ly/eHpi)

Bezpośredni montaż jest też stosowany w przypadku przepływomierzy, zakładanych za pomocą opasek na rurę, transportującą mierzone medium – w takich zastosowaniach można najczęściej znaleźć piezoelektryczne przetworniki dyskowe, w tym przypadku mamy jednak zwykle do czynienia z wyższymi częstotliwościami na poziomie 1 MHz (**fotografia 2**).

Przemysłowe i motoryzacyjne zastosowania ultradźwięków

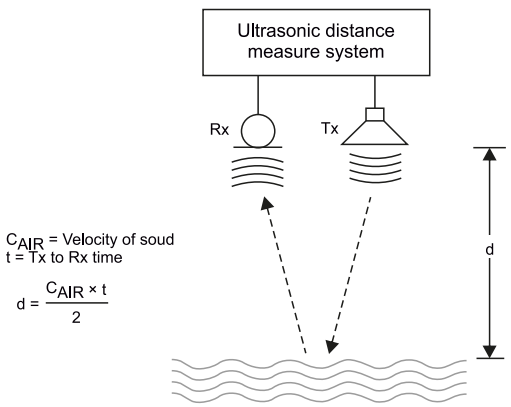
Jak wspomnieliśmy na początku, oprócz zaawansowanych aplikacji obrazowania ultradźwiękowego w ciągłym użyciu pozostają także znacznie prostsze techniki pomiarowe, które możemy podzielić na dwie zasadnicze grupy.

- **Pomiary odległości** – najprostsza i jednocześnie najczęściej stosowana metoda pomiaru odległości wykorzystuje zjawisko odbicia wiązki ultradźwięków od przeszkody. Jest to rzecz jasna pośrednia metoda pomiaru, gdyż w rzeczywistości mierzony jest czas, upływający pomiędzy momentem wysłania wiązki przez nadajnik, a odbiorem jej echa przez drugi przetwornik (odbiorczy) bądź ten sam komponent, który posłużył do wyemitowania ultradźwięków. Sytuację pomiarową schematycznie zaprezentowano na **rysunku 2**. Przy znanej prędkości propagacji fal akustycznych w ośrodku można łatwo wyliczyć odległość pomiędzy dalmierzem, a przeszkodą, stosując wzór (1):

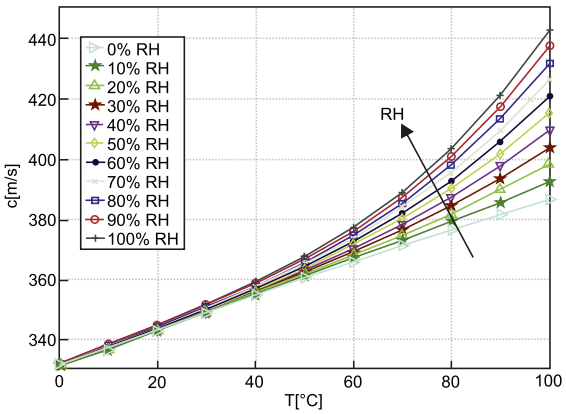
$$d = \frac{c \cdot t}{2} \quad (1),$$

gdzie: d – odległość dalmierza od przeszkody, c – prędkość propagacji fali akustycznej w ośrodku **w danych warunkach**, t – czas od chwili wysłania wiązki do momentu powrotu jej echa.

Nieprzypadkowo zwróciliśmy tutaj uwagę na warunki, w których dokonywany jest pomiar – prędkość dźwięku w dużej mierze zależy bowiem od szeregu parametrów ośrodka: w przypadku powietrza szczególne znaczenie mają temperatura i wilgotność, choć istnieją także zależności od składu powietrza (w tym



Rysunek 2. Koncepcja pomiaru odległości (np. poziomu wody w zbiorniku) z użyciem pomiaru czasu powrotu echa ultradźwiękowego (https://t.ly/9tRc)



Rysunek 3. Zależność prędkości dźwięku w powietrzu od temperatury i wilgotności (https://t.ly/zHQH)

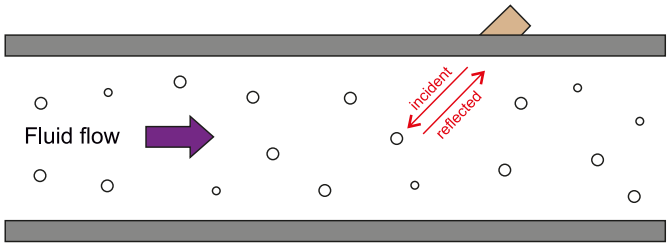
koncentracji CO_2) oraz ciśnienia. W normalnych warunkach atmosferycznych (tj. przy ciśnieniu 1013 hPa) zwykle możemy skupić się jedynie na dwóch wymienionych wcześniej parametrach – stosowne wykresy zależności prędkości dźwięku od temperatury i wilgotności zaprezentowano na **rysunku 3**. Pomiary odległości z użyciem metody TOF (*Time-Of-Flight*) są stosowane m.in. w:

- robotyce mobilnej – do wyznaczania odległości robota od przeszkody,
- medycynie – do pomiaru wzrostu pacjentów,
- motoryzacji – na tej zasadzie działają czujniki parkowania (zwane też czujnikami cofania),
- marynistyce – do określania głębokości dna przez różnego rodzaju jednostki pływające,
- wędkarstwie – w echosondach wędkarskich do badania głębokości i struktury dna na obszarze łowiska oraz do „namierzania" ryb,
- gospodarce wodnej – do pomiaru przepływu cieczy w rurociągach (strumień cieczy zmienia czas powrotu echa zależnie od kierunku i prędkości przepływu medium).

- **Pomiary dopplerowskie** – falowa natura ultradźwięków daje konstruktorom szerokie możliwości w zakresie pomiaru prędkości. Efekt Dopplera, polegający na powstaniu odchyłki częstotliwości fali odbitej od przeszkody poruszającej się względem układu pomiarowego (w kierunku zgodnym z kierunkiem propagacji fali) [1], jest używany m.in. do detekcji ruchu w systemach alarmowych (głównie w obszarze motoryzacyjnym), czy też do pomiaru przepływu cieczy oraz gazów w rurociągach (**rysunek 4**). Podstawowe równanie, pozwalające określić „nową" częstotliwość zmienioną w wyniku działania efektu Dopplera, wyraża wzór (2):

$$f_o = f_s \cdot \left(\frac{c \pm v_o}{c \mp v_s} \right) \quad (2),$$

gdzie: f_o – częstotliwość odebrana przez obserwatora, f_s – częstotliwość fali wysłanej przez źródło, c – prędkość dźwięku w ośrodku, v_o – prędkość obserwatora względem ośrodka, v_s – prędkość źródła



Rysunek 4. Zasada działania ultradźwiękowego przepływomierza dopplerowskiego – fala wyemitowana przez nadajnik odbija się od poruszających się wewnątrz rury cząstek przesyłanego medium i ze zmienioną częstotliwością powraca do odbiornika (https://t.ly/XeKQ)

eprasa.pl d8e2d0846e

Tabela 1. Front-endy peryferyjne marki Texas Instruments do aplikacji ultradźwiękowych

Model	Opis	Pasmo [kHz]	Wzmocnienie min. [dB]	Wzmocnienie max. [dB]	Liczba kanałów	Zakres temperatur pracy [°C	Interfejsy	Obudowy	Zastosowanie
TUSS4440	Front-end ze wzmacniaczem log. i z wyjściem dla transformatora	40...400	19	113	1	–25...105	SPI	QFN20	Ogólne
TUSS4470	Front-end z wyjściem bezpośrednim i wzmacniaczem log.	40...1000	19	113	1	–25...105	SPI	QFN20	Ogólne
PGA460	Procesor sygnałowy z wyjściem do transformatora	30...80, 180...480	32	90	1	–40...105	UART/USART, TCI, OWU	TSSOP16	Automotive
PGA460-Q1	Procesor sygnałowy z wyjściem do transformatora	30...80, 180...480	32	90	1	–40...105	UART/USART, TCI, OWU	TSSOP16	Automotive
TDC1000-Q1	AFE do pomiaru poziomu oraz stężeń	31,25...4000	20	41	2	–40...125	SPI	TSSOP28	Automotive
TDC1000	AFE do pomiaru poziomu oraz stężeń	31,25...4000	20	41	2	–40...125	SPI	TSSOP28	Ogólne
TDC1011	AFE do pomiaru poziomu oraz stężeń	31,25...4000	20	41	1	–40...125	SPI	TSSOP28	Ogólne
PGA450-Q1	Procesor sygnałowy z MCU i wyjściem dla transformatora	40...70	40	64	1	–40...125	LIN/SCI, UART, GPIO, SPI	TSSOP28	Automotive

TCI – Time Command Interface, OWU – One-Wire UART

Tabela 2. Mikrokontrolery Texas Instruments z wbudowanym AFE ultradźwiękowym

Model	Opis	Zakres temperatur pracy	Obudowy	Zastosowanie
MSP430FR6005	16 MHz, 128 kB FRAM, LCD, 12 bitów 8 MSPS sigma-delta ADC, wbudowane AFE	–40...85	LQFP100	Ogólne
MSP430FR5041	16 MHz, 32 kB FRAM, 12 bitów 8 MSPS sigma-delta ADC, wbudowane AFE	–40...85	LQFP64, VQFN64	Ogólne
MSP430FR5043	16 MHz MCU, 64 kB FRAM, 12 bitów 8 MSPS sigma-delta ADC, wbudowane AFE	–40...85	LQFP64, VQFN64	Ogólne
MSP430FR50431	64 kB FRAM, 12 kB RAM, bootloader I²C, przeznaczony do przepływomierzy	–40...85	LQFP64, VQFN64	Ogólne
MSP430FR6041	16 MHz, 32 kB FRAM, LCD, 12 bitów 8 MSPS sigma-delta ADC, wbudowane AFE	–40...85	LQFP80	Ogólne
MSP430FR6043	64 kB FRAM, 12 kB RAM, LCD, przeznaczony do przepływomierzy	–40...85	LQFP80	Ogólne
MSP430FR60431	16 MHz, 64 kB FRAM, LCD, 12 bitów 8 MSPS sigma-delta ADC, wbudowane AFE	–40...85	LQFP80	Ogólne
MSP430FR6045	16 MHz, 128 kB FRAM, LCD, 12 bitów 8 MSPS sigma-delta ADC, wbudowane AFE	–40...85	LQFP100	Ogólne

względem ośrodka. Górne znaki w liczniku i mianowniku odnoszą się do sytuacji, w której obserwator i źródło zbliżają się do siebie, zaś dolne – do sytuacji przeciwnej. W przypadku gdy źródło lub obserwator nie poruszają się względem otoczenia, odpowiednią wielkość (v_s lub v_o) należy przyjąć jako równą zeru. Warto tutaj zwrócić uwagę na fakt, że prędkości v_s oraz v_o są wyrażone względem otaczającego ośrodka, zatem w przypadkach takiej samej prędkości względnej źródła i obserwatora, ale w różnych konfiguracjach (stacjonarny obserwator lub stacjonarne źródło), wynikowa częstotliwość f_o będzie miała nieco inne wartości.

Portfolio front-endów ultradźwiękowych marki Texas Instruments

Co ciekawe, pomimo dużej uniwersalności i popularności metod ultradźwiękowych, na rynku dostępnych jest stosunkowo mało specjalizowanych front-endów przeznaczonych do tego typu aplikacji. O ile w tańszych, szeroko rozpowszechnionych urządzeniach (takich jak niedrogie moduły dalmierzy ultradźwiękowych stosowanych np. w robotyce amatorskiej, czy też akcesoryjne zestawy samochodowych czujników parkowania) są zwykle słabo udokumentowane układy scalone ASIC, to dla aplikacji profesjonalnych tego typu rozwiązania zdecydowanie nie będą najlepszym wyborem. Z pomocą przychodzi tutaj firma Texas Instruments, która jako jedyna opracowała dość szerokie portfolio ultradźwiękowych układów AFE, co więcej – znajdziemy wśród nich zarówno układy peryferyjne (**tabela 1**), jak i specjalistyczne mikrokontrolery z wbudowanym AFE ultradźwiękowym (**tabela 2**).

TUSS4440

Schemat funkcjonalny układu TUSS4440 zaprezentowano na **rysunku 5**. Front-end jest przeznaczony do pracy w miernikach odległości, poziomu cieczy/mediów stałych czy też pozycji i bazuje na stosunkowo prostym układzie analogowym, połączonym z cyfrowym kontrolerem konfiguracyjnym, wyposażonym w interfejs SPI. AFE wspiera częstotliwości nadawcze w zakresie od 40 kHz do 400 kHz.

Tor odbiorczy

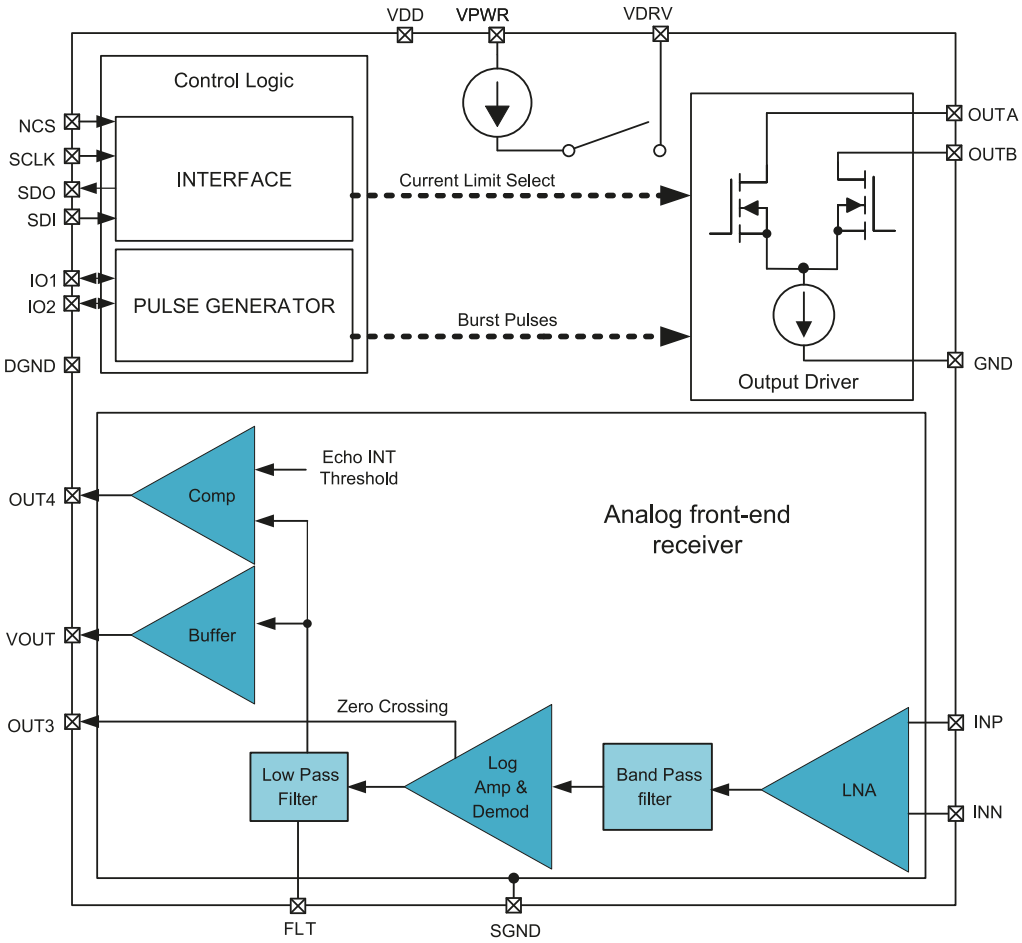
Tor kondycjonowania sygnałów echa (**rysunek 6**) ma swój początek w postaci wzmacniacza niskoszumnego (LNA) o wzmocnieniu regulowanym cyfrowo w sekwencji 10/12,5/15/20 V/V, za którym znajduje się filtr BPF o wzmocnieniu w paśmie przepustowym równym 0,9 V/V. Charakterystykę filtru w dość szerokim zakresie kształtuje kilka pól bitowych, zawartych w rejestrach BPF_CONFIG_1 i BPF_CONFIG_2: dobroć można ustawić na wartość 2, 3, 4 lub 5, zaś częstotliwość środkową ustala się za pomocą sześciu najmłodszych bitów BPF_HPF_FREQ rejestru BPF_CONFIG_1. Front-end umożliwia wprowadzenie niewielkiego przesunięcia częstotliwości środkowej względem ustawień dokonanych za pomocą BPF_HPF_FREQ, co dodatkowo rozszerza zakres strojenia. Istnieje także możliwość wyłączenia funkcji BPF i wykorzystania bloku prostego filtru górnoprzepustowego (HPF)

eprasa.pl d8e2d0846e

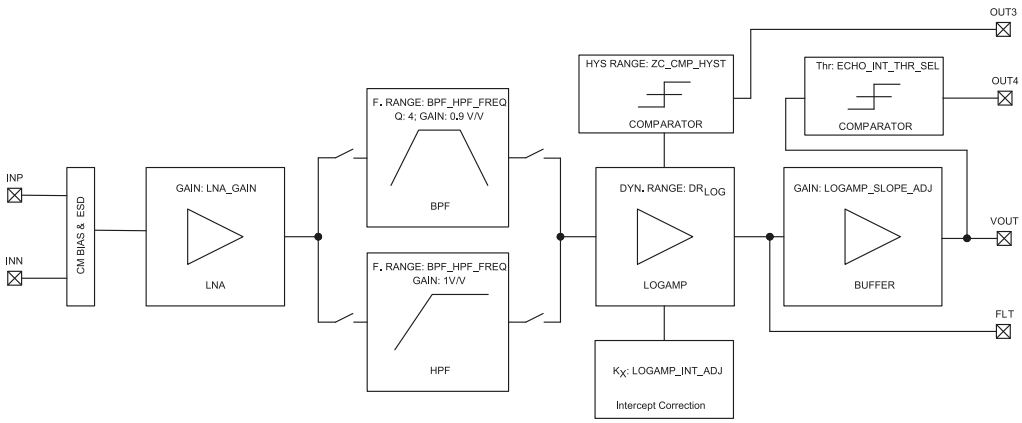
o częstotliwości granicznej 50, 100, 200 lub 400 kHz i wzmocnieniu w paśmie przepustowym 1 V/V.

Najważniejszą częścią toru odbiorczego TUSS4440 jest wzmacniacz logarytmiczny, pełniący też rolę demodulatora. Konstrukcja bloku opiera się na wielostopniowym układzie wzmacniaczy, z których pierwszy i/lub ostatni mogą być wyłączone w celu obniżenia poboru mocy. Zastosowanie charakterystyki logarytmicznej jest nieprzypadkowe – dzięki takiemu zabiegowi silne sygnały echa (uzyskane ze względu na małą odległość od przeszkody oraz niskie tłumienie fal przez jej materiał) są wzmacniane w znacznie mniejszym stopniu, niż nawet bardzo słabe sygnały spowodowane dużą odległością mierzoną i/lub silnym tłumieniem (**rysunek 7**). Użycie tego typu wzmacniacza jest zatem prostym i efektywnym rozwiązaniem, mającym na celu ominięcie konieczności stosowania układu AGC – wzmacniacz automatycznie dostosowuje wzmocnienie do amplitudy sygnałów otrzymanych z przetwornika odbiorczego (a ściślej rzecz biorąc – z wyjścia filtra BPF/HPF). Pęk charakterystyk przejściowych toru odbiorczego w zależności od włączenia poszczególnych stopni wzmocnienia zaprezentowano na **rysunku 8**.

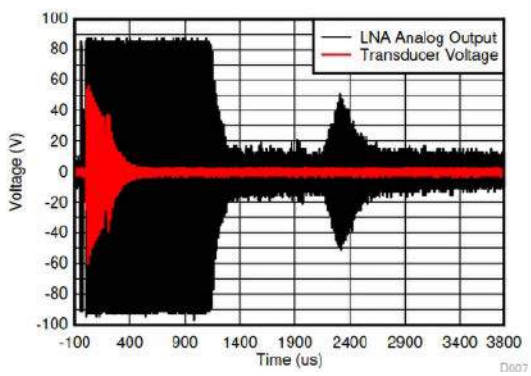
Co ciekawe, do dyspozycji użytkownika jest także kilka dodatkowych ustawień wzmacniacza logarytmicznego. Pole bitowe LOGAMP_SLOPE_ADJ umożliwia modyfikację nachylenia charakterystyki przejściowej przy zachowaniu (w przybliżeniu) tego samego poziomu napięcia początkowego.



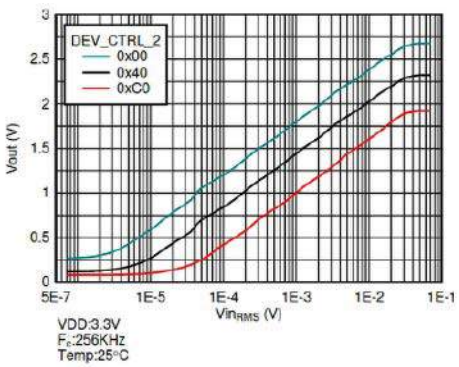
Rysunek 5. Schemat funkcjonalny front-endu TUSS4440 (źródło: dokumentacja producenta)



Rysunek 6. Tor kondycjonowania sygnałów echa we front-endzie TUSS4440 (źródło: dokumentacja producenta)

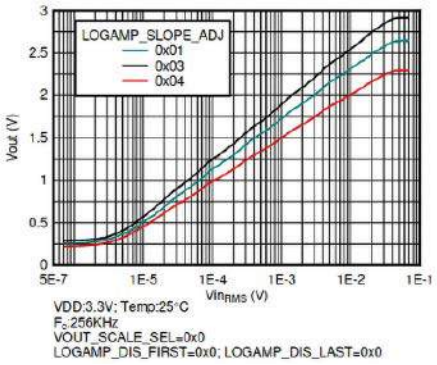


Rysunek 7. Przykładowe przebiegi napięcia na przetworniku odbiorczym (czerwony) i wyjściu wzmacniacza logarytmicznego (czarny) na przykładzie front-endu PGA460. Źródło: https://t.ly/CoXb

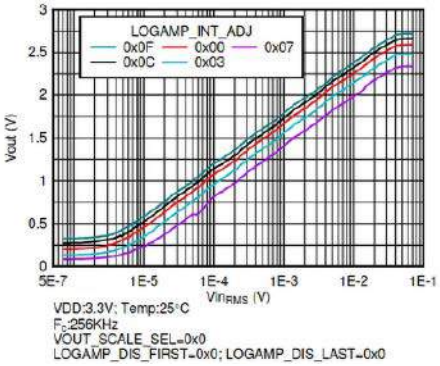


Rysunek 8. Porównanie charakterystyk przejściowych toru odbiorczego TUSS4440 dla różnych ustawień pola bitowego, odpowiedzialnego za włączanie/wyłączanie pierwszego i ostatniego stopnia wzmocnienia (źródło: dokumentacja producenta)

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 9. Porównanie funkcji przejściowych toru odbiorczego TUSS4440 dla różnych ustawień nachylenia charakterystyki (źródło: dokumentacja producenta)



Rysunek 10. Porównanie funkcji przejściowych toru odbiorczego TUSS4440 dla różnych ustawień przesunięcia charakterystyki (źródło: dokumentacja producenta)

Z kolei bity LOGAMP_INT_ADJ pozwalają na przesunięcie całej charakterystyki – stosowne wykresy zaprezentowano na **rysunkach 9** i **10**. Niezwykle użyteczną funkcją jest skalowanie napięcia wyjściowego, zrealizowane za pomocą bitu VOUT_SCALE_SEL znajdującego się w rejestrze DEV_CTRL_2. Ustawienie logicznego zera mapuje zakres VOUT na zakres do 3,3 V, zaś logiczna jedynka wymusza przeskalowanie do 5,0 V. Takie rozwiązanie znakomicie ułatwia dopasowanie układu do zewnętrznego przetwornika ADC, zwalniając konstruktora z konieczności stosowania dodatkowego wzmacniacza lub tłumika sygnałowego.

Do dyspozycji użytkownika są trzy wyjścia – oprócz głównego (VOUT) można skorzystać także z linii:

- **OUT3** – wyjście komparatora wykrywającego przejścia przez zero w sygnale echa. Umożliwia pomiar częstotliwości w celu zweryfikowania, czy dany przebieg faktycznie jest sygnałem echa wiązki nadanej przez front-end, czy też zakłóceń zewnętrznych z innego źródła;
- **OUT4** – wyjście komparatora przeznaczonego do detekcji echa, tj. sygnału o amplitudzie przekraczającej poziom ustalony za pomocą bitów ECHO_INT_THR_SEL.

Dodatkowe wyprowadzenie FLT umożliwia natomiast podłączenie kondensatora współpracującego z filtrem dolnoprzepustowym, znajdującym się na wyjściu wzmacniacza logarytmicznego.

Tor nadawczy

Front-end TUSS4440 jest zaprojektowany w sposób umożliwiający współpracę z przetwornikiem nadawczym za pośrednictwem miniaturowego transformatora, dopasowującego impedancję oraz podwyższającego poziom napięcia wysterowania nadajnika. Tego typu elementy, określane często mianem *IFT transformer* (**fotografia 3**), są powszechnie spotykane w wielu urządzeniach bazujących na przetwornikach ultradźwiękowych (m.in. w dopplerowskich monitorach tętna płodu, czujnikach parkowania – **fotografia 4**, itp.).

Stopień wyjściowy (**rysunek 11**) został zrealizowany za pomocą dwóch tranzystorów FET w topologii low-side (otwarty dren), współpracujących z cyfrowo przestrajanym źródłem prądowym. Środkowy odczep uzwojenia pierwotnego transformatora należy podłączyć do linii VDRV, wraz z kondensatorem pełniącym rolę zasobnika energii. Kondensator ten jest ładowany cyklicznie przez wbudowane źródło prądowe, zasilane z napięcia podłączonego do pinu VPWR, zaś proces ładowania jest sterowany przez wewnętrzny kontroler według wartości bitów VDRV_VOLTAGE_LEVEL (poziom napięcia), VDRV_CURRENT_LEVEL (natężenie prądu) oraz VDRV_HI_Z (zezwolenie na działanie układu regulatora). Takie dość nietypowe rozwiązanie umożliwia bardzo prostą konwersję napięcia zasilania „w dół", bez konieczności stosowania przetwornicy DC/DC lub nieefektywnego stabilizatora liniowego, a dodatkowo – zabezpiecza wyjścia OUTA/OUTB przed przeciążeniem, które mogłoby mieć miejsce w niektórych niekorzystnych konfiguracjach układowych.



Fotografia 3. Przykładowy transformator IFT – TS7231-2 marki Osenon Technology (https://t.ly/-UPQ)

Kontroler stopnia wyjściowego obsługuje cztery tryby generowania paczek impulsów, określane jako IO_MODE0...3 i ustawiane za pomocą dedykowanego pola bitowego w rejestrze DEV_CTRL_3.

- W trybie **IO_MODE0** (**rysunek 12**) start nadawania ma miejsce po ustawieniu przez układ nadrzędny (zwykle mikrokontroler) bitu CMD_TRIGGER w rejestrze TOF_CONFIG. Następnie układ oczekuje impulsów na linii IO2 i – począwszy od pierwszego zbocza opadającego – zlicza kolejne okresy sygnału. Po wysłaniu impulsów w liczbie równej nastawie pola bitowego BURST_PULSE (lub po wyzerowaniu bitu CMD_TRIGGER) układ kończy procedurę nadawania i przechodzi w tryb nasłuchu;
- Tryb **IO_MODE1** (**rysunek 13**) jest zbliżony do poprzednio omówionego z tą różnicą, że rolę bitu CMD_TRIGGER pełni sprzętowa linia IO1;
- W trybie **IO_MODE2** (**rysunek 14**) sygnałem zezwolenia na wygenerowanie paczki nadawczej jest pierwsze zbocze opadające na którejkolwiek z linii IO1 lub IO2, zaś właściwy początek nadawania ma miejsce w momencie pierwszego, następującego po nim zbocza na linii IO1. W tym trybie – który można by kolokwialnie określić jako „manualny" – użytkownik musi sam podać naprzemienne serie impulsów w odpowiedniej fazie, które zostaną „bezpośrednio" przesłane do wyjść OUTA/B. Co ważne – w tym przypadku to do użytkownika należy dopilnowanie, by w żadnym momencie nie panował stan wysoki jednocześnie na obu

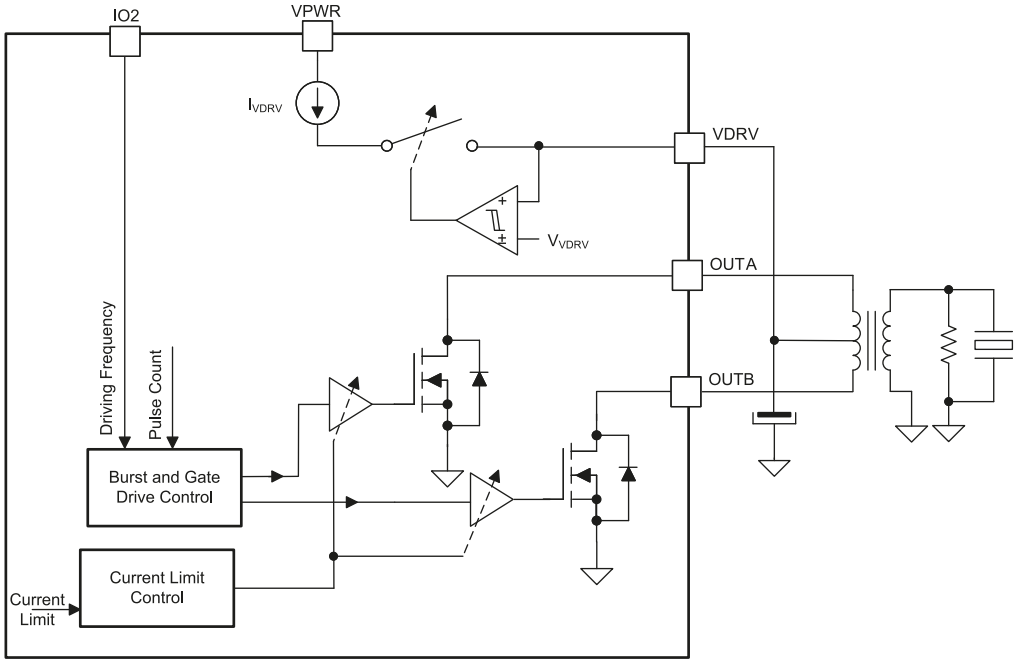


Fotografia 4. PCB systemu czujników parkowania z widocznymi transformatorami IFT przeznaczonymi do obsługi czterech kanałów pomiarowych (https://t.ly/Kdza)

eprasa.pl d8e2d0846e

wejściach IO1/2 (w myśl zasady *break-before-make*). Na szczęście, nowoczesne mikrokontrolery (np. STM32) są w stanie z łatwością wygenerować odpowiednie sygnały sterujące z zachowaniem krótkiego okresu przerwy pomiędzy impulsami dodatnimi. W tym trybie pracy wbudowany licznik cykli jest nieaktywny;

- Najprostszy ze wszystkich czterech trybów pracy – **IO_MODE3** (**rysunek 15**) – polega na podaniu paczki impulsów tylko na wejście IO2 – pierwsze zbocze opadające rozpoczyna procedurę i uruchamia zliczanie, zaś po odliczeniu zadanej liczby cykli, wyjścia są przełączane w tryb nieaktywny.

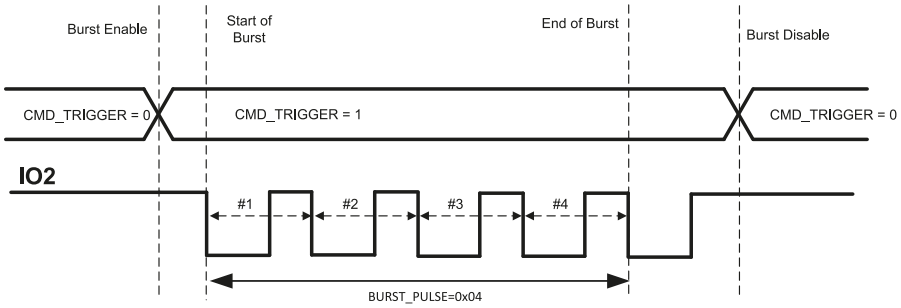


Rysunek 11. Stopień wyjściowy front-endu TUSS4440 (źródło: dokumentacja producenta)

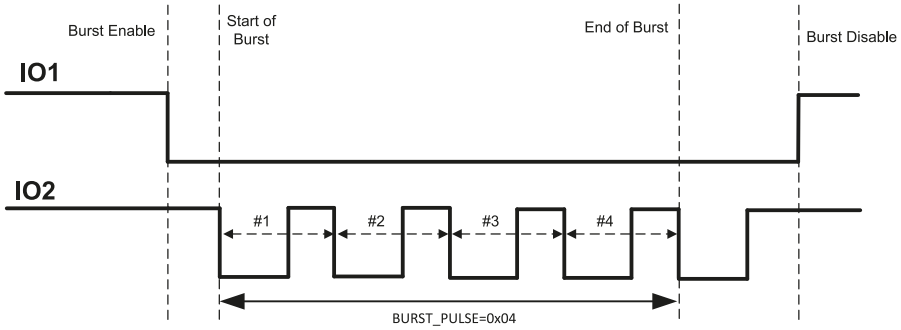
Warto dodać, że konieczność podania sygnału taktującego z zewnętrznego źródła, wbrew pozorom, nie stanowi utrudnienia implementacyjnego, lecz sporą zaletę – zastosowanie stabilnego źródła (np. timera sprzętowego mikrokontrolera, taktowanego dobrym rezonatorem kwarcowym lub TCXO) – pozwala bardzo precyzyjnie ustalić częstotliwość w taki sposób, by przetwornik nadawczy pracował najbardziej efektywnie (tj. najbliżej swojej częstotliwości rezonansowej). Dla ścisłości należy dodać, że nic nie stoi na przeszkodzie, by front-end TUSS4440 był stosowany w urządzeniu z jednym tylko przetwornikiem ultradźwiękowym, pełniącym zarówno rolę nadajnika, jak i odbiornika – trzeba jedynie zastosować odpowiednią sieć RC pomiędzy przetwornikiem, a wejściem toru odbiorczego (**rysunek 16**). Jej zadaniem będzie bowiem stłumienie sygnału do poziomu bezpiecznego dla czułego wejścia LNA.

TUSS4470

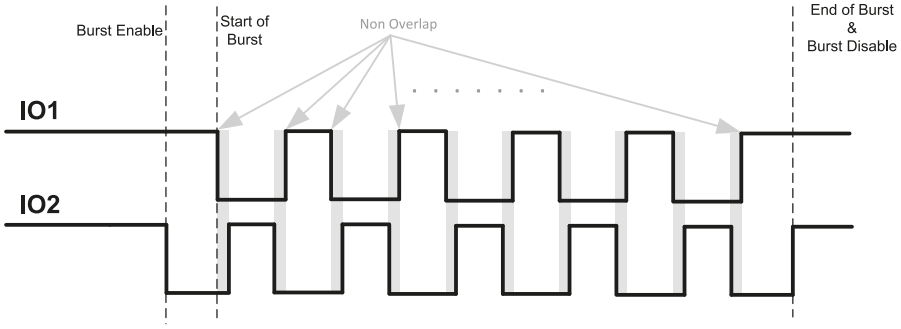
Układ TUSS4470 jest w znacznej części funkcjonalnym odpowiednikiem front-endu TUSS4440 – z tą różnicą, że w pierwszym z wymienionych mamy do czynienia z wyjściem w postaci pełnego mostka H, nie zaś dwóch tranzystorów w konfiguracji otwartego drenu. Takie rozwiązanie umożliwia bezpośrednie wysterowanie przetwornika ultradźwiękowego bipolarnym napięciem w zakresie ±20 V (w przypadku zastosowania wbudowanego regulatora z zewnętrznym kondensatorem). Uproszczenie układu – spowodowane brakiem induktora IFT (**rysunek 17**) – jest zatem okupione niższym zakresem amplitud w porównaniu do rozwiązania z transformatorem podwyższającym, jednak istnieje możliwość obejścia tego problemu. Producent przewidział bowiem tryb pracy nazwany *pre-driver*, w którym wyjścia mostka H umożliwiają uzyskanie napięć odpowiednio wysokich (lecz wciąż bezpiecznych) dla bramek zewnętrznych MOSFETów lub obwodów baza-emiter tranzystorów BJT. Przykład zastosowania front-endu do sterowania zewnętrznym transformatorem



Rysunek 12. Tryb IO_MODE0 front-endu TUSS4440 (źródło: dokumentacja producenta)



Rysunek 13. Tryb IO_MODE1 front-endu TUSS4440 (źródło: dokumentacja producenta)



Rysunek 14. Tryb IO_MODE2 front-endu TUSS4440 (źródło: dokumentacja producenta)

eprasa.pl d8e2d0846e

(bo i taka możliwość istnieje w przypadku TUSS4470) zaprezentowano na **rysunku 18**.

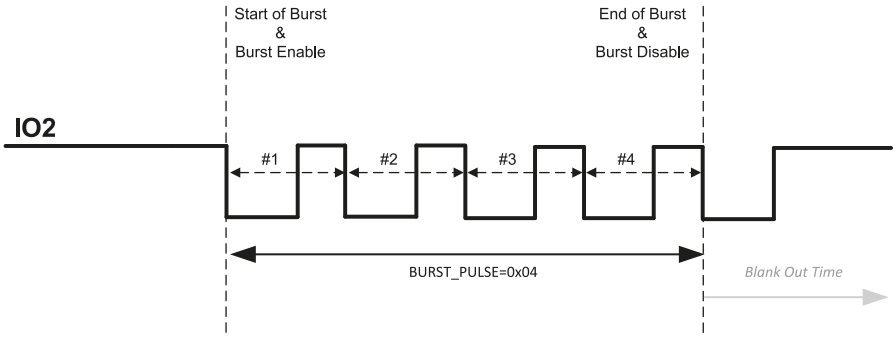
TDC1000

W ofercie Texas Instruments znalazł się także znacznie bardziej rozbudowany układ TDC1000, przeznaczony do różnego typu pomiarów ultradźwiękowych w zakresie częstotliwości od 31,25 kHz aż do 4 MHz. Schemat blokowy front-endu zaprezentowano na **rysunku 19**.

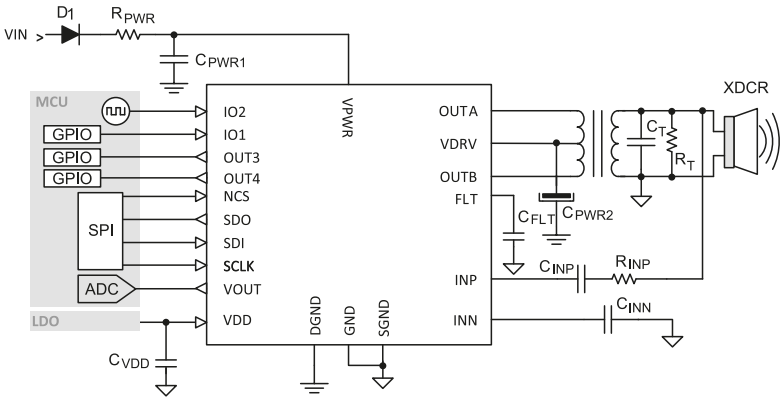
TDC1000 jest front-endem dwukanałowym – wspiera podłączenie dwóch par przetworników RX/TX lub jednej pary przetworników dwufunkcyjnych. Co więcej – zdublowane są nawet wejścia przeznaczone do współpracy z czujnikami temperatury typu RTD (termorezystorami PT1000 lub PT500), niezbędnymi do dokładnej kalibracji systemu pomiarowego. Także w tym przypadku mamy do czynienia z układem, który sam w sobie nie realizuje pomiaru czasu przelotu wiązki (TOF – *Time Of Flight*) – ten etap procedury pomiarowej musi być wykonany przez zewnętrzny mikrokontroler lub FPGA (choć w przypadku aplikacji wymagających najwyższej dokładności oraz rozdzielczości producent zaleca użycie specjalnie do tego celu stworzonego układu TDC7200, pełniącego rolę przetwornika czas-częstotliwość, czyli… bardzo precyzyjnego stopera).

W przypadku układu TDC1000 producent zrezygnował z implementacji wewnętrznych filtrów analogowych oraz wzmacniacza logarytmicznego. Zamiast tego w torze odbiorczym front-endu znalazły się dwa wzmacniacze: LNA (o wzmocnieniu 20 dB) oraz PGA (ustawiany w sekwencji 0-3-6-9-12-15-18-21 dB), przy czym każdy z nich może być wyłączony w razie potrzeby. Co więcej, zamiast bezpośredniego połączenia kaskadowego obu bloków, użytkownik ma do dyspozycji osobne piny zapewniające dostęp do wyjścia LNA (LNAOUT), oraz wejścia i wyjścia PGA (odpowiednio – PGAIN, PGAOUT) oraz wejścia bloku wewnętrznych komparatorów (COMPIN). Takie rozwiązanie daje sporą elastyczność układową, rzecz jasna za cenę zwiększenia liczby komponentów pasywnych. Przykładowo, zalecany przez inżynierów TI filtr pasmowoprzepustowy na wyjściu PGAIN ma postać pokazaną na **rysunku 20**.

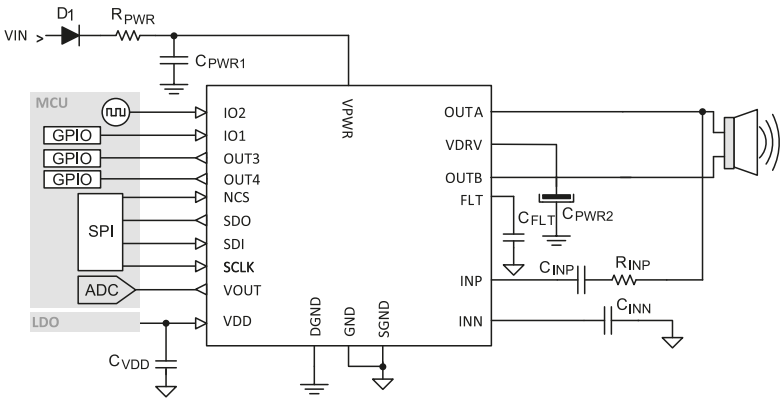
Sekcja komparatorów – podobnie jak w przypadku poprzednio opisanych front-endów – składa się z dwóch bloków: komparatora głównego, stosowanego do detekcji sygnału echa (w tym przypadku komparator współpracuje z przestrajanym odniesieniem w postaci przetwornika DAC) oraz drugiego komparatora, służącego do wykrywania przecięć zera w sygnale wyjściowym PGA (lub – ściślej rzecz ujmując – filtra pasmowoprzepustowego włączonego między PGAOUT a COMPIN). Producent zastosował dość ciekawe rozwiązanie, znakomicie ułatwiające zarówno implementację samego AFE, jak i wszelkich obwodów zewnętrznych – linia VCOM udostępnia napięcie z wbudowanego bufora. Układ ten można utożsamiać z prostą, sztuczną masą o potencjale równym połowie napięcia zasilania, choć do „prawdziwej" sztucznej masy dość mu daleko – maksymalna obciążalność prądowa tej linii wynosi bowiem zaledwie 20 µA. Co ważne, obydwa komparatory



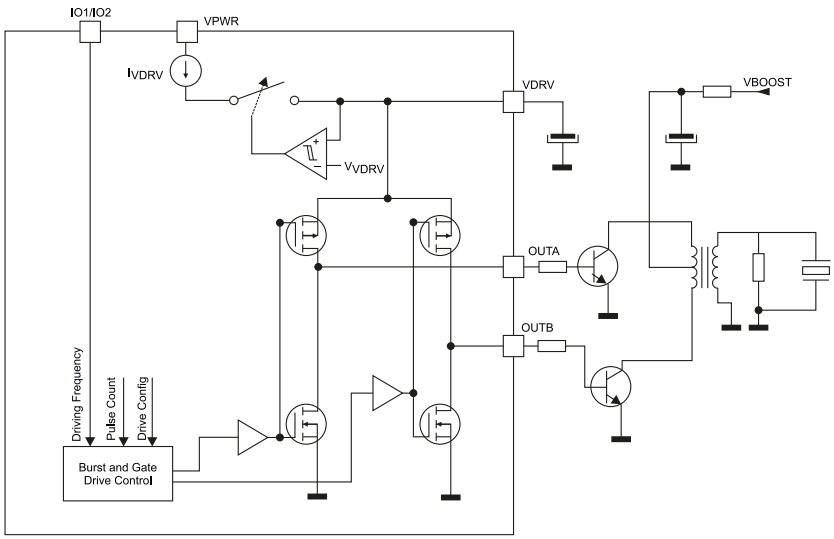
Rysunek 15. Tryb IO_MODE3 front-endu TUSS4440 (źródło: dokumentacja producenta)



Rysunek 16. Schemat aplikacyjny front-endu TUSS4440 z jednym przetwornikiem dwufunkcyjnym (źródło: dokumentacja producenta)



Rysunek 17. Schemat aplikacyjny front-endu TUS4470 z bezpośrednim sterowaniem przetwornika nadawczo-odbiorczego (źródło: dokumentacja producenta)

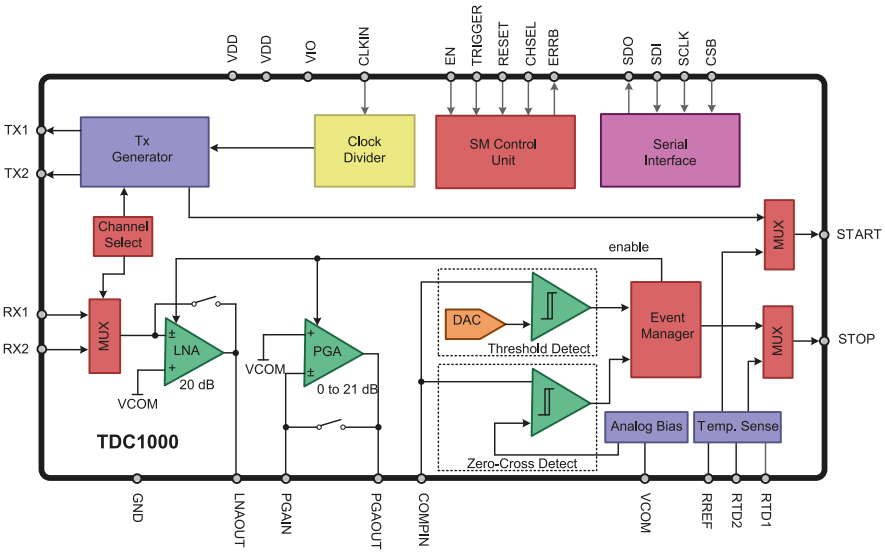


Rysunek 18. Przykład wykorzystania front-endu TUSS4470 do sterowania przetwornikiem nadawczym przez transformator podwyższający, zasilany z zewnętrznego napięcia VBOOST o wartości przekraczającej poziom VPWR (źródło: dokumentacja producenta)

eprasa.pl d8e2d0846e

są automatycznie zerowane w każdym cyklu pomiarowym (jeszcze przed etapem nasłuchiwania echa).

Wyjścia obu komparatorów są skierowane do bloku event manager, bazującego na maszynie stanów i odpowiedzialnego za generowanie sygnałów STOP w zależności od aktualnie wybranego trybu pracy. Po wykryciu przekroczenia przez sygnał wejściowy komparatorów (COMPIN) określonego progu (V_{THLD}), zaprogramowanego za pomocą przetwornika DAC, maszyna stanów przechodzi w tryb oczekiwania na przejście przez zero – po wystąpieniu takiego stanu natychmiast ustawiany jest stan wysoki na wyjściu STOP (**rysunek 21**). Rozwiązanie to pozwala zwiększyć dokładność czasową pomiaru, która bezpośrednio przekłada się na minimalizację błędu odczytu właściwej wielkości mierzonej (np. odległości czy też prędkości propagacji ultradźwięków w badanym ośrodku).

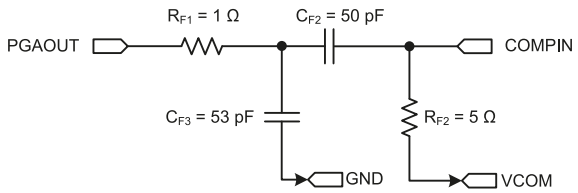


Rysunek 19. Uproszczony schemat blokowy front-endu TDC1000 (źródło: dokumentacja producenta)

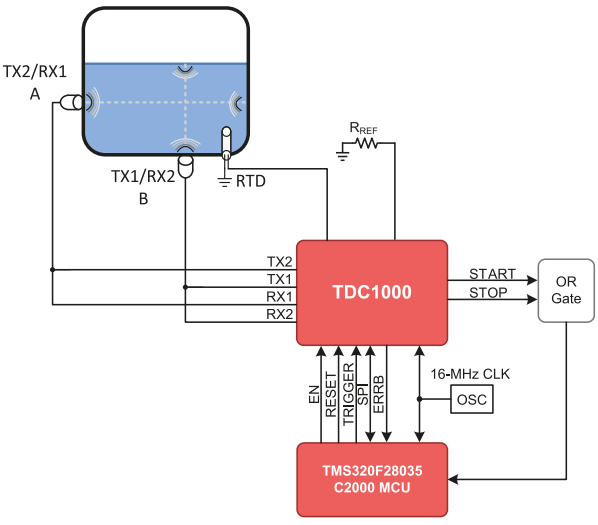
Front-end TDC1000 oferuje trzy tryby pomiaru (*Mode 0*, *Mode 1*, *Mode 2*), różniące się liczbą i sposobem podłączenia przetworników oraz działaniem maszyny stanów:

- Tryb *Mode 0* jest przeznaczony do pomiarów poziomu cieczy oraz stężenia substancji w znanych roztworach (względnie – do identyfikacji rodzaju tychże roztworów), przy czym ten sam odbiornik wykorzystuje się do nadawania sygnałów oraz – chwilę później – do odbierania ich echa. Po zakończeniu cyklu pomiarowego układ przechodzi w tryb uśpienia (SLEEP). Warto dodać, że nomenklatura zastosowana przez TI do określenia trybów pracy może wydawać się nieco myląca, bowiem oznaczenia linii wejściowych i wyjściowych służących do podłączenia przetworników są ze sobą niejako zamienione – linia RX1 służy do odbioru paczek impulsów wysłanych przez TX2 i odwrotnie (!).

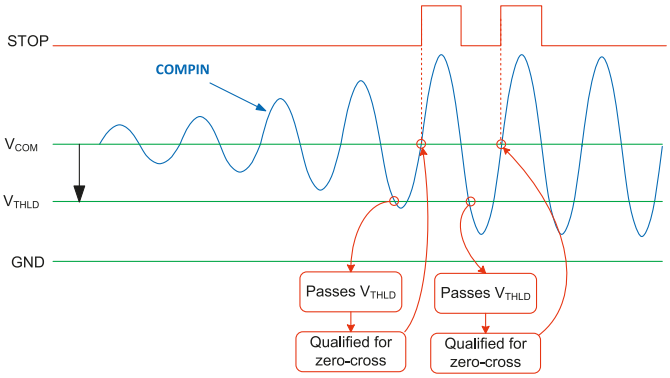
  W przypadku pomiaru poziomu cieczy w zbiorniku, przetwornik może być zamontowany w jego dnie – dzięki różnicy impedancji akustycznej, odbicie fali nastąpi po natrafieniu przez ultradźwięki na granicę ośrodków (ciecz-powietrze). Taką konfigurację reprezentuje ustawiony pionowo przetwornik na **rysunku 22**. Jeżeli natomiast celem pomiaru ma być określenie stężenia substancji w roztworze (czy też jego identyfikacja jako taka) – parametrem niezmiennym powinna być długość drogi przebywanej przez falę, zaś mierzoną niewiadomą – prędkość fali w ośrodku. Do tego celu służy pokazany na **rysunku 21** przetwornik skierowany poziomo na przeciwległą ściankę zbiornika;
- W trybie *Mode 1* użytkownik może podłączyć do front-endu jedną parę przetworników (odbiornik/nadajnik) lub dwie pary, przy czym numery linii RX/TX są spójne i logiczne (RX1 odbiera impulsy z TX1, zaś RX2 – z TX2);



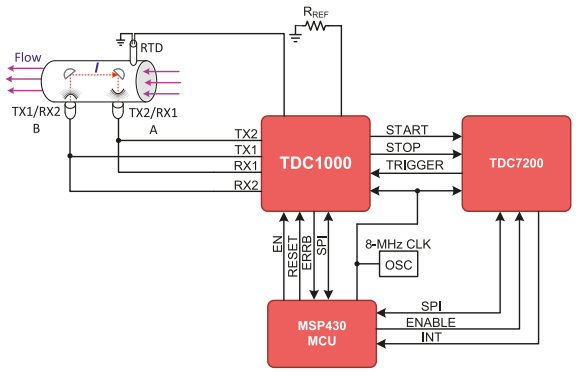
Rysunek 20. Schemat przykładowego pasmowoprzepustowego filtru RC zalecanego przez producenta w przypadku pracy z przetwornikami o częstotliwości 1 MHz (źródło: dokumentacja producenta TDC1000)



Rysunek 22. Konfiguracja układu do pomiaru poziomu i stężenia roztworu w zbiorniku (źródło: dokumentacja producenta TDC1000)

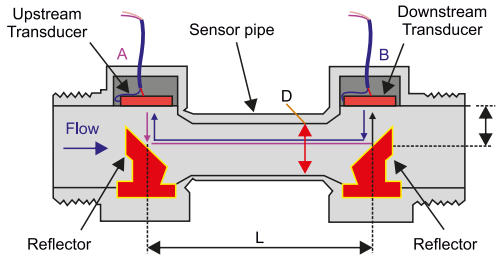


Rysunek 21. Sposób kwalifikacji przejść przez zero w układzie TDC1000 (źródło: dokumentacja producenta)

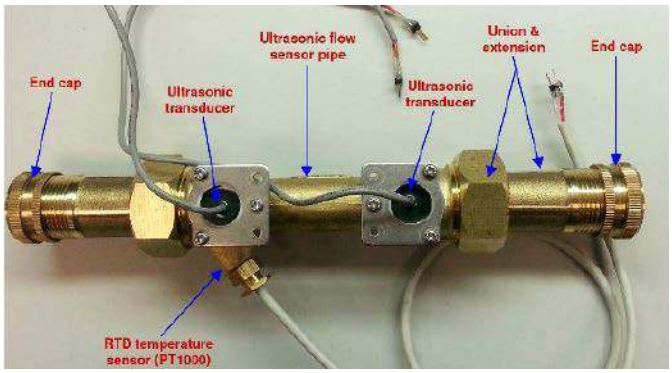


Rysunek 23. Konfiguracja układu do pomiaru prędkości przepływu (źródło: dokumentacja producenta TDC1000)

eprasa.pl d8e2d0846e



Rysunek 24. Uproszczony przekrój ultradźwiękowego przepływomierza bazującego na metodzie TOF. Zaznaczone kolorem czerwonym (z kreskowaniem) reflektory odbijają falę pomiędzy przetwornikami A i B. Źródło: https://t.ly/1NGQ



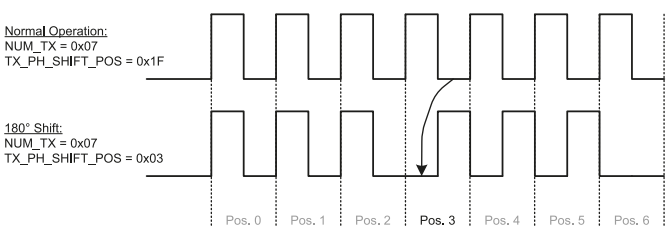
Fotografia 5. Przykładowy przepływomierz ultradźwiękowy marki Audiowell (https://t.ly/1NGQ)

- W trybie *Mode 2* można realizować pomiary prędkości przepływu, w których dwa przetworniki (oznaczmy je literami A i B) są stosowane „krzyżowo", tzn. sygnał z przetwornika A jest odbierany przez B (pracujący wtedy w roli odbiornika), zaś w kolejnej części procedury przetwornik B nadaje sygnał, którego nasłuchuje element A. W tym przypadku po zakończeniu procedury pomiarowej układ pozostaje w trybie gotowości (READY). Co więcej: użytkownik może użyć funkcji uśredniania, która w rzeczywistości powtarza jedynie procedurę pomiaru TOF w liczbie określonej przez pole bitowe NUM_AVG (natomiast rzeczywiste uśrednienie pomiarów i tak wykonać musi zewnętrzny procesor). W przypadku, gdy bit CH_SWP w rejestrze CONFIG_2 jest ustawiony, układ dokonuje zamiany kanałów pomiarowych w każdym z kolejnych cykli zliczanych w ramach danej procedury pomiarowej.

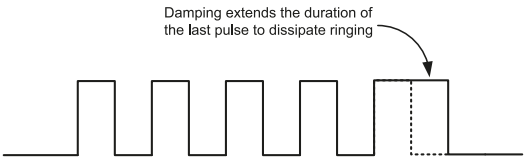
Schemat koncepcyjny pomiaru prędkości przepływu metodą TOF z użyciem front-endu TDC1000 zaprezentowano na **rysunku 23**, zaś przekrój oraz rzeczywisty widok przykładowego zespołu pomiarowego – odpowiednio – na **rysunku 24** i **fotografii 5**.

Warto dodać, że generator impulsów nadawczych układu TDC1000 oferuje dwie dodatkowe funkcje, pozwalające częściowo stłumić rezonans własny przetwornika nadawczego:

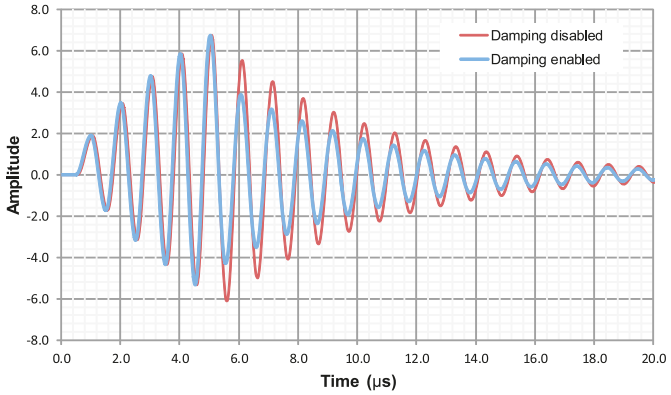
- **Przesunięcie fazy** – ustawienie pola bitowego TX_PH_SHIFT_POS w rejestrze CONFIG_4 umożliwia wprowadzenie przesunięcia fazy sygnału generowanego na liniach TX1 i/lub TX2 o 180° w ściśle określonym momencie nadawania paczki impulsów (**rysunek 25**).



Rysunek 25. Ilustracja działania funkcji przesuwania fazy w paczce impulsów nadawczych frontendu TDC1000 (źródło: dokumentacja producenta)



Rysunek 26. Ilustracja działania funkcji tłumienia nadajnika front-endu TDC1000 w przypadku paczki o długości 5 impulsów (źródło: dokumentacja producenta)



Rysunek 27. Przebieg czasowy sygnału nadajnika ultradźwiękowego bez włączonej funkcji tłumienia (czerwony) oraz z włączoną funkcją (niebieski). Źródło: dokumentacja producenta TDC1000

Według producenta taki zabieg pozwala w niektórych sytuacjach częściowo skrócić czas wyłączania nadajnika. Producent zaleca unikanie ustawienia TX_PH_SHIFT_POS na wartości 0 lub 1 – liczba 31 powoduje natomiast całkowite wyłączenie tej funkcji.

- **Tłumienie nadajnika** – druga z omawianych funkcji może być włączona za pomocą bitu DAMPING, znajdującego się w rejestrze CONFIG_2. W efekcie ustawienia ww. bitu, nadajnik przedłuży ostatni impuls z paczki nadawczej, co sprawi, że przetwornik – kolokwialnie rzecz ujmując – częściowo „wypadnie z rytmu", narzuconego przez częstotliwość nadawania, zbliżoną do jego własnej częstotliwości rezonansowej (**rysunek 26**). Efektem tego pozornie mało znaczącego zabiegu jest natychmiastowy, wyraźny spadek amplitudy drgań gasnących (**rysunek 27**). Warto dodać, że producent uczciwie przyznaje, iż uruchomienie obu funkcji jednocześnie (przesunięcie fazy i tłumienie nadajnika) może doprowadzić do niewłaściwego zachowania front-endu – podobnie zresztą, jak zastosowanie funkcji *damping* w przypadku paczek o długości 31 impulsów.

Podsumowanie

Pomiary ultradźwiękowe wiążą się z koniecznością zastosowania szeregu technik układowych, pozwalających na poprawę czułości, rozdzielczości i dokładności pomiarowej także w warunkach niesprzyjających – zwłaszcza przy silnym tłumieniu sygnału echa przez ośrodek i/lub powierzchnię odbijającą wiązkę ultradźwięków. Warto zwrócić uwagę na fakt, że wszystkie opisane sposoby bazują na jednej tylko metodologii – pomiarze czasu przelotu wiązki (TOF) – co doskonale pokazuje, jak szerokie spektrum aplikacji pokrywa umiejętne zastosowanie tak prostej metody w praktyce.

Zaprezentowany w tym odcinku *Poradnika Implementacji* materiał na temat front-endów ultradźwiękowych marki Texas Instruments stanowi mocną podbudowę teoretyczną pod analizę bardziej zaawansowanych układów, bowiem dobre zrozumienie opisanych w artykule technik pomiarowych oraz funkcji i parametrów front-endów znacząco ułatwi poznanie bardziej zaawansowanych układów AFE z tej kategorii.

inż. Przemysław Musz, EP

[1] To samo zjawisko występuje w przypadku fali nadanej przez obiekt poruszający się względem obserwatora (układu pomiarowego).

eprasa.pl d8e2d0846e

koktajl niusów



Cyfrowa odsłona muzeum firmy Intel

Istniejące w amerykańskim Santa Clara (w stanie Kalifornia) muzeum firmy Intel można przez całą dobę zwiedzać w internecie – uczestnicy interaktywnej wycieczki mogą zdalnie spacerować i wchodzić w interakcję z eksponatami. Otwarte w 1983 roku muzeum jest miejscem, w którym można poznać historię firmy Intel i jej rozwiązania (technologie, układy itp.). Pomysł wirtualnego muzeum był realizowany od lat, niezależnie od pandemii COVID-19. Jak wyjaśnia kustosz muzeum Elizabeth Jones – historyk firmy Intel: „Byłoby wspaniale, gdyby nie trzeba było fizycznie odwiedzać naszej siedziby w celu doświadczenia wszystkiego, co muzeum firmy Intel ma do zaoferowania".

Firma Intel jest jedynym podmiotem Doliny Krzemowej, który ma muzeum na swój temat. Przed pandemią COVID-19 muzeum tej firmy odwiedzało ok. 85 tys. osób rocznie. Jest to dokładna prezentacja bogatej historii firmy Intel. Muzeum można wirtualnie zwiedzać pod adresem: https://virtualmuseum.intel.com

https://intel.ly/3adKH4Q



Scalony przełącznik PI7C9X3G1632GP obsługujący standard PCIe 3.0

Firma Diodes Incorporated wprowadziła do swojej oferty nowy, scalony przełącznik PI7C9X3G1632GP. Jest to układ standardu PCIe 3.0, który zapewnia konfigurację portów oraz linii danych. Jest złożony z 2 bloków, a każdy z nich zawiera 8 portów i szesnaście linii danych. Szerokość tych linii może być zmieniana. Przełącznik obsługuje SERDES (*Serializer/Deserializer*) przy 2...16 portach. Porty mogą być typu: upstream, downstream i cross-domain end-point (CDEP). Opóźnienia danych PCIe 3.0 są bardzo małe (poniżej 150 ns). Przełącznik obejmuje kanały DMA, a zintegrowany bufor zegarowy upraszcza proces wdrażania. Układ może pracować w temperaturze od –40 do 85°C a jego wymiary to: 27×27 mm (jest dostępny w obudowie FCBGA). Pracę PI7C9X3G1632GP nadzoruje wbudowany czujnik temperatury.

https://bit.ly/3R1hA5o



Nowe możliwości narzędzia myLists od Digi-Key Electronics

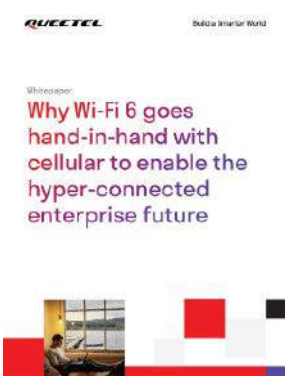
Należące do Digi-Key Electronics narzędzie myLists zostało rozszerzone o nowe funkcje. Jedną z nich są błyskawiczne wyceny zamówień. Narzędzie umożliwia szybki podgląd cen i dostępności produktów. Wprowadzona funkcja wyceny umożliwia przesyłanie listy w celu sprawdzenia stanu magazynowego (obowiązuje wtedy rezerwacja cen na 30 dni). Nowe możliwości myLists to m.in.:

- łatwy w użyciu interfejs do konwersji list na wyceny,
- możliwość ustawiania preferencji dla żądanych typów opakowań,
- opcja duplikacji wygasłej wyceny w celu aktualizacji cen,
- możliwość podania sześciu ilości dla każdego numeru katalogowego.

Jak wyjaśnia wiceprezes wykonawczy ds. operacyjnych Digi-Key Electronics, Linda Johnson: „Bardzo się cieszymy, że możemy wprowadzić jednolity system obsługi list dla użytkowników narzędzia myLists firmy Digi-Key Electronics. Klienci firmy mogą teraz pracować mądrzej korzystając z funkcji wycen w narzędziu myLists, mają wszystko w jednym wygodnym miejscu, mogą tworzyć wiele wycen na podstawie jednej listy części oraz mogą łatwo przekształcać wyceny w zamówienia online (...)". Narzędzie myLists jest dostępne pod adresem: https://www.digikey.pl/pl/mylists/

https://bit.ly/3nDzkXe

Krótki opis standardu Wi-Fi 6



Firma Quectel Wireless Solutions przygotowała zwięzły, anglojęzyczny dokument (typu whitepaper) wyjaśniający standard Wi-Fi 6. Tytuł tego dokumentu brzmi: *„Why Wi-Fi 6 goes hand-in-hand with cellular to enable the hyper-connected enterprise future"* („Standard Wi-Fi 6, a sieci 5G – przyszłość technologii dla przedsiębiorstw").

Dostępny od niedawna standard Wi-Fi 6 oferuje szybką wymianę danych przy małych opóźnieniach oraz

eprasa.pl d8e2d0846e

zapewnia wysoką liczbę sieci. Standardowi Wi-Fi 6 jest pisanych wiele zastosowań: np. aplikacje wideo o dużej przepustowości, sterowanie w przemyśle o natychmiastowych reakcjach, czy inteligentne domy o znacznych grupach połączeń (zwykle bezprzewodowych). Mimo sporych możliwości, standard Wi-Fi 6 nie jest jednak właściwy dla pewnych rozwiązań – są to m.in. terminale POS i kamery IP. Ponadto objęte tym standardem sieci często mają niedostateczny zasięg. Odległość między ich urządzeniami nie może być duża. Wsparcie pełnej mobilności jest tylko częściowe – o ile istnieje.

Aby obejść istniejące ograniczenia, Przemysł 4.0 i inteligentna produkcja próbują stosować standard Wi-Fi 6 wraz z dostępem do sieci 5G. Oba rozwiązania mają istotne zalety dla przedsiębiorstw. Jest to klucz do zrozumienia „*Why Wi-Fi 6 goes hand-in-hand with cellular to enable the hyper-connected enterprise future*". Dokument Quectel Wireless Solutions liczy 13 stron i jest on dostępny pod adresem: https://www.qu ectel.com/library/wifi-6-white-paper (wymagana jest rejestracja przed pobraniem dokumentu).

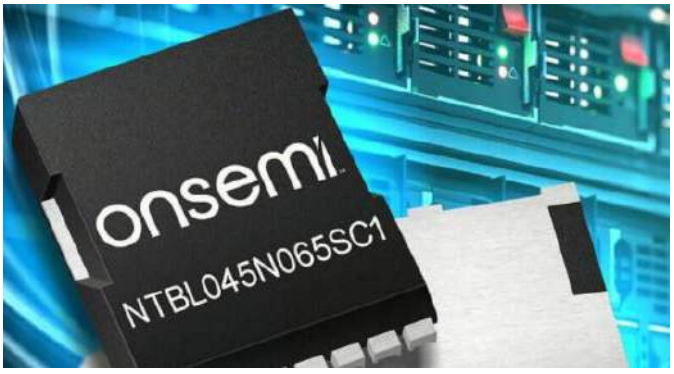
https://www.quectel.com/library/wifi-6-white-paper

Dwukanałowy sterownik TLD6098-2ES firmy Infineon Technologies dla samochodowych reflektorów LED



Oświetlenie LED staje się coraz ważniejsze w segmencie samochodów. Wie o tym doskonale firma Infineon Technologies, dlatego opracowała nowy, dwukanałowy sterownik typu TLD6098-2ES. Należy on do rodziny LITIX Power i obsługuje samochodowe reflektory LED. Zawiera obudowę PG-TSDSO-24 i pozwala zasilać kierunkowskazy i światła: drogowe, dzienne oraz mijania. Pozwala na obsługę tranzystorów PMOS, do regulacji jasności diod LED. Sterownik wspiera topologie: buck, boost, SEPIC i flyback. Dostępna w sterowniku modulacja widma rozproszonego znacząco poprawia parametry elektromagnetyczne. Sterowanie jasnością diod LED może odbywać się sygnałem analogowym bądź PWM. Szeroki zakres napięć wejściowych od 4,5 do 60 V zapewnia obsługę wielu rozwiązań. Produkty rodziny LITIX Power są przeznaczone m.in. dla zewnętrznego oświetlenia LED.

https://bit.ly/3yHc94I



Węglikowo-krzemowy tranzystor MOSFET firmy Onsemi w obudowie TOLL

Podczas targów PCIM Europe firma Onsemi (ON Semiconductor) zaprezentowała pierwszy węglikowo-krzemowy tranzystor MOSFET w obudowie TOLL (TO-Leadless) typu NTBL045N065SC1. Do niedawna bazujące na węgliku krzemu (SiC) podzespoły były dostarczane w dużych obudowach D2PAK. Mająca wymiary 9,9×11,68 mm obudowa TOLL zajmuje do 60% mniej miejsca niż wcześniejsze obudowy. Dzieje się to przy jej korzystnych parametrach (zmniejszona indukcyjność do 2 nH).

Jak wyjaśnia starszy wiceprezes i dyrektor generalny działu Advanced Power Division firmy Onsemi, Asif Jakwani: „Umieszczenie węglikowo-krzemowego tranzystora MOSFET w obudowie TOLL nie tylko zmniejsza ilość zajmowanego miejsca, ale i zwiększa wydajność. Otrzymaliśmy wysoce niezawodny i wytrzymały podzespół, który ma pomóc projektantom w tworzeniu obwodów zasilania".

Wyposażony w obudowę TOLL tranzystor NTBL045N065SC1 działa w temperaturze otoczenia do 175°C. Jego napięcie VDSS sięga 650 V. Jest to osiągane przy rezystancji RDS(on) poniżej 33 mΩ. Maksymalny prąd ID tranzystora wynosi 73 A, a ładunek QG(tot) to 105 nC. Tranzystory te przewidziano m.in. dla zasilaczy UPS i systemów magazynowania energii. Tranzystor nadaje się do rozwiązań o surowych normach sprawności, np. ErP lub 80 PLUS Titanium.

https://bit.ly/3OU6FJa



Mercusys MR80X – nowy, gigabitowy router firmy TP-Link z implementacją standardu Wi-Fi 6

Opracowany przez TP-Link router zapewnia szybkie połączenia standardu Wi-Fi 6 w domu. Jest to najnowsze, funkcjonalne rozwiązanie marki Mercusys. Dzięki implementacji standardu Wi-Fi 6, router zapewnia niezawodną łączność dla wielu urządzeń naraz. Przepustowość połączeń sięga 2976 Mb/s – jest to 574 Mb/s w paśmie 2,4 GHz oraz do 2402 Mb/s w paśmie 5 GHz. Dzieje się to przy technikach: MU-MIMO i OFDMA (do wydajnej transmisji danych) oraz z obsługą modulacji 1024-QAM. Za zasięg urządzenia odpowiadają 4 zewnętrzne anteny, które pozwalają na formowane wiązki dzięki technologii Beamforming.

Router ma 4 porty Gigabit Ethernet: 1× WAN i 3× LAN i pracuje jako punkt dostępowy – access point (AP). Dostępna funkcja Smart Connect odpowiada za wybór optymalnego pasma transmisji. Router charakteryzuje funkcja Airtime Fairness do promowania użytkowników przesyłających większą liczbę danych – starsze urządzenia nie powodują zmniejszenia przepustowości sieci Wi-Fi. Dzięki priorytetyzacji *Quality of Service* (QoS) można elastycznie zarządzać sieciami. Jest to osiągane przy funkcji *Target Wake Time* (TWT), która zmniejsza pobór mocy mobilnych rozwiązań (szczególnie IoT).

Router Mercusys MR80X implementuje standard szyfrowania WPA3, który zapewnia skuteczną ochronę przed cyberatakami. Dołączone do sieci urządzenia są zawsze bezpieczne. Dostępna jest kontrola rodzicielskia – można definiować pory dostępu do internetu dla niepełnoletnich osób. Urządzenie obejmuje trzyletnia gwarancja producenta. Więcej informacji pod adresem: https://www.mercusys.com/pl/product/details/mr80x.

https://www.mercusys.com/pl/product/details/mr80x

Mobilna aplikacja „eConnect TouchFree" firmy Toshiba z prestiżową nagrodą Stevie Award

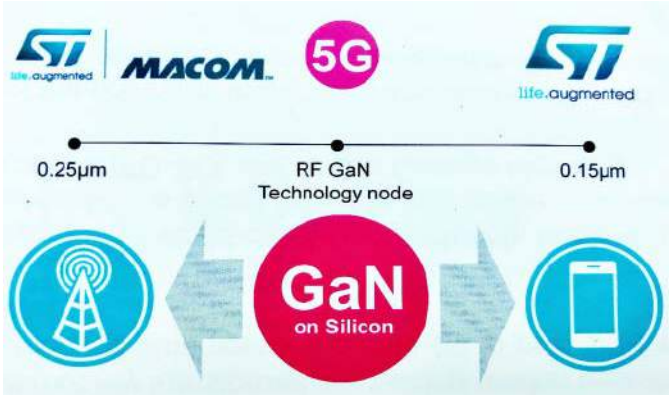
Nagrodzona aplikacja oferuje zdalny dostęp do drukarek wielofunkcyjnych e-STUDIO. Jest to rozwiązanie przewidziane na systemy operacyjne: Apple iOS i Android. Aplikacja jest w pełni darmowa, a jej obsługa nie nastręcza problemów. O tegoroczną nagrodę Stevie Award rywalizowało ponad 230 podmiotów ze świata.

eprasa.pl d8e2d0846e



Jak wyjaśnia prezes Stevie Awards, Maggie Gallagher Miller: „Jesteśmy zadowoleni, że możemy świętować osiągnięcia tak licznej grupy organizacji i osób. Nasi jurorzy byli szczególnie przychylni aplikacji firmy Toshiba, wierząc, że to ważny przełom". Aplikacja „eConnect TouchFree" jest świetnym wyborem dla szkół i firm. Korzysta z interfejsu „Office Collection e-STUDIO". Dzięki technologii Virtual Network Computer (VNC), użytkownicy mają dostęp m.in. do Elevate – firmowego interfejsu, który automatyzuje pracę. Dyrektor ds. marketingu produktów w dziale rozwiązań biznesowych firmy Toshiba, Tony Venice przyznaje, że: „Zespół Toshiby jest zachwycony zdobyciem jednej z najważniejszych nagród biznesowych na świecie! Organizacje w obu Amerykach naprawdę doceniają bezdotykowe możliwości zarządzania drukiem, skanowaniem oraz kopiowaniem".

https://bit.ly/3Ic3A4G



Udana produkcja prototypowych układów scalonych RF GaN-on-Si

Firmy MACOM i STMicroelectronics poinformowały o wytworzeniu pierwszych prototypowych układów scalonych RF GaN-on-Si. Jest to przełom w łączności 5G i 6G. Znajdująca się w prototypowych układach struktura – azotek galu (GaN) na krzemowym podłożu (Si) oferuje wyższą moc wyjściową od układów LDMOS (zwłaszcza we wzmacniaczach RF). Pierwsze układy RF GaN-on-Si już powstały. Układy te czekają na ocenę i docelową fabrykację.

Jak wyjaśnia dyrektor generalny podgrupy tranzystorów mocy i wiceprezes wykonawczy firmy STMicroelectronics, Edoardo Merli: „Wierzymy, że układy RF GaN-on-Si mogą skutecznie konkurować z technologią LDMOS. Komercjalizacja tych układów to kamień milowy naszej współpracy z firmą MACOM. Mamy nadzieję na pełne wykorzystanie układów RF GaN-on-Si". Słowa Merliego uzupełnia prezes i dyrektor generalny firmy MACOM, Stephen G. Daly: „Wspólnie podejmujemy działania w stronę komercjalizacji układów RF GaN-on-Si. Współpraca z STMicroelectronics jest częścią naszej strategii. Jestem przekonany, że możemy zdobyć udział w zastosowaniach, w których struktura GaN-on-Si spełnia oczekiwania".

Zarówno STMicroelectronics, jak i MACOM chcą jak najszybciej wprowadzić układy RF GaN-on-Si na rynek. Zastosowany w tych układach azotek galu można również stosować z węglikowo-krzemowym podłożem (SiC). Jednak jest to drogie rozwiązanie – z powodu skomplikowanej produkcji.

Więcej informacji pod adresem: https://bit.ly/3nCOAmZ



Grupa RENEX na targach AMPER 2022

Wydarzenie odbyło się w dniach 17...20 maja br. w czeskim Brnie. Targi AMPER 2022 są wydarzeniem poświęconym branży elektrotechnicznej i elektronicznej. W tegorocznej, 28. edycji wzięło udział 570 wystawców z 27 krajów. Grupa RENEX w kooperacji ze swoimi partnerami z Czech i Słowacji: firmami P2J i ELPRO zaprezentowała opracowaną i produkowaną przez siebie w Polsce serię antystatycznych, modułowych mebli REECO. Odwiedzający stoisko mieli możliwość zapoznania się z czterema przykładowymi konfiguracjami stołów przemysłowych bazujących na tym systemie, a co za tym idzie z założeniami oraz zaletami całej serii mebli REECO. W prezentacji nie zabrakło flagowego modelu serii – Stołu Antystatycznego REECO Premium Electric o regulowanej elektrycznie wysokości blatu. Rozwiązanie to pozwala użytkownikowi na częste zmiany pozycji pracy pomiędzy siedzącą a stojącą, co redukuje ryzyko schorzeń zawodowych. Funkcja ta pozwala również na łatwe przystosowanie stanowiska do wymogów konkretnej osoby czy zadania.

Jak wyjaśniają właściciele Grupy RENEX: Pani Marzena Szczotkowska-Topić i Pan Predrag Topić – CEO Grupy RENEX: „Widzimy duże zainteresowanie naszymi meblami w pełni polskiej produkcji na rynkach europejskich i to wydarzenie to potwierdziło. Nasze rozwiązania przyciągały uwagę odwiedzających zarówno z branży elektronicznej, szukających wyposażenia typowo dla stref EPA, jak i przedstawicieli innych branż, którzy dostrzegali duży potencjał oferowanych przez nas modułowych i wysokiej jakości elementów. Jesteśmy dumni, że polska marka jest doceniana przez specjalistów z całej Europy i nie tylko".

Na targach została również zaprezentowana nowość – konfigurator mebli przemysłowych REECO. To multimedialne, inteligentne narzędzie pozwala na wirtualne i intuicyjne tworzenie indywidualnych stanowisk pracy – precyzyjnie dopasowanych do potrzeb użytkownika.

http://renex.biuroprasowe.pl/195063/grupa-renex-na-targach-amper

Oferta Phoenix Contact na stronie Mouser Electronics

Firma Mouser Electronics uruchomiła stronę poświęconą rozwiązaniom firmy Phoenix Contact – czołowego producenta branży elektrotechnicznej i motoryzacyjnej (są to rozwiązania głównie z obszaru magazynowania energii). Dzięki nowej stronie istnieje możliwość projektowania wydajnych systemów magazynowania energii. Ułatwia to m.in. intuicyjny konfigurator na stronie. Dzieje się to przy linkach do produktów Phoenix Contact. Strona zawiera również filmy prezentujące korzyści z używania tych produktów.

Firma Mouser Electronics oferuje ponad 20 900 produktów Phoenix Contact, w tym złącza, zespoły kablowe, moduły czujników oraz układy zarządzania zasilaniem. Strona poświęcona Phoenix Contact jest dostępna pod adresem: https://bit.ly/3RaFpIf.

https://bit.ly/3yBDPYy

Jakub Tyburski

eprasa.pl d8e2d0846e

Systemy dla Internetu Rzeczy (62)



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

Przetwornice podwyższająco-obniżające dla IoT

Coraz więcej układów scalonych pozwala na efektywne zasilanie urządzeń IoT napięciem stałym o zmiennym poziomie. Jest to szczególnie ważne dla zarządzania energią o bardzo niskim poborze prądu, w urządzeniach do noszenia, aplikacjach IoT i bezprzewodowych modułach czujników oraz układach do zbierania energii. Do takich zastosowań pasuje przetwornica podwyższająco-obniżająca RP605 firmy Nisshinbo Micro Devices (dawniej RICOH Electronic Devices). Do jej pracy potrzebne są tylko trzy komponenty zewnętrzne.

W poprzednim artykule „Superkondensator z przetwornicą dwukierunkową Continua MAX38889" został pokazany regulator napięcia MAX38889 firmy Maxim (obecnie oddział firmy Analog Devices). Jest on przeznaczony do systemów zasilania awaryjnego z superkondensatorami [S57]. W artykule „Skuteczne sposoby zasilania awaryjnego urządzeń Internetu Rzeczy z zastosowaniem superkondensatorów" został pokazany synchroniczny dwukierunkowy konwerter buck/boost TPS61094 firmy Texas Instruments [S61]. Obsługuje on automatyczne ładowanie superkondensatora używanego jako źródło zasilania awaryjnego. Wiele firm produkuje przetwornice podwyższająco-obniżające, jednak typowo mogą one startować dopiero z dosyć wysokim napięciem wejściowym: 2,4...2,7 V. Również prąd upływu jest spory i wynosi kilka lub kilkadziesiąt mikrowoltów. Tym razem poznamy układ RP605 firmy Nisshinbo Micro Devices Inc.

Układ RP605

Przetwornica podwyższająco-obniżająca małej mocy typu RP605 ma funkcję monitorowania napięcia wejściowego [1]. Układ zawiera obwody zasilania i monitorowania (BM – *Battery Monitoring*) z osobnymi wejściami zezwalania. Ma fabrycznie ustalone napięcie wyjściowe (strojenie laserowe) z 13 poziomami do wyboru od 1,6 V do 5,2 V [2]. Jest wykonywany w dwóch wersjach z różnym poziomem monitorowania napięcia wejściowego: VIN/3 (RP605xxx3x) oraz VIN/4 (RP605xxx4x). Wersja RP605xxxxB ma dodatkowy układ rozładowania obwodu wyjściowego. Układ jest produkowany w obudowie WLCSP-20-P3 o rozmiarach 2,315×1,71×0,36 mm oraz DFN(PLP)2730-12 o rozmiarach 3,00×2,70×0,6 mm [2].

Układ RP604 jest taki sam, z wyjątkiem braku obwodu monitorowania oraz mniejszej obudowy. Wszystkie opisy obwodu zasilania układu RP605 dotyczą również układu RP604. Układ RP604 otrzymał nagrodę Nikken Kogyo Shimbun i MONOZUKURI Nippon Conference za komponenty elektroniczne. Podobne parametry z większym prądem (1 A i 1,5 A) mają układy RP601 i RP602 firmy Nisshinbo. Pracują w zakresie napięcia wejściowego od 2,3 V do 5,5 V z ustalonym napięciem wyjściowym w zakresie 2,75 V to 4,2 V. Mają jednak dużo większy prąd upływu.



Układ RP605 jest szczególnie odpowiedni, gdy wymagane napięcie zasilania znajduje się pomiędzy poziomem napięcia w pełni naładowanego i całkowicie rozładowanego akumulatora. W odpowiednim momencie przetwornica układu automatycznie przełącza się z trybu buck w tryb boost, aby utrzymać ustawione napięcie wyjściowe. RP605 jest przeznaczony do zastosowań, w których urządzenia znajdują są głównie w trybie uśpienia i okresowo budzą się w celu wykonania pomiaru, transmisji danych, a następnie powrotu do trybu uśpienia. W przypadku tego typu aplikacji pobór prądu w trybie uśpienia powinien być możliwie najniższy. RP605 ma niski prąd spoczynkowy 300 nA, co przedłuża żywotność baterii lub umożliwia projektantowi wybór mniejszego rozmiaru baterii do aplikacji.

Podstawowe parametry układu RP605 są nastepujące:

- napięcie wejściowe V_{IN}: 1,8...5,5 V (RP605xxx3x)/ 2,4...5,5 V (RP605xxx4x),
- napięcie wyjściowe V_{OUT}: 1,6...5,2 V (13 poziomów),
- prąd upływu I_Q: 300 nA,
- prąd w trybie oczekiwania: 10 nA,
- prąd upływu obwodu monitorowania: 100 nA,
- prąd wyjściowy: 300 mA (max),
- ograniczenie podnapieciowe (U_{VLO}) Threshold V_{UVLOF}(opadanie)/V_{UVLOR} (narastanie): 1,50 V/1,65 V,
- ograniczenie nadnapięciowe (OVP) Threshold V_{OVP} (opadanie)/ (narastanie): 5,5 V/6,0 V,
- rezystancja układu rozładowania (RP605xxxxB): 100 Ω,
- wydajność pracy wynosi powyżej 80% w bardzo dużym zakresie prądu wyjściowego 1...300 mA (napięcie wejściowe powyżej 3,3 V).

Działanie układu RP605

Po włączeniu, gdy VIN przekroczy napięcie progowe V_{UVLOR} (1,65 V), układ scalony zaczyna działać (**rysunek 1**). Następnie zaczyna działać obwód miękkiego startu i wewnętrzne napięcie referencyjne V_{REF} stopniowo wzrasta do określonej wartości. Gdy V_{REF} osiągnie odpowiednie napięcie, następuje przełączenie układu do trybu

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

eprasa.pl d8e2d0846e

pracy i napięcie wyjściowe V_{OUT} rośnie wraz ze wzrostem V_{REF}. Na prędkość włączania V_{OUT} mogą mieć wpływ następujące warunki:

- prędkość włączania V_{IN} określona przez zasilanie układu scalonego i pojemność kondensatora wejściowego (C_{IN}),
- wartość kondensatora wyjściowego (C_{OUT1}) i prąd wyjściowy (I_{OUT}).

Układ scalony zaczyna działać, gdy napięcie na wejściu CE1 (V_{CE1}) przekracza napięcie progowe V_{CE1L} (1,8 V).

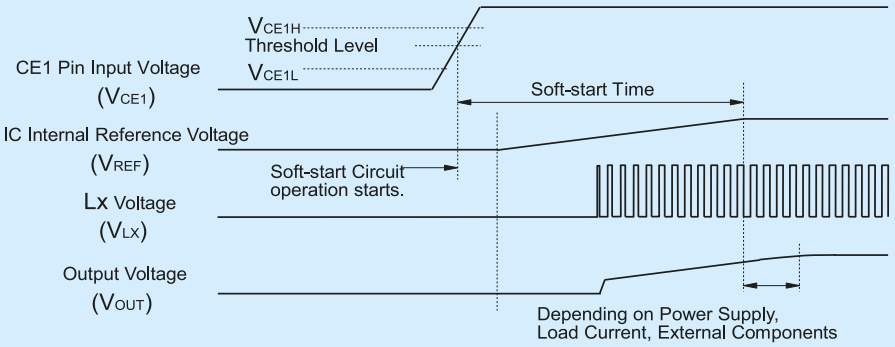
Po uruchomieniu układu scalonego zaczyna działać obwód miękkiego startu (**rysunek 2**). Następnie, po czasie miękkiego startu t_{START} (20 ms), napięcie odniesienia V_{REF} w układzie scalonym stopniowo wzrasta do określonej wartości. Czas t_{START} nie zawsze jest równy prędkości włączania przetwornicy. Na prędkość włączania może mieć wpływ wydajność zasilacza, prąd wyjściowy (I_{OUT}), indukcyjność i wartość kondensatora wyjściowego (C_{OUT1}).

Jeśli V_{IN} spadnie poniżej progu V_{UVLOF} (1,5 V), zaczyna działać obwód U_{VLO}. Wbudowane tranzystory przełączające PMOS i NMOS wyłączają się. Aby wznowić operację, V_{IN} musi być wyższy niż V_{UVLOR} (1,65 V).

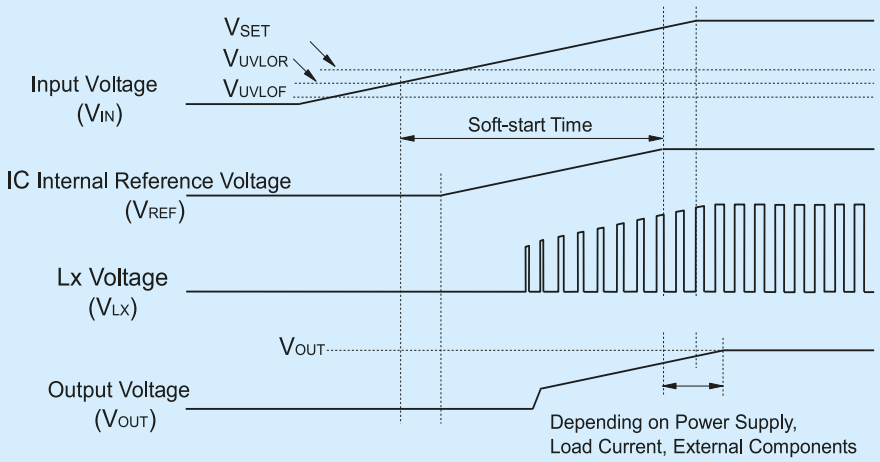
Jeżeli V_{OUT} staje się wyższe niż próg detektora V_{OVP} (5,5 V), zaczyna działać obwód OVP i wyłącza wbudowany przełącznik tranzystorów. W rezultacie V_{OUT} spada zgodnie z wartością pojemności C_{OUT} i obciążeniem.

Zabezpieczenie nadprądowe nadzoruje szczytowy prąd cewki indukcyjnej w każdym cyklu przełączania i jeśli prąd przekroczy ograniczenie prądu I_{LXLIM} (0,9 A), wyłączany jest tranzystor komutacji wejścia. Gdy temperatura złącza przekroczy próg wyłączenia termicznego T_{TSD} (typ. 140°C), wyjście sekcji DC/DC zostaje odcięte. DC/DC uruchamia się ponownie, gdy temperatura złącza spadnie poniżej progu wyzwalania termicznego TTSR (typ. 100°C), a funkcja miękkiego startu działa jak rozruch dla podania wysokiego poziomu na CE1.

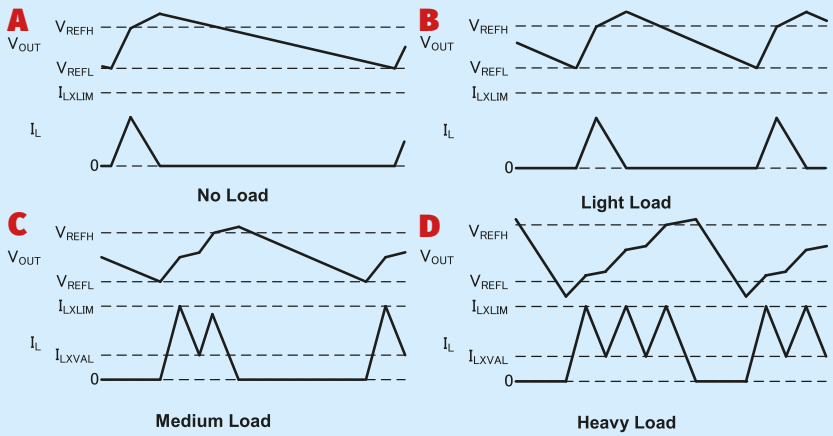
Tryb zmiennej częstotliwości modulacji VFM (*Variable Frequency Modulation*) jest stosowany jako metoda przełączania w celu osiągnięcia wysokiej wydajności w warunkach lekkiego obciążenia (**rysunek 3**). Częstotliwość przełączania zmienia się w zależności od wartości napięcia wejściowego (V_{IN}), napięcia wyjściowego (V_{OUT}) i prądu wyjściowego (I_{OUT}). Przełączanie rozpoczyna się, gdy V_{OUT} spadnie poniżej dolnej granicy napięcia odniesienia V_{REFL}). Gdy V_{OUT} przekracza górną granicę napięcia odniesienia (V_{REFH}), napięcie wyjściowe jest podtrzymywane przez kontrolę histerezy, która zatrzymuje przełączanie. Aby działać w ramach znamionowej charakterystyki cewki indukcyjnej i uniknąć przekraczania limitu prądu cewki I_{LXLIM}, działanie przetwornicy przechodzi w tryb wyłączenia. A kiedy prąd I_L spadnie poniżej limitu prądu dolnego I_{LXVAL}, przetwornica wznawia pracę.



Rysunek 1. Miękki start układu RP605 po włączeniu zasilania wejściowego [2]



Rysunek 2. Miękki start układu RP605 po podaniu wysokiego poziomu na wejściu CE1 [2]



Rysunek 3. Praca w trybie zmiennej częstotliwości modulacji VFM: a) bez obciążenia, b) niewielkie obciążenie, c) średnie obciążenie, d) duże obciążenie [2]

Wybrane artykuły kursu „Systemy dla Internetu Rzeczy" w miesięczniku „Elektronika Praktyczna":

[S57] Superkondensator z przetwornicą dwukierunkową Continua MAX38889, EP 2/2022

[S61] Skuteczne sposoby zasilania awaryjnego urządzeń Internetu Rzeczy z zastosowaniem superkondensatorów, EP 6/2022

Literatura:

[1] RP605 Series Low Power Consumption 300mA Buck-Boost DC/DC Converter with Battery Monitor, Nisshinbo Micro Devices Inc, https://bit.ly/3NoEcKh

[2] RP605x Series, 300mA Ultra-low Power Buck Boost DC/DC Converter with Battery Monitor, Data Sheet, Nisshinbo Micro Devices Inc, https://bit.ly/3a3DxjI

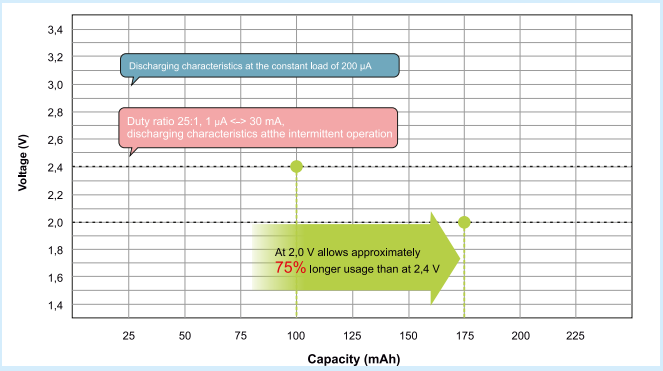
[3] Nisshinbo RP605Z333B-EV Evaluation Boards, https://bit.ly/3I4dK7I

[4] RIoT Environment Sensing Board, https://bit.ly/3a1BegU

[5] Supporting your IoT system construction, https://bit.ly/3y1TXkG

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

eprasa.pl d8e2d0846e



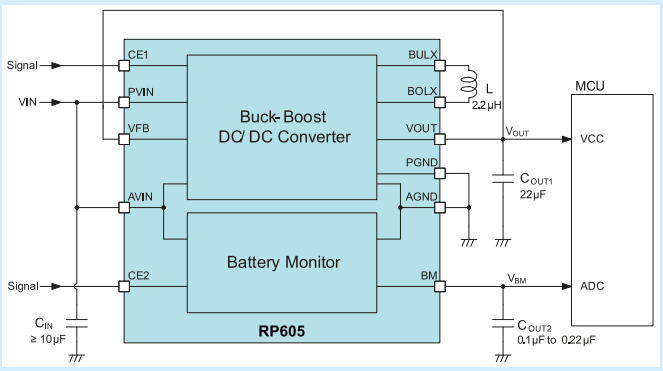
Rysunek 4. Charakterystyka rozładowania baterii CR2032 [5]

Aby uniknąć zakłóceń powodowanych przez przełączanie, należy sprawdzić rzeczywistą charakterystykę działania przetwornicy pod obciążeniem (rysunek 3).

Obwód monitorowania napięcia wejściowego jest jedną z kluczowych cech RP605. Wszystkie istotne komponenty obwodu monitorowania są zintegrowane wewnątrz układu, co zmniejsza zajmowaną przestrzeń na płytce drukowanej i koszty. Konwencjonalnym sposobem pomiaru pozostałego naładowania akumulatora jest użycie zewnętrznego dzielnika rezystorowego plus tranzystora MOSFET podłączonego do przetwornika A/D. Jednak impedancja wejściowa tego rozwiązania jest zwykle mała, co skutkuje znacznym upływem prądu do ziemi, rozładowywaniem akumulatora i ograniczaniem żywotności urządzenia. Układ RP605 zapewnia proste rozwiązanie z wbudowanym dzielnikiem rezystorowym i wtórnikiem napięcia jako buforem. Zaletą tego obwodu jest znacznie mniejszy przepływ prądu do masy, a wyjście BM jest zgodne z impedancją wejściową przetwornika A/C. Prąd spoczynkowy tego obwodu wynosi tylko 100 nA. Ma on osobne wejście włączenia CE2, co umożliwia włączanie go tylko na czas pomiaru. Wymagany jest czas oczekiwania $t_w \geq 10$ ms po podaniu wysokiego poziomu na CE2. W ten sposób można na przykład wykonać prosty wskaźnik poziomu rozładowania baterii.

Praca z baterią CR2032

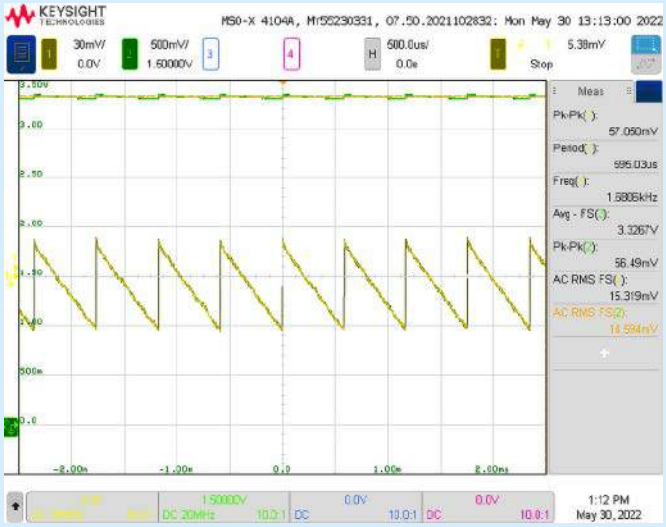
Ponieważ napięcie baterii stopniowo spada podczas jej używania, bateria może być używana dłużej, gdy dolna wartość graniczna napięcia wejściowego przetwornicy jest niska. Przykładowa charakterystyka rozładowania baterii guzikowej (CR2032) pokazuje spadek napięcia (**rysunek 4**). Urządzenia IoT często działają z przerwami. Wykres w kolorze czerwonym wskazuje na silny spadek napięcia spowodowany obciążeniem impulsowym przyłożonym do ogniwa guzikowego. W przypadku gdy dolna wartość graniczna napięcia wejściowego przetwornicy wynosi 2,0 V, przy przerywanej pracy z ogniwa guzikowego układ może działać o 75% dłużej niż układ z granicą napięcia wejściowego 2,4 V. Ważne jest również uwzględnienie dolnej wartości granicznej napięcia wejściowego oraz prądu zasilania dla dłuższej żywotności baterii. Układ scalony RP604 pracuje od napięcia wejściowego 1,8 V, co jeszcze bardziej wydłuża czas pracy z baterii.



Rysunek 5. Schemat zestawu uruchomieniowego RP605Z333B-EV [3]



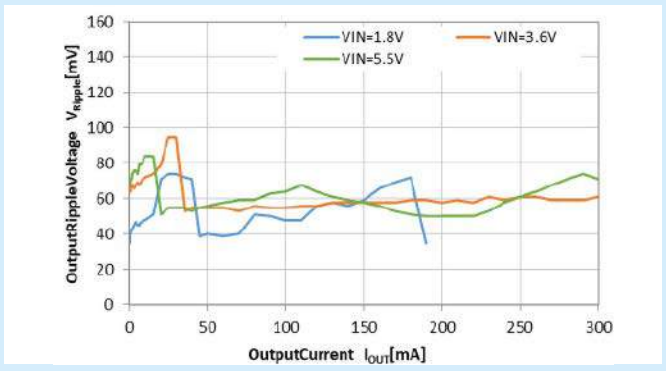
Rysunek 6. Napięcie V_{OUT} przy braku obciążenia



Rysunek 7. Napięcie V_{OUT} przy obciążeniu 0,65 mA

Zestaw uruchomieniowy z układem RP605

Zestaw uruchomieniowy RP605Z333B-EV firmy firmy Nisshinbo Micro Devices Inc. jest przeznaczony do badania stosowania przetwornika RP605Z333B tej firmy. Umożliwia on łatwe i szybkie rozpoczęcie pracy z tym układem, pomimo jego bardzo małej obudowy (obudowa WLCSP-20-P3). Wyglad płytki zestawu jest pokazany na fotografii tytułowej [2]. Schemat zestawu (**rysunek 5**) jest taki sam jak schemat przykładowej aplikacji w dokumentacji układu scalonego [3]. Napięcie



Rysunek 8. Napięcie tętnień wyjściowych układu RP605x33xx [2]

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

eprasa.pl d8e2d0846e

wyjściowe wynosi 3,3 V, prąd – do 300 mA, wyjście monitorowania BM=1/3 V_{IN} i układ zawiera aktywny obwód rozładowania wyjścia.

Badanie pracy zestawu uruchomieniowego RP605Z333B-EV

Płytka zestawu RP605Z333B-EV została dołączona do zasilacza laboratoryjnego. Okazało się, że układ RP605Z333B utrzymuje bardzo dokładnie średnie napięcie wyjściowe 3,3 V przy zmianach napięcia wejściowego i przy zmianach prądu obciążenia. Przy narastaniu napięcia wejściowego startuje od ok. 1,8 V, a przy opadaniu pracuje do ok. 1,6 V, tak jak obiecują dane katalogowe. Napięcie na wyjściu V_{OUT} przy braku odciążenia zostało pokazane na **rysunku 6**. Ustawienia: kanał CH1 VIN AC, kanał CH2 VIN DC. Dla I_{out}=0 mA występują pojedyncze impulsy 49,16 mV co 792 ms (1,26 Hz). Przykład pracy dla obciążenia 0,65 mA został pokazany na **rysunku 7**. Przy pracy z obciążeniem składowa AC napięcia V_{OUT} ma kształt piły. Częstotliwość piły (ok. 1,6 kHz) wzrasta wraz z obciążeniem. Za to amplituda piły pozostaje na poziomie ok. 50 mV. Zgadza się to z danymi katalogowymi pokazanymi na **rysunku 8**.

Podsumowanie

Przetwornica RP605 firmy Nisshinbo Micro Devices jest unikalnym układem ze zintegrowanym monitorem napięcia wejściowego umożliwiającym pomiar stanu baterii przy bardzo małym poborze prądu 100 nA. Układ zawiera wiele obwodów zabezpieczających i dobrze działający obwód miękkiego startu. Próba zastosowania układu RP605 do bezpośredniego zasilania procesora komunikacji bezprzewodowej CC1352R1 nie powiodła się. Poziom tętnień zasilania okazał się za wysoki. Ze względu na zastosowaną w układzie RP605 modulację częstotliwości nie pomaga w tej sytuacji zwiększanie pojemności kondensatora na wyjściu. W przykładowych rozwiązaniach układowych pokazywanych przez producenta stosowany jest na wyjściu dodatkowy układ LDO [4]. Tylko że wtedy sprawność całego rozwiązania bardzo spada.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

REKLAMA

Sięgnij po archiwalne wydania
ELEKTRONIKI PRAKTYCZNEJ



Przesyłka GRATIS

Zamów wygodnie na
www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl d8e2d0846e

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 8/2022

W sierpniowym wydaniu EP, jak co roku zaprezentujemy wiele nieskomplikowanych, praktycznych i łatwych do wykonania miniprojektów, m.in.:



Bezpiecznik elektroniczny eFuse

Niewielki moduł umożliwiający realizację kompleksowego zabezpieczenia obwodu zasilania DC. Będzie szczególnie przydatny, gdy na jakość zasilania nie mamy wpływu, np w instalacji samochodowej, a chcemy ochronić wrażliwą elektronikę, np. w postaci komputera SBC przed uszkodzeniem. W układzie zastosowano specjalizowany układ TPS25940 firmy Texas Instruments, który w swojej strukturze zawiera wszystkie elementy niezbędne do realizacji zabezpieczeń podnapięciowego, nadnapięciowego, przeciążeniowego i zwarciowego z sygnalizacją aktywności zabezpieczenia oraz możliwością pomiaru prądu pobieranego przez obciążenie.

Wyświetlacz Numitron do RPi i nie tylko

IW-9 to wyświetlacze o wysokości cyfry ok. 11 mm, o konstrukcji segmentowej, z przecinkiem po prawej stronie cyfry, czyli jak w klasycznym siedmiosegmentowym wyświetlaczu LED. Świecące elementy segmentów składowych wykonane są w postaci cienkich włókien rozżarzanych przepływem prądu, identycznie jak w żarówce. Całość umieszczona jest w szklanym balonie, z którego odpompowane jest powietrze. Podczas świecenia segment pobiera prąd ok. 20 mA, przy napięciu 3...4 V, co jest porównywalne ze wczesnymi typami wyświetlaczy LED. Zaprezentowany moduł to gotowy do użycia zestaw czterech wyświetlaczy IW-9 umieszczonych na płytce formatu RPi.

Energooszczędny termometr LED

Termometry pobierające niewiele energii z reguły mają wyświetlacz LCD, który jest niezbyt czytelny w słabym oświetleniu. Z kolei urządzenia z wyświetlaczem LED pobierają znaczny prąd, więc nie nadają się do zasilania z baterii. Zaprezentowany projekt godzi ze sobą oba przeciwstawne światy: zużywa znikomą ilość energii z baterii oraz ma czytelny ekran do prezentacji wyniku pomiaru.

Mega Expander I/O

Wiele projektów elektronicznych, powstaje jako proste konstrukcje, które są następnie rozbudowywane i wyposażane w nowe funkcje. Niekiedy okazuje się, że rozbudowa jest niemożliwa, ponieważ zabrakło cyfrowych wyprowadzeń GPIO. Zaprezentowany moduł jest ekspanderem linii GPIO korzystającym z magistrali I²C. Zastosowany układ PI4IOE5V96248 (Diodes/Pericom) umożliwia rozbudowę aplikacji o sześć ośmiobitowych quasi-dwukierunkowych portów cyfrowych GPIO. Dzięki użyciu rozszerzonej adresacji, bazowe 48 linii GPIO może zostać rozbudowane do niebagatelnej liczby 3072 GPIO, co powinno wystarczyć nawet w złożonych systemach.

a ponadto tematy wiodące EP 08/2022:

- AI i ML w systemach wbudowanych
- Czujniki i akwizycja danych

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AKSOTRONIK 29
ARMEL 11
BORNICO 9
COMPUTER CONTROLS 7
ELMAX 63
FARNELL 84
FERYSTER 11
GAMMA 11
HAMMOND 5
MICROCHIP 17, 65, 108
PIEKARZ 11
UNISYSTEM 44, 45

Miesięcznik **„Elektronika Praktyczna”** (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT-Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.

Wydawnictwo:
AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: redakcja@ep.com.pl, www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Damian Sosnowski

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Grzegorz Becker

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

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

DTP i okładka:
MAD Sp. z o.o.

Redakcja strony internetowej www.ep.com.pl
MAD Sp. z o.o.

Prenumerata w Wydawnictwie AVT
www.ulubionykiosk.pl lub tel. 22 257 84 22 (godz. 10:00–14:00)
e-mail: prenumerata@avt.pl

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”.

Fotografia na okładce:
By MW AHM – Own work, CC BY-SA 4.0, https://bit.ly/3DjQBKn

eprasa.pl d8e2d0846e



Dodaj „Smart” do inteligentnego domu

Łatwe projektowanie dzięki rodzinie mikrokontrolerów PIC16F18076

Bez względu na to, co projektujesz, rodzina mikrokontrolerów PIC16F18076 może ci pomóc w tworzeniu szybszych i bogatszych w funkcje rozwiązań dla inteligentnego domu. Teraz możesz łatwo dodawać pojemnościowe przyciski dotykowe, sterować silnikami, integrować komunikację IoT i monitorować stan systemu za pomocą inteligentnych układów peryferyjnych dostępnych w tej rodzinie MCU. Te ekonomiczne mikrokontrolery można bezproblemowo zintegrować z naszymi najnowszymi narzędziami do konfiguracji kodu opartymi na graficznym interfejsie użytkownika, zapewniając nowoczesne i proste środowisko programistyczne. Już dziś zacznij budować swoją kolejną inteligentną aplikację, korzystając z platformy do szybkiego prototypowania Curiosity Nano.

Charakterystyka

- Obudowy zawierające od 8 do 44 pinów
- Od 3,5 KB do 28 KB pamięci wewnętrznej
- Szybkość procesora do 32 MHz
- 10-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy z funkcjami obliczeniowymi (ADCC)
- Automatyczny pojemnościowy dzielnik napięcia (CVD)
- 8-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy (DAC)





MICROCHIP

microchip.com/PIC16F180

eprasa.pl d8e2d0846e

Nazwa i logo Microchip oraz logo Microchip są zastrzeżonymi znakami towarowymi firmy Microchip Technology Incorporated w USA i innych krajach. Wszystkie inne znaki towarowe są własnością ich zarejestrowanych właścicieli.
© 2022 Microchip Technology Inc. MEC2423A-POL-05-22