



EP W TOKU NA EP.COM.PL

tylko Prenumeratorzy
mają dostęp do artykułów przed ich publikacją w EP

inspirujące, użyteczne projekty

Lojack – tracker GPS do samochodu na bazie Arduino
• Alarm do szafy pancerniej z podłączeniem do Internetu, zbudowany na platformie Bolt IoT • Bezprzewodowy włącznik oświetlenia • Wzmacniacz lampowy z regulacją barwy dźwięku • Ampera – miniaturowy miernik prądu stałego • Fmeter – licznik częstotliwości i czasu • Moduł VS1003B jako automat informacyjny • Stereofoniczny wskaźnik poziomuysterowania z funkcją Peak-Hold • Moduł wyjść dużej mocy z kontrolą poprzez I²C • Zasilacz diod power LED 3,5 W • Podwójny potencjometr z interfejsem I²C • Kieszonkowy układ do generowania szumu białego • Inteligentny wentylator dla Raspberry Pi

podzespoły, sprzęt, aplikacje

Compute Module, czyli nie taki SoM straszny
• Termometr DT12 • Digilent Eclipse Z7. System ewaluacyjny z SoC Zynq7000 i złączami systemowymi SYZYGY (Zmod) • Obudowy dla elektroniki • Kompleksowe podejście do obudów od polskiego producenta Kradex • Wentylatory w elektronice – jakość jest w cenie

tutoriale

Projektowanie systemów alarmowych • Ochrona dostępu z użyciem technologii opartych o elektronikę • Jak napisać aplikację mobilną poprzez... UART • Symulacja i pomiar czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora. Charakterograf • Chłodzenie w urządzeniach elektronicznych

kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy. Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad z transmisją protokołem SPI • Eksperymenty z FPGA

ELEKTRONIKA W OCHRONIE MIENIA

TEMAT NUMERU



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

ISSN 1230-3526 Indeks 357677



9 771230 352207

PRENUMERUJ!

Standardowe ceny prenumerat:

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

Po latach nawet ZA PÓŁ CENY!

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



ELEKTRONIKA
PRAKTYCZNA

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

PREZENT
do każdej opłaconej
prenumeraty:
koszulka lub płyta

E-prenumerata, czyli **NAJSZYBSZY DOSTĘP**

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

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

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

Korzystaj też z innych **przywilejów PRENUMERATORA**

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

Zamów prenumeratę EP w dogodny sposób:

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

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

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

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

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

Wiosna nasza

Piąta rano. Niedziela 13 grudnia 1981 r. Pierwszy dzień stanu wojennego. Idę po warszawskiej ulicy. Do dziś słyszę skrzypienie śniegu pod butami. Taki odgłos daje tylko śnieg porządnie zmrożony. A jest -15°C .

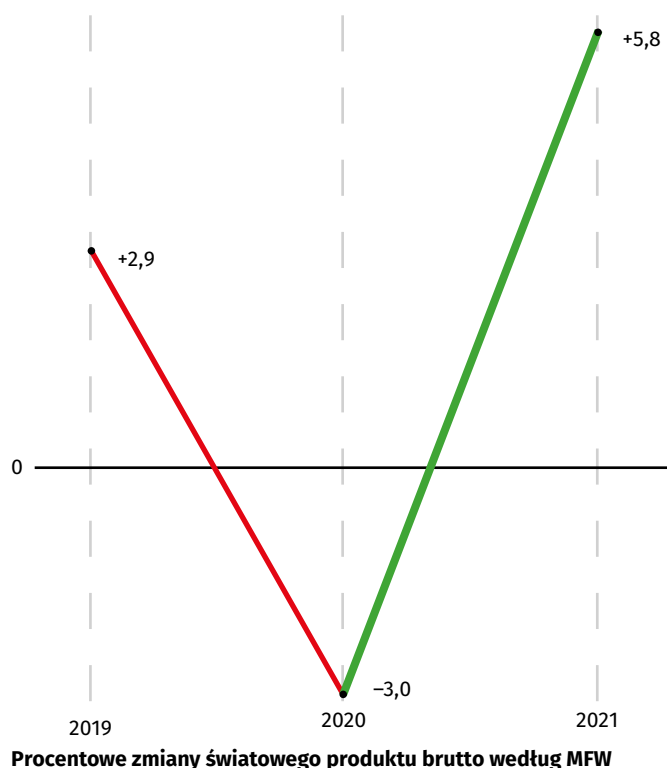
Tę wprawkę literacką dedykuję młodym czytelnikom, którzy śnieg to może nawet widzieli, ale nie doświadczyli zapewne mrozu -15°C . W takich okolicznościach przyrody polanie strumieniem wody z armatki zomowskiej miłe nie jest. Studziło to zapał do demonstrowania. Ku pokrzepieniu serc pozostało hasło „zima wasza, wiosna nasza”. Czasami trzeba poczekać do wiosny.

W tym roku na przedwiośniu dopadła nas zaraza, a wraz z nią restrykcje paraliżujące życie gospodarcze. W marcu nastroje były ponure. Gdy piszę ten tekst (20.04.2020), jest już inaczej. W gospodarce, w tym w branży elektronicznej, na świecie i w Polsce zmieniają się nastroje. Wiosna już jest nasza. W kontaktach naszej redakcji z firmami elektronicznymi już nie słyszymy, że będą się zamykać. Tak mówili w marcu. Teraz przeciwnie, jest ożywienie, jest nadzieja na odbicie, na silne odbicie. Już nie słyszymy o zwolnieniach pracowników. A zresztą, firmy, z którymi współpracujemy, to przedsiębiorstwa innowacyjne, oparte na kompetencjach projektowych. Konstruktorów i projektantów nie zwalnia się, a już na pewno nie zwalnia się najlepszych konstruktorów, czyli czytelników EP. Bez nich firma traci zdolność do konkurencji technologicznej na rynku, czyli marnieje.

Nie twierdzę, że jest już po kryzysie. Przyczyna biologiczna ustępuje powoli i to potrwa jeszcze wiele miesięcy. Kryzys ekonomiczny nie ma jednak podstaw fundamentalnych i został wywołany przez decyzje paraliżujące życie gospodarcze. Innego wyjścia nie było. Analitycy oczekują, że samo łagodzenie restrykcji szybko odrodzi gospodarkę. Według prognozy MFW (Międzynarodowy Fundusz Walutowy) przebieg kryzysu przyjmie kształt litery V, czyli wyjście z „dołka” będzie bardzo szybkie.

Wiele sygnałów potwierdza tę prognozę. W krajach azjatyckich, gdzie uporano się z pandemią, gospodarka nabiera tempa. Czołowy na świecie producent pamięci i mikroprocesorów, tajwańska firma TSMC, notuje dwucyfrowy wzrost produkcji czipów.

Zresztą nie wszyscy ucierpieli w tym kryzysie. E-handel przeżywa boom. Mamy przykład z własnego podwórka. Zamknięcie galerii, a wraz z tym wielu salonów prasowych, uderzyło mocno w wydawców prasy, ale nasze wydawnictwo wyszło z tej opresji obronną ręką. Po pierwsze, wydajemy czasopisma specjalistyczne, których dystrybucja jest oparta w znacznej mierze na prenumeracie. Po drugie, mamy własny kiosk internetowy – www.ulubionykiosk.pl, sprzedający zarówno e-wydania, jak też wydania papierowe wysyłane pocztą (bez kosztów przesyłki). Nasz kiosk internetowy istnieje już 10 lat i dotychczas nie śniło nam się, jak wielki może być jego potencjał sprzedażowy. W ostatnich tygodniach sprzedaż niektórych tytułów wzrosła o kilkaset procent. Trochę przykro, że ten niebywały sukces łączy się z zamknięciem empików. No cóż, my już mamy wiosnę, empiki jeszcze na nią czekają. Mam nadzieję, że będą już otwarte za kilka tygodni, gdy będziecie czytać te słowa. Idzie wiosna.



Procentowe zmiany światowego produktu brutto według MFW

Niestan Kucera

Nie przeocz

Nowe podzespoły.....	6
Koktajl niusów.....	12
Dodaj do obserwowanych	16

Projekty soft

Lojack – tracker GPS do samochodu na bazie Arduino	20
Alarm do szafy panczernej z podłączeniem do Internetu, zbudowany na platformie Bolt IoT	24

Projekty

Bezprzewodowy włącznik oświetlenia	27
Wzmacniacz lampowy z regulacją barwy dźwięku	30
Ampere – miniaturyowy miernik prądu stałego	34
Fmeter – licznik częstotliwości i czasu	38

Moduły w aplikacjach

Moduł VS1003B jako automat informacyjny	42
---	----

Miniprojekty

Stereofoniczny wskaźnik poziomuysterowania z funkcją Peak-Hold.....	44
Moduł wyjść dużej mocy z kontrolą poprzez I ² C	46
Zasilacz diod power LED 3,5 W	48
Podwójny potencjometr z interfejsem I ² C.....	49
Inteligentny wentylator dla Raspberry Pi.....	50

Projekty czytelników

Kieszonkowy układ do generowania szumu białego do szybkiego testowania odpowiedzi impulsowej układu	52
---	----

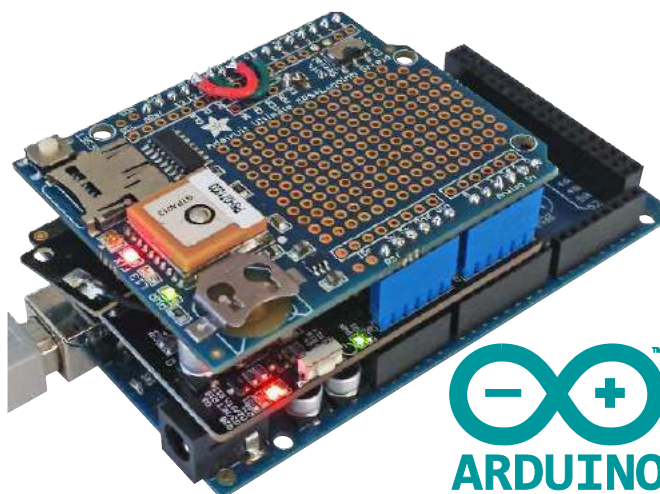
Temat numeru:

Elektronika w ochronie mienia

Projektowanie systemów alarmowych	56
Ochrona dostępu z użyciem technologii opartych na elektronice.....	60

Prezentacje

Termometr DT12	71
Digilent Eclipse Z7. System ewaluacyjny z SoC Zynq7000 i złączami systemowymi SYZYGY (Zmod).....	80
Kompleksowe podejście do obudów od polskiego producenta Kradex	91
Wentylatory w elektronice – jakość jest w cenie	98



Lojack – tracker GPS do samochodu na bazie Arduino

Kradzieże samochodów to prawdziwy problem! Zwiększ swoje szanse na odzyskanie samochodu, instalując w nim prosty tracker oparty na Arduino. Urządzenie pozwala śledzić w czasie rzeczywistym położenie samochodu.

Podzespoły

Compute Module, czyli nie taki SoM straszny (1).....	64
--	----

Notatnik konstruktora

Jak napisać aplikację mobilną poprzez... UART (2).....	68
Symulacja i pomiar czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (10). Charakterograf.....	74

Wybór konstruktora:

Obudowy dla elektroniki	83
Maszczyk.....	91
Chłodzenie w urządzeniach elektronicznych	92

Kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy (37). Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad z transmisją protokołem SPI.....	101
Eksperymenty z FPGA (6)	109

Prenumerata	2
Od wydawcy.....	3
KAP	100
Kramik i rynek	114
Hity następnego numeru	115

TESEO: moduły wielosystemowych odbiorników GNSS



Podstawowe cechy modułów GNSS z rodziny TESEO-LIV3F/R:

- symultaniczna obsługa systemów:
BeiDou, Galileo, GLONASS, GPS oraz QZSS
- miniaturowa obudowa LCC18
(wymiary: 9.7x10.1x2.18mm)
- szeroki zakres temperatur pracy -40...+85°C
- TTF (hot/cold start) <1.5s/<29s
- wersje z firmware producenta w ROM
oraz Flash
- rejestracja trasy w pamięci Flash
- minimalny czas odczytu pozycji: 0.1s
- zintegrowane systemy antyjammingowe
- minimalny poziom sygnału RF -163dBm
- niskomocowe rdzenie ARM946 @196MHz
- interfejsy komunikacyjne UART oraz I2C
- tor RF zintegrowany z MPU
- zestaw ewaluacyjny X-NUCLEO-GNSS1A1
- przykładowe projekty firmware
zgodne z STM32Cube
- gotowy driver Android HAL Device
- oprogramowanie (toolbox) do konfiguracji
i optymalizacji parametrów pracy modułu



st.com/gnss



life.augmented



nowe podzespoły

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



Najmniejszy na rynku czujnik obrazu 3D VGA do rozpoznawania twarzy w smartfonach

Firma Infineon we współpracy z PMD Technologies AG opracowała najmniejszy na rynku czujnik obrazu 3D do rozpoznawania twarzy i realizacji innych funkcji wizyjnych, m.in. rozmycia tła, rozpoznawania gestów i automatycznej regulacji ostrości, w smartfonach. IRS2877C to czujnik 5. generacji z oferty Infineon, wykorzystujący technikę pomiaru *time-of-flight* REAL3. Poza małymi wymiarami, wymaga jedynie kilku elementów współpracujących, co pozwala na realizację kompletnego obwodu na bardzo małej powierzchni płytki drukowanej. Został zoptymalizowany do współpracy ze sterownikiem oświetlenia IRS9100C.

IRS2877C zapewnia rozdzielczość VGA przy średnicy piksela 5 μ m i bardzo małym poborze mocy. Może pracować w ciężkich warunkach oświetleniowych, w tym zarówno w ciemności, jak i w silnym świetle słonecznym. Rozpoczęcie produkcji seryjnej układu jest zapowiadane na połowę br.

<https://bit.ly/2xuapi6>

REKLAMA

Teraz większe MOŻLIWOŚCI
bornico.com.pl

- montaż kontraktowy elektroniki
- projektowanie urządzeń i systemów

Zakład Elektroniczny BORNICO

ul. Małczyńska 25
 26-600 Radom
 tel. +48 48 365 58 22
bornico@bornico.com.pl



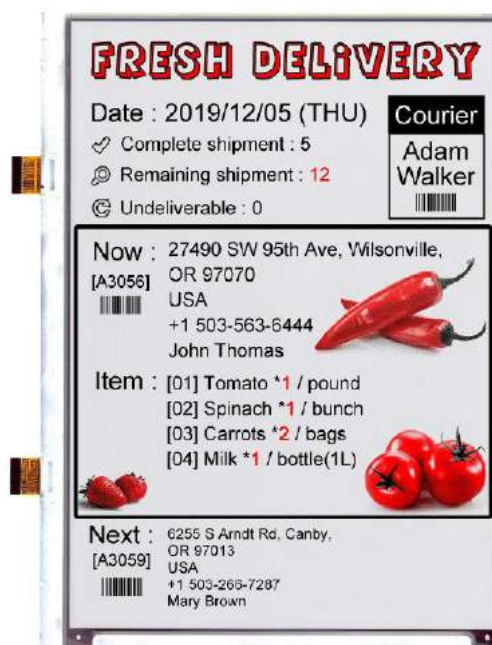
Moduł NB-IoT – Narrowband HoperF HPM152

HopeRF HPM152 to wysokiej wydajności moduł NB-IoT z obsługą LTE Cat NB1 i wsparciem SMS. Jego głównymi zaletami są małe zużycie energii, niewielkie wymiary i niski koszt. Świetnie nadaje się do takich zastosowań, jak inteligentne liczniki, parkingi, miasta, bezpieczeństwo, śledzenie zasobów, monitorowanie rolnictwa i środowiska.

Podstawowe parametry modułu:

- pobór mocy: 5 μ A @PSM, 2,5 mA @DRX=1.28,
- transfer LTE CAT NB1: DL 34/UL 66 kbps,
- wewnętrzna karta e-SIM.

<https://bit.ly/2Vjo3MU>



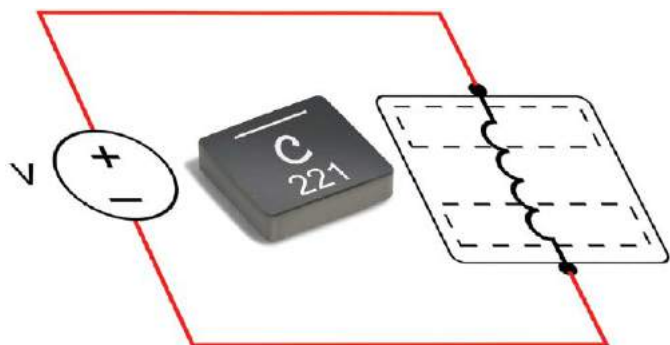
Wyświetlacze e-paper na zakres temperatur pracy 0...+40°C

Firma Pervasive Displays powiększa ofertę wyświetlaczy e-paper (EPD) o dwa nowe modele: E24581JS084 i E2969JS084 o przekątnej odpowiednio 5,8" i 9,7" oraz o rozdzielczości odpowiednio 134 i 121 dpi.



Są to wyświetlacze 3-kolorowe o bardzo małym poborze mocy i krótkim czasie aktualizacji obrazu, wyposażone w wewnętrzny kontroler i pamięć OTP. Nadają się do pracy w szerszym zakresie temperatur otoczenia niż wcześniejsze wersje (0...+40°C), dzięki czemu mogą znaleźć zastosowanie w aplikacjach wymagających większej niezawodności przy niskich temperaturach otoczenia: w medycynie, systemach Digital Signage pracujących na zewnątrz budynków, systemach logistyki w magazynach żywności oraz w elektronicznych etykietach sklepowych. Podobnie jak w przypadku innych wyświetlaczy produkowanych w technologii EPD, ich najważniejszą zaletą jest zdolność do wyświetlania obrazu po wyłączeniu zasilania; prąd jest tu pobierany wyłącznie przy zmianie obrazu. Funkcja OTP w zestawieniu z wbudowanym kontrolerem eliminuje konieczność podłączania zewnętrznego mikroprocesora do załadowania obrazu przy starcie systemu.

<http://bit.ly/31J1yIY>



Wysokonapięciowe cewki ekranowane o małych stratach

Coilcraft powiększa ofertę małostratnych cewek ekranowanych rodziny XEL o trzy nowe serie wysokonapięciowe: XEL401xV, XEL4020V i XEL4030V. Wszystkie charakteryzują się napięciem znamionowym 120 V, większym o 50% od wersji standardowych. Równocześnie zapewniają bardzo małą rezystancję DC i bardzo małe straty AC, a w konsekwencji dużą sprawność przy zastosowaniu w przetwornicach impulsowych pracujących z częstotliwością taktowania rzędu 2...5 MHz. Są produkowane w kompozytowych obudowach o wymiarach 4,0x4,0x3,2 mm, wyróżniających się skutecznym ekranowaniem magnetycznym i bardzo małym przydźwiękiem akustycznym.

Wszystkie modele charakteryzują się łagodną charakterystyką nasycenia i odpornością na duże impulsy prądowe. Uzyskały kwalifikację AEC-Q200 Grade 1 (-40...+125°C). Nie wykazują pogorszenia parametrów termicznych wraz z upływem czasu, dzięki czemu nadają się do zastosowań w ciężkich warunkach środowiskowych.

Seria XEL401xV obejmuje cewki o 6 wartościach indukcyjności od 92 do 780 nH i prądzie przewodzenia do 24 A. Seria XEL4020V obejmuje cewki o 10 wartościach indukcyjności od 0,08 do 2,2 µH i prądach znamionowych do 33,2 A. Seria XEL4030V obejmuje cewki o 13 wartościach indukcyjności od 0,1 do 6,8 µH, produkowane na zakres prądów znamionowych do 30 A.

<http://bit.ly/2IIR0so>

Nakładka HAT do Raspberry Pi z zaawansowanym koderem-dekoderem audio

Firma CML Microcircuits zaprojektowała nową nakładkę HAT (*Hardware Attached on Top*) do mikrokomputerów Raspberry Pi, zawierającą wbudowany energooszczędny koder-dekoder audio CMX655D. Nakładka EV6550DHAT, pozwalająca rozszerzyć dowolną aplikację o funkcje zaawansowanego kodowania/dekodowania głosu i skrócić fazę projektowania cyfrowych aplikacji audio, udostępnia



REKLAMA

repol® S.A.

Nowe gniazda GZP w technologii Push-in



GZP80

Do RM84, RM85..., RM87L/P, RMP84, RMP85

GZP4

Do R2N, R4N

- unikalny system prowadzenia przekaźnika w gnieździe (łatwa instalacja),
- zaciski Push-in pod kątem (w kierunku koryt kablowych),
- przyciski zwalniające zaciski (wciśnięcie/wyjęcie),
- otwory pod sondy pomiarowe (swoboda kontroli),
- płytki opisowe na głęboki wpust (złączki rzędowe),
- przestrzeń do etykietowania (taśmy do 9 mm).

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



cały tor sygnałowy CMX655D, począwszy od interfejsów dwóch wejściowych mikrofonów MEMS po 1-watowy kontroler wzmacniacza mocy klasy D. Realizuje funkcje decymacji, filtrowania, cyfrowego przetwarzania sygnału i cyfrowego wzmocnienia. Zawiera interfejs audio I2S/PCM i interfejs sterujący SPI.

Nakładka EV6550DHAT współpracuje z dowolnym minikomputerem Raspberry Pi wyposażonym w 40-pinowe złącze GPIO i korzysta z jego układu zasilania. W przypadku korzystania z kilku płytek HAT równocześnie i przekroczeniu sumarycznego, dozwolonego prądu interfejsu USB host, udostępnia też opcję zasilania ze źródła zewnętrznego.

Oprogramowanie open source w EV6550DHAT jest łatwo dostępne z poziomu wielu aplikacji i projektów. Oznacza to, że interfejs GUI zapewniający dostęp do nakładki EV6550DHAT i jej funkcji może być łatwo modyfikowany i jest dostępny dla społeczności inżynierskiej. Użytkownicy mają dostęp do przykładowych plików oraz mogą rejestrować i odtwarzać pliki audio w formacie WAV, co pozwala na porównywanie jakości dźwięku przy różnych parametrach, w tym szybkości rejestracji (8, 16, 32 i 48 kSps), głośności i poziomu w dB. Interfejs GUI pozwala na programowanie wzmocnienia wejściowego w zakresie od -12 do +3 dB i wzmocnienia przy odtwarzaniu w zakresie od -90 do 0 dB.

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



Router przemysłowy Teltonika RUT240 – idealne rozwiązanie do home office

RUT240 to kompaktowy i bezpieczny przemysłowy router WiFi 4G / LTE do profesjonalnych zastosowań. Urządzenie obsługuje wiodące w branży funkcje bezpieczeństwa i stosowane jest do tworzenia kopii zapasowych 4G, zdalnego połączenia, zarządzania poza pasmem, zaawansowanej sieci VPN i usług tunelowania w rozwiązaniach

sieciowych IoT. Zapewnia łatwe wdrożenie i zarządzanie siecią. Zewnętrzne złącza SMA umożliwiają podłączenie anten i łatwe znalezienie najlepszej lokalizacji sygnału.

<http://bit.ly/39sfwgA>



Pierwszy na rynku mikrofon z interfejsem MIPI SoundWire

Firma Invensense zaprezentowała pierwszy na rynku mikrofon z interfejsem MIPI SoundWire 1.1. Model T5808, produkowany w obudowie SMD o wymiarach 3,5×2,65×0,98 mm, jest przeznaczony do zastosowań w smartfonach, matrycach mikrofonowych, kamerach, słuchawkach Bluetooth i innych produktach konsumenckich. Charakteryzuje się stosunkiem sygnału do szumu 66 dB, współczynnikiem przeciążenia akustycznego (AOP) równym 135 dB, pasmem pracy 40 Hz...20 kHz i współczynnikiem tłumienia tętnień zasilania (PSR) równym -91 dB. Umożliwia współpracę z maksymalnie 6 innymi mikrofonami podłączonymi do wspólnej szyny. Ponadto do jego zalet należy bardzo mały pobór prądu, wynoszący 650 μ A w trybie High Quality (HQM), 215 μ A w trybie Low Power (LPM) i 10 μ A w trybie Sleep.

Standard interfejsu MIPI SoundWire, wspierany przez czołowych producentów procesorów aplikacyjnych, procesorów DSP i kodeków, został zaprojektowany do współpracy różnego typu urządzeń audio, jak mikrofony, głośniki, kodeki i wzmacniacze klasy D. Rewolucjonizuje on sposób komunikacji pomiędzy urządzeniami audio i układami scalonymi, umożliwiając przesyłanie równocześnie sygnału audio i danych sterujących pomiędzy 11 urządzeniami (np. 7 mikrofonami i 4 głośnikami) podłączonymi do wspólnej szyny.

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

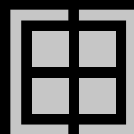


92-kanalowy odbiornik GNSS do równoczesnej współpracy z 4 konstelacjami satelitów

UBX-M9140 to nowy scalony odbiornik GNSS z oferty firmy u-blox, mogący odbierać sygnały równocześnie z czterech konstelacji satelitów nawigacyjnych (GPS, Glonass, Beidou, Galileo). Zapewnia dużą dokładność pozycjonowania nawet w gęstej, wysokiej zabudowie miejskiej. Został zaprojektowany do zastosowań w najwyższej klasy aplikacjach z zakresu telematyki oraz w motoryzacji i pojazdach bezzałogowych UAV.

UBX-M9140 zapewnia częstotliwość aktualizacji sięgającą 25 Hz, co wystarcza do zastosowań w aplikacjach o dużej dynamice (np. UAV), pozwalając na dostarczanie danych pomiarowych przy





bardzo małych opóźnień. Dodatkową zaletą jest zestaw wbudowanych filtrów i algorytmów, realizujących ochronę przed zaburzeniami elektromagnetycznymi oraz pozwalających zidentyfikować celowe zakłócanie pracy odbiornika.

Układ zawiera interfejsy 2×UART, USB 2.0, SPI i DDC (kompatybilny z I²C). Występuje w dwóch wersjach różniących się zakresem dopuszczalnych temperatur pracy: UBX-M9140-KB (-40...+85°C) i UBX-M9140-KA (-40...+105°C). Jest zamykany w obudowie SMD o wymiarach 5,00×5,00×0,59 mm.

Pozostałe dane techniczne:

- liczba kanałów: 92,
- dokładność pozioma: 1,5 m CEP,
- czas startu: 24 s (cold start); 2 s (hot start),
- czułość: -167 dBm,
- napięcie zasilania: 1,8...3 V,
- pobór prądu: 32 mA @ 3 V (praca z 4 konstelacjami satelitów GNSS).

W ofercie firmy u-blox dostępny jest też gotowy moduł NEO-M9N zrealizowany na bazie odbiornika UBX-M9140. Jest on produkowany w obudowie LCC-24 (16,0×12,2×2,4 mm), kompatybilnej pod względem rozkładu wyprowadzeń z wcześniejszymi generacjami modułów NEO.

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



100-amperowy przełącznik elektromechaniczny o małej rezystancji styków

Do oferty firmy Omron wchodzi 100-amperowy przełącznik elektromechaniczny SPST-NO (1A) o bardzo małej rezystancji kontaktów, mogący znaleźć zastosowanie m.in. w testerach półprzewodników i systemach konwersji mocy w instalacjach fotowoltaicznych. Wyróżnia się wyjątkowo małymi stratami cieplnymi wynikającymi z obniżonej do zaledwie 5 mΩ rezystancji kontaktów.

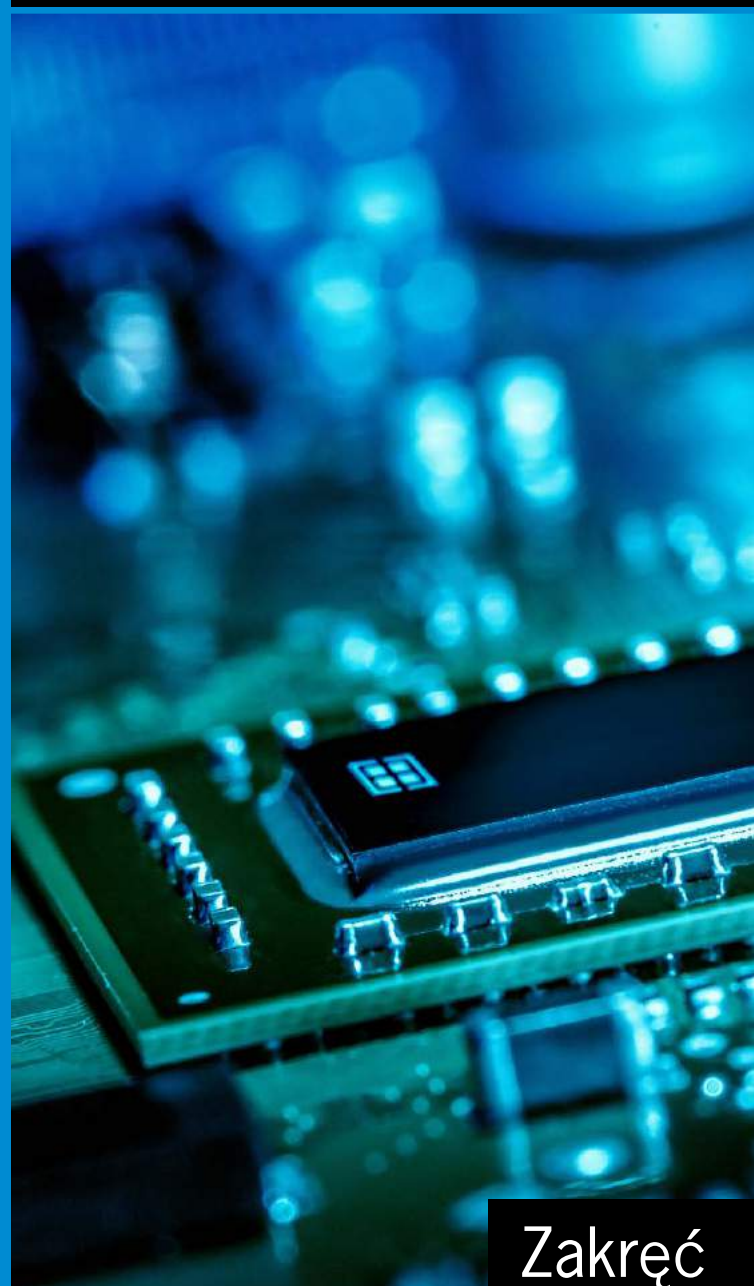
Model G7EB może przełączać prądy o natężeniu do 100 A przy napięciu 480 VAC oraz do 40 A przy 800 VAC. Dzięki małej emisji ciepła jest przełącznikiem o długim czasie bezawaryjnej pracy (min. 1 milion cykli mechanicznych), niewymagającym chłodzenia przy użyciu radiatorów. Przy pracy z pełnym prądem przewodzenia jego temperatura wzrasta o około 40°C, podczas gdy w innych podobnych modelach przyrost sięga nawet 80°C.

G7EB występuje w wersjach o napięciu znamionowym cewki 24 i 48 VDC. Może pracować w zakresie temperatur otoczenia od -40 do +85°C. Wytrzymuje impulsy przepięciowe do 10 kV (1,2/50 μs) pomiędzy cewką i kontaktami. Jest zamykany w obudowie o wymiarach 50,5×40,5×37 mm.

<http://bit.ly/2S6Hzff>



REKLAMA



Zakręć kołem

Elementy high-tech do Twoich innowacji

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

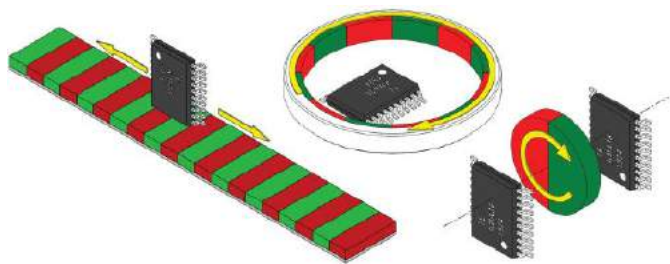
- Półprzewodniki
- Elementy elektroniczne bierne
- Elementy elektromechaniczne
- Wyświetlacze i tablice
- Technologie pamięci
- Technologie bezprzewodowe

Informacje o RUTRONIK: +48 (32) 461 2000

Committed to excellence



www.rutronik.com



Uniwersalny, scalony enkoder magnetyczny o 15-bitowej rozdzielczości

Firma TE Connectivity zaprojektowała uniwersalny, scalony enkoder magnetyczny KMA36 pracujący w oparciu na technice pomiaru AMR, który może być użyty do pomiaru przemieszczenia liniowego lub kąta obrotu. Układ współpracuje z zewnętrznym pierścieniem lub paskiem magnetycznym, realizując pomiar w pełnym zakresie 360° z rozdzielczością do 15 bitów (0,01°). Jest zamykany w obudowie TSSOP-20 (6,5×6,4×1,2 mm). Może pracować w zakresie temperatur otoczenia od -25 do +85°C. Zapewnia dużą tolerancję na szerokość szczeliny powietrznej i zmiany temperatury. Nie wymaga serwisowania. Dzięki szerokiemu zakresowi częstotliwości pracy może znaleźć zastosowanie w aplikacjach dynamicznych, wymagających odporności na trudne warunki środowiskowe, m.in. w robotyce, aparaturze medycznej i maszynach przemysłowych.

KMA36 pracuje z napięciem zasilania od 3,0 do 5,5 V, pobierając od 10 do 30 mA w stanie aktywnym i 1,5 mA w trybie uśpienia. Komunikuje się przez interfejs I²C przy częstotliwości aktualizacji danych od 24 do 720 Hz. Zapewnia bardzo małą histerezę. Umożliwia programowanie położenia zerowego. Oferuje 5 trybów pracy: inkrementalny, liniowy, High accuracy, Low power i Sleep (z wybudzaniem przez interfejs I²C).

<http://bit.ly/2ufx0G5>



Moduł Bluetooth 5.0 LE do aplikacji wymagających dużego zasięgu transmisji

Do oferty firmy Panasonic dołącza kolejny moduł Bluetooth 5.0 Low Energy. PAN1780 został zrealizowany na bazie kontrolera Nordic nRF52840 SoC. Dzięki dużej mocy wyjściowej, dużej czułości i trybowi LE coded jest polecany do zastosowań wszędzie tam, gdzie priorytetem jest duży zasięg transmisji.

Standard Bluetooth 5.0 zapewnia dwa nowe tryby pracy warstwy fizycznej: 2M PHY pozwalający dwukrotnie zwiększyć szybkość transmisji (do 2 Mbps) w porównaniu z Bluetooth 4 oraz LE coded PHY, pozwalający uzyskać znacznie większy zasięg przy prędkości 500 kbps lub 125 kbps. Z kolei, dzięki nowemu rozszerzeniu LE advertising, PAN1780 może rozsyłać znacznie większą ilość danych bez zestawionego połączenia. Oprócz BLE5.0, obsługuje on też protokoły 802.15.4 ZigBee/Thread i NFC-A. Wbudowana jednostka obliczeniowa Cortex M4F z 256 kB pamięci RAM i 1 MB pamięci Flash pozwala na pracę w trybie autonomicznym bez zewnętrznego mikrokontrolera, co przekłada się na mniejszy stopień skomplikowania oraz

mniejszą wymaganą powierzchnię płytki drukowanej i niższy koszt. Z kolei wbudowana jednostka szyfrująca ARM TrustZone Cryptocell 310 wspiera proces secure boot.

PAN1780 może znaleźć zastosowanie w infrastrukturze smart city, przemysłowych sieciach mesh, robotyce, automatyce budynków, inteligentnych systemach oświetleniowych i aplikacjach medycznych wymagających ochrony danych.

Pozostałe parametry:

- zakres napięć zasilania: 1,7...5,5 V,
- pobór prądu: od 4,8 mA w trybie nadawania/odbioru do 1,5 A w trybie sleep,
- maks. moc wyjściowa: +8 dBm,
- czułość: -103 dBm @ 125 kbps,
- interfejsy: GPIO, UART, QSPI, I²C, I²S, PDM, ADC, PWM, NFC-A, USB 2.0,
- aktualizacja oprogramowania over-the-air,
- odporność na gwałtowne zmiany temperatur, wibracje i udary,
- zakres temperatur pracy: -40...+85°C,
- wymiary: 15,6×8,7×2,0 mm.

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



Nowe zasilacze TDK-Lambda serii QM

Seria QM to zasilacze modułowe przeznaczone do zastosowań w medycynie, przemyśle, urządzeniach testujących, komunikacyjnych urządzeniach nadawczych oraz odnawialnych źródłach energii. Producent, firma TDK Lambda, sukcesywnie rozszerza ofertę tej rodziny o nowe pozycje.

Nowy model QM4 został zmniejszony, zajmuje teraz 15% mniej PCB niż poprzednia generacja. Obecna szerokość zasilacza wynosi tylko 108 mm. Zasilacz może być skonfigurowany z 4 modułami z pojedynczymi lub podwójnymi wyjściami oraz podwójnym modułem standby/sygnałowym zapewniającym 10 wyjść.

Zasilacz może zapewnić do 650 W mocy przy wejściowym napięciu mieszczącym się w zakresie 180...264 V lub 550 W dla 90...264 V. Dostępne napięcia wyjściowe można regulować od 2,8 V do 105,6 V, natomiast zainstalowany moduł standby/sygnałowy pozwala nam wybrać dwa napięcia czuwania (5 V/12...13,5 V, oraz uzyskać prąd nawet do 2 A).

Drugi model wprowadzony przez firmę TDK Lambda to zasilacz QM8. Charakteryzuje się znacznie większą mocą niż QM4, dostępna moc wyjściowa w zależności od użytych modułów wyjściowych waha się od 550 aż do 2000 W. Dostępna konfiguracja pozwala na użycie aż 18 niskoszumowych wyjść. Zasilacz QM8 może pracować z napięciami wejściowymi z zakresu 90...264 V.

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



Mikrofalowe wzmacniacze klasy AB o mocy wyjściowej do 200 W

Firma Pasternack wprowadza do sprzedaży serię 18 mikrofalowych wzmacniaczy mocy klasy AB, pokrywających zakres częstotliwości od 1,5 MHz do 18 GHz. Są one realizowane na tranzystorach GaN, LDMOS i VDMOS. Charakteryzują się dużą liniowością i sprawnością oraz małymi zniekształceniami w szerokim zakresie dynamicznym, dzięki czemu mogą znaleźć zastosowanie m.in. w systemach komunikacyjnych, wojskowych stacjach zakłóceń radiowych, radarach, stacjach bazowych i w aparaturze pomiarowej. Zapewniają wzmacnienie do 53 dB. Są bezwarunkowo stabilne. W zależności od wersji zawierają gniazda sygnałowe typu N lub SMA oraz złącza D-Sub z liniami zasilania, wejściem Enable i wyjściami do monitorowania prądu i temperatury.

Wzmacniacze serii PE15A50xx są przystosowane do pracy w zakresie temperatur otoczenia od -20 do +60°C. Producent oferuje do nich opcjonalne moduły radiatorów z wbudowanymi wentylatorami, zapewniające optymalną temperaturę płyty bazowej w aplikacjach o podwyższonej niezawodności.

<https://bit.ly/2K00PGF>



Miniaturowy rubidowy zegar atomowy

Microchip powiększa ofertę komponentów czasowych o nowy atomowy zegar rubidowy MAC-SA5X, zamknięty w obudowie o wymiarach 50,8×50,8×17,4 mm. Pracuje w szerokim zakresie temperatur otoczenia oraz charakteryzuje się krótszym czasem nagrzewania od wcześniejszych wersji.

MAC-SA5X generuje precyzyjne sygnały referencyjne czasu (1PPS) i częstotliwości (10 MHz) oraz zapewnia synchronizację ze źródłem referencyjnym, np. sygnałem czasu wyodrębnionym z GNSS. Dzięki połączeniu małego dryftu długoterminowego, bardzo dobrej



stabilności krótkoterminowej i stabilnej pracy przy zmianach temperatury może wytwarzać precyzyjne sygnały referencyjne po zaniku sygnału z satelitów GNSS w aplikacjach, w których instalowanie dużych zegarów atomowych jest niemożliwe.

MAC-SA5X jest przystosowany do pracy w szerokim zakresie temperatur otoczenia od -40 do +75°C. Został zaprojektowany z myślą o zapewnieniu jak najkrótszego czasu rozruchu w porównaniu z innymi precyzyjnymi zegarami dostępnymi na rynku. Cecha ta może być istotna np. w lotnictwie, pozwalając szybciej uruchomić krytyczne systemy komunikacyjne i nawigacyjne w ekstremalnych warunkach klimatycznych.

MAC-SA5X zawiera interfejsy konfiguracyjne RS232 i USB, wejście LVDS 1PPS oraz wyjścia LVDS 1PPS i CMOS 10 MHz. Jest zamknięty w obudowie o identycznej powierzchni, jak zegary wcześniejszej rodziny MAC-SA.3Xm (50,8×50,8 mm).

Pozostałe parametry:

- stabilność długoterminowa: $5,0 \times 10^{-11}$ /miesiąc,
- stabilność temperaturowa: $5,0 \times 10^{-11}$ (w zakresie -10...+75°C),
- jitter na wyjściu 1PPS: <1 ns,
- pobór mocy: typ. 6,3 W @ 25°C,
- czas nagrzewania: <8 min.

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



Redundantne przemysłowe moduły inercyjne o dużej odporności na błędy

W ofercie TDK InvenSense pojawiły się dwa wysokiej klasy moduły inercyjne IMU o dużej odporności na błędy, zaprojektowane do zastosowań w lotnictwie i przemyśle, np. w maszynach rolniczych i budowlanych, robotach, systemach stabilizacji platform i systemach nawigacyjnych. IIM-46234 i IIM-46230 to moduły 6-osiowe z wbudowanym redundantnym 3-osiowym żyroskopem i 3-osiowym czujnikiem przyspieszenia, zapewniające dokładne wyniki pomiarów również w obecności wibracji i w szerokim zakresie temperatur otoczenia.

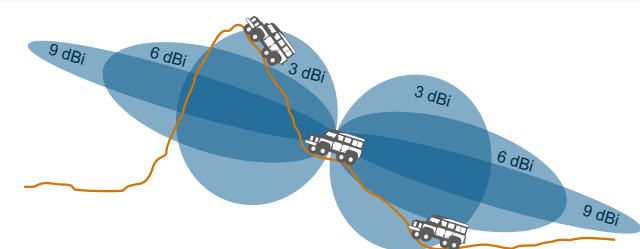
Przykładowym zastosowaniem może być maszyna budowlana łącząca moduł inercyjny serii IIM-4623X z odbiornikiem nawigacyjnym GNSS do precyzyjnego określania położenia, wysokości i kierunku ruchu. Dane te, przesyłane w czasie rzeczywistym, pozwalają zwiększyć stopień automatyzacji i bezpieczeństwa pracy.

W obu modułach zastosowano unikalną architekturę SensorFT, zwiększającą odporność na błędy. Łączy ona jednostkę sprzętową multi-IMU z oprogramowaniem do wykrywania i korekty błędów, oferując redundancję i mechanizmy wczesnego ostrzegania przed awarią któregoś z wewnętrznych czujników.

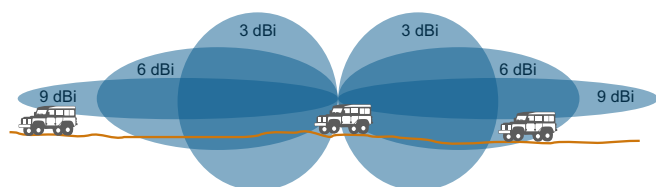
Klienci TDK InvenSense mogą łączyć przemysłowe moduły inercyjne IIM-46234 i IIM-46230 z oprogramowaniem InvenSense Coursa Drive, pozwalające zrealizować kompletny, gotowy do wprowadzenia na rynek system nawigacji inercyjnej przy niewielkim koszcie projektowym. Coursa Drive przesyła do systemu w czasie rzeczywistym dane dotyczące położenia i orientacji modułu z częstotliwością 100 Hz, uzupełniając informacje o lokalizacji z systemu GNSS. Może zapewnić dokładność pozycjonowania na poziomie centymetrów przez krótkie przedziały czasu, gdy dane z GNSS są niedostępne lub niepewne.

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

koktajl niusów



Lower gain in hilly terrain will produce better coverage



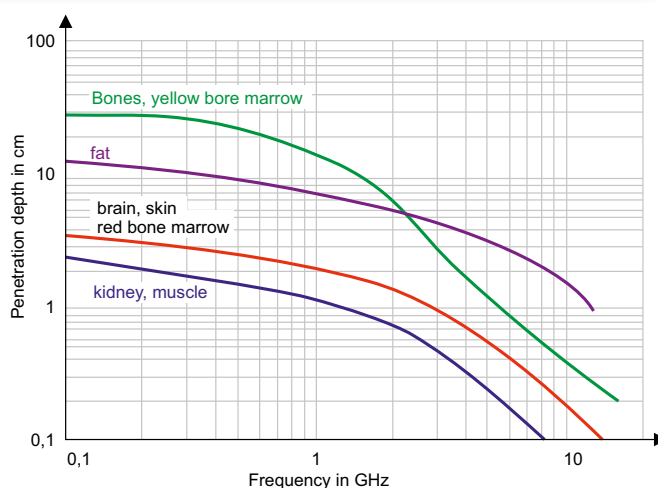
Higher gain in flat terrain will produce better coverage

„Terenowy” zysk anteny

A dokładniej – jej zysk energetyczny, w ujęciu praktycznym, nie definicyjnym. Wartość jest wprost proporcjonalna do długości listka głównego charakterystyki anteny i odwrotnie proporcjonalna do kąta jego rozwarcia, a tym samym do jego szerokości. W związku z tym im większy zysk, tym dłuższy i węższy listek, a im mniejszy, tym krótszy i szerszy. Dzięki temu można lepiej pokryć teren sygnałem radiowym – szczególnie płaski (np. niziny) i pochyły (np. góry), tak jak na rysunku. Dla pierwszego opłaca się zastosować antenę o jak największym zysku energetycznym, natomiast dla drugiego o jak najmniejszym. Wszystko po to, by zapewnić propagację sygnału umożliwiającą jego odbiór z powierzchni, bez konieczności umieszczania anten na dużej wysokości, przy jednocześnie jak największym zasięgu tego sygnału. Jak widać, teren ma zatem znaczenie – od jego rodzaju zależy, jaka jest potrzebna antena. Niemniej to analiza uproszczona – w rzeczywistości bowiem należy jeszcze wziąć pod uwagę listki boczne charakterystyki anteny (niepokazane na rysunku) i właściwości powietrza nad terenem, nie mówiąc o warunkach atmosferycznych, które także wpływają na propagację sygnału.

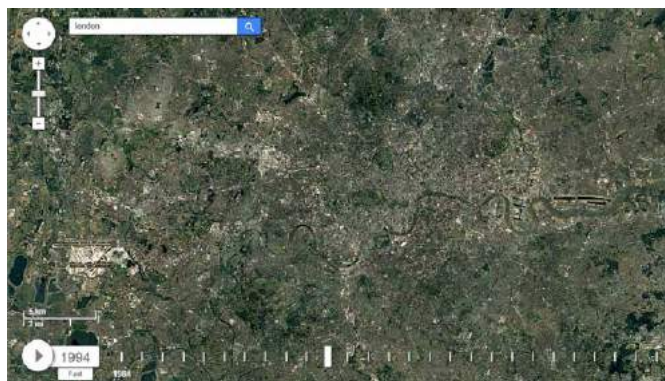
Fale radiowe a narządy człowieka

Tego, że fale radiowe wnikają w ludzkie ciało, nie trzeba nikomu wyjaśniać. Czy wiecie, jak głęboko? Spójrzcie na rysunek pokazujący zależność głębokości penetracji fal od ich częstotliwości, dla kości i szpiku kostnego żółtego (wykres zielony), tkanki tłuszczowej (wykres fioletowy), mózgu, skóry i szpiku kostnego czerwonego (wykres czerwony) oraz nerek i mięśni (wykres granatowy). Jak można zauważyć, to nie mózg jest najbardziej podatny – wrażliwszy jest bowiem układ kostny. Jednak nie oznacza to negatywnych konsekwencji dla tego układu! Wręcz przeciwnie – łatwiej go w ten sposób zdiagnozować za pomocą rezonansu magnetycznego oraz walczyć z rakiem (istnieją terapie niszczące komórki z nim związane, z zastosowaniem fal radiowych). Podobnie jest z tkanką tłuszczową (można ją redukować w oparciu na tych falach). Jednak nie jest to takie oczywiste w przypadku reszty narządów – są bowiem badania przemawiające



zarówno za szkodliwością fal radiowych, jak i za jej brakiem, z czego żadne nie przesądza jednoznacznie o całości. Tym samym pozostaje zachować zdrowy rozsądek, niepolegający ani na nadmiernym unikaniu fal radiowych, ani na nadmiernym wystawianiu się na nie.

Źródło: <https://bit.ly/2JQ5IXV>



Własna okolica sprzed lat, lecz z góry

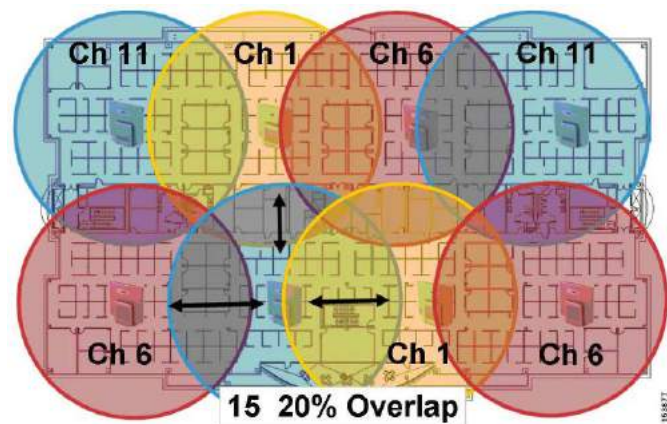
Z pewnością są osoby, które chciałyby zobaczyć, jak wyglądała kiedyś ich okolica. Jednak często natrafiają przy tym na brak zdjęć archiwalnych, które by to pokazywały. Z pomocą przychodzi portal Google Earth z funkcjonalnością Timelapse pozwalającą na przegląd zdjęć satelitarnych świata z lat 1984–2018 (<https://bit.ly/2UXEPIK>). Ale uwaga: są one niskiej jakości, a dostępny zoom pozwala jedynie na ich podgląd z dużej wysokości. Tym samym można zobaczyć tylko duże obszary, wliczając te miejskie. Wszystko to, ponieważ w pierwotnym zamyśle chodziło o obserwację zmian klimatu na podstawie niezaludnionych miejsc (np. topniejące lodowce), przeważnie wielkich. Niemniej można dostrzec wybrane zabudowania – o ile posiłkujemy się zdjęciami wysokiej rozdzielczości. W szczególności pomocne są tu mapy Google, które są ich źródłem. Ponadto wiele miejsc było rejestrowanych w odstępach dwuletnich, tzn. zdjęcie wykonane w danym roku obowiązuje dla drugiego. Bez względu na to, można chociaż zobaczyć, jak wyglądała z góry Polska połowy lat osiemdziesiątych XX wieku, kiedy panował trudny kryzys ekonomiczny. Jest to zresztą niezbity dowód na to, że byliśmy

tak samo szpiegowani, jak obecnie Korea Północna, i zagranica doskonale orientowała się w naszej sytuacji, mimo próby jej ukrycia przez władze komunistyczne.



Walt Disney to nie tylko kreskówki

To również pomysłodawca (lecz nie twórca) systemu dźwięku przestrzennego lub inaczej: systemu surround – i to pierwszego w świecie! Mowa o czterokanałowym (ale nie kwadrofonicznym) systemie Fantasound, który zadebiutował 13 listopada 1940 roku w trakcie premiery filmu kreskówkowego „Fantazja”. I chociaż dzisiaj to nic nadzwyczajnego, to jednak w czasach, gdy dominował dźwięk jednokanałowy, a stereofonia stanowiła luksus, to było spektakularne osiągnięcie. Co więcej, był to pomysł oryginalny – zastosowano bowiem odrębną taśmę filmową z nagrałymi wcześniej czterema ścieżkami dźwiękowymi (zapis optyczny) – coś, czego nikt dotąd nie robił. Jednak tylko na trzech była zawarta „informacja”, podczas gdy w oparciu na czwartej sterowano głośnością. Tym samym był to system bardziej trifoniczny niż kwadrofoniczny. System ten zastosowano w 14 kinach w USA, które należały do Disneya. Nie odniósł on większego sukcesu i wkrótce go zarzucono, poprzestając na wspomnianym wcześniej filmie. Ale nie ma tego złego, co by na dobre nie wyszło – system stał się bowiem protoplastą późniejszych systemów, wliczając te firmy Dolby. Więcej o systemie można przeczytać tutaj: <https://bit.ly/2VdSbJG>.



Sieć Wi-Fi też jest komórkowa

Wystarczy zauważyć analogię między jej punktem dostępowym (Access Point) a stacją bazową telefonii komórkowej (nazwa zależna od jej generacji). Krótko mówiąc, w obydwu przypadkach jest kryty sygnałem radiowym konkretny obszar. Pokrycie to można opisać wybraną figurą geometryczną. A ta figura to właśnie komórka. Skoro tak, to zestawiając kilka punktów dostępowych, mamy do czynienia z siecią „komórkową”. Tym samym to pojęcie nieograniczone tylko do telefonii

komórkowej – to także bowiem i inne bezprzewodowe sieci radiowe, wliczając te standardu Wi-Fi. I nie mają przy tym znaczenia stosowane standardy, protokoły czy kształty „komórek” – liczy się istota, czyli „komórka”. Zatem następnym razem słysząc „sieć komórkowa”, pomyśl, czy czasem nie chodzi o coś innego niż wspomniana telefonia. Przy okazji pamiętaj, by zadbać o różne częstotliwości (a właściwie kanały radiowe) punktów dostępowych sieci Wi-Fi, by zapobiec interferencjom (coś, co w telefonii komórkowej jest znane od dawna – jej stacje bazowe w końcu operują na różnych częstotliwościach, by temu zapobiegać).

The Phones Emitting the Least Radiation

Specific Absorption Rate* of smartphones that emit the least radiation* (in watts per kilogram**)

ZTE Axon Elite	ZTE	0.17
Samsung Galaxy Note8	SAMSUNG	0.17
Samsung Galaxy Note10+	SAMSUNG	0.19
Nokia 6	NOKIA	0.21
Samsung Galaxy Note10	SAMSUNG	0.21
Nokia 8	NOKIA	0.22
Nokia 3.2	NOKIA	0.24
Nokia 2	NOKIA	0.24
LG G7 ThinQ	LG	0.24
Samsung Galaxy A8	SAMSUNG	0.24
Samsung Galaxy M20	SAMSUNG	0.25
Nokia 7.1	NOKIA	0.26
Honor 7A	HONOR	0.26
Samsung Galaxy S10	SAMSUNG	0.26
Samsung Galaxy S8+	SAMSUNG	0.26
Samsung Galaxy S7 edge	SAMSUNG	0.26

* Current smartphone models (as of August 13, 2019) from the following vendors: Apple, BlackBerry, Fairphone, Google, Honor, HTC, Huawei, LG, Motorola, Nokia, OnePlus, Samsung, Sony, Xiaomi, ZTE.
** While calling with phone placed on ear.



Source: German Federal Office for Radiation Protection (Bundesamt für Strahlenschutz)



Telefony o najmniejszym poziomie promieniowania

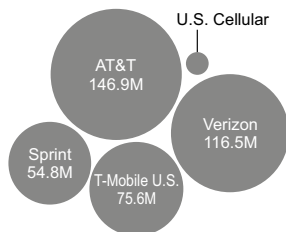
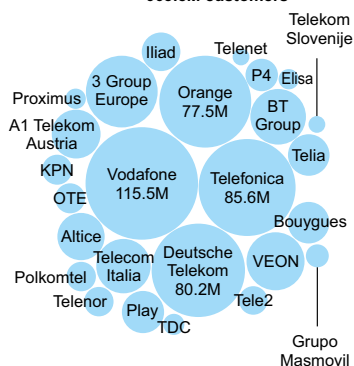
Jeżeli jesteście zainteresowani telefonami emitującymi jak najmniej ilość promieniowania w trakcie rozmowy, to spójrzcie na rysunek pokazujący zestawienie dziesięciu takich. Jak widać, przoduje w nim chińska firma ZTE z modelem Axon Elite, z promieniowaniem na poziomie 0,17 W/kg, podczas gdy kolejne miejsca zajmuje firma Samsung (od 0,17 W/kg do 0,26 W/kg), Nokia (od 0,21 W/kg do 0,26 W/kg) oraz LG z modelem G7 ThingQ (0,24 W/kg) i Huawei z modelem Honor 7A (0,26 W/kg). Podane wartości wyrażone są we współczynniku absorpcji swojej (SAR – Specific Absorption Rate), który mówi, jaka moc jest pochłaniania przez tkanki ludzkiego ciała (dla ułatwienia przyjmuje się określoną jednostkę masy ciała, przeważnie kilogram). Krótko mówiąc, im mniejsza jego wartość, tym lepiej, bowiem ciało nie jest aż tak penetrowane przez fale radiowe (źródło: <https://bit.ly/34qiEYT>).

Operatorzy mobilni w USA i w Europie

Ilu operatorów telefonii komórkowej jest w Stanach Zjednoczonych, a ile w Europie (dokładniej: w Unii Europejskiej)? Odpowiedź pokazana jest na rysunku. Jak można zauważyć, w pierwszym kraju jest tylko 5 takich (z blisko 400 milionami użytkowników). Natomiast w Europie co najmniej 26 (z ok. 664 milionami użytkowników). I w sumie nic dziwnego – USA to jednolity kraj, podczas gdy Europa to zbiór państw. Skoro tak, to w ostatnim przypadku każdy chce mieć własnego operatora, nie mówiąc o wymuszanej przez Unię konkurencyjności podmiotów telekomunikacyjnych. Na załączonym zestawieniu można zauważyć operatorów działających na terenie Polski, tj.: Orange (właściciel sieci Orange – ponad 15 milionów użytkowników w Polsce), Deutsche Telekom (właściciel sieci T-Mobile

Too Many Carriers?

Europe's phone companies operate in a crowded market

The 5 carriers in the U.S.
398.3M customersThe 26 largest carriers in the E.U.
663.5M customers

Source: Company reports

– ok. 11 milionów użytkowników w Polsce), Polkomtel (właściciel sieci Plus – ponad 14 milionów użytkowników) i P4 (właściciel sieci Play – ponad 15 milionów użytkowników). Dane dotyczą roku 2019. (źródło: <https://yhoo.it/3b99nGQ>)



Zasilanie warszawskich wiat

A dokładniej to, jak są zasilane oświetlenia reklam w wiatkach autobusowych i tramwajowych firmy AMS. Jeżeli myśleliście, że jest to czynione poprzez panele fotowoltaniczne, to jesteście w błędzie. Nie przewidziano paneli ani na wiatkach, ani w ich pobliżu. Krótko mówiąc, do wspomnianych wiat są doprowadzone przewody, dopięte zwykle do obwodu zasilania miejskiego oświetlenia ulicznego, umieszczone w standardowej tubie z tworzywa sztucznego. Sytuacja wygląda dokładnie tak jak z wiatkami w Krakowie, w przypadku których podświetlane są również nazwy przystanków (dla wiat wspomnianej firmy ma to miejsce jedynie w najbardziej reprezentatywnych miejscach stolicy).

Granie w łóżku? Ależ tak!

Zapomnijcie o fotelach gamingowych i biurkach do gier – one są już passé! Teraz w modzie są zestawy łóżek i mebli, dzięki którym nie tylko przyjmiesz wygodną pozycję do grania i spania,

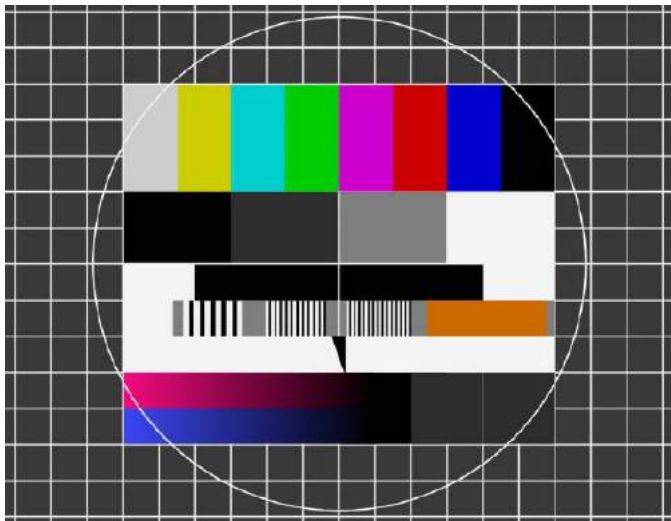


ale także będziesz miał pod ręką wszystko, co trzeba, bez ruszania się z miejsca. Pewnie chcecie zapytać: „kto wpadł na tak niedorzeczny pomysł?”. Odpowiedź brzmi: Japończycy – a dokładniej firma Bauhutte oferująca jeden z tych zestawów w dwóch wersjach: Ultimate (pełne wyposażenie, jak na rysunku) za 126 300 jenów (nieco ponad 4900 zł) i Standard (wyposażenie uboższe) za 63 750 jenów (ok. 2500 zł). Pierwsza obejmuje: łóżko z kołdrą i poduszką, biurko podłużne z metalową zawieszką u boku, trzy stoliki na kółkach (dwa podłużne – jeden węższy, z blatem, dwoma półkami i uchwytem na telefon, oraz drugi szerszy, tylko z blatem, a także jeden kwadratowy, z blatem i również dwoma półkami), czteropółkowy stelaż na kółkach i czarny strój dla gracza. Natomiast druga to: łóżko z kołdrą, lecz bez poduszki, biurko podłużne z metalową zawieszką, węższy podłużny stolik na kółkach i czarny strój dla gracza. Ponadto można dokupić dodatkowe elementy, które nie są sprzedawane wraz z zestawem.

Zabawy jest co nie miara, choć może ona dużo kosztować. Niemniej przedstawiony zestaw doskonale wpisuje się w japońskie realia – ile jest tam bowiem osób, które nie wychodzą przez dłuższy czas ze swego pokoju (tzw. *hikimori*) albo poświęcają najwięcej czasu na granie, i to ze wszystkich na świecie? Nie mówiąc o spaniu w miejscu pracy lub przed komputerem, by zaoszczędzić czas potrzebny na dotarcie na miejsce swoich codziennych aktywności? Wydaje się to śmieszne, zwłaszcza że trudno to sobie wyobrazić w warunkach kultury człowieka europejskiego – ale tak tam rzeczywiście jest, i bez zrozumienia tego, nie można pojąć ani samego zestawu, ani pomysłów i motywów, jakie stały za jego opracowaniem. Słowem „co kraj to obyczaj”, i to odmienny od tego we własnym kraju! Na koniec strona z ofertą zestawu (<https://bit.ly/2RqiQCa>)

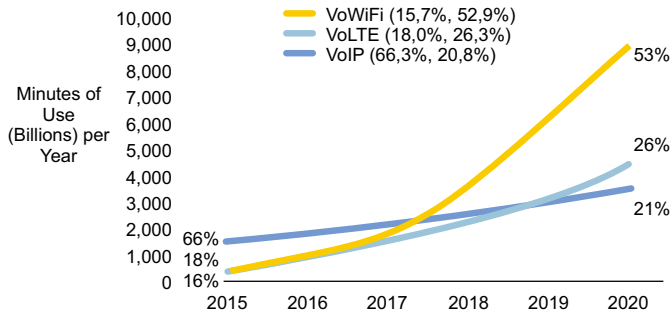
O obrazie kontrolnym słów parę

To tzw. FunkBetriebsKommission bądź krótko: FuBK (po polsku: Komisja ds. Łączności Radiowej), które początki sięgają najprawdopodobniej 1967 roku, czyli roku, w którym rozpoczęła się emisja kolorowej telewizji w Niemczech. To obraz dwóch największych niemieckich nadawców publicznych, tj. ARD i ZDF i to z czasów, gdy dominowały odbiorniki kineskopowe. Ale nie tylko: był on bowiem również stosowany przez Telewizję Rumuńską (w skrócie TVR) w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XX wieku oraz przez telewizję Polsat w początkach emisji. Różni się od obrazu kontrolnego stosowanego w naszym kraju, zwłaszcza przez Telewizję Polską (dla jasności: chodzi o PM5544 opracowany w latach 1967–1969 przez holenderską, teraz niderlandzką, firmę Philips). To, co od razu rzuca się w oczy, to:



- tło: zamiast szarych kwadratów, kolorowych prostokątów i szachownicy po bokach, widnieje biała siatka na szarym tle,
- koło zastąpione okręgiem o białej obwódce,
- elementy umożliwiające sprawdzenie wybranych parametrów odbioru (tzn. kolorowe paski, odcienie szarości czy rozszerzające się w szerokości czarno-białe paski) są uporządkowane w kwadracie, a nie w kole,
- zamiast dwóch czarnych prostokątów informacyjnych występuje tylko jeden.

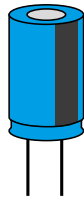
Krótko mówiąc, to uproszczona wersja drugiego obrazu, i to z innym układem. Wersja, która jednak także pozwala na równie sprawną regulację odbiorników kineskopowych. Jest to wynalazek niemiecki – co prawda pochodzenie nie ma znaczenia w technice, ale nie wtedy, gdy weźmie się pod uwagę „komunistyczne” realia Polski po II wojnie światowej, kiedy to, przez wzgląd na wyrządzone krzywdy, z wrogością odnoszono się do wszystkiego mającego jakikolwiek związek z Niemcami.



Technologie „voice-over” – która najpopularniejsza?

Chodzi o Voice over IP (VoIP), Voice over LTE (VoLTE) i Voice over WiFi (VoWiFi). Tym samym pytanie odnosi się do jednej z nich. Odpowiedź pokazana jest na rysunku. Nie jest w sumie zaskoczeniem – do dziś bowiem można spotkać osoby, które nadal szukają darmowych, a przy tym niewymagających podania hasła sieci, i to w dodatku „szybkich”. Opracowanie VoWiFi umożliwiło im rozmowy przez wspomniane sieci, bez potrzeby stosowania dodatkowego oprogramowania na telefonach. Jak widać zresztą, okazało się to strzałem w dziesiątkę. I jak ma być inaczej, jeżeli na myśl o LTE człowiekowi przychodzi do głowy opłata, natomiast na myśl o VoIP potrzeba użycia komputera, którego nie ma się zwykle pod ręką lub nie ma gdzie go obsłużyć bądź po prostu nie chce się tego robić, bowiem wygodniejsze jest urządzenie mobilne pod ręką? Kwestia psychologii, która tylko wzmacnia przytoczone nawyki. Przy okazji: obecne na rysunku angielskie słowo billion to miliard, nie bilion! (błąd, który jest często spotykany).

Farad (F)



μF
 μF
mF

Microfarad = 10^{-6} F

nF

Nanofarad = 10^{-9} F

pF

mmF

uuF

Picoofarad = 10^{-12} F

Jednostki pojemności kondensatorów

A dokładniej mikrofarada (10^{-6} F) i pikofarada (10^{-12} F). Jak się okazuje, obydwa są oznaczane aż na trzy sposoby, pokazane na rysunku, wraz z nanofaradem (10^{-9} F) oznaczanym tylko w jeden sposób, tzn. jako „nF”. Zwróćcie uwagę na oznaczenie „mF” domyślnie odpowiadające milifaradowi (10^{-3} F). Można się tu pomylić i to z winy producenta, który niewłaściwie posłużył się oznaczeniem. To samo z oznaczeniem „mmF”, które można odebrać jako mikrofarad (dla jasności: przedrostek „mm” to „m razy m”, podobnie jak przedrostek „uu” oznaczający „u razy u”). Jak zatem widać, łatwo tu o błąd – stąd zawsze warto sprawdzić pojemność kondensatora, czy jest taka jak deklarowana. Tym samym to kolejny obok rezystora element, któremu nie wolno „ufać” – i tu bowiem oszukują producenci!

REKLAMA

ZAJRZYJ NA TE STRONY

www.gamma.pl
info@gamma.pl

PODZESPOŁY ELEKTRONICZNE

All In One

- Projektowanie i wykonywanie
 - modeli kaskasów i obudów na drukarce 3D
 - transformatorów i induktorów
 - prototypów PCB
- Modelowanie 3D modułów i urządzeń
- Projektowanie urządzeń zasilających

Feryster - producent elementów EMC

www.feryster.pl

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

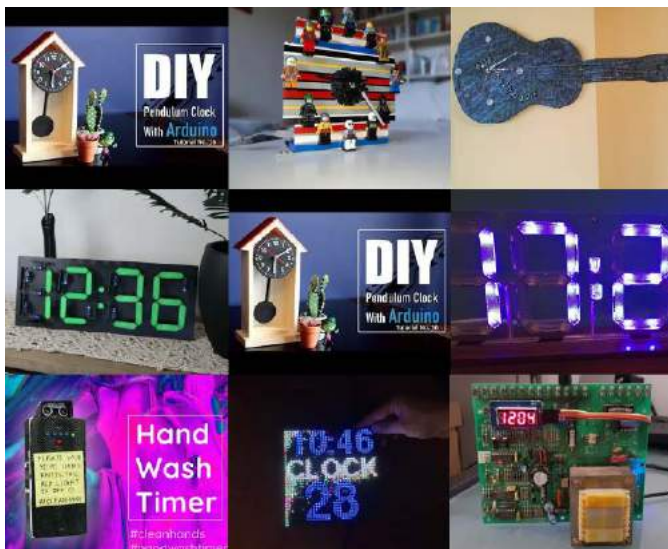
www.renex.com.pl

www.ipctraining.pl

www.reneline.pl

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.



Konkurs na projekty związane z zegarami

Portal Instructables często organizuje ciekawe konkursy dla elektroników i nie tylko. Tematem najnowszego z nich są zegary. Na konkurs nadsyłać było można wszystkie projekty związane z zegarami – zegary z wyświetlaczami LED, wskazówkowe i inne, wykonane z dowolnych materiałów – szkła, drewna czy np. materiałów z odzysku. Dla wszystkich szukających inspiracji do stworzenia własnych unikatowych zegarów autorzy konkursu wskazują na poprzednie edycje konkursu, które miały miejsce w 2011 i w 2018 roku.

Zegar tyka – na dzień pisania tego tekstu zostało jeszcze kilka dni, ale w momencie opublikowania tego numeru „Elektroniki Praktycznej” znany będzie już zwycięzca konkursu. Główną nagrodą w konkursie jest tablet iPad z dyskiem o pojemności 32 GB. Drugie i trzecie miejsce uhonorowane zostanie kartami podarunkowymi do Amazona o wartości, odpowiednio, 200 dolarów i 100 dolarów.

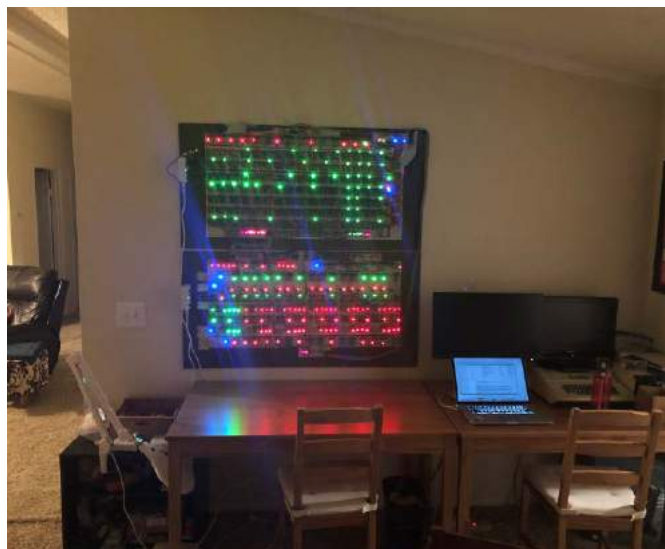
<https://bit.ly/2yqrolR>



The Spikeputor – 16-bitowy procesor RISC skonstruowany wyłącznie z dyskretnych tranzystorów

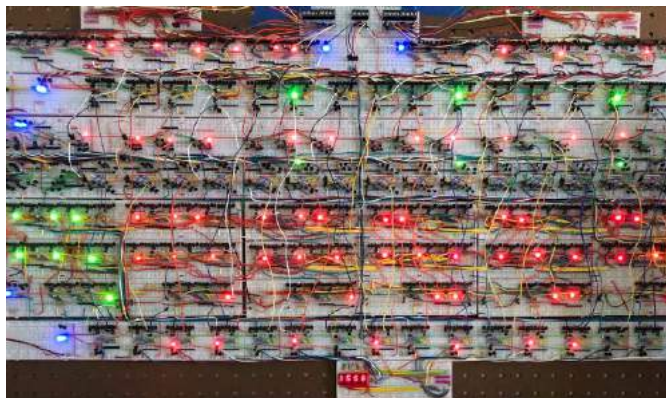
Autor projektu, po ukończeniu kursu MITx „Computation Structures”, zdał sobie sprawę, jak stosunkowo łatwo można zbudować podstawowy procesor. Uzbrojony w wiedzę na temat elektroniki i koncepcje wprowadzone podczas kursu zaprojektował i rozpoczął implementację procesora RISC opartego na logice NMOS.

System ma kształt wertykalnej, płaskiej „ściany”. Zbudowany jest głównie na płytkach prototypowych z tranzystorów 2N7000, oporników (dyskretnych i, głównie, w obudowach SIP), diod LED, kilku układów scalonych dla wyświetlaczy (HP-5082) oraz ogromnej ilości kabli połączeniowych.



Celem komputera jest wykonywanie prostych programów i wizualizacja pracy systemu w miarę ich przebiegu. Aby uzyskać dodatkowy styl retro, wejścia i wyjścia będzie obsługiwał stary Apple II. Spikeputor ma być w pełni funkcjonalnym komputerem z procesorem wykonanym wyłącznie z logiki NMOS przy użyciu około pięciu tysięcy tranzystorów MOSFET (2N7000), rezystorów oraz diod LED i wyświetlaczy heksadecymalnych do wizualizacji przepływu danych. Zegar systemu będzie można regulować od maksymalnej prędkości (przewidywanej w zakresie dziesiątek tysięcy herców) do pojedynczego kroku na sekundę. Ponieważ głównym zadaniem Spikeputora jest wizualizacja obliczeń, szybkość nie stanowi problemu, chociaż autor planuje podjąć pewne kroki w celu zwiększenia ogólnej wydajności.

Początkowa konstrukcja procesora została zainspirowana przez procesor Beta, wprowadzony podczas kursu MITx „Computation Structures”. Beta ma 32-bitową architekturę RISC. Aby zaoszczędzić



miejsce, tranzystory i zdrowie psychiczne twórcy, szerokość linii procesora Spikeputor został zredukowany do 16 bitów. Wymagało to kilku innych poważnych zmian projektowych, głównie z uwagi na fakt, że 16-bitowe kody operacyjne nie mogą obsługiwać włączenia stałych w kodzie operacyjnym.

Aby móc wykonywać więcej niż tylko trywialne programy, procesor Spikeputor będzie współpracował z szybkimi, scalonymi pamięciami statycznymi RAM (2×32K AS6C62256) i układami ROM (2×32K AT27C256R). Ponadto zostanie utworzona lustrzana „pamięć ekranowa” do prezentacji danych, również wykonana z około pięciu tysięcy dyskretnych tranzystorów, zapewniająca układ adresowanych diod LED 48 na 18. Adresy pamięci będą ograniczone do granic słów. Ponieważ nie ma żadnych dostępnych pamięci SRAM i ROM o szerokości słowa 16 k, autor zastosował układy 32 k i wykorzystał tylko połowę dostępnej pojemności.

Za funkcje wejścia i wyjścia odpowiada komputer Apple II Plus z 1986 roku. W komputerze znajduje się niestandardowa karta peryferyjna BIAS do podłączenia Spikeputora, która obsługuje oprogramowanie dla systemu. Za obsługę klawiatury, wyświetlanie danych na ekranie i przechowywanie danych odpowiada oprogramowanie Apple. Dodatkowo system zawierać ma 16-bitowy port GPIO.

Komputer zasilany jest napięciem 5 V i będzie pobierał około 25 W – finalne szacunki zostaną potwierdzone w czasie realizacji projektu. Zasilanie zostanie dostarczone najpewniej za pomocą zasilacza USB (po jednym dla każdego z modułów).

„To mój pierwszy projekt na Hackaday i, jeśli mam być szczerzy, właściwie mój pierwszy projekt elektroniczny. To ambitne przedsięwzięcie, ale mam czas i jestem zaangażowany, by doprowadzić do końca. Komentarze, pytania i sugestie są zdecydowanie mile widziane!”, podsumowuje autor projektu.

The Spikeputor – 16-bitowy procesor <https://bit.ly/2KjyniX>



Konkurs na projekt płytki drukowanej

Płytki drukowane (PCB) są niezbędnym elementem wielu projektów elektronicznych, ale czasami potrzebna płytki nie istnieje. Trzeba wtedy zaprojektować ją samodzielnie. Na takich projektach zależy właśnie organizatorom opisywanego konkursu. „W konkursie chcemy zobaczyć Twoje PCB i to, jak je dostosowałeś, aby idealnie pasowały do Twojego projektu”, piszą organizatorzy.

„Pokaż nam swoje dzieła, aby wygrać kartę podarunkową Amazon lub iPada Air. Istnieje również specjalna nagroda sędziowska za najlepsze wykorzystanie oprogramowania Eagle do projektowania płytki drukowanej”, czytamy w opisie konkursu. Główną nagrodą w konkursie jest tablet iPad Air. Dalsze nagrody to, odpowiednio, 250 i 100 dolarów w postaci karty podarunkowej do sklepu Amazon. Dodatkowa karta Amazon o wartości 250 dolarów przeznaczona będzie dla osoby, która wykaże się najlepszą umiejętnością obsługi Eagle.



REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

Autoryzowany dystrybutor Altium w Polsce

Pracuj z DOWOLNEGO MIEJSCA
Łącz się z KIMKOLWIEK



SUPER CENY
SUPER RABATY



AD20 + A365

Aby wesprzeć pracę zdalną Altium 365 do nowych licencji i subskrypcji **GRATIS**

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

W czasie pisania tego artykułu konkurs jest już zamknięty, ale nieznane są jeszcze nazwiska zwycięzców. Nie zapomnijcie zajrzeć za jakiś czas na portal Instructables, aby sprawdzić, kto wykonał najlepszy projekt w zakresie projektowania PCB.

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



Komputer DIY oparty na procesorze 68010 i MMU 68451

68451 to układ MMU (jednostka zarządzania pamięcią), stworzony jako towarzysz dla procesora 68010 – pierwszego procesora Motoroli, obsługującego pamięć wirtualną. Istnieje bardzo niewiele przykładów maszyn zbudowanych za pomocą tej kombinacji i ani Linux, ani NetBSD jej nie obsługują (jeszcze). Większość maszyn z 68010 została zbudowana w ogóle bez MMU (jest to niewielka aktualizacja względem 68000) lub z niestandardowym MMU (jakie znajduje się, na przykład, w Sun-2). Kolejne iteracje procesorów z rodziny M68k zawierają już MMU zintegrowane w układzie.

Autor projektu, John Sonnenschein, nie napisał jeszcze wiele o swoim projekcie. Planuje on samodzielnie stworzenie kompletnego komputera, który pracować będzie na układzie 68010 współpracującym z jednostką zarządzania pamięcią 68451. W sieci znajduje się tylko jeden inny projekt, podobnego systemu, ale, jak wskazuje autor, prawdopodobnie firma Unisoft zajmowała się w latach 80. portowaniem UNIX-a na tego rodzaju platformę. Obserwujcie postępy w tym projekcie, aby wiedzieć, jak potoczył się dalej jego rozwój.

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



Kurs druku 3D dla elektroniki i oprogramowania Autodesk Tinkercad

W ramach tego krótkiego i zabawnie prowadzonego kursu nauczysz się projektować wydruki 3D, które mogą zapalać się czy przesunąć. W ramach kursu poznamy oprogramowanie Autodesk Tinkercad – prosty przeglądowy program do modelowania. Jest on udostępniany w sieci przez Autodesk'a za darmo.

Dzięki elektronicznie, takiej jak diody LED czy niewielkie silniczki, obwody elektroniczne w Tinkercad łączą prawdziwą elektronikę z modelowaniem 3D, dzięki czemu można tworzyć interaktywne wydruki 3D. W ramach tego kursu każdy, nawet jeżeli ma niewielkie lub żadne doświadczenie w projektowaniu 3D czy elektronice, może wejść do świata ciekawych, interaktywnych systemów drukowanych.



Kurs składa się z trzech prostych lekcji – na pierwszej omawiane będą podstawy druku 3D i obsługi Tinkercada, na drugiej lekcji objaśnione zostaną elementy świecące, dostępne w pakiecie Tinkercad, a na trzeciej elementy ruchome, jakie dodawać można do wydruków.

Na osoby, które ukończą kurs i pochwalać się na portalu Instructables swoimi konstrukcjami, czeka specjalny konkurs z nagrodami.

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



Posuw do aparatu fotograficznego do zdjęć typu timelapse

Timelapse to niezwykle popularna technika, łącząca w sobie fotografię z filmem. Wykorzystuje się tutaj fotografię poklatkową, która pozwala na stworzenie filmu – odmiennie jednak niż w przypadku klasycznego filmu poklatkowego obserwowany przedmiot zazwyczaj, się nie rusza – porusza się aparat.



Najczęściej tego rodzaju filmy poklatkowe realizuje się z aparatu, który zamontowany jest na ruchomym posuwie liniowym. Takie filmy od zawsze robiły na autorze projektu duże wrażenie, dlatego postanowił samodzielnie skonstruować posuw, umożliwiający kręcenie filmów poklatkowych typu timelapse.

Posuw został wykonany z projektu jednej z osi dla drukarki 3D. Zasadniczo element taki nie różni się niczym od osi, sterującej taką drukarką czy też np. ploterem lub obrabiarką numeryczną. Wykorzystanie takiego elementu było odpowiedzią na potrzebę szybkiego stworzenia posuwu dla aparatu fotograficznego. Aby zmienić oś drukarki w izolowaną oś posuwu, zastosowano Arduino UNO do sterowania silnikiem z pożądaną prędkością obrotową. Szkic Arduino znaleźć można na repozytorium autora (link poniżej).

Program jest skonfigurowany do odczytu dwóch wejść analogowych sterowanych przez potencjometry i każdy z nich indywidualnie steruje dwoma silnikami. Obecnie połączona jest tylko pojedyncza oś liniowa. Druga oś ma być osią obrotową i być zamontowana na ruchomym wózku.

Wartość analogowa z potencjometru jest podzielona na 5 zakresów, które są wyświetlane przez 3 diody LED podłączone do Arduino. Gdy wszystkie diody są zgaszone, posuw działa w najwolniejszym trybie. Wszystkie diody zapalone – posuw jest najszybszy. Układ nie ma wsparcia dla bazowania, więc przed włączeniem zasilania należy manualnie przesunąć wózek do skraju osi. Następnie wózek porusza się tam i z powrotem w nieskończoność.

Obudowa układu została zaprojektowana w Fusion 360, a następnie wydrukowana na drukarce 3D, aby możliwe było podłączenie do Arduino UNO shiedla z dwoma sterownikami silnika. W obudowie zamknięte jest też całe okablowanie i inne potrzebne elementy sterujące. Całość zasilana jest zasilaczem pochodzącym ze starego laptopa. Daje on dwa napięcia stałe – 12 V do zasilania silników oraz 5 V do zasilania modułu Arduino.

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

Kurs wprowadzający do tworzenia systemów Internetu Rzeczy z użyciem modułów Arduino

Ten kurs Arduino dedykowany jest programistom na średnim i wyższym poziomie zaawansowania. Prowadzi on poprzez proces tworzenia pierwszych projektów elektronicznych, podłączonych do Internetu za pomocą płytki Breakout Wi-Fi. Dzięki temu możliwe jest tworzenie własnych urządzeń Internetu Rzeczy.



W ramach kursu omówiony zostanie sprzęt oraz jego oprogramowanie, które pozwala na tworzenie inteligentnych obiektów podłączonych do sieci. Omówione zostaną krok po kroku podstawowe zagadnienia podłączania systemów do sieci wraz z pokazaniem najczęstszych rozwiązań na przykładach – zaprezentowany zostanie m.in. czujnik, który wysyła wiadomość e-mail (lub tweet itp.) czy też obwód wyświetlający informacje pobrane z Internetu.

W ramach kursu będzie można nauczyć się, jak połączyć przykładowy kod, aby stworzyć własne projekty urządzeń Internetu Rzeczy. „Niezależnie od tego, czy jesteś inżynierem oprogramowania, który tylko minimalnie zanurza się w świecie sprzętu, czy nowicjuszem, który właśnie ukończył wprowadzający kurs Arduino, ten kurs zapewni Ci umiejętności realizacji projektów IoT swoich marzeń”, reklamuje autor na portalu Instructables. Dzięki wiedzy w nim zawartej możliwe jest podłączenie urządzeń DIY do sieci i korzystanie z szerokiego spektrum usług chmurowych.

<https://bit.ly/34RaWH8>



Novasaur – minikomputer TTL w stylu retro

Czy można przeglądać Internet przy użyciu komputera złożonego z układów scalonych logiki TTL i pamięci sprzed 1980 roku? Celem opisywanego projektu jest wykazanie, że tak. System podłączony jest do Internetu za pomocą klasycznego interfejsu RS232. Aby móc jednak w stanie obsługiwać popularne urządzenia wejścia i wyjścia (klawiaturę i wideo), autor uzupełnił go o porty PS/2 i VGA. Komputer ma możliwość wyświetlać tekst w 80 kolumnach lub grafikę w postaci prostych bitmap w rozdzielczości 320×256 przy 8 kolorach z 4 wzorami ditheringu.

Novasaur składa się z dwóch jednostek przetwarzających (CPU/GPU) działających na przemiennej cyklach 4-fazowego zegara. Czterofazowy zegar wykorzystuje sygnał wytwarzany przez oscylator 33 MHz, aby wygenerować zegar procesora 8,25 MHz. Każdy z procesorów uzyskuje dostęp do jednej z dwóch przestrzeni adresowych (ROM/RAM) jednocześnie w cyklu dostępu do pamięci wynoszącym 60 ns (16,5 MHz).

W systemie tym GPU działa jako kontroler DMA pracujący w trybie przezroczystym do odczytu pamięci wideo i wysyłania danych do jednego z dwóch DAC-ów wideo. Pierwszy DAC generuje 256 kolorów przy użyciu trzech bitów dla czerwonego/zielonego i dwóch bitów dla niebieskiego. Ten DAC jest używany w trybie graficznym niskiej rozdzielczości, w którym każdy bajt pamięci wideo reprezentuje pojedynczy piksel. GPU obsługuje również tryb tekstowy, w którym bajty pamięci wideo występują naprzemiennie między bajtem koloru a punktem kodowym reprezentującym znak. Bajt koloru jest używany z drugim przetwornikiem cyfrowo-analogowym do reprezentowania dwóch 8-kolorowych wartości – dla

pierwszego planu i tła. Tryb tekstowy może również obsługiwać tryb graficzny wysokiej rozdzielczości z dwoma pikselami na bajt pamięci wideo.

Instrukcje procesora używają czterech cykli do realizacji sekwencji składającej się z: pobierania rozkazu, odczytu danych, wykonania komendy i zapisu jej wyniku. Cykl pobierania wykorzystuje licznik programu, aby uzyskać dostęp do instrukcji kodu maszynowego w pamięci ROM systemu. Cykl odczytu zapewnia dostęp do pamięci RAM. Cykl wykonywania rozkazu powraca do pamięci ROM, aby uzyskać dostęp do następnego bajtu w pamięci programu w celu natychmiastowego zaadresowania go lub do tabeli wyszukiwania operacji w ALU. Ostatnim cyklem jest cykl zapisu wyniku, w którym rejestr jest ładowany wartością wynikową, która, opcjonalnie, trafia też do pamięci RAM.

Dotychczasowo autor przygotował podstawowe oprogramowanie układowe, które implementuje sprzętową warstwę abstrakcji (HAL) do obsługi systemu wideo, audio i podwójnego portu UART zapewniającego komunikację full-duplex poprzez interfejs RS232 i pojedynczy port PS/2. System operacyjny i programy użytkownika są uruchamiane przez interpreter oferujący binarną zgodność z RCA 1802 (COSMAC).

Czy finalnie uda się na tym komputerze odpalić jakąkolwiek łączność z siecią i przeglądać zawartość Internetu? Tego najpewniej dowiemy się, śledząc rozwój systemu w dzienniku budowy na portalu Hackaday.io.

<https://bit.ly/2VoX9Vq>



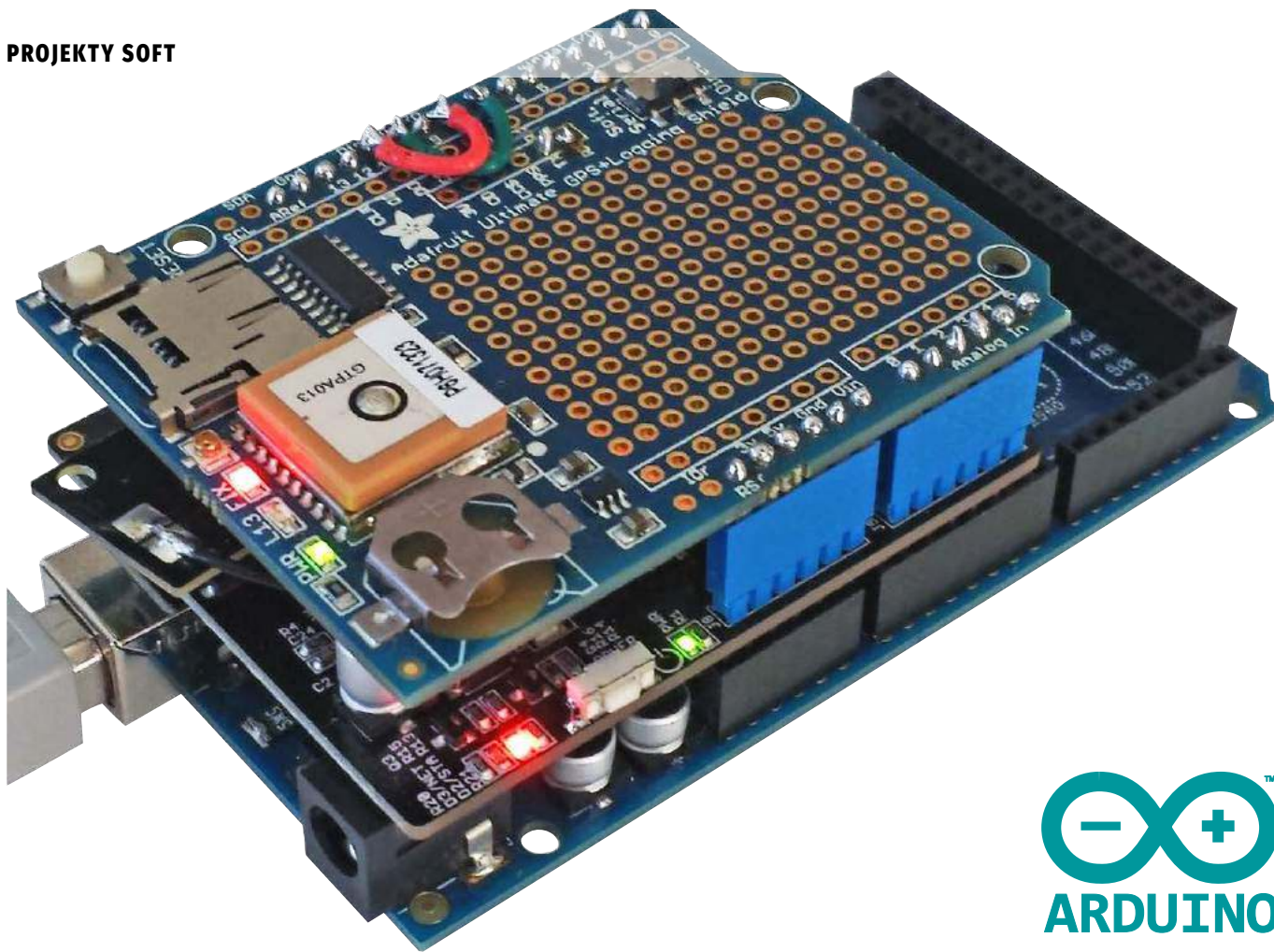
Kreatywne zastosowanie pasków LED-owych

Paski LED-owe są coraz popularniejsze w wielu zastosowaniach. Coraz prościej jest także nimi sterować. Dotyczy to nie tylko najprostszych pasków jednokolorowych diod elektroluminescencyjnych, ale także np. diod RGB sterowanych cyfrowo, które mogą przybrać dowolny kolor.

Portal Instructables zorganizował konkurs skupiony właśnie na paskach z diodami LED. Jedyny wymóg, stawiany projektom, to wykorzystywanie tego rodzaju elementów. Na konkurs nadesłano wiele interesujących projektów: lamp, zegarów, wyświetlaczy czy nawet kostiumów. W czasie pisania tego artykułu sędziowie nie podjęli jeszcze decyzji, komu przypadną nagrody – kupony na 200, 100 i 50 dolarów do sklepu Amazon.

<https://bit.ly/2XND0Kd>





Lojack – tracker GPS do samochodu na bazie Arduino

Kradzieże samochodów to prawdziwy problem! Zwiększ swoje szanse na odzyskanie samochodu, instalując w nim prosty tracker oparty na Arduino. Urządzenie pozwala śledzić w czasie rzeczywistym położenie samochodu.

Prezentowany projekt jest ciekawym i dosyć prostym urządzeniem, które idealnie nadaje się do budowy nawet przez początkującego programistę Arduino. Jednocześnie jest to realnie przydatne urządzenie, które może być zamontowane w każdym samochodzie, szczególnie jeśli często parkujemy na niestrzeżonych parkingach i obawiamy się o ochronę naszego mienia.

Przed rozpoczęciem realizacji tego projektu należy opanować kilka podstawowych umiejętności, które będą potrzebne nam podczas realizacji projektu:

- Powinieneś być zaznajomiony z obsługą środowiska programistycznego Arduino IDE,
- Przydatna będzie wiedza na temat elektryki samochodowej 12 V,
- Wymagana będzie elementarna wiedza na temat wykorzystania PHP i MySQL,

- Wskazany jest także dostęp do serwera webowego, gdzie uruchomić można prostą aplikację w PHP.

Projekt składa się z dwóch głównych elementów:

- Lokalizatora, który jest ukryty w samochodzie i przesyła informacje GPS za pośrednictwem sieci GPRS (komórkowej) do Internetu,
- Aplikacji internetowej, która odbiera informacje GPS z urządzenia śledzącego i umożliwia ich prezentację, aby zlokalizować położenie pojazdu.

Tracker jest zbudowany na bazie modułu Arduino Mega z dołączonym shieldem zapewniającym możliwość odbierania i dekodowania sygnałów systemu nawigacji satelitarnej (GPS, GLONASS, Galileo i innych – w zależności od lokalizacji i możliwości wybranego przez nas modułu) oraz shielda umożliwiającego przesyłanie danych poprzez sieć komórkową (GPRS).

Aplikacja internetowa została napisana w języku PHP. Korzysta z bazy danych MySQL jako magazynu danych dotyczących położenia monitorowanego pojazdu. Zaprezentowana w artykule implementacja to jedynie minimalistyczny program składający się z REST-owego API, które odbiera informacje z trackera i wyświetla lokalizację na mapie. Istnieje możliwość rozbudowania aplikacji o dodatkowe funkcje, jeśli takowe są potrzebne.

Potrzebne elementy

Do budowy urządzenia śledzącego potrzebne będą nam:

- moduł Arduino Mega,
- moduł transceivera GPRS, najlepiej w postaci shiela kompatybilnego ze standardem Arduino,
- moduł odbiornika GPS, również w postaci standardowego shiela.

Arduino Mega jest mózgiem całego urządzenia. Znajdujący się w tym module mikrokontroler (ATmega2560) zajmuje się odczytywaniem komunikatów zbieranych przez odbiornik GPS, formatowaniem ich i wysyłaniem przez sieć bezprzewodową do aplikacji internetowej. Konieczne jest załadowanie odpowiedniego oprogramowania układowego (firmware) do mikrokontrolera, gdzie wpisany będzie szereg informacji dla konkretnej aplikacji, takich jak adres serwera WWW, dokąd wysyłane są dane GPS.

Autor zaznacza, że początkowo próbował zastosować zamiast tego modułu zwykły, podstawowy moduł Arduino; okazało się jednak, że ograniczenia m.in. w ilości pamięci tego układu uniemożliwiły uruchomienie tej konfiguracji. Warto zainwestować w droższy moduł o wyższych parametrach, aby uprościć tworzenie i implementację aplikacji, a także zostawić możliwość rozbudowy aplikacji czy systemu w przyszłości.

Drugi z potrzebnych modułów – shield GPRS – potrzebny jest do dwukierunkowej transmisji danych pomiędzy trackerem a aplikacją internetową. Autor konstrukcji wybrał shield GPRS firmy Seeed Studio z uwagi na proste, standardowe podłączenie do modułu Arduino i sprawdzone działanie w ekosystemie Arduino. Shield ten nie wymaga żadnych modyfikacji przed zastosowaniem w naszym urządzeniu.

Oprócz samego modułu GPRS musimy zaopatrzyć się także w kartę SIM. Należy ją zainstalować w module GPRS, aby mógł korzystać z sieci komórkowej. W module najlepiej sprawdzi się karta SIM wyłącznie do transferu danych. Tego rodzaju karty oferuje większość dostawców obecnych na naszym rynku – zazwyczaj są one stosowane w systemach zdalnych sensorów itp.

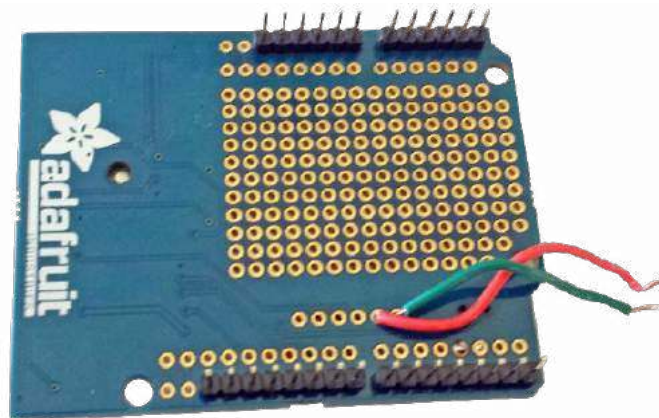
Ostatnim modulem, jaki jest potrzebny w tym systemie, jest oczywiście odbiornik GPS. Autor wybrał moduł GPS firmy Adafruit, który również jest w pełni kompatybilny ze standardem Arduino, aczkolwiek w tej aplikacji wymaga kilka drobnych zmian. Moduł GPS montowany jest bezpośrednio na module GPRS, co jest istotne, gdyż moduł GPS także wykorzystuje łączność komórkową, do uzyskiwania codziennych poprawek itp., które mają na celu zwiększenie precyzji pomiaru położenia poprzez GPS.

Dodatkowo konieczne jest zasilanie urządzenia. W samochodzie można to zrobić na dwa sposoby:

- Używając kabla A-B i adaptera wtyczki zapalniczki samochodowej do USB (autor zastosował ładowarkę USB z prądem do 2,1 A, żeby zapewnić wystarczającą moc do zasilania całego systemu). Jest to najprostsze rozwiązanie, jednak wymaga dostępu do gniazda zapalniczki i instalacji układu gdzieś w jego pobliżu.
- Używając stabilizatora 5 V, zasilanego bezpośrednio z instalacji 12 V samochodu. Nie zapomnijmy dołączyć odpowiednich elementów do stabilizatora (kondensatorów na wejściu i wyjściu układu oraz zabezpieczenia przeciwprzepięciowego na wejściu zasilacza). Takie rozwiązanie jest o wiele bardziej elastyczne – pozwala na instalację systemu niemalże w dowolnym miejscu samochodu.

Oprócz zwykłego zasilania warto rozważyć jeszcze dodanie awaryjnej baterii lub akumulatora, które pozwoliłyby układowi na działanie przy braku zewnętrznego zasilania – na przykład w momencie, gdy złodziej odłączył akumulator od samochodu, by rozbroić konwencjonalny alarm czy inne zabezpieczenia.

Finalnym, istotnym elementem, jest obudowa układu. Powinna ona zabezpieczać go przed dostępem kurzu i wilgoci, a jednocześnie pozwolić na wyprowadzenie wszystkich potrzebnych kabli – do anten i zasilania. Autor konstrukcji obudowę dla swojego układu wykonał... z klocków Lego, co jest zaskakująco dobrym rozwiązaniem dla amatorskiej konstrukcji.



Fotografia 1. Krótki kabelek przyłutowany do pól TX i RX modułu GPS

Modyfikacje modułu GPS

W module GPS wprowadzić trzeba kilka drobnych zmian, zanim będzie można używać go wraz z Arduino w tym systemie. Niestety oba moduły – GSM i GPRS – używają do komunikacji z mikrokontrolerem pinów 7 i 8, więc konflikt ten trzeba rozwiązać sprzętowo. W tym celu wprowadzamy następujące drobne zmiany w module odbiornika systemu nawigacji satelitarnej.

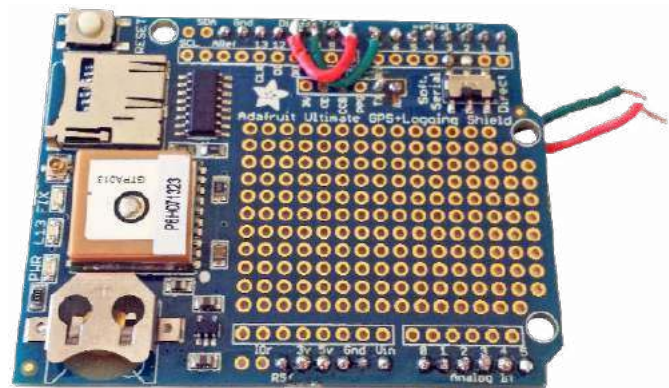
1. Przetnij ścieżkę pomiędzy pinami TX i RX modułu GPS a pinami 7 i 8 wyprowadzenia z płytki. Można to zrobić za pomocą skalpela bądź ostrego noża.
2. Na spodzie płytki przyłutuj parę krótkich (około 7 cm) kabli do pinów TX i RX odbiornika GPS (fotografia 1).
3. Przeniesione zostaną też linie portu szeregowego modułu GPRS, który znajduje się poniżej modułu GPS. Aby przenieść te sygnały pomiędzy pinami 7 i 10 oraz 8 i 11, lutujemy zworki (fotografia 2).
4. Na koniec ustaw przełącznik w module na Soft Serial (port szeregowy realizowany programowo).

Po zmontowaniu wszystkich modułów ze sobą, tj. po umieszczeniu shiela GPS na GPRS, należy przyłutować przewód od pinu TX modułu GPS do pinu RX na płytce z mikrokontrolerem, a przewód z pinu RX do pinu TX. W ten sposób sprzęt jest gotowy do działania. Po podłączeniu Arduino kablem USB do komputera, na modułach powinny zaświecić się kontrolki, jak na fotografii tytułowej. Urządzenie jest gotowe na załadowanie oprogramowania układowego.

Firmware Arduino

Całość oprogramowania projektu, w najaktualniejszej wersji, znaleźć można na repozytorium autora na portalu GitHub (link: <https://bit.ly/2K21APd>).

Oprogramowanie dla modułu Arduino znajduje się w folderze Arduino i składa się z pojedynczego szkicu *lojack.ino*, którego fragment pokazany jest na **listingu 1**. W kodzie tego programu należy wprowadzić pewne modyfikacje, ustawiając wartość zmiennej *remote_server* na adres serwera,



Fotografia 2. Zworka przenosząca lokalizację sygnałów TX i RX modułu GPRS

który będzie hostował aplikację webową, zbierającą dane z trackera. Jeśli chcesz, aby system był w stanie śledzić wiele urządzeń, upewnij się, że zmienna *deviceId* jest unikalna dla każdego urządzenia.

Po uzupełnieniu wszystkich potrzebnych danych w szkicu Arduino można program skompilować i wgrać do mikrokontrolera. Przed kompilacją należy upewnić się, że w IDE ustawiona jest właśnie ta płytką jako docelowa. Po wgraniu odpowiednio skompilowanego szkicu do modułu wydarzyć powinny się dwie rzeczy:

1. Lampka FIX na module GPS powinna, po chwili (od kilku sekund do kilku minut, zależnie od lokalizacji), przestać migać i zapalić się na stałe. Wskazuje to, że odbiornik GPS połączył się poprawnie z satelitami. Oczywiście, najlepiej testować to na zewnątrz lub w pobliżu okna.
2. Czerwona dioda LED na shieldzie GPRS powinna zaświecić się, a dioda zielona migać z częstotliwością około raz na sekundę. Po połączeniu modułu GPRS z siecią komórkową zielona dioda LED będzie migać rzadziej, co około trzy sekundy.

W tym momencie moduł śledzenia jest już uruchomiony i określa swoją lokalizację, a następnie próbuje przesłać ją na zdalny serwer. Na razie, żaden serwer jeszcze nie istnieje, dlatego też konieczne jest jego stworzenie, co zostało opisane poniżej.

Aplikacja webowa

Aby ukończyć projekt, potrzebny jest dostęp do serwera połączanego z Internetem, na który będzie można wgrać skrypt napisany w PHP i uruchomić bazę MySQL. Istnieje wiele różnych sposobów rozwiązania tego problemu. Autor skorzystał z maszyny wirtualnej, dostępnej u jednego z usługodawców w chmurze. Do uruchomienia tej aplikacji potrzebna jest zazwyczaj najtańsza z dostępnych konfiguracji. Na maszynie wirtualnej trzeba zainstalować Apache (lub inny wybrany serwer www), PHP i MySQL (lub inną bazę danych). Skrypt autora zakłada użycie Apache i MySQL jeśli chcemy korzystać z innych narzędzi, konieczna może być modyfikacja w celu dopasowania skryptu.

Oprogramowanie na serwerze składa się z dwóch skryptów – *reportLocation.php* oraz *where.php*. Pierwszy z nich odbiera dane lokalizacyjne z trackera w samochodzie i zapisuje dane w bazie. Drugi skrypt pobiera dane z bazy i prezentuje pozycję auta na mapie.

Przed uruchomieniem któregośkolwiek ze skryptów należy utworzyć na serwerze bazę danych o nazwie „lojack” z użytkownikiem z dostępem do odczytu i zapisu. Utwórz w bazie tabelę o nazwie *gpsUpdates* o następującej strukturze:

- id : int(11) : not null : primary key: default null : auto_increment
- latitude: (decimal(6,4): nullable: default null
- longitude: (decimal(7,4): nullable: default null
- deviceId: int(11): nullable : default null
- timestamp: timestamp: not nullable: default: current_timestamp: on update CURRENT_TIMESTAMP

Aby utworzyć taką bazę, wykorzystaj następujące polecenia SQL:

```
CREATE DATABASE lojack;
USE lojack;
CREATE TABLE lojack(
id INT( 11 ) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
latitude decimal( 6,4 ) NULL DEFAULT NULL,
longitude decimal( 7,4 ) NULL DEFAULT NULL,
deviceId INT ( 11 ) NULL DEFAULT NULL,
timestamp TIMESTAMP NOT NULL DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP ON
UPDATE CURRENT_TIMESTAMP,
PRIMARY KEY ( id ) , UNIQUE (id)
);
```

W głównym katalogu serwera umieszczamy skrypty. Pierwszy z nich, pobierający dane z trackera, pokazano na **listingu 2**. Skrypt otrzymuje od urządzenia trzy parametry: *latitude*, *longitude* oraz *deviceId*. Wartości te zapisywane są następnie do bazy danych lojack. W skrypcie, przed jego pierwszym uruchomieniem, zmienić trzeba

nazwę użytkownika i hasło do bazy danych. W momencie, gdy i tracker i skrypt ładujący dane do bazy działają, powinno być możliwe uruchomienie skryptu do prezentacji danych. Zawartość skryptu *where.php* zaprezentowana została na **listingu 3**. Po jego uruchomieniu

Listing 1. Fragmenty kodu programu uruchamianego na module Arduino w trackerze

```
SIGNAL(TIMERO_COMPA_vect) {char c = GPS.read();}

void setup(){
  Serial.begin(115200);
  setupGPS();
  setupGprs();
}

void setupGPS(){
  GPS.begin(9600);
  GPS.sendCommand(PMTK_SET_NMEA_OUTPUT_RMCGGA);
  GPS.sendCommand(PMTK_SET_NMEA_UPDATE_1HZ);
  GPS.sendCommand(PGCMD_ANTENNA);
  setupInterrupt();
  delay(1000);
  gpsSerial.println(PMTK_Q_RELEASE);
}

void setupInterrupt(){
  OCR0A = 0xAF;
  TIMSK0 |= _BV(OCIE0A);
}

void setupGprs(){
  pinMode(9, OUTPUT);
  digitalWrite(9, LOW);
  delay(100);
  digitalWrite(9, HIGH);
  delay(500);
  digitalWrite(9, LOW);
  delay(100);
  gprs.init();
}

void joinNetwork(){
  while(false == gprs.join()) {
    Serial.println("gprs join network error");
    setupGprs();
    delay(2000);
  }
  Serial.println("joined network!");

  // Poprawne uruchomienie klienta DHCP
  Serial.print("IP Address is ");
  Serial.println(gprs.getIPAddress());

  if(false == gprs.connect(TCP, remote_server, 80)) {
    Serial.println("connect error");
  } else {
    Serial.println("connect success");
  }
}

void loop(){
  if (GPS.newNMEAreceived()) {
    if (!GPS.parse(GPS.lastNMEA()))
      return;
  }
  if (timer > millis()) timer = millis();
  if (millis() - timer > 2000) {
    timer = millis();
    sendLocation();
    Serial.print(GPS.latitudeDegrees, 4); Serial.print(", ");
    Serial.println(GPS.longitudeDegrees, 4);
  }
}

void updateRequestString(){
  char charLatitude[10];
  char charLongitude[10];
  dtostrf(GPS.latitudeDegrees, 7, 4, charLatitude);
  dtostrf(GPS.longitudeDegrees, 9, 4, charLongitude);

  for (int i=0; i<9; i++) {http_cmd[33+i] = charLatitude[i];}
  for (int i=0; i<9; i++) {http_cmd[51+i] = charLongitude[i];}
}

void sendLocation(){
  joinNetwork();
  updateRequestString();

  Serial.print("Sending: ");
  Serial.println(http_cmd);
  char buffer[512];
  gprs.send(http_cmd, sizeof(http_cmd)-1);
  while (true) {
    int ret = gprs.recv(buffer, sizeof(buffer)-1);
    if (ret <= 0) {
      Serial.println("fetch over...");
      break;
    }
    buffer[ret] = '\0';
    Serial.print("Recv: ");
    Serial.print(ret);
    Serial.print(" bytes: ");
    Serial.println(buffer);
  }
  gprs.close();
  gprs.disconnect();
}
```

Listing 2. Kod aplikacji webowej do zbierania danych o pozycji i ładowania ich do bazy danych

```
<?php
$servername = "localhost"; // Adres serwera z bazą MySQL
$username = "DBUSERNAME"; // Użytkownik bazy MySQL
$password = "DBPASSWORD"; // Hasło do bazy MySQL
$dbname = "lojack"; // Nazwa bazy MySQL

$latitude = htmlspecialchars($_GET["latitude"]);
$longitude = htmlspecialchars($_GET["longitude"]);
$deviceId = htmlspecialchars($_GET["deviceId"]);

echo "latitude: $latitude <br>";
echo "longitude: $longitude <br>";
echo "deviceId: $deviceId <br>";

try {
    $dbConnection = new PDO("mysql:host=$servername;dbname=$dbname",
        // Ustaw tryb błędów PDO jako wyjątki
        $username, $password);
    $dbConnection->setAttribute(PDO::ATTR_ERRMODE, PDO::ERRMODE_EXCEPTION);

    $sql = "INSERT INTO gpsUpdates (latitude,longitude,deviceId,timestamp)
    $result = $dbConnection->query($sql);

    $dbConnection = null;
} catch(PDOException $e){
    echo "Connection failed: " . $e->getMessage();
}
?>
```

(poprzez przeglądarkę internetową) naszym oczom powinna ukazać się mapa, podobna do pokazanej na **rysunku 1** wraz z zaznaczoną lokalizacją pojazdu.

Podsumowanie

Teraz aplikacja jest w stanie prezentować, w czasie rzeczywistym, dane na temat pozycji pojazdu. Możemy z nich skorzystać, np. gdy pojazd zostanie skradziony. Z łatwością zlokalizujemy nasz skradziony samochód, co pomoże nam w jego odzyskaniu.

Uwaga! Nigdy nie próbuj sam odzyskać pojazdu. Zawsze współpracuj z organami ścigania. Zmaganie się z przestępcami nigdy nie jest dobrym pomysłem dla amatorów – pozostaw to profesjonalistom!

Pamiętaj – opisana konstrukcja przeznaczona jest do śledzenia własnego samochodu. Stosowanie jej, np. by kogoś śledzić, jest nie tylko nieetyczne, ale także w dużej mierze nielegalne.

Z uwagi na brak zabezpieczeń interfejsu webowego aplikacji utrzymuj adres URL strony z informacją o położeniu auta w tajemnicy. Autor rozważa dodanie w przyszłości obsługi logowania się i uwierzytelniania na stronie, jednakże obecnie każdy, kto zna adres URL

strony, może wiedzieć, gdzie zlokalizowany jest pojazd. Inne plany autora, co do konstrukcji, to między innymi:

- instalacja aparatu cyfrowego, aby system mógł fotografować i przysyłać do Internetu zdjęcia swojego otoczenia lub zdjęcia pasażerów,
- dodanie ręcznego wyłącznika awaryjnego systemu zapłonowego lub odcięcia dopływu paliwa, co pozwoli na zdalne wyłączenie auta,
- opracowanie aplikacji mobilnej,

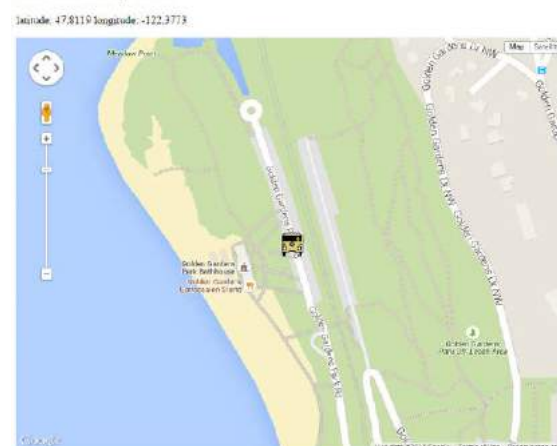
- miniaturyzacja systemu, by tracker mógł zmieścić się w dowolnym zakamarku w samochodzie.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła

1. <https://bit.ly/2RDbk6M>, 2. <https://bit.ly/2K21APd>

Where's my car?



Rysunek 1. Widok uruchomionej aplikacji webowej do lokalizacji pojazdu

Listing 3. Kod aplikacji webowej do prezentacji danych o pozycji na mapie

```
<html>
<head>
<script type="text/javascript"
src="http://maps.google.com/maps/api/js?sensor=false"></script>
<meta http-equiv="refresh" content="30">
</head>
<body>

<h1>Where's my car?</h1> <!-- Tytuł na stronie -->
<?php
$servername = "localhost"; // Adres serwera z bazą MySQL
$username = "DBUSERNAME"; // Użytkownik bazy MySQL
$password = "DBPASSWORD"; // Hasło do bazy MySQL
$dbname = "lojack"; // Nazwa bazy MySQL

try {
    $dbConnection = new PDO("mysql:host=$servername;dbname=$dbname", $
    // Ustaw tryb błędów PDO jako wyjątki
    $username, $password);
    $dbConnection->setAttribute(PDO::ATTR_ERRMODE, PDO::ERRMODE_EXCEPTION);
    $sql = "select * from gpsUpdates ORDER BY id DESC LIMIT 1";
    $result = $dbConnection->query($sql);
    if ($result->rowCount() > 0) {
        $row=$result->fetch();
        echo "latitude: " . $row["latitude"] . " longitude: " .
        $row["longitude"] . "<br><p>";
    }
    $dbConnection = null;
} catch(PDOException $e){
    echo "Connection failed: " . $e->getMessage();
}
?>

<div id="map" style="width: 800px; height: 600px"></div>
<script>
var myOptions = {
    zoom: 17,
    center: new google.maps.LatLng(<?php echo $row["latitude"] . ", " .
    $row["longitude"] . ">?),
    mapTypeId: google.maps.MapTypeId.ROADMAP
};
var image={
    // ikonka samochodu na mapie
    url: 'http://FQDN.example.com/CarIcon.png',
    size: new google.maps.Size(40,40),
    origin: new google.maps.Point(0,0),
    anchor: new google.maps.Point(20,20)
};
var map = new google.maps.Map(document.getElementById("map"),
myOptions);
var marker = new google.maps.Marker({
    position: new google.maps.LatLng(<?php echo $row["latitude"] . ", " .
    $row["longitude"] . ">?),
    map: map,
    icon: image,
    title: 'My Car'
});
</script>
</body>
</html>
```

**Potrzebne elementy:**

- Fotoopornik 5 MΩ,
- Buzzer,
- Moduł Bolt IoT Bolt WiFi,
- przewody połączeniowe.

Alarm do szafy pancernej

z połączeniem do Internetu, zbudowany na platformie Bolt IoT

Wiele osób ma w domu szafy pancerne – niektórzy w niewielkich kasetkach trzymają kosztowności, dokumenty czy gotówkę, innym z kolei służy do przechowywania np. broni palnej. Zależnie od klasy szafy, zapewnia ona odpowiedni stopień ochrony, jeśli jednak włamywaczowi uda się w jakiś sposób ją otworzyć, to ma pełny dostęp do zawartości i nie możemy z tym nic zrobić... czy na pewno? Możliwe jest zastosowanie systemu alarmowego w takiej szafie, który może np. poinformować nas o tym, że dzieje się coś niedobrego, wysłać SMS-a na policję czy uruchomić inne systemy zabezpieczenia w domu.

Opisywany system alarmowy przeznaczony jest do zastosowania w szafach pancernych i kasetkach praktycznie dowolnego typu. Działa na bardzo prostej zasadzie. Cały moduł umieszczony jest w sejfie, a układ wyposażony jest w zaledwie jeden sensor – fotorezystor mierzący natężenie światła we wnętrzu szafy. Gdy jest ona zamknięta,

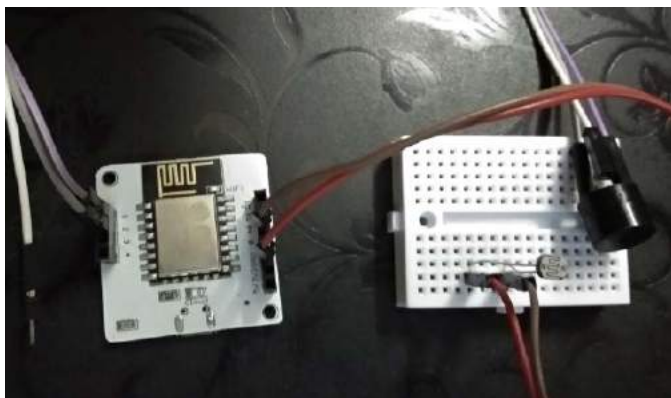
to naturalnie w jej wnętrzu jest absolutnie ciemno. W momencie gdy skrytka zostaje otwarta, do wnętrza wpada światło otoczenia. W ten sposób system wykrywa, że szafa pancerna została otwarta (zupełnie niezależnie od tego, w jaki sposób została otwarta).

Uruchomienie alarmu powoduje załączenie buzzera alarmowego podłączonego do modułu. Jeśli to byłoby za mało, system jest w stanie wysłać SMS-a na podany numer telefonu, na przykład po to, by poinformować o włamaniu właściciela czy firmę ochroniarską. Dzięki wykorzystaniu IFTTT do sterowania systemem można łatwo dodać kolejne funkcje, które będą realizowane w chwili wykrycia otwarcia drzwi.

Alarm został zbudowany na platformie Bolt IoT, która wykorzystuje m.in. narzędzia Google do analizy głosu, co pozwala na sterowanie systemem za pomocą prostych komend. Dzięki temu, jeśli to my otworzymy sejf, możemy natychmiastowo rozbroić alarm, wydając mu wcześniej ustaloną komendę głosową.

Podłączenie elementów elektronicznych

Buzzer i fotoopornik podłączamy do modułu Bolt IoT za pomocą przewodów. Po stronie modułu sterującego muszą być one zakończone



Fotografia 1. Zmontowany układ alarmu – moduł Bolt IoT z podłączonym buzzerem i fotoopornikiem

męskimi wtyczkami w rastrze 2,54 mm (typowe goldpiny). Po drugiej stronie przewodów powinny się znaleźć złącza, pozwalające na podłączenie ww. elementów elektronicznych, zależnie od tego, jakie konkretnie zostały wybrane. Można też po prostu przylutować końcówki kabli do wyprowadzeń obu tych elementów.

Dodatni biegun buzzera podłączamy do linii zasilania, ujemny natomiast do pinu 1 modułu Bolt IoT. W ten sposób, za każdym razem, gdy na tym pinie pojawi się stan niski, różnica potencjałów na buzzerze równa będzie, w przybliżeniu, napięciu zasilania, co spowoduje, że zostanie on uruchomiony. Fotoopornik podłączony jest do pinu A0 modułu. Drugi pin fotoopornika podłączyć należy do masy. Pi A0 jest wejściem analogowym modułu, więc takie podłączenie pozwoli na pomiar napięcia na oporniku, a w konsekwencji na oszacowanie rezystancji i natężenia oświetlenia. Autor zastosował fotoopornik N5AC501085 o rezystancji nominalnej 5 MΩ i odpowiedzi spektralnej podobnej do ludzkiego oka. Można zmienić go na inny element, pod warunkiem zachowania podobnie wysokiej rezystancji nominalnej elementu i czułości na światło widzialne.

Zmontowany układ pokazano na **fotografii 1**. Czas na przygotowanie firmware i wszystkich potrzebnych komponentów programowych.

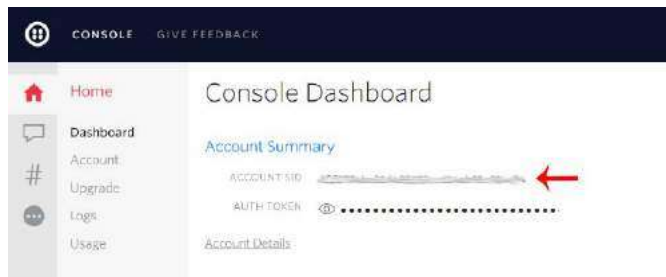
Konfiguracja oprogramowania

Oprogramowanie w opisywanym projekcie składa się z kilku istotnych elementów. Pierwszym z nich jest usługa do wysyłania SMS-ów – Twilio – którą przed wykorzystaniem należy skonfigurować. Drugim elementem jest system *If This Then That* (IFTTT), który pozwoli na połączenie asystenta Google na naszym telefonie komórkowym z systemem Bolt IoT celem przesyłania do modułu informacji o wyłączeniu alarmu. Trzecim elementem jest, pracująca w chmurze, aplikacja, która łączy wszystkie komponenty systemu w całość.

Wysyłanie SMS-ów poprzez Twilio

Aby móc wysyłać SMSy, autor wykorzystał platformę Twilio – jest to usługa wysyłania SMS-ów dostępna w chmurze. Aby z niej skorzystać, należy założyć konto na *twilio.com* oraz zakupić numer, z którego wysyłane będą wiadomości tekstowe. Wszystkie kroki opisane są poniżej:

1. Załóż konto (SIGN UP) na portalu <http://www.twilio.com>.
2. Kup odpowiedni numer telefonu:
 - a. Wejdź na stronę do zakupu numerów (*Dashboard Console* → *Phone Numbers* → *Buy a Number*).
 - b. Na stronie znajduje się filtr numerów – zaznaczamy, że numer musi móc wysyłać SMS-y. Możemy dodatkowo wprowadzić część numeru, jeśli chcemy znaleźć jakiś konkretny.
 - c. Klikamy *Search* (wyszukaj).
 - d. Wybieramy numer, który chcemy i klikamy na *Buy* (kup).
3. Po zakupieniu numeru należy skonfigurować usługę nadawczą, wysyłającą SMS-y, gdyż ułatwi to dalszą konfigurację i zarządzanie:



Rysunek 1. Główny panel zakładki Dashboard na Twilio, gdzie znaleźć można dane do autoryzacji poprzez API

- d. Wejdź do menu zarządzania usługami (*Dashboard Console* → *Programmable SMS* → *Messaging Services*).
- e. Naciśnij *Create new Messaging Service* (utwórz nową usługę nadawczą).
- f. Nadaj nowej usłudze nazwę w polu *Friendly Name*.
- g. Naciśnij *Create* (utwórz).
- h. Zaznacz kratkę przy zakupionym wcześniej numerze.
- i. Naciśnij *Add Selected* (dodaje wybrane) – w ten sposób usługa zostanie powiązana z tym numerem.

W ten sposób skonfigurowaliśmy w pełni usługę do zautomatyzowanego wysyłania wiadomości SMS. Aby móc z niej korzystać poprzez API Twilio, musimy skopiować z naszego konta dwie informacje – SID oraz token autoryzacji, które potem umieścimy w naszej aplikacji. Informacje te znaleźć możemy na głównej stronie zakładki Dashboard, jak pokazano na **rysunku 1**.

Integracja IFTTT z asystentem Google

Kolejnym elementem systemu, jaki musi zostać skonfigurowany, jest wyzwalacz w IFTTT. *If This Then That* (dosłownie „Jeżeli to, to tamto”) jest usługą, która zgodnie ze swoją nazwą zapewnia możliwość tworzenia prostych wyzwalaczy – w zadanym momencie, gdy spełniony jest jakiś warunek, IFTTT, wykonuje określona w usłudze czynność. Dzięki ogromnej ilości kompatybilnych API, system IFTTT ma bardzo szerokie możliwości w komunikowaniu się pomiędzy różnymi zewnętrznymi usługami. W tym projekcie zostanie on wykorzystany do komunikacji z Google Assistant.

1. Jeśli nie posiadasz takiego konta, załóż konto na IFTTT (<https://ifttt/2yx2dhe>). Koniecznie trzeba logować się tym samym adresem e-mail, jaki wykorzystany jest do logowania do Google Assistant.
2. Wejdź na swój profil i naciśnij *Create* (utwórz), a następnie *+Trigger*, by utworzyć wyzwalacz.

What do you want to say?

Turn off the alarm

What's another way to say it? (optional)

turn off alarm

And another way? (optional)

turn off the burglar alarm

What do you want the Assistant to say

Turning off alarm

Rysunek 2. Przykładowe komunikaty, wpisane w IFTTT

URL

`https://cloud.boltiot.com/remote/55629bbd-b8f3-42d8-83fc-59d486d6e957/digitalMultiWrite?pins=1,2&states=LOW,LOW&deviceName=BOLT292461`

Surround any text with "<<>>" to escape the content. Add ingredient

Method

GET

The method of the request e.g. GET, POST, DELETE

Content Type (optional)

application/json

Rysunek 3. Przykład konfiguracji webhooka, łączącego IFTTT z chmurą IoT Bolt

- Wybierz *Google Assistant*, by skorzystać z narzędzi do tego asystenta głosowego. Wykorzystamy opcję *Say Specific Phrase* (reguluj na konkretną frazę). W tym miejscu wpisujemy konkretne komunikaty, mające za zadanie wyłączyć alarm w szafie, które wypowiemy do naszego telefonu, gdy będziemy ją otwierać. Przykład pokazano na **rysunku 2**.
- Naciśnij *Create Trigger* (utwórz wyzwalacz).
- Naciśnij *+That*, aby dodać efekt, jaki ma zostać wyzwolony za pomocą komunikatu głosowego. W naszym przypadku będzie to przekazanie informacji do modułu Bolt.
- Wybierz z menu *Webhooks* a następnie *Make a web request* (wyślij zapytanie webowe). Teraz wprowadzić trzeba URL do API naszego Bolta, ma ono format: `https://cloud.boltiot.com/remote/<API-KEY>/digitalMultiWrite?pins=1,2&states=LOW,LOW&deviceName=<DEVICE-ID>`, gdzie: API KEY to nasz klucz do API Bolta, a DEVICE ID to, oczywiście, numer ID naszego modułu.
- Metoda dla powyższego zapytania to GET, a zawartość to *Application/json*. Przykład konfiguracji webhooka pokazano na **rysunku 3**.
- Po wprowadzeniu wszystkich informacji naciskamy *Finish* (zakończ).

Oprogramowanie w chmurze

Ostatnim elementem systemu, jest skrypt pracujący w chmurze, który komunikuje się z modulem Bolt IoT i zarządza jego działaniem. Skrypt ten należy uruchomić na serwerze z dostępem do sieci. Najprościej jest uruchomić na serwerze wirtualnym, lub podobnej instancji. Autor skorzystał w swoim projekcie z instancji EC2 dostarczanej przez Amazon Web Services (AWS). Można oczywiście skorzystać z dowolnej innej usługi, takiej jak *digitalOceans* czy inny dowolny serwer wirtualny, szczególnie jeśli jakimś dysponujemy do pisania innych aplikacji IoT.

Listing 1. Kod źródłowy aplikacji działającej w chmurze i sterującej systemem

```
from boltiot import Bolt, Sms
import json, conf, time

mybolt = Bolt(conf.api_key, conf.device_id)
sms = Sms(conf.SID, conf.AUTH_TOKEN, conf.TO_NUMBER, conf.FROM_NUMBER)

threshold = 10

def intruder():
    '''funkcja włączająca Buzzer'''
    mybolt.digitalWrite('1', 'LOW')

while True:
    '''funkcja do odczytu wartości fotoopornika'''
    response = mybolt.analogRead('A0')
    data = json.loads(response)
    current_voltage = int(data['value'])
    print(current_voltage)
    try:
        if current_voltage < threshold:
            print('current voltage dropped')
            intruder()
            print('Sending SMS via twilio')
            response = sms.send_sms('ALERT...Vault opened')
            print(str(response.status))
    except Exception as e:
        print('Error: ', e)
    time.sleep(2)
```

Listing 2. Plik nagłówkowy aplikacji z listingu 1, w którym konfigurowane są poszczególne parametry itp.

```
# Konfiguracja urządzenia
api_key = '<your_apiKey>' # Token API aplikacji
device_id = '<your_deviceId>' # Identyfikator urządzenia

# Konfiguracja SMÓw
AUTH_TOKEN = '<your_authToken>' # Token autoryzacji Twilio
SID = '<your_SID>' # Numer SID
FROM_NUMBER = '<from_number>' # Zwrotny numer telefonu
TO_NUMBER = '<to_number>'x # Numer do wysłania SMS
```

Aplikacja w chmurze składa się z dwóch plików, pokazanych na **listingu 1** oraz **listingu 2**. Na pierwszym z nich znajduje się prosty skrypt, który monitoruje stan wejścia analogowego modułu Bolt. Jeśli jest ono mniejsze niż ustalony próg *threshold*, to uruchamiany jest buzzer i poprzez API Twilio wysyłany jest SMS pod zdefiniowany wcześniej numer.

Na listingu 2 zawarto wszystkie zmienne konfiguracyjne, jakie wykorzystuje skrypt. W tym miejscu wpisać należy dane do logowania do API Bolta (Klucz API i ID urządzenia), dane do logowania do Twilio (token autoryzacji oraz SID), a także numery telefonu, z którego i na który wysyłane są wiadomości SMS.

Podsumowanie

Zaprezentowany system pozwala na zabezpieczenie kasy pancernej przed niepożądanym dostępem. To proste rozwiązanie zapewni nam zdalne monitorowanie szafy pancernej czy w zasadzie dowolnego innego pojemnika. Czujnik światła zastąpić można przyciskiem bądź kontaktronem, jeśli zależy nam na zmianie zasady działania.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło: <https://bit.ly/3bpFCLt>

Chcesz czytać nasze najnowsze artykuły jeszcze przed wydrukowaniem w EP?

Zajrzyj na

www.ep.com.pl/EPwtoku

Bezprzewodowy włącznik oświetlenia

Nie trzeba nikogo przekonywać, że dobre oświetlenie to podstawa komfortu oraz bezpieczeństwa. Jednak jest ono bezużyteczne, kiedy jego załączanie to kłopot. Przedstawiony układ umożliwia zdalne załączanie oświetlenia drogą radiową.

Prezentowany układ składa się z dwóch modułów: nadajnika i odbiornika. Jedyną funkcją nadajnika jest ciągle wysyłanie specjalnie przygotowanych pakietów danych drogą radiową. Transmisja rozpoczyna się po wciśnięciu przycisku, który doprowadza zasilanie do znajdujących się na płytce obwodów.

Odbiornik jest wyczułony na wychwytywanie tego sygnału – po odebraniu nawet jednego, podejmuje działanie. Przy użyciu zworki można wybrać jeden z dwóch trybów pracy:

- monostabilny – wyjście jest załączane na określony czas, po czym samoczynnie się rozłącza,
- bistabilny – stan wyjścia jest zmieniany na przeciwny po wciśnięciu przycisku.

Wyjście odbiornika jest typu otwarty kolektor, co oznacza, że może sterować m.in. krótkim paskiem diod LED i przełącznikiem.

Budowa i działanie

Schemat ideowy układu nadajnika pokazano na **rysunku 1**. Jako blok nadawczy zastosowano gotowy moduł transceivera typu RFM12B firmy HopeRF. Ma ważną zaletę: pracuje w paśmie 868 MHz, nadając z odpowiednio niewielką mocą – do jego eksploatacji nie są wymagane jakiegokolwiek zezwolenia. Do pola lutowicznego PAD1 należy przylutować antenę, wykonaną np. z odcinka cienkiego przewodu.

Pracą tego modułu, który komunikuje się poprzez interfejs SPI, zarządza popularny mikrokontroler typu ATtiny24A. Do programowania zostało przewidziane pięciopinowe złącze J1, które zawiera wyprowadzenia niezbędne do ISP – programowania mikrokontrolera wbudowanego w system. Rezystor R2 blokuje komunikację modułu RFM12B na czas programowania, zaś mikrokontroler – po rozpoczęciu pracy – uaktywnia ją, wystawiając stan niski na odpowiednie wyjście.

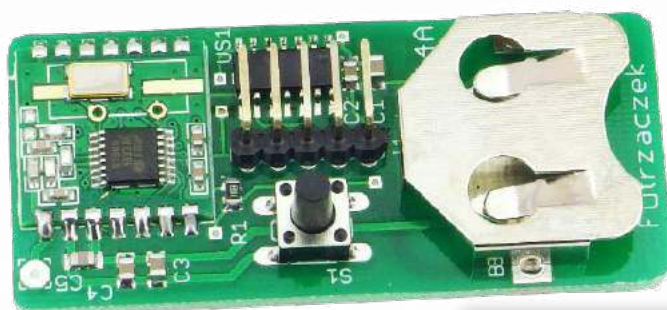
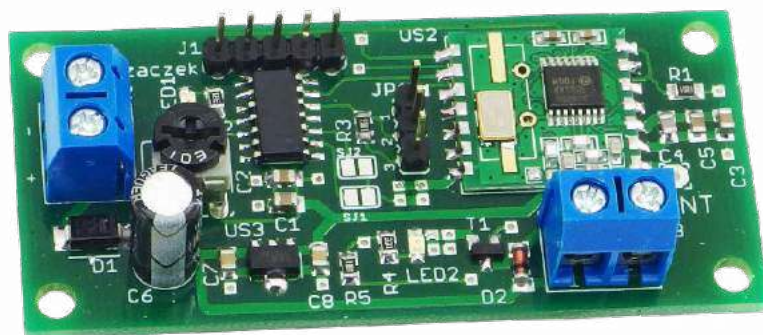
Zasilanie pochodzi z baterii typu CR2032. Aby ograniczyć pobór prądu, jej połączenie

z pozostałymi obwodami jest odcinane za pomocą przycisku S1. Źródłem zegara taktującego dla mikrokontrolera jest wewnętrzny oscylator RC, o nominalnej częstotliwości pracy 8 MHz, po wyłączeniu preskalera. Układ nie wykonuje żadnych zadań krytycznych czasowo, wobec czego stabilizacja tej częstotliwości nie jest potrzebna.

Na niewielkiej płytce znalazły się dwie zworki – SJ1 i SJ2 – służące ustaleniu adresu. Dzięki nim, w bezpośrednim sąsiedztwie mogą pracować cztery identyczne systemy, bez wzajemnego oddziaływania na siebie.

Odbiornik jest niewiele bardziej złożony, jego schemat pokazuje **rysunek 2**. Użyty w nim moduł radiowy oraz mikrokontroler są takie same. Również sposób ich podłączenia nie uległ zmianie. Dodano diodę LED1, informującą o statusie komunikacji bezprzewodowej, oraz LED2, sygnalizującą załączenie wyjścia. Ponadto na płytce znalazła się zworka JP1 umożliwiająca wybór trybu pracy modułu odbiorczego oraz potencjometr P1, będący dzielnikiem napięcia zasilającego. Ustalone jego ślizgaczem napięcie jest mierzone przez przetwornik analogowo-cyfrowy mikrokontrolera, co służy ustaleniu czasu załączenia wyjścia w trybie monostabilnym.

Na płytce znalazło się miejsce dla małego stabilizatora o napięciu wyjściowym 3,3 V, przez co napięcie wejściowe może zawierać



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

W ofercie AVT* AVT-5764

Podstawowe parametry:

- załączanie wyjścia pod wpływem wciśnięcia przycisku na pilocie,
- wyjście w odbiorniku typu „open collector”,
- dwa tryby pracy: monostabilna lub bistabilna,
- zakres regulacji pracy monostabilnej: od 5 s do 9 min,
- praca w paśmie 868 MHz,
- zasilanie nadajnika: bateria CR2032, pobór prądu ok. 23 mA (w czasie pracy),
- zasilanie odbiornika: napięcie 8...24 V DC, pobór prądu do 24 mA.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

AVT-5630	Bezprzewodowy przedłużacz sygnalizatora (EP 7/2018)
AVT-3188	Licznik zdarzeń (Edw 10/2017)
AVT-5590	Zdalny włącznik radiowy (EP 6/2017)
AVT-3144	Dwufunkcyjny włącznik akustyczny (Edw 4/2016)
AVT-3125	Włącznik sterowany dowolnym pilotem na podczerwień (Edw 5/2015)
AVT-1840	Włącznik 230 V sterowany dowolnym pilotem na podczerwień (EP 11/2014)
AVT-1835	Mikroklaskacz – mikroprocesorowy włącznik akustyczny (EP 10/2014)
AVT-1815	4-kanałowy przełącznik sterowany dowolnym pilotem IR (EP 8/2014)

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 podłączona 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] – płytki drukowane bez elementów i dokumentacji

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

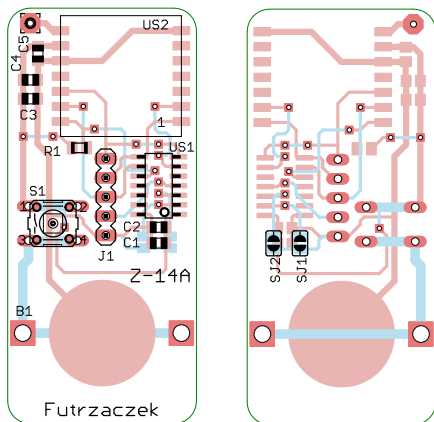
• wersja [A+] – płytki drukowane [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja

• wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

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





Rysunek 3. Schemat płytki nadajnika, strona TOP

Rysunek 4. Schemat płytki nadajnika, strona BOTTOM

z lutowaniem elementów powierzchniowych. Przed włączeniem zasilania zalecam wlutowanie obu modułów anteny, chociażby w postaci kawałków cienkiego przewodu o długości ok. 17 cm. Końcówkę przewodu nadajnika warto zaizolować, aby nie wywołała zwarcia po zamknięciu płytki w ciasnej obudowie.

Zasilanie modułu nadawczego wymaga napięcia o wartości około 3 V, którego źródłem jest bateria litowa typu CR2032. Moduł odbiorczy może być zasilany napięciem z przedziału od 8 do nawet 24 V.

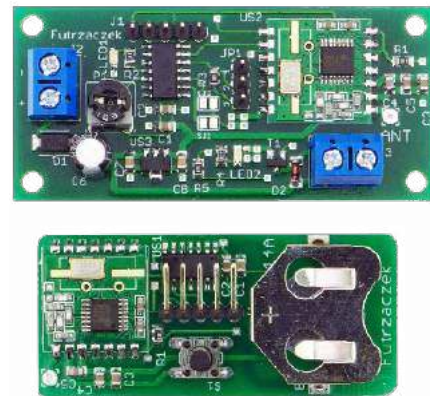
Przed rozpoczęciem eksploatacji oba moduły muszą zostać zaprogramowane dostarczonymi wsadami pamięci FLASH. Nowe wartości fuse bitów powinny wynosić: Low Fuse=0xE2, High Fuse=0xDE. Mikrokontrolery będą wtedy taktowane z wewnętrznego oscylatora RC z pominięciem preskalera (czyli sygnałem o częstotliwości 8 MHz). Dodatkowo, układ Brown-Out Detector zapewni ich wyzerowanie, jeżeli napięcie zasilania spadnie poniżej 1,8 V, co znacząco redukuje ryzyko zawieszenia podczas włączania zasilania. Szczegóły pokazuje **rysunek 6**, który zawiera zrzut z okna programu BitBurner. Dla obu mikrokontrolerów wartości tych bitów są jednakowe.

Pobór prądu przez układ nadajnika jest zerowy w stanie spoczynku (mikrowyłącznik odcina baterię), a w czasie nadawania wynosi ok. 30 mA. W przypadku odbiornika jest to ok. 17 mA w stanie spoczynku i około 24 mA przy załączeniu wyjścia – bez obciążenia podłączonego do zacisków złącza J3. Zmontowane płytki widoczne są na **fotografii 1**.

Eksploatacja

Przy użyciu niewielkiej ilości spoiwa lutowniczego można zaadresować płytkę nadajnika i odbiornika. Możliwe są cztery opcje: SJ1 i SJ2 rozwarłe, obie zwarte lub tylko po jednej są zwarte. Obie płytki powinny mieć ustawiony taki sam „adres”, by współpracowały ze sobą. Można w ten sposób utworzyć system zawierający kilka pilotów i kilka odbiorników, które będą ze sobą współpracowały.

Należy również ustawić zworkę JP1 na płytce nadajnika: zwarte wyprowadzenia 1–2 to praca w trybie monostabilnym, a 2–3 w trybie bistabilnym. Bez zworki zamontowany rezystor podciągający zapewni pracę w trybie bistabilnym. Potencjometrem P1 ustawia się czas załączenia w trybie monostabilnym: gdy skręci się jego ślizgacz w lewo,



Fotografia 1. Zmontowane płytki

czas ten wyniesie około 5 s, a w prawo około 9 min.

Po włączeniu zasilania odbiornika dioda LED1 umieszczona na jego płytce powinna błyskać co kilka sekund, co oznacza brak odbioru poprawnej komendy z nadajnika. Odbiór komendy jest sygnalizowany szybszym błyskaniem. Aby nadajnik wysłał całą komendę, trzeba trzymać przycisk przez min. 1 s.

Jeżeli wyjście jest załączone, dioda LED2 świeci. Do zacisków złącza J3 można podłączyć obciążenie o poborze prądu nieprzekraczającym 100 mA, np. przekaźnik elektromagnetyczny z cewką przystosowaną do napięcia 12 V lub 24 V albo wejście przekaźnika elektronicznego (SSR).

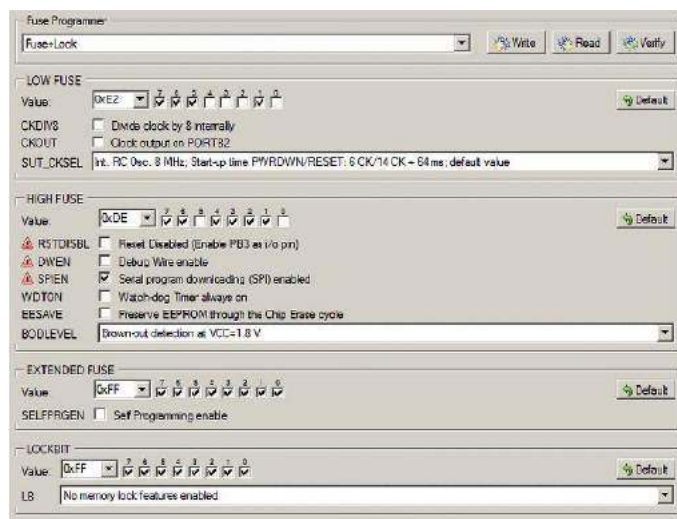
Michał Kurzela, EP

się w szerokich granicach. Wyjście jest typu otwarty kolektor i polega na zwieraniu jednego z wyprowadzeń złącza J3 do masy poprzez klucz nasycyony na tranzystorze T1.

Montaż i uruchomienie

Układ nadajnika został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 25×55 mm, której schemat montażowy oraz wzór ścieżek pokazano na **rysunkach 3 i 4**. Kształt umożliwia włożenie jej do obudowy typu Z-14A firmy Kradex. Płytkę odbiornika jest nieco większa, jej wymiary wynoszą 65×30 mm (**rysunek 5**). Otwory montażowe znajdują się w odległości 3 mm od krawędzi płytki odbiornika.

Montaż elementów na płytkach nie powinien być trudny dla osób obeznanych



Rysunek 6. Ustawienie fuse bitów

Wykaz elementów:

Nadajnik

Rezystory:

R1: 100 kΩ SMD0805

Kondensatory:

C1, C3: 10 μF/16 V SMD0805

C2, C4: 10 nF SMD0805

C5: 47 pF SMD0805

Półprzewodniki:

US1: ATtiny24A S014

US2: RFM12B 868 MHz SMD

Pozostałe:

B1: koszyk baterii CR20xx do lutowania

J1: goldpin męski kątowy wysoki 5 pin 2,54 mm

S1: microswitch 6×6 1,5 mm

Bateria CR2032

Obudowa Z-14A

Odcinek przewodu na antenę (opis w tekście)

Odbiornik

Rezystory:

R1, R3: 100 kΩ SMD0805

R2, R4: 330 Ω SMD0805

R5: 1 kΩ SMD0805

P1: 10 kΩ montażowy leżący

Kondensatory:

C1, C3: 10 μF/16 V SMD0805

C2, C4: 10 nF SMD0805

C5: 47 pF SMD0805

C6: 100 μF/25 V THT raster 2,5 mm, średnica 6 mm

C7, C8: 100 nF SMD0805

Półprzewodniki:

D1: SS14

D2: 1N4148 MiniMELF

LED1, LED2: czerwona SMD0805

T1: BC847 lub podobny

US1: ATtiny24A S014

US2: RFM12B 868 MHz SMD

US3: 78L33 SOT89

Pozostałe:

J1: goldpin męski prosty 5 pin 2,54 mm

J2, J3: ARK2 5 mm

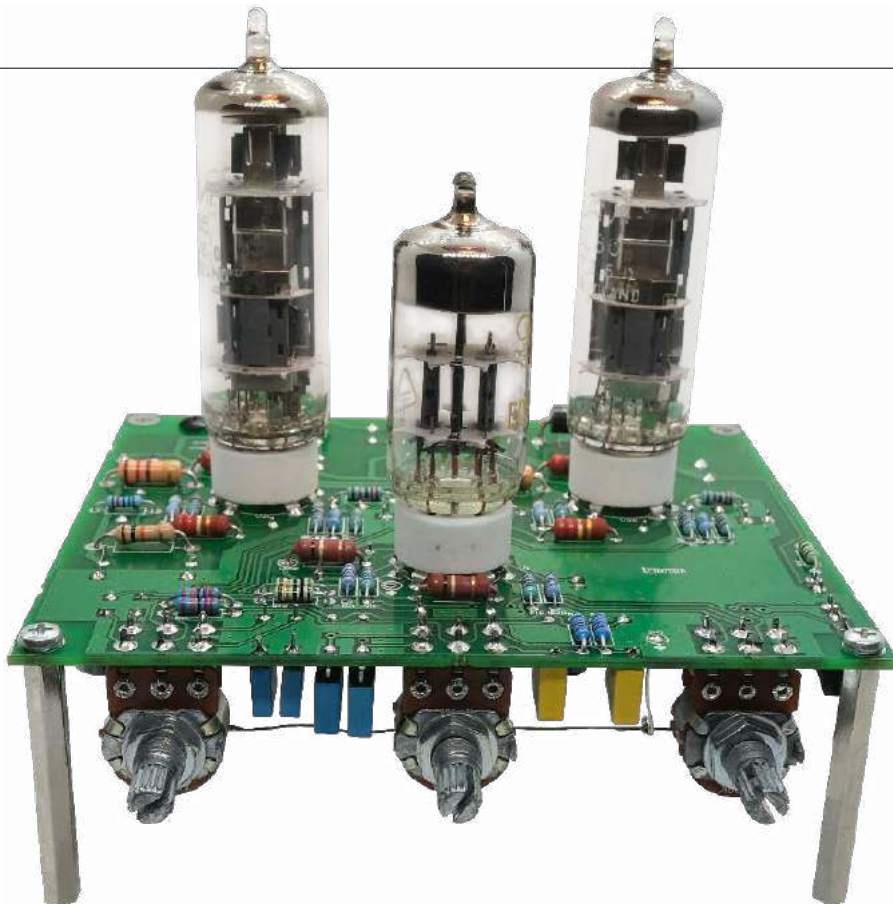
JP1: goldpin 3 pin męski prosty 2,54 mm

THT + zworka

Odcinek przewodu na antenę (opis w tekście)

UWAGA

We wzmacniaczu występują wysokie, niebezpieczne dla życia napięcia oraz wysoka temperatura. Uruchamianie należy przeprowadzić z zachowaniem szczególnej ostrożności, wszelkie manipulacje, zmiany wartości elementów wykonujemy po wyłączeniu wzmacniacza i odczekaniu do rozładowania kondensatorów elektrolitycznych. Wzmacniacz musi być podłączony do sprawnej instalacji zasilającej poprzez gniazdo sieciowe 230 V z bolcem ochronnym.



Wzmacniacz lampowy z regulacją barwy dźwięku

Prezentowany wzmacniacz lampowy jest dobrą propozycją dla osób zaczynających dopiero przygodę z lampami. Bazuje na taniej i bez problemu dostępnej lampie PCL86 oraz jest uzupełniony o regulator barwy tonu na ECC81.

Jest to klasyczna konfiguracja, zawiera jednostopniowy przedwzmacniacz na lampie ECC81, sterującej biernym regulatorem barwy dźwięku oraz dwustopniowy wzmacniacz mocy na podwójnej lampie PCL86, z triodą w stopniu wzmocnienia napięciowego i pentodą w stopniu mocy.

Budowa i działanie

Przykładowy wygląd oraz układ wyprowadzeń lamp pokazuje **rysunek 1**. Taki zestaw lamp umożliwia wykonanie prostego elektrycznie wzmacniacza o mocy ok. 3,5...4,5 W w konfiguracji SE. Schemat

ideowy przedwzmacniacza pokazano na **rysunku 2**. Elementy kanału lewego mają oznaczenia zakończone literą L, kanału prawego literą R, zasilacza anodowego literką A, żarzenia literką H, zaś elementy wspólne obu kanałów nie mają dodatkowych oznaczeń.

Sygnał wejściowy z gniazda wejściowego IN doprowadzany jest do złącza IN płytki przedwzmacniacza, a stąd do potencjometru regulacji głośności VOL. Dalej bez kondensatora separującego składową stałą (praktycznie wszystkie urządzenia mają separację, więc nie ma sensu jej powielać) na siatkę sterującą triody V1 typu ECC81, poprzez rezystor „antywbudzeniowy” R1L. Lampa V1 pracuje w układzie polaryzacji automatycznej, do wytworzenia ujemnego napięcia na siatce sterującej, ustalającego punkt pracy, wykorzystywany jest spadek napięcia, jaki wywołuje przepływ prądu anodowego przez rezystor katodowy R2L.

Wzmocniony sygnał wejściowy wystero- wuje, poprzez kondensator C1L, separujący

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

W ofercie AVT* AVT-5765

Podstawowe parametry:

- łatwy w montażu i uruchomieniu, jest dobrą propozycją dla osób zaczynających dopiero przygodę z lampami,
- bazuje na łatwo dostępnych lampach ECC81 i PCL86,
- moc wyjściowa 2x3,5...4,5 W,
- regulacja tonów wysokich i niskich.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- Projekt 248 Wzmacniacz lampowy CFB (cathode feedback) (EP 11/2019)
- AVT-5727 Hybrydowy wzmacniacz słuchawkowy na lampie Nutube 6P1 (EP 11/2019)
 - AVT-5719 Przedwzmacniacz na lampie Nutube 6P1 (EP 10/2019)
 - AVT-5718 Wzmacniacz lampowy na lampach EL34 (EP 10/2019)
 - AVT-5642 Lampowy regulator barwy dźwięku (EP 9/2018)
 - AVT-5634 Lampowy przedwzmacniacz gramofonowy (EP 8/2018)

Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. wymagana umiejętność lutowania!

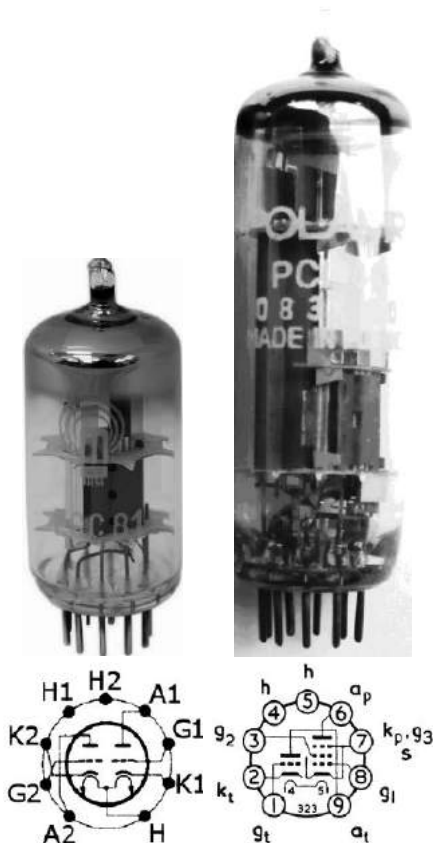
Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wylutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

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

- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wylutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytką drukowaną bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
 - wersja [A+] – płytką drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
 - wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

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



Rysunek 1. Lampy ECC81 i PCL86 – wygląd i schemat wyprowadzeń

wzmocnienia wstępnego. Stopień pracuje z polaryzacją automatyczną, do katody doprowadzony jest sygnał sprzężenia zwrotnego poprzez R11L, C6L. Rezystor R11L odpowiada za głębokość ujemnego sprzężenia obejmującego wzmacniacz mocy, linearyzując jego charakterystykę. Kondensator C6L odpowiada za korekcję przenoszenia wysokich częstotliwości. Oba elementy muszą być dopasowane do posiadanych transformatorów wyjściowych. Rezystor R11L dobiera się tak, aby zachować stabilność wzmacniacza przy zachowaniu użytkowej czułości i poziomu zniekształceń. Zmniejszając jego wartość do granicy wzbudzenia, odczytujemy wzmocnienie, następnie korygujemy je na 50% wartości, przy której wzmacniacz się wzbudza, zapewnia to praktycznie bezpieczny margines stabilności.

Kondensator C6L dobieramy, wysterowując wzmacniacz sygnałem prostokątnym 1 kHz i obserwując jego kształt. Zwiększenie wartości zmniejsza pasmo przenoszenia. Kształt przebiegu powinien być zbliżony do prostokątnego bez oscylacji na zboczach.

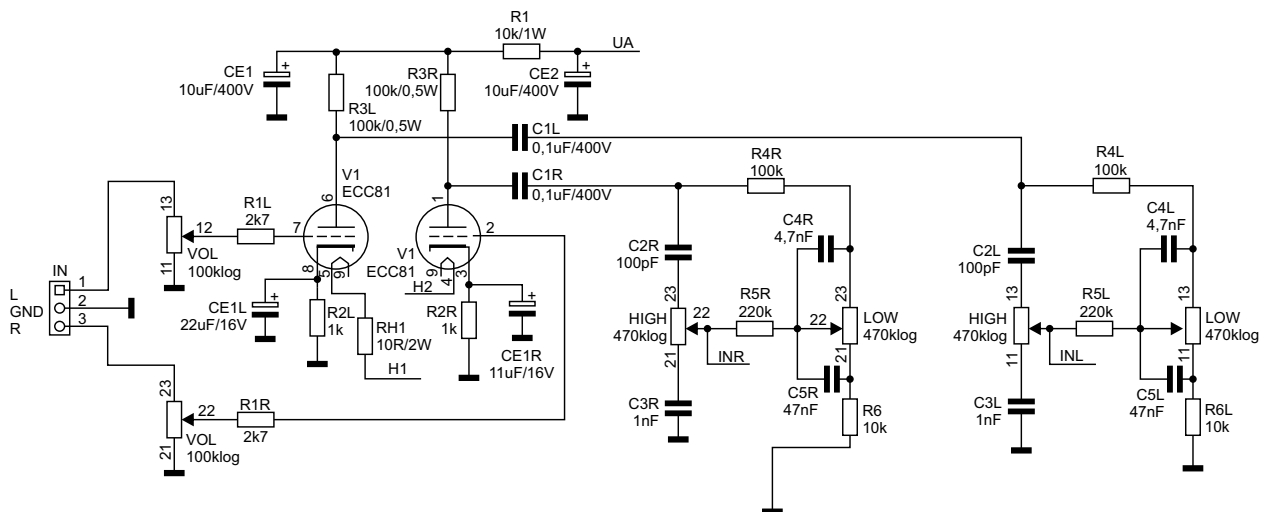
Wzmocniony sygnał poprzez kondensator separujący C7L doprowadzony jest do siatki pentody. Rezystor R16L polaryzuje siatkę drugą. Lampa pracuje z polaryzacją automatyczną ustaloną przez R15L. Do złącza

w zależności od typu transformatora (4pietro4 nie wymaga jego zastosowania). W przypadku konieczności dobrania C8L należy pamiętać o odpowiednio wysokim napięciu pracy min. 630 VDC.

Zasilanie

Wzmacniacz wymaga dwóch napięć zasilających, anodowego ok. 230...250 V oraz żarzenia 13,5...14,5 V. Zasilany jest z transformatora 60 VA z napięciami wtórnymi 210 V/6,3 VAC. Napięcie żarzenia uzyskiwane jest w układzie powielacza DH1, DH2, CEH1, CEH2 z napięcia 6,3 VAC. Celowo zrezygnowano z zastosowania lamp ECL86 żarzonych 6,3 VAC, które są coraz trudniej dostępne i zdecydowanie lepiej zostawić je dla serwisu oraz remontów sprzętu lampowego, zastępując je odpowiednikami PCL86 żarzonymi prądem 300 mA. Schemat powielacza pokazano na rysunku 4. Rezystor RH2 ogranicza prąd diody świecącej podłączonej do złącza LED, sygnalizującej obecność zasilania wzmacniacza. Potencjał grzejników H2 połączony jest z masą wzmacniacza.

Napięcie anodowe uzyskiwane jest w układzie pokazanym na rysunku 5. Napięcie 230 VAC z transformatora jest prostowane przez mostek BRA i filtrowane w CE1A. Stopień aktywnej filtracji z tranzystorem Q1A,



Rysunek 2. Schemat ideowy przedwzmacniacza

składową stałą, bierny regulator barwy tonu. Regulacja odbywa się dla częstotliwości niskich potencjometrem LOW, dla wysokich potencjometrem HIGH. Wartości kondensatorów w mostku nie są krytyczne i można dopasować je do swoich preferencji, zachowując proporcję C2L/C3L i C4L/C5L. Dobrze by kondensatory były dobrane z 5% tolerancją spośród kondensatorów z dielektrykiem foliowym.

Z bloku regulacji barwy dźwięku sygnał podawany jest do końcówki mocy, której schemat pokazano na rysunku 3. Sygnał z przedwzmacniacza poprzez rezystor R8L doprowadzony jest do siatki triody stopnia

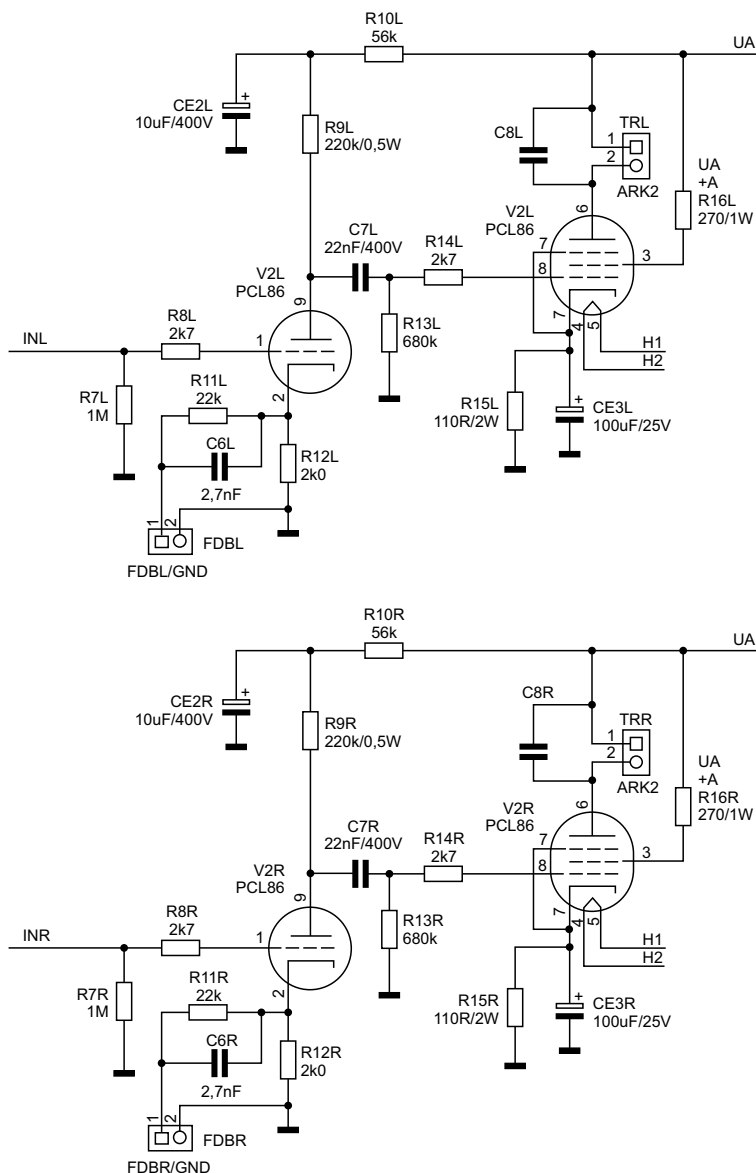
TRL podłączony jest transformator anodowy 5 k/8 Ω , np. 4pietro4 EL84SE, pod kątem którego dobrane są elementy R11L/C6L modelu. Z jego zacisków pobierany jest sygnał sprzężenia zwrotnego doprowadzony do złącza FDBL. Wzmacniacz bez problemu współpracuje także z transformatorami TG 5/4897 Sizei, TGL 5/001 Indel, a nawet starszymi TG5/53. Na płytce pozostawione jest miejsce na jeszcze jeden element kształtujący charakterystykę, kondensator C8L, który kompensuje indukcyjny charakter transformatora, także wpływając na wyrównanie przenoszenia wyższych częstotliwości. Jego wartość zawiera się w przedziale od 0...6,8 nF

REKLAMA

SoMLabs
www.somlabs.com

nowość!

VisionSOM-STM32MP1
Moduły serii VisionSOM z procesorem STM32MP1, z rdzeniami Cortex-A7 oraz Cortex-M4



Rysunek 3. Schemat wzmacniacza mocy

zapewnia odpowiednie wygładzenie napięcia anodowego. Ze względu na traconą moc tranzystor Q1 montowany jest na radiatorze HS123.

Montaż

Wzmacniacz zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat wraz z rozmieszczeniem elementów pokazują rysunki 6 i 7. Na płytce zamontowane są wszystkie elementy oprócz transformatorów i gniazd połączeniowych. Aby umożliwić wyeksponowanie lamp, podstawki montowane są po stronie TOP, na której nie ma innych wystających wysokich elementów. Ułatwia to mocowanie płytki do górnej części obudowy wzmacniacza za pomocą kołków dystansowych 10...12 mm. Wszystkie gniazda połączeniowe płytki są łatwo dostępne od spodu płytki. Schemat okablowania wzmacniacza pokazano na rysunku 8.

Montaż wzmacniacza podzielony jest na dwa etapy. W pierwszej kolejności

montujemy płytkę drukowaną, stosując się do ogólnych zasad. Należy pamiętać, aby wszystkie rezystory o mocy większej niż 1 W oddalić od powierzchni płytki drukowanej, by ułatwić odprowadzenie ciepła. W płytce przewidziano kilkanaście otworów umożliwiających cyrkulację powietrza wokół lamp i nagrzewających się elementów.

Drugi etap to montaż wzmacniacza w obudowie wg schematu montażowego. Ze względu na różnorodność zastosowanych obudów ten etap musi być przemyślany indywidualnie. Należy jednak starać

Wykaz elementów:

Rezystory:

R1: 10 kΩ 1 W
R10L, R10R: 56 kΩ 0,6 W 1%
R11L, R11R: 22 kΩ 0,6 W 1% (dobrać)
R12L, R12R: 2 kΩ 0,6 W 1%
R13L, R13R: 680 kΩ 0,6 W 1%
R14L, R14R, R1A, R1L, R1R, R8L, R8R: 2,7 kΩ 0,6 W 1%
R15L: 110 Ω 2 W 1%
R15R: 110 Ω 2 W 1%
R2A: 100 kΩ 1 W
R2L, R2R: 1 kΩ 0,5 W 1%
R3A: 1 MΩ 1 W
R3L, R3R: 100 kΩ 0,5 W 1%
R4L, R4R: 100 kΩ 0,6 W 1%
R5L, R5R: 220 kΩ 0,6 W 1%
R6L, R6R: 10 kΩ 0,6 W 1%
R7L, R7R: 1 MΩ 0,6 W 1%
R9L, R9R: 220 kΩ 0,5 W 1%
RH1: 10 Ω 2 W 1%
HIGH, LOW: POT1615S potencjometr stereo 470 kΩ log
VOL: POT1615S potencjometr stereo 100 kΩ log.

Kondensatory:

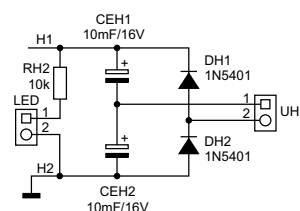
C6L, C6R: 2,7 nF foliowy P5,0 (dobrać)
C7L, C7R: 22 nF/400 V P10 foliowy
C8L, C8R: 3,3 nF/630 V P10 foliowy (dobrać)
CE1, CE2, CE2L, CE2R: 10 μF/400 V elektrolityczny 12,5 mm
CE1A: 100 μF/400 V elektrolityczny 8 mm
CE1L, CE1R: 22 μF/16 V elektrolityczny 5 mm
CE2A, CE3A: 22 μF/400 V elektrolityczny 12,5 mm
CE3L, CE3R: 100 μF/25 V elektrolityczny 10 mm
CEH1, CEH2: 10 mF/16 V elektrolityczny 8 mm

Półprzewodniki:

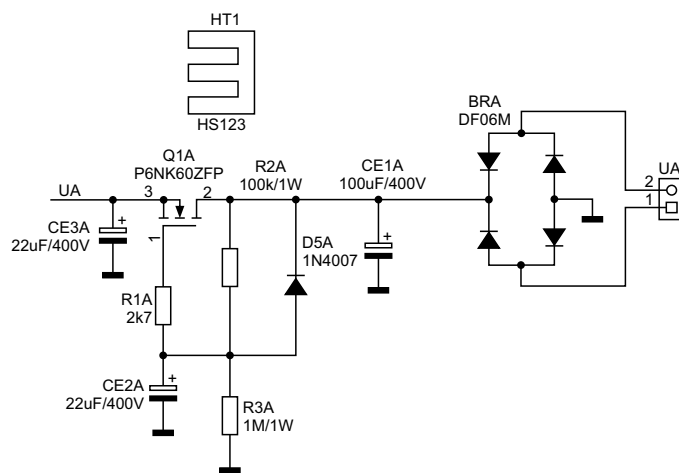
D5A: 1N4007
DH1, DH2: 1N5401
LED: DG381-3.5-2 złącze śrubowe + LED
Q1A: P6NK60ZFP tranzystor mosfet izolowany

Pozostałe:

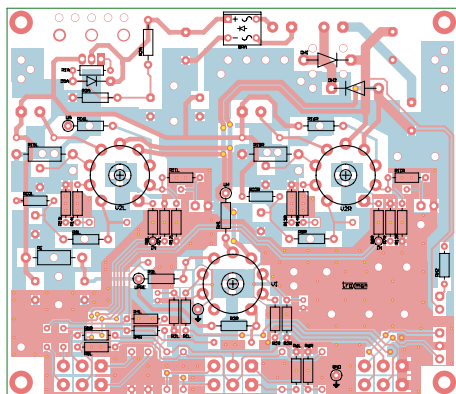
FDBL, FDBR: DG381-3.5-2 złącze śrubowe
HT1: HS123 radiator
IN: DG381-3.5-3 złącze śrubowe
TRL, TRR, UH, UA: ARK2 złącze śrubowe
V1: podstawka noval mini pcb + lampa ECC81
V2L, V2R: podstawka noval mini pcb + lampa PCL86



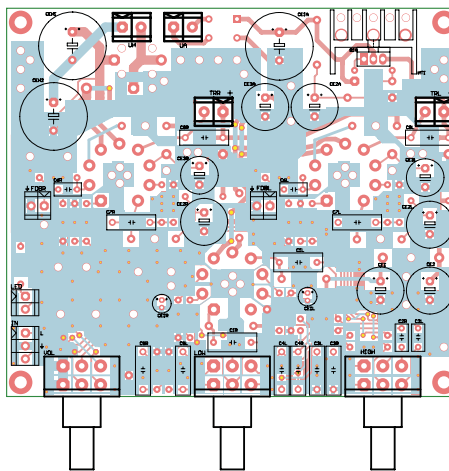
Rysunek 4. Zasilacz żarzenia



Rysunek 5. Zasilacz anodowy



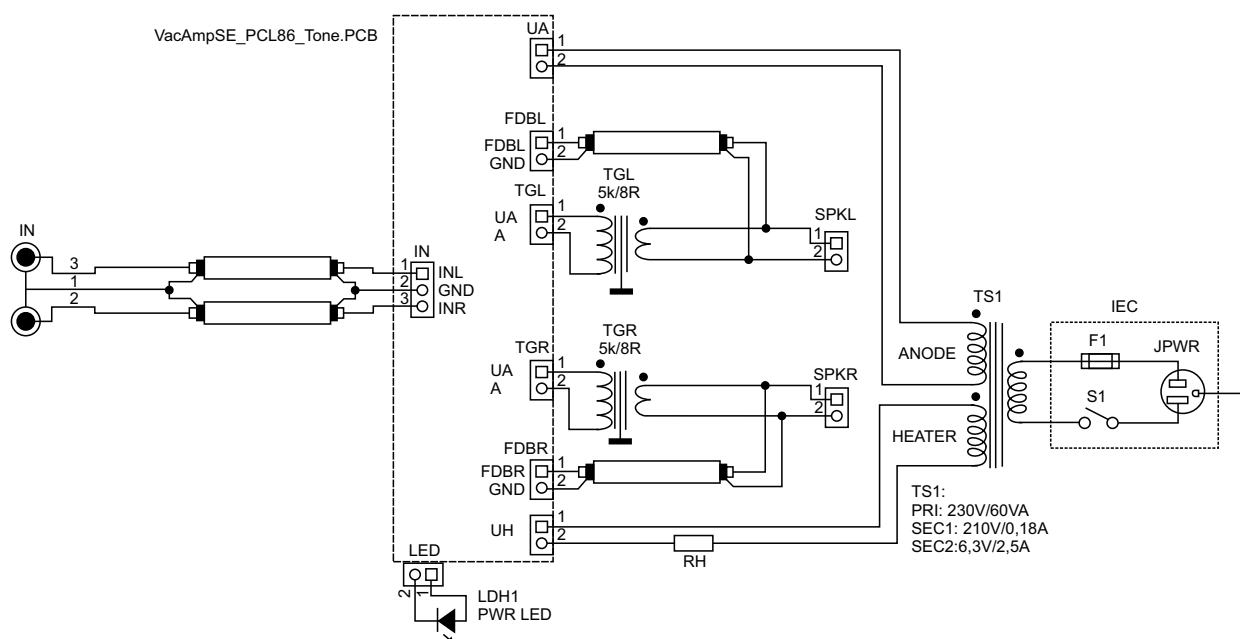
Rysunek 6. Rozmieszczenie elementów wzmacniacza, strona TOP



Rysunek 7. Rozmieszczenie elementów wzmacniacza, strona BOTTOM

sieciowego zbyt wysokie napięcie żarzenia można obniżyć rezystorem RH wpiętym w szereg z uzwojeniem żarzenia. Wartość RH należy dobrać podczas uruchamiania, gdyż zbyt wysokie napięcie, czyli „przeżarcie” skraca żywotność lamp i podnosi poziom przydźwięku sieciowego.

Jeżeli wzmacniacz wzbudzi się trzeba go wyłączyć i zamienić wyprowadzenia strony anodowej transformatorów głośnikowych. Jeżeli wszystko jest w porządku, wzmacniacz jest gotowy do eksploatacji. W przypadku zastosowania innych transformatorów wyjściowych warto skorygować wartość C6, C8 L/R. Po podłączeniu źródła sygnału sprawdzamy regulację barwy dźwięku i głośności. Ze względu na niewielką moc wyjściową warto



Rysunek 8. Schemat montażowy wzmacniacza

się odsunąć płytkę oraz transformatory głośnikowe od transformatora sieciowego. Polecam też zastosowanie transformatora toroidalnego, cechującego się mniejszym polem rozproszenia. Połączenia sygnałowe wejść i sprzężenia zwrotnego należy poprowadzić przewodem ekranowanym, pozostałe przewody, szczególnie doprowadzające żarzenie, trzeba prowadzić skręconą parą i w miarę możliwości daleko od przewodów sygnałowych. Przewody sieciowe, napięcia anodowego, uzwojeń anodowych transformatorów głośnikowych należy dodatkowo zaizolować rurką termokurczliwą lub koszulką olejową. Nie należy zapominać o zapewnieniu odpowiedniej cyrkulacji powietrza wokół lamp poprzez wykonanie otworów wentylacyjnych w obudowie wzmacniacza. Obudowy potencjometrów oraz obejmy transformatorów głośnikowych należy połączyć z masą układu, na płytce przewidziany jest punkt GND. Zmontowaną płytkę pokazuje fotografia tytułowa.

Uruchomienie

Po sprawdzeniu poprawności montażu wyjmujemy lampy z płytki i podłączamy wzmacniacz do sieci zasilającej (najlepiej przez autotransformator). Sprawdzamy obecność napięć żarzenia 6,3 VAC i powielonego 13,5...14,5 VDC oraz anodowego ok. 230...250 VDC. Jeżeli nic nie budzi naszych wątpliwości, wyłączamy wzmacniacz, czekamy chwilę na rozładowanie pojemności.

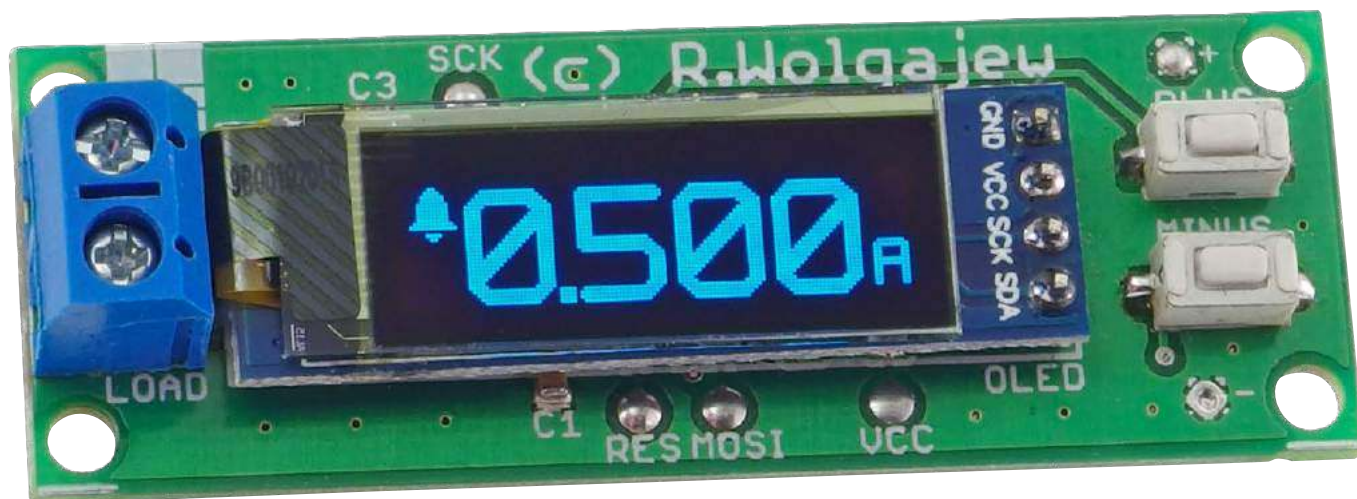
Następnie wkładamy lampy w podstawki, do wejścia podłączamy generator audio, wyjście obciążamy rezystorami 8 Ω/10 W i podłączamy oscyloskop. Ponownie podłączamy zasilanie, lampy powinny się żarzyć, napięcie anodowe powinno wynosić ok. 230...250 VDC, na rezystorach katodowych napięcie względem masy powinno wynosić ok. 5...6 V (w zależności od stanu lamp), napięcie na anodach ECC81 powinno wynosić ok. 85...95 V. W zależności od zastosowanego transformatora

postarać się o efektywne głośniki, doskonałe kryteria spełniają starsze głośniki szerokopasmowe. Miłego słuchania...

Adam Tatus
adam.tatus@ep.com.pl

REKLAMA





Ampera – miniaturowy miernik prądu stałego

Prezentujemy prosty, ale efekowny amperomierz prądu stałego, który ma możliwość alarmowania po przekroczeniu konfigurowalnego progu. Projekt o nazwie Ampera.

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

W ofercie AVT* AVT-5766

Podstawowe parametry:

- zakres pomiarowy: 0...8 A,
- praca w systemach o napięciu szyny zasilającej 0...36 V,
- rozdzielczość pomiaru: 1 mA,
- dokładność pomiaru: 1% (zależna od klasy dokładności zastosowanego bocznika)
- zakres ustawień dla funkcji alarmowania: 0...10 A,
- rozdzielczość ustawień dla funkcji alarmowania: 1 mA,
- częstotliwość odświeżania ekranu: 10 razy/s,
- zasilanie: 4,5...10 V/10 mA.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

- Projekt 233 3-fazowy woltomierz TRMS (EP 10/2017)
- Projekt 232 Miliamperomierz TRMS (EP 9/2017)
- AVT-5507 Miernik UIPTR (EP 7/2015)
- AVT-5399 Dwukanałowy multimetr panelowy (EP 6/2013)
- AVT-5386 Podwójny woltomierz i amperomierz (EP 3/2013)
- AVT-5383 Miernik tablicowy UIPT (EP 2/2013)

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

Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu. Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

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

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

W urządzeniu zastosowano specjalizowany układ przeznaczony do pomiaru prądu, napięcia i mocy urządzeń zasilanych napięciem stałym. Jest to element dość wyjątkowy, warto choćby skrótowo zaznajomić się z jego specyfikacją. Układ INA226, produkcji firmy Texas Instruments, jest specjalizowanym, bardzo dokładnym, 16-bitowym, różnicowym przetwornikiem pomiarowym ADC przeznaczonym do zastosowania w układach pomiaru prądu i mocy z wykorzystaniem bocznika rezystancyjnego. Układ ten wyróżnia się następującymi, wybranymi cechami użytkowymi:

- szeroki zakres napięć zasilania 2,7...5,5 V,
- bardzo duża dokładność pomiaru rzędu 0,1%,
- możliwość pracy w systemach o szerokim zakresie napięć szyny zasilającej 0...36 V,
- możliwość pracy w konfiguracji Low-side i High-side,

- bezpośredni pomiar napięcia, prądu i mocy,
- konfigurowalny czas przetwarzania wbudowanego przetwornika ADC,
- konfigurowalna funkcja uśredniania pomiarów,
- dwa tryby pracy wbudowanego przetwornika ADC: ciągły i wyzwalany na żądanie,
- możliwość alarmowania po przekroczeniu zadanego poziomu prądu, napięcia szyny zasilającej odbiornik bądź mocy pobieranej przez odbiornik.

Układ INA226 idealnie wpisuje się w wymagania naszej aplikacji, oferując niespotykaną dotąd funkcjonalność i dokładność pomiarów. Schemat blokowy tego peryferium pokazano na **rysunku 1**.

Budowa i działanie

Schemat ideowy urządzenia znajduje się na **rysunku 2**. Zaprojektowano bardzo prosty system mikroprocesorowy, którego sercem jest niewielki mikrokontroler firmy Microchip (dawniej Atmel) typu ATtiny44, odpowiedzialny za programową implementację interfejsu I²C, przy użyciu którego mikrokontroler realizuje obsługę układu INA226 oraz obsługę niewielkiego, acz bardzo efektywnego wyświetlacza OLED o rozdzielczości 128×32 piksele stanowiącego element

Wykaz elementów:

Rezystory:

- R1: pomiarowy 10 mΩ 1 W 1% SMD2010
- R2, R3: 4,7 kΩ SMD 0805

Kondensatory:

- C1...C3: ceramiczny X7R 100 nF SMD 0805
- C4: ceramiczny X7R 1 μF SMD 0805

Półprzewodniki:

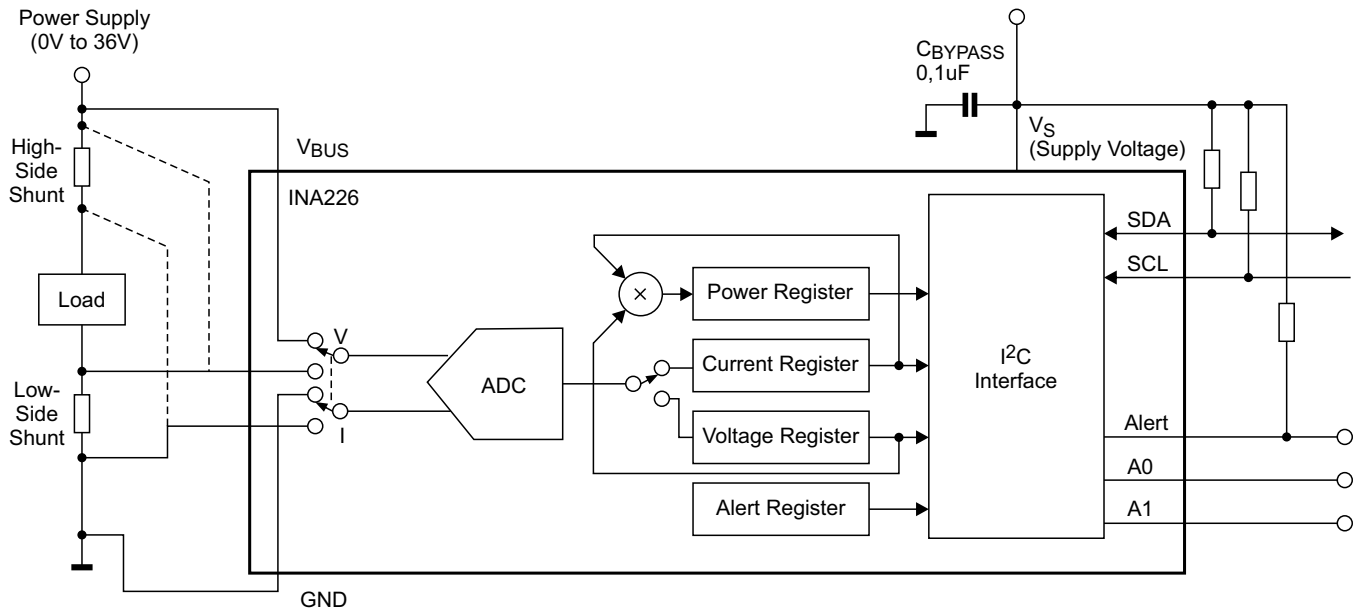
- U1: ATtiny44 (SOIC14)
- U2: INA226A (MSOP-10)
- U3: TS9011SCX (SOT23)
- OLED: wyświetlacz OLED 128×32 px, 0,91", SSD1306, magistrała I²C, wymiary 38×12 mm

Pozostałe:

- PLUS, MINUS: mikroprzełącznik SMD typu DTSM31NB
- BUZZ: przetwornik piezoelektryczny typu LPT9018BS-HL-03-4-0-12-R
- LOAD: złączce śrubowe AK500/2

Ustawienia Fuse-bitów:

```
CKSEL3...0: 0010
SUT1...0: 10
CKDIV8: 0
CKOUT: 1
DWEN: 1
EESAVE: 0
```



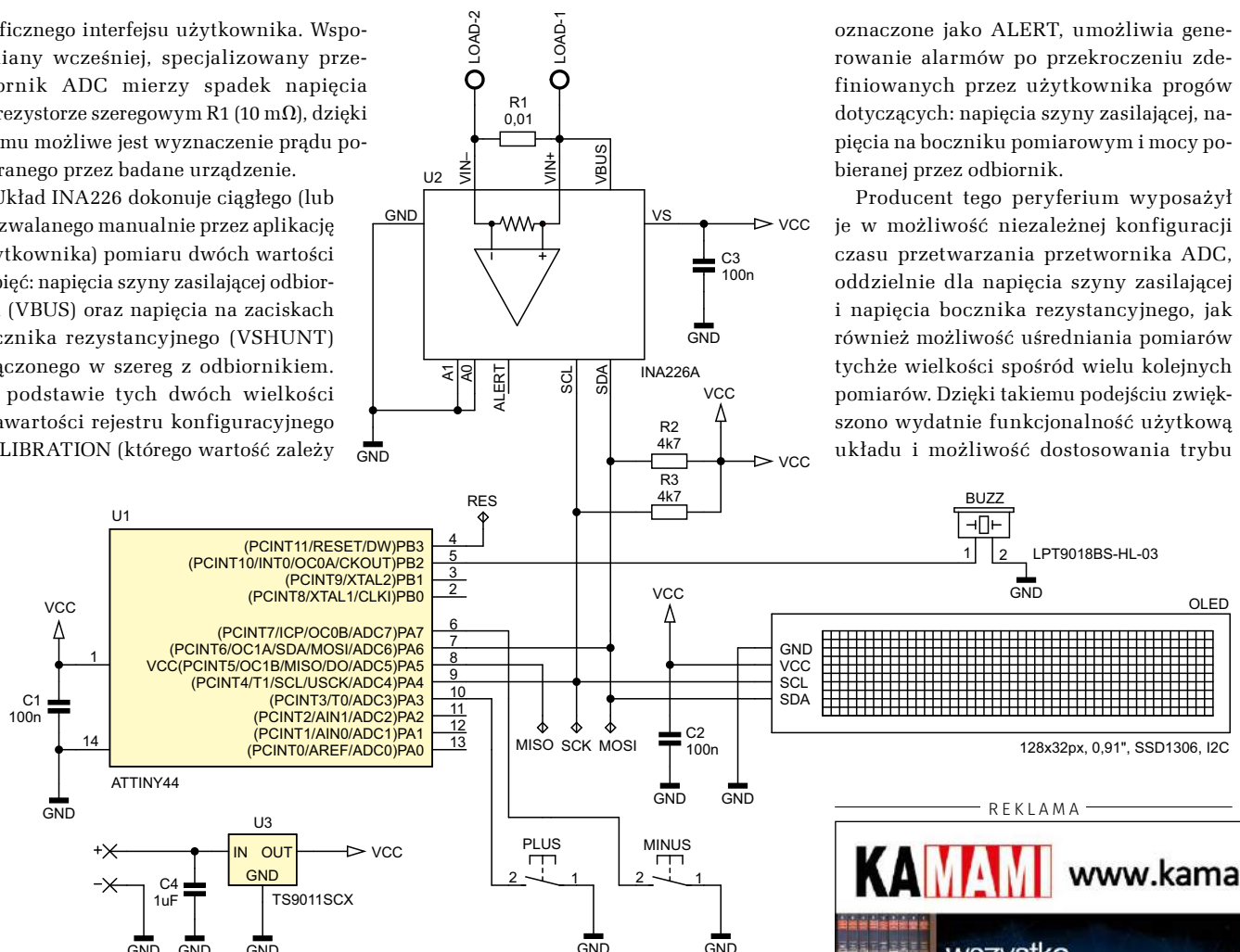
Rysunek 1. Schemat blokowy układu INA226

graficznego interfejsu użytkownika. Wspomniany wcześniej, specjalizowany przetwornik ADC mierzy spadek napięcia na rezystorze szeregowym R1 (10 mΩ), dzięki czemu możliwe jest wyznaczenie prądu pobieranego przez badane urządzenie.

Układ INA226 dokonuje ciągłego (lub wyzwanego manualnie przez aplikację użytkownika) pomiaru dwóch wartości napięć: napięcia szyny zasilającej odbiornik (VBUS) oraz napięcia na zaciskach bocznika rezystancyjnego (VSHUNT) włączonego w szereg z odbiornikiem. Na podstawie tych dwóch wielkości i zawartości rejestru konfiguracyjnego CALIBRATION (którego wartość zależy

oznaczone jako ALERT, umożliwia generowanie alarmów po przekroczeniu zdefiniowanych przez użytkownika progów dotyczących: napięcia szyny zasilającej, napięcia na boczniku pomiarowym i mocy pobieranej przez odbiornik.

Producent tego peryferium wyposażył je w możliwość niezależnej konfiguracji czasu przetwarzania przetwornika ADC, oddzielnie dla napięcia szyny zasilającej i napięcia bocznika rezystancyjnego, jak również możliwość uśredniania pomiarów tychże wielkości spośród wielu kolejnych pomiarów. Dzięki takiemu podejściu zwiększono wydatnie funkcjonalność użytkową układu i możliwość dostosowania trybu



Rysunek 2. Schemat ideowy urządzenia Ampera

od wymaganej rozdzielczości pomiaru i parametrów zastosowanego bocznika rezystancyjnego) układ oblicza następujące wielkości elektryczne: prąd oraz moc pobieraną przez odbiornik i udostępnia je aplikacji użytkownika, ładując obliczone wielkości do stosownych rejestrów konfiguracyjnych jak również

ustawiając odpowiednie flagi zakończenia konwersji.

Ponadto, dzięki wyposażeniu go w grupę specjalnych rejestrów konfiguracyjnych odpowiedzialnych za porównywanie zmierzonych i obliczonych wartości z wartościami progowymi, jak również wyprowadzenie

REKLAMA

KAMAMI www.kamami.pl


jego pracy do wymagań konkretnej aplikacji. Należy jedynie pamiętać, że wydłużenie czasu przetwarzania wbudowanego przetwornika ADC wydatnie zwiększa uzyskaną dokładność pomiaru, zaś uśrednianie większej liczby próbek zdecydowanie polepsza odstęp sygnału od szumu, w związku z czym w rzeczywistych aplikacjach należy dobierać maksymalne i możliwe do zaakceptowania wartości tychże parametrów, kierując się dla przykładu szybkością zmian badanych przebiegów jako kryterium wyjściowym.

Aby poznać wszystkie możliwości drzemiące w układzie INA226, należałoby sięgnąć do jego noty aplikacyjnej lub do... mojego artykułu prezentującego urządzenie USB-tester opublikowanego na łamach naszego miesięcznika w maju 2019 roku, gdzie szczegółowo omawiam wszelkie zagadnienia implementacyjne, więc nie będę ich powtórzał w tym miejscu, tym bardziej że jest to dość obszerna lektura.

Kilka słów uwagi poświęcę natomiast programowej implementacji interfejsu I²C, dzięki któremu mikrokontroler współpracuje z układem INA226 (i wyświetlaczem OLED). Wykorzystałem programową implementację wspomnianego sprzętu z dwóch powodów. Po pierwsze, mikrokontroler ATtiny44 nie został wyposażony przez producenta w pełnoprawny kontroler interfejsu I²C (w tym wypadku TWI – *Two Wire Interface*), lecz tylko w jego uproszczoną wersję o nazwie USI (*Uniwersal Serial Interface*), która nie zapewnia całkowicie sprzętowego wsparcia medium transmisyjnego, przez co w moim przekonaniu programowa

implementacja jest w pełni uzasadniona i na dodatek prostsza. Po drugie, w przypadku programowego wsparcia interfejsu I²C do wyboru mamy dowolne piny mikrokontrolera, co ułatwia zaprojektowanie obwodu drukowanego urządzenia. Z tych właśnie powodów zdecydowałem się zaimplementować sprzęt I²C na drodze czysto programowej. Inną sprawą jest fakt, że tego typu implementacja jest bardzo prosta, gdyż wspomniane medium transmisyjne jest dobrze udokumentowane i proste w swoich założeniach. Co istotne, nie będę w tym miejscu opisywał wszystkich, szczegółowych cech standardu, gdyż łatwo znaleźć stosowne informacje w sieci, a skupię się

Listing 1. Plik nagłówkowy programowej implementacji magistrali I²C

```
#define I2C_BUS_FREQ 400000

#define SDA_PORT_REG PORTA
#define SDA_PIN_REG PINA
#define SDA_DDR_REG DDRA
#define SDA_PIN_NR PA6

#define SCL_PORT_REG PORTA
#define SCL_PIN_REG PINA
#define SCL_DDR_REG DDRA
#define SCL_PIN_NR PA4

#define SDA_LOW SDA_PORT_REG &= ~(1<<SDA_PIN_NR)
#define SDA_HIGH SDA_PORT_REG |= (1<<SDA_PIN_NR)
#define SDA_AS_INPUT SDA_DDR_REG &= ~(1<<SDA_PIN_NR)
#define SDA_AS_OUTPUT SDA_DDR_REG |= (1<<SDA_PIN_NR)
#define SDA_IS_LOW (!(SDA_PIN_REG & (1<<SDA_PIN_NR)))

#define SCL_LOW SCL_PORT_REG &= ~(1<<SCL_PIN_NR)
#define SCL_HIGH SCL_PORT_REG |= (1<<SCL_PIN_NR)
#define SCL_AS_INPUT SCL_DDR_REG &= ~(1<<SCL_PIN_NR)
#define SCL_AS_OUTPUT SCL_DDR_REG |= (1<<SCL_PIN_NR)
#define SCL_IS_LOW (!(SCL_PIN_REG & (1<<SCL_PIN_NR)))

#define CLK_BITWAIT (F_CPU/I2C_BUS_FREQ/2)

#define NACK 0
#define ACK 1
```

Listing 3. Funkcja odpowiedzialna za wygenerowanie sygnału Start magistrali I²C

```
void i2cStart(void){
    //Generujemy sygnał START: SDA z 1 na 0
    //w czasie gdy SCL=1
    SDA_LOW;
    _delay_us(CLK_BITWAIT);
    //SCL z 1 na 0 - przygotowanie do transmisji
    SCL_LOW;
    _delay_us(CLK_BITWAIT);
}
```

Listing 5. Funkcja odpowiedzialna za wysłanie bajta przy użyciu magistrali I²C

```
uint8_t i2cWriteByte(uint8_t Byte){
    uint8_t Ack;

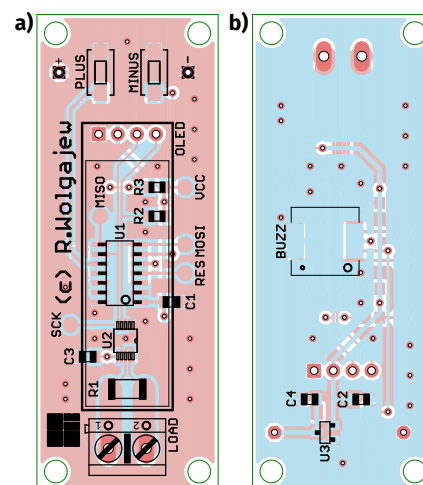
    for(uint8_t i=0; i<8; ++i){
        //SCL jest w stanie niskim
        if(Byte & 0x80) SDA_HIGH; else SDA_LOW;
        Byte <<= 1;
        //Układ Slave zatrzymuje bieżący bit
        SCL_HIGH;
        //Obsługa „clock stretching”
        SCL_AS_INPUT;
        //Czekamy, aż Slave zwolni szynę zegara
        while(SCL_IS_LOW);
        SCL_AS_OUTPUT;
        _delay_us(CLK_BITWAIT);
        SCL_LOW;
        _delay_us(CLK_BITWAIT);
    }
    //Odczytujemy 9. bit
    //potwierdzenia z układu Slave
    SDA_HIGH;
    SDA_AS_INPUT;
    SCL_HIGH;
    _delay_us(CLK_BITWAIT);
    Ack = (SDA_PIN_REG & (1<<SDA_PIN_NR))>>SDA_PIN_NR;
    SCL_LOW;
    _delay_us(CLK_BITWAIT);
    SDA_AS_OUTPUT;
    return Ack;
}
```

Listing 2. Funkcja inicjująca porty magistrali I²C

```
void i2cInit(void){
    //Porty SDA i SCL
    //jako wyjściowe ze stanem 1
    SDA_HIGH;
    SCL_HIGH;
    SDA_AS_OUTPUT;
    SCL_AS_OUTPUT;
}
```

Listing 4. Funkcja odpowiedzialna za wygenerowanie sygnału Stop magistrali I²C

```
void i2cStop(void){
    //Generujemy sygnał STOP:
    //SDA z 0 na 1, w czasie gdy SCL=1
    SDA_LOW;
    _delay_us(CLK_BITWAIT);
    SCL_HIGH;
    _delay_us(CLK_BITWAIT);
    SDA_HIGH;
    _delay_us(CLK_BITWAIT);
}
```



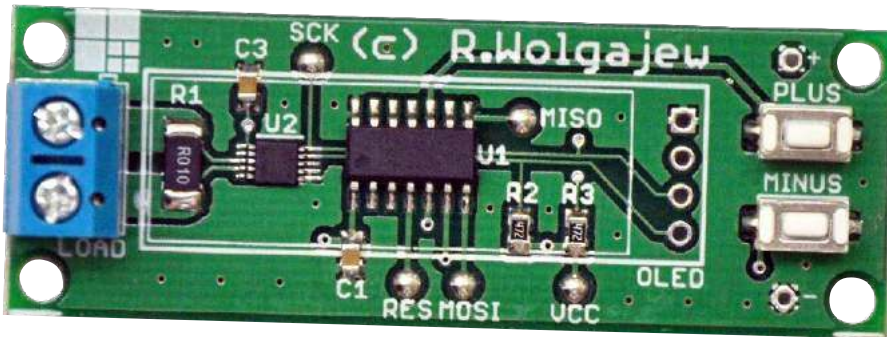
Rysunek 3. Schemat montażowy: a) widok strony TOP, b) widok strony BOTTOM

jedynie na mojej, uproszczonej, acz wystarczającej implementacji programowej.

Plik nagłówkowy implementacji definiujący wszystkie, niezbędne cechy sprzętowe pokazano na **listingu 1**. Na **listingu 2** pokazano z kolei prostą funkcję inicjującą porty magistrali I²C, której zadaniem jest ustawienie stanów spoczynkowych. Dwie, podstawowe funkcje standardu I²C generujące sygnał Start i Stop pokazano na **listingach 3 i 4**. Na **listingach 5 i 6** pokazano kolejne, dwie proste funkcje umożliwiające wysłanie i odebranie bajta na magistrali I²C. Funkcja wysyłająca jako rezultat swojego działania zwraca wartość bitu potwierdzenia po stronie odbiornika danych (w tym przypadku układu slave), zaś funkcja pozwalająca na odbiór bajta przyjmuje jako argument wywołania wartość bitu potwierdzenia po stronie odbiornika danych (w tym przypadku układu master).



Rysunek 4. Wygląd graficznego interfejsu użytkownika



Fotografia 1. Zmontowana płytkę od strony TOP przed przylutowaniem wyświetlacza OLED

Urządzenie wyposażono w niewielki, ale efektowny wyświetlacz OLED, którego obsługę mikrokontroler realizuje także dzięki programowej implementacji interfejsu I²C. Powodem wybrania tego typu wyświetlacza jest jego doskonała widoczność nawet w warunkach światła słonecznego i bardzo atrakcyjna cena. W tym momencie, podobnie jak poprzednio, po szczegóły implementacyjne dotyczące tegoż peryferium odsyłam ponownie do wspomnianego wcześniej artykułu, gdzie drobiazgowo opisano zagadnienia programowe związane z obsługą tego rodzaju wyświetlacza OLED.

Montaż i uruchomienie

Schemat montażowy naszego urządzenia pokazano na **rysunku 3**. Zaprojektowano bardzo zgrabną, dwustronną, niewielką płytkę drukowaną, która swoim rozmiarem jest zbliżona do zastosowanego wyświetlacza OLED, udostępniając dodatkowo niezbędne otwory montażowe. Warto również podkreślić, że dla zminimalizowania rozmiaru obwodu drukowanego przewidziano tutaj montaż elementów po obu stronach laminatu. Aplikację urządzenia rozpoczynamy od przylutowania układu INA226. Najprostszym sposobem montażu elementów o tak dużym zagęszczeniu wyprowadzeń, niewymagającym jednocześnie posiadania specjalistycznego sprzętu, jest użycie zwykłej stacji lutowniczej, dobrej

Listing 6. Funkcja odpowiedzialna za odbiór bajta przy użyciu magistrali I2C

```
uint8_t i2cReadByte(uint8_t Ack){
    uint8_t Byte = 0;
    SDA_HIGH;
    SDA_AS_INPUT;

    for(uint8_t i=0; i<8; ++i) {
        Byte <<= 1;
        SCL_HIGH;
        //Obsługa „clock stretching”
        SCL_AS_INPUT;
        //Czekamy, aż slave zwolni szynę zegara
        while(SCL_IS_LOW);
        SCL_AS_OUTPUT;
        _delay_us(CLK_BITWAIT);
        if(!SDA_IS_LOW) Byte++;
        SCL_LOW;
        _delay_us(CLK_BITWAIT);
    }

    //Transmitujemy 9. bit Ack
    SDA_AS_OUTPUT;
    if(Ack) SDA_LOW; else SDA_HIGH;
    SCL_HIGH;
    _delay_us(CLK_BITWAIT);
    SCL_LOW;
    _delay_us(CLK_BITWAIT);
    SDA_HIGH;
    return Byte;
}
```

jakości cyny z odpowiednią ilością topnika oraz dość cienkiej plecionki rozlutowniczej, która umożliwi usunięcie nadmiaru cyny spomiędzy wyprowadzeń układu. Należy przy tym uważać, by nie uszkodzić termicznie tegoż elementu.

Dalej lutujemy pozostałe elementy półprzewodnikowe, potem rezystory i kondensatory oraz inne elementy biernie, a na końcu mikroprzełączniki PLUS i MINUS, buzzer piezoelektryczny i gniazdo połączeniowe LOAD. Z uwagi na zagęszczenie wyprowadzeń układów scalonych przed pierwszym podłączeniem układu do zasilania należy

jeszcze raz sprawdzić jakość wykonanych połączeń, aby nie dopuścić do ewentualnych zwarców. Wspomniana kontrola będzie znacznie łatwiejsza, jeśli zmontowaną płytkę przeemyjemy alkoholem izopropylowym w celu wypłukania nadmiaru kalafonii lutowniczej. Na samym końcu montujemy wyświetlacz OLED, lutując jego wyprowadzenia w przeznaczone do tego celu pola lutownicze (należy sprawdzić polaryzację zasilania), gdyż połączenia elektryczne zapewniają mu jednocześnie wystarczająco stabilny montaż mechaniczny. Poprawnie zmontowany układ powinien działać już po włączeniu zasilania. Na **fotografii 1** pokazano zmontowane urządzenie (od strony TOP) przed przylutowaniem wyświetlacza OLED.

Obsługa

Po włączeniu zasilania (zaciski +/- na obwodzie drukowanym) urządzenie pracuje w trybie pokazywania wartości mierzonego prądu (rozdzielczość 1 mA), przy czym ekran w tym trybie odświeżany jest 10 razy na sekundę. Każdorazowe wciśnięcie klawiszy PLUS/MINUS powoduje chwilowe (2 s) przełączenie urządzenia w tryb pokazywania wartości alarmu dla mierzonego prądu, co symbolizowane jest poprzez wyświetlenie symbolu dzwoneczka po lewej stronie wartości prądu. W trybie tym krótkie naciśnięcie wspomnianych klawiszy powoduje każdorazową regulację wartości prądu alarmowania o 1 mA, długie naciśnięcie o 10 mA, zaś naciśnięcie i przytrzymanie o 100 mA. Ustawiona wartość progu alarmowania zapamiętywana jest każdorazowo w nieulotnej pamięci EEPROM mikrokontrolera i wczytywana podczas włączania urządzenia. Przekroczenie ustawionej wartości alarmowania (a dokładnie jej wartości bezwzględnej) przez mierzony prąd powoduje generowanie pojedynczych dźwięków poprzez wbudowany buzzer piezoelektryczny. Wygląd graficznego interfejsu użytkownika urządzenia Ampera pokazano na **rysunku 4**.

Robert Wołgajew, EP

REKLAMA

**ELEKTRONIKA
PRAKTYCZNA**

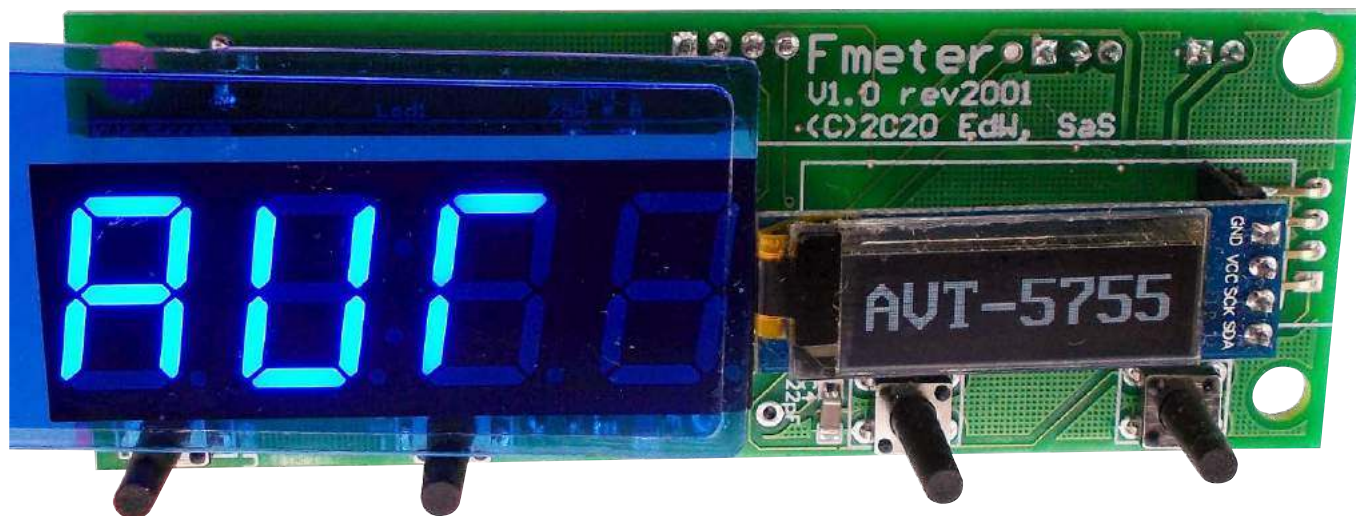
**MATERIAŁY
DODATKOWE**



MEDIA

Aby skorzystać z materiałów dodatkowych dołączonych do numeru, należy:

1. Wejść na stronę **www.media.avt.pl**,
2. Zarejestrować się lub zalogować,
3. Wybrać wydanie „Elektroniki Praktycznej”, które ma trafić do biblioteki osobistej,
4. Odpowiedzieć na proste pytanie dotyczące bieżącego numeru,
5. Pobrać pliki.



Fmeter – licznik częstotliwości i czasu

Szukając licznika częstotliwości, natrafiłem na proste układy pokrewne AVT2885, gdzie uproszczenia konstrukcyjne przekładały się na różne niedoskonałości np. niską rozdzielczość przy pomiarze małych częstotliwości. Ostatecznie zaprojektowałem własną konstrukcję bazującą na nowoczesnym mikrokontrolerze z rodziny STM32. Wybór, modelu STM32F401 był podyktowany jego ogromnymi możliwościami oraz niską ceną.

Budowa i działanie

Konstrukcja miernika nie jest skomplikowana, schemat pokazano na **rysunku 1**. Liniowy stabilizator U4 poradzi sobie z napięciem wejściowym o wartości do 12 V, jednak wtedy może się zbyt mocno nagrzewać i wyłączyć (ale nie uszkodzi się). W ograniczonym zakresie, przed skutkami odwrotnego podłączenia zasilania zabezpiecza dioda D5. Stabilizowane napięcie zasila mikrokontroler. Jest on wyposażony w blok pętli PLL, która umożliwia taktowanie układu z częstotliwością do 84 MHz, przy dołączonym kwarcu 8 MHz.

Wyniki pomiaru są prezentowane na czterech wyświetlaczach LED 7-segmentowych oraz OLED 128×32. Zastosowanie wyświetlacza OLED pozwala w czytelny sposób wyświetlić jednostkę pomiarową oraz dodatkowe informacje, co nie byłoby możliwe

z użyciem kilku diod LED. Cztery przyciski sterują pracą miernika. Prosty wzmacniacz wejściowy znany z AVT2885 pozwala na doprowadzenie sygnału pomiarowego o amplitudzie 0,2...1 V. Wejścia cyfrowe są zabezpieczone transilem SRV05-4.

Montaż i uruchomienie

Montaż jest standardowy i nie wymaga szczegółowego opisu. Przed rozpoczęciem montażu należy zastanowić się, czy wyświetlacze będą montowane w podstawce i złączu, czy nie. Gdy użyta będzie podstawka, należy zaopatrzyć się w dłuższe przyciski niż w przypadku lutowania wyświetlaczy w płytkę. Kondensatory C8 i C9 powinny być typu Low ESR. Z tego powodu połączono je równolegle. Mikrokontroler można zaprogramować przez złącze J3. Schemat płytki wraz z rozmieszczeniem elementów pokazują **rysunki 2 i 3**.

Poprawną pracę programu sygnalizuje miganie diody D6 „Run” z częstotliwością 1 Hz. Dioda D7 oznaczona „Err” miganiem informuje o poważnym błędzie w programie lub sprzęcie, na przykład sygnalizuje niepoprawną pracę oscylatora. W takich okolicznościach, po kilkunastu sekundach mikrokontroler zostanie zresetowany.

Na płycie przewidziano miejsce na pamięć EEPROM U3. Jest ona konieczna tylko wtedy, gdy chcemy, aby ustawienia były zapamiętane po wyłączeniu zasilania. Dlaczego EEPROM nie została emulowana w pamięci FLASH? Wynika to z faktu, że STM32F401 ma tylko pięć stron pamięci o rozmiarach 4×16 kB,

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

W ofercie AVT* AVT-5755

Podstawowe parametry:

- pomiar częstotliwości w zakresie 0,1 Hz...42 MHz,
- czas bramkowania zliczania: 1 s,
- dla częstotliwości mniejszych niż 50 kHz pomiar czasu z przeliczaniem na częstotliwość,
- amplituda mierzonego sygnału na wejściu A 0,8...3 V dla sygnałów do 15 MHz,
- drugie wejście pomiarowe w zakresie 1 Hz...24 MHz opcjonalnie jako licznik z funkcją przechwytywania i zerowania,
- wejście drugie w standardzie TTL-LV (3,3 V),
- relatywny pomiar częstotliwości,
- pomiar czasu w zakresie 47 ns...10 s,
- zasilanie 5 V, max. 150 mA.

Projekty pokrewne na www.media.avt.pl:

AVT-2885	Miernik częstotliwości – fmeter (Edw 11/2008)
AVT-2831	Mikroprocesorowy miernik częstotliwości 4 MHz...150 MHz (Edw 7/2007)
AVT-2764	Częstościomierz & generator na PC (Edw 9/2005)

Uwagi! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania!

Podstawowy zestaw jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

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

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

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

<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności

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

64 kB i 128 kB. EEPROM najlepiej emulować na ostatnich stronach pamięci, w konsekwencji 192 kB zostałyby stracone. Można pokusić się o emulację na stronach 1 i 2, ale wymaga to przesunięcia programu w obszar strony 3 oraz zużycie strony 0 tylko po to aby wstawić tam 4-bajtowy wektor resetu. W konsekwencji, aby zapisać kilkadziesiąt bajtów w emulowanym EEPROM, trzeba poświęcić 48 kB FLASH (tyle RAM miał ZX-Spectrum). Pod tym względem seria F4 nie jest zbyt atrakcyjna. Na docelowej płytce użytkownik może wybrać typ zastosowanej pamięci pomiędzy tanią, ale trudniejszą w montażu SOIC6, a droższą, ale łatwą do wlutowania TO92.

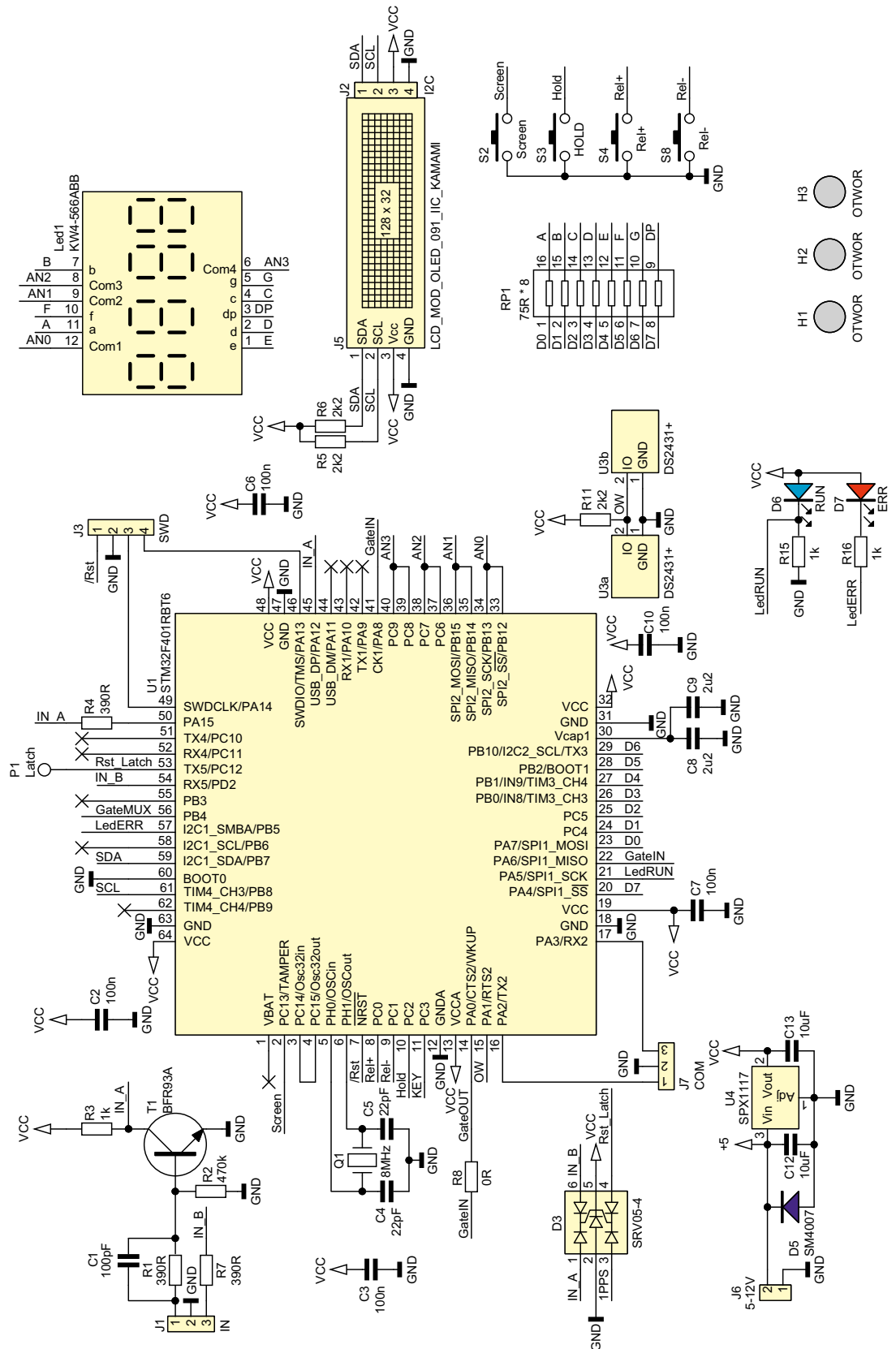
Interfejs USART dostępny jest na złączu J7. Za pomocą programu typu terminal (parametry transmisji 921600 8N1) można wyświetlić wysyłane informacje o zmierzonej częstotliwości i czasie (rysunek 4).

Wzmacniacz na wejściu A licznika ma prostą budowę i w związku z tym duże ograniczenia. Do częstotliwości 1 MHz parametry są stabilne, choć pomiar czasu impulsu będzie już obciążony błędem – pomiar sygnałów oscyloskopem pokazuje **rysunek 5**. Żółty przebieg (kanał 1) pokazuje sygnał wejściowy, niebieski (kanał 2) to sygnał na kolektorze T1. Na **rysunku 6** pokazano pomiary dla przebiegu 5 MHz, 800 mV. Możliwości mojego generatora skończyły się na 15 MHz (**rysunek 7**), ale to wystarczyło, aby stwierdzić, że tak prosty wzmacniacz nadaje się do częstotliwości 10...15 MHz. Wzmacniacz można pominąć, nie montując T1 i R3, a R1, R2, C1 zastępując zworami. Wtedy można zastosować wzmacniacz

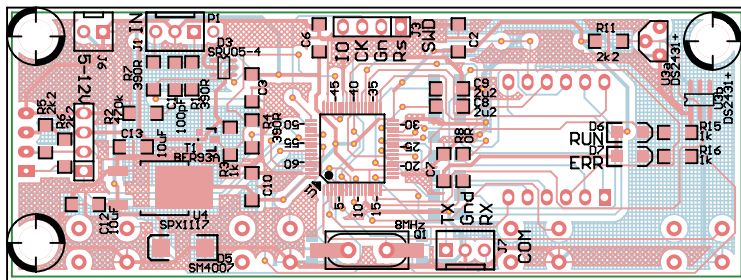
o lepszych parametrach, który udostępnia sygnał cyfrowy w logice 3,3 V. Mikrokontroler STM32F401 akceptuje sygnał o amplitudzie 5 V na wejściu, ale transil D3 ogranicza wartość. Gdy dostępny jest sygnał o amplitudzie 5 V, lepiej zastosować konwerter z rodziny 74LVC albo usunąć D3 (rezygnując jednocześnie z ochrony – jaką zapewnia).

Oprogramowanie sterujące

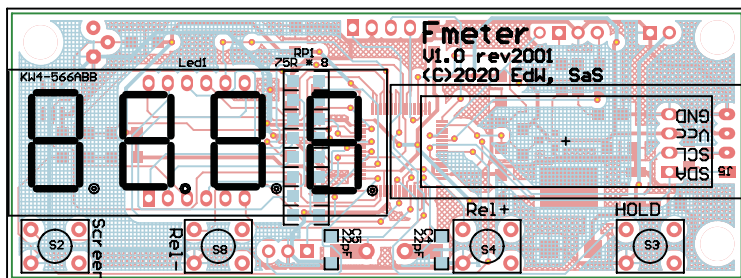
Program napisano z wykorzystaniem oprogramowania CubeIDE. Zajmuje 85 kB FLASH z dostępnych 256, używa 10 kB RAM z dostępnych 64 kB. Z dostępnych ośmiu timerów wykorzystano cztery, plus systemowy generujący przerwanie co 1 ms. Dlaczego potrzeba tak dużo



Rysunek 1. Schemat układu



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



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

timerów? Timer 1 mierzy częstotliwość wejścia A, timer 3 wejścia B. Oba są bramkowane timerem 5. Timer 2 mierzy czasy impulsów i okres sygnału. Wydawać się może, że zadaniu sprostałby większy AVR, np. Mega1281. Niestety nie ma on timerów 32-bitowych, ponadto maksymalna możliwa częstotliwość, jaką można nim zmierzyć, to 8 MHz.

Pętla główna programu nie jest blokowana na dłużej niż 1 ms. Obsługa OLED korzysta z mechanizmu DMA, podobnie jak wysyłanie danych przez UART. Pierwotnie funkcje zapisu EEPROM DS2431, przeniesione z AVR blokowały CPU na 10 ms przy zapisie każdej strony, co dawało łączny czas zapisu struktury konfiguracji wynoszący 80 ms. Nie wpływało to na pracę miernika, ponieważ pomiary realizowane są sprzętowo i na przerwanach, ale nieładnie wyglądało zatrzymanie odświeżania OLED przy odczycie czasu

bramkowania. Z tego powodu funkcje zostały zamienione na nieblokujące.

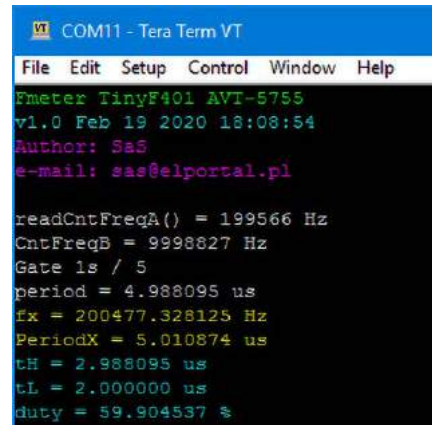
Obsługa multipleksowanego wyświetlacza LED zrealizowana jest na przerwanach 1 ms. Aby zwiększyć wydajność prądową wyjść sterujących anodami, połączono równolegle po dwa porty GPIO. Aby nie doprowadzać do chwilowych zwarcień przy



Rysunek 5. Pomiary oscyloskopowe toru wejściowego dla częstotliwości 1 MHz



Rysunek 6. Pomiary oscyloskopowe dla częstotliwości 5 MHz



Rysunek 4. Treść wysyłana poprzez USART pokazana w terminalu

ustawianiu wyjść, wykorzystano rejestr BSRR, który pozwala ustawiać i kasować bity GPIO w sposób atomowy.

Obsługa urządzenia

Przycisk S2 „Screen” pozwala przełączać treść ekranu. Numer ekranu jest widoczny w prawym górnym rogu wyświetlacza OLED i znika po dwóch sekundach po jego zmianie przyciskiem S2. Pierwszy ekran (fotografia 1), wyświetla zmierzoną częstotliwość. Gdy jest ona mniejsza od 50 kHz, mierzony jest czas, który przed wyświetleniem jest przeliczany na częstotliwość. W takiej sytuacji na wyświetlaczu pojawia się napis „(math)”. Dzięki temu można uzyskać wysoką rozdzielczość pomiaru, który wykonuje się szybko. Przy pomiarze 10 Hz pomiar trwa tylko 100 ms, a rozdzielczość wynosi 10 mHz. Gdy częstotliwość przekracza 50 kHz, na wyświetlaczu pokazuje się liczba impulsów zliczona w ciągu sekundy. W tym przypadku wyświetlany jest napis „(cnt)”. Ponadto pokazana jest informacja o czasie bramkowania oraz ukazany jest upływ czasu bramkowania

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD 1206)

R1, R4, R7: 390 Ω

R2: 470 kΩ

R3, R15, R16: 1 kΩ

R5, R6, R11: 2,2 kΩ

R8: 0 Ω

RP1: 8 * 75 Ω

Kondensatory: (ceramiczne SMD1206)

C1: 100 pF

C8, C9: 2,2 μF

C2, C3, C6, C7, C10: 100 nF

C4, C5: 22 pF

C12, C13: 10 μF

Półprzewodniki:

U1: STM32F401RBT6

U3a: DS2431+ T0-92

U3b: DS2431P+ TS0C-6

U4: SPX1117 SOT-223

T1: BFR93AE6327 SOT-23

D3: SRV05-4 SOT-23-6

D5: SM4007

D6: Dioda LED niebieska SMD1206

D7: Dioda LED czerwona SMD1206

Led1: KW4-566ABB

Pozostałe:

Q1: 8 MHz

J1, J7: NS25-G3

J6: NS25-W2P

J2, J5: Moduł modOLED091 IIC (KAMAMI)

S2, S3, S4, S8: Micro switch 5x7

J3: Listwa goldpin 1x4

(liczby od 0 do 10). Drugi ekran pokazuje zmierzony czas okresu sygnału (**fotografia 2**). Podobnie jak w przypadku częstotliwości, granicą jest 50 kHz. Przy częstotliwości niższej niż 50 kHz mierzony jest okres, ponad 50 kHz częstotliwość, z której wyliczany jest czas.

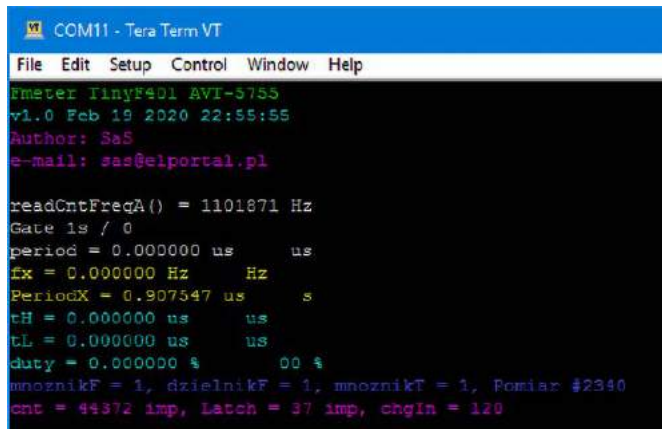
Kolejne ekrany pokazują zmierzony czas stanu wysokiego i niskiego (**fotografie 3 i 4**). Analogicznie wyglądają ekrany pokazujące współczynnik wypełnienia sygnału w procentach, licznik częstotliwości (nie ma tu granicy 50 kHz, zawsze wyświetlana jest liczba impulsów zliczonych w czasie bramkowania), wyliczoną częstotliwość na podstawie zmierzzonego okresu sygnału, zmierzony czas okresu, wyliczony czas okresu, zliczoną liczbę impulsów na wejściu B.

Przycisk S3 „Hold” zatrzymuje wyświetlanie, co jest sygnalizowane miganiem napisu „HOLD”. Pomiar jest cały czas dokonywany, co widać w oknie terminalu, tylko wartość na wyświetlaczu jest zamrożona. Przycisk S8 „Rel-” zapamiętuje częstotliwość, po czym odejmuje ją od mierzonej. Fakt pomiaru relatywnego jest sygnalizowany wyświetleniem napisu „REL-”. Pozwala to np. na pomiar częstotliwości pośredniej. Przycisk S4 „Rel+” działa podobnie z tym, że zapamiętana częstotliwość jest dodawana do wyniku pomiaru (**fotografia 5**). Trzeba wiedzieć, że funkcja ta działa tylko dla wejścia A i tylko wtedy, gdy wyświetlany jest bezpośredni pomiar z licznika. Gdy częstotliwość jest zbyt niska napis „REL” znika. Pomiar relatywny można włączyć tylko na ekranie zero (pomiar częstotliwości wejścia A), pięć (zliczone impulsy na wejściu A w ciągu sekundy) i dziewięć (wejście B). Ostatni przypadek nie zadziała, gdy wejście B będzie użyte do zliczania impulsów, a nie pomiaru częstotliwości.

Funkcję licznika na wejściu B uruchamia się po równoczesnym naciśnięciu przycisków „REL+” i „REL-” na ekranie pokazującym częstotliwość zmierzoną na wejściu B. Powrót do pomiaru częstotliwości nastąpi



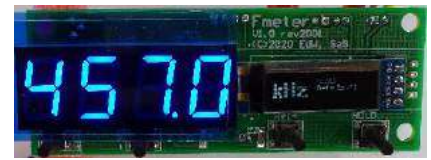
Rysunek 7. Pomiary oscyloskopowe dla częstotliwości 15 MHz



Rysunek 8. Przechwycona wartość licznika jest wyświetlana w terminalu

po ponownym naciśnięciu „REL+” i „REL-” na ekranie pokazującym wartość licznika. W czasie gdy miernik pracuje w roli licznika, naciśnięcie „REL+” lub „REL-” zeruje stan licznika, przedtem jednak jego stan jest zapamiętany. Tę samą funkcjonalność uzyska się w czasie opadającego zbocza sygnału na wejściu PC12. Przechwyconą wartość można sprawdzić w programie terminalu za napisem „Latch =” (**rysunek 8**). Warto zauważyć, że praca w trybie licznika powoduje, iż w terminalu nie pojawia się częstotliwość zmierzona na wejściu B. Przekroczenie wartości 9999 licznika powoduje wyświetlenie napisu „OVER”, ale stan licznika można sprawdzić w terminalu.

Ustawienia miernika zapamiętywane są w EEPROM po dziesięciu sekundach od naciśnięciu dowolnego przycisku. Informacja o zapisie pojawia się w oknie terminala. Podczas startu programu w terminalu wyświetlane są informacje o odczycie pamięci EEPROM. Ponadto pojawiają się informacje o liczbie resetów mikrokontrolera i zadziałania watchdoga. W tym czasie na wyświetlaczu pojawi się LOGO albo informacja dotyczące EEPROM lub odzyskaniu jej zawartości z backupu. Jeśli w mierniku nie ma zamontowanej pamięci wszystkie kropki na wyświetlaczu LED są zaświecone a program przyjmie standardową konfigurację.



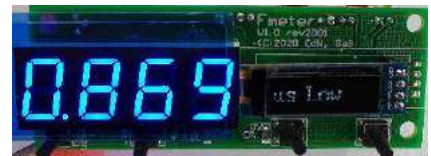
Fotografia 1. Ekran pomiaru częstotliwości



Fotografia 2. Ekran pomiaru czasu okresu sygnału



Fotografia 3. Ekran pomiaru czasu stanu wysokiego



Fotografia 4. Ekran pomiaru czasu stanu niskiego



Fotografia 5. Ekran pomiaru relatywnego

Podsumowanie

W sprawie nowszych wersji softu, błędów znalezionych w programie, propozycji modyfikacji oprogramowania proszę pisać do autora. W materiałach do projektu dostępne są materiały z kolejnych etapów prac nad urządzeniem – napisanie oprogramowania zajęło prawie 150 godzin.

SaS
sas@elportal.pl

REKLAMA



Kameleon
STM32L4 Board

Kompletna platforma do nauki programowania



www.kameleonboard.org STM32

Moduł VS1003B jako automat informacyjny

Głównym elementem modułu VS1003B jest scalony dekodery i koder plików dźwiękowych. Moduł można użyć jako części składowej odtwarzacza „empetrójek”. Może też służyć do nagrywania dźwięku mowy z jakością dyktafonu. Jednak jego możliwości pozwalają na coś ciekawszego – zbudowanie urządzenia generującego na żądanie odpowiednie komunikaty słowne, ostrzeżenia lub informacje.

Na rynku dostępne są podobne moduły różniące się szczegółami budowy. Bazują na tym samym układzie scalonym VS1003B, więc ich możliwości są podobne. Zastosowany w projekcie moduł firmy WaveShare ma następujące parametry:

- wyjście dźwięku stereofonicznego wyprowadzone na gniazdo typu mini jack. Wyjście można obciążyć głośnikiem lub słuchawkami o oporności 30 Ω ,
- linię wejściową dla dźwięku monofonicznego o amplitudzie w zakresie od 0 do 2200 mVpp,
- zamontowany mikrofon piezoelektryczny jako alternatywne źródło dźwięku monofonicznego,
- złącze szpilkowe 12-pinowe do podłączenia cyfrowych sygnałów sterujących pracą modułu,
- możliwość odtwarzania plików dźwiękowych w formatach MP3, WAV, WMA, MIDI,
- kodowanie dźwięku z linii wejściowej albo mikrofonu w trybie ADPCM z możliwością zapisu do pliku WAV,
- zasilanie pojedynczym napięciem 3,3 V,
- maksymalny pobór prądu około 50 mA (zależny od ustawionej głośności).

Komunikacja z modułem

Wymiana danych z modułem jest możliwa poprzez magistralę SPI. Moduł pracuje jako urządzenie podrzędne. Do wyprowadzeń SPI podłączone są dwie wewnętrzne magistrale układu VS1003B: SCI (Serial Control Interface) i SDI (Serial Data Interface). Pierwsza jest używana do zapisu i odczytu z wewnętrznych rejestrów sterujących pracą układu, druga służy do przesyłania danych dekodowanego pliku muzycznego przekształcanych na dźwięki. O tym, do której magistrali będą podłączone wyprowadzenia SPI, decydują stany niskie dwóch sygnałów: xCS aktywuje magistralę SCI, a xDCS aktywuje magistralę SDI.

Na **listingu 1** pokazana została procedura odczytu zawartości 16-bitowego rejestru poprzez magistralę SCI. Stan wysoki sygnału DREQ informuje o gotowości układu VS1003B. Po ustaleniu stanu niskiego na wyprowadzeniu xCS,

można przesłać magistralą SPI z kontrolera sterującego komendę odczytu (wartość 0x03) i bajt adresu odczytywanego rejestru. Następnie czytane są dwa bajty ze starszymi i młodszymi bitami rejestru. Na koniec magistrala SCI jest zamykana ustawieniem wysokiego stanu na wyprowadzeniu xCS.

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

Z kolei na **listingu 3** pokazana została procedura przesłania przez wewnętrzną magistralę SDI fragmentu odtwarzanego pliku MP3 o rozmiarze do 32 bajtów. Tak jak poprzednio należy poczekać na stan wysoki sygnału DREQ i dopiero wtedy można wysłać stan niski



na wyprowadzeniu xDCS otwierając dostęp do wewnętrznej magistrali SDI. Rozpoczyna się przesłanie bajtów danych, które są umieszczane w wewnętrznym buforze VS1003B. Po przesłaniu danych należy podać stan wysoki na xDCS, zamykając magistralę SDI.

Połączenia pomiędzy modułem i kontrolerem sterującym

Moduł VS1003B pracuje pod nadzorem zewnętrznego kontrolera wysyłającego sekwencje rozkazów sterujących lub kolejne paczki danych odtwarzanego pliku muzycznego. Linie magistrali SPI, sygnałów sterujących i zasilania wyprowadzone są na 12-stykowe gniazdo grzebieniowe modułu. Na **rysunku 1**

Listing 1. Procedura odczytu zawartości 16-bitowego rejestru poprzez magistralę SCI

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

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

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

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

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

Listing 3. Procedura przesłania poprzez wewnętrzną magistralę SDI

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

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

zaznaczono wszystkie niezbędne połączenia pomiędzy modulem a kontrolerem sterującym na płytce NUCLEO-F091. W tym projekcie można zastosować dowolny inny kontroler o pamięci FLASH nie mniejszej niż 256 kB. Do sterowania pracą automatu posłużą łańcuchy tekstowe przesyłane portem USB do płytki NUCLEO. Port służący do łączności ze zintegrowanym na płytce programatorem można także wykorzystać jako interfejs połączony z UART2 kontrolera STM32F091 zamontowanego na płytce NUCLEO. Widoczny na rysunku 1 potencjometr posłuży do demonstracji odczytu przez automat poziomu napięcia podawanego na wejście przetwornika ADC kontrolera. W tabeli 1 zostały zebrane połączenia pomiędzy wszystkimi elementami projektu.

Działanie automatu informacyjnego

Automat ma za zadanie przetworzyć odebrany portem USB tekst z zapisem liczb dziesiętnych na odpowiednie komunikaty słowne. Automat jest w stanie prawidłowo czytać liczby w zakresie od 0 do 999999. Zapis liczb powinien być przesłany jako ciąg ASCII składający się ze znaków cyfr „0...9” zakończony znakiem nowej linii LF. Odbiór znaku LF rozpoczyna przetwarzanie. Ciąg cyfr tworzących liczbę kończy pierwszy znak niebędący cyfrą lub liczbą cyfr przekraczającą 6 kolejnych znaków.

Drugim sposobem generowania komunikatu słownego jest naciśnięcie niebieskiego przycisku użytkownika na płytce NUCLEO. Program odczytuje poziom napięcia z suwaka potencjometru, konwertuje go na wartość w miliwoltach i wypowiada komunikat, dodając na końcu miano.

Jak to jest zrobione?

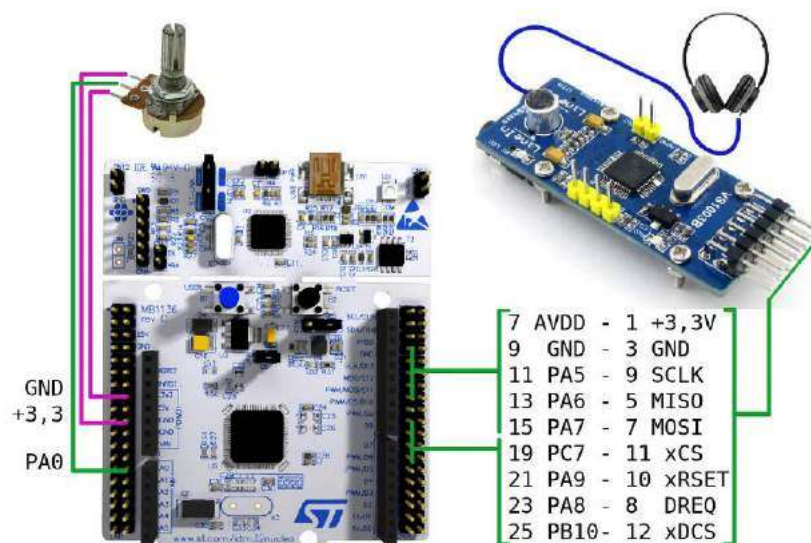
Generowane przez automat komunikaty miały jak najbardziej przypominać mowę naturalną wraz z właściwą odmianą liczebników w języku polskim. Jednocześnie cały program i próbki dźwięków musiały się zmieścić w dostępnej pamięci FLASH kontrolera. Odtwarzanie wartości liczby poprzez wokalizowanie kolejnych pozycji cyfr okazało się mało zrozumiałe w odbiorze i sztuczne. Z kolei tworzenie komunikatu z poszczególnych fonemów odpowiadających kolejnym głoskom czytanej liczby jest zbyt skomplikowane. Ostatecznie okazało

się, że najlepsze jest rozwiązanie pośrednie. Nagrano próbki dźwięku liczb, z których można utworzyć większe całości dla liczb z podanego zakresu działania automatu. Są to próbki dla liczb: od 0 do 19, liczebników dziesiętnych w zakresie 10...90, 100...900 oraz słów „tysiąc” i „miliowoty” we wszystkich potrzebnych odmianach. Logika programu musi sobie poradzić z doбором odpowiedniej próbki dźwięku do odtworzenia w zależności od pozycji cyfry w przesłanej liczbie, a także pomijać nieznaczące zera na początku czy w środku odtwarzanej liczby.

Próbki dźwięków liczb można przygotować na dwa sposoby. Albo nagrać samodzielnie z lektorem, tworząc oddzielne małe pliki MP3 dla każdej liczby i liczebników oddzielnie. Albo zrobić to samo, korzystając z darmowych programów typu TTS (Text-To-Speech) w polskiej wersji językowej. Potem każdą próbkę binarną pliku MP3 należy przekonwertować na plik tekstowy z zapisem heksadecymalnym, który można dołączyć do pliku źródłowego oprogramowania kontrolera.

Prezentowany projekt automatu można oczywiście rozwinąć, dostosowując do swoich potrzeb. Odtwarzane pliki komunikatów można przechowywać w dołączanej pamięci zewnętrznej. Można odtwarzać nagrane różne komunikaty, na przykład informacyjne, dodając inne sygnały dźwiękowe. Wykorzystując dodatkowe porty kontrolera, można wyzwać odtwarzanie komunikatu przez podłączone dodatkowe czujniki itp.

Ryszard Szymaniak
biuro@ars.info.pl



Rysunek 1. Niezbędne połączenia pomiędzy modulem a kontrolerem sterującym na płytce NUCLEO-F091

Tabela 1. Połączenia pomiędzy wszystkimi elementami projektu

NUCLEO		VS1003B	
Złącze	Sygnał	Złącze	Sygnał
CN10-7	AVDD (+3,3 V)	1	+3,3 V
CN10-9	GND	3	GND
CN10-11	PA5	9	SCLK
CN10-13	PA6	5	MISO
CN10-15	PA7	7	MOSI
CN10-19	PC7	11	xCS
CN10-21	PA9	10	xRSET
CN10-23	PA8	8	DREQ
CN10-25	PB10	12	xDCS
NUCLEO		POTENCJOMETR	
Złącze	Sygnał	Sygnał	
CN7-16	+3,3 V	1 skrajny styk	
CN7-20	GND	3 skrajny styk	
CN7-28	PA0 (INO ADC)	2 suwak	

eprasa.pl 18a80d2c06

Układ wskazuje poziomy -38/-30/-20/-10/-7/-4/-2/0/2/4/7/10 dB, które dla ułatwienia odczytu mają wyróżnione kolory, zakres 10/7 dB – LD11, LD12 na czerwono, zakres

0/2/4 dB – LD8, LD9, LD10 na żółto. Rezystory R1...R6 ograniczają prąd LED.

Układ zasilany jest napięciem 5 V ze złącza J1, pobór prądu nie przekracza 100 mA.

Ze względu na niską impedancję wejściową, wynoszącą około 300 Ω , wymagane jest sterowanie poprzez bufor lub bezpośrednio z wyjścia końcówki mocy poprzez dzielnik napięciowy.

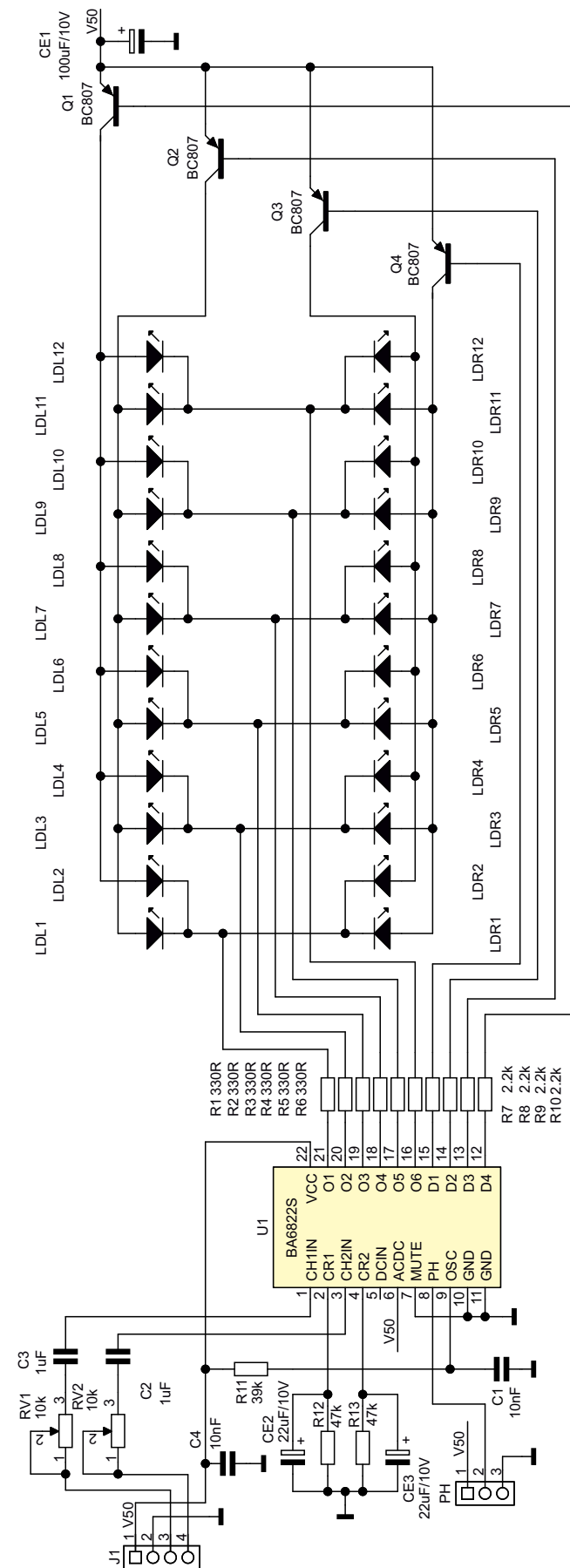
Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat i rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunkach 3 i 4**. Montaż jest typowy i nie wymaga opisu, zmontowany wskaźnik przedstawiono na fotografii tytułowej oraz **fotografii 1**

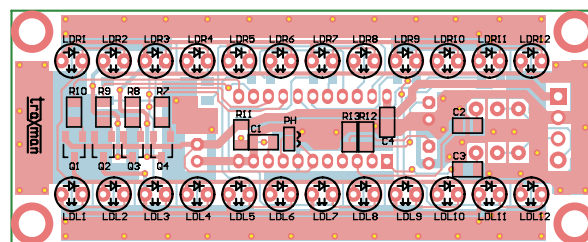
Wskaźnik nie wymaga uruchamiania, należy tylko skalibrować poziom 0 dB, czy to w odniesieniu do napięcia, czy do mocy wyjściowej wzmacniacza, stosując ewentualnie dodatkowy dzielnik zewnętrzny. Dla ułatwienia kalibracji warto przelutować zworę w położeniu wyłączające pamięć poziomu maksymalnego.

Adam Tatuś, EP

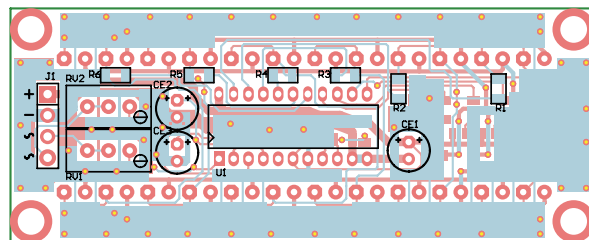
adam.tatus@ep.com.pl



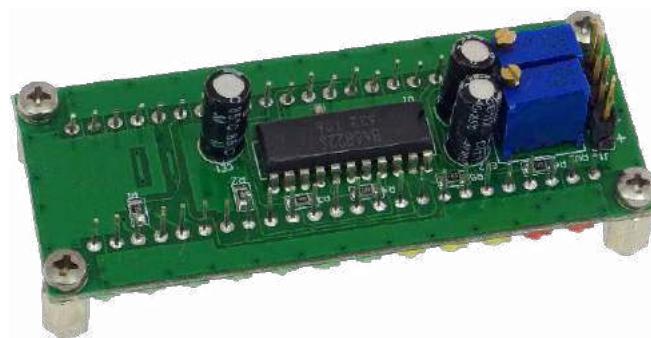
Rysunek 2. Schemat wskaźnika wysterowania



Rysunek 3. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów, strona TOP



Rysunek 4. Schemat płytki PCB wraz z rozmieszczeniem elementów, strona BOTTOM



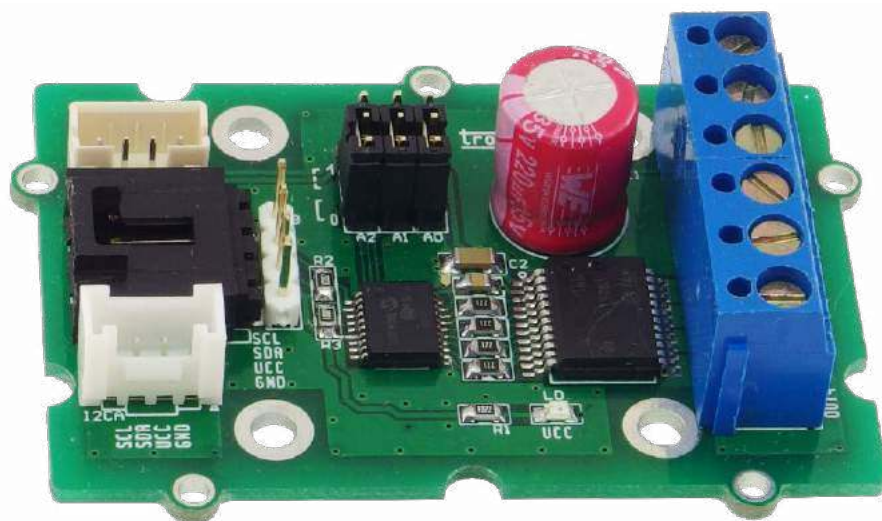
Fotografia 1. Widok zmontowanej płytki

Moduł wyjść dużej mocy z kontrolą poprzez I²C

Minimoduł czterech wyjść ze stopniem mocy i monitorowaniem stanu obciążenia znajdzie zastosowanie w bardziej wymagających aplikacjach, gdzie oprócz możliwości sterowania wyjściem, konieczne jest też zabezpieczenie obciążenia oraz monitorowanie jego stanu np. cewki elektromagnesu, zaworu lub ciągłości grzałki. Będzie dobrym rozszerzeniem możliwości płytek typu Arduino, Raspberry Pi, itp.

Budowa i działanie

Moduł zbudowany jest w oparciu na dobrze znanym ekspanderze ośmiu wejść/wyjść cyfrowych MCP23008S oraz układzie czterokanałowego drivera High-Side typu VNQ5160K-E. Schemat wewnętrzny układu VNQ5160K-E pokazano na **rysunku 1**. Schemat ideowy modułu został pokazany na **rysunku 2**. Sygnały magistrali I²C wraz z zasilaniem części cyfrowej doprowadzone są do złącza I2Cx



umożliwiających podłączenie zgodne ze standardami spotykanymi w najpopularniejszych zestawach uruchomieniowych.

Układ ekspandera U1 ma możliwość ustawienia adresu bazowego I²C za pomocą zwór A0, A1, A2, co pozwala na podłączenie do jednej magistrali maksymalnie ośmiu modułów. Wyprowadzenia wyjściowe (GP1, GP3, GP5, GP7) podłączone są bezpośrednio do wejść IN1...IN4 układu VNQ5160K-E. Wyprowadzenia, które pracują jako wejścia (GP0, GP2, GP4, GP6) mają dodatkowe rezystory ograniczające prąd, zabezpieczające je w przypadku błędnej konfiguracji MCP23008.

Sygnały wyjściowe z driverów U2 doprowadzone są do złącza OUT. Bufory typu High-Side dostosowane są do pracy z obciążeniem podłączonym do masy układu, w stanie aktywnym podając napięcie zasilania na zaciski wyjściowe. Część wysokoprądowa modułu wymaga osobnego zasilania, doprowadzonego poprzez złącze OUT. Układ U2 pracuje poprawnie w zakresie napięć 4,5...36 V, umożliwiając sterowanie obciążen do 5 A (5,4 A to limit ogranicznika

prądowego) na kanał. Przy obciążeniu wszystkich wyjść należy zmniejszyć prąd ze względu na temperaturę U2 lub zastosować odpowiednie chłodzenie. VNQ5160K-E steruje obciążeniami rezystancyjnymi i indukcyjnymi mając wbudowane zabezpieczenia przed przekroczeniem temperatury, zwarcie, zbyt wysokim napięciem zasilania oraz dodatkowo układ łagodzący udar prądowy w momencie załączenia.

Każde z wyjść zawiera wyjście statusu określające stan obciążenia m.in. rozwarcieysterowanego wyjścia lub zwarcie do plusa w stanie wyłączonym. Umożliwia to określenie podstawowych usterek, takich jak np. przerwa w cewce zaworu lub elektromagnesu, przepalenie się włókna żarówki, usterka okablowania, odłączenie elementu wykonawczego od układu itp. Wyjścia statusu U2 są typu otwarty dren i wymagają załączenia rezystora podwieszającego na wyprowadzeniach U1.

Moduł może być zasilany napięciami z zakresu 2,7...5 V dla logiki i 5...30 V dla części mocy. Dioda LD sygnalizuje obecność zasilania. Kondensator odsprężający

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

W ofercie AVT* AVT-----

Podstawowe parametry:

- zakres napięcia na wyjściach: 5...30 V,
- maksymalne obciążenie każdego z wyjść: 5,4 A
- wbudowane zabezpieczenia przed przekroczeniem temperatury, zwarcie, zbyt wysokim napięciem zasilania,
- układ łagodzący udar prądowy w momencie załączenia,
- zasilanie części sterującej: 2,7...5 V,
- sterowanie i kontrola poprzez interfejs I²C.

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD0805)

R1: 2,2 kΩ

R2, R3: 10 kΩ

R7...R10: 220 Ω

Kondensatory:

C1: 0,1 μF/10 V SMD0805

C2: 0,1 μF/50 V SMD1206

CE1: 220 μF/50 V elektrolityczny

Półprzewodniki:

LD: led zielona SMD0805

U1: MCP23008SS SSOP20

U2: VNQ5160K-E POWERS024

Pozostałe:

A0, A1, A2: złącze SIP3, 2,54 mm + zwora

I2CB: złącze SIP4, 2,54 mm

I2CC: złącze JST4, 1 mm

OUT: złącze śrubowe 5 mm 6 pin

* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

Wymagana umiejętność lutownia!

Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] - jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wzlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

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

■ wersja [C] - zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wzlutowane w płytkę PCB)

■ wersja [A] - płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji

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

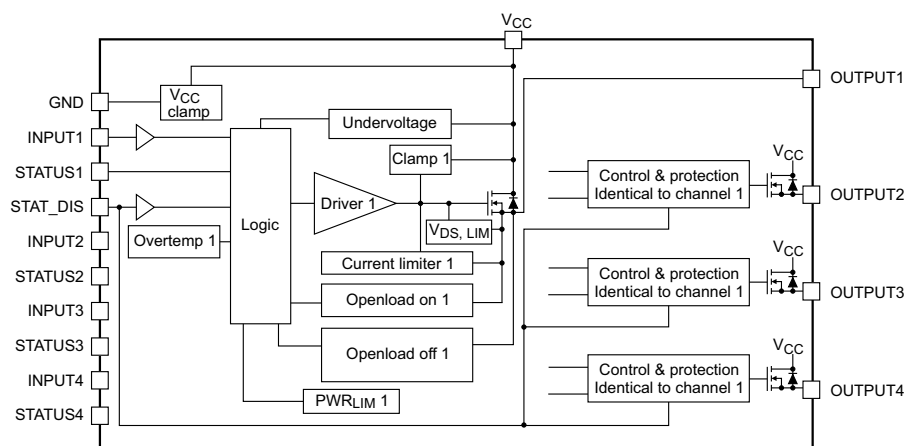
■ wersja [A*] - płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja

■ wersja [UK] - zaprogramowany układ

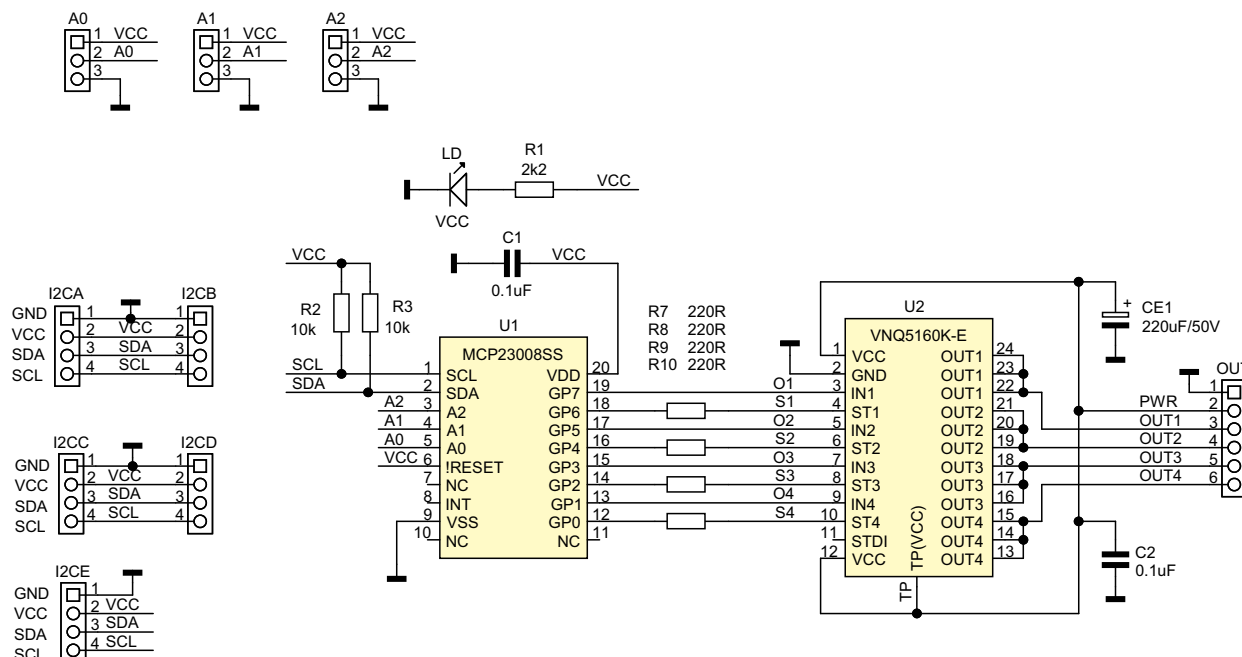
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!

<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności

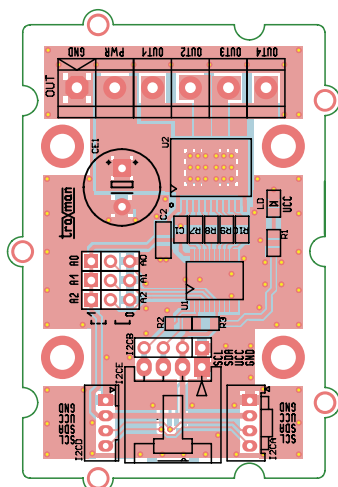
na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny VNQ5160K-E (za notą ST)



Rysunek 2. Schemat modułu



Rysunek 3. Schemat płytki drukowanej

CE1 zapewnia minimalną wymaganą filtrację, przy obciążeniach pobierających duże prądy impulsowo należy zadbać o dodatkową filtrację.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany został na dwustronnej płytce drukowanej. Rozmieszczenie

elementów pokazano na **rysunku 3**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga opisu, należy zwrócić tylko uwagę na prawidłowe przyłutowanie pada termicznego U2.

Dla sprawdzenia modułu podłączonego do Raspberry Pi można użyć narzędzia z pakietu i2ctools. Przed podłączeniem modułu, należy ustawić zworkami adres I²C, domyślnie 0x20, czyli wszystkie zwory w położeniu 0. Poleceniem `i2cdetect -y 1` sprawdzamy obecność modułu na magistrali:

```
$ i2cdetect -y 1
00:  0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  a  b  c  d  e  f
10:  --  --  -- 04  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
20: 20  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
30:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
40:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
50:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
60:  -- 61 62 63  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
70:  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --  --
```

Kilkoma poleceniami konfigurujemy MCP23008, w pierwszej kolejności konfigurujemy kierunek wejście/wyjście dla każdego pinu (rejestr IODIR, 0x00):

```
$ i2cset -y 1 0x20 0x00 0x55
```

Następnie załączamy rezystory podciągające (rejestr GPPU 0x06):

```
$ i2cset -y 1 0x20 0x06 0x55
```

Do wyjścia OUT podłączamy zasilanie części mocy i obciążenie (np. akumulator 12 V i żarówkę 5 W podłączoną pomiędzy OUT1 a masę), ustawiamy stan rejestru wyjściowego dla pinu GP1 (rejestr OLAT 0x0A), wyłączając napięcie na obciążeniu poleceniem:

```
$ i2cset -y 1 0x20 0x0A 0x00
```

Załączenie zasilania odbywa się poleceniem:

```
$ i2cset -y 1 0x20 0x0A 0x02
```

Stan obciążenia można sprawdzić, odczytując stan wejścia GP0 (rejestr GPIO 0x09):

```
$ i2cget -y 1 0x20 0x09
0x57
```

Po przerwaniu obwodu żarówki odczytujemy ponownie GP0:

```
$ i2cget -y 1 0x20 0x09
0x56
```

Polecenie zwróci zmieniony stan GP0, czyli zasygnalizuje przerwę w obciążeniu. Po krótkim sprawdzeniu pozostałych wyjść, można zabrać się do oprogramowania modułu we własnej aplikacji.

Adam Tatus, EP

adam.tatus@ep.com.pl

REKLAMA

HUB INFORMACYJNY WEBINARIA DLA PRZEMYSŁU W OKRESIE COVID-19

Aktualne informacje o webinarach branżowych.
Zobacz: www.automatykab2b.pl/hub-informacyjny

Zasilacz diod power LED 3,5 W

Jest to układ niskonapięciowego zasilacza diod power LED o napięciu ok. 12 V i mocy 3,5 W. Znajdzie zastosowanie w amatorskiej robotyce, podświetlaniu wyświetlaczy lub systemach wizyjnych.

Zasilacz został zbudowany na specjalizowanym układzie LM3410X firmy Texas Instruments. Integruje on w swej strukturze przetwornicę podwyższającą, pracującą przy stałej częstotliwości i zmiennym wypełnieniu z układem stabilizacji prądu wyjściowego i kluczem mocy. Dzięki zastosowaniu LM3410X aplikacja zasilacza LED wymaga tylko kilku elementów zewnętrznych.

Budowa i działanie

Schemat zasilacza pokazano na **rysunku 1**. Napięcie zasilania ze złącza PWR doprowadzone jest do układu U1. C1 filtruje zasilanie, L1 jest cewką przetwornicy podwyższającej, D1 diodą blokującą, napięcie wyjściowe jest filtrowane przez C2.

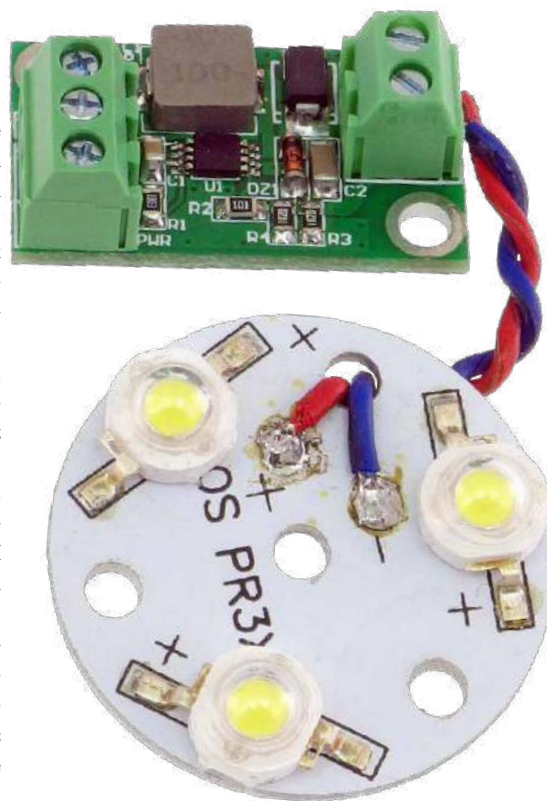
Prąd podłączonej do złącza LED diody wytwarza spadek napięcia na rezystorach R2, R3, który jest mierzony przez obwód sprzężenia zwrotnego i stabilizowany przez U1. Napięcie na wyprowadzeniu V_{FB} wynosi 190 mV i określa prąd LED według następującej zależności:

$$I_{LED} = V_{FB} / (R_3 || R_4)$$

Elementy o wartościach jak na schemacie ustalają prąd na ok. 320 mA. Spadek napięcia na diodzie LED przy prądzie znamionowym powinien zawierać się w granicach 9...12 V.

Podstawowa aplikacja U1 uzupełniona jest o zabezpieczenie nadnapięciowe DZ1, R2 zapobiegające uszkodzeniu układu przy rozwarciu LED (lub łańcucha szeregowego LED). Wejście DIM umożliwia wyłączenie układu stanem niskim, wprowadzając go w tryb obniżonego poboru mocy ($I_q < 100$ nA) oraz ściemnianie LED w zakresie 0...100% zewnętrznym sygnałem PWM. Częstotliwość PWM powinna zawierać się w zakresie 0,2...1 kHz. Napięcie na wyprowadzeniu DIM nie powinno przekraczać napięcia zasilania o więcej niż 0,3 V.

Układ LM3410X ma zabezpieczenie termiczne wyłączające przetwornicę, gdy temperatura złącza przekroczy 185°, układ nie jest odporny na zwarcia wyjścia. Sprawność zasilacza przekracza 80% w całym zakresie napięcia wejściowego.



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

W ofercie AVT* AVT-5768

Podstawowe parametry:

- moc wyjściowa: 3,5 W,
- napięcie diody przy prądzie znamionowym: 9...12 V,
- wejście PWM umożliwiające regulację świecenia w zakresie 0...100%,
- zabezpieczenie termiczne i przed rozwarciem wyjścia,
- nie jest odporny na zwarcia wyjścia,
- zasilanie: 2,7...5,5 V.

Wykaz elementów:

Rezystory: (SMD0805 1%)

- R1: 100 kΩ
- R2: 100 Ω
- R3, R4: 1,2 Ω

Kondensatory:

- C1: 10 μF/6,3 V SMD0805
- C2: 2,2 μF/25 V SMD1206

Półprzewodniki:

- D1: MBRS130 dioda Schottky'ego SMB_D
- DZ1: C15 dioda Zenera SMD1206
- U1: LM3410X MS0P8

Pozostałe:

- L1: 10 μH dławik HPI HPI0630-100
- LED: złącze 2 pin DG381-3.5-2
- PWR: złącze 3 pin DG381-3.5-3

Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu.

Wymagana umiejętność lutownia!

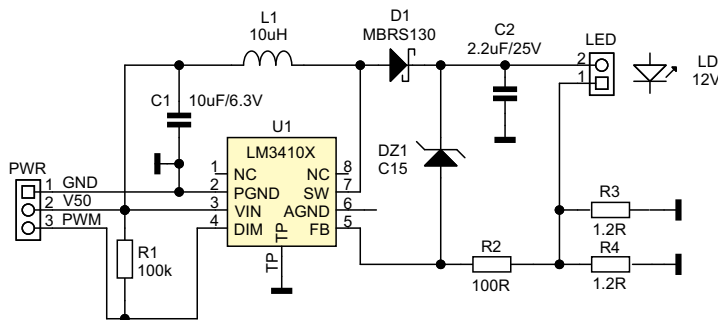
Podstawowa wersja zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] - jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wzlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

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

- wersja [C] - zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wzlutowane w płytkę PCB)
 - wersja [A] - płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
 - wersja [Aa] - płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
 - wersja [UK] - zaprogramowany układ
- Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz!

<http://sklep.avt.pl>. W przypadku braku dostępności

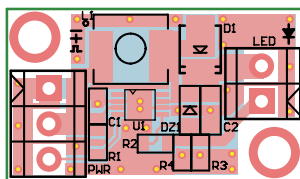
na <http://sklep.avt.pl>, osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt via e-mail: kity@avt.pl.



Rysunek 1. Schemat zasilacza diod power LED

Montaż i uruchomienie

Układ jest zmontowany na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej. Rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunku 2**. Montaż nie wymaga szczegółowego opisu, należy tylko pamiętać, aby poprawnie przylutować pad termiczny U1. Po zlutowaniu należy płytkę umyć, usuwając resztki topnika. Układ nie wymaga uruchamiania.



Rysunek 2. Schemat płytki PCB z rozmieszczeniem elementów

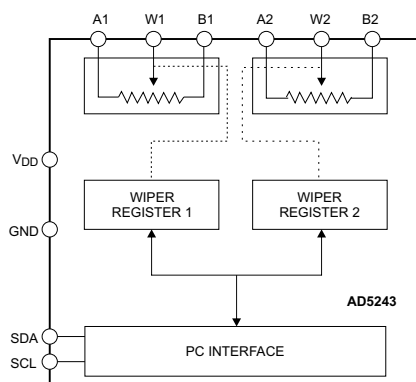
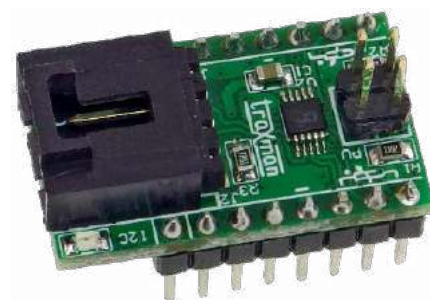
Po podłączeniu do wyjścia diody LED, warto jednak sprawdzić, czy utrzymywany jest prąd znamionowy – mierząc spadek napięcia na R3 za pomocą oscyloskopu lub miernika TRMS. W przypadku zasilania z akumulatorów należy zadbać o ich zabezpieczenie przeciążeniowe i podnapięciowe, stosując odpowiednio dobrany układ BMS.

Korzystając z noty katalogowej LM3410, można dobrać elementy układu, dostosowując je do zasilania posiadanej LED lub łańcucha LED, ograniczeniem pozostaje tylko maksymalny prąd klucza ok. 2 A i napięcie wyjściowe nie wyższe niż ok. 23 V. Dla ułatwienia doboru elementów można skorzystać z symulatora Webench na stronie ti.com.

Adam Tatuś, EP
adam.tatus@ep.com.pl

Podwójny potencjometr z interfejsem I²C

Potencjometry mechaniczne, pomimo prostoty konstrukcji, w wielu zastosowaniach zastąpione zostały wersjami elektronicznymi. Przedstawiony moduł z układem AD5243 spełnia funkcję podwójnego potencjometru liniowego z niezależnym sterowaniem poprzez magistralę I²C. Dzięki niewielkiemu poborowi mocy i wykonaniu w kilku typowych wartościach rezystancji z powodzeniem może zastąpić potencjometr mechaniczny w układach regulacji poziomu sygnału, polaryzacji itp.



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny układu AD5243 (za notą Analog Devices)

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

W ofercie AVT* AVT-5769

Podstawowe parametry:

- podwójny elektroniczny potencjometr liniowy,
- dostępny w typowych wartościach rezystancji: 2,5 kΩ, 10 kΩ, 50 kΩ, 100 kΩ,
- regulacja odbywa się w 256 krokach,
- potencjometr bez wbudowanej pamięci (po włączeniu zasilania suwak ustawiany jest w połowie rezystancji),
- sterowany poprzez magistralę I²C (adres I2C = 0x2F),
- wymaga zasilania z zakresu 2,7...5,5 V.

Wykaz elementów:

Rezystory:

R1, R2: 10 kΩ SMD0805
R3: 2,2 kΩ SMD0805

Kondensatory:

C1: 0,1 μF ceramiczny SMD0805

Półprzewodniki:

LD: LED SMD0805
U2: AD5243BRMZ10 MSOP10_050

Pozostałe:

I2C: złącze EH kątowe EH4_254H
J1, J2: listwa sip męska 1x8 pin 2,54 mm
PU: złącze IDC4 + zwory

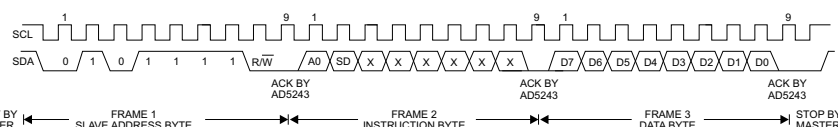
Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania!

Podstawowa wersja zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wlutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

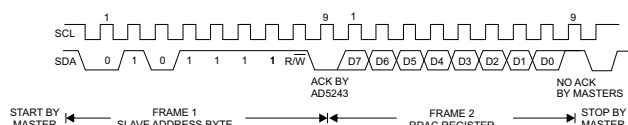
Mając na uwadze różne potrzeby naszych klientów, oferujemy dodatkowe wersje:

- wersja [C] – zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wlutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] – płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji
- wersja [UK] – występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mający następujące dodatkowe wersje:
 - wersja [A*] – płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
 - wersja [UK] – zaprogramowany układ

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



Rysunek 2. Sekwencja zapisu AD5243 (za notą Analog Devices)

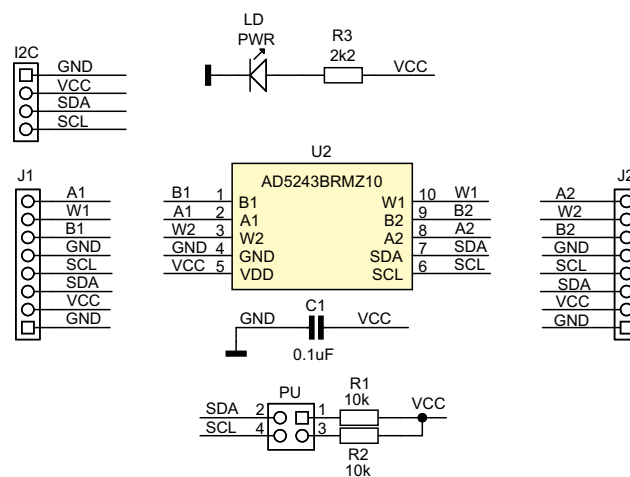


Rysunek 3. Sekwencja odczytu AD5243 (za notą Analog Devices)

Budowa i działanie

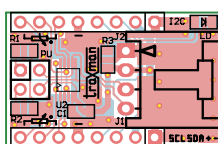
Schemat wewnętrzny zastosowanego w module układu AD5243 pokazano na **rysunku 1**. Układ ma adres na magistrali I2C = 0x2F, bez możliwości zmiany. Sekwencję zapisu wartości ustawień pokazano na **rysunku 2**. Pole A0 decyduje o wyborze potencjometru, pole SD – Shutdown, łączący wyprowadzenie B z W i odłączający wyprowadzenie A od układu. Sekwencję odczytu pokazano na **rysunku 3**. Podczas odczytu nie ma możliwości wyboru rejestru potencjometru, odczytana wartość dotyczy potencjometru, który był poprzednio zapisany (A0).

Schemat modułu potencjometru pokazano na **rysunku 4**. Moduł jest zgodny ze standardem Arduino I²C, sygnały magistrali i zasilanie doprowadzone są do czteropinowego złącza typu EH – I²C, układ wymaga zasilania 2,7...5,5 V. Rezystory R1, R2 podwieszają magistralę I²C, zwora PU

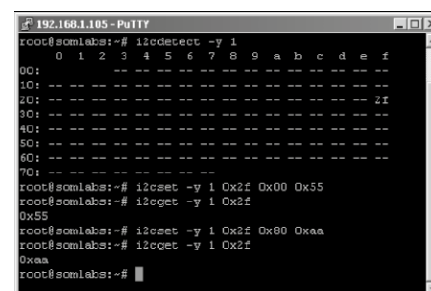


Rysunek 4. Schemat modułu potencjometru

umożliwia ich odłączenie. Wyprowadzenia potencjometrów i magistrala I²C dostępne są na złączu J1, J2 o rozstawie zgodnym z płytkami prototypowymi. AD5243 jest potencjometrem bez wbudowanej pamięci, każdorazowo po włączeniu zasilania suwak (W1,2) ustawiany jest w połowie rezystancji. Regulacja odbywa się w 256 krokach.



Rysunek 5. Schemat płytki drukowanej wraz z rozmieszczeniem elementów



Rysunek 6. Sekwencja testująca moduł

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, rozmieszczenie elementów prezentuje na **rysunku 5**, zmontowany moduł pokazuje fotografia tytułowa.

Dla sprawdzenia działania potencjometru zastosowano moduł VisionSOM6UL z płytą bazową CB-STD z zainstalowanym systemem Linux i narzędziami i2c-tools. Moduł potencjometru umieszczony jest w płytce stykowej, wyprowadzenia B1, B2 połączone są z masą, wyprowadzenia A1, A2, z 3,3 V, do suwaków W1, W2 połączone

są woltomierze napięcia stałego, a magistrala I²C podłączona jest do złącza rozszerzeń zgodnego z Raspberry. W pierwszej kolejności sprawdzamy obecność układu na magistrali poleceniem:

```
i2cdetect -y 1
```

Następnie zapisujemy ustawienie pierwszego potencjometru:

```
i2cset -y 1 0x2f 0x00 0x55
```

Polecenie powinno ustawić napięcie ok. 1,1 V na suwaku potencjometru.

Odczytujemy dla sprawdzenia zapisaną wartość:

```
i2cget -y 1 0x2f
```

Podobnie postępujemy w drugim kanale:

```
i2cset -y 1 0x2f 0x80 0xaa
```

```
i2cget -y 1 0x2f
```

Odczytana wartość napięcia powinna wynosić ok. 2,2 V. Całą sekwencję pokazano na **rysunku 6**.

Podczas użytkowania potencjometru należy pamiętać o dopuszczalnych napięciach na wyprowadzeniach potencjometru i zachowaniu sekwencji zasilania zgodnej z kartą katalogową.

Adam Tatuś, EP

adam.tatus@ep.com.pl

Inteligentny wentylator dla Raspberry Pi

Gdy komputerek Raspberry Pi musi być stosowany w wyższej temperaturze otoczenia to zastosowanie wentylatora staje się koniecznością, jeśli zależy nam na maksymalnej wydajności tego SoC.

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

W ofercie AVT* AVT-5770

Podstawowe parametry:

- próg załączania termostatu: 45°C,
- wartość histerezy: 2°C,
- praca automatyczna lub sterowana,
- zabezpieczenie przed przeciążeniem wywołanym uszkodzeniem wentylatora,
- sygnały kontrolne doprowadzone do złącza GPIO.

Wykaz elementów:

Rezystory:

- R1, R3, R5, R8: 470 Ω SMD0603
- R2, R4, R7: 10 kΩ SMD0603
- R6: 33 kΩ SMD0603

Kondensatory:

- C1, C2, C4, C5: 1 µF/10 V SMD0603
- C3: 0,1 µF/10 V SMD0603
- CE1, CE2: 10 µF/10 V tantalowy SMA

Półprzewodniki:

- U1, U2: ADT6401SRJZ (SOT-23-6)
- U3: 74V1G00 (SC70-5)
- U4: AP2553W6-7 (SOT-23-6)

Pozostałe:

- FAN: Wentylator Sunon 25x25x6 MF25060V2
- GPIO: Złącze IDC40 żeńskie do druku 2x20 pin

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

Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym UK) - jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie wylutować w dołączoną płytkę drukowaną (PCB). Wykaz elementów znajduje się w dokumentacji, która jest podlinkowana w opisie kitu.

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

- wersja [C] - zmontowany, uruchomiony i przetestowany zestaw [B] (elementy wylutowane w płytkę PCB)
- wersja [A] - płytkę drukowaną bez elementów i dokumentacji Kity w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
 - wersja [A*] - płytkę drukowaną [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
 - wersja [UK] - zaprogramowany układ

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

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

Budowa i działanie

Schemat modułu wentylatora pokazano na **rysunku 1**. W module zastosowano miniaturowy wentylator Sunon MF25060 o rozmiarach 25x25x6 mm. Zapewnia on wystarczającą wydajność dla schłodzenia SoC nie zajmując zbyt wiele miejsca

w obudowie. W module przewidziano dwa sposoby sterowania temperaturą, pierwszy programowy z Raspberry Pi przy pomocy sygnału FAN generowanego np. na podstawie temperatury SoC, drugi sprzętowy z termostatów U1, U2 typu ADT6401 umieszczonych w dwóch różnych miejscach płytki.

Budowę wewnętrzną termostatu ADT6401 pokazano na **rysunku 2**. Układ zawiera w swojej strukturze przetwornik temperatury, konwerter analogowo cyfrowy, komparator o konfigurowanym progu zadziałania i histerezie oraz klucz wyjściowy MOSFET w konfiguracji OD. Wybór progu i histerezy ADT6401 odbywa się przy pomocy wyprowadzeń S0, S1, S2, konfigurację pokazuje **tabela 1**. W modelu ustalono próg przełączania termostatów na 45°C z histerezą 2°C (wyprowadzenia S0, S1, S2 połączone z masą).

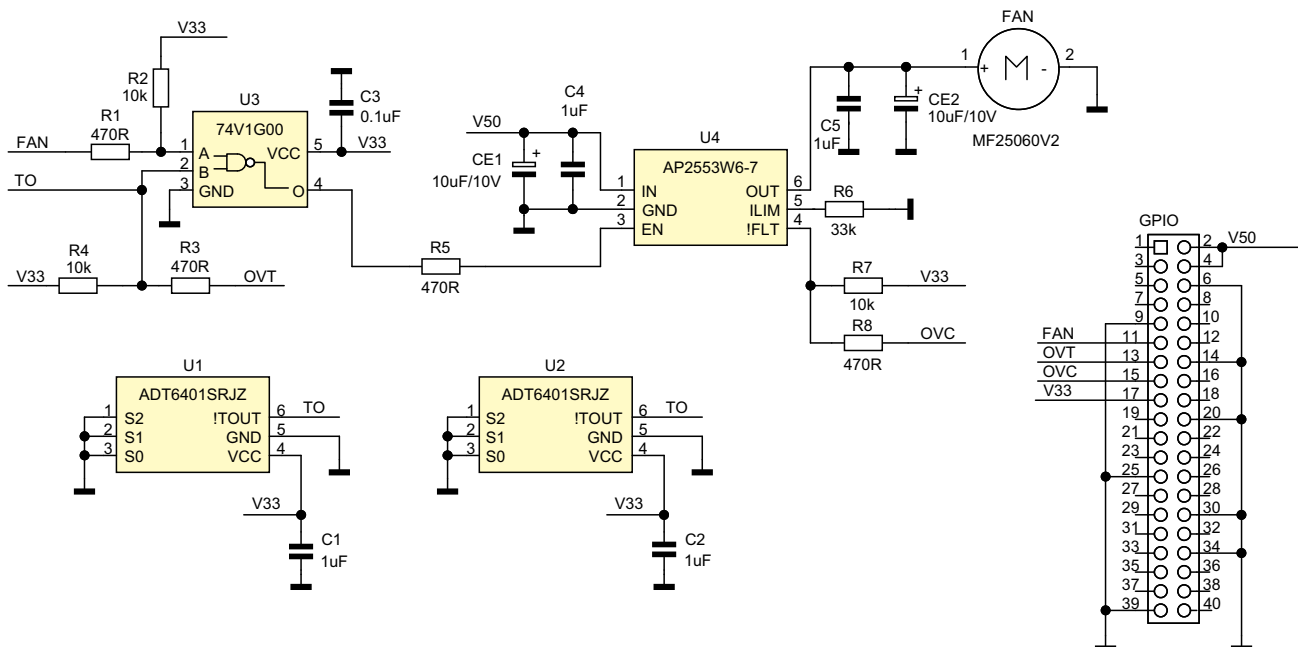
Wyjścia termostatów U1 i U2 połączone są w taki sposób, że załączenie wentylatora następuje niezależnie od tego, który termostat przekroczył temperaturę. Sygnał przekroczenia temperatury OVT doprowadzony jest do złącza GPIO Raspberry Pi i może zostać wykorzystany do monitorowania aktywności termostatów. Bramka U3 generuje iloczyn (zanegowany) sygnału FAN i TO sterujący załączeniem wentylatora.

W roli klucza zastosowano nietypowo przełącznik zasilania USB typu AP2553W6-7. Zadaniem U4 jest oprócz dwustanowego kluczowania pracą wentylatora, zabezpieczenie zasilania V50 przed przeciążeniem

w przypadku uszkodzenia wentylatora. Próg ograniczenia prądu określa rezystor R6 podłączony do wyprowadzenia ILIM układu U4.

Tabela 1. Konfiguracja ADT6401 (za notą Analog Devices)

S2	S1	S0	Temperature Trip Point [°C]	Hysteresis [°C]
0	0	0	48	2
0	0	1	55	2
0	0	Float	65	2
0	1	0	75	2
0	1	1	85	2
0	1	Float	95	2
0	Float	0	105	2
0	Float	1	115	2
0	Float	Float	55	10
1	0	0	65	10
1	0	1	75	10
1	0	Float	85	10
1	1	0	95	10
1	1	1	105	10
1	1	Float	115	10



Rysunek 1. Schemat ideowy RaspPI_FAN

Ustalony prąd jest większy od prądu znamionowego wentylatora FAN, gdyż musi uwzględniać uder prądu przy rozruchu silnika jak i prąd ładowania kondensatorów C5, CE2. Układ w przypadku przeciążenia lub zwarcia ogranicza prąd wyprowadzenia OUT do wartości ok. 700 mA, a wbudowane zabezpieczenie termiczne wyłączy układ przy przekroczeniu temperatury struktury 160°C. Sygnał OVC sygnalizuje przeciążenie układu U4.

W modelu można zastosować, także układ w wykonaniu AP2553A, o identycznej funkcji lecz o zmienionym działaniu układu detekcji przeciążenia. Po wykryciu przekroczenia prądu układ wyłączy się automatycznie i ponowne załączenie nastąpi po cyklu zasilania lub zdjęciuysterowania z wyprowadzenia EN.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat wraz z rozmieszczeniem elementów pokazuje **rysunek 3**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga opisu. Wentylator montowany jest przy pomocy wkrętów M2 i lutowanych tulejek gwintowanych (WE 9774025423), pod łby wkrętów zastosowano podkładki poliamidowe M2.



Fotografia 1. Zamontowany wentylator na Raspberry Pi 4B

Przed użyciem modułu z wentylatorem warto sprawdzić jego działanie za pomocą narzędzi systemowych. Sterowanie wentylatorem, sygnał FAN, GPIO 17 można sprawdzić poleceniami:

```
echo 17 > /sys/class/gpio/export
cd /sys/class/gpio/gpio17
echo out > direction
echo 0 > /sys/class/gpio/gpio17/value
echo 1 > /sys/class/gpio/gpio17/value
```

Zapis 0 załączy wentylator, zapis 1 wyłączy wentylator, o ile nie są aktywne termostaty lub nie jest aktywne zabezpieczenie przeciążeniowe.

Stan termostatów OVT można sprawdzić poleceniami:

```
echo 27 > /sys/class/gpio/export
cd /sys/class/gpio/gpio27
echo in > direction
cat value
```

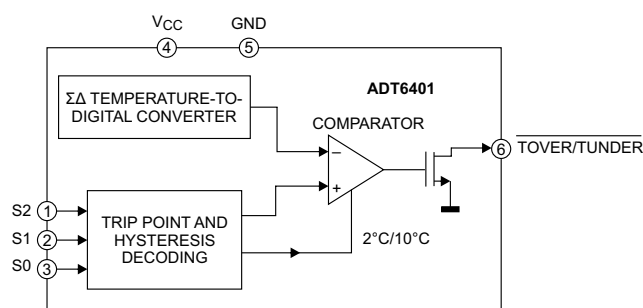
Zadziałanie termostatu(ów) sygnalizuje stan niski GPIO27.

Stan zabezpieczenia przeciążeniowego OVC można sprawdzić poleceniami:

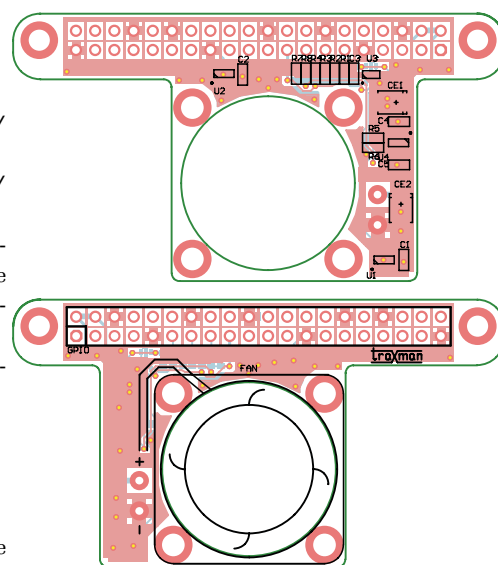
```
echo 22 > /sys/class/gpio/export
cd /sys/class/gpio/gpio22
echo in > direction
cat value
```

Zadziałanie zabezpieczenia przeciążeniowego sygnalizuje stan niski GPIO22.

Jeżeli wszystko działa, można przejść do zastosowania modułu we własnej aplikacji.



Rysunek 2. Budowa wewnętrzna ADT6401 (za notą Analog Devices)



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów

Po zainstalowaniu modułu wentylatora w Raspberry Pi 4, po kilku minutach od włączenia komputerka ze względu na wzrost temperatury wentylator będzie co pewien czas samoczynnie załączany przez termostat, co świadczy o prawidłowym działaniu układu.

Adam Tatus, EP
adam.tatus@ep.com.pl

Dział „Projekty Czytelników” zawiera opisy projektów nadesłanych do redakcji EP przez Czytelników. Redakcja nie bierze odpowiedzialności za prawidłowe działanie opisywanych układów, gdyż nie testujemy ich laboratoryjnie, chociaż sprawdzamy poprawność konstrukcji. Prosimy o nadsyłanie własnych projektów z modelami (do zwrotu). Do artykułu należy dołączyć podpisane oświadczenie, że artykuł jest własnym opracowaniem autora i nie był dotychczas nigdzie publikowany. Honorarium za publikację w tym dziale wynosi 300,- zł (brutto) za 1 stronę w EP. Przysyłanych tekstów nie zwracamy. Redakcja zastrzega sobie prawo do dokonywania skrótów.

**PROJEKT
NR 250**

Kieszonkowy układ do generowania szumu białego

do szybkiego testowania odpowiedzi impulsowej układu

W większości układów chcemy zminimalizować poziom szumu w sygnale, jednak są aplikacje, m.in. układy pomiarowe, w których wysoki poziom szumu jest pożądanym. Źródła szerokopasmowego szumu białego są nieocenione w pomiarach pasma czy odpowiedzi impulsowej układów analogowych.

Szum w obwodach elektronicznych zwykle jest wrogiem i każdy obwód powinien emitować go jak najmniej. Jednak zdarzają się przypadki, w których dobrze scharakteryzowane źródło szumu jest bardzo pożądanym elementem. Przykładem takiego obwodu jest generator szumu białego zastosowany do charakterystyki obwodów elektronicznych.

Układ analogowy można scharakteryzować poprzez przemiatanie sygnału wejściowego w całym zakresie częstotliwości i obserwowanie reakcji na wyjściu. Najczęściej przebiegiem wejściowym jest wtedy sinusoida o zmienianej dyskretnie częstotliwości. Taki pomiar jest bardzo czasochłonny, gdyż po każdej zmianie częstotliwości wymagane jest ustabilizowanie pracy generatora – przyjmuje się czas potrzebny do tego jako w przybliżeniu 10-krotność okresu, co dla niskich częstotliwości (poniżej 10 Hz) zaczyna już być bardzo problematyczne. Jeżeli konieczne jest przemiatanie o wysokiej rozdzielczości spektralnej, na przykład z uwagi na wysoką dobroć układu, pomiar taki jest bardzo czasochłonny.

Rozwiązaniem takiego problemu jest zastosowanie generatora szumu białego. Wynika to z faktu, że w sygnale szumowym obecne są wszystkie częstotliwości naraz. Wszystkie o równej amplitudzie (jeśli mówimy o szumie białym). Podłączenie do badanego urządzenia

takiego „szumidła”, generującego szum biały, pozwoli na jego wyjściu natychmiast zobaczyć, jaka jest charakterystyka spektralna systemu. Wystarczy podłączyć wyjście układu do analizatora widma. Jeśli widmo będzie uśredniane przez odpowiednio długi czas, możliwe jest uzyskanie bardzo dużej dokładności i szerokiego pasma częstotliwości.

Ponadto generator białego szumu pozwala także przetestować sam tester. Sprzęt laboratoryjny mierzący odpowiedź częstotliwościową powinien zapewniać płaską charakterystykę wejściową dla znanego generatora białego szumu płaskiego.

Z praktycznego punktu widzenia tego rodzaju szumidło, to łatwe i przenośne narzędzie, pomagające w charakterystyce układów analogowych. Przydaje się nie tylko w warsztacie, ale także w terenie, np. przy konieczności diagnozowania uszkodzeń torów analogowych w serwisowanych systemach pomiarowych. Dobrze zaprojektowany generator szumu białego nie wymaga żadnego zewnętrznego sterowania i zapewnia całkowicie przewidywalną i stałą moc wyjściową.

Krótki wstęp o szumie

Szum cieplny rezystora, czasem nazywany szumem Johnsona lub Nyquista, powstaje w wyniku termicznego poruszania nośników



ładunku wewnątrz opornika. Szum ten ma w teorii białą, nieskończoną charakterystykę. W rzeczywistym układzie, gdzie pasmo jest ograniczone, szum można opisać w przybliżeniu rozkładem Gaussa. Pod względem elektrycznym gęstość spektralna jest opisana **równaniem 1**.

$$V_{SZUM} = \sqrt{4 \cdot k_B \cdot T \cdot R}$$

gdzie:

k_B – to stała Boltzmanna,

T – to temperatura opornika w Kelvinach,

R – to jego rezystancja.

Napięcie V_{SZUM} powstaje w wyniku losowego ruchu ładunków przepływających przez opornik, który opisać można prądem I_{SZUM} zależnym od temperatury. Dlatego też gęstość spektralna szumu zależna jest od wartości rezystancji opornika, co pokazano w **tabeli 1**. Przykładowe wartości zmierzone zostały dla temperatury 20°C. Rezystor 10 MΩ reprezentuje zatem szerokopasmowe źródło szumu napięciowego o wartości 402 nV/√Hz, które włączone jest szeregowo z rezystancją nominalną. To źródło szumu jest dość stabilne, ponieważ tylko zmiany R i T wpływają na szum, dodatkowo wchodzą do wzoru pod pierwiastkiem

Tabela 1. Gęstość spektralna szumu napięciowego dla różnych rezystorów

Wartość rezystancji	Gęstość spektralna szumu napięciowego
10 Ω	0,402 nV/√Hz
100 Ω	1,27 nV/√Hz
1 kΩ	4,02 nV/√Hz
10 kΩ	12,7 nV/√Hz
100 kΩ	40,2 nV/√Hz
1 MΩ	127 nV/√Hz
10 MΩ	402 nV/√Hz

Tabela 2. Wpływ szumu wzmacniacza operacyjnego

$V_{SZUM(R)}$	Szum wejściowy op-ampa e_n	Całkowity szum układu
402 nV/√Hz	300	501,6 nV/√Hz
402 nV/√Hz	250	473,4 nV/√Hz
402 nV/√Hz	200	449,0 nV/√Hz
402 nV/√Hz	150	429,1 nV/√Hz
402 nV/√Hz	100	414,3 nV/√Hz

– układ jest relatywnie nieczuły na ich zmiany
– zmiana temperatury o 6°C to zmiana gęstości szumu o 1%, a zmiana rezystancji o 2% przekłada się na zmianę szumu również o 1%.

Na **rysunku 1** zaprezentowano układ z opornikiem 10 MΩ (R1), który generuje biały, gaussowski szum na nieodwracającym pinie wzmacniacza operacyjnego. Rezystory R2 i R3 regulują wzmocnienie op-ampa. Kondensator C1 odfiltrowuje z sygnału wpływ wejścia op-ampa, który ma stabilizację impulsową. Wyjściem z układu jest szum biały o gęstości spektralnej równej 10 μV/√Hz. Wzmocnienie (1+R2/R3) jest wysokie, bo aż 21 V/V. Nawet jeśli R2 ma dużą oporność (1 MΩ), szum R2, w porównaniu do wzmocnionego szumu R1, jest nieistotny.

Zastosowany op-amp musi mieć wystarczająco niski poziom własnego szumu, aby R1 mógł dominować jako źródło. Musi być spełniony warunek:

$$V_{SZUM(IN)} \cdot R2 \ll V_{SZUM(R1)} \cdot (1 + R2/R3)$$

Porównanie zmiany w poziomie wypadkowego szumu dla różnych poziomów szumu wejściowego wzmacniacza operacyjnego pokazuje **tabela 2**. Warto zauważyć, że nawet dla wysokiego e_n , na poziomie 300 nV, wypadkowy szum zwiększa się zaledwie o około 100 nV/√Hz. Zmiana z 402 nV/√Hz do 502 nV/√Hz odpowiada zmianie o zaledwie 1,9 dB.

Generator z zerowym dryftem i niskim poborem energii elektrycznej

W tym projekcie dominowały dwa główne założenia:

1. układ musi być przenośny, łatwy w użyciu i pobierać niewielki prąd z uwagi na zasilanie z baterii,
2. generowany szum musi mieć szerokie spektrum i równą charakterystykę, nawet dla częstotliwości poniżej 0,1 Hz.

Biorąc pod uwagę te wymagania, jako wzmacniacz operacyjny w układzie zastosowano LTC2063. Gęstość szumu napięciowego

opornika 10 MΩ wynosi 402 nV/√Hz; dla LTC2063 ta wartość jest o połowę mniejsza. Prąd szumu rezystora 10 MΩ wynosi 40 fA/√Hz; LTC2063 ma mniej niż połowę tego. Dodatkowo element ten pasuje idealnie do zastosowania akumulatorowego, ponieważ jego typowy prąd zasilający wynosi 1,4 μA, a całkowite napięcie zasilania spaść może do 1,7 V. Jest to istotnie, ponieważ pomiary przy małej częstotliwości z definicji wymagają długiego czasu stabilizacji i pomiaru, w związku z czym generator musi być zasilany baterią przez dłuższy czas.

Gęstość spektralna szumu na wejściu LTC2063 wynosi około 200 nV/√Hz, a szum jest przewidywalny i płaski w całym zakresie częstotliwości (w granicach ±0,5 dB). Zakładając, że poziom szumu LTC2063 wynosi 50% szumu termicznego opornika, a szum napięcia wzmacniacza operacyjnego zmienia się o 5%, gęstość szumu na wyjściu zmienia się tylko o 1%.

Budowa układu

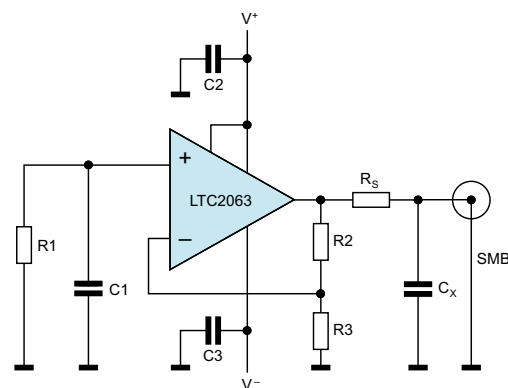
Jako opornik generujący szum zastosowano opornik cienkowarstwowy Beyschlag MMA0204 10 MΩ. Wybrano ten element z uwagi na fakt, że niewiele jest na rynku oporników o tak dużej rezystancji, które cechują się wysoką jakością, zapewniającą precyzję i stabilność, wymaganą w tym układzie. Aby uzyskać lepszą dokładność i stabilność

długoczasową, jako oporniki R2, R3 i RS zastosować należy cienkowarstwowe rezystory precyzyjne (0,1%), na przykład TE CPF0603. Co do kondensatorów C2 i C3 nie ma wielkich wymagań – ich rolą jest filtrowanie zasilania dla wzmacniacza operacyjnego. Zastosować można elementy oparte na dielektryku C0G, z uwagi na niski prąd upływu, istotny z uwagi na zasilanie układu z baterii.

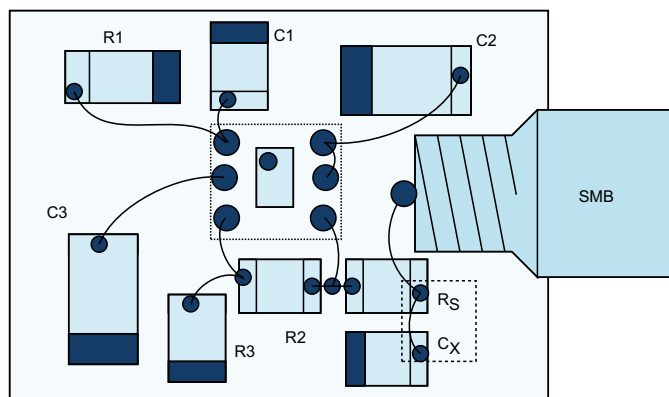
Detale implementacji

Obszar pętli tworzonej przez elementy R1, C1 i R3 powinien być zminimalizowany, by zredukować wpływ zakłóceń elektromagnetycznych na układ. Dodatkowo, elementy R1 i C1 powinny być ekranowane przed zewnętrznymi polami elektromagnetycznymi. Dodatkowo, jakkolwiek nie jest to krytyczne, R1 powinien być utrzymywany w miarę stabilnej temperaturze. Zazwyczaj obie te funkcje spełnia pojedynczy ekran, chroniący układ przed EMI i promieniowaniem cieplnym z zewnątrz.

Przy doborze zasilania należy zadbać o uniknięcie regionu przejściowego napięcia wejściowego, ponieważ może to skutkować wyższym, mniej stabilnym szumem. Aby uzyskać najlepsze wyniki, V+ powinno wynosić co najmniej 1,1 V.

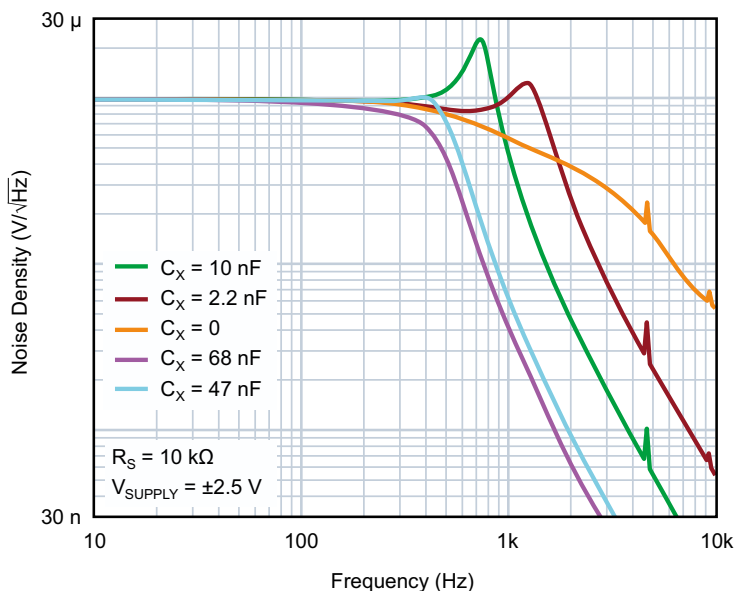


Rysunek 1. Pełny schemat generatora szumu białego – wzmacniacz operacyjny o niskim dryfcie (LTC2063) wzmacnia szum Johnsona z opornika R1

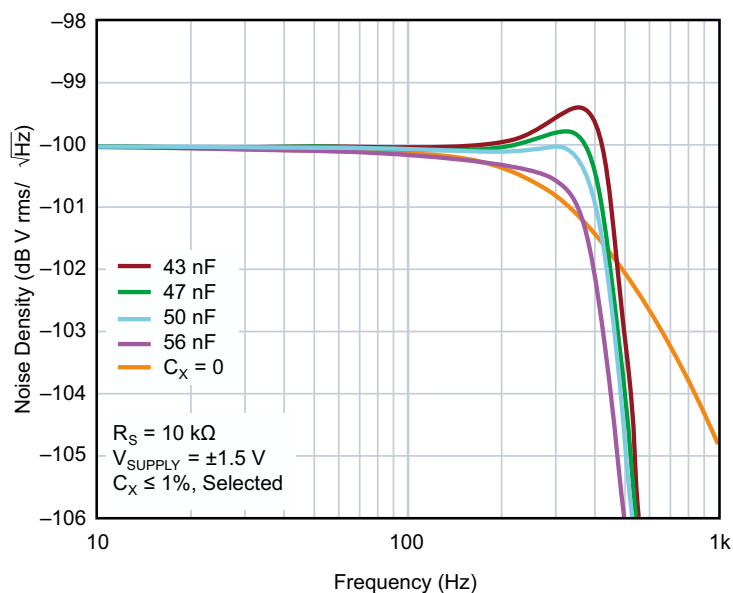


Note: Blue Fill SMD Terminals Are Grounded
R1 = 10 MΩ MMA0204 (MiniMELF)
Vishay/Beyschlag 1% TC50 (= Thin Film)
R2 = 1 MΩ, R3 = 49900 Ω; RS = 10 kΩ; All 1% TC100 Thick Film
C1 = 22 pF C0G 5%; C2/C3 = 0,1 μF C0G
CX = 47 nF C0G 5% (See Text: „Optional Tuning”)

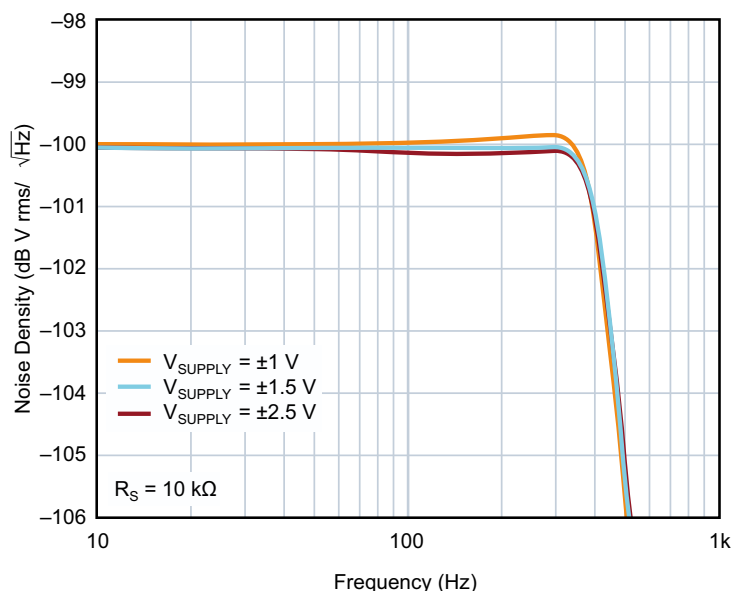
Rysunek 2. Rozkład elementów na płytce



Rysunek 3. Gęstość szumu urządzenia z rysunku 1 dla różnych pojemności C_x



Rysunek 4. Powiększony fragment wykresu z rysunku 3



Rysunek 5. Gęstość szumów wyjściowych dla różnych napięć zasilania

Rezystancja opornika na wyjściu (R_S) – 10 kΩ – może wydawać się wysoka, ale z uwagi na wysoką impedancję wyjściową wzmacniacza nawet taki opór nie zapewni pełnej izolacji wyjścia op-ampa od pojemności obciążenia. Jednakże w tym układzie pojemność wyjściowa powinna być postrzegana jako istotna cecha projektowa, nie zagrożenie dla stabilności. Op-amp widzi na wyjściu R_S (10 kΩ) i C_x (50 nF) podłączone pomiędzy wyjście a masę. Kondensator C_x będzie oddziaływał z obwodem LTC2063, powodując powstawanie maksimów w odpowiedzi częstotliwościowej układu. Maksyma te można wykorzystać do poszerzenia płaskiej części charakterystyki generatora. Przyjmuje się, że układ będzie podłączony do obciążenia o wysokiej impedancji ($Z > 100$ kΩ), ponieważ obciążenie o niższej impedancji znacznie zmniejszy poziom wyjściowy.

Opcjonalne strojenie układu

Kilka parametrów op-ampa wpływa na kształt krzywej w zakresie wysokich częstotliwości. Zalecana wartość kondensatora C_x wynosi 47 nF, co zwykle daje pasmo (-1 dB) od 200 Hz do 300 Hz. Niemniej jednak C_x można zmieniać, optymalizując płaskość lub szerokość pasma, zmieniając pojemność w zakresie od 30 nF do 50 nF. Aby uzyskać większą szerokość pasma, użyj mniejszego C_x . Aby uzyskać bardziej płaskie widmo, użyj większej pojemności.

Parametry układu scalonego są ściśle związane z pobieranym prądem. Elementy o niskim prądzie zasilania mogą wymagać nieco większego C_x , podczas gdy części o wysokim prądzie zasilającym najprawdopodobniej wymagają mniej niż 30 nF przy jednoczesnym osiągnięciu szerszej, płaskiej charakterystyki. Pokazane poniżej wykresy pokazują, w jaki sposób wartość C_x wpływa na odpowiedź częstotliwościową w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego układu.

Pomiary układu

Gęstość spektralną szumu na wyjściu w funkcji pojemności C_x (przy $R_S = 10$ kΩ i zasilaniu ± 2.5 V) pokazano na **rysunku 3**. Wykres pokazuje gęstość szumu w funkcji częstotliwości dla $C_x = 0, 2.2$ nF, 10 nF, 47 nF i 68 nF. Przy $C_x = 2.2$ nF charakterystyka wykazuje łagodne osiągnięcie maksymalnego poziomu, co jest mocniej zaznaczone dla $C_x = 10$ nF i stopniowo maleje dla większych częstotliwości. Dla $C_x = 68$ nF nie widać tego szczytu, ale wyraźnie mniejsza jest płaska część widma.

Na **rysunku 4** pokazano płaską część widma w powiększeniu. W wielu zastosowaniach wystarcza płaskość widma szumu w granicach 1 dB, a <0,5 dB jest już doskonałe. Tutaj widzimy, że odchyłka w zakresie widma jest istotnie niższa. Pomiary płaskości w wysokiej rozdzielczości wymagają

czasu. Dla wykresu z rysunku 4 (w zakresie od 10 Hz do 1 kHz, 1000 uśrednień) trwają około 20 minut. Finalnie, pamiętać trzeba również, że jak wspomniano wcześniej, optymalne C_x zmienia się w zależności od rzeczywistych parametrów op-ampa.

Sprawdzono również kształt widma w funkcji zasilania (rysunek 5). Standardowe zasilanie układu wynosi $\pm 1,5$ V. Zmiana napięcia zasilania na $\pm 1,0$ V lub $\pm 2,5$ V powoduje niewielką zmianę wartości szczytowej charakterystyki, a także niewielką zmianę płaskiej części widma. W pełnym zakresie zasilania zmiany te nie przekraczają 0,2 dB.

Jeśli chodzi o stabilność działania układu w funkcji temperatury, to dominuje wpływ temperatury na szum Johnsona opornika. Zatem $T=22(\pm 6)^{\circ}\text{C}$ zmiana amplitudy wynosi $\pm 1\%$, co jest ledwo widoczne na wykresie i z uwagi na to nie jest prezentowane.

Rozważania na temat EMI

W prototypie zastosowano miedzianą folię z izolacją kaptonową jako ekran elektromagnetyczny. Folia ta jest owinięta wokół elementów wejściowych i przylutowana do masy na tylnej stronie płytki drukowanej. Zmiana położenia ekranu ma znaczący

wpływ na zakłócenia elektromagnetyczne dostające się do układu. Powoduje powstawanie również niskoczęstotliwościowych zakłóceń. Eksperymenty sugerują, że zakłócenia te spowodowane są impulsami elektromagnetycznymi i że można im zapobiec ekranowaniem. Ekran chroni także przed zakłóceniami sieciowymi itp.

Jeżeli zamiast baterii używany jest zewnętrzny zasilacz, zakłócenia współbieżne w sieci energetycznej mogą przenikać do sygnału. Zaleca się połączenie masy urządzenia z uziemieniem i wykorzystanie dławika na przewodach zasilających generator.

Ograniczenia

W praktyce wiele aplikacji wymaga szerszego pasma, na przykład systemy audio czy urządzenia ultradźwiękowe. Przy płaskim widmie, od około 300 do 400 Hz, obwód zaprezentowany powyżej jest przydatny do badania układów pod kątem przenikania zakłóceń z sieci (50 Hz) czy geofonów, szczególnie że dobrze radzi sobie z generowaniem szumu o bardzo małej częstotliwości, poniżej 0,1 Hz.

Poziom sygnału wyjściowego jest niski (< 2 mV_{p-p}). Drugi LTC2063, skonfigurowany jako nieodwracający wzmacniacz

ze wzmacnieniem na poziomie 5 V/V i kolejnym filtrem wyjściowym RC, może zapewnić podobnie dobrze kontrolowane płaskie widmo wyjściowe z większą amplitudą.

Podsumowanie

Opisany generator szumów białych jest małym, ale niezbędnym w wielu warsztatach narzędziem. Przy odpowiednio długim czasie pomiaru urządzenie to może generować pełną charakterystykę badanego obwodu. Doskonale radzi sobie z bardzo małymi częstotliwościami i przyspiesza pomiary widm w zakresie poniżej 300 Hz. W przeciwieństwie do skomplikowanych instrumentów z licznymi ustawieniami, ten generator nie wymaga instrukcji obsługi. Ta szczególna konstrukcja charakteryzuje się niskim poborem prądu, dzięki czemu układ może być zasilany bateryjnie przez długi czas pomiaru. Zastosowanie baterii nie tylko zwiększa mobilność urządzenia, ale także izoluje je od zakłóceń z sieci energetycznej.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło:

Rarely Asked Questions (Rzadko Zadawane Pytania) numer 154 – <https://bit.ly/2yIK0Jg>

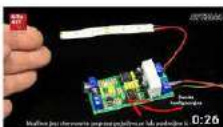
REKLAMA

KITy
AVT

O KIT-ach AVT przeczytasz również na Facebooku

<http://bit.ly/2BjVMN7>

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

 AVT3144 - Klaskacz - przełącznik akustyczny 470 wyświetleń • 3 miesiące temu	 AVT3250 - Bombka LED dla każdego - montaż 470 wyświetleń • 5 miesięcy temu	 AVT3165 - Odstraszcza kretów 1,5 tys. wyświetleń • 1 rok temu	 AVT5599 - Zdalnie sterowany włącznik 4-kanalowy 971 wyświetleń • 1 rok temu	 AVT1484 - Wskaźnik temperatury silnika 1,6 tys. wyświetleń • 1 rok temu
 AVT1960 - Termometr z termoparą i alarmem 1,8 tys. wyświetleń • 1 rok temu	 AVT777 - Sterownik miniwiertarki modelarskiej 741 wyświetleń • 2 lata temu	 AVTMOD01 - Uniwersalny regulator impulsowy 5A 1,7 tys. wyświetleń • 2 lata temu	 AVT5554 - Gra elektroniczna SNAKE 1,6 tys. wyświetleń • 2 lata temu	 AVT478 - Regulator obrotów wentylatorów 12V 3,4 tys. wyświetleń • 2 lata temu
 AVT1853 - Iluminacja LED RGB 5 tys. wyświetleń • 2 lata temu	 AVT2942 - Kogut dyskotekowy 3,2 tys. wyświetleń • 2 lata temu	 AVT3125 - Włącznik sterowany dowolnym pilotem 2,3 tys. wyświetleń • 2 lata temu	 AVT788 - Lampka LED reagująca na klaskanie 3,8 tys. wyświetleń • 2 lata temu	 AVT1900 - Animowany bałwanek LED 1,5 tys. wyświetleń • 2 lata temu
 AVTMOD02 - Sterownik diod RGB 2,1 tys. wyświetleń • 2 lata temu	 AVT1612 - 2-poziomowy alarm ostrzegający przed... 2,1 tys. wyświetleń • 2 lata temu	 AVT5540 - Radioodbiornik dla każdego 9,5 tys. wyświetleń • 2 lata temu	 AVT1916 - Konfigurowalny przełącznik 4-kanalowy 2,9 tys. wyświetleń • 2 lata temu	 AVT2485 - Inteligentna lampka nocna dla dzieci 2 tys. wyświetleń • 2 lata temu



Projektowanie systemów alarmowych

System alarmowy może być zrealizowany jako prosta, jednoelementowa instalacja lub jako bardzo skomplikowana sieć współpracujących komponentów. Projektując taki system, należy dobrać architekturę oraz zastosowane elementy konkretnie do danego obiektu.

Typowy system alarmowy składa się z elementów wejściowych – monitorujących nasze mienie oraz elementów wyjściowych, które reagują w przypadku wykrycia określonej sytuacji – np. wtargnięcia intruza do wnętrza domu. Na rynku dostępnych jest wiele elementów wejściowych i wyjściowych, które można stosować w systemach alarmowych.

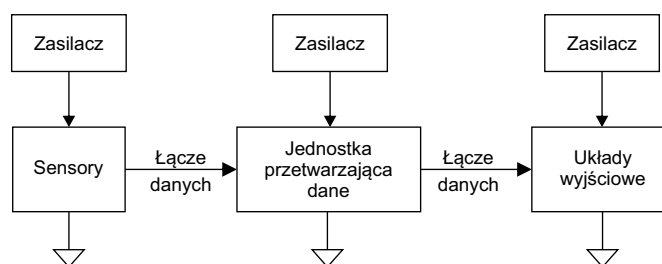
W poniższym artykule opisane zostaną architektury i sposoby łączenia poszczególnych elementów systemu alarmowego w całość, aby zapewnić mu niezawodność i pożądane działanie. Opisane topologie mają zastosowanie nie tylko w systemach ochrony mienia, często są zapożyczone z systemów automatyki przemysłowej, zwłaszcza systemów ochrony funkcjonalnej, które pełnią w instalacjach przemysłowych analogiczną funkcję, chroniąc, zamiast mienia, ludzkie życie i zdrowie.

Konstrukcja elektronicznych systemów alarmowych

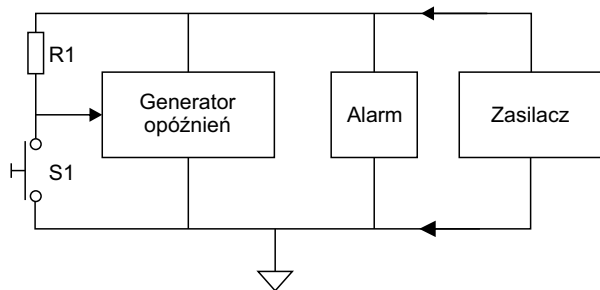
Wszystkie elektroniczne systemy bezpieczeństwa składają się z podstawowych elementów pokazanych na **rysunku 1**. Zawierają jeden lub więcej sensorów wykrywających zagrożenie, jednostkę

przetwarzającą dane i układ wyjściowy. Pokazane na rysunku moduły są wyposażone w niezależne zasilacze, jednakże w praktyce często system realizuje się z zasilaczami wspólnymi dla większej liczby modułów.

Rysunki od 2 do 5 pokazują w uproszczonej formie cztery różne typy systemów bezpieczeństwa o małej lub średniej złożoności. Pierwszy z nich (**rysunek 2**) to prosty elektroniczny system alarmowy, zwany dzwonkiem do drzwi, w którym czujnikiem wejściowym jest przełącznik. Może to być zwykły przełącznik, czujnik otwarcia drzwi lub wejścia do pomieszczenia, zrealizowany jako mikroprzełącznik we framudze drzwi, hallotron, przełącznik ciśnieniowy pod wycieraczką itp. Gdy przełącznik S1 zamyka się, aktywuje układ czasowy, który włącza generator dźwięku alarmu na określony czas, niezależnie od faktycznego czasu zamknięcia przełącznika. System powtarza to działanie za każdym razem, gdy S1 zostaje zwarty.



Rysunek 1. Podstawowe elementy elektronicznego systemu zabezpieczenia mienia



Rysunek 2. Uproszczony schemat ideowy dzwonka do drzwi lub systemu wykrywającego wejście do pomieszczenia

Taki typ obwodu pobiera zerowy prąd spoczynkowy. Należy zauważyć, że w przypadku dzwonka do drzwi czujnik (S1) jest aktywowany przez przybyłego gościa, w celu zwrócenia uwagi gospodarza, albo przez osobę, która weszła do pomieszczenia nieproszona.

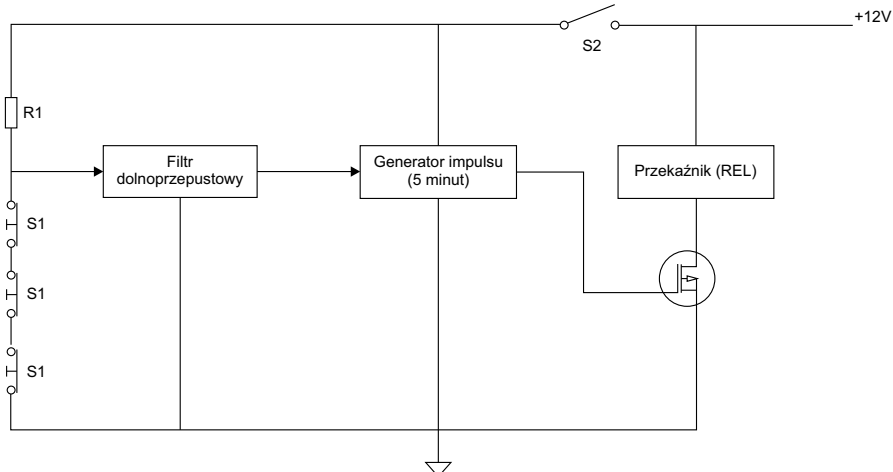
Na **rysunku 3** pokazano prosty domowy obwód alarmu przeciwwłamaniowego. W tym przypadku główny system alarmowy jest włączany przez zamknięcie przełącznika S2 obsługiwane kluczem, a czujnik niebezpieczeństwa (S1) składa się z dowolnej liczby połączonych szeregowo normalnie zamkniętych przełączników (zwykle są to kontaktrony), z których każdy jest zamontowany na drzwiach lub oknach, które monitorowane są przez alarm. W ten sposób przełącznik S1 otwiera się, gdy jakiegokolwiek chronione drzwi lub okno zostaną otwarte lub też wystąpi przerwa w okablowaniu S1 w innym miejscu. W tym układzie R1 zapewnia sygnał wejściowy dla filtra dolnoprzepustowego, który tłumi stany przejściowe i zapewnia krótkie opóźnienie (typowo rzędu 200 ms) dla włączenia układu czasowego. Z kolei ten załącza na zadany czas przełącznik (REL) poprzez tranzystor Q1. Przełącznik załącza dowolny zewnętrzny obwód, typowo jest to syrena alarmowa.

Po aktywacji alarmu przełącznik i alarm wyłączają się automatycznie po upływie pięciu minut, ale można je w dowolnym momencie wyłączyć ręcznie stacją S2. Często alarm można też przetestować w dowolnym momencie, niezależnie od stanu S2, naciskając dodatkowy przycisk, który bezpośrednio zasila przełącznik.

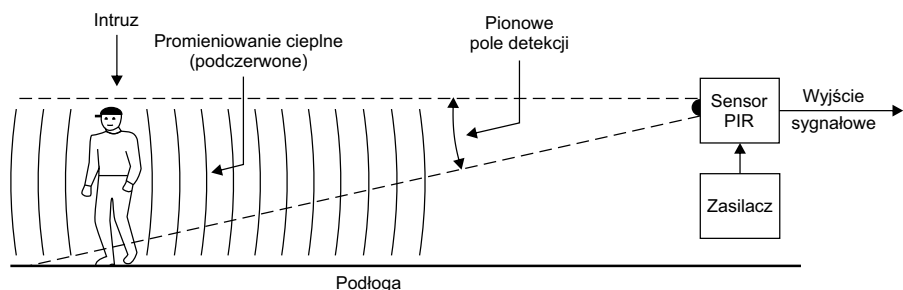
Na **rysunku 4** zaprezentowano w formie obrazka zasadę działania systemu z pasywną czujką podczerwieni (PIR), która służy do wykrywania ruchu i załącza alarm lub włączania oświetlenia w pomieszczeniu. Typowa czujka PIR ma maksymalny zasięg do 12 metrów a jej pole widzenia ma rozpiętość pionową około 15° i rozpiętość poziomą od 90 do 180°. Wykrywa niewielkie ilości promieniowania podczerwonego generowanego przez ludzkie ciało w postaci ciepła. Sygnał alarmowy jest wysyłany wtedy, gdy źródło ciepła porusza się – zmienia się jego lokalizacja w polu widzenia sensora. W odróżnieniu od używanych we wcześniejszych przypadkach (rysunek 2 i 3)

sensorach, takich jak przyciski, czujka PIR jest elementem aktywnym i wymaga zasilania (typowo 12 V i około 20 mA).

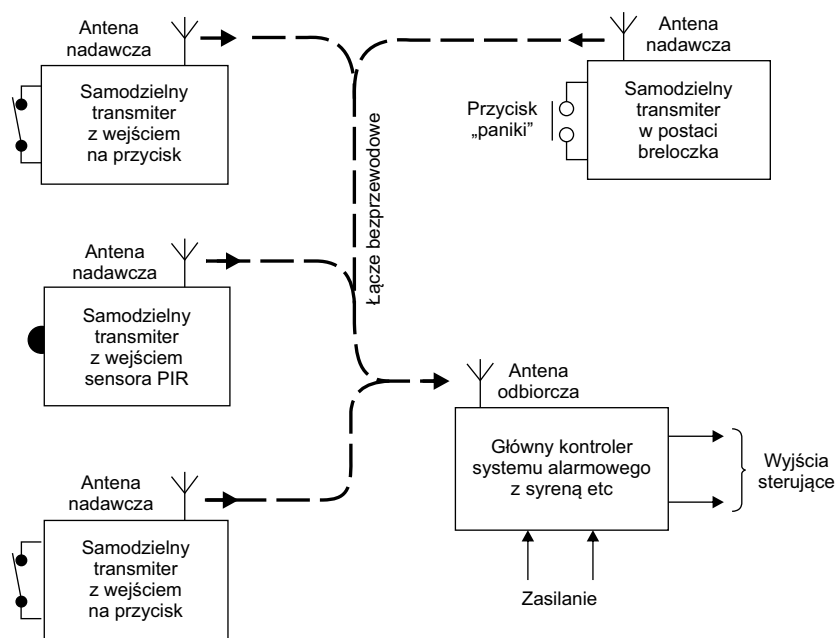
W ostatnim przykładzie, pokazanym w uproszczonej formie na **rysunku 5**, zastosowany jest system bezprzewodowy. W takiej instalacji poszczególne elementy systemu (sensory, jednostka centralna, etc.) komunikują się bezprzewodowo poprzez system radiowy, zazwyczaj działający na częstotliwości 433 MHz lub 868 MHz. Sercem systemu bezprzewodowego jest główny panel sterowania, w którym znajduje się odbiornik i dekodery oraz logika sterująca. W module tym znajduje się także syrena i przełączniki, które pozwalają na aktywowanie zewnętrznych urządzeń. W poszczególnych sensorach znajdują się małe nadajniki radiowe, które wysyłają do centrali sygnał w momencie



Rysunek 3. Schemat prostego domowego systemu alarmowego



Rysunek 4. System detekcji ruchu za pomocą pasywnej czujki podczerwieni (PIR)



Rysunek 5. Uproszczony schemat bezprzewodowego systemu alarmowego

aktywacji. Sensory te projektowane są tak, by były możliwie energooszczędne; zakłada się co najmniej 6 miesięcy pracy pomiędzy wymianą ich baterii.

Wyróżnia się trzy podstawowe typy sensorów – styki rozwiernie, które wysyłają do centrali alarm w momencie rozwarcia dowolnego elementu w szeregu (jak na rysunku 3), sensory ruchu, które wysyłają do centralki sygnał w momencie np. wykrycia ruchu za pomocą czujki PIR oraz tzw. przyciski „paniki”, które uruchamiają system alarmowy w momencie naciśnięcia przycisku przez użytkownika (np. przycisk napadowy w sklepie). Wszystkie trzy typy czujników wysyłają również ciągle sygnały monitorujące, które ostrzegają o awarii zasilania lub umyślnych zakłóceniach ich działania, dzięki czemu bezprzewodowy system antywłamaniowy zapewnia wysoki stopień ochrony.

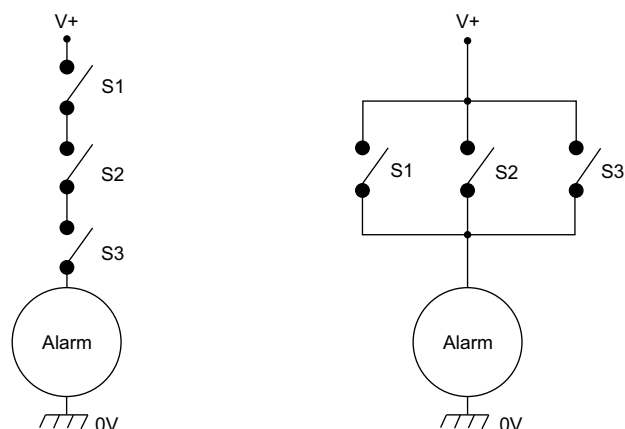
Proste elektroniczne systemy bezpieczeństwa, takie jak te pokazane na rysunkach 2 i 3, można łatwo zbudować samodzielnie, natomiast opłacalne jest konstruowanie bardziej zaawansowanych sensorów, takich jak czujka PIR. Podobnie jest z modułami bezprzewodowymi, które wymagają odpowiedniej certyfikacji dla części nadawczej. Na szczęście większość tego rodzaju sensorów nabyć można w postaci gotowych modułów.

Niezawodność systemu zabezpieczeń

Najważniejszym parametrem każdego elektronicznego systemu bezpieczeństwa jest jego niezawodność w wykonywaniu wyznaczonego zadania. Oznacza to, że takie systemy muszą być łatwe w użyciu, trudne do wyłączenia i mieć dobrą odporność na awarie i generowanie fałszywych alarmów, które bardzo szybko niszczą zaufanie użytkownika do systemu.

Stopień i rodzaje niezawodności wymagane od systemu bezpieczeństwa różnią się w zależności od poziomu niezawodności, jaki system ma zapewnić. Domowe systemy antywłamaniowe (w których tylko kilku członków rodziny ma dostęp do głównych funkcjonalnych części systemu) mają na przykład stosunkowo niskie wymagania w zakresie ochrony przed naruszeniem dostępu, ale systemy antywłamaniowe stosowane w dużych sklepach i innych miejscach, gdzie sporo niepowołanych osób ma łatwy dostęp do obszarów chronionych w godzinach otwarcia tych miejsc, wymagają o wiele wyższego stopnia odporności i zabezpieczeń przed niepowołanym dostępem.

Na niezawodność każdego elektronicznego systemu bezpieczeństwa duży wpływ mają jego elementy składowe. Proste elektromechaniczne sensory, takie jak kontaktrony i wyłączniki naciskowe, mają znacznie wyższy poziom niezawodności niż czujniki elektroniczne, takie jak sensory ultradźwiękowe, mikrofalowe czy PIR. Z drugiej natomiast strony elektroniczne wyłączniki bezpieczeństwa charakteryzuje znacznie wyższy poziom niezawodności niż mechaniczny przełącznik. Dlatego też konieczna jest precyzyjna analiza wymagań i dobór elementów do budowy systemu, zgodnie z założonym poziomem bezpieczeństwa.



Rysunek 6. Różne topologie podłączenia sensorów i układów wykonawczych w instalacji alarmowej: (a) szeregowo lub (b) równoległe

Elementy składowe systemu bezpieczeństwa

Wszystkie elektroniczne systemy bezpieczeństwa składają się z jednego lub więcej sensorów, które generują odpowiednie sygnały w razie wykrycia niebezpieczeństwa. Podłączone są poprzez łącze danych i odpowiedni tor sygnałowy do jednostki sterującej, która reaguje na zmiany stanu sensora, na przykład uruchamiając sygnał alarmowy.

Oprócz samej jednostki sterującej, innymi głównymi elementami każdego elektronicznego systemu bezpieczeństwa są elementy wykonawcze. Każdy z nich podłączony jest do jednostki sterującej jakiegoś rodzaju interfejsem elektrycznym (przewodowym bądź bezprzewodowym). Od rodzaju i niezawodności tych połączeń zależy sposób działania i odporność całej instalacji.

Podstawowe układy łączenia sensorów elektromechanicznych

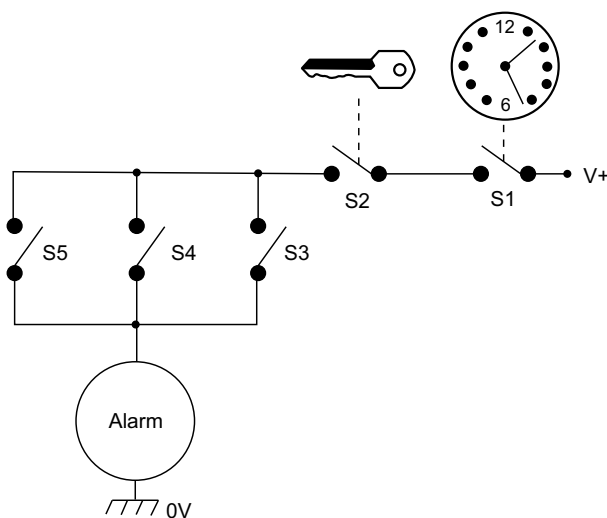
Do aktywacji jednego sygnału alarmowego można użyć kilku czujników z przełączanym wyjściem, łącząc je w odpowiedniej topologii, jak pokazano na **rysunku 6**. W konfiguracji szeregowej alarm włącza się wtedy, gdy jeden z czujników rozłączy styki, które są zwarte w normalnym stanie. W konfiguracji równoległej alarm włącza się, gdy dowolny przełącznik zostanie zamknięty.

W większości rzeczywistych instalacji alarmowych stosuje się różne kombinacje połączeń szeregowych i równoległych, zależnie od wymagań konkretnej aplikacji. Przykład takiego systemu pokazano na **rysunku 7**. Tutaj system alarmowy jest włączany (uzbrajany) poprzez zamknięcie szeregowego przełącznika czasowego S1 i przełącznika kluczowego S2. Po włączeniu alarm można aktywować poprzez naciśnięcie dowolnego z równoległe połączonych przełączników S3...S5.

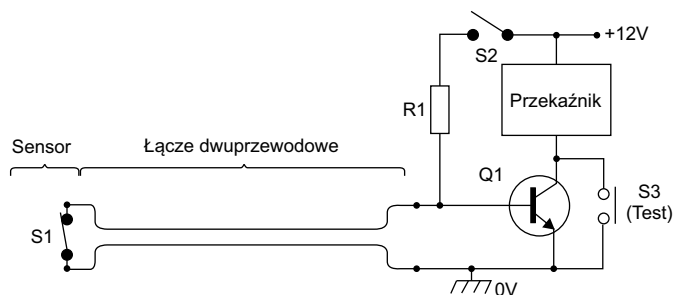
W systemach antywłamaniowych ważnymi i często stosowanymi elementami są sensory normalnie zamknięte, które używane są w sposób zilustrowany na rysunku 3. Są skonfigurowane w układzie tak, że rozłączenie któregośkolwiek z nich powoduje uruchomienie alarmu, ale także przerwanie przewodu pomiędzy nimi również spowoduje jego uruchomienie, co pozwala monitorować ciągłość instalacji. Wadą takiego rozwiązania jest ciągły pobór prądu – przez sensor płynie cały czas niewielki, zależny od R1. Opornik ten powinien mieć dużą rezystancję, aby zredukować pobór prądu, ale wtedy wzrasta podatność układu na zakłócenia.

Łącza danych

Szeregowo podłączone sensory pozwalają na monitorowanie ciągłości połączenia, jednakże nie zawsze jest możliwa realizacja takiego połączenia. Systemy bezpieczeństwa wykorzystują co najmniej dwa łącza danych, które mogą mieć różne długości. Łącza danych



Rysunek 7. Schemat prostego alarmu bezpieczeństwa, wykorzystujący kombinację sensorów połączonych szeregowo i równoległe



Rysunek 8. Dwuprzewodowe podłączenie z normalnie zamkniętym sensorem zapewnia podstawowe bezpieczeństwo

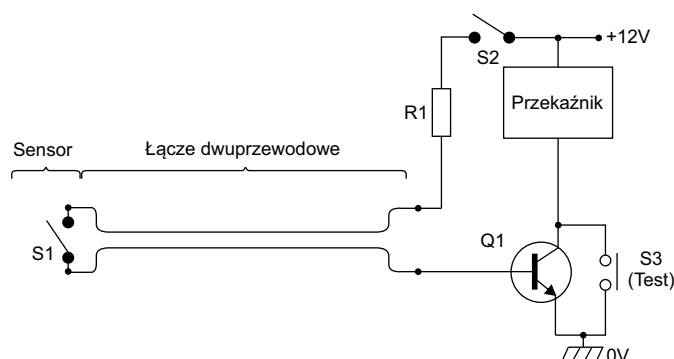
są jednym z głównych elementów składowych systemów zabezpieczenia mienia. Dlatego konieczne jest zapewnienie ich elastyczności i niezawodności.

Większość łączy danych pasuje do jednej z trzech podstawowych kategorii, opisanych poniżej. Oczywiście, niektóre mogą pasować do więcej niż jednej z tych kategorii lub wykorzystywać rozwiązania z dwóch lub nawet trzech z nich.

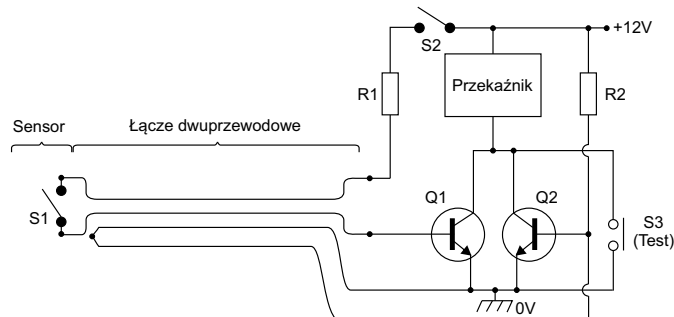
Podłączenia sztywne

Większość przewodowych łączy danych ma postać przewodu wielożyłowego łączącego czujnik lub elementy wykonawcze z główną jednostką sterującą systemu alarmowego. Rysunki od 8 do 10 pokazują przykłady takich połączeń, stosowanych do komunikacji sensorów z wejściem prostej jednostki alarmu przeciwwłamaniowego.

Na **rysunku 8** zaprezentowano podłączony normalnie zamknięty sensor, który może służyć do monitorowania stanu drzwi lub okien. Jest podłączony do urządzenia za pomocą dwóch przewodów. Gdy przełącznik S2 jest zamknięty, Q1 i alarm są uzbrojone. Alarm uruchomi się, gdy S1 zostanie rozarty lub przewód podłączający sensor zostanie przypadkowo (lub celowo) uszkodzony. Z drugiej strony, jeśli sensor



Rysunek 9. Dwuprzewodowe podłączenie z normalnie rozartym sensorem



Rysunek 10. Czteroprzewodowe podłączenie używane z normalnie otwartym przetwornikiem

S1 w podobnym układzie (**rysunek 9**) jest elementem normalnie otwartym, na przykład takim jak mata ciśnieniowa, to o ile układ może działać normalnie, to w przypadku uszkodzenia przewodów nie zostanie to wykryte – obwód ten ma zatem słabą ochronę przeciwsabotażową.

W ostatnim przypadku mamy do czynienia z odmianą powyższego obwodu, ale zmodyfikowaną celem uzyskania wyższego poziomu bezpieczeństwa. System pokazany na **rysunku 10** wykorzystuje do podłączenia do normalnie otwartego sensora cztery przewody. Dwa z nich podłączone są do sensora, a dwa dodatkowe są zwarte na końcu linii (przy sensorze). Dwa zwarte przewody pełnią funkcję sensora przeciwsabotażowego – są dodatkowym sensorem. Gdy uszkodzony zostanie przewód, system uruchomi alarm. Obwód ten ma zatem doskonałą skuteczność przeciwsabotażową i jest często stosowany w miejscach, w których ludzie mają łatwy dostęp do części systemu alarmowego w czasie, gdy nie jest on aktywny.

Łącza optyczne

Łącza optyczne i transoptory są często stosowane w aplikacjach, w których nie jest możliwe lub wygodne użycie klasycznego, przewodowego łącza danych, jakie opisano powyżej. Łącza optyczne występują w trzech podstawowych typach, są to albo podczerwone łącza oparte na wiązkach światła, łącza laserowe albo światłowodowe.

Łącza wykorzystujące wiązkę światła podczerwonego są stosowane głównie w systemach zdalnego sterowania krótkiego zasięgu (mniej niż sześć metrów), ale mogą być skuteczne na odległościach do około 20 m, z dodatkowym układem optycznym. Urządzenia takie są czasami używane (w zastosowaniach domowych) jako łącza danych między np. oddalonymi budynkami gospodarczymi itp. a centralą alarmową. Analogicznie, lasery stosowane są w aplikacjach średniego zasięgu, w których nie jest możliwe zastosowanie przewodowego łącza danych.

Światłowodowe łącza danych są stosowane głównie w systemach, w których łącza jest dość długie (większej niż 10 metrów) i wymaga szerokiego pasma sygnału. Połączenie światłowodowe może działać przy dużym zasięgu, nawet kilku kilometrów.

Łącza radiowe

Bezprzewodowe łącza danych są szeroko stosowane w nowoczesnych domowych systemach alarmowych w celu połączenia różnych czujników systemu z główną jednostką sterującą, co znacznie zmniejsza problemy instalacyjne i umożliwia sterowanie systemem za pomocą małego nadajnika w postaci pilota. Większość systemów tego typu ma zasięg do 30 metrów, ale zaawansowane systemy radiowe mogą zaoferować większy zasięg, jeśli istnieje konieczność podłączania znajdujących się dalej sensorów. Łącza radiowe nie wymagają, tak jak łącza optyczne, aby odbiornik i nadajnik były w zasięgu wzroku. Większość systemów radiowych dosyć dobrze radzi sobie z przeszkodami takimi jak ściany itp.

Podsumowanie

W artykule omówiliśmy podstawowe elementy architektury typowych instalacji alarmowych, stosowane w systemach ochrony mienia. Jakkolwiek postęp technologii sprawia, że urządzenia tego typu są coraz bardziej złożone i rozbudowane, to ich architektura i sposób projektowania nie zmienia się. Takie podejście zapewnia niezawodność i wysoki poziom bezpieczeństwa tych krytycznych systemów.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła:

1. Magazyn „Nuts & Volts”, luty 1998, <https://bit.ly/2URAYXp>
2. Magazyn „Nuts & Volts”, marzec 1998, <https://bit.ly/3aU6Osb>



Ochrona dostępu z użyciem technologii opartych na elektronice

Nasz niezwykle połączony ze sobą świat sprawił, że obiekty, które wcześniej nie miały wartości, stały się cenne. Dotyczy to nie tylko przedmiotów fizycznych, ale i różnego rodzaju tworów niematerialnych, takich jak dane i informacje. Rozwój technologii dał nowe narzędzia osobom, które chcą uzyskać niepowołany dostęp do wartościowych obiektów, ale też pozwala lepiej zabezpieczać cenne zasoby. W artykule opisujemy w jaki sposób można i warto korzystać z elektroniki, by zwalczyć różnego rodzaju zagrożenia bezpieczeństwa dostępu.

Wiek XXI opiera zdecydowaną większość zabezpieczeń na technologiach informatycznych. Być może w przyszłości, wraz z pojawieniem się komputerów kwantowych, sytuacja ta się zmieni, ale obecnie to kryptografia jest podstawą wszelkiego rodzaju mechanizmów chroniących dostęp.

Oczywiście, by kryptografia faktycznie zabezpieczała przed niepowołanym dostępem, musi być odpowiednio zaawansowana i poprawnie zaimplementowana. A żeby była wygodna, musi szybko działać. To sprawia, że jedynym sensownym sposobem jej wykorzystania jest użycie elektroniki z adekwatnymi rozwiązaniami informatycznymi. I choć wielu osobom może wydawać się, że delikatna elektronika nigdy nie będzie tak bezpieczna, jak kawał żeliwnego zamka mechanicznego, w praktyce dobrze zrealizowane algorytmy stanowią znacznie silniejsze zabezpieczenia niż cokolwiek, co jesteśmy w stanie zrealizować mechanicznie.

Bezpieczeństwo mechaniczne a elektroniczne

W ostatnim czasie na rynku pojawia się coraz więcej różnego rodzaju zamków czy nawet klódek opartych na rozwiązaniach elektronicznych. Jak dotąd w Polsce nie cieszą się one dużym powodzeniem, szczególnie w porównaniu do popularności tego typu aplikacji w USA czy w dalekiej Azji. Nie tylko wierzymy w wyższość rozwiązań czysto mechanicznych nad elektronicznymi, ale też wątpimy w jakość wykonania zabezpieczeń elektromechanicznych. I o ile ta podejrzliwość jest bardzo uzasadniona, o tyle ślepa wiara w mechanikę jest zwyczajnie błędna.

Nie każdy zdaje sobie z tego sprawę, ale klasy bezpieczeństwa, jakie przyznaje się poszczególnym zamkom i zabezpieczeniom mechanicznym, odnoszą się bezpośrednio do czasu, jaki jest potrzeby na ich pokonanie. Im wyższa klasa bezpieczeństwa, tym więcej czasu i bardziej zaawansowane narzędzia (w tym elektryczne) są niezbędne do włamania się. Zależnie od przyjętego podziału bywa, że zamki są przewidziane na stawianie oporu przez kilka lub kilkanaście minut. W wielu przypadkach to wartości zupełnie wystarczające, by w praktyce uniemożliwić dostęp do cennych zasobów – wszak 10 minut hałaśliwych prób włamania może być z łatwością wykryte (choć to zależy od otoczenia). W tym kontekście czas potrzebny do złamania bardziej zaawansowanych szyfrów przy użyciu obecnie dostępnych narzędzi, przekraczający czas istnienia Wszechświata, sprawia, że w praktyce każde zabezpieczenie mechaniczne będzie wydawać się bezwartościowe. **O ile nowoczesne narzędzia elektroniczne pozwalają coraz sprawniej łamać zabezpieczenia mechaniczne, o tyle zastosowanie odpowiednio mocnego szyfru będzie nie do pokonania jeszcze przez wiele lat.**

Zatem jak to się dzieje, że pomimo tak zaawansowanych algorytmów, coraz częściej słyszy się o włamaniach do systemów, w których

Tabela 1. Trzy klasy odporności mechanicznej zamka wg normy PN-EN 1303

Klasa	Odporność na wiercenie (w minutach)	Odporność na atak przecinakami (liczba uderzeń)	Odporność na ukłucie (liczba skręceń)	Odporność na wyrwanie z siłą 15 kN (w minutach)	Odporność na moment obrotowy (w Nm)
0	–	–	–	–	1
1	3–5	30	20	3	20
2	5–10	40	30	5	30

bezpieczeństwo oparto na rozwiązaniach informatycznych lub elektronicznych? Praktycznie zawsze przyczyna leży w jednym z dwóch powodów: albo zabezpieczenia zostały błędnie zaimplementowane i nie dołożono odpowiednich starań, by je utrzymać, albo zawiodło coś innego – jak np. otaczająca elektronikę mechanika lub ludzie korzystający z tych zabezpieczeń.

Jakość wykonania

Bardzo dużym problemem we wszelkiego rodzaju zamkach wyposażonych w elektronikę jest zaskakująco niska staranność producentów, by wraz z odpowiednimi zabezpieczeniami algorytmicznymi zapewnić analogiczny poziom zabezpieczeń mechanicznych. W tym kontekście cenna jest podejrzliwość klientów, którzy zazwyczaj całkiem słusznie przewidują małą wytrzymałość zamków wyposażonych w obwody elektroniczne. Przy czym, co zabawne, niemal zawsze słabym ogniwem okazuje się mechanika.

Zamki elektroniczne nierzadko są oferowane jako gadżety technologiczne. Choć wykonane są z metalu, wytwarza się je na liniach produkujących elektronikę użytkową, a więc niezbyt przystosowanych do produkcji elementów wysoce trwałych. Bywa też, że kluczowe elementy blokujące mechanicznie dostęp są wyprodukowane z plastiku i nie potrzeba wcale dużej siły, by je zniszczyć. Producenci bardzo często notują wpadki, pozostawiając niespasowane otwory, niezabezpieczone szczeliny czy nawet niestarannie ukryte śrubki, umożliwiające prosty demontaż lub odbezpieczenie zamka. W końcu problemem pozostaje kwestia awaryjnego zasilania zamka w przypadku utraty prądu – czy to w wyniku wyczerpania się baterii, czy też z uwagi na zatrzymanie dostaw prądu. Na wypadek takich zdarzeń zdecydowana większość zamków jest wyposażana w otwór na klucz mechaniczny, który ma być używany tylko w sytuacjach awaryjnych. I o ile można zakładać, że skoro na co dzień klucz do takiego zamka nie jest w użyciu, a więc jest przechowywany w bardzo bezpiecznym miejscu i trudno go skraść czy podrobić, o tyle same zamki awaryjne są zazwyczaj tak niskiej jakości, że może je otworzyć nawet osoba o minimalnych umiejętnościach. Stąd tak ważne jest, by decydując się na zabezpieczenie elektroniczne, zwrócić uwagę na jego aspekty mechaniczne.

Zabezpieczenia cyfrowe

Tak jak wspomniano powyżej, **drugim ze słabych ogniw są zazwyczaj sami użytkownicy zabezpieczeń**. Jeśli dostęp do danego systemu wymaga podania hasła, to bardziej prawdopodobne jest, że włamywacz wykradnie poświadczenia, niż że złamie zabezpieczenie elektroniczne w inny sposób. W dobie mediów społecznościowych zdobycie odpowiednich danych dostępowych staje się coraz łatwiejsze, gdyż często użytkownicy sami je ujawniają, czy to publicznie, czy też

nieświadomie przekazując włamywaczom komplet danych potrzebnych do zalogowania. W tym zakresie coraz bardziej pomocna staje się nowoczesna elektronika.

Uwierzytelnianie można podzielić na kilka etapów, które wymagają posiadania innych, oddzielnych informacji lub przedmiotów. Idealnie do tego celu nadają się urządzenia elektroniczne, które nie tylko potrafią zagwarantować bardzo wysoki poziom zabezpieczeń, ale też stały się niedrogie i działają na coraz bardziej innowacyjne sposoby.

Wieloskładnikowa autentykacja

Klasycznym sposobem na realizację takiego zabezpieczenia jest token elektroniczny, odpowiednio skonfigurowane, małe urządzenie, wyposażone w zegar czasu rzeczywistego z kalendarzem oraz w trwałe zasilanie baterijne. Dzięki wysokiej precyzji działania jest w stanie generować klucze zgodnie z określonym z góry schematem, wynikającym z algorytmu. Klucz taki – najczęściej kilkucyfrowy – może następnie posłużyć do weryfikacji dostępu. Jeśli użytkownik jest w stanie podać kod przepisany z tokena i zgadza się on z aktualnym kodem, wygenerowanym na urządzeniu autentykującym, to dostęp zostaje przyznany. Tokeny (a właściwie generatory tokenów) tego typu są w użyciu już od wielu lat i nie kosztują wiele, a największe ryzyko, jakie wiąże się z ich użytkowaniem, sprowadza się do możliwości ich kradzieży.

Obecnie chyba najbardziej popularną metodą autentykacji wieloskładnikowej, bo tak określa się właśnie zabezpieczenie polegające na użyciu więcej niż jednego poświadczenia, jest użycie telefonii komórkowej, a konkretnie wiadomości tekstowych SMS z przesłanym kodem, który przepisuje się na podobnej zasadzie jak tokeny. Ma ona tę przewagę, że nie ma możliwości wykradnięcia unikalnego identyfikatora, na podstawie którego generowane są nowe tokeny – mogą one być tworzone losowo. Niestety, opierają się na użyciu telefonu i sieci komórkowej, w której poważnym problemem w ostatnich dwóch latach stały się kradzieże kart SIM. Nie dosłowne, tylko wykonywane poprzez fałszywe zgłoszenie utraty i konieczności wymiany karty, przy wykorzystaniu skradzionych dokumentów. Złodziej jest wtedy w stanie otrzymywać kody potwierdzające, ale musi

**Fotografia 1. Sprzętowy generator tokenów uwierzytelniających****Fotografia 2. Moduł prostego czytnika linii papilarnych**

również dysponować jakimś innym poświadczeniem, które pozwoli mu na pełny dostęp do systemu.

Zabezpieczenia biometryczne

Dlatego z czasem na wartości będą zyskiwać zabezpieczenia oparte na mechanizmach biometrycznych – również realizowanych z wykorzystaniem elektroniki.

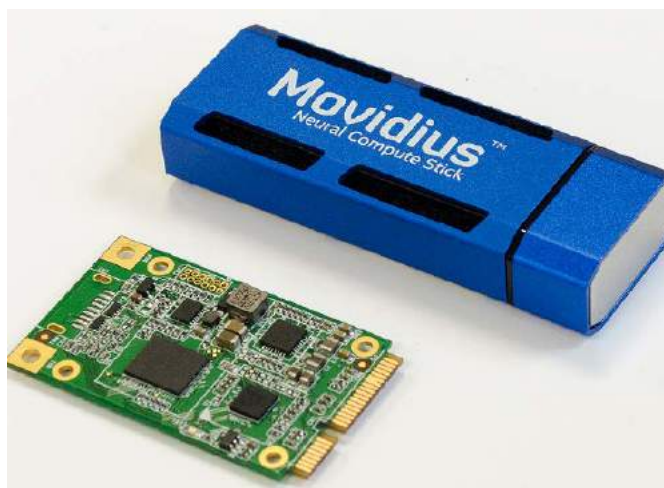
Czytniki linii papilarnych są już komponentami powszechnie dostępnymi i łatwo je zaimplementować. Nie wymagają skomplikowanego oprogramowania – często dostarczane są w postaci gotowych modułów, które pozwalają na zaprogramowanie kilku wzorców odcisków palców. Różnią się między sobą precyzją i szybkością działania. To bardzo istotne cechy, które decydują o tym, czy czujnik faktycznie stanowi zabezpieczenie oraz czy jego użytkowanie jest wygodne. Trzeba bowiem pamiętać, że implementując zbyt niewygodne w korzystaniu metody zabezpieczeń, należy się spodziewać, że ich użytkownicy będą starali się obchodzić zastosowane mechanizmy, co w konsekwencji sprawi, że będą one nieskuteczne.

Dobierając czytniki linii papilarnych, zdecydowanie warto poprosić wcześniej o próbki od różnych producentów i zweryfikować, czy składane przez nich deklaracje niezawodnego działania mają pokrycie w rzeczywistości. Ponadto trzeba pamiętać o tym, że czujniki tego typu mogą być narażone na uszkodzenia – ich podatność też wypada przetestować, szczególnie jeśli mają zabezpieczać obiekty zewnętrzne.

Czytniki linii papilarnych oczywiście też da się oszukać, przy czym różnice w zastosowanych technologiach, precyzji działania i jakości wykonania silnie wpływają na łatwość złamania takiego zabezpieczenia.

W ostatnich czasach popularyzuje się wykorzystanie mechanizmów rozpoznawania twarzy. Jest ono coraz łatwiejsze do zaimplementowania dzięki rozwojowi technik sztucznej inteligencji. Proces przetwarzania obrazów może być przeprowadzany w chmurze, jeśli pozwala na to infrastruktura. I właśnie w ten sposób najczęściej się to realizuje, choćby dlatego że i dane osób uprawnionych do odbezpieczenia systemu często przechowywane są na zdalnych serwerach. Nowoczesne technologie pozwalają już na szybkie rozpoznawanie wielu twarzy jednocześnie na miejscu, bez potrzeby korzystania z centrów danych. Z całą pewnością tego typu aplikacje będą się szybko rozwijały w najbliższych latach.

Niestety, klasyczne rozpoznawanie twarzy nie nadaje się obecnie do zapewnienia wysokiego stopnia bezpieczeństwa. Zdecydowanie lepiej sprawdza się jako mechanizm rozróżniania użytkowników, by zwiększyć wygodę korzystania z systemów. Typowe systemy oparte na analizie obrazu z kamery da się z łatwością oszukać za pomocą wydrukowanej, a czasem nawet pokazanej na wyświetlaczu fotografii. Dlatego w ostatnim czasie pojawiły się nieco bardziej rozbudowane



Fotografia 4. Intel Movidius – sprzętowe moduły sztucznej inteligencji o mocy obliczeniowej wystarczającej do błyskawicznego rozpoznawania nawet wielu twarzy jednocześnie, bez korzystania z chmury obliczeniowej

metody, które polegają na zastosowaniu dodatkowego czujnika, mierzącego głębokość rejestrowanego obrazu. Mowa o sensorach ToF (*Time of Flight*), które mierzą czas potrzebny na odbicie światła od badanego obiektu. Nie są to jednak zwykłe czujniki do mierzenia odległości. Tak jak sensory CMOS różnią się od czujników natężenia światła, tak sensory ToF różnią się od laserowych mierników odległości. Cechują się rozdzielczością, która mówi o tym, z jaką precyzją są w stanie wykreować obraz opisujący kształt obiektu. Zastosowanie czujnika ToF wraz z sensorem obrazu i bardziej rozbudowanym algorytmem rozpoznawania twarzy umożliwia implementację zabezpieczenia, które aktualnie uważa się za bezpieczne. Do jego oszukania konieczne byłoby sięgnięcie po trójwymiarowy, kolorowy model twarzy.

Pozostałe dwie technologie biometryczne, rozpoznawanie siatekówek i rozpoznawanie głosu, nie są aktualnie powszechnie stosowane. Pierwsze z tych zabezpieczeń uważa się za bardzo zaawansowane i jest implementowane tylko w nietypowych sytuacjach. Drugie natomiast jest zbyt łatwo złamać poprzez użycie zarejestrowanego wcześniej nagrania głosu osoby upoważnionej do dostępu. Niemniej systemy rozpoznawania głosu jest dość łatwo zaimplementować i nie wymagają stosowania zaawansowanych komponentów elektronicznych.

Co wybrać?

Aktualnie najlepszą praktyką inżynierską wydaje się użycie więcej niż jednego zabezpieczenia. Mowa nie tylko o autentykacji dwuskładnikowej, ale wręcz trzyskładnikowej. Świetnym przykładem



Fotografia 3. Rozpoznawanie twarzy wymaga zaawansowanej analizy obrazów



Rysunek 1. Producenci półprzewodników tworzą kompleksowe platformy zabezpieczeń, ułatwiających tworzenie w pełni bezpiecznych rozwiązań elektronicznych



Fotografia 5. Czujnik Time of Flight

tego typu mechanizmu jest wykorzystanie do logowania hasła, które musi pamiętać użytkownik oraz tokena (czy to generowanego jednocześnie, czy w oparciu na kluczu), ale z jednoczesnym zabezpieczeniem biometrycznym. Niektóre z komercyjnie dostępnych systemów logowania bazują na założeniu, że użytkownicy posiadają smartfony z aparatami z dwóch stron urządzenia. Procedura logowania do systemu elektronicznego wymaga wtedy nie tylko podania hasła i ewentualnie tokenu, ale też jednoczesnego zeskanowania kodu graficznego (z użyciem obiektywu z tyłu smartfona) zaprezentowanego na ekranie i zeskanowaniu twarzy użytkownika (z użyciem aparatu i ew. czujnika ToF z przodu smartfona). To jedno z najbardziej zaawansowanych rozwiązań, które ponadto uniemożliwia skopiowanie tokena i przekazanie go osobom trzecim.

To właśnie takie i inne połączenia kilku technik uwierzytelniania, oparte na elektronice, będą stanowiły najbardziej przyszłościowe i zalecane rozwiązania w najbliższych latach.

Zabezpieczenia zabezpieczeń

Wszystkie opisane powyżej techniki to sposoby na zabezpieczenie dostępu do obiektów lub systemów, ale w elektronice jest jeszcze jeden obszar, który można zabezpieczać – mowa o samych mechanizmach ochronnych. Wynika to z faktu, że przy odpowiedniej manipulacji podzespołami lub systemami da się oszukać system tak, by uzyskać niepozwolony dostęp do chronionych obiektów. Co więcej, wartość samą w sobie mogą mieć zaimplementowane algorytmy, które też często należy chronić.

Zabezpieczenia elektroniczne można pokonać na jeden lub nawet dwa dodatkowe sposoby. Pierwszy polega na rozmontowaniu elektroniki i takim doprowadzeniu do niej sygnałów, by pozwoliła na dostęp do chronionych elementów. Drugi ze sposobów dostępny jest tylko, jeśli zabezpieczenie opiera się na wykorzystaniu ruchu sieciowego. Odpowiednie manipulowanie przesyłanymi pakietami pozwala zasymulować zgodę na dostęp do zasobów.



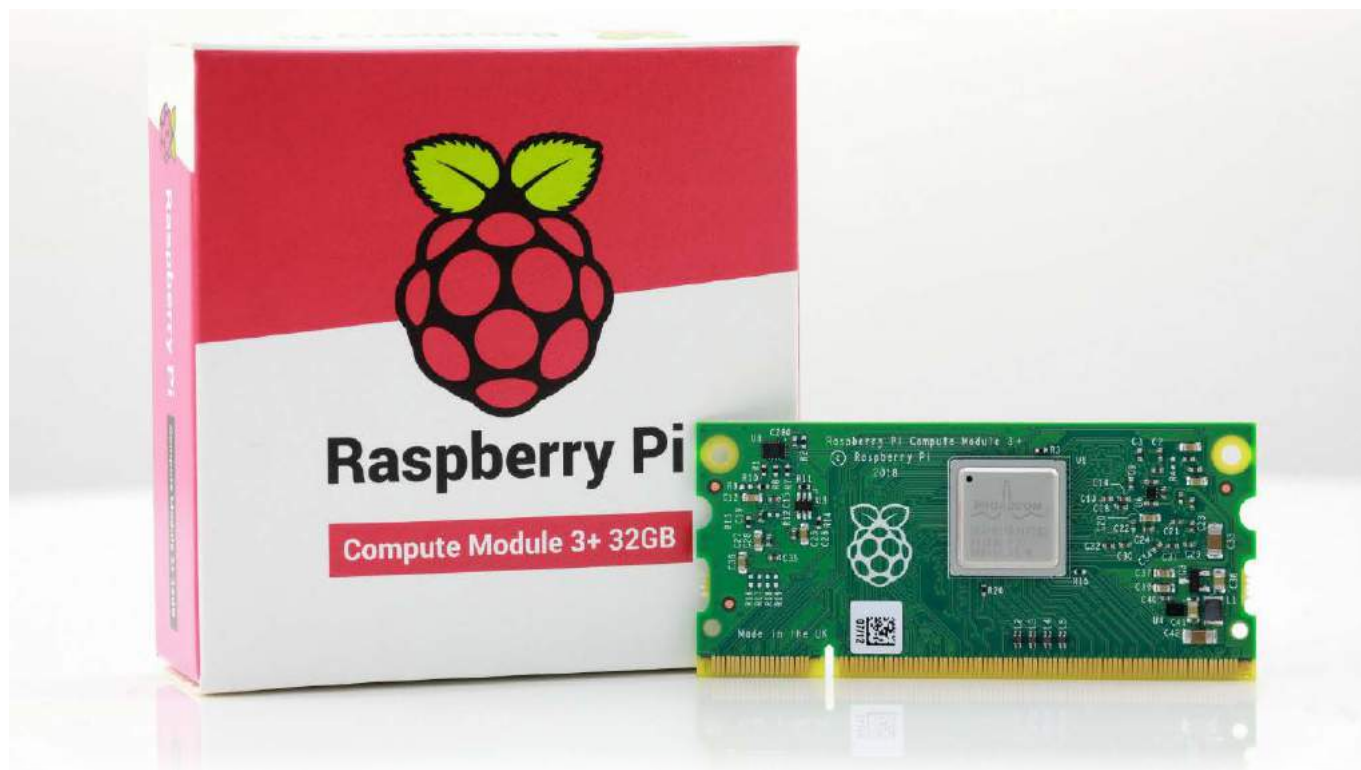
Fotografia 6. Logowanie do systemu z użyciem hasła, kodu graficznego i biometriki

Znacznie ciekawsze z punktu widzenia elektroników jest ochronienie się przed pierwszym z opisanych problemów. Producenci układów scalonych opracowują specjalne mechanizmy, których celem jest wykrywanie niepożądanego manipulacji przy obwodach. Typowo stosowane metody opierają się na detekcji przerw, obniżenia lub utraty napięcia na określonych wyprowadzeniach układu. Jeśli takie zjawisko miało miejsce, to jest możliwe, że ktoś spróbował dostać się do układu i odpinał jego połączenia. W takiej sytuacji scalak może przejść w tryb autodestrukcji – o ile nie tak wybuchowy jak na filmach, to po prostu polegający na wyczyszczeniu zapisanej pamięci, a więc całkowitym ukryciu przechowywanych danych i trwałym uniemożliwieniu dostępu do chronionych zasobów. Jeśli obwód nie ma wbudowanych aż tak zaawansowanych mechanizmów wykrywania prób włamania, czasem wystarczy prosta detekcja otwarcia obudowy urządzenia. Da się ją zrealizować nawet przy wyłączonym urządzeniu, pozostawiając pewien ładunek zgromadzony w kondensatorze, który wykorzystywany jest do wyzerowania pamięci układu w momencie, gdy przełącznik krańcowy wykrywający obecność obudowy zostanie zwolniony.

Natomiast przed zagrożeniami sieciowymi warto zabezpieczać się, stosując odpowiednie mechanizmy programowe, takie jak sieci VPN i szyfrowanie. Ponieważ wszystko to co opiera się na zaawansowanych algorytmach kryptograficznych, niemal zawsze polega na dosyć skomplikowanym kodzie oprogramowania, zdecydowanie warto jest pilnować, by podłączony do sieci sprzęt elektroniczny miał możliwość aktualizacji firmware'u. Dobrze jest też zapewnić wygodne metody pobierania i instalacji aktualizacji, dzięki którym użytkownicy końcowi będą mogli zadbać o bezpieczeństwo swoich systemów przez cały, długi czas życia produktu. Warto też poszukać takich dostawców półprzewodników, którzy w swe układy wprowadzają sprzętowe mechanizmy szyfrowania, znacznie przyspieszające pracę z certyfikatami i kryptografią.

Marcin Karbowniczek, EP

<http://forum.ep.com.pl>



Compute Module, czyli nie taki SoM straszny (1)

Komputerka Raspberry Pi nie trzeba prezentować, znają go wszyscy zainteresowani systemami wbudowanymi. Nieco gorzej wygląda sytuacja z modułem dedykowanym aplikacjom profesjonalnym – Compute Module, pomimo że jest on dostępny w zasadzie równolegle od pojawienia się maliny...

Raspberry Pi stosowany jest w sporej liczbie aplikacji profesjonalnych, chociaż nie został do nich zaprojektowany. O wyborze klasycznych wersji A+/B+ lub Zero decyduje ich niska cena, dostępność, łatwość implementacji, wsparcie użytkownika oraz sprawdzona w porównaniu z rozwiązaniami konkurencyjnymi stabilność sprzętu. W wielu przypadkach Raspberry Pi wyparło droższe komputery typu box oparte na platformie Intela lub AMD. W związku z oczekiwaniami użytkowników projektujących urządzenia komercyjne lub pracujące

w mniej wymagających aplikacjach przemysłowych, fundacja wprowadziła Raspberry Pi w formie modułu SOM (System On Module) i nazywała go Compute Module (CM).

Wersje modułów CM

Moduły z trzech dostępnych generacji są zgodne wyprowadzeniami I/O. W kolejności chronologicznej rozwijały się następująco:

- **CM1** – wprowadzony w kwietniu 2014 (**fotografia 1**), oparty na SoC Broadcom BCM2835 taktowany zegarem 700 MHz, mający 512 MB RAM i 4 GB pamięci eMMC Flash. Pomimo że jest on w dalszym ciągu dostępny i według zapewnień fundacji sytuacja nie zmienia się co najmniej do stycznia 2023, ekonomiczniej jest zastosować wydajniejsze nowsze moduły,
- **CM3** – zastępujący CM1, a wprowadzony w styczniu 2017 (**fotografia 2**), oparty na Soc Broadcom BCM2837 taktowany zegarem 1200 MHz, 1 GB RAM i 4 GB wbudowanej pamięci eMMC



Fotografia 1. Raspberry Pi Compute Module CM1
(z materiałów www.raspberrypi.org)



Fotografia 2. Raspberry Pi Compute Module CM3
(z materiałów www.raspberrypi.org)



Fotografia 3. Raspberry Pi Compute Module CM3+ (z materiałów www.raspberrypi.org)

Flash. Dostępna jest też wersja CM3Lite, bez wbudowanej pamięci eMMC, który współpracuje z kartą SD, podłączoną do wyprowadzeń modułu SODIMM. Warto wspomnieć, że moduł z wbudowaną pamięcią eMMC nie działa z zewnętrzną kartą SD. Na etapie wyboru nośnika dla systemu należy przemyśleć temat, gdyż zmiany mogą być dość kosztowne. Jeżeli mamy możliwość umieszczenia na płytce podstawki pod kartę SD, to warto pozostawić możliwość pracy obu typów CM3 i CM3Lite w jednym urządzeniu. Planowana dostępność CM3, CM3Lite określona została na styczeń 2023.

- **CM3+** – najnowszy, uzupełniający ofertę i w przyszłości zastępujący CM3 wprowadzony w styczniu 2019 (fotografia 3). Nowa wersja oparta jest na Soc Broadcom BCM2837B0 taktowany zegarem 1200 MHz, ma wbudowane 1 GB RAM. W zależności od wersji, dostępna wbudowana pamięć eMMC ma rozmiar 8/16/32 GB, co spełnia wymogi nawet pełnych wersji instalacyjnych Raspbiana z nakładką graficzną. Wielkość wbudowanej pamięci eMMC oczywiście ma odbicie w cenie modułu wynoszącej odpowiednio 30/35/40 \$. Udostępniona jest też wersja CM3+Lite bez wbudowanej Flash i współpracująca z kartą SD podłączoną do wyprowadzeń modułu SODIMM, w cenie 25 \$. Podobnie jak w przypadku CM3 warto wspomnieć, że moduł z wbudowaną pamięcią eMMC nie współpracuje z zewnętrzną kartą SD. Dla mocno dociekliwych możliwe jest przekonfigurowanie kilku elementów na module, aby taka współpraca była możliwa. Swoją drogą nieco irytujące jest wyprowadzenie sygnałów dla karty SD w CM3+Lite poprzez złącze SODIMM, znacznie wygodniejsze byłoby umieszczenie podstawki pamięci na samym module, w miejscu niewylutowanej pamięci eMMC, tak jak robią to inni producenci rozwiązań SOM. Jedyne co przemawia za takim rozwiązaniem to możliwość wyboru formatu kart pamięci pełnej SD i uSD uzależniona od zastosowanej w urządzeniu podstawki. Planowana dostępność CM3+, CM3+Lite określona została na styczeń 2026 i ten moduł można uznać obecnie za wersję preferowaną do nowych urządzeń. CM3+ jest nieznacznie wyższy (radiator z SoC), co nie powinno stanowić problemu przy zamianie z CM3.

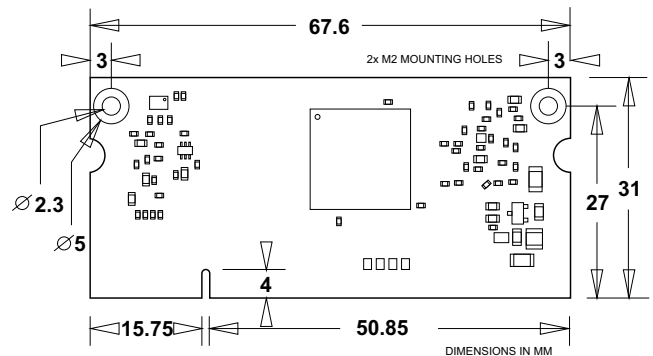
W trakcie pisania artykułu nieznane były plany fundacji odnośnie do wersji CM4, bazującej na SoC z Pi4. Pewnie z biegiem czasu ujrzy on światło dzienne, po usunięciu problemów z „pełnej” wersji Raspberry Pi 4. Można przypuszczać jednak, że pojawią się

zmiany podstawki lub standardu wyprowadzeń ze względu na pobieraną moc i dodane szybkie interfejsy komunikacyjne.

Złącze

Wszystkie CM mają formę modułu SODIMM o 200 wyprowadzeniach zgodnego z podstawką DDR2 1,8 V. Pojawiają się niestety drobne szczegóły natury mechanicznej, na które należy zwrócić uwagę przy wyborze typu podstawki. Jest to oczywiście tylko zgodność mechaniczna i nie należy pod żadnym pozorem próbować uruchamiać CM w miejscu pamięci DDR2.

Wymiary modułu pokazuje rysunek 1. Z praktycznie sprawdzonych i pasujących złączy mogą polecić TE Connectivity typu 1473005-4 obowiązkowo z dodatkowymi tulejkami M2 w zaznaczonych miejscach. Tylko taki montaż zapewnia stabilność mechaniczną CM. Niestety nie udało mi się dobrać złączy w wersji pionowej, takiego jak np. Attend 121B-150A00, a taki montaż czasem też jest przydatny. Sprawa rozbija się o uchwyty podtrzymujące płytkę w pionie.



Rysunek 1. Wymiary CM3+ (z materiałów www.raspberrypi.org)

Tabela 1. Rozkład wyprowadzeń CM3+ (z materiałów www.raspberrypi.org)

CM3+	CM3+ Lite	PIN	PIN	CM3+	CM3+ Lite	CM3+	CM3+ Lite	PIN	PIN	CM3+	CM3+ Lite
GND		1	2	EMMC_DISABLE_N		DSIO_DN0		99	100	DSI1_CP	
GPIO0		3	4	NC	SDX_VDD	DSIO_DP0		101	102	DSI1_CN	
GPIO1		5	6	NC	SDX_VDD	GND		103	104	GND	
GND		7	8	GND		DSIO_CN		105	106	DSI1_DP3	
GPIO2		9	10	NC	SDX_CLK	DSIO_CP		107	108	DSI1_DN3	
GPIO3		11	12	NC	SDX_CMD	GND		109	110	GND	
GND		13	14	GND		HDMI_CLK_N		111	112	DSI1_DP2	
GPIO4		15	16	NC	SDX_D0	HDMI_CLK_P		113	114	DSI1_DN2	
GPIO5		17	18	NC	SDX_D1	GND		115	116	GND	
GND		19	20	GND		HDMI_D0_N		117	118	DSI1_DP1	
GPIO6		21	22	NC	SDX_D2	HDMI_D0_P		119	120	DSI1_DN1	
GPIO7		23	24	NC	SDX_D3	GND		121	122	GND	
GND		25	26	GND		HDMI_D1_N		123	124	NC	
GPIO8		27	28	GPIO28		HDMI_D1_P		125	126	NC	
GPIO9		29	30	GPIO29		GND		127	128	NC	
GND		31	32	GND		HDMI_D2_N		129	130	NC	
GPIO10		33	34	GPIO30		HDMI_D2_P		131	132	NC	
GPIO11		35	36	GPIO31		GND		133	134	GND	
GND		37	38	GND		CAM1_DP3		135	136	CAM0_DP0	
GPIO0-27_VDD		39	40	GPIO0-27_VDD		CAM1_DN3		137	138	CAM0_DN0	
KEY						GND		139	140	GND	
GPIO28-45_VDD		41	42	GPIO28-45_VDD		CAM1_DP2		141	142	CAM0_CP	
GND		43	44	GND		CAM1_DN2		143	144	CAM0_CN	
GPIO12		45	46	GPIO32		GND		145	146	GND	
GPIO13		47	48	GPIO33		CAM1_CP		147	148	CAM0_DP1	
GND		49	50	GND		CAM1_CN		149	150	CAM0_DN1	
GPIO14		51	52	GPIO34		GND		151	152	GND	
GPIO15		53	54	GPIO35		CAM1_DP1		153	154	NC	
GND		55	56	GND		CAM1_DN1		155	156	NC	
GPIO16		57	58	GPIO36		GND		157	158	NC	
GPIO17		59	60	GPIO37		CAM1_DP0		159	160	NC	
GND		61	62	GND		CAM1_DN0		161	162	NC	
GPIO18		63	64	GPIO38		GND		163	164	GND	
GPIO19		65	66	GPIO39		USB_DP		165	166	TVDAC	
GND		67	68	GND		USB_DM		167	168	USB_OTGID	
GPIO20		69	70	GPIO40		GND		169	170	GND	
GPIO21		71	72	GPIO41		HDMI_CEC		171	172	VC_TRST_N	
GND		73	74	GND		HDMI_SDA		173	174	VC_TDI	
GPIO22		75	76	GPIO42		HDMI_SCL		175	176	VC_TMS	
GPIO23		77	78	GPIO43		RUN		177	178	VC_TDO	
GND		79	80	GND		VDD_CORE (DON'T CONNECT)		179	180	VC_TCK	
GPIO24		81	82	GPIO44		GND		181	182	GND	
GPIO25		83	84	GPIO45		1V8		183	184	1V8	
GND		85	86	GND		1V8		185	186	1V8	
GPIO26		87	88	HDMI_HPD_N_1V8		GND		187	188	GND	
GPIO27		89	90	EMMC_EN_N_1V8		VDAC		189	190	VDAC	
GND		91	92	GND		3V3		191	192	3V3	
DSIO_DN1		93	94	DSI1_DP0		3V3		193	194	3V3	
DSIO_DP1		95	96	DSI1_DN0		GND		195	196	GND	
GND		97	98	GND		VBAT		197	198	VBAT	
						VBAT		199	200	VBAT	

Niestety w miejscach, gdzie pamięci mają prostą krawędź umożliwiającą podtrzymanie płytki, CM ma slot przeznaczony do łamania po montażu i uchwyty nie mają stabilnego miejsca zaczeplenia (**fotografia 4**).

Dzięki zastosowaniu złącza SODIMM w porównaniu do wersji A/B Raspberry zwiększona mogła zostać liczba wyprowadzeń GPIO (do 48) i dostępnych (niektóre współdzielone z GPIO) interfejsów. CM3+ zawiera interfejsy 2×I²C, 2×SPI, 2×UART, 2×SD/SDIO, HDMI 1.3, DPI RGB, 2×CSI (interfejs kamery 1×4 linie 1 GB + 1×2 linie 1 GB), 2×DSI (interfejs szeregowy wyświetlacza 1×4 linie 1 GB + 1×2 linie 1 GB), pamięci NAND SMI. Interfejsy są dostępne w kilku alternatywnych konfiguracjach GPIO (ALT0-5). Umożliwia to wykorzystanie ich w bardziej elastyczny sposób niż w PI A/B. Przykładowo w konfiguracji ALT2 możliwe jest jednocześnie podłączenie taniego wyświetlacza DPI RGB i interfejsu I²S, co z pewnością ucieszy konstruktorów rozwiązań multimedialnych. Pełna lista sygnałów dostępnych na złączu SODIMM pokazana jest w **tabeli 1**.

Zakres temperatur

Aktualnie na rynku dostępne są trzy rodziny Compute Module do aplikacji komercyjnych o określonym przez producenta zakresie temperatury pracy -25...+80°C. Niestety nie jest to pełny zakres przemysłowy -40...+85°C, co zmniejsza zakres zastosowań modułu lub wymaga dodatkowych wentylatorów czy grzałek, co nie zawsze jest akceptowalne w aplikacji. Zawężony zakres temperatur pracy tłumaczony jest ograniczeniami układów eMMC i RAM.

Jeżeli użytkujemy CM3 w wyższych temperaturach, należy zapewnić dodatkowe chłodzenie SoC, w przeciwnym wypadku zmniejszy on taktowanie, a co za tym idzie wydajność. Jeżeli CM3 będzie narażony na wibracje, to mocowanie radiatora nie powinno polegać na przyklejeniu go klejem termoprzewodzącym do obudowy SoC, bo w skrajnym przypadku może doprowadzić to do popęknięcia lub zerwania kulek obudowy BGA. Radiator w postaci kawałka blachy aluminiowej może zostać oparty na dystansach i otworach M2 mocujących CM3 do płytki. Kontakt termiczny radiatora z SoC powinien zostać zrealizowany przez elastyczną podkładkę termoprzewodzącą.

Budowa

Budowę modułu pokazuje **rysunek 2**. W zasadzie ogranicza się do SoC, RAM (i w zależności od wersji, także pamięci eMMC) oraz kilkunastu elementów biernych. Na płycie nie znajdziemy typowych dla rozwiązań konkurencyjnych (SoMLabs, Grinn, Variscite) wbudowanych interfejsów, takich jak Wi-Fi, Bluetooth, PHY Ethernet lub przynajmniej interfejs MII/RMII lub kontroler PMIC. Obniża to oczywiście koszt samego modułu CM, ale zrzuca część zadań na projektanta urządzenia, a nie do końca o to chodzi przy

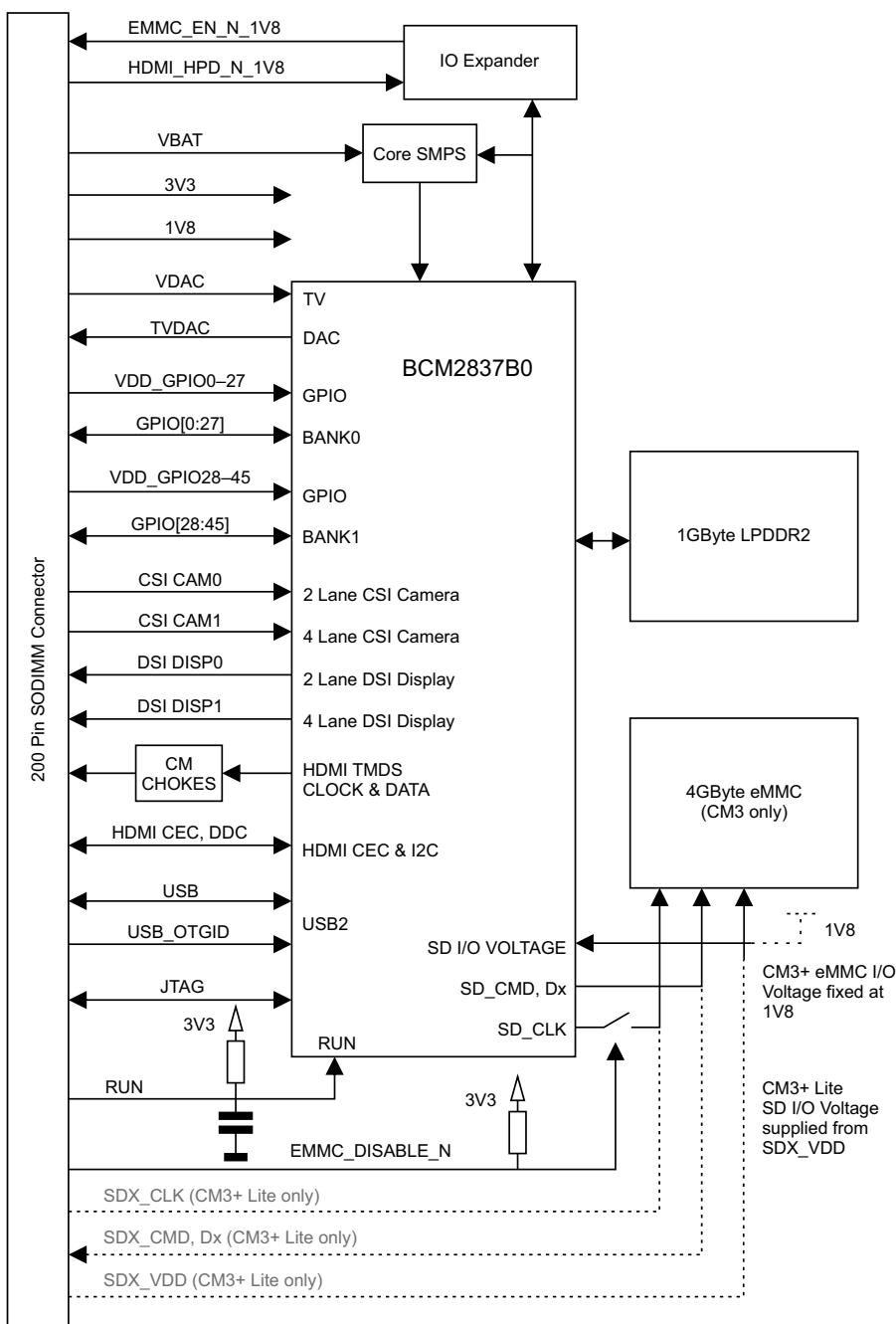


Fotografia 4. Problem pionowego mocowania CM3+

wykorzystaniu modułów SoM. Sprawa jest o tyle istotna, że zapewnienie jakiegokolwiek komunikacji sieciowej potrzebne jest dzisiaj chyba w 99% urządzeń.

Niestety producent kompletnie nie wspiera projektantów – brak gotowych i sprawdzonych bloków typowych interfejsów komunikacyjnych. Nie ma też wielkiego wyboru szybkich interfejsów komunikacyjnych, pozostaje aż jeden port USB2.0, który w wersjach z eMMC pełni także funkcję interfejsu programowania wbudowanej pamięci. Wymaga to w aplikacji kolejnych elementów niezbędnych do przełączania funkcji tj., sterowanego zewnętrznym sygnałem OTG multipleksera USB2.0 przykładowo typu FSUSB42 lub TS3USB221.

Jeżeli zależy nam na rozmiarze urządzenia i nie możemy zastosować pełnej wersji Pi, konieczne będzie wykorzystanie interfejsu USB2.0 i mostków USB/Ethernet takich jak LAN9512, LAN9514 lub korzystającego z SPI układu ENC28J60 (o ile oczywiście nie mamy zamiaru pisać driverów dla innych niewspieranych układów). W prostszych aplikacjach, gdy nie wykorzystujemy USB, możliwe jest zastosowanie w roli interfejsu Ethernet popularnych układów RTL8152 lub modułów Wi-Fi/USB typu M08-33, lub M08-50 z układem



Rysunek 2. Budowa wewnętrzna CM3+ (z materiałów www.raspberrypi.org)

RT5370N, lub RTL8188. Gdy aplikacja wymaga większej liczby portów USB, polecam zastosowanie czteroportowych hubów TUSB2048, GL850, FE1.1 lub USB2412, jeżeli wystarczają nam tylko dwa porty USB. Gdy mamy zamiar wykorzystać zewnętrzny dysk SATA, pozostaje zastosowanie mostka USB/SATA typu GL830.

Przy większej liczbie interfejsów ich aplikacja jest dość karkołomna i każdorazowo należy rozpatrzyć, czy dokładać do CM kolejne huby lub mostki USB, czy jednak ekonomiczniej i bardziej niezawodnie wykorzystać moduł SOM z wbudowanymi portami Ethernet, SATA, PCIe i kilkoma portami USB. Tym bardziej że przy rosnących wymaganiach co do ilości przesyłanych danych współdzielone USB2.0 może nie sprostać zadaniu.

Zasilanie

W kwestii zasilania CM wymagane jest dostarczenie sześciu napięć. Rozdzielone są one na wewnętrzne bloki funkcjonalne:

- VBAT zasila rdzeń SoC,
- 3,3 V i 1,8 V zasilają peryferia SoC,
- VDD_GPIO0...27 i VDD_GPIO28...45 zasilają porty GPIO SoC, ułatwia to dopasowanie podobnie jak w FPGA do napięć współpracujących układów, co przy odpowiedniej konstrukcji eliminuje lub zmniejsza liczbę niezbędnych konwerterów poziomów napięć I/O,
- VDAC zasila przetwornik TV DAC i w przypadku wykorzystania należy zadbać o jego odpowiednią filtrację.

Wszystkie napięcia muszą być dostarczone do CM, niezależnie od wykorzystania poszczególnych bloków. W minimalnej konfiguracji oznacza to generowanie przez zewnętrzny zasilacz napięć

5 V, 3,3 V, 1,8 V. Pobór mocy dla każdego z napięć określony jest w karcie katalogowej, należy jednak zwrócić uwagę, że wynikowa wydajność zasilacza musi uwzględniać także pobór mocy podłączonych peryferii.

Można mieć pretensje do rozwiązania zaproponowanego przez fundację. Większość nawet bardziej złożonych SoM wymaga tylko jednego napięcia zasilania, przeważnie 5 V, pozostałe generowane są wewnętrznie przez kontroler zasilania PMIC, co zdecydowanie ułatwia aplikację. Zintegrowany w SoM układ zarządzania zasilaniem zwalnia nas też z obowiązku zapewnienia odpowiedniej sekwencji załączania i wyłączania napięć zasilających. Nie jest ona w przypadku CM3 jakoś specjalnie skomplikowana, lecz musi zostać zachowana, aby nie uszkodzić SoC.

Zalecane są dwie sekwencje, pierwsza wymaga, aby napięcia pojawiały się w kolejności od najwyższego do najniższego, druga dopuszcza, że napięcia pojawiają się jednocześnie, ale musi zostać zachowany warunek, aby nigdy niższe napięcie zasilania nie przekroczyło wartości wyższego napięcia zasilającego.

Podsumowanie

Moduły CM wymagają przemyślanych płytek uruchomieniowych. Bez ich zastosowania rozpoczęcie pracy z CM może się wydłużyć o czas niezbędny na zaprojektowanie, wykonanie i poprawianie własnej płytki. O dostępnych rozwiązaniach opowiem w kolejnej części artykułu.

Adam Tatus, EP

adam.tatus@ep.com.pl

REKLAMA

m.technik
Ciekawi świata są zawsze młodzi

w prezencie na każdą okazję

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

przejrysz i kupisz na
www.ulubionykiosk.pl

Magazine cover details:
nr 5, maj 2020
ANDREAS STIHL
Pila – historia prawdziwa
m.technik
Ciekawi świata są zawsze młodzi
ŚWIAT DO REMONTU
RAPORT: Wojny streamingowe – Netflix i inni
Czy mały Yoda wygra grę o tron z Wiedźminem



Jak napisać aplikację mobilną poprzez... UART (2)

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

W pierwszej części artykułu zaprezentowany został projekt modułu BBMobile z interfejsem BLE (Bluetooth Low Energy). Przyjmuje on przez port szeregowy UART kod JSON (JavaScript Object Notation) i na jego podstawie buduje aplikację działającą na urządzeniu mobilnym – tablecie, smartfonie. Wspomnieliśmy też o składni samego JSON-a, tworząc dwa proste, przykładowe interfejsy użytkownika.

Pora na szczegółowe przedstawienie kontrolki oraz omówienie procesu projektowania i testowania aplikacji mobilnych budowanych poprzez UART. Zrobimy to, przechodząc pełny proces tworzenia projektu o roboczej nazwie REMOTE SWITCH. Finalnie będzie on umożliwiał bezprzewodowe sterowanie dowolnym urządzeniem elektrycznym z dowolnego urządzenia mobilnego, korzystając z technologii BLE.

Wybór i przygotowanie urządzenia mobilnego

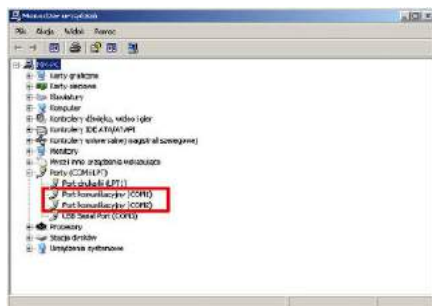
Z modułem BBMobile współpracują wszystkie urządzenia mobilne z systemem Android wyposażone w Bluetooth od wersji 4.0. Jest to najnowsza odsłona dobrze znanego interfejsu radiowego, używanego niegdyś

głównie w bezprzewodowych systemach audio. Rewolucyjne wręcz zmiany, które rozpoczęły się z chwilą wprowadzenia w 2010 roku Bluetooth Low Energy, z każdą nową wersją rozszerzają możliwości standardu.

Po pobraniu, zainstalowaniu i uruchomieniu aplikacji BBMobile wszystko jest gotowe do zestawienia połączenia z modułem. Dotknięcie guzika START rozpocznie skanowanie w poszukiwaniu dostępnych kompatybilnych urządzeń BLE. W systemach Android od wersji 6.0 wżwyz konieczne jest uprzednie włączenie systemowej usługi lokalizacji, aby możliwe było korzystanie z Bluetooth LE. W przeciwnym wypadku podczas skanowania nie będą widoczne żadne urządzenia, z którymi można by zestawiać połączenie. Wyniki skanowania przedstawiane są w postaci listy, z której wybieramy interesujące nas urządzenie.

Mały zestaw dewelopera

Do portu szeregowego modułu BBMobile (piny 18 – TxD, 19 – RxD, 20 – Gnd) podłączamy konwerter USB ↔ UART. Na komputerze PC instalujemy niezbędne dla niego sterowniki. Po tej operacji w systemie pojawiają się wirtualne porty COM, których numery można sprawdzić, otwierając menadżera urządzeń, jak pokazuje **rysunek 1**. Następnie instalujemy i uruchamiamy dowolny program terminalu. Dobrym wyborem jest niezwykle funkcjonalny TeraTerm, który można pobrać z witryny Tera Term Open Source Project. W menu *Setup* → *Serial Port* ustawiamy parametry transmisji, jak pokazuje **rysunek 2**, a w *Setup* → *Terminal* parametry samego terminalu jak na **rysunku 3**. Oczywiście wybrany numer portu COM musi odpowiadać istniejącemu w systemie i skojarzonemu z konwerterem USB ↔ UART. Teraz włączamy zasilanie modułu i na ekranie spodziewamy się powitania, dzięki któremu już wiemy, że kolejne komunikaty wysyłane przez moduł będą do nas docierać bez zakłóceń. Pozostaje jeszcze sprawdzić komunikację od terminalu do modułu. Wpisujemy zatem komendę: <hello i naciskamy Enter. Jeśli ekran terminalu wygląda teraz tak,



Rysunek 1. Wirtualne porty COM, których numery są widoczne w menadżerze urządzeń



Rysunek 2. Parametry transmisji

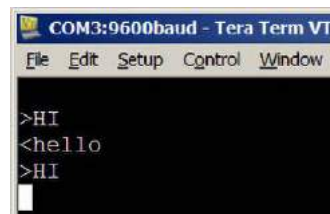


Rysunek 3. Konfiguracja terminalu

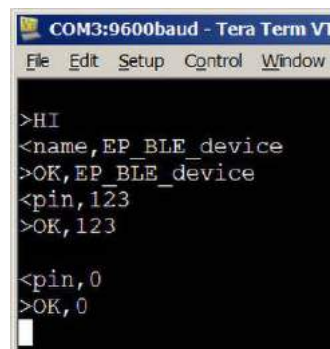
jak ten z **rysunku 4**, to mamy pewność, że komunikacja z modulem działa prawidłowo w obie strony.

Teraz, gdy połączenie BLE nie jest jeszcze zestawione, możemy skonfigurować kilka funkcji modułu. Komendy dostępne w trybie bezpołączeniowym zawiera **tabela 1**. Komenda <name pozwala zmienić domyślną

nazwę modułu na dowolną inną o maksymalnej długości 25 znaków. Wpisując <name,EP_BLE_device, sprawimy, że od tej chwili podczas skanowania na liście dostępnych urządzeń pojawi się nasza nazwa: EP_BLE_device. Bardzo przydatną funkcją jest możliwość ustawienia kodu dostępu do modułu. PIN może zawierać od jednej do dziesięciu cyfr, których wpisanie będzie wymagane do otwarcia połączenia. Po wpisaniu do UART-a komendy <pin,123 i naciśnięciu Enter moduł jest zabezpieczony kodem '123'. **Rysunek 5** pokazuje przebieg komunikacji podczas przeprowadzanej zmiany powyższych parametrów. Ostatnia komenda <pin,0 usuwa zabezpieczenie kodem pin (każdy numer zaczynający się od zera wyłącza ochronę).



Rysunek 4. Efekt poprawnej komunikacji z modulem



Rysunek 5. Przebieg komunikacji podczas zmiany parametrów

Zestawianie połączenia BLE

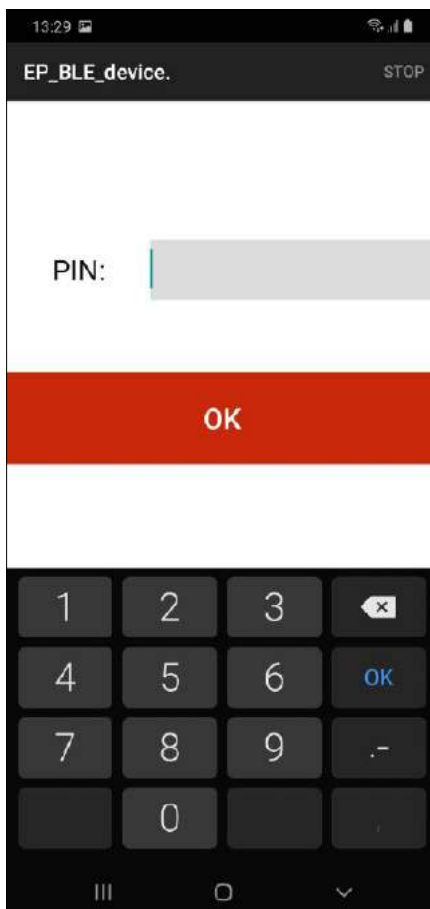
Gdy w aplikacji BBMobile dotkniemy guzika START znajdującego się w prawym górnym rogu ekranu, rozpocznie się proces skanowania

Tabela 1. Komendy obsługiwane przez BBMobile w trybie bezpołączeniowym

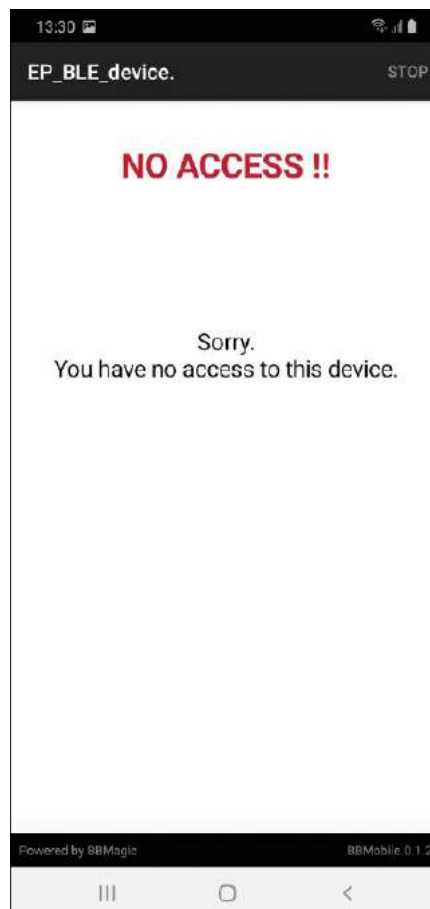
Komenda	Odpowiedź
<hello	Pozwala sprawdzić poprawność komunikacji UART. >HI
<baud,bbbb	Zmienia prędkość transmisji UART. Domyślna po włączeniu zasilania to 9600 bps. bbbb – prędkość transmisji 4800 lub 9600. >OK,bbbb – zmieniono prędkość transmisji UART. >ERR005.parameter – niepoprawny parametr.
<name,nnn	Zmienia nazwę urządzenia Bluetooth SMART. nnn – nowa nazwa; maksymalnie 25 znaków ; pierwszy znak musi być literą lub cyfrą. >OK,nnn – zmieniono nazwę. >ERR003.too_long – podano zbyt długą nazwę. >ERR005.parameter – pierwszy znak nazwy powinien być literą lub cyfrą.
<pin,nnn	Ustawia kod dostępu do modułu – PIN. PIN może zawierać od jednej do dziesięciu cyfr. Jego wpisanie w aplikacji BBMobile będzie konieczne do nawiązania połączenia z modulem. >OK,nnn – PIN ustawiony. >ERR003.too_long – podany PIN zawiera więcej niż 10 cyfr i jest zbyt długi. >ERR005.parameter – nieprawidłowy format PIN-u.
<pin,0	Usuwa zabezpieczenie modułu kodem PIN. Od tej chwili podanie PIN-u przy zestawianiu połączenia nie będzie wymagane. >OK,0 – zabezpieczenie PIN zostało usunięte.
<firm	Podaje wersję firmware modułu. >F_00.01 – numer wersji firmware.
	>CON.pppppppppppp Komunikat informujący o zestawieniu połączenia Bluetooth. 'pppppppppppp' – to sześciobajtowy adres urządzenia, które nawiązało połączenie z modulem BBMobile. Po wysłaniu tego komunikatu moduł przechodzi w tryb połączenia.
	>DCON Komunikat informujący o zamknięciu połączenia Bluetooth. Po wysłaniu tego komunikatu moduł przechodzi w tryb komend.
	>ERR001.connected Komenda trybu bezpołączeniowego nie może być zrealizowana, ponieważ połączenie BLE jest zestawione.
	>ERR002.not_connected Komenda trybu połączeniowego nie może być zrealizowana, ponieważ połączenie BLE nie jest zestawione.
	>ERR004.no_cmd Komenda nie jest obsługiwana.
	>ERR007.timeout Komunikat informujący, że przyjmowanie kodu JSON zostało zakończone z powodu zbyt długiej przerwy w jego nadawaniu – timeout.



Rysunek 6. Zrzut ekranu smartfona z wynikiem skanowania dostępnych urządzeń Bluetooth



Rysunek 7. Prośba o podanie kodu zabezpieczającego



Rysunek 8. Efekt działania aplikacji po wpisaniu błędnego kodu zabezpieczającego

w poszukiwaniu kompatybilnych urządzeń Bluetooth Low Energy. **Rysunek 6** pokazuje zrzut ekranu smartfona z wynikiem skanowania. Na liście pojawił się również nasz moduł EP_BLE_device. Jeśli nie jest on zabezpieczony kodem PIN, to po jego wybraniu z listy połączenie BLE zostaje zestawiane i możliwe jest przesłanie kodu JSON budującego interfejs aplikacji. Jak pokazuje **rysunek 7**, jeśli kod zabezpieczający został ustawiony, to na ekranie urządzenia mobilnego zobaczymy prośbę o jego podanie. Po wpisaniu błędnego PIN-u otwarcie połączenia z modułem BBMobile nie będzie możliwe, a ekran wypełni komunikat jak ten, pokazany na **rysunku 8**. W tym przypadku pozostaje naciśnięcie guzika STOP w prawym górnym rogu ekranu aplikacji. Po wprowadzeniu poprawnego kodu zabezpieczającego

połączenie jest zestawiane i moduł BBMobile oczekuje na przesłanie przez UART struktury aplikacji w postaci kodu JSON.

Kolejny etap

Mamy uruchomioną komunikację z modułem. Kolejnym etapem będzie poznanie kontrolerek, które są podstawowym budulcem aplikacji. Po wyświetleniu na ekranie interfejsu przesłanego w postaci kodu JSON pozwalają prezentować informacje przesłane do portu UART oraz przyjmować i przekazywać do mikrokontrolera dane wprowadzane przez użytkownika, ale o tym w kolejnej części artykułu.

Mariusz Żądło
iram@poczta.onet.pl

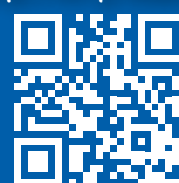
REKLAMA

Wstąp do Klubu AVT Elektronika

będziesz miał prawo do korzystania z szeregu przywilejów:

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

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





Termometr DT12

Często tego nie dostrzegamy, ale temperatura ma wpływ na wszystko, co nas otacza, oraz na nas samych. Jest parametrem istotnym dla nas, wpływającym na nasze decyzje i dlatego jednym z najczęściej mierzonych. Odczuwamy zmiany temperatury, a czasami udaje się nam całkiem trafnie określić jej wartość. Zatem można wyciągnąć wniosek, że skonstruowanie termometru nie powinno być zadaniem trudnym.

Rzeczywiście, termometry elektroniczne stanowią chyba najbardziej liczną grupę projektów publikowanych na łamach „Elektroniki Praktycznej”. Jednak skonstruowanie precyzyjnego i wiarygodnego termometru może okazać się zaskakująco trudne. Wszystko zależy od oczekiwanych parametrów.

Konstrukcje termometrów

Jedną z najprostszych zasad działania termometru elektronicznego bazuje na efekcie zmiany napięcia termicznego złącza półprzewodnikowego. Poniższy wzór jest bardzo dobrze znany każdemu elektronikowi:

$$U_t = k T / q$$

Występujące w nim składniki to:

k – stała Boltzmanna ($1,38064852 \times 10^{-23}$ J/K),

q – ładunek elementarny ($1,6 \times 10^{-19}$ C),

T – temperatura (wyrażana w kelwinach).

Przy zapewnieniu stałości prądu płynącego przez element półprzewodnikowy, np. diodę krzemową, napięcie termiczne złącza w temperaturze 21°C jest równe 25,7 mV. Nie należy oczywiście mylić tego napięcia z napięciem złączowym półprzewodnika zależnym od jego rodzaju. Jest to czynnik zmieniający fizycznie mierzone napięcie na diodzie (lub innym elemencie półprzewodnikowym ze złączem p-n) w zależności od temperatury. Dla półprzewodnikowego złącza p-n krzemowego lub germanowego zmiany napięcia wynoszą ok. -2 mV/°C. Zaletą jest dość dobra liniowość tego parametru, również w funkcji temperatury oraz niska cena, natomiast wadą termometru wykorzystującego złącze półprzewodnikowe jest stosunkowo wąski zakres pracy – teoretycznie -200...+200°C, w praktyce od -50°C do +150°C. Ze względu na to, że pomiar wymaga przepływu prądu przez złącze, może występować efekt samopodgrzewania struktury powodujący fałszowanie wyniku. Ograniczenia te są jednak na tyle małe, że czujniki oparte na powyższej zasadzie znajdziemy w ofertach wielu producentów.

W termometrach przeznaczonych do pomiarów przemysłowych, w których istotna jest dokładność i powtarzalność pomiaru oraz szeroki zakres pomiarowy, bardzo często spotykane są czujniki rezystancyjne. Do najbardziej znanych należą czujniki Pt100 i Pt1000, w których elementem rezystancyjnym czułym na temperaturę jest platyna. Czujnik taki, podobnie jak złącze półprzewodnikowe, ma stały współczynnik zmian rezystancji na jednostkę temperatury praktycznie w całym zakresie pomiarowym.

Innym typem czujników stosowanych w pomiarach przemysłowych są termopary. Są to elementy składające się z dwóch przewodów

Więcej informacji:

Termoprodukt

58-260 Bielawa, ul. Tkacka 17

tel. +48 74 833 62 46, info@termoprodukt.com.pl

<https://www.termoprodukt.com.pl>



wykonanych z różnych metali połączonych ze sobą trwale na obu końcach np. metodą spawania. W wyniku różnicy temperatur obu złączy powstaje między nimi różnica potencjałów proporcjonalna do różnicy temperatur. Oznacza to, że jedno złącze należy traktować jako pomiarowe, drugie natomiast pełni funkcję złącza odniesienia i powinno być utrzymywane w stałej i znanej temperaturze. Nie jest to warunek łatwy do spełnienia w praktyce. Bardzo często temperatura złącza odniesienia jest mierzona inną metodą. Jednocześnie mierzone jest napięcie między złączami i na tej podstawie można już określić temperaturę złącza pomiarowego. Jak widać, użycie termopary do pomiarów temperatury wymaga zastosowania specjalnych zabiegów, zalety termopar są jednak na tyle duże, że są to elementy bardzo powszechnie stosowane w profesjonalnych pomiarach przemysłowych. I w tym przypadku do produkcji jest bardzo często używana m.in. platyna. Spotykane są również takie metale jak: molibden, wolfram, miedź, nikiel, chrom i aluminium. W zależności od użytych materiałów termopary podzielono na kilka grup. Ich parametry, takie jak: współczynnik zmian napięcia na jednostkę temperatury, zakres pomiarowy itp., ujęto w normach. Producenci termopar muszą się do nich stosować, aby konstruktorzy termometrów mogli z nich korzystać.

Oferta firmy Termoprodukt

Firma Termoprodukt specjalizuje się w produkcji profesjonalnych termometrów przeznaczonych do różnych zastosowań. W swoich wyrobach stosuje czujniki różnych rodzajów. Termometry podzielono na kilka kategorii i grup.

Termometry przemysłowe:

- DT11 – kieszonkowy termometr przemysłowy z wodoszczelnością IP65,
- DT12 – opisywany szerzej w dalszej części artykułu kieszonkowy model przemysłowy (IP65) polecany do zastosowań w systemie HACCAP (*Hazard Analysis and Critical Control Points*),
- ST-80 – precyzyjny termometr przemysłowy (IP66),
- ST-90 – przemysłowy termometr termoparowy do pracy w ciężkich warunkach,
- DT-34 – termometr przemysłowy do pracy w ciężkich warunkach (IP66),
- DT-20 – termometr do wędzarni.

Termometry laboratoryjne:

- 100-TP – precyzyjny termometr laboratoryjny o dokładności lepszej niż 0,03°C,
- TERMIO-2 – rejestrator temperatury z wyświetlaczem LCD,
- TERMIO-1 – termometr rejestrujący o rozdzielczości 0,01°C,
- TERMIK – termometr przeznaczony do pomiarów w lodówkach,

- DT-2 – termometr z czujnikiem zewnętrznym przeznaczony do pomiarów w lodówkach,
- DT-2-P – termometr farmaceutyczny,
- DT-1 – kieszonkowy termometr do stosowania w przemyśle spożywczym,
- ST-80.

Lodówkowe:

- TERMIO-1 z powiadamianiem SMS,
- TERMIK,
- DT-2,
- DT-2-P,
- TERMIO-2,
- TERMIO-15 – rejestrator temperatury z wyświetlaczem,
- TERMIO – rejestrator do lodówek aptecznych i zamrażarek.

Do mrożonek:

- DT-34,
- ST-80,
- DT-1,
- DT8380H – laserowy miernik temperatury,
- DT8381H – laserowy miernik temperatury.

Do produktów spożywczych:

- DT11,
- DT12,
- DT-34,
- ST-80,
- DT-1.

Do cieczy:

- DT-34,
- ST-80,
- DT-1,
- DT-2.

Do niskich i wysokich temperatur:

- TERMIO-1 – rejestrator temperatury z wyświetlaczem LCD,
- ST-90.

Kuchenne:

- DT11,

- DT12,
- wskazówkowy termometr 0...300°C do piekarnika,
- wskazówkowy termometr 50...300°C do piekarnika.

Do powierzchni:

- TERMIO-31 – rejestrator temperatury,
- ST-90.

Do powietrza:

- TERMIO-31,
- ST-90.

Wzorcowe:

- DT11,
- TERMIO-2,
- 100-TP,
- ST-80,
- DT-1.

Do wędzarni:

- DT-1,
- DT-34,
- DT12,
- DT-20,
- czujnik temperatury ST-03.

Charakterystyka termometru DT12

Termometr ten jest kolejną wersją opisanego w numerze EP 2/2019 termometru DT11. Czujnikiem temperatury jest termopara typu T, natomiast temperatura złącza odniesienia jest mierzona za pomocą czujnika PT100. W nowej konstrukcji położono nacisk na skrócenie czasu pomiaru przy zachowaniu dużej liniowości wskazań. Termometr jest wzorcowany dla temperatury 0°C i 100°C przez własne laboratorium wzorcujące. Laboratorium to świadczy również usługi dla firm zewnętrznych, zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17025:2005.

Konstrukcja termometru DT12 jest bardzo podobna do DT11. Czujnik temperatury jest umieszczony w ruchomym grocie, który w pozycji transportowej jest chowany w zagłębieniu obudowy (**fotografia 1**), a w pozycji pomiarowej jest przekręcany o dowolny kąt, maksymalnie 180°, jak na fotografii tytułowej. Położenie grota w pozycji transportowej nie uniemożliwia prowadzenia pomiarów. Można tak mierzyć np. temperaturę otoczenia.

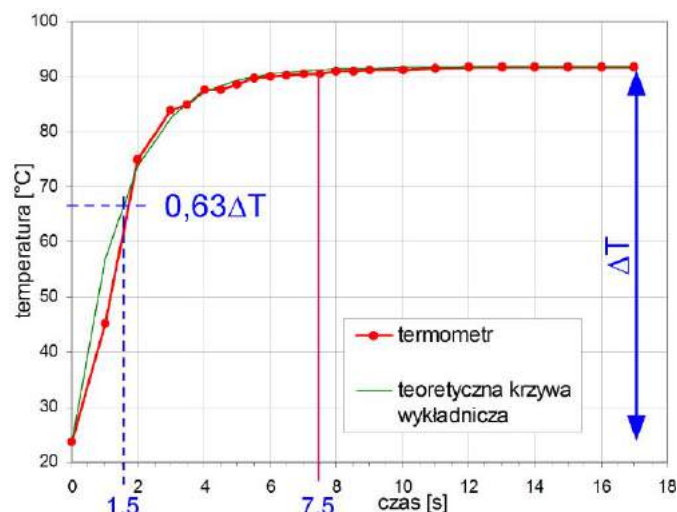
W termometrze DT12 zastosowano podświetlany wyświetlacz LCD o wysokości cyfr 13 mm i 8-milimetrowej cyfry części dziesiętnej wyniku. Podświetlenie jest włączane po naciśnięciu przycisku oznaczonego symbolem słoneczka i gaśnie po ok. 10 sekundach. Producent gwarantuje dokładność $\pm 0,2^\circ\text{C}$ w zakresie od 0...100°C i $\pm 0,3^\circ\text{C}$

Tabela 1. Najważniejsze dane techniczne termometru DT12

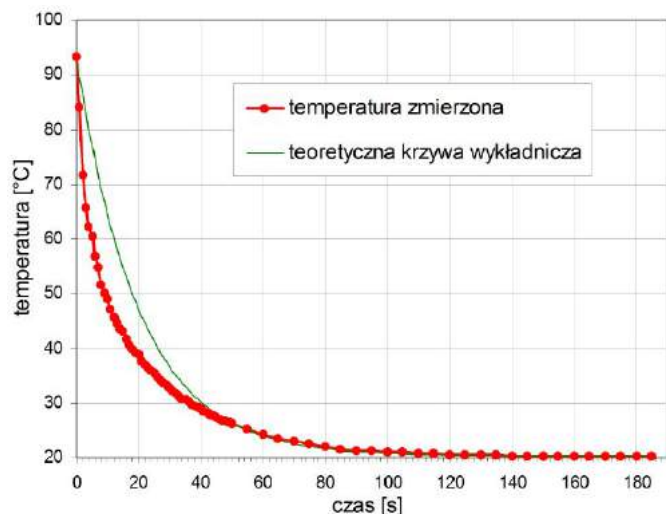
zakres mierzonej temperatury	-50...270°C
zakres temperatury pracy	-30...40°C
temperatura składowania	0...40°C
rozdzielczość	0,1°C w całym zakresie pomiarowym
dokładność w poszczególnych zakresach	$\pm 0,3^\circ\text{C}$ (-50,0...-0,1°C) $\pm 0,2^\circ\text{C}$ (0,0...100,0°C) $\pm 0,2^\circ\text{C}$ (100,1...200,0°C) $\pm 0,3^\circ\text{C}$ (200,1...270,0°C)
czas reakcji (t99)	5 sekund (pomiar w cieczy)
wyświetlacz	LCD
zasilanie	akumulator Li-Ion
czas ładowania	ok. 1,5 godziny
czas pracy ciągłej	ok. 3 miesięcy
wymiary obudowy	154×37×16 mm
średnica elementu pomiarowego sondy	2 mm (stal 321)
długość sondy	110 mm
stopień ochrony obudowy	IP65
waga	70 g



Fotografia 1. Sonda termometru DT12 po złożeniu



Rysunek 1. Wykres wskazań termometru w funkcji czasu podczas pomiaru temperatury wody



Rysunek 2. Wykres stygnięcia sondy po pomiarze temperatury wody

w pozostałym zakresie. Pomiar jest dokonywany z rozdzielczością 0,1°C. Pełne dane techniczne zestawiono w tabeli 1.

Jedną z najważniejszych cech termometru DT12, szczególnie podkreślaną przez producenta, jest bardzo krótki czas pomiaru określony w danych technicznych na 5 sekund. Pomiary w redakcyjnym laboratorium w zasadzie potwierdziły krótki czas ustalania się wyniku, jednak jest on w pewnym stopniu zależny od rodzaju mierzonej substancji. Na rysunku 1 pokazano wykres wskazań termometru w funkcji czasu, podczas pomiaru temperatury wody. Sonda była w niej zanurzona niemal całkowicie. Można przyjąć, że zależność wskazań mierzonej temperatury od czasu ma charakter wykładniczy. Pozwala to oszacować stałą czasową – τ ustalania się wyniku. W tym eksperymencie osiągnęła ona wartość ok. 1,5 s, co oznacza, że czas dochodzenia do 99% wartości asymptotycznej (końcowej) jest w przybliżeniu równy 5τ , czyli ok. 7,5 sekundy. Na wykresie z rysunku 1 krzywą pomiarową pokazano razem z teoretyczną krzywą wykładniczą potwierdzającą obliczenie stałej czasowej. Należy ponadto zwrócić uwagę,



Fotografia 2. Grot sondy termometru DT12 z termoparą typu T

że po wyjęciu sondy z wody termometr ponownie pokazał temperaturę otoczenia dopiero po ok. 100 sekundach (rysunek 2). Szybkość reakcji termometru w dużym stopniu zależy od warunków doprowadzania i odprowadzania ciepła od czujnika oraz od powierzchni styku czujnika z mierzoną substancją. W termometrze DT12 zastosowano specjalne rozwiązanie mające na celu zmniejszenie bezwładności. Polega ono na zmniejszeniu średnicy końcowego fragmentu sondy w stosunku do pozostałej jej części. Termoparę typu T umieszczono na samym końcu grota sondy (fotografia 2).

Termometr DT12 jest zasilany z miniaturowego akumulatora Li-Ion o napięciu 3,7 V i pojemności 400 mAh. Po pełnym naładowaniu z gniazda USB zapewnia ciągłą pracę przez ok. 3 miesiące. O konieczności ponownego ładowania informuje wskaźnik widoczny na wyświetlaczu. Wykonana z ABS-u obudowa termometru ma uszczelki chroniące miernik przed wilgocią i zabrudzeniami. Zapewniają one stopień ochrony IP65.

Producent – Termoprojekt, umieścił termometr DT12 w kilku grupach asortymentowych. Są to termometry: przemysłowe, do produktów spożywczych, kuchenne i do wędzarni. Widać wyraźne wskazanie na pomiary żywności. Konstrukcja termometru DT12 pozwala na używanie go w zakładach pracujących w systemie HACCP, a więc takich, w których obowiązują najwyższe wymagania sanitarne i techniczne.

Jarosław Dołęcki, EP

REKLAMA

Nie przegap majowego wydania Elektroniki dla Wszystkich

W numerze między innymi:

Coronavirus detector

Epidemia koronawirusa daje się we znaki. Nasze życie uległo istotnym zmianom. Prezentowany projekt jest niejako ich pokłosiem. Autor opracował układ, który pozwoli szybko i w względnie tani sposób wykryć osoby z podniesioną temperaturą ciała.

Sterowanie diodami WS2812 przez UART z AVR, Arduino

Sterowanie diodami WS2812 nie jest proste z uwagi na dużą częstotliwość, wynoszącą 800kHz. W artykule przedstawiono interesujące rozwiązanie, umożliwiające sterowanie LED-ami w przerwanach.

Taki zwyczajny zasilacz... Przyrządy do testowania

Do sprawdzenia i optymalizacji właściwości dynamicznych budowanego zasilacza potrzebne są odpowiednie przyrządy. Niezbędne wyposażenie z powodzeniem można zbudować samodzielnie!

MPPT – Shunt controller

czyli sterownik zwarcowy to idea zaskakująca dla wielu elektroników, ponieważ słowo zwarcie z reguły kojarzy się bardzo negatywnie, a wręcz groźnie. Tymczasem kontroler zwarcowy bardzo często jest wykorzystywany w praktyce.

Arduino – Fonty i glcdfont.c

Po zapoznaniu się z wyświetlaniem grafiki zajmujemy się wyświetlaniem napisów z wykorzystaniem podstawowego fontu, zawartego w pliku glcdfont.c.

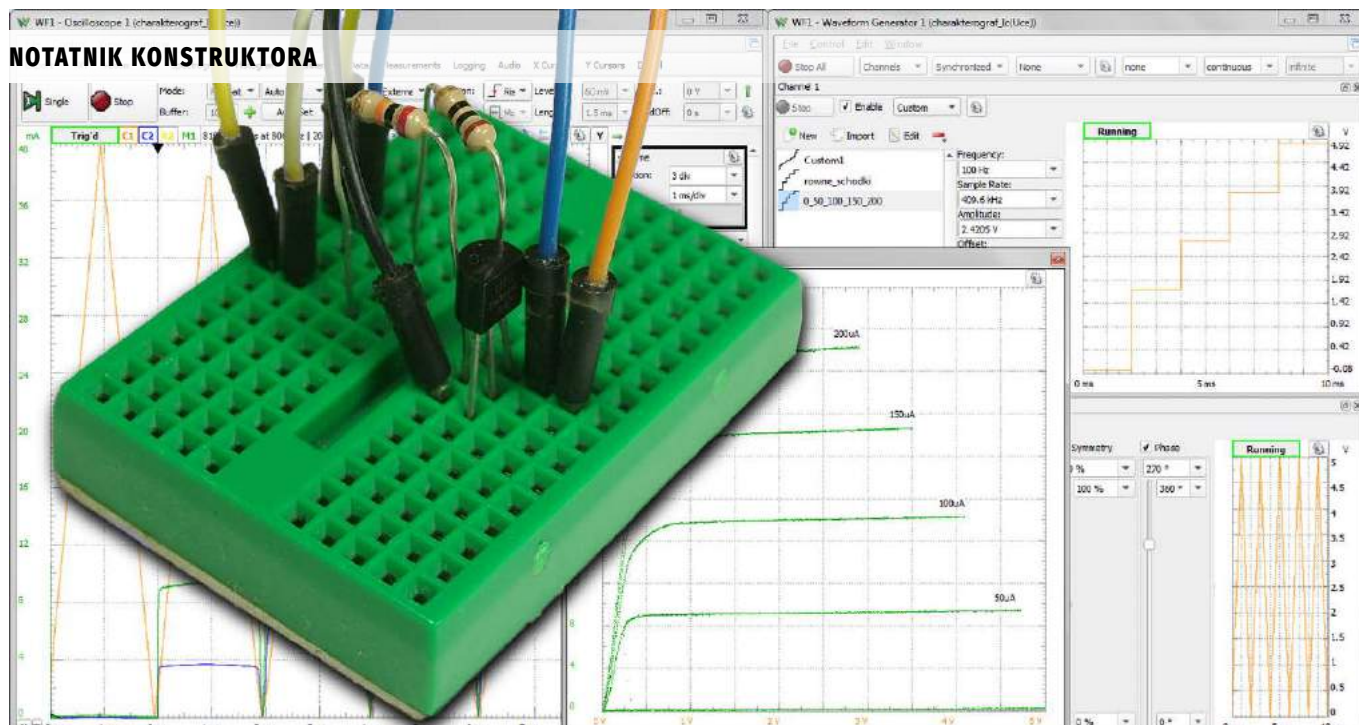
Ponadto w numerze:

- Filozofia sieci: protokół ARP
- Miniaturowy regulator mocy 12V z „twardym startem”
- Z potrzeby chwili... Wzmacniacz na koronawirusa
- Układ do demontażu elementów SMD
- Porównanie zasilaczy forward i flyback
- Szkoła Konstruktorów – Nietypowy sposób sterowania oświetleniem
- Szkoła Konstruktorów – Zaproponuj układ elektroniczny związany z koronawirusem lub z szeroko pojętą ochroną zdrowia, z profilaktyką prozdrowotną



EdW możesz zamówić na
www.ulubionykiosk.pl.

Do kupienia także
w Empikach
i wszystkich większych
kioskach z prasą.



Symulacja i pomiar czyli LTspice i Analog Discovery 2 w rękach konstruktora (10)

Charakterograf



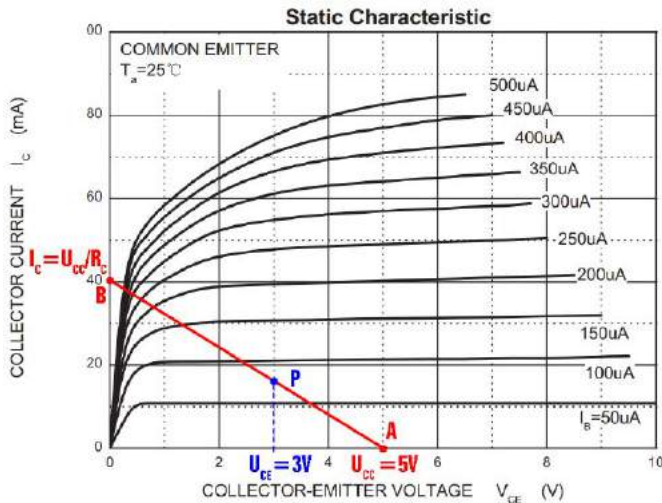
Czasy są ciężkie. Ciągłe przebywanie wyłącznie z tymi samymi osobami, nawet jeśli należą do rodziny, stwarza wiele konfliktowych sytuacji. Ujawniają się nasze charaktery... Ale nie, nie będziemy ich ani badać, ani mierzyć. Charakterografy to urządzenia służące do zdejmowania charakterystyk prądowo-napięciowych elementów elektronicznych – diod, tranzystorów czy lamp.

Starsi Czytelnicy pamiętają zapewne metody projektowania układów elektronicznych z czasów sprzed epoki komputerów osobistych, Internetu i programów symulacyjnych. Wszystkie informacje o elementach elektronicznych oraz ich dane techniczne były czerpane z opasłych katalogów, których zdobycie nie było łatwe. Elementy były kupowane na pchlich targach, różnych giełdach, pochodziły też z wymiany. W tamtych czasach, gdy trudno było o katalogi, charakterograf byłby doskonałą pomocą w projektowaniu układów elektronicznych. Ale kto wtedy się za nimi rozglądał? Dużo bardziej poszukiwane były oscyloskopy i dobre mierniki uniwersalne. Jakże zatem korzyści mogły wynikać z posiadania charakterografu?

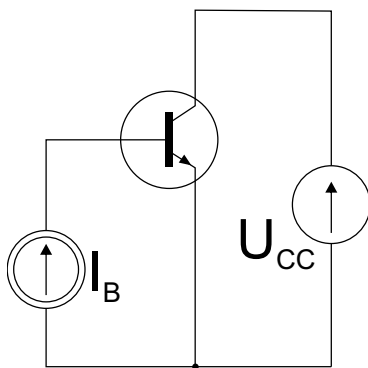
Zastosowanie charakterystyki $I_C=f(U_{CE})$ przy wyznaczaniu stałoprądowego punktu pracy tranzystora

Pierwszym etapem projektowania układu elektronicznego zbudowanego na tranzystorach dyskretnych jest obliczenie stałoprądowego punktu pracy. Przydatna może być do tego znajomość charakterystyki $I_C=f(U_{CE})$. Właściwie jest to rodzina charakterystyk opisujących prąd kolektora w funkcji napięcia baza-kolektor dla różnych prądów bazy. Na takim wykresie (rysunek 1) zaznaczamy napięcie zasilające, a następnie rysujemy tzw. prostą obciążenia. Łączy ona punkt A (U_{CC} na osi poziomej) z punktem B (U_{CC}/R_C na osi pionowej). Punkt B odpowiada prądowi, jaki popłynąłby przez kolektor tranzystora i rezystor obciążenia w stanie idealnego nasycenia ($U_{CE}=0$). Punkt pracy P wybieramy zwykle w środku liniowego zakresu charakterystyk, co w przybliżeniu odpowiada połowie napięcia zasilającego. Z wykresu $I_C=f(U_{CE})$ można odczytać, jaki będzie spoczynkowy prąd kolektora i odpowiadający mu prąd bazy. Zwróćmy uwagę na to, że prosta obciążenia zawsze będzie wychodziła z punktu U_{CC} (A), a jej nachylenie względem osi poziomej będzie rosło wraz ze zmniejszaniem się rezystancji obciążenia R_C .

Charakterystyki $I_C=f(U_{CE})$ są zamieszczane w katalogach, ale nie we wszystkich. W przypadku ich braku charakterograf mógłby posłużyć do samodzielnego ich wyznaczania.



Rysunek 1. Ustalenie punktu pracy tranzystora pracującego w układzie OE na podstawie charakterystyk $I_c = f(U_{ce})$



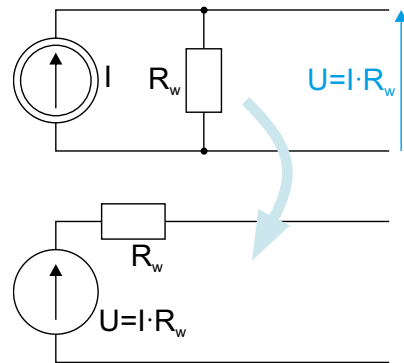
Rysunek 2. Uproszczony schemat charakterografu

Jak działa charakterograf?

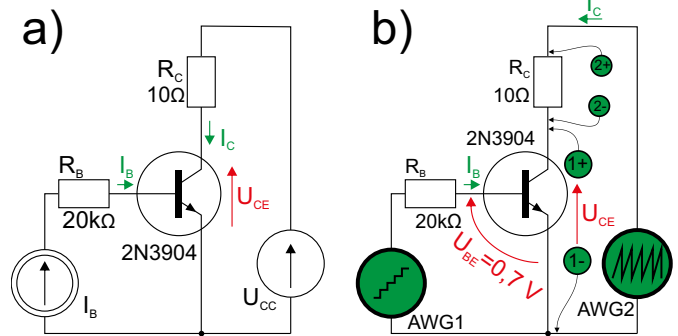
Wychodząc wprost z definicji charakterystyk, które będą mierzone charakterografem, dochodzimy do wniosku, że budowa tego urządzenia jest banalnie prosta. Wystarczy jedno regulowane źródło napięciowe i jedno prądowe. Źródło napięciowe zasilą kolektor tranzystora. W trakcie pomiaru uzyskiwane z niego napięcie jest zmieniane płynnie w przyjętym zakresie. Źródło prądowe natomiast zasilą bazę tranzystora, przy czym zmiany natężenia są skokowe (rysunek 2). Jak te założenia zrealizować, mając do dyspozycji Analog Discovery 2?

Urządzenie to ma dwa kanały generatora arbitralnego, które można traktować jak źródła napięciowe. Jest to bardzo przydatna cecha do zasilania kolektora, pozostaje jedynie problem pomiaru prądu. Jak zwykle rozwiązujemy go metodą pomiaru napięcia na znanym rezystorze. Aby nie zaburzał on warunków pomiarowych, musi mieć małą rezystancję, na tyle jednak dużą, aby możliwy był pomiar spadku napięcia na nim. Z doświadczenia wiemy, że względnie dobre wyniki uzyskuje się dla rezystancji 10 Ω .

Źródło prądowe musimy zaimplementować sami. Jak wiadomo, idealne źródło prądowe charakteryzuje się nieskończenie dużą rezystancją wewnętrzną. Z oczywistych powodów realizacja takiego źródła nie jest możliwa. Przyjmijmy, że rezystancja 20 k Ω będzie wystarczająca. Z teorii obwodów wiemy, że nieidealne źródło prądowe można zastąpić źródłem napięciowym o rezystancji szeregowej równej rezystancji równoległej



Rysunek 3. Równoważne nieidealne źródła prądowe i napięciowe



Rysunek 4. Schemat charakterografu: a) ilustracja zasady działania, b) układ pomiarowy

źródła prądowego. Napięcie źródła zastępczego jest równe napięciu, jakie występuje na rezystancji równoległej nieobciążonego źródła prądowego. Brzmi to dość skomplikowanie, ale po przeanalizowaniu rysunku 3 wszystko staje się zrozumiałe. Na tej podstawie możemy już narysować schemat naszego charakterografu (rysunek 4).

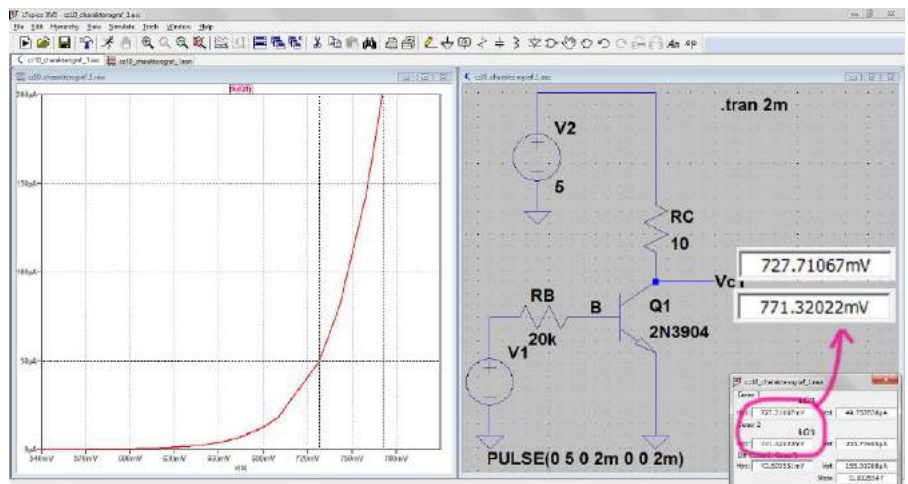
Definiowanie wymuszeń charakterografu

Elementem mierzonym będzie tranzystor bipolarny npn typu 2N3904. Jego katalogowe charakterystyki $I_c = f(U_{ce})$ pokazano na rysunku 1. Jak widać, producent zmierzył je dla 10 prądów bazy od 50 μA do 500 μA . My ograniczymy się do 5 wartości: 0, 50, 100, 150 i 200 μA . W tym celu kanał 1. generatora arbitralnego będzie generował napięcie schodkowe o odpowiednio dobranych poziomach każdego schodka. Wyznaczamy je na podstawie II prawa Kirchhoffa dla oczka zawierającego bazę, emiter i źródło AWG1.

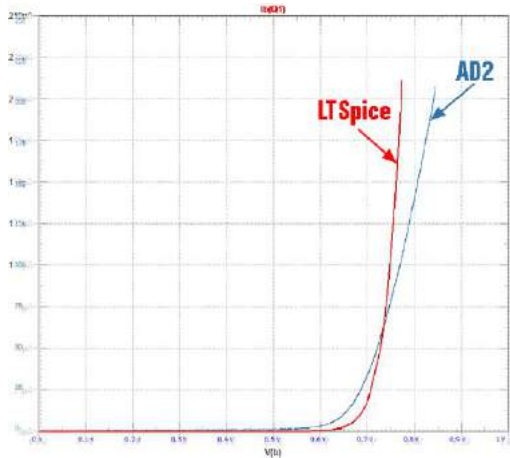
$$U_{AWG1} - I_B \cdot R_B - U_{BE} = 0$$

czyli i-ty poziom napięcia schodkowego jest równy:

$$U_{AWGi} = I_{Bi} \cdot R_B + U_{BE}$$



Rysunek 5. Układ do pomiaru charakterystyki $I_c = f(U_{ce})$



Rysunek 6. Porównanie charakterystyk $I_B=f(U_{BE})$ zmierzonych i symulowanej

W równaniu występuje napięcie U_{BE} , które dla tranzystorów krzemowych jest z grubsza znane. Do obliczeń przyjmowana jest zwykle wartość z przedziału 0,6...0,7 V, ale podczas pracy układu rzeczywistego napięcie to w niewielkim zakresie się zmienia. Korzystając z LTSpice'a sprawdzimy, jaki jest zakres tych zmian i na tej podstawie zdecydujemy, czy będą one istotne dla pomiarów, czy będzie można je zignorować. Zagadnienie sprowadza się do wyznaczenia charakterystyki $I_B=f(U_{BE})$. Zrobimy to oczywiście za pomocą charakterografu w układzie pokazanym na **rysunku 5**. Źródło V1 generuje przebieg napięciowy narastający liniowo w zakresie od 0 do 5 woltów w czasie 2 milisekund. Uruchamiamy symulację .TRAN 2m (plik *Ib(Ube).asc* dostępny w materiałach dodatkowych). Jako przebieg rysowany na wykresie wskazujemy prąd bazy tranzystora Q1 ($I_B(Q1)$). Nie interesuje nas jednak wykres czasowy. Klikając prawym przyciskiem myszki na opisie osi poziomej uruchamiamy okno, w którym zmieniamy pole „Quantity Plotted” na V(b). Tym samym tworzymy wykres $I_B=f(U_{BE})$. Teraz możemy już ustawić dwa kursory w pozycjach odpowiadających prądom 50 μA i 200 μA , a następnie odczytać odpowiadające im napięcia U_{BE} . Okazuje się, że napięcie U_{BE} zmienia się od 0,728 V do 0,771 V, czyli o ok. 50 mV. Z ciekawości wykonałem podobny pomiar w układzie rzeczywistym i niestety okazało się, że charakterystyki różnią się dość znacznie (**rysunek 6**). W badanym tranzystorze napięcie U_{BE} zmieniało się w przedziale 0,721 V do 0,841 V, czyli o ok. 120 mV. Nadal jednak nie jest to dużo. Przyjmijmy więc do obliczeń w pierwszym podejściu średnią wartość napięcia baza-emiter dla układu rzeczywistego. Wynosi ona 0,781 V. Napięcia schodków są równe:

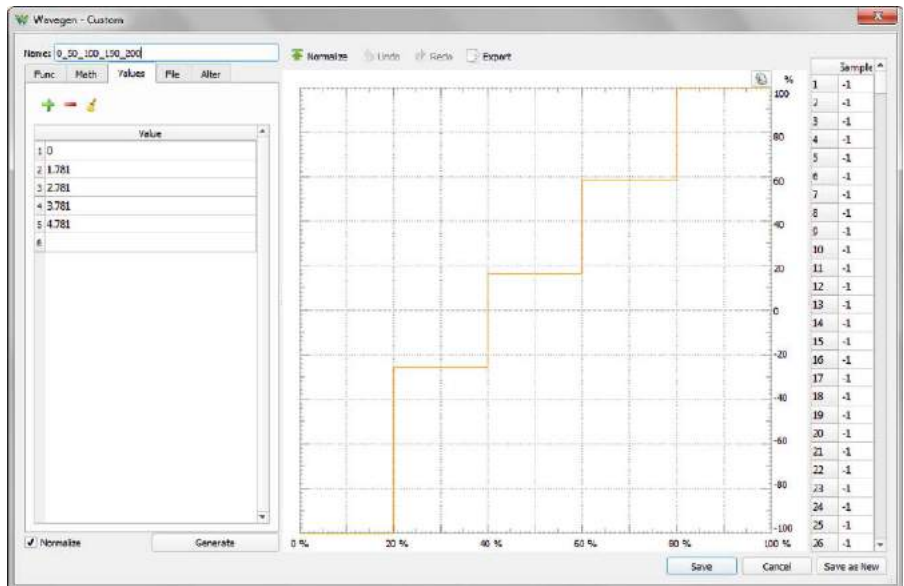
$$\begin{aligned} U_{AWG1\_1} &= I_{B1} \cdot R_B = 0 \cdot 20k = 0 \\ U_{AWG1\_2} &= I_{B2} \cdot R_B + U_{BE} = 50\mu \cdot 20k + 0,781 = 1,781 \text{ V} \\ U_{AWG1\_3} &= I_{B3} \cdot R_B + U_{BE} = 100\mu \cdot 20k + 0,781 = 2,781 \text{ V} \\ U_{AWG1\_4} &= I_{B4} \cdot R_B + U_{BE} = 150\mu \cdot 20k + 0,781 = 3,781 \text{ V} \\ U_{AWG1\_5} &= I_{B5} \cdot R_B + U_{BE} = 200\mu \cdot 20k + 0,781 = 4,781 \text{ V} \end{aligned}$$

Na szczęście zmieściliśmy się w zakresie napięć wyjściowych generatora arbitralnego Analog Discovery 2 (max. 5 V). Możemy przystąpić do definiowania przebiegu schodkowego. W tym celu uruchamiamy w programie WaveForms generator arbitralny i w kanale 1. wybieramy opcję „Custom → New”. Z kilku dostępnych metod projektowania przebiegu wybieramy „Values”, która pozwoli zdefiniować przebieg

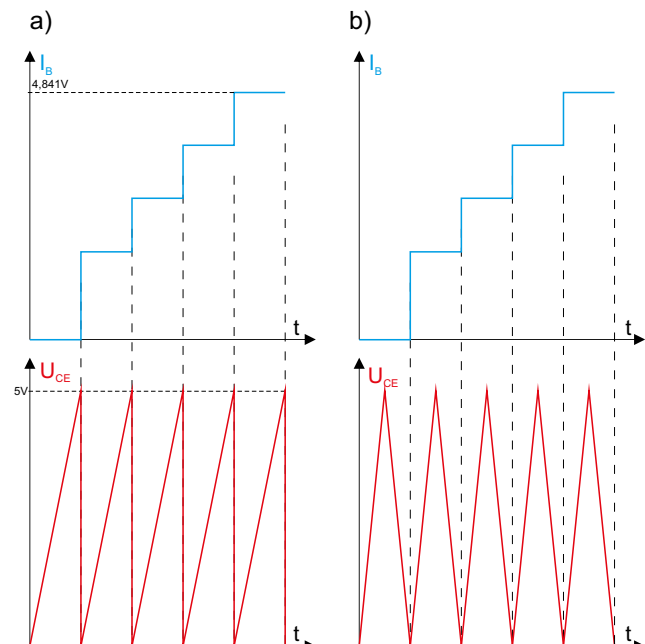
na podstawie wcześniejszych obliczeń. W tabelce zapisujemy więc kolejne wartości, a następnie generujemy przebieg z włączoną opcją Normalize naciskając przycisk ekranowy *Generate*. W podglądzie przebiegu ukazuje się przebieg, który będzie generowany w kanale 1 (**rysunek 7**). W polu „Name” możemy mu nadać jakąś nazwę. Ja przyjąłem nazwę „0_50_100_150_200”. Ostatnią czynnością jest zapisanie przebiegu na dysku. Korzystamy z przycisku „Save as New”.

Przyjmując stałą wartość napięcia U_{BE} , popełniamy co najwyżej kilku procentowy błąd określenia prądu bazy. Na podstawie dokładniejszej analizy wnioskujemy, że błąd ten wynosi od 1,5 do 6 procent. Nie jest to dużo, ale te 6% trochę niepokoi, więc spróbujmy skorygować napięcia poszczególnych schodków przy uwzględnieniu rzeczywistego napięcia U_{BE} . Zmodyfikowane napięcia schodków wynoszą:

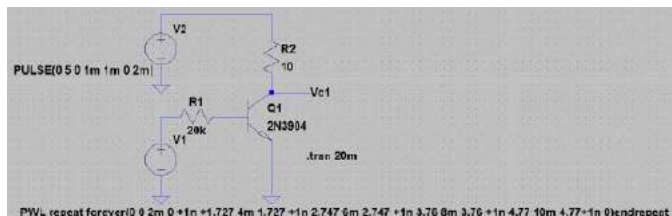
$$\begin{aligned} U_{AWG1\_1} &= I_{B1} \cdot R_B = 0 \cdot 20k = 0 \text{ V} \\ U_{AWG1\_2} &= I_{B2} \cdot R_B + U_{BE2} = 50\mu \cdot 20k + 0,721 = 1,721 \text{ V} \\ U_{AWG1\_3} &= I_{B3} \cdot R_B + U_{BE3} = 100\mu \cdot 20k + 0,77 = 2,77 \text{ V} \\ U_{AWG1\_4} &= I_{B4} \cdot R_B + U_{BE4} = 150\mu \cdot 20k + 0,808 = 3,808 \text{ V} \\ U_{AWG1\_5} &= I_{B5} \cdot R_B + U_{BE5} = 200\mu \cdot 20k + 0,841 = 4,841 \text{ V} \end{aligned}$$



Rysunek 7. Przebieg generowany w kanale AWG1



Rysunek 8. Możliwe kształty generowane w kanale AWG2



Rysunek 9. Schemat charakterografu w symulatorze

Korzystając z tych danych, poprawiamy definicję przebiegu schodkowego w kanale 1. generatora.

Wróćmy teraz do podstawowego zadania, jakim jest wyznaczenie rodziny charakterystyk $I_C = f(U_{CE})$ dla różnych prądów I_B . Jak wynika z tej definicji, dla każdego prądu bazy konieczne jest jeszcze takie wymuszenie napięcia U_{CE} , aby zmieniało się ono w całym zakresie, czyli od 0 do 5 V. Ponieważ mamy 5 wartości prądu bazy i dla każdego musi wystąpić pełna zmiana napięcia U_{CE} , częstotliwość przebiegu generowanego w 2. kanale generatora musi być 5-krotnie większa od przebiegu z kanału 1. Napięcie U_{CE} musi zmieniać się liniowo, więc wybieramy przebieg piłokształtny. Pozostaje jeszcze rozstrzygnięcie, czy ma on wyglądać jak na **rysunku 8a**, czy **8b**? Ponieważ bardzo szybkie zmiany napięcia lub prądu mogą wywoływać skutki, których wolelibyśmy uniknąć, wybieramy wariant z **rysunku 8b**. W programie WaveForms odpowiada to przebiegowi piłokształtnemu o symetrii 50% i fazie 270°.

Musimy jeszcze ustalić napięcia. W kanale 2., generującym napięcie U_{CE} , nie ma z tym większego problemu. Jeśli napięcie to ma się zmieniać w przedziale od 0 do 5 V, w programie WaveForms należy ustawić amplitudę 2,5 V i offset 2,5 V. Podobnie postępujemy z nastawami dla kanału 2. Jeśli napięcie ma się zmieniać od 0 do 4,841 V, wybieramy amplitudę $4,841/2 = 2,4205$ V i taki sam offset (2,4205 V). Zanim wykonamy pomiar układu rzeczywistego, zobaczymy, jak wygląda symulacja analogicznego charakterografu w programie LTspice.

Symulacja charakterografu

Schemat charakterografu w programie LTspice jest taki sam jak w układzie rzeczywistym (**rysunek 9**). Dane tranzystora 2N3904 są zawarte w standardowej bibliotece LTspice'a, nie trzeba więc szukać ich w Internecie. Przed uruchomieniem symulacji konieczne jest zdefiniowanie obu źródeł napięciowych. Pierwsze z nich – V1, generuje przebieg schodkowy ustalający prąd bazy badanego tranzystora Q1. Pamiętajmy, że charakterystyki $I_B = f(U_{BE})$ brane z symulatora i pomiarów różnią się między sobą, musimy więc zastosować nieco inne składniki korygujące w formułach obliczających napięcia schodków. Okazuje się, że dla przyjętych prądów I_B , napięcia U_{BE} w symulatorze są równe: 0,727 V, 0,747 V, 0,760 V i 0,770 V. Napięcia schodków w symulatorze są więc równe:

$$U_{V1_1} = I_{B1} \cdot R_B = 0 \cdot 20k = 0 \text{ V}$$

$$U_{V1_2} = I_{B2} \cdot R_B + U_{BE2} = 50\mu \cdot 20k + 0,727 = 1,727 \text{ V}$$

$$U_{V1_3} = I_{B3} \cdot R_B + U_{BE3} = 100\mu \cdot 20k + 0,747 = 2,747 \text{ V}$$

$$U_{V1_4} = I_{B4} \cdot R_B + U_{BE4} = 150\mu \cdot 20k + 0,760 = 3,760 \text{ V}$$

$$U_{V1_5} = I_{B5} \cdot R_B + U_{BE5} = 200\mu \cdot 20k + 0,770 = 4,770 \text{ V}$$

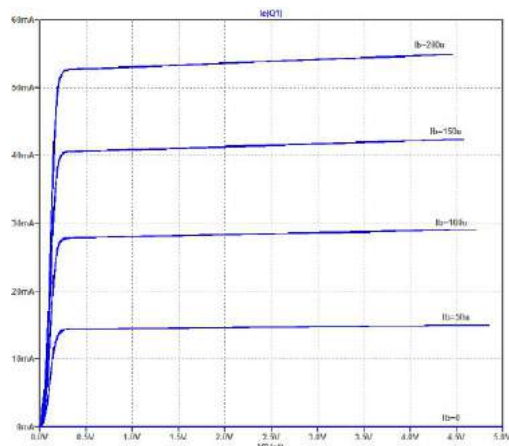
Na tej podstawie źródło V1 jest zdefiniowane następująco:

PWL repeat forever(0 0 2m 0 +1n 1.727 4m 1.727 +1n 2.747 6m 2.747 +1n 3.76 8m 3.76 +1n 4.77 10m 4.77+1n 0)endrepeat

Zapis ten oznacza, że źródło V1 generuje cyklicznie powtarzające się przebiegi schodkowe o czasie trwania jednego schodka równym 2 ms i poziomach zgodnych z obliczonymi wyżej. Składnik „+1n” odpowiada szybkiej (1-nanosekundowej) zmianie napięcia do występującej za nim wartości.

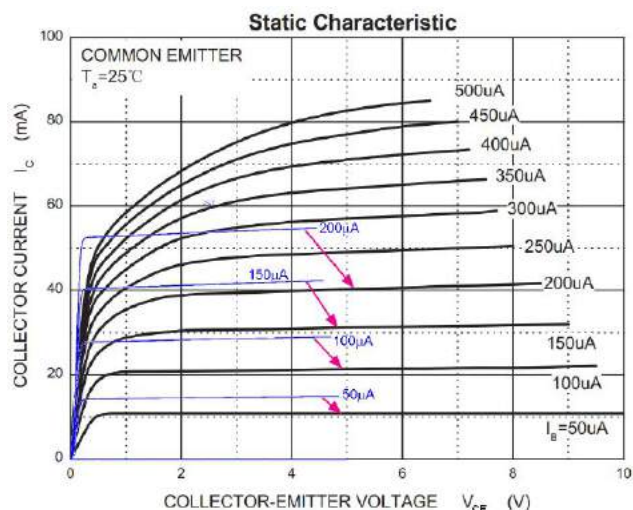
Źródło V2 zasilające kolektor generuje przebieg trójkątny opisany zależnością:

PULSE(0 5 0 1m 1m 0 2m)


 Rysunek 10. Charakterystyki $I_C = f(U_{CE})$ uzyskane w symulatorze

Z zapisu wynika, że napięcie narasta od zera do 5 woltów w ciągu 1 milisekundy, a następnie w takim samym czasie opada do zera.

Wszystko jest już gotowe, możemy przystąpić do symulacji. Zbadamy dwa cykle napięcia schodkowego, aby upewnić się, czy nie występuje jakiś stan nieustalony, a więc uruchamiamy symulację .TRAN 20m. Jako obiekt obserwowany podajemy oczywiście prąd kolektora. W tym celu naprowadzamy kursor na kolektor tranzystora i w chwili, w której przybierze on postać miernika cęgowego, naciskamy lewy przycisk myszki. Na wykresie pojawi się przebieg zmian prądu kolektora w czasie, a ponieważ interesuje nas zależność $I_C = f(U_{CE})$, klikamy prawym przyciskiem myszki na opisie osi poziomej i w polu „Quantities Plotted” wpisujemy V(Vc1). „Vc1” to etykieta nadana węzłowi z kolektorem. Teraz mamy już rodzinę charakterystyk $I_C = f(U_{CE})$ tranzystora 2N3904 (**rysunek 10**). Wyglądają pięknie, ale nasz zachwyt maleje, gdy porównamy je z charakterystykami katalogowymi (**rysunek 11**). Już na pierwszy rzut oka widać, że w symulatorze przyjęto dużo większe wzmocnienie prądowe hFE (beta). Z szacunków wynika, że wynosi ono ok. 300, podczas gdy tranzystor katalogowy ma ok. 200. Zobaczmy więc, jak ten parametr wygląda w rzeczywistości. Zmierzymy miernikiem uniwersalnym Metex wzmocnienie prądowe tranzystora. Nie będziemy jednak traktować tego pomiaru jako rozstrzygającego ostatecznie wątpliwości, gdyż nie wiemy, w jakich warunkach miernik mierzy parametr hFE. Wynik pomiaru pokazano na **fotografii 1**. Okazuje się, że beta naszego tranzystora mierzona miernikiem jest mniejsza nawet od katalogowej i równa 131. Różnice są znaczne i nie wiadomo, czy bardziej wierzyć katalogowi, czy symulatorowi. Należy tylko dodać, że niełatwo jest znaleźć w sieci notę katalogową tranzystora 2N3904 zawierającą charakterystykę $I_C = f(U_{CE})$. Zobaczmy więc, jak wyglądałaby zdjęta w programie LTspice charakterystyka



Rysunek 11. Porównanie charakterystyk z symulacji i noty katalogowej



Fotografia 1. Pomiar parametru hFE tranzystora 2N3904 miernikiem Metex

$I_C=f(U_{CE})$ tranzystora z $hFE=131$. Porównamy ją później z pomiarem tranzystora rzeczywistego.

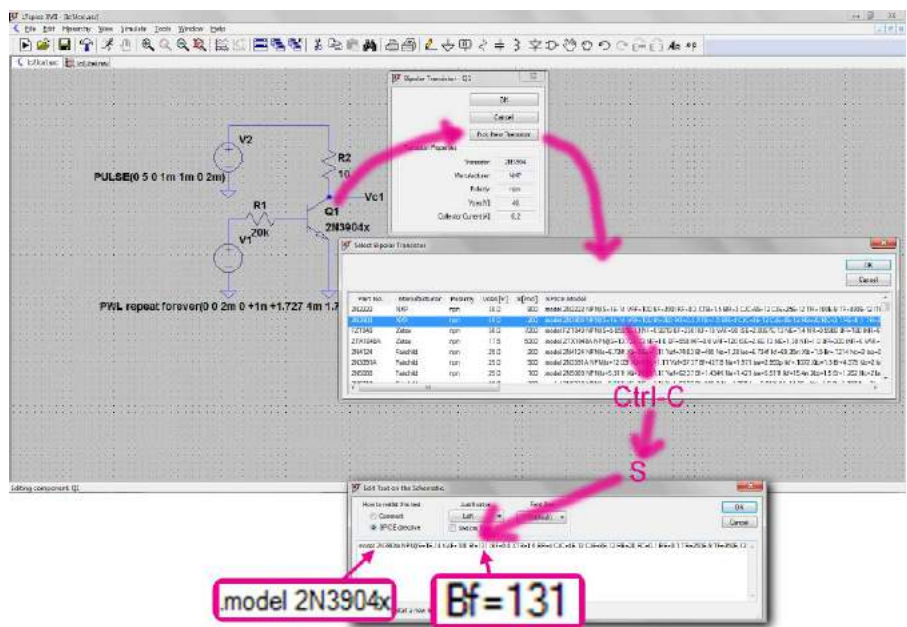
W oknie edytora LTspice klikamy prawym przyciskiem myszki na tranzystor, a następnie na przycisk ekranowy *Pick New Transistor*. W wyświetlonym oknie mamy zaznaczone dane tranzystora 2N3904. Wzmocnienie prądowe jest oznaczone symbolem Bf i jest równe 300, a więc tak jak je oszacowaliśmy z otrzymanych charakterystyk. Niestety, parametrów bibliotecznych nie można zmieniać bez ingerencji w samą bibliotekę. Skopiujemy więc podświetlone informacje do pamięci podręcznej (*Ctrl-C*), a następnie wkleimy je do okna poleceń wywołanego w edytorze LTspice naciśnięciem klawisza *S*. Po wklejeniu danych z pamięci podręcznej (*Ctrl-V*) zmiany są już możliwe. Nadajemy parametrowi Bf wartość 131, ale konieczna jest również zmiana typu tranzystora. Gdybyśmy tego nie zrobili, wystąpiłby konflikt uniemożliwiający symulację. Dopuszczamy więc literkę np. „x” do typu tranzystora i akceptujemy wszystkie zmiany. W efekcie tych działań (rysunek 12) na schemacie zostaje wprowadzony zmodyfikowany model tranzystora 2N3904, który teraz nazywa się 2N3904x. Aby skorzystać z tych zmian, należy zmienić typ tranzystora w charakterystyce na 2N3904x. Popatrzmy,

jak poczynione zmiany wpłyną na wyniki symulacji. Nową charakterystykę pokazano na rysunku 13.

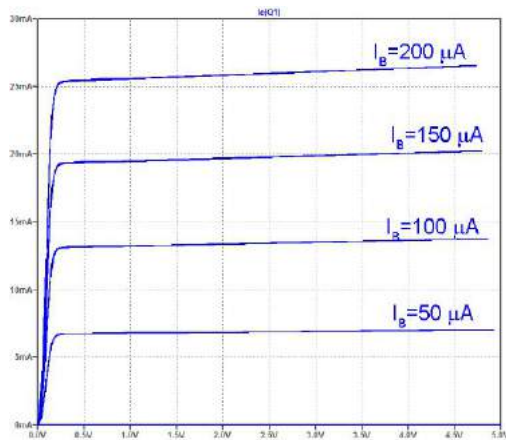
Pomiar tranzystora 2N3904

Wracamy do pomiarów rzeczywistego tranzystora 2N3904. Wszystko już jest przygotowane. Pozostaje jedynie ustalenie częstotliwości sygnałów generowanych przez oba kanały generatora arbitralnego Analog Discovery 2. Przyjmijmy, że częstotliwość przebiegu schodkowego z kanału 1. będzie równa 100 Hz. Przebieg z kanału 2. musi więc mieć częstotliwość 5 razy większą, czyli 500 Hz.

Do narysowania charakterystyki $I_C=f(U_{CE})$ musimy mierzyć prąd kolektora, do czego użyjemy kanału 2. oscyloskopu. Jest on dołączony do rezystora kolektorowego, tak jak to pokazano na rysunku 5. Tworzymy więc kanał użytkownika („Custom”) – klikamy prawym przyciskiem myszki w wolne pole pod opisami kanałów w oknie oscyloskopu, a w polu definicji tego kanału wpisujemy formułę $C2/10$ i zmieniamy jednostki na „A”. W ten sposób kanał 2. mierzy prąd kolektora. Trzeba jeszcze dobrać optymalną czułość i przesunięcie wykresu z tego kanału, np. Range=5 mA/dz i Offset=-25 mA. Na razie mamy wykres czasowy, analogicznie jak w symulacji. Aby uzyskać charakterystykę 2N3904, wybieramy opcję „+XY” z linii poleceń i dobieramy optymalne położenie i rozmiar okna XY. Osi X przydzielamy kanał C1, a osi Y kanał M1. Uzyskujemy w ten sposób rodzinę charakterystyk $I_C=f(U_{CE})$ rzeczywistego tranzystora 2N3904. Porównajmy ją



Rysunek 12. Modyfikacja parametru Bf tranzystora 2N3904



Rysunek 13. Charakterystyki $I_C=f(U_{CE})$ tranzystora 2N3904 z $\beta=135$ uzyskane z symulacji



Rysunek 14. Porównanie zmierzonej i symulowanej charakterystyk $I_C=f(U_{CE})$ tranzystora 2N3904 z $\beta=135$

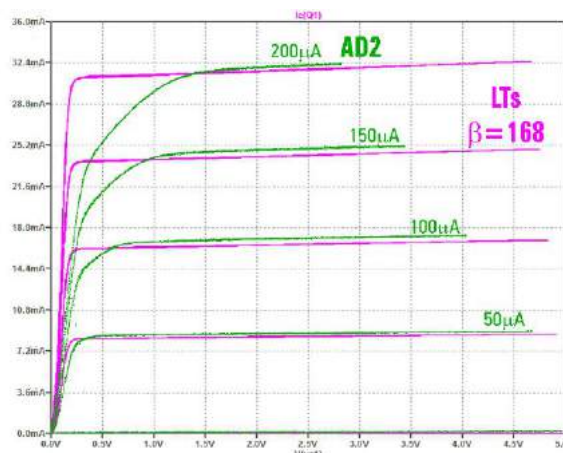
z charakterystyką uzyskaną w symulacji – **rysunek 14**. No, niestety, znowu porażka. Podobnie jak w poprzednim porównaniu różnice są znaczne. Z pomiaru współczynnika wzmocnienia prądowego tranzystora rzeczywistego wynika, że jest on równy ok. 170. Na przykład przy prądzie bazy $150 \mu\text{A}$ prąd kolektora jest równy $25,2 \text{ mA}$, a więc $\beta = I_C/I_B = 25,2 \text{ mA} / 150 \mu\text{A} = 168$.

Dla spokoju porównajmy jeszcze charakterystykę tranzystora rzeczywistego z charakterystyką uzyskaną w symulacji, w której przyjęto wzmocnienie 168 (**rysunek 15**). Teraz jest znacznie lepiej, choć nadal są widoczne różnice dla małych napięć U_{CE} . Można przypuszczać, że model tranzystora jest za bardzo wyidealizowany.

Ograniczenia

Uważny Czytelnik z pewnością zauważy, że krzywe charakterystyk, szczególnie te, które odpowiadają dużym prądom bazy, kończą się wcześniej niż w symulacji. Efekt ten wynika z niezerowej oporności wyjściowej generatora arbitralnego. Prąd wypływający z generatora powoduje, że na oporności tej występuje spadek napięcia zmniejszający napięcie wyjściowe. W rezultacie obserwujemy efektywne zmniejszenie napięcia U_{CE} . O ile wyjściowa oporność dynamiczna generatora Analog Discovery 2 jest równa ok. 1Ω , a nawet mniej, o tyle oporność statyczna, mierzona dla prądów stałych, kształtuje się już na poziomie ok. $45...60 \Omega$. Stany, w których utrzymywany jest stały poziom napięcia wejściowego (schodka), można traktować jako quasi- statyczne, i niestety odczuwamy w nich zwiększoną oporność wyjściową generatora.

Pośrednim ograniczeniem wynikającym z powyższego jest stosunkowo nieduży zakres pomiarowy. W zasadzie, dla prądów kolektora powyżej 40 mA , spadki napięć na oporności wewnętrznej generatora i na rezystorze kolektorowym są na tyle duże, że krzywa zostaje ucięta do punktu odpowiadającego napięciu U_{CE} rzędu $0,5 \text{ V}$. Obserwacja krzywej jest więc ograniczona praktycznie tylko do zakresu jej zaginania się (stanu nasycenia tranzystora).



Rysunek 15. Porównanie zmierzonej i symulowanej charakterystyk $I_C=f(U_{CE})$ tranzystora 2N3904 z $\beta=168$

Nawet gdyby spadki te pominąć, to maksymalne napięcie generatora nie przekracza 5 V . Często układy z tranzystorami dyskretnymi są zasilane napięciami wyższymi, rzędu $9...15 \text{ V}$.

Zwiększenie napięcia zasilającego kolektor można zrealizować stosunkowo prostymi rozwiązaniami układowymi, budując niewielką przystawkę. Nie można jednak przekroczyć granicy 20 V , gdyż jest to dopuszczalne napięcie wejściowe dla wejść oscyloskopowych Analog Discovery 2. Ostatecznie należy uznać, że opisany charakterograf ma przydatność bardziej dydaktyczną niż użytkową, ale temat wydawał się na tyle ciekawy, że warto go było opisać. A w kolejnym odcinku zajmiemy się modulacją PWM.

Jarosław Doliński, EP

REKLAMA

Wszystko, co lubisz,
w jednym miejscu

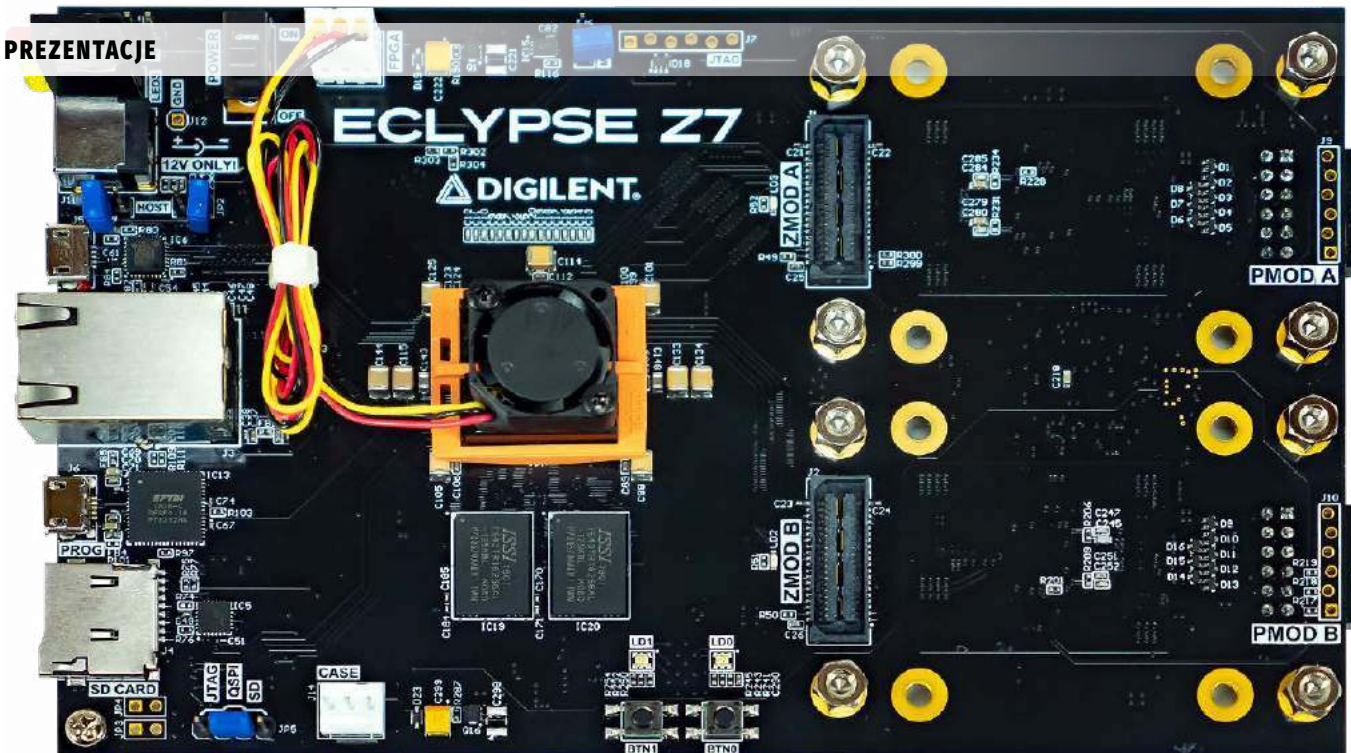


UlubionyKiosk.pl

Oferuje papierowe
i elektroniczne
wydania czasopism
z najważniejszych
segmentów rynku:

budownictwo i wnętrza, muzyka
i dźwięk, elektronika i automatyka,
edukacja i hi-tech, rodzina.

Przesyłka
GRATIS



Digilent Eclypse Z7

System ewaluacyjny z SoC Zynq7000 i złączami systemowymi SYZYGY (Zmod)

Układy SoC powoli, ale konsekwentnie znajdują coraz szersze obszary aplikacyjne, zapewniając konstruktorom korzystającym z tych nowoczesnych architektur bezprecedensowe możliwości implementacji projektów. Połączenie elastyczności programowej i sprzętowej w jednym układzie daje konstruktorom pewność, że w projektowaniu tylko sky is the limit.

Rodzina układów Xilinx Zynq7000 integruje w jednej strukturze 2-rdzeniowy procesor aplikacyjny bazujący na Cortex-A9MP oraz matrycę FPGA znaną z układów Artix-7. Taka konfiguracja, w połączeniu z Linuksem, szybkim Ethernetem i lokalną pamięcią DRAM o dużej pojemności, pozwala użytkownikom integrować w ewaluowanych projektach dwa zazwyczaj rozdzielne światy: programowanego i konfigurowanego sprzętu. Jeżeli szukasz uniwersalnej platformy ewaluacyjnej – zestaw Digilent Eclypse Z7 powinien Cię zainteresować.

Eclypse Z7 w ekspresowym skrócie

Prezentowany zestaw ewaluacyjny Eclypse Z7 (fotografia tytułowa), opracowany i produkowany przez firmę Digilent, wyposażono w układ SoC oferujący użytkownikom możliwość budowy aplikacji bazujących na dwóch, zazwyczaj rozdzielnych światach:

- linuksowym, uruchamianym na 2-rdzeniowym procesorze aplikacyjnym Cortex-A9MP (@667 MHz), który pozwala uruchamiać programy mające dostęp do wielu peryferii charakterystycznych dla standardowych systemów komputerowych. Są to m.in.: interfejs Ethernet 1 Gb, USB-OTG 2.0, pamięć DDRAM o pojemności 1 GB z magistralą 32-bitową. Użytkownicy mogą korzystać także z popularnych lokalnych interfejsów komunikacyjnych SPI, I²C, UART oraz CAN.

Więcej informacji:

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

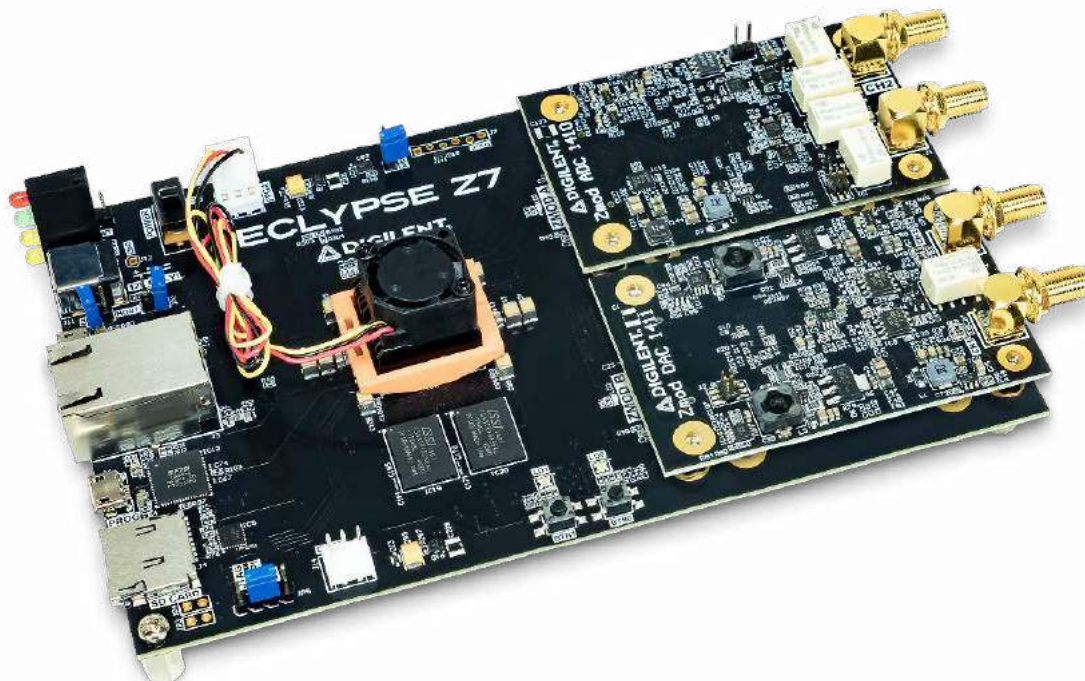


- logiki konfigurowalnej, bazującej na nowoczesnej matrycy FPGA, której architektura parta jest na układach Xilinx Artix-7. Zastosowany w zestawie Eclypse Z7 układ Z-7020 oferuje użytkownikom 85 tysięcy komórek logicznych, 4,9 Mb konfigurowalnej pamięci RAM oraz 220 wyspecjalizowanych komórek DSP.

Zestaw Eclypse Z7 wyposażono dodatkowo w dwie diody LED-RGB oraz 2 przełączniki chwilowe, które tworzą prosty interfejs użytkownika. Poszerzenie możliwości funkcjonalnych prezentowanego zestawu umożliwiają dwa złącza znanego standardu Pmod (o organizacji 2×6 pinów), nowością są natomiast dwa złącza nowego standardu SYZYGY (open source'owy standard opracowany przez Opal Kelly). Pozwalają na używanie kart rozszerzeń funkcjonalnych Zmod, przy czym dzięki zastosowaniu różnicowej transmisji danych użyte ekspandery mogą operować na sygnałach o wysokich częstotliwościach. Dodatkowymi elementami wyposażenia zestawu Eclypse Z7 są: programator-konfigurator JTAG, układ kryptograficzny ATSHA204A firmy Microchip, pamięć Flash SPI S25FL128, złącze kart MicroSD oraz mikrokontroler ATmega328, który spełnia funkcję centrum sterującego pracą elementów peryferyjnych zestawu.

SYZYGY w praktyce

Istotną nowością w zestawie Eclypse Z7 jest wyposażenie go w dwa złącza standardu SYZYGY. Z założenia mają one umożliwić dołączenie kart rozszerzających, przy czym zoptymalizowano je pod kątem przesyłania szybkich sygnałów cyfrowych. Stąd możliwość transmisji poprzez każde ze złączy 8 sygnałów różnicowych oraz 12 asymetrycznych, a także



Fotografia 1. Zestaw Eclypse Z7 z zamontowanymi kartami rozszerzeń ZmodADC1410 oraz ZmodDAC1411

możliwość synchronizacji transmisji za pomocą różnicowego sygnału zegarowego. Obydwa gniazda SYZYGY mają doprowadzone interfejsy I²C, za pomocą których pokładowy mikrokontroler zestawu Eclypse Z7 dostosuje napięcia zasilające logikę karty do jej specyfikacji.

Ekspandery Zmod dla Eclypse Z7

Firma Digilent opracowała i produkuje dwie karty rozszerzeń w standardzie Zmod (ze złączami SYZYGY), są to przetworniki: ZmodADC1410 oraz ZmodDAC1411. Na **fotografii 1** widać je zamontowane na płycie Eclypse Z7.

Przetwornik A/C (ZmodADC1410) ma rozdzielczość 14 bitów, co pozwala uzyskać maksymalną rozdzielczość na poziomie 0,13 mV przy zakresie napięć wejściowych ± 1 V i 3,21 mV przy zakresie napięć wejściowych ± 25 V. Ma dwa asymetryczne analogowe kanały wejściowe, każdy o paśmie do 70 MHz przy spadku amplitudy 3 dB i 30 MHz przy spadku 0,5 dB. Maksymalna częstotliwość próbkowania wynosi 100 MHz. Podobną charakterystykę ma przetwornik C/A (ZmodDAC1411): przy 14-bitowej rozdzielczości można uzyskać dyskretny krok zmiany napięcia wyjściowego wynoszący 167 μ V, a maksymalna szybkość narastania napięcia wyjściowego wynosi 180 V/ms. Impedancja wyjściowa każdego z dwóch kanałów konwersji wynosi 50 Ω , maksymalna częstotliwość próbkowania 100 MHz.

Parametry kart rozszerzających pozwalają używać ich zarówno jako „proste” wejścia i wyjścia analogowe, jak i stosować w podstawowych

aplikacjach SDR (*Software Defined Radio*), w czym pomagają także biblioteki przygotowane przez firmę Digilent.

Sprzęt dla programistów

Architektura układu FPGA użytego w zestawie Eclypse Z7 jest obsługiwana przez środowisko narzędziowe Vivado firmy Xilinx, które umożliwia m.in. implementacje projektów w rekonfigurowalnym sprzęcie za pomocą języków programowania (jak C++, C#). Firma Digilent we współpracy z producentem układu SoC dostarcza kompletny system operacyjny Petalinux, który ma wbudowane API pozwalające na wygodną komunikację programów z częścią sprzętową, implementowaną w FPGA. Dzięki temu podczas przygotowywania aplikacji zestawu Eclypse Z7 programiści nie muszą uczyć się języków opisu sprzętu (HDL), skupiając się wyłącznie na domenie software'owej i swojej aplikacji.

Komplet na biurku bez czekania

Zestaw Eclypse Z7 jest gotowy do użycia zaraz po rozpakowaniu. Poza płytą ewaluacyjną w jego skład wchodzi: wentylator wspomagający chłodzenie SoC, zasilacz oraz kable połączeniowe USB. Konstruktorzy zainteresowani użyciem kart rozszerzających Zmod mogą zamówić w pakiecie także jeden z trzech wariantów zestawu – w zależności od potrzeb – z dwiema kartami ZmodDAC1411, z dwiema kartami ZmodADC1410 lub jedną kartą ZmodDAC1411 i jedną ZmodADC1410.



www.kamami.pl






Zestawy FPGA w specjalnych cenach dla odbiorców
EDUKACYJNYCH

Kompleksowe podejście do obudów od polskiego producenta Kradex

Wymagania współczesnego rynku dotyczące komponentów do elektroniki są bardzo zróżnicowane. Producenci oczekują jakości, akceptowalnej ceny, ale też odpowiednie podejścia od swoich dostawców. Dziś obsługa, dostępność towaru, szybka dostawa oraz dodatkowe akcesoria i usługi stanowią istotny element, decydujący o wyborze takiego dostawcy. Firma Kradex, będąca na rynku blisko 35 lat, rozumie te oczekiwania i wychodzi im naprzeciw. Liczne doświadczenia zarówno w projektowaniu własnych obudów, jak i na specjalne zlecenia klientów zaowocowały wiedzą, którą firma pragnie się dzielić.

Bogata oferta katalogowa, wciąż uzupełniana o nowe produkty, własny magazyn, pozwalający na utrzymywanie wysokich stanów magazynowych, własna narzędziownia i biuro projektowe dają szerokie możliwości działania. Kradex, oprócz standardowych obudów katalogowych, może zaproponować także customizację swoich produktów, czyli frezowanie, ekranowanie EMC, dodatkowe słupki montażowe, nadruki, lakierowanie, fronty, etykiety, a także usługi montażowe. Możliwość zamówienia produktu i usługi do niego oraz zlecenia wykonania w jednym miejscu oszczędza czas, nie ma bowiem konieczności przesyłania obudów z miejsca do miejsca. Usługi zaś wykonywane są przez zespół specjalistów, którzy bardzo dobrze znają produkt i mogą doradzić najlepsze i korzystne cenowo rozwiązania.

Dla bardziej wymagających odbiorców, oczekujących większej odmienności produktowej, Kradex może wykonać obudowę katalogową w innym kolorze lub materiale na życzenie klienta, a także, dzięki sprawniej narzędziowni, zupełnie nowy model obudowy.

Klient może liczyć na pełne wsparcie od projektu, po prototypowanie 3D, na wykonaniu formy i produkcji masowej kończąc. Ta różnorodność oferty stanowi silną stronę firmy.

Wychodząc naprzeciw potrzebom mniejszych odbiorców, w ofercie pojawiło się wiele akcesoriów dedykowanych do określonych produktów, jak: szyny i płyty montażowe (**fotografia 1**). Płyty ułatwiają montaż skomplikowanych urządzeń składających się z dużej liczby elementów poza obudową, a następnie zamontowanie tak złożonego urządzenia w obudowie. Dzięki ich zastosowaniu można także łatwo zamocować detale, które nie pasują do rozstawu słupków w obudowie. Dzięki szynie zaś możliwe jest zamontowanie wewnątrz obudów ZP innych, wymagających montażu na szynie DIN. Płyty i szyny są dopasowane do danego rozmiaru obudowy, co znacznie upraszcza pracę i skraca czas opracowania produktu końcowego.

Kradex wprowadza także oryginalne podejście do wyglądu obudowy. Produkt może mieć wyjątkową oprawę, która go wyróżni spośród innych (**fotografia 2**). Informacji na ten temat udziela specjalista: michał.drzazgowski@kradex.com.pl.



Fotografia 1. Szyny i płyty montażowe dopasowane do obudów



Więcej informacji:

Kradex, www.kradex.com.pl

04-205 Warszawa, ul. Naddnieprzańska 32

michał.drzazgowski@kradex.com.pl



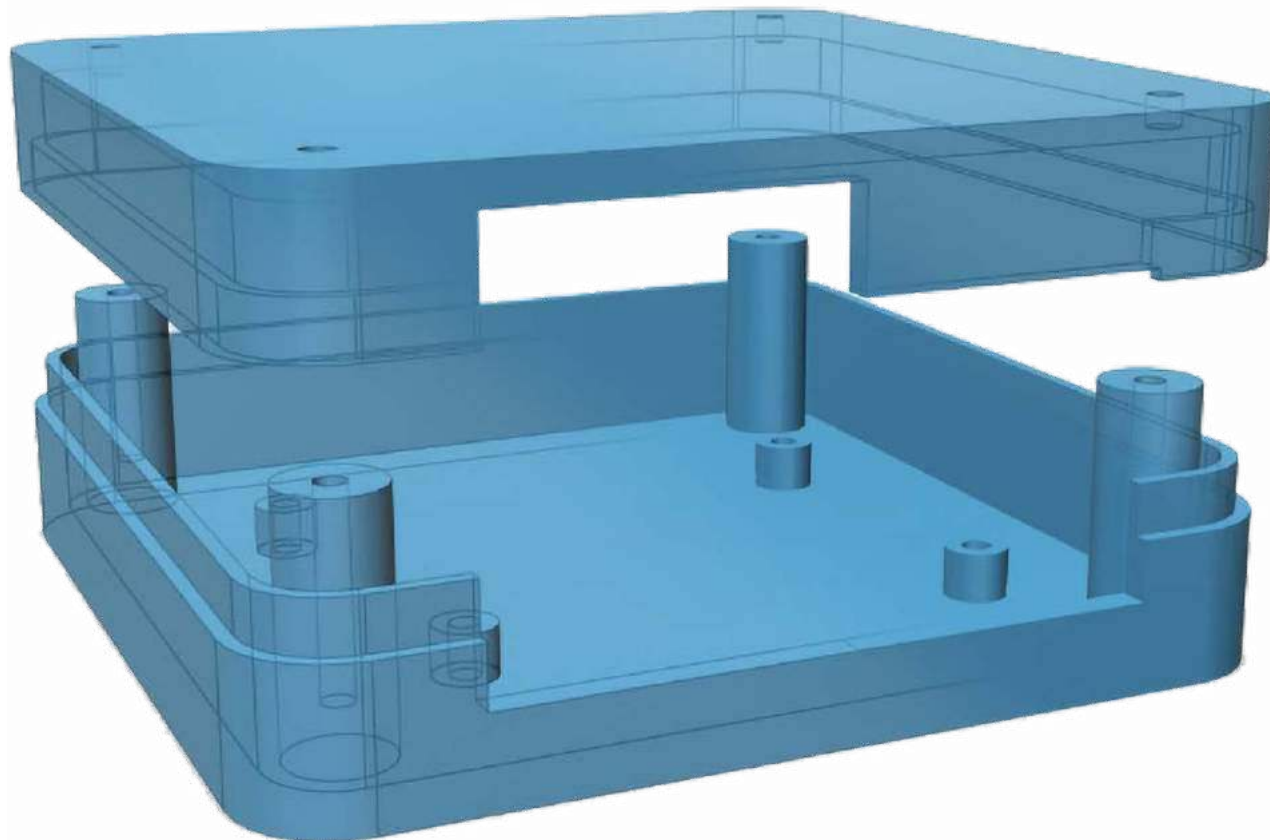
Kradex rozwija swoje produkty o kolejne akcesoria, które mają spełniać wymóg usprawnienia pracy projektantów, konstruktorów, a także ułatwić późniejsze prace montażowe. Do produktów z linii ZP w ostatnim czasie dołączył zestaw do montażu obudów na słupach.

Produktem, na który firma zwraca szczególną uwagę, jest komplet ZP240.190.105 SET w eleganckim pudełku, pokazany na fotografii tytułowej. Zawiera obudowę hermeticzną z akcesoriami, przygotowaną do dalszej pracy. Jest to wygodne rozwiązanie, gdyż obudowa ma zamontowane już zawiasy z wyfrezowanymi pod nie otworami, co pozwala na oszczędność czasu w trakcie montażu pozostałych elementów urządzenia. Obudowa PC w wersji z uszczelką zalewaną, przeznaczona jest do wszelkich urządzeń, przy których zachodzi konieczność hermeticznego zamknięcia. Oprócz zawiasów w komplecie znajdują się także śruby metryczne 5×30 4 sztuki oraz 4 uchwyty montażowe niezamontowane.

Takie kompleksowe podejście do obudów jest wynikiem wielu lat współpracy z projektantami i producentami, dla których nowe rozwiązania, mające na celu wsparcie ich pracy, jest cenną zaletą, której poszukiwali na rynku. Kradex w swoich planach ma kolejne zestawy i akcesoria. Aktualna sytuacja rynkowa i nowe wyzwania, przed którymi stają firmy z branży, jeszcze nasilają wymóg takiego podejścia do produktów, na czym obecnie i w przyszłości będzie skupiać się Kradex.



Fotografia 2. Wyjątkowe wykończenia obudów



Obudowy dla elektroniki

Obudowy to temat, z którym musi zmierzyć się każdy elektronik. Oferty producentów i dystrybutorów są bardzo bogate, a dostęp do nowych technologii znacznie ułatwiony, dlatego dziś nawet konstrukcje amatorskie muszą wyglądać jak profesjonalne.

Można zaryzykować stwierdzenie, że większość Czytelników „Elektroniki Praktycznej” lubi majsterkowanie. Budując choćby najprostsze urządzenie elektroniczne, stajemy w którymś momencie wobec konieczności zamknięcia go w obudowie, co wiąże się z pracami warsztatowymi. Jedni cieszą się z tego powodu, dla innych jest to konieczność, przez którą trzeba jakość przejść. Na szczęście jest wiele sklepów, także internetowych, oferujących bogatą kolekcję gotowych obudów. Korzystanie z nich w pewien sposób ogranicza konstruktora na etapie projektowania płytki obwodu drukowanego. Musi ona pasować do wybranej obudowy. Elektronik majsterkowicz zastosuje inne podejście – zaprojektuje obudowę tak, aby pasowała do płytki.

Plastikowe obudowy home made

Zacznijmy od pierwszego przypadku. Najprostszym, przy tym dość często stosowanym rozwiązaniem, jest adaptacja pudełka po czymś. Warunkiem jest akceptowalna estetyka, dobre własności mechaniczne, trwałość itp. Pomysłowi majsterkowicze na pewno są w stanie zrobić atrakcyjną obudowę z gotowych kształtowników dostępnych w marketach budowlanych. Przykładem mogą być listwy i korytka dla instalacji kablowych, a nawet elementy instalacji sanitarnych.

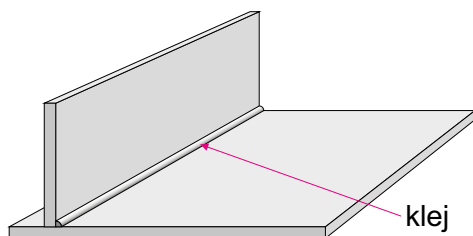
Prace adaptacyjne polegają na ewentualnym wykonaniu kilku otworów, przykręceniu do ścianek elementów mechanicznych, takich jak kołki montażowe, potencjometry, przełączniki, gniazda itp. W takiej obudowie jest zwykle sporo wolnej, niewykorzystanej przestrzeni, rzadko bowiem udaje się znaleźć pudełko pod wymagany wymiar. Pokrewną poniekąd metodą jest adaptacja obudów starych, nieużywanych już urządzeń elektrycznych

lub elektronicznych, jednak prawdopodobieństwo tego, że wszystkie elementy mechaniczne będą odpowiadały naszym potrzebom, jest raczej znikome. O ile dodanie nowych elementów własnych będzie dość łatwe, o tyle maskowanie śladów po elementach demontowanych na pewno przysporzy sporo problemów.

Jeżeli poszukiwania odpowiedniego pudełka lub wolnej obudowy po nieużywanym urządzeniu elektronicznym zakończą się niepowodzeniem, pozostaje jeszcze kilka innych rozwiązań. Jednym z nich jest dość oczywisty przegląd ofert producentów gotowych (uniwersalnych) obudów dla elektroniki lub wykonanie jej całkowicie we własnym zakresie. Do pierwszej opcji wrócimy w dalszej części artykułu, teraz rozważmy możliwości wykonania obudowy metodą *home made*. Jedną z podstawowych decyzji, którą należy podjąć już na wstępie, jest wybór materiału. Najmniej wymagającą pod względem obróbki mechanicznej jest niewątpliwie jakaś odmiana plastiku: polistyren, poliamid, poliwęglan, polietylen, polichlorek winylu czy tak popularna dla obudów prac dyplomowych w szkołach technicznych pleksi (poli(metakrylan etylu)).



Fotografia 1. Gotowe elementy obudowy z pleksi do samodzielnego montażu dla Raspberry Pi



Rysunek 1. Ilustracja zasady rozprowadzania kleju podczas klejenia ścianek z pleksi

Pleksi ma tę zaletę, że stosunkowo łatwo można nabyć płyty o powierzchni wystarczającej do pocięcia na kawałki o wymiarach obudowy. Pewnym problemem w warunkach domowych okaże się zapewnienie precyzji i równomierności cięcia. Trzeba też uważać na to, aby podczas tej operacji nie powstawały w płytce zbyt duże naprężenia, gdyż mogą one powodować niekontrolowane pęknięcia. Z kolei na skutek niedokładności prowadzenia piły mogą powstać małe odpryski na krawędziach cięcia niemożliwe do usunięcia i trudne do zamaskowania. Po cięciu zawsze zostają jakieś ślady i nierówności. Brzegi płytek muszą być dokładnie wyrównane drobnym pilnikiem i papierem ściernym. Ważne jest, aby nie wykonywać tej czynności w ręku, gdyż prowadzi to do utworzenia zaokrąglonych krawędzi i obłej powierzchni cięcia. Cienka płytka pleksi może być cięta metodą szklarską. Powierzchnia jest nacinana ostrym narzędziem, a następnie łamana np. na krawędzi stołu. Metoda sprawdza się najlepiej dla cięcia, a właściwie łamania wzdłuż linii prostych, ale wykonanie lekko zaokrąglonego elementu nie jest niemożliwe, wymaga jedynie pewnej wprawy.

W dzisiejszych realiach względnie łatwo można zamówić u dostawcy arkuszy pleksi usługę laserowego przycięcia na wymiar. W sklepach internetowych z łatwością znajdziemy gotowe elementy obudów do samodzielnego montażu, opracowane dla popularnych systemów, takich jak Arduino, Raspberry Pi i podobnych (**fotografia 1**). Takie obudowy, ze względu na łatwość montażu, zdobyły sobie dużą popularność. Dysponując gotowymi elementami, pozostaje jedynie prosty montaż mechaniczny.

Konstruując własną obudowę, należy dokładnie przemyśleć metodę łączenia poszczególnych jej części. Ścianki obudowy, a także ewentualne wsporniki i inne elementy montażowe z łatwością dadzą się łączyć zarówno mechanicznie, za pomocą śrub czy tzw. blachowkrętów, jak też metodą klejenia. Dostępne są specjalne kleje do łączenia pleksi, np. MEGA UV#10 lub MEGA UV#16, które jednak, jak można sądzić z nazwy, wymagają dodatkowego utwardzania w ultrafiolecie. Konieczne jest więc dysponowanie co najmniej latarką UV, a jeszcze lepiej lampą UV o mocy kilkuset watów. Należy pamiętać, że klej nie jest наносzony na stykające się ze sobą powierzchnie, tak jak robimy to, używając popularnej Kropelki, lecz jest rozprowadzany wzdłuż krawędzi styku (**rysunek 1**). Mimo, wydawać by się mogło, gładkich powierzchni zostanie on zassany dzięki zjawisku napięcia powierzchniowego.

Obudowa wykonana z pleksi, nawet zmontowana starannie i estetycznie, będzie jednak miała specyficzny edukacyjny charakter. Nie zawsze też będziemy chcieli pokazywać użytkownikom zawartość wnętrza, nie tylko zresztą ze względu na tajemnicę użytych rozwiązań. Pewnym wyjściem jest pleksi matowa, mleczna, albo inne rodzaje plastików (polichlorek winylu – PVC, polistyren, poliwęglan, poliamid, polietylen itd.). W ostateczności obudowę można pomalować farbą w sprayu lub okleić okleiną samoprzylepną.

Przykładem dość nietypowego plastiku jest polikaprolakton (PCL) dostępny w postaci granulki. Dzięki niskiej temperaturze topnienia (ok. 60°C) można go obrabiać samodzielnie w warunkach domowych. Wystarczy granulki wsypać do jakiegoś naczynia i zalać gorącą wodą z czajnika. Po kilku minutach staną się bezbarwne, co jest oznaką uzyskania plastyczności. W takim stanie materiał ten można niemal dowolnie modelować jak plastelinę. Po schłodzeniu do temperatury pokojowej uzyska on ponownie sztywność i kolor. Wykonanie kompletnej obudowy z PCL będzie raczej dość trudne, jednak pewne elementy, szczególnie te o nietypowych

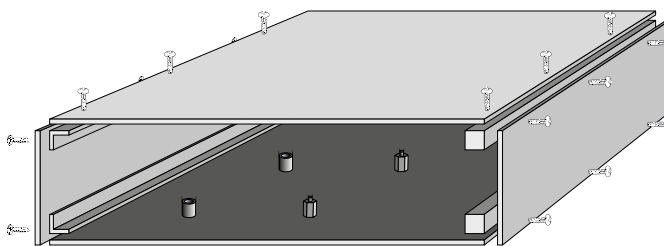
kształtach, mogą być konkurencyjne dla druku 3D. Niska temperatura topnienia polikaprolaktonu stanowi jego zaletę w odniesieniu do prac montażowych, jednak z użytkowego punktu widzenia będzie sporą wadą. Materiał ten absolutnie nie sprawdzi się w urządzeniach nagrzewających się w trakcie eksploatacji lub pracujących na otwartym powietrzu. Plastik ten ma w formie naturalnej kolor biały, co nie zawsze będzie odpowiadało użytkownikom. Do ewentualnego zabarwiania można stosować tylko specjalne barwniki, które są konfekcjonowane w 20-gramowych torebkach i oferowane wraz z samym PCL-em.

Metalowe obudowy *home made*

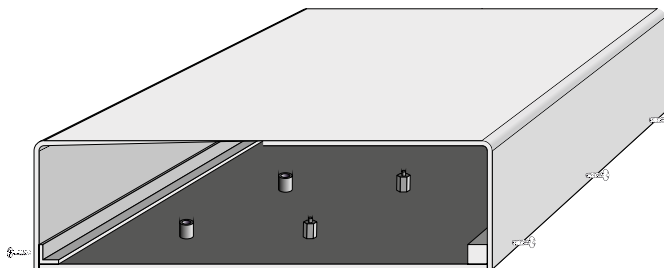
Innym rodzajem materiału nadającego się do ręcznego wykonania obudowy jest metal. Najczęściej jest to aluminium, rzadziej stal nierdzewna, alternatywą jest też cienka blacha ocynkowana, która ma tę zaletę, że można ją ciąć nożycami. Inne rodzaje metali będą znacznie droższym materiałem. Obróbka mechaniczna jest w tym przypadku nieco trudniejsza, ale przy zachowaniu staranności i dokładności możliwe jest uzyskanie satysfakcjonującego efektu końcowego.

Metalowe obudowy *home made* są konstruowane zwykle w oparciu o prostokątne ścianki skręcane ze sobą za pomocą kątowników lub belek o przekroju kwadratowym (**rysunek 2**). Cięższe elementy elektroniczne, takie jak transformatory, radiatory, kompaktowe zasilacze itp., są montowane bezpośrednio do spodu obudowy lub z użyciem odpowiednio dobranych wsporników. Płytki PCB nie mogą dotykać metalowej obudowy ze względu na możliwość powstawania zwarć, muszą więc być mocowane za pomocą kołków lub tulejek dystansowych, a także podkładek izolacyjnych. Konstruktor obwodu drukowanego, a zwykle również wykonawca obudowy, jest w tym przypadku w komfortowej sytuacji, nie musi specjalnie przejmować się precyzyjnym rozmieszczaniem otworów montażowych na PCB. Dopasowanie elementów montażowych jest przenoszone do etapu konstruowania obudowy, w którym jest zwykle większe pole manewru.

Montaż obudowy składającej się z 4 ścian, płyty czołowej i tylnej jest dość uciążliwy. Łączenie ścian za pomocą wkrętów z nakrętkami stwarza możliwość dość dobrego dopasowania wszystkich elementów, ale kłopot może sprawić dostęp do nakrętek, które muszą być w trakcie skręcania zabezpieczone przed obracaniem się. Powstaje ponadto problem dokręcenia ostatniej ścianki (np. tyłu obudowy), gdyż w tej fazie montażu nie ma już w ogóle dostępu do wnętrza obudowy. Rozwiązaniem jest gwintowanie otworów we wspornikach montażowych, ale jest to dosyć trudne. Poza tym wszystkie otwory muszą być bezwzględnie bardzo precyzyjnie ze sobą spasowane, co jest sporym wyzwaniem dla wykonawcy. Można pokusić się o zastosowanie blachowkrętów i wydaje się to najlepszą opcją.



Rysunek 2. Przykładowa konstrukcja obudowy metalowej wraz z elementami montażowymi



Rysunek 3. Obudowa metalowa zbudowana w oparciu na ceowniku



Fotografia 2. Drewniane obudowy urządzeń lat 60...80 XX wieku

Wadą tak konstruowanej obudowy jest spełnienie wymagań estetycznych. Duża liczba wkrętów, śrubek itp. nie wygląda dobrze. Nie ma to specjalnego znaczenia, jeśli urządzenie będzie stało gdzieś pod biurkiem, ale jeśli ma być umieszczone w widocznym miejscu, warto zastanowić się nad jakimś maskowaniem elementów montażowych.

Zdecydowanie mniej wysiłku będzie nas kosztowało wykonanie obudowy z odpowiednio wygiętej blachy. Ścianki boczne i sufit obudowy stanowią wtedy jedną część (rysunek 3), odpada więc sporo pracy i elementów montażowych. Jeśli blacha zostanie precyzyjnie wygięta, efekt estetyczny powinien być nie najgorszy. Trzeba jednak od razu powiedzieć, że decydując się na takie rozwiązanie, należy nastawić się na wykonanie usługi gięcia w warsztacie ślusarskim. Tylko na specjalnej giętarni operacja będzie wykonana odpowiednio dobrze.

W przypadku obudów metalowych istotną kwestią jest wykończenie powierzchni. Ten etap prac ma znaczenie dla uzyskania należytego wyglądu, ale też dla zabezpieczenia elementów obudowy przed utlenianiem. Istnieje kilka technik wykańczania i zabezpieczania obudów metalowych, zapewniających dobry wygląd i dobre cechy użytkowe. Niestety, poza malowaniem np. farbą ftalową większość z nich jest poza zasięgiem możliwości dla amatorów. Malując pędzlem metalową część obudowy, należy liczyć się z powstawaniem pewnych nierównomierności farby oraz nieestetycznie wyglądających zacieków. Dużo lepszy efekt wymaga użycia pistoletu do natryskiwania farby na powierzchnię metalu lub farby w sprayu.

Metalowe obudowy profesjonalnych urządzeń elektronicznych bardzo często są malowane proszkowo. Ze względu na wymagane oprzyrządowanie jest to metoda praktycznie niedostępna dla amatora. Nie ma natomiast problemu ze znalezieniem odpowiedniego zakładu, który takie malowanie wykona na zlecenie. Farba ma konsystencję proszku, który jest наносzony na blachę aluminiową lub stalową techniką natrysku elektrokinetycznego lub elektrostatycznego. Operacja przebiega w specjalnych komorach lakierniczych, a po jej zakończeniu konieczne jest jeszcze wygrzanie w temperaturze ok. 200°C. Obudowy malowane proszkowo uzyskują bardzo elegancki, profesjonalny wygląd. Jednocześnie są bardzo trwałe i odporne na czynniki środowiskowe. Farba jest nakładana równomiernie bez żadnych zacieków. Nie jest to jednak metoda tania. Cena jest za to adekwatna do uzyskiwanych korzyści.

W przypadku obudów aluminiowych często stosowaną metodą zabezpieczania jest anodowanie. Technika ta polega na wytworzeniu na powierzchni niemal niewidocznej warstwy tlenku glinu. Charakteryzuje się on porowatą strukturą bardzo dobrze wchłaniającą organiczne barwniki. Po procesie barwienia stosowane jest jeszcze tzw. uszczelnianie na zimno lub w gorącej wodzie, w wyniku czego obudowa uzyskuje lśniąca powierzchnię. Z kolei szeroko stosowaną metodą wykończeniową blach

stalowych przeznaczonych na obudowy urządzeń elektronicznych jest czernienie (oksydowanie). Chodzi o to samo, czyli o wytworzenie cienkiej warstwy tlenku – w tym przypadku żelaza.

Obudowy drewniane home made

Rozpatrując materiały nadające się na obudowy urządzeń elektronicznych, nie sposób nie wymienić drewna. Jest to materiał stosunkowo łatwy w obróbkę, ale uzyskanie dobrego efektu końcowego bez używania profesjonalnych narzędzi nie będzie łatwe. Zaletą drewna jest jego duża dostępność.

Poszczególne elementy obudowy mogą być ze sobą klejone lub łączone wkrętami do drewna. Bardziej wprawni majsterkowicze mogą pokusić się o montaż z użyciem kołków i klinów. O estetyce obudów drewnianych można dyskutować. Jednym się one podobają, innym nie. W latach 60...80. XX wieku drewno było podstawowym materiałem stosowanym na obudowy sprzętu audio. Często było łączone z trawioną blachą aluminiową i plastikiem, a wcześniej nawet ze szkłem (fotografia 2). Dziś stare radia, magnetofony a nawet telewizory są często wykorzystywane jako wystroj kawiarni i restauracji w stylu *vintage*. Obudowy współcześnie produkowanego sprzętu elektronicznego już tylko w nielicznych przypadkach, może poza kolumnami głośnikowymi, zawierają elementy drewniane. Do wyjątków należy np. firma Lexion zajmująca się sprzedażą różnych designerskich gadżetów. W jednej z kolekcji można znaleźć przepiękne radia, budziki, a nawet kalkulator mające obudowy z... bambusa (fotografia 3). Projekty tej firmy można polecić jako inspiracje dla własnych pomysłów. Ich staromodny wygląd jest gustownie skomponowany z nowoczesnymi dodatkami, takimi jak maskownica na głośniki, nakładki na przyciski, wyświetlacz itp. Wprawdzie ze zdobyciem oryginalnego materiału w naszych warunkach będzie sporym problem, ale zastąpienie go którymś z dostępnych u nas gatunków drewna na pewno da nie gorszy efekt końcowy. Warunkiem jest zachowanie dokładności i staranności podczas prac montażowych.

Mówiąc o drewnie, trzeba sprecyzować, co właściwie przez to pojęcie rozumiemy. Drewnem będzie zarówno lita deska z wybranego gatunku drzewa, ale też sklejka, płyta paździerzowa, pilśniowa czy szeroko stosowana do produkcji mebli płyta MDF. Każdy z tych materiałów ma inne właściwości, inną cenę i nie będzie się nadawał do obudów dla każdego rodzaju urządzeń elektronicznych. Trudno wyobrazić sobie na przykład budowę kolumny głośnikowej z płyty paździerzowej, MDF natomiast będzie się do tego nadawał bardzo dobrze.

Drewno jest materiałem, po który bardzo chętnie sięgają konstruktorzy wzmacniaczy lampowych. Może wynika to z chęci zachowania dawnego stylu, a może po prostu świecące lampy ładnie się z nim komponują. Warunkiem uzyskania efektu „wow” jest wyeksponowanie lamp na zewnątrz.



Fotografia 3. Inspirująca kolekcja drewnianych obudów Lexona



Fotografia 4. Znalezione w Internecie przykłady obudów drewnianych

Ukrycie ich w drewnianym pudełku nie tylko tego efektu nie da, ale będzie też niepraktyczne. Drewno jest dobrym izolatorem ciepła, a lampy, jak wiadomo, mocno nagrzewają się podczas pracy. Otwarta przestrzeń wokół nich zapewni więc całemu wzmacniaczowi duże lepsze warunki. W obudowach tego typu drewno jest zazwyczaj łączone z metalem stanowiącym nie tylko element designu, ale pełniącym też bardzo ważną funkcję w układach lampowych, jaką jest *chassis*. Przykładowe rozwiązanie zaczerpnięte z Internetu ładnie zaprojektowanych i wykonanych obudów pokazano na **fotografii 4**.

Pozostawienie surowego, niezabezpieczonego drewna, chociaż spotykane, nie jest praktyczne. Dotknięcie takiej powierzchni niezbyt czystą dłonią spowoduje pozostawienie trudnych do usunięcia śladów. Drewno będzie też w miarę upływu czasu ciemniało, zmieniając początkowy charakter designu. Najbardziej neutralną metodą zabezpieczenia jest pomalowanie powierzchni lakierem bezbarwnym, z tym że bezbarwny jest on tylko z nazwy. Zawsze, nawet najcieńsza warstwa lakieru zmieni odcień obudowy. Bardziej radykalna metoda, ale stosowana dość powszechnie, to pokrywanie elementów drewnianych bejcą. W tym przypadku musimy jednak liczyć się ze znaczną zmianą wyglądu.

Obudowy drewniane można też wykonywać, oklejając je okleiną... drewnopodobną. Metody takie były kiedyś stosowane dość powszechnie, nawet w wyrobach profesjonalnych. Dzisiaj można je nadal polecać, gdyż okleiny mają dobre właściwości użytkowe, takie jak odporność na zabrudzenia,

łatwość aplikacji, odporność na zarysowanie itp. Należy tylko pamiętać, aby powierzchnie przeznaczone do oklejania były dobrze wyczyszczone i wygładzone. Problemem może być precyzyjne docięcie poszczególnych fragmentów okleiny, szczególnie na kantach. Brzegi powinny być bardzo dokładnie spasowane ze sobą. Niezapewnienie tego warunku może skutkować odrywaniem się mniejszych lub większych fragmentów nawet przy delikatnym dotknięciu krawędzi ręką lub jakimś przedmiotem.

Należy również wspomnieć o podobnej technice, ale wymagającej dużo większego doświadczenia, a nawet umiejętności i wiedzy stolarskiej. Mowa o fornirowaniu. Fornir to cienkie płyty drewna naklejane na wykończoną powierzchnię. Można więc mówić, że w tym przypadku oklejamy drewno drewnem, zyskując za to zamierzony efekt wizualny i dobrą odporność na zarysowania. Najistotniejszą wadą forniru jest wysoka cena.

Płyta przednia i płyta tylna

Wykonanie tych części obudowy wymaga szczególnej staranności. Jest to dość kłopotliwe, choćby ze względu na znajdujące się na nich różne szczeliny i otwory o złożonych kształtach (**rysunek 4**). Dodatkowym utrudnieniem jest konieczność bardzo dokładnego pasowania ich z elementami montowanymi do innych części obudowy, najczęściej do podłogi. Wiercenie i pilowanie otworów będzie trudne, niezależnie od obrabianego materiału, a tylko staranność i precyzja zagwarantują co najmniej zadowalający efekt estetyczny. W profesjonalnych warsztatach czynności



Rysunek 4. Przykład obudowy metalowej z „trudnymi” otworami

te są wykonywane z użyciem sterowanych numerycznie ślusarek, wiertarek, frezarek, maszyn do cięcia laserowego itp. Wykonanie skomplikowanej obudowy można oczywiście powierzyć specjalistom, którzy zapewne bardzo chętnie przyjmą zlecenie, ale wiąże się to ze znacznym kosztem, który może okazać się wyższy niż koszt elektroniki.

Wykonawcą profesjonalnej obudowy, czy to całej, czy tylko trudniejszych jej elementów, nie musi być specjalizowany warsztat. Okazuje się, że koszt zakupu najprostszej frezarki przeznaczonej do prac amatorskich nie jest niebotycznie wysoki. Z pewnością zakup takiej maszyny dla jednostkowego użycia nie będzie uzasadniony, ale dla kogoś, kto regularnie projektuje urządzenia, może okazać się opłacalny.

Oprócz otworów, jednym z większych problemów wykonawcy obudowy są napisy i elementy graficzne umieszczane na płycie przedniej i tylnej. Jest to problem występujący niezależnie od zastosowanego materiału, ale w zależności od niego rozwiązywany różnymi metodami. Temat napisów zasługuje na cały cykl artykułów, ale musimy ograniczyć się tylko do kilku pomysłów.

Niewątpliwie najlepszym rozwiązaniem dla płyt metalowych jest grawerowanie napisów bezpośrednio w metalu. Obudowy tak wykonywane nabierają profesjonalnego i bardzo atrakcyjnego wyglądu. Przykład płyty czołowej z wygrawerowanymi napisami i grafiką przedstawiono na **fotografii 5**. Obecna technika grawerowania ma najczęściej niewiele wspólnego z tradycyjnym jej rozumieniem. Dzisiaj w większości przypadków stosowane są lasery wypalające zadany wzór, a nie wycinające go mechanicznie. Nie oznacza to, że techniki mechaniczne całkowicie odeszły w zapomnienie. Teraz napisy wykonuje programowana frezarka CNC wiernie kopiująca projekt zleceniodawcy. Tą techniką robione są również tabliczki znamionowe i informacyjne. Zamawiający usługę wybiera materiał, z którego tabliczka ma być wykonana. Może nim być np. aluminium anodowane, mosiądz, laminat grawerski lub matowa stal nierdzewna. A jeśli można tak zrobić tabliczkę znamionową, to z pewnością i całą płytę przednią. Do wyboru są podobne materiały. Tabliczki lub całe panele przednie mogą być wykonywane w wersji samoprzylepnej, co ułatwia ich aplikację w urządzeniu docelowym.

Wątpliwe jest, aby do wykonania jednej tabliczki czy płyty przedniej opłacalny był zakup plotera grawerskiego, ale ktoś, kto konstruuje dużo urządzeń, nawet jeśli są przeznaczone tylko na własne potrzeby, może rozpatrywać zakup takiego urządzenia. Inwestycja nie powinna przekroczyć 700 zł.

Zupełnie inną techniką tworzenia napisów na elementach obudowy jest sitodruk. Do wykonania napisu konieczne jest przygotowanie tzw. sita, czyli drobnej tkaniny, na którą jest наносzony szablon z grafiką. W procesie produkcyjnym farba jest przetłaczana przez otwarte oczka sita (niezakryte maską). Utworzenie kilku sit umożliwia wykonanie pełnokolorowej grafiki. Jak można przypuszczać, w przypadku nanoszenia grafiki wielokolorowej sita muszą być idealnie pozycjonowane, aby w kolejnych przejściach rysunek nie został rozmazany. Wadą sitodruku jest jego mała opłacalność. W praktyce, wybór tej techniki staje się zasadny dopiero przy zamówieniach powyżej 30 szt.

Amatorzy raczej nie będą wybierać takiego rozwiązania, a specjalnie dla nich można polecić znaną z domowego trawienia płytek PCB technikę termotransferową. Grafikę drukuje się na drukarce laserowej w luźnym odbiciu na specjalnej folii lub papierze transferowym. Następnie folię tę przykładą się do miejsca, w którym ma się znaleźć grafika i wygrzewa przez kilka sekund w temperaturze ok. 150°C. Po zdjęciu folii nie są już konieczne żadne inne operacje, napis lub grafika jest naniesiona

na powierzchnię docelową. Napisy na płytach czołowych wykonane techniką termotransferową uzyskują bardzo atrakcyjny wygląd niezależnie od podłoża. Przykładem jest znaleziony w Internecie projekt drewnianej obudowy wzmacniacza z napisem wykonanym tą techniką pokazany na **fotografii 6**.

Na przełomie lat 80. i 90. XX w. dużą popularnością cieszyły się arkusze z literkami do naklejania. Dzisiaj można je jeszcze znaleźć w sklepach z artykułami piśmienniczymi i na aukcjach internetowych. Na jednym arkuszu mieści się od kilku do kilkunastu liter lub cyfr. Poszczególne elementy są odrywane od arkusza i przenoszone na powierzchnię docelową, podobnie jak postępuje się z folią samoprzylepną. Metodą tą nie uzyskuje się jednak spektakularnego efektu. Literki mają tendencję do odklejania się, szczególnie przy częstym kontakcie z dłonią użytkownika. Mają też stosunkowo duże wymiary nadające całości dość toporny wygląd. Mając dostęp do plotera tnącego, można taki zestaw liter, a nawet unikatowej grafiki przygotować we własnym zakresie.

Lepsze efekty uzyskuje się, przenosząc literki z arkuszy metodą odfiskania ich na zimno na powierzchnię np. płyty czołowej obudowy. Arkusze takie były kiedyś dostępne dość powszechnie jako zestawy Letraset, Kalgraf lub Tranaset. Obecnie nabycie ich nie będzie łatwe, ale zapewne wielu starszych elektroników ma jeszcze spore ich zapasy. Wykonanie estetycznej płyty czołowej tą techniką wymaga dużej dokładności i staranności. Napisy powinny być też zabezpieczone jakimś lakierem bezbarwnym w celu zapewnienia lepszej trwałości. Alternatywą dla letrasetów mogą być ewentualnie kalkomanie dostępne w sklepach modelarskich. Choć są przeznaczone do wykończania modeli, równie dobrze powinny wyglądać na płytach czołowych urządzeń elektronicznych. Można ich poszukiwać np. w ofercie Woodland Scenic. Zestaw znaków jest jednak dość ograniczony, na arkuszu może zabraknąć tych, które powinny znaleźć się w napisie.

Jak widać, metod wykończania płyt czołowych jest bardzo dużo. Warto przedstawić jeszcze jedną, której wprawdzie nie można zaliczyć do profesjonalnych, ale będzie atrakcyjna w sprzęcie amatorskim. Napisy wraz z dowolną grafiką są drukowane na samoprzylepnej przezroczystej folii do drukarek, którą następnie nakleja się na ściankę obudowy.



Fotografia 5. Grawerowany napis na płycie metalowej (źródło: graven.com.pl)



Fotografia 6. Napis na drewnie wykonany metodą termotransferową (źródło: majsterkowo.pl)



Fotografia 7. Płytkę dystansującą z pleksi nad wyświetlaczem na klawiaturze foliowej

Do zabezpieczenia przed ewentualnym ścieraniem wydruku można zastosować dodatkową cienką folię przezroczystą nakładaną na folię naklejoną.

Klawiatury, wyświetlacze, elementy sygnalizacyjne

Większość urządzeń elektronicznych zawiera elementy regulacyjne i sygnalizacyjne, takie jak przyciski, przełączniki, diody świecące, wyświetlacze itp. Mimo że nadal są one montowane w tradycyjnej, mechanicznej postaci, to od wielu lat są zastępowane również klawiaturami foliowymi i membranowymi. Jest to bardzo wygodna alternatywa zarówno dla amatorów, jak i profesjonalistów. Stosowanie klawiatury foliowej znacznie ułatwia prace montażowe i eliminuje plątaninę kabli między panelem czołowym a płytką elektroniczną. Klawiatury są produkowane wg projektu klienta przez wyspecjalizowane firmy. Zamówienie zawiera grafikę, najlepiej w jakimś formacie rastrowym, lub bitmapę wysokiej rozdzielczości. Wszystkie połączenia elektryczne są projektowane przez wykonawcę z uwzględnieniem ewentualnych zastrzeżeń dotyczących mechaniki i innych warunków. Klawiatura zawiera grafikę i opisy, ale mogą być w niej wykonane otwory pod ośki potencjometrów lub innych elementów. Folia bez grafiki jest przezroczysta, możliwe jest zatem wykonanie okna nad wyświetlaczem. Zachowując widoczność wyświetlanej treści, zyskujemy jednocześnie ochronę wyświetlacza przed zarysowaniami. Jednak jeśli wyświetlacz nie zostanie odpowiednio zdystansowany, może pojawić się wolna przestrzeń między nim a folią. Silniejsze, nawet przypadkowe naciśnięcie na takie miejsce może prowadzić do oderwania lub uszkodzenia folii. Skutecznym zabezpieczeniem jest w takich przypadkach laminowanie okna, polegające na wklejeniu np. wypełniającego powietrze elementu z pleksi. Zastosowany klej jest oczywiście optycznie czysty (fotografia 7).

Przyciski klawiatur foliowych są tworzone kilkoma metodami. W podstawowym wariantcie dwie folie poliestrowe lub poliwęglanowe z napyłconymi warstwami przewodzącymi są umieszczone jedna nad drugą, ale dzięki dodatkowej folii dystansowej nie stykają się ze sobą. Kontakt elektryczny uzyskuje się dopiero po naciśnięciu folii zewnętrznej. Są też odmiany klawiatur, w których element stykowy zawiera metalową membranę dającą efekt wyraźnego kliku. Dodatkowo sam klawisz może zawierać delikatne przetłoczenie upewniające użytkownika o przyłożeniu palca w dobrym miejscu. Rezystancje styku klawiatur foliowych są większe niż styków przycisków mechanicznych. Zwykle jest to 30...60 Ω , ale rezystancja ta może w niesprzyjających warunkach przekraczać nawet 100 Ω . Producenci gwarantują minimum milion przełączeń.

Połączenia elektryczne przycisków klawiatury są projektowane z uwzględnieniem wymagań zleceńodawcy, liczby przycisków i, co oczywiste, miejsca na folii. Większe klawiatury są organizowane zwykle w układzie matrycowym.

Atrakcyjność klawiatur foliowych nie ogranicza się do łatwej implementacji nawet wielu przycisków i ładnego wyglądu. Możliwości technologiczne pozwalają na umieszczanie na folii diod świecących pełniących

dość oczywiste funkcje sygnalizacyjne, ale coraz częściej również dekoracyjne. Spotykane są klawiatury foliowe z indywidualnie podświetlanymi przyciskami. Diody LED SMD mają na tyle małe wymiary, że mogą być bez większych ograniczeń umieszczane między warstwami klawiatury. Dodatkowe elementy występujące w układzie sterowania diodą, jak rezystory ograniczające prąd, są zwykle montowane poza klawiaturą, muszą więc znaleźć się na płytce elektronicznej. Coraz częściej LED-y wraz z matami światłowodowymi lub płytkami dyfuzyjnymi są stosowane do podświetlania wyświetlaczy.

Tabela 1. Polecani producenci i dystrybutorzy obudów dla elektroniki

Firma	Kontakt
Akcesoria CNC	www.ebmia.pl
AB Micro	www.abmicro.com.pl
APAR	www.apar.pl
Apra-optinet	www.apra-optinet.pl
Armel	www.armel.pl
Astat	www.astat.pl
BNS	www.bns.com.pl
Conrad Electronic	www.conrad.pl
CSI	www.csi.pl
Cubic Inch	www.cubicinch.pl
Dipol	www.dipol.com.pl
Elfa Distrelec	www.elfadistrelec.pl
Elgig	www.elgig.pl
Elmag	www.elmag.net.pl
Eltron	www.eltron.pl
Eltronika	www.eltronika.pl
Energotech	www.energotech.pl
Ex-Con Polska	www.ex-con.pl
Farnell element14	www.pl.farnell.com
Fibox	www.fibox.pl
Firma Piekarz	www.piekarz.pl
Kradex	www.kradex.com.pl
LC Elektronik	www.lcelektronik.com
Maszczyk	www.maszczyk.pl
Mera Ex	www.mera-ex.pl
Micros	www.micros.com.pl
MS Elektronik	www.mselektronik.pl
OEM Automatic	www.oemautomatic.pl
Phoenix Contact	www.phoenixcontact.pl
RS Components	www.pl.rs-online.com
Semicon	www.semicon.com.pl
Soyter Components	www.soyter.pl
Transfer Multisort Elektronik	www.tme.eu/pl



Fotografia 8. Przykładowe obudowy Kradexu

Alternatywą dla klawiatur foliowych i mechanicznych są panele dotykowe występujące w wersji rezystancyjnej lub pojemnościowej. Panel to szklana tafla ze szkła zwykłego, hartowanego, częściowo hartowanego lub laminowanego, zawierająca matrycę przełączników dotykowych. Jest ona nakładana na wyświetlacz, na którym są wyświetlane elementy graficzne wirtualnych przycisków zawierające piktogramy lub opisy słowne. Jest to bardzo wygodne rozwiązanie, gdyż na małej powierzchni można zmieścić wiele przycisków całkowicie różniących się funkcjami. Pojawiają się one na ekranie w obrębie zmieniającego się kontekstowego menu. Niestety, nie jest to rozwiązanie tanie.

Gotowe obudowy

Wykonanie własnej obudowy, jak wynika z powyższych rozważań, jest dość czasochłonne i mało opłacalne. Jeśli jednak chcemy uzyskać niepowtarzalny wygląd naszego urządzenia, nadać mu indywidualny charakter, zadbać o szczegóły, na których nam zależy, koszty stają się mniej ważne. Oczywiście tylko do pewnych granic.

Warto brać pod uwagę liczną ofertę gotowych obudów uniwersalnych. Taka strategia wymaga nieco innego podejścia do projektowania samej elektroniki. Płytkę z obwodem drukowanym musi być zaprojektowana tak, aby zmieściła się do wybranej obudowy, żeby w odpowiednich miejscach znalazły się otwory montażowe, czasami zostają narzucone wymagania dotyczące rozmieszczenia gniazd, przełączników itp. Bardzo często wymagania te mogą okazać się sprzeczne z wymaganiami dotyczącymi zasad projektowania PCB, bezpieczeństwa czy kompatybilności elektromagnetycznej. Projektant nie stoi jednak na straconej pozycji. Oferta jest bardzo bogata, a producenci gotowych obudów są w niektórych przypadkach skłonni do modyfikacji swoich wyrobów na życzenie zamawiającego. Taki wariant



Fotografia 9. Przykładowe obudowy Maszczyka



Fotografia 10. Przykładowe obudowy Cyfroniki

dotyczy jednak raczej dostawców małych serii urządzeń elektronicznych niż amatorów poszukujących obudowy dla jednego urządzenia.

Gotowe obudowy są kupowane najczęściej przez Internet. Nie ma więc większego znaczenia, czy są produkowane w Polsce, czy poza granicami. Na naszym rynku działa kilka firm związanych z produkcją i/lub sprzedażą gotowych obudów dla elektroniki.

Kradex (www.kradex.com.pl). Polski producent obudów plastikowych (ABS, polistyren (PS)). Dużą część asortymentu stanowią popularne, tanie obudowy uniwersalne, podzielone na: obudowy dwuczęściowe, z panelami bocznymi, modułowe na szynę, do zasilaczy, do montażu na ścianę, hermetyczne, z wieczkiem, do pilotów, z miejscem na baterię, kolorowe i przezroczyste, specjalne i spersonalizowane. Oferowane są ponadto różne akcesoria do obudów, m.in. standardowe klawiatury foliowe, wkłady, oringi, filtry pod wyświetlacze itp. Przykładowe produkty pokazano na **fotografii 8**.

Maszczyk (www.maszczyk.eu). Producent m.in. popularnych, tanich obudów plastikowych i metalowych wraz z przeznaczonymi dla nich akcesoriami. Oferta obejmuje również klawiatury membranowe i foliowe. Firma realizuje zamówienia jednostkowe, a także świadczy usługi długoterminowe dla małych, średnich i dużych przedsiębiorstw produkcyjnych. Wyroby podzielono na kilka grup, a w ramach nich na serie. Są to m.in. obudowy standardowe, standardowe z mocowaniem, z mocowaniem do ściany, z panelem, hermetyczne, na szynę DIN, tablicowe, obudowy zasilaczy, pilotów, urządzeń przenośnych i alarmów, obudowy Hand Fit i transparentne (**fotografia 9**).

Cyfronika (www.sklep.cyfronika.pl). Dostawca obudów plastikowych i metalowych o zróżnicowanych konstrukcjach i przeznaczeniu. Ofertę podzielono m.in. na małe, duże, uniwersalne obudowy z tworzywa ABS, obudowy do pilotów, pod klawiaturę, hermetyczne, na szynę, tablicowe, do zasilaczy i wiele innych. Amatorom można polecić obudowy typu T wykonane ze stalowej blachy ocynkowanej o grubości 0,5...1 mm. Są one kierowane specjalnie



Fotografia 11. Przykładowe obudowy OKW



Fotografia 12. Przykładowe obudowy Bopla

do majsterkowiczów. Pokrywa obudowy ma konstrukcję ceownika, jest dokręcana do jej podstawy. Obudowy te są malowane czarną farbą proszkową. Przykładowe produkty pokazano na **fotografii 10**.

OKW (www.okw.com/pl). Niemiecki producent obudów i pokręteł z 70-letnim doświadczeniem, mający przedstawicielstwa w całej Europie, m.in. w Polsce oraz w wielu krajach na całym świecie. Obudowy OKW są produkowane z materiałów najwyższej jakości, odznaczają się ergonomicznym kształtem i funkcjonalnością. W ofercie można znaleźć modele z komorami dla różnych rozmiarów baterii, z zagłębieniami pod klawiatury foliowe, z uchwytami do mocowania na ścianie. Wymagający klienci poszukujący obudów do urządzeń pracujących w różnych warunkach środowiskowych znajdą w ofercie OKW modele o klasie szczelności IP54, IP65, IP66 i IP67. Przykłady obudów OKW pokazano na **fotografii 11**.

Bopla (www.bopla.de/en.html). To drugi niemiecki producent obudów i klawiatur mający tylko nieco krótszą, 50-letnią tradycję. Firma ta bardzo mocno stawia na jakość. Jej obudowy nie należą do najtańszych, ale są dopracowane pod względem designu i cech użytkowych. Bopla produkuje obudowy plastikowe (głównie ABS) i metalowe (aluminium). Jak u większości producentów i dostawców obudowy podzielono na grupy i serie. Oferta jest tak szeroka, że trudno by ją było przedstawić w kilku zdaniach. Na **fotografii 12** pokazano kilka modeli obudów. Korzystając z parametrycznej wyszukiwarki dostępnej na stronie internetowej producenta i dostawców można odnaleźć obudowę najlepiej pasującą do wymagań klienta. Obudowy występują w rozmiarach od breloczków po szafy rack. Wyroby Bopli cieszą się dużym powodzeniem na całym świecie, są dostępne w wielu sklepach internetowych.

Apra (www.apra-optinet.pl). Zaprezentowana w artykule lista producentów i dostawców obudów dla elektroniki nie jest ułożona tendencyjnie, jak można by sądzić. Obecność kolejnej niemieckiej firmy świadczy jedynie o mocnej specjalizacji firm tego kraju w zakresie produkcji obudów. Apra nie jest bardzo znana w Polsce, a jej oferta może być bardzo atrakcyjna dla wielu rodzimych producentów elektroniki. Oprócz stałej kolekcji gotowych obudów dostępnych od ręki (**fotografia 13**) możliwe jest zamówienie obudowy wykonywanej

według projektu klienta. Na szczególną uwagę zasługuje jedna z technologii stosowanych do produkcji, jaką jest termoformowanie. Umożliwia ona wytwarzanie produktów z tworzyw sztucznych o praktycznie dowolnym kształcie z łatwym łączeniem detali metalowych z plastikiem (np. gwintowanych wkładek).

Druk 3D

Tę technologię wytwarzania obudów dla elektroniki umieściliśmy na końcu. W dzisiejszych realiach wydaje się ona bardzo naturalna, jeśli nie w zastosowaniach profesjonalnych, to na pewno w amatorskich. Drukarki 3D trafiły już do wielu użytkowników indywidualnych, tym samym amatorzy zyskali dobre narzędzie do wytwarzania obudów dla swoich urządzeń. Nie popadajmy jednak w zbyt optywizm. Nie jest to technologia gwarantująca uzyskanie co najmniej zbliżonej jakości do technologii klasycznych. Po wydrukowaniu elementu często okazuje się, że jest on daleki od oczekiwań i konieczne są dodatkowe procesy, takie jak usuwanie podpór, brimu lub raftu, szlifowanie a nawet frezowanie. Na skutek ograniczonej rozdzielczości drukowania, szczególnie tańszych drukarek, konieczna jest też kąpiel w acetonie lub izopropyle, a do tego z kolei wymagany jest dodatkowy sprzęt. Można wprawdzie znaleźć wiele firm oferujących profesjonalne wydruki 3D, ale jednostkowy koszt obudowy staje się mało konkurencyjny dla innych technologii.

Należy natomiast bardzo poważnie traktować technologię druku 3D jako metody prototypowania dla form, z których będą później produkowane obudowy na wtryskarkach. Koszt wykonania formy może być rzędu nawet kilkuset tysięcy złotych, wykonanie kilku prototypów 3D, jeśli nawet nie będą tanie, może okazać się i tak opłacalne.

Kompatybilność EMC, klasy szczelności i inne wymagania

Projektując urządzenie elektroniczne, musimy już na etapie tworzenia schematu ideowego pamiętać o szeregu czynników, które wpływają na pracę urządzenia traktowanego jako całość, nie tylko płytę z układem elektronicznym.

Jednym z czynników jest kompatybilność elektromagnetyczna. Jest to zagadnienie w znacznym stopniu związane z rozwiązaniami układowymi, ale mające również powiązania z konstrukcją obudowy urządzenia. Jeśli spełnienie określonych parametrów będzie wymagało na przykład dobrego ekranowania, wybór obudowy drewnianej lub plastikowej powinien być raczej odrzucony. Istnieją wprawdzie metody ekranowania obudów plastikowych na przykład przez napylenie od wewnątrz warstwy przewodzącej, ale są one drogie i nadają się praktycznie tylko do specyficznych zastosowań profesjonalnych.

Znacznie trudniej jest spełnić wymagania dotyczące szczelności. Producenci obudów grupują je w ofertach według przyjętych na całym świecie klas szczelności IP (stopni ochrony). Wyroby są oznaczane specjalnym kodem. Za literami IP umieszczany jest dwucyfrowy kod określający:

- zabezpieczenie przed ciałami stałymi (pierwsza cyfra),
- zabezpieczenia przed wnikaniem wody (druga cyfra).

Im większa jest cyfra, tym lepsze jest zabezpieczenie.

Przykładowe oznaczenie IP64 oznacza całkowitą odporność przed wnikaniem pyłu i ochronę przed kroplami padającymi pod dowolnym kątem ze wszystkich stron. Oznacza to, że urządzenie jest odporne na deszcz, ale już całkowicie w wodzie zanurzone być nie może.

Budując lub wybierając gotową obudowę, powinno się brać pod uwagę jeszcze inne czynniki uwzględniające charakter urządzenia, i wymagania narzucone innymi względami. Są to m.in.: izolacja galwaniczna, odporność na promieniowanie UV, przewodnictwo cieplne i elektryczne czy choćby ergonomia. Ale *summa summarum* obudowa to wizytówka urządzenia, estetyka będzie więc oceniana jako pierwsza.

Jarostaw Doliński, EP



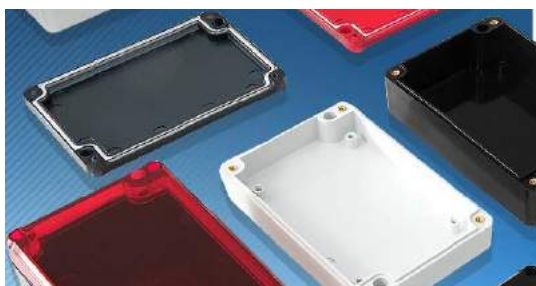
Fotografia 13. Przykładowe obudowy Apra

Zdaniem konstruktora

Obudowa jest wizytówką urządzenia i jej cechy są oceniane jako pierwsze spośród wszystkich cech produktu, dlatego o wyborze obudowy coraz bardziej decyduje jej jakość, estetyka i dokładność wykonania. Aby nie pogorszyć tych cech, a jednocześnie otrzymać gotowe i dopasowane w szczegółach rozwiązanie, producenci elektroniki często są zainteresowani dodatkowymi usługami, związanymi z obróbką, nadrukami, panelami czołowymi i klawiaturami.

Konstruktor poleca

Firma Maszczyk jest wiodącym polskim producentem obudów do elektroniki. W ofercie znajduje się wiele gotowych produktów, których wysoka jakość jest efektem wiedzy i wieloletniego doświadczenia oraz najnowocześniejszego parku maszynowego. Możliwości firmy obejmują także szeroko pojętą obróbkę obudów, dopasowanie frontu lub klawiatury membranowej, wyspecjalizowane malowanie obudów oraz usługi sitodruku, tampondruku i transferu wodnego.



Obudowy hermetyczne – Nowa Seria BI

Obudowy wykonane z tworzywa ABS o polewowanej powierzchni wykończeniowej. Mają zamontowane inserty do solidniejszego skręcania, co zarazem zwiększa szczelność obudowy do IP-65. W zestawie uszczelka i śruby. W podstawie obudowy są otwory do montażu na ścianie oraz kołki mocujące do płyty PCB. Standardowe kolory to RAL 9004 i RAL 7035. Obudowa dostępna w wersjach z wieczkami transparentnymi czerwonym, bezbarwnym lub dyymnym. <https://bit.ly/3emLLFy>



Chromowane oznakowania

Profesjonalna prezentacja logo, marki, modelu czy serii produktu pozwoli znacznie odróżnić produkt od konkurencji, zwiększając jednocześnie jego rozpoznawalność. Powierzchnia emblematu może być wykonana z dowolnego koloru o metalicznym odcieniu. Chromowane emblematy cechują się dużą odpornością na czynniki wewnętrzne, nie rdzewieją i nie wyblakną. Oferujemy również możliwość wykonania wpustu w obudowie, pod naklejkę, przy projektowaniu formy. Pozwoli to na wyrównanie powierzchni obudowy z emblematem i rozwinie wizualną stronę urządzenia. <https://bit.ly/3cg5Jez>

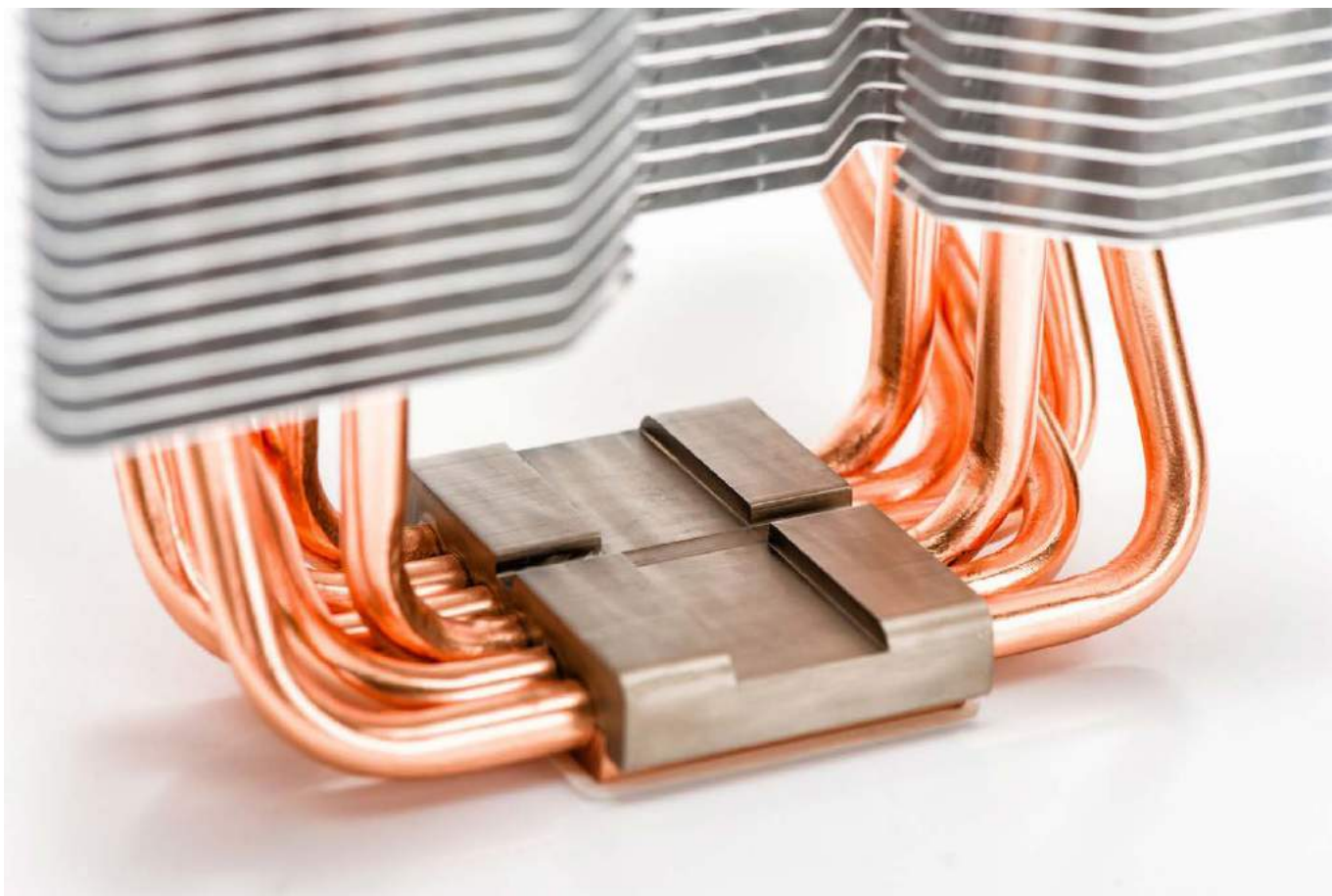


Kontakt:

Maszczyk
tel. 22 783 45 20

maszczyk@maszczyk.pl,
www.maszczyk.pl





Chłodzenie w urządzeniach elektronicznych

W wielu urządzeniach elektronicznych ogromnym wyzwaniem jest nadmiar ciepła. Jego rozpraszanie jest kluczowym problemem licznych systemów, od komputerów osobistych, poprzez przemysłowe sterowniki silników, auta elektryczne, po satelity kosmiczne. W poniższym artykule przyjrzymy się zagadnieniu chłodzenia układów elektronicznych od strony teoretycznej i praktycznej.

Miniaturyzacja układów elektronicznych i rozproszenie komponentów generujących dużą ilość ciepła sprawiają, że analiza termiczna i chłodzenie układów scalonych stają się coraz bardziej skomplikowane. Zrozumienie parametrów cieplnych układów scalonych, bez względu na to, czy są to mikrokontrolery, układy FPGA, procesory, czy tranzystory mocy, zawsze było niezbędne, aby uniknąć ich przegrzania, które może spowodować nieprawidłowe działanie lub katastrofalną awarię systemu.

Wielu elektroników nie jest w pełni przygotowanych na to wyzwanie. Producenci komponentów – urządzeń półprzewodnikowych i systemów chłodzenia, zazwyczaj dostarczają podstawowych informacji na temat zachowania termicznego swoich produktów, aczkolwiek czasami ograniczają się do podania całkowitej rozpraszanej

mocy, wyrażonej w watach. Wyjaśnimy, jak prawidłowo użyć tych informacji.

Podstawy fizyczne

Ciepło

W termodynamice ciepło jest energią przenoszoną do lub z układu termodynamicznego za pomocą mechanizmów innych niż praca lub transport materii. Mechanizmy przenoszenia ciepła obejmują przewodzenie poprzez bezpośredni kontakt dwóch ciał, promieniowanie między oddzielnymi od siebie ciałami lub tarcie spowodowane izochoryczną pracą: mechaniczną, elektryczną, magnetyczną lub grawitacyjną, wykonaną przez otoczenie w układzie. Gdy istnieje odpowiednia ścieżka transferu pomiędzy dwoma systemami o różnych temperaturach, przekazywanie ciepła zachodzi zawsze, natychmiastowo i spontanicznie z cieplejszego do zimniejszego systemu.

W ujęciu mikroskopowym – teorii kinetyczno-molekularnej – ciepło objaśnia się jako mikroskopowe ruchy i interakcje cząstek składających się z atomów i cząsteczek. W ujęciu tej teorii zakłada się, że wszystkie ciała składają się z cząstek o pomijalnym rozmiarze, które znajdują się w nieprzerwanym, chaotycznym ruchu i oddziałują między sobą poprzez zderzenia sprężyste. Średnia energia kinetyczna tych cząstek jest wprost proporcjonalna do temperatury ciała. Bezpośrednim znaczeniem tej energii nie jest jednak ciepło, jest ona

składnikiem energii wewnętrznej materii. W kategoriach mikroskopowych ciepło jest wielkością przenoszoną, opisywaną przez teorię transportu, a nie jest stałe zlokalizowaną energią kinetyczną cząstek. Przenikanie ciepła wynika z gradientów lub różnic temperatur poprzez rozproszoną wymianę energii kinetycznej pomiędzy cząstkami przez ich zderzenia i inne interakcje.

Transport ciepła

Ciepło to transport energii pomiędzy dwoma ciałami o różnej temperaturze. Jest to proces dynamiczny, zachodzący w czasie w określony sposób. Dwie istotne zależności opisują to zjawisko – prawo stygnięcia Newtona i zasada zachowania energii.

Prawo stygnięcia Newtona opisuje, w jaki sposób zmieniają się temperatury dwóch ciał (opisanych jako A i B o temperaturze, odpowiednio, T_A i T_B), które są ze sobą w kontakcie. Zdefiniowane jest ono za pomocą **równania 1**.

$$\frac{dT_B}{dt} = -K_A (T_B - T_A)$$

gdzie:

K_A – tzw. współczynnik proporcjonalności, który jest zależny od wielu parametrów fizycznych układu – jego wielkości, pojemności cieplnej, przewodności cieplnej etc.

Drugie prawo można zapisać w ogólności jako:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{P}{mc}$$

gdzie:

P – moc rozpraszana na danym cieple,

m – jego masa,

c – jego ciepło właściwe.

Jak wynika z prawa stygnięcia Newtona, tempo utraty ciepła przez ciało o wyższej temperaturze jest proporcjonalne do różnicy temperatur pomiędzy tymi ciałami. Łącząc **równanie 1** oraz **równanie 2**, uzyskujemy zależność zapisaną w **równaniu 3**.

$$\frac{dT_B}{dt} = \frac{P}{mc} - K_A (T_B - T_A)$$

Rezystancja cieplna

Z punktu widzenia układów elektronicznych najbardziej interesuje nas temperatura układu w funkcji odprowadzanej z układu ilości mocy P. Parametr, który wiązać będzie ze sobą te dwie wartości to tzw. rezystancja cieplna Θ_{AB} . Załóżmy, że oba ciała znajdują się w równowadze termodynamicznej (**równanie 4**).

$$\frac{dT_B}{dt} = 0$$

Zatem równanie 3 możemy przekształcić do postaci:

$$P = \frac{T_B - T_A}{\Theta_{AB}}$$

gdzie rezystancja cieplna równa jest:

$$\Theta_{AB} = \frac{1}{mcK_A}$$

Parametr ten podawany jest w kartach katalogowych układów scalonych i innych przyrządów półprzewodnikowych. Pozwala on na wyznaczenie różnicy temperatury pomiędzy dwoma ciałami, połączonymi właśnie taką rezystancją.

W typowym urządzeniu elektronicznym wyróżnia się wiele typów rezystancji cieplnej, co pozwala na bardziej złożoną analizę parametrów cieplnych urządzenia i wyznaczanie temperatur różnych jego elementów. Wyróżnia się między innymi następujące parametry:

- Θ_{JA} – rezystancja cieplna złącze (junction) – otoczenie (ambient),

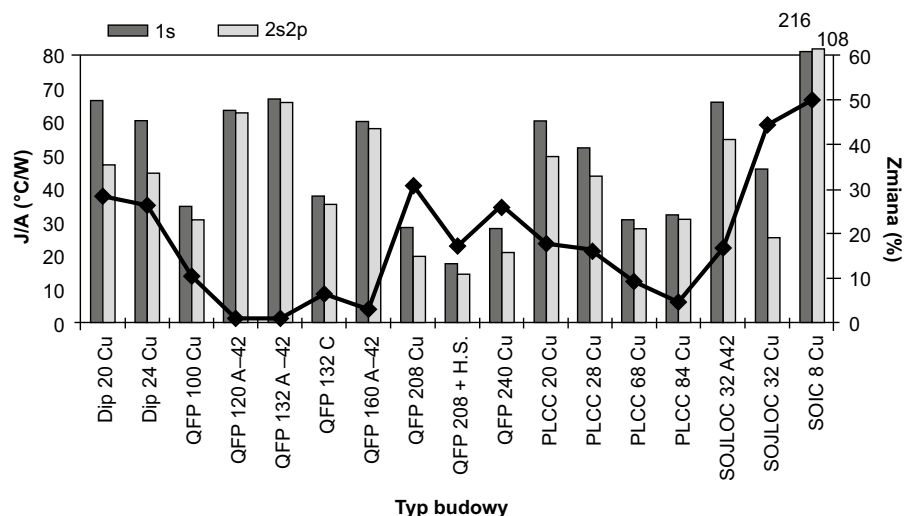
- Θ_{JMA} – rezystancja cieplna złącze–przepływające powietrze (moving air),
- Θ_{JC} – rezystancja cieplna złącze–obudowa (case),
- Ψ_{JT} – rezystancja cieplna złącze–wierzch obudowy (top of the case),
- Θ_{JB} – rezystancja cieplna złącze–płytkę (board),
- Ψ_{JB} – parametr cieplny złącze–płytkę.

Rezystancja cieplna złącze–otoczenie oraz złącze–przepływające powietrze

Rezystancja cieplna pomiędzy złączem (strukturą krzemową układu), a otoczeniem jest najczęściej używaną metryką przy prowadzeniu analizy termicznej systemu elektronicznego. Często jest niepoprawnie interpretowana przez inżynierów, projektujących urządzenia elektroniczne i w związku z tym stosowana niepoprawnie. Dodatkowo, nie wszyscy producenci układów scalonych stosują się dokładnie do norm JEDEC, opisujących znormalizowany sposób pomiaru rezystancji cieplnej Θ_{JA} oraz Θ_{JMA} . Na przykład nie zawsze wykorzystywane są znormalizowane płytki PCB do pomiaru. Norma EIA/JESD51 zakłada tylko dwa ich rodzaje – 1s (płytkę jednowarstwową) i 2s2p (płytkę czterowarstwową z dwoma zewnętrznymi warstwami sygnałowymi i dwoma wewnętrznymi wylewkami zasilania). Producenci rzadko podają, w jaki dokładnie sposób wykonano pomiar, a już sama różnica w zastosowanym laminacie może mieć ogromne znaczenie, jak pokazano na **rysunku 1**. Wartości te zdefiniowane zostały po to, by możliwe było porównywanie między sobą różnych obudów układów scalonych i innych elementów – zazwyczaj nie mówią one wiele o danym układzie, gdyż na efektywną rezystancję cieplną układu, oprócz zastosowanej obudowy, wpływ mają inne parametry, takie jak projekt płytki drukowanej (wielkość pól lutowniczych, ścieżek i ich orientacja), konfiguracja geometryczna samej struktury krzemowej w układzie etc. Jak pokazują analizy JEDEC, w systemie bez wymuszonego obiegu powietrza nawet 95% mocy generowanej w znormalizowanym układzie pomiarowym rozpraszane jest poprzez jego wyprowadzenia i płytkę drukowaną, a nie obudowę. Stosujmy te wartości rezystancji cieplnej jedynie do zgrubnego szacowania parametrów termicznych podczas porównywania np. tego samego układu w różnych obudowach.

Rezystancja cieplna złącze–obudowa

Rezystancja cieplna złącze–obudowa jest klasyczną metryką, która stworzona została do estymacji parametrów termicznych układów scalonych, które chłodzi się, stosując radiatory. Norma EIA/JESD51-1 definiuje Θ_{JC} jako „Opór cieplny od części roboczej urządzenia półprzewodnikowego do zewnętrznej powierzchni jego obudowy



Rysunek 1. Porównanie rezystancji cieplnej Θ_{JA} dla różnych obudów układów scalonych zamontowanych na testowych płytkach jednowarstwowowych (1s) i czterowarstwowowych (2s2p) wraz z pokazaną procentową zmianą wartości rezystancji cieplnej

najbliższej obszarowi montażu chipa (struktury półprzewodnikowej), gdy ta powierzchnia jest odpowiednio chłodzona, aby zminimalizować wahania temperatury na tej powierzchni”. Istnieją także inne metody pomiaru tej wartości, takie jak opisane w normie SEMI G43-87 pomiary po zanurzeniu układu w cieczy, jednakże są one rzadziej stosowane.

Niezależnie od konkretnej metody pomiaru rezystancji cieplnej złącze-obudowa metryka ta jest w ogólności przestarzała i odradza się jej stosowanie, szczególnie w przypadku dokładniejszych obliczeń. Zarzucenie jej wykorzystywania wynika głównie z faktu, że na obudowie współczesnych układów elektronicznych występują duże gradienty temperatur, a dodatkowo obudowa nie jest jedynym kanałem rozpraszania ciepła z układu scalonego – obecnie ciepło transportowane jest również do płytki drukowanej przez liczne wyprowadzenia czy pady termiczne.

Aby przezwyciężyć ograniczenia, wprowadzono nowszą metrykę do opisywania rezystancji cieplnej – rezystancja cieplna złącze – wierzch obudowy (Ψ_{jt}), która mierzona jest w podobny sposób, co Θ_{jc} . Różnica polega na tym, że układ znajduje się na normatywnej płytce drukowanej, a górna jego powierzchnia nie jest chłodzona i utrzymywana w stałej temperaturze. Oznacza to, że występują na niej wahania i gradienty temperatury. Do obliczenia tego parametru stosuje się najwyższą ze zmierzonych na powierzchni temperatur. Ψ_{jt} nie jest prawdziwą, ścisłą fizycznie rezystancją cieplną, ponieważ w przypadku pomiaru tego parametru pozwala się, aby ciepło rozpraszane było również innymi kanałami – przez wyprowadzenia i płytkę drukowaną. Jest to jednak pomiar, który przez to jest znacznie bliższy rzeczywistości.

Rezystancja cieplna złącze-płytką

Istotnym kanałem rozpraszania ciepła w układach scalonych, jest płytka drukowana, która odbiera ciepło przez piny układu, przylutowane do ścieżek na płytce drukowanej. Rezystancja cieplna złącze-płytką lub złącze-pin przedstawia opór cieplny między chipem, a ścieżkami na płytce drukowanej za pomocą jednej prostej w interpretacji wartości. W rzeczywistości rezystancja cieplna pomiędzy złączem a płytką jest wypadkową wielu składowych rezystancji, takich jak rezystancja złącze-pin, pin-płyta drukowana, złącze-obudowa, obudowa-płytką (przez przerwę powietrzną, ale także w wyniku promieniowania) etc. Ponadto koncepcja Θ_{ja} zakłada, że temperatura płytki drukowanej pod urządzeniem i w jego otoczeniu jest równomierna, co jest oczywiście nieprawdziwe – w płytce występować będzie pewien gradient temperatury. Dodatkowo, sposób pomiaru tej rezystancji cieplnej zakłada, że niemalże cała energia cieplna układu scalonego rozpraszana jest tym właśnie kanałem – obudowa oddaje ciepło w inny sposób jedynie poprzez promieniowanie i konwekcję. Nie uwzględniając chłodzenia poprzez wymianę ciepła z otaczającym układ powietrzem, można nie doszacować wartości nawet o 25%, gdyż aż tyle ciepła może być usuwane poprzez obudowę do otaczającego układ powietrza.

Pojedyncza metryka termiczna, taka jak Θ_{ja} , jest użyteczna do najprostszej estymacji temperatury złącza na podstawie prostej aproksymacji z temperatury płytki i otoczenia. Istnieje jednak inna, dokładniejsza w tym względzie metryka – parametr Ψ_{jt} . W obliczeniach spełnia taką samą funkcję, jak Θ_{ja} , ale jest mierzony w inny sposób – do jego pomiaru stosuje się układ scalony pracujący w bardziej „naturalnych” warunkach, tj. na podstawie różnicy temperatur pomiędzy pinem układu, a złączem (którego temperatura mierzona jest zintegrowanym w krzemie sensorem) układu na płytce testowej. Płytką nie jest chłodzona, jak w typowych pomiarach. Pomiar ten specyfikuje norma JESD51-6. Nie jest to ściśle fizyczna wartość rezystancji cieplnej, gdyż nie jest znana dokładna moc odprowadzana przez pin, a ta, jak wiemy, może się wahać od 60% do 95%, zależnie od jego budowy. W obliczeniach parametr Ψ_{jt} zakłada się, że cała moc rozpraszana na układzie przepływa przez pin do płytki drukowanej. Pomimo tego parametr ten jest doskonałym estymatorem własności termicznych układu scalonego, szczególnie takiego, który chłodzony jest poprzez PCB.

Źródła ciepła w urządzeniach elektronicznych

Aby lepiej zrozumieć, dlaczego i jak należy chłodzić urządzenia elektroniczne, konieczne jest zrozumienie, dlaczego systemy elektryczne w ogóle się grzeją, skąd pochodzi to ciepło i od czego jest uzależnione.

Straty omowe

Zgodnie z pierwszym prawem Joule'a moc rozpraszana na przewodniku elektrycznym jest proporcjonalna do iloczynu jego rezystancji i kwadratu płynącego przezeń prądu (lub iloczynu wartości prądu płynącego przez przewodnik i spadku napięcia – różnicy potencjałów pomiędzy jego skrajnymi wyprowadzeniami).

Straty omowe i idące za nimi ciepło są nie do uniknięcia w fizycznym układzie – wynikają one bezpośrednio z faktu, że materiały elektroniczne charakteryzują się niezerową rezystancją, niezależnie, czy są to metale (ścieżki na płytce drukowanej, przewody, wyprowadzenia układów scalonych), czy półprzewodniki (np. kanał w tranzystorze polowym – nawet maksymalnie otwarty MOSFET charakteryzuje się niezerowym $R_{DS(ON)}$).

Straty omowe są proporcjonalne do prądu płynącego przez dany element i jego rezystancji. Jako że na rezystancję poszczególnych elementów nie mamy wpływu, to projektując system elektroniczny, można uznać, że rozpraszana na elemencie moc jest wprost proporcjonalna do kwadratu przepływającego prądu.

Straty podczas przełączania

Charakterystycznym dla nowoczesnych urządzeń półprzewodnikowym przykładem strat omowych są tzw. straty przy przełączaniu. Zjawisko to dotyczy głównie tranzystorów polowych (FET) i układów z nich zestawionych (w szczególności większość współczesnych, zaawansowanych układów cyfrowych, produkowanych w procesie CMOS). Ten rodzaj strat występuje w sposób dynamiczny – w czasie przełączania tranzystora ze stanu przewodzenia do polaryzacji zaporowej i odwrotnie. W stanie ustalonym na elemencie takim występują jedynie typowe straty omowe. Przez spolaryzowany zaporowo tranzystor MOSFET w zasadzie nie płynie prąd, gdyż rezystancja kanału jest bardzo wysoka, w związku z czym straty omowe są niemal równe zero. W momencie, gdy klucz jest w pełni otwarty, rezystancja kanału jest bardzo niska (nawet na poziomie pojedynczych mΩ i niżej), w związku z czym, nawet przy bardzo dużym prądzie, płynącym przez kanał, straty omowe są relatywnie niskie.

Co jednak dzieje się podczas przełączania tranzystora pomiędzy oboma stabilnymi stanami? Musimy pamiętać, że rzeczywisty tranzystor MOSFET nie jest w stanie przełączyć się w zerowym czasie. To, jaka może być szybkość zmiany rezystancji kanału tranzystora, zależne jest od wielu jego parametrów. Fakt, że tranzystor przełącza się w niezerowym czasie, pociąga za sobą także zwiększone rozpraszanie ciepła. Zilustrowano to na rysunku 2. W momencie pierwszego przełączania (otwieranie się tranzystora) spada rezystancja kanału, a wraz z nią narasta prąd drenu I_D i maleje spadek napięcia na tranzystorze (V_{DS} – napięcie dren-źródło). Jako że rozpraszana moc, to iloczyn I_D i V_{DS} , w momencie przełączania klucza, występuje pik strat mocy, jak pokazano na dolnym wykresie na rysunku 2.

Straty podczas przełączania są stratami dynamicznymi. Oprócz parametrów takich jak prąd drenu i spadek napięcia na kanale tranzystora, są one również zależne od szybkości narastania/opadania rezystancji kanału tranzystora, jak i ilości przełączeń w jednostce czasu (częstotliwości). Równanie 7 opisuje moc strat przełączania tranzystora polowego dla typowego przebiegu prostokątnego.

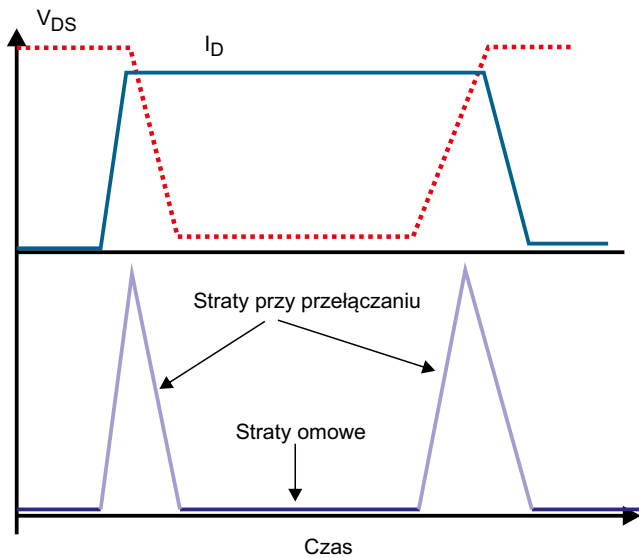
$$P_{SW} = V_{DS} \cdot I_D \cdot f_{SW} \cdot \frac{Q_{GS2} + Q_{GD}}{I_G}$$

gdzie:

f_{SW} – częstotliwość kluczowania tranzystora,

I_G – prąd bramki,

Q_{GS2} i Q_{GD} – ładunki potrzebne do pełnego naładowania lub rozładowania bramki, które pochodzą z drivera bramki tranzystora. Jeśli nie dysponujemy wartościami tych ładunków, to można zastąpić ostatni



Rysunek 2. Uproszczony wykres obrazujący straty przy przełączaniu i straty omowe na tranzystorze polowym

ułamek sumą czasu od momentu, w którym prąd drenu zaczyna rosnąć (spadać) do momentu, w którym napięcie dren-źródło na tranzystorze osiąga minimalną (maksymalną) wartość.

Jednak najistotniejszy w **równaniu 7**, z punktu widzenia projektowania „termiki” systemu, jest fakt, że ilość rozpraszanej podczas przełączania ciepła jest wprost proporcjonalna do częstotliwości przełączania. Oznacza to, że im wyższa jest częstotliwość pracy układu (czy to klucza MOSFET w przetwornicy, czy procesora), tym wyższej mocy cieplnej możemy się spodziewać. To ciepło trzeba w układzie rozproszyć, aby utrzymać go w odpowiedniej temperaturze.

Fizyczny model przepływu ciepła w urządzeniu elektronicznym

Zdefiniowana powyżej rezystancja cieplna matematycznie niczym nie różni się od tej elektrycznej. Tak samo można liczyć jej szeregowę i równoległą sumę. Korzystając z tej elektrycznej analogii, można modelować całe układy termiczne – w takim modelu źródło ciepła jest źródłem prądowym, a temperatura jest potencjałem – różnica temperatur to napięcie.

Na **rysunku 3** pokazano model typowego układu scalonego rozpraszającego na złączu moc P . Moc ta jest następnie transportowana ze złącza dwoma kanałami – przez obudowę układu (θ_{JC}) do radiatora (θ_{SA}), który oddaje ciepło, to otoczenia oraz przez wyprowadzenia elektryczne (θ_{JP}), do płytki, która rozprasza ciepło do otoczenia (θ_{BA}). Oczywiście jest to model statyczny, zakładający, że otoczenie ma nieskończoną pojemność cieplną, a wszystkie elementy modelu mają stałą temperaturę, co nie jest dalekie od prawdy w warunkach ustalonych. Taki model statyczny dostatecznie dobrze przybliża realne urządzenie elektryczne, jeżeli w mocy P uwzględni się także straty dynamiczne, na przykład opisane powyżej straty podczas przełączania tranzystorów polowych. Producenci dla bardziej złożonych elementów najczęściej podają całkowitą moc cieplną, jaką dany element będzie generował w postaci parametru TDP.

Dzięki zastosowaniu tego modelu przepływu ciepła do analizy termicznej cały stacjonarny układ można potraktować analogicznie do układu elektrycznego (**rysunek 3**) i rozwiązać zgodnie ze znanymi prawami. Można nawet wykorzystać do tego odpowiednie oprogramowanie – programy SPICE często mają zdefiniowane elementy do obliczeń termicznych. Model taki łatwo rozbudować, np. dodając więcej źródeł ciepła, jeśli również przekazują one swoją energię.

Rezystancja cieplna materiału łączącego ciała także nie jest bez znaczenia. Wszystkie wyliczenia zakładają, że ciała, pomiędzy którymi przepływa ciepło, idealnie się stykają, co niemalże nigdy nie jest prawdą. Powierzchnie wszystkich elementów – układów scalonych, radiatorów, wyprowadzeń, pól lutowniczych etc. – mają chociażby niewielkie ryski

i nie są idealnie wypolerowane. Powoduje to, że w przestrzeniach pomiędzy tymi powierzchniami znajduje się powietrze, które jest bardzo dobrym izolatorem i znacznie zwiększa rezystancję cieplną układu. Aby temu zapobiec, pomiędzy elementami, dla poprawienia przepływu ciepła, jak i prądu elektrycznego w przypadku wyprowadzeń, umieszcza się odpowiednie materiały – przekładki silikonowe, itp., lub wypełnia się je materiałem termoprzewodzącym (np. pastą lub klejem albo spoiwem lutowniczym, w przypadku pinów).

Materiał wypełniający przerwy pomiędzy elementami nie ma oczywiście zerowej rezystancji cieplnej, ale jest ona istotnie niższa niż rezystancja powietrza. Jeśli nie ma możliwości jej pomiaru, to skoryzować można ze **wzoru 8**, który pozwala na estymację oporu cieplnego warstwy pomiędzy dwoma ciałami A i B – Θ_{AB} .

$$\Theta_{AB} = \frac{T}{k \cdot S}$$

gdzie:

T – grubość warstwy materiału,

k – objętościowe przewodnictwo cieplne materiału,

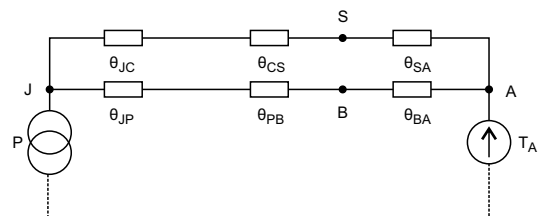
S – powierzchnia, na jakiej dany materiał jest rozpraszony, na przykład powierzchnia styku układu elektronicznego z radiatorem.

Na **rysunku 3** tym rezystancjom odpowiadają rezystancje pomiędzy obudową a radiatorem (Θ_{CS}) oraz pomiędzy pinami a płytką (Θ_{PB}), które są odpowiednio rezystancją cienkiej warstwy pasty termoprzewodzącej lub przekładki silikonowej oraz rezystancją cieplną spoiny lutowniczej.

Zakresy temperatur pracy układów scalonych

W branży elektronicznej przyjęło się stosować szereg określeń dla zakresów temperatur, w jakich mogą pracować urządzenia półprzewodnikowe. Jednak w pierwszej kolejności trzeba zdefiniować kilka kluczowych pojęć, niezbędnych do specyfikowania zakresu temperatur układu scalonego:

- **Bezwzględna maksymalna temperatura złącza** – temperatura, powyżej której nastąpi uszkodzenie urządzenia. W tej temperaturze urządzenie może w ogóle nie działać lub nie utrzyma parametrów.
- **Bezwzględna maksymalna temperatura pracy** – maksymalna temperatura złącza, w której urządzenie działa poprawnie. Żywotność ulega skróceniu, jeśli układ pracuje stale w tej temperaturze.
- **Temperatura powietrza otoczenia** – wiele katalogów podaje różne sposoby określenia temperatury otoczenia. Norma NEBS określa temperaturę powietrza wchodzącego do obudowy, w której znajduje się układ, AEC określa temperaturę powietrza pod urządzeniem, jako temperaturę otoczenia, a z kolei JEDEC określa temperaturę strumienia powietrza przed płytką drukowaną. Każde z tych miejsc pomiaru daje inną temperaturę otoczenia, dlatego należy upewnić się, w jaki sposób mierzono temperaturę dla danego elementu. Należy pamiętać także, że temperatura ta nie jest krytyczna dla pracy układu tak, jak krytyczna jest temperatura złącza. Temperatura otoczenia ma jednak zasadnicze znaczenie dla analizy na poziomie całego systemu.
- **Temperatura złącza** – najwyższa temperatura struktury krzemowej wewnątrz obudowy układu scalonego.
- **Maksymalna temperatura obudowy** – czasami zamiast określania maksymalnej temperatury pracy złącza podawana jest maksymalna temperatura jego obudowy. Praca układu w tej



Rysunek 3. Model przepływu ciepła (o mocy P) w typowym układzie scalonym (złącze – J), przylutowanym do płytki drukowanej (B) i chłodzonym radiatorem (S). Wszystkie elementy odprowadzają ciepło do otoczenia (A) o temperaturze T_A

temperaturze (bez radiatora) powoduje, że złącze wewnątrz znajduje się w swojej maksymalnej temperaturze pracy.

- **Zalecana temperatura pracy** – temperatura złącza, w której urządzenie pracuje w sposób ciągły z wyznaczonymi parametrami i zaprojektowaną niezawodnością przez cały zagwarantowany okres użytkowania. Niezawodność urządzenia może ulec pogorszeniu, jeśli urządzenie działa powyżej tej temperatury.

Definiuje się wiele różnych zakresów temperatury, których sama nazwa wskazuje, jaka jest jej aplikacja. Różni producenci różnie definiują zakresy poszczególnych temperatur, ale ogólnie przyjęte zakresy to:

- Komercyjny: od 0 do 45°C,
- Przemysłowy: od –20 do 85°C,
- Wojskowy: od –55 do 125°C.

Dodatkowo, niektórzy producenci definiują dodatkowe zakresy, na przykład:

- Motoryzacyjny: od –40 do 125°C,
- Rozszerzony: od –40 do 125°C

Najprościej jest jednak, zamiast patrzeć na nazwę zakresu, spojrzeć na dokładne dane dotyczące bezwzględnych i zalecanych temperatur pracy interesującego nas układu scalonego.

Technologie wykorzystywane do chłodzenia urządzeń elektronicznych

Aby utrzymać układy elektroniczne w ich projektowych granicach temperatur i odprowadzić całe produkowane przez nie ciepło, stosuje się szereg rozwiązań. W zależności od ilości produkowanego ciepła, należy odpowiednio dobrać element bądź elementy chłodzące. **Należy pamiętać o odprowadzaniu ciepła od samych elementów chłodzących – na nic zda się rozwiązanie, które jest w stanie rozprzyszczyć ciepło układu scalonego, jeżeli ciepło to pozostanie zgromadzone w obudowie urządzenia, podnosząc temperaturę otoczenia układu scalonego – taki system finalnie i tak ulegnie awarii. Konieczne jest wydajne usuwanie ciepła poza obudowę.**

Chłodzenie powietrzem

Chłodzenie powietrzem, czyli prosty przekaz ciepła ze złącza, poprzez obudowę, do otoczenia to najprostszy rodzaj chłodzenia układów elektronicznych. W ten sposób da się chłodzić niemalże każdy element na płytce drukowanej – wystarczy, że znajduje się on w jakimkolwiek otoczeniu powietrza. Zgodnie z prawami fizyki element taki będzie przekazywał swoją energię cieplną do chłodniejszego otoczenia. Aby dodatkowo poprawić wydajność usuwania ciepła, często stosuje się wymuszony obieg powietrza wokół układu scalonego, stosując wentylatory, itp.

Rezystancja cieplna złącze–otoczenie zależy od kształtu obudowy układu scalonego jak i wielu innych czynników, w tym przepływu powietrza. Wartości tego parametru w typowych układach elektronicznych wahają się od 150 K/W dla obudów DIP, SOIC itp. do ok. 10 K/W dla zoptymalizowanych termicznie obudów BGA.

Radiatory

Aby poprawić przepływ ciepła ze złącza układu scalonego do otoczenia, w układach o wyższej mocy często stosuje się radiatory. Element taki jest pasywnym rozpraszaczem ciepła, który pomaga w transporcie ciepła z obudowy układu scalonego do otaczającego go medium – najczęściej powietrza, rzadziej wody, oleju itp. Radiatory najczęściej wykonuje się z aluminium, które charakteryzuje się z jednej strony dobrą przewodnością cieplną, a z drugiej strony doskonale nadaje się do obróbki metodami takimi jak ekstrudowanie, które jest szeroko stosowane, zwłaszcza przy produkcji dużych radiatorów dla układów mocy.

Na rynku dostępna jest szeroka gama radiatorów o różnych wymiarach i kształtach, które charakteryzują się różnymi wartościami rezystancji cieplnej. Wynosi ona od 0,4 K/W dla dużych, ekstrudowanych radiatorów do 85 K/W dla niewielkich radiatorów dla dyskretnych elementów elektronicznych.

Na rynku dostępne są między innymi radiatory do chłodzenia układów elektronicznych w konkretnych obudowach. Mają one kształt dopasowany do obudowy danego rodzaju, dzięki czemu zmaksymalizowana jest powierzchnia styku radiatora z elementem, co zapewnia optymalne rozpraszanie ciepła.

Heatpipe

Aby poprawić transfer energii cieplnej z chłodzonych układów do radiatorów, stosuje się tzw. heatpipe. Elementy te, zwane czasami ciepłowodami lub rurkami cieplnymi, konstruowane są najczęściej z zamkniętych, miedzianych rurek, które wypełnione są materiałem porowatym i czynnikiem chłodzącym. Czynnikiem tym może być na przykład skroplony amoniak, woda, freon lub etanol. Podgrzewanie jednego końca ciepłowodu powoduje odparowanie znajdującej się w nim cieczy, która w formie gazowej przemieszcza się do drugiego, zimniejszego końca, gdzie ulega skropleniu. Skroplony czynnik wraca następnie do ciepłego końca – spływając grawitacyjnie lub kapilarnie przesączając się przez materiał porowaty, znajdujący się wewnątrz rurki.

Ciepłowody charakteryzują się bardzo niską rezystancją cieplną dzięki bardzo dużemu ciepłu parowania i skraplania zastosowanych cieczy. Typowy heatpipe ma rezystancję cieplną równą około 10^{-5} K/W na metr zastosowanej rurki – to 250 razy mniej niż analogiczny element wykonany z czystej miedzi. Zakres temperatur stosowania ciepłowodów zależy od zamkniętego wewnątrz czynnika, ale także od ciśnienia, pod jakim został on tam uwięziony.

Chłodzenie cieczą

Powietrze ma pojemność cieplną na poziomie 1 kJ/kg·K, a woda ponad 4 kJ/kg·K. Inne ciecz stosowane do chłodzenia mogą mieć jeszcze wyższe pojemności cieplne. Zastosowanie chłodzenia cieczą pozwala na szybszy transport ciepła – taka sama objętość chłodziwa pozwala przetransportować o wiele więcej ciepła z uwagi na znacznie wyższą gęstość cieczy w porównaniu do powietrza i jej większą pojemność cieplną na jednostkę wagi. Biorąc pod uwagę różnice w gęstości, jeden metr sześcienny powietrza ma pojemność cieplną równą około 1,225 kJ/K, a jeden metr sześcienny wody 3988 kJ/K – ponad trzy tysiące razy więcej.

W klasycznie używanych systemach chłodzenia cieczą powietrze zastąpiono w najprostszy sposób wodą – stosując zamiast klasycznych radiatorów tzw. bloki wodne. Jest to radiator, zamknięty szczelnie w pewnej objętości, do którego dołączone są co najmniej dwa króćce – wlotowy i wylotowy, które zapewniają możliwość opływania cieczy wokół wewnętrznej części radiatora. Przepływ chłodziwa wymuszany jest przez znajdującą się w układzie pompę. Dodatkowo, w obiegu musi się znajdować chłodnica lub inny element, pozwalający na odebranie od chłodziwa ciepła i wypromieniowanie go poza system.

Chłodzenie zanurzeniowe

Szczególnym rodzajem chłodzenia cieczą jest tzw. chłodzenie zanurzeniowe. Zwykle chłodzenie cieczą, tj. z wykorzystaniem bloków, pozwala punktowo chłodzić najbardziej grzejące się elementy, takie jak na przykład procesor czy tranzystory mocy. Jeśli istnieje konieczność odprowadzania ciepła z dużej liczby elementów rozproszonych na płytce drukowanej urządzenia, zastosowanie może mieć system tak zwanego chłodzenia zanurzeniowego (*immersion cooling*).

Chłodzenie zanurzeniowe polega, jak sama nazwa wskazuje, na zanurzaniu całych komponentów czy nawet urządzeń w przewodzącej ciepło dielektrycznej cieczy lub specjalnym chłodziwie. Ciepło jest usuwane z układów elektronicznych poprzez cyrkulację cieczy – będąc w bezpośrednim kontakcie z gorącymi elementami, przejmuje ona ich ciepło, a następnie oddaje je do chłodnego wymiennika. Płynny stosowany do chłodzenia zanurzeniowego mają bardzo dobre właściwości dielektryczne, aby zapewnić bezpieczny kontakt z elementami elektronicznymi pod napięciem.

Chłodzenie zanurzeniowe jest potencjalną alternatywą dla popularnych rozwiązań np. do chłodzenia serwerów, w szczególności w nowoczesnych, ekologicznych centrach danych – pozwala operatorom zmniejszyć zużycie energii poprzez wyeliminowanie kosztownej infrastruktury chłodzenia powietrzem, systemu klimatyzacji itp. Systemy te zostają zastąpione wydajnymi pompami obiegowymi do cieczy chłodzącej oraz systemami wymienników ciepła.

Urządzenia wyposażone w chłodzenie zanurzeniowe nie wymagają wentylatorów do cyrkulacji cieczy, dlatego są one usuwane z systemu przed zanurzeniem. Pasty termiczne, które są zazwyczaj stosowane na interfejsach termicznych, np. pomiędzy procesorami i radiatorami, mogą wymagać zastąpienia innymi materiałami w celu uniknięcia degradacji w cieczy. W zależności od rodzaju zastosowania jako materiały zastępcze można wykorzystać lut, folię indową lub żywice termoprzewodzące. Nie wszystkie urządzenia są kompatybilne z systemem chłodzenia zanurzeniowego – należy koniecznie zwrócić uwagę, co na ten temat mówi karta katalogowa danego elementu czy urządzenia, dostarczana przez producenta.

Urządzenia termoelektryczne

Chłodnice termoelektryczne do przenoszenia ciepła używają tzw. modułów Peltiera – półprzewodnikowych urządzeń, wykorzystujących do transportu energii cieplnej efekt Seebecka, zwany często w tym kontekście efektem Peltiera. W 1821 roku Thomas Johann Seebeck zauważył, że igła kompasu jest odchylana przez zamkniętą pętlę utworzoną z dwóch różnych metali połączonych w dwóch miejscach, w momencie, gdy połączenia te znajdują się w różnej temperaturze. Dzieje się tak, ponieważ poziomy energetyczne elektronów zmieniają się w funkcji temperatury różnie w różnych materiałach, tworząc różnicę potencjałów między złączami, która z kolei wytwarza prąd elektryczny, a zatem pole magnetyczne wokół pętli. Jean Charles Athanase Peltier zaobserwował zjawisko odwrotne – ogrzewanie lub chłodzenie na połączeniu dwóch różnych przewodników, przez które przepływa prąd, stąd też nazwa.

Moduł Peltiera – półprzewodnikowa pompa ciepła – ma dwie strony. Gdy prąd elektryczny przepływa przez urządzenie, przenosi ciepło z jednej strony na drugą, dzięki czemu jedna strona staje się chłodniejsza, a druga gorętsza. Strona „gorąca” jest na ogół przymocowana do radiatora lub innego dalszego odbiornika ciepła, dzięki czemu pozostaje w temperaturze otoczenia, a strona chłodna spada poniżej temperatury pokojowej. W zastosowaniach specjalnych można połączyć kaskadowo kilka modułów Peltiera w celu większego obniżenia temperatury, jednakże ogólna wydajność systemu znacznie w takim przypadku spada.

Wydajność chłodzenia, zapewniana przez moduł Peltiera, jest funkcją temperatury otoczenia, źródła ciepła i wydajności chłodzenia ciepłej strony modułu. W ogólności, ilość ciepła, jaka jest odprowadzana przez moduł, opisana jest w **równaniu 9**:

$$Q = P \cdot I \cdot t$$

gdzie:

P – współczynnik Peltiera,

I – prąd płynący przez moduł,

t – czas.

Współczynnik Peltiera dla typowego modułu wynosi około 10 W/A. Jednakże wydajność chłodzenia modułu jest redukowana przez dwa zjawiska:

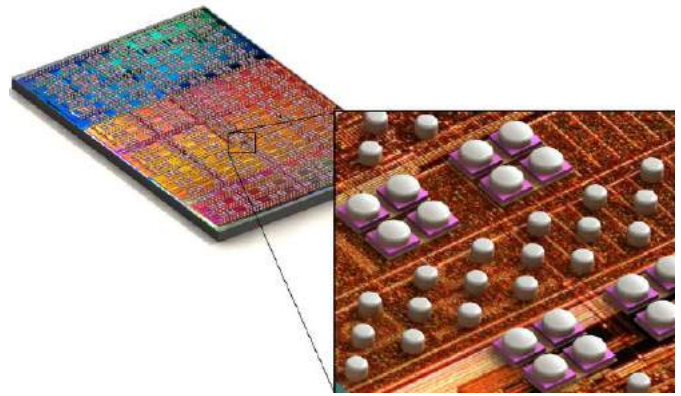
- straty omowe na module Peltiera, zgodnie z równaniem 10,
- transfer ciepła z gorącej do zimnej strony (patrz równanie 1 i dalsze) zgodnie z prawem stygnięcia Newtona.

$$Q_{\text{omowe}} = R \cdot I^2 \cdot t$$

gdzie:

R – rezystancja modułu.

W uproszczeniu oznacza to, że element chłodzący gorącą stronę modułu Peltiera musi rozprzyszczyć nie tylko ciepło transportowane przez moduł od źródła ciepła, ale także ciepło generowane przez sam moduł. W dużym przybliżeniu oba te źródła ciepła są porównywalne, więc **moduł Peltiera, oprócz tego, że zmniejsza temperaturę obiektu**



Rysunek 4. Przykład układu w obudowie typu flip-chip (struktura krzemowa z dolutowanymi wyprowadzeniami) z wyprowadzeniami termicznymi (większe, oznaczone na fioletowo elementy)

po zimnej stronie, to podwaja wymagania co do rozpraszanej mocy w dalszej części układu.

Ciekawym zastosowaniem zjawiska Peltiera są tak zwane wyprowadzenia termiczne, stosowane w układach scalonych o ekstremalnie wysokim stopniu integracji. Stosuje się je w laserach półprzewodnikowych i innych układach optoelektronicznych, a także elementach takich jak procesory czy akceleratory graficzne w obudowach typu *flip-chip*. Przykład takiego elementu pokazano na **rysunku 4**. Tego rodzaju wyprowadzenie jest przeznaczone nie do przewodzenia energii elektrycznej, a do transportu ciepła. Aby zwiększyć ilość transportowanego przez relatywnie małe metalowe wyprowadzenie, wewnątrz nich zintegrowane są moduły Peltiera – po przyłożeniu do pinu napięcia zaczyna transportować ciepło.

Wyprowadzenia ze zintegrowanymi modułami Peltiera stosuje się do chłodzenia układów scalonych, szczególnie strefowego – w miejscach, które produkują więcej ciepła niż inne. Dodatkowo, co wykorzystuje się szczególnie często w systemach optoelektronicznych, wyprowadzenia takie służą do stabilizacji temperatury, ponieważ tak jak każdy moduł Peltiera, tak i ten potrafi transportować ciepło w obie strony i ogrzewać układ. Dodatkowo, elementy takie stosuje się, jako źródło energii w systemach o ultraniskim zużyciu prądu – dzięki wykorzystaniu ciepła odpadowego możliwe jest dalsze zredukowanie poboru energii przez układ scalony.

Podsumowanie

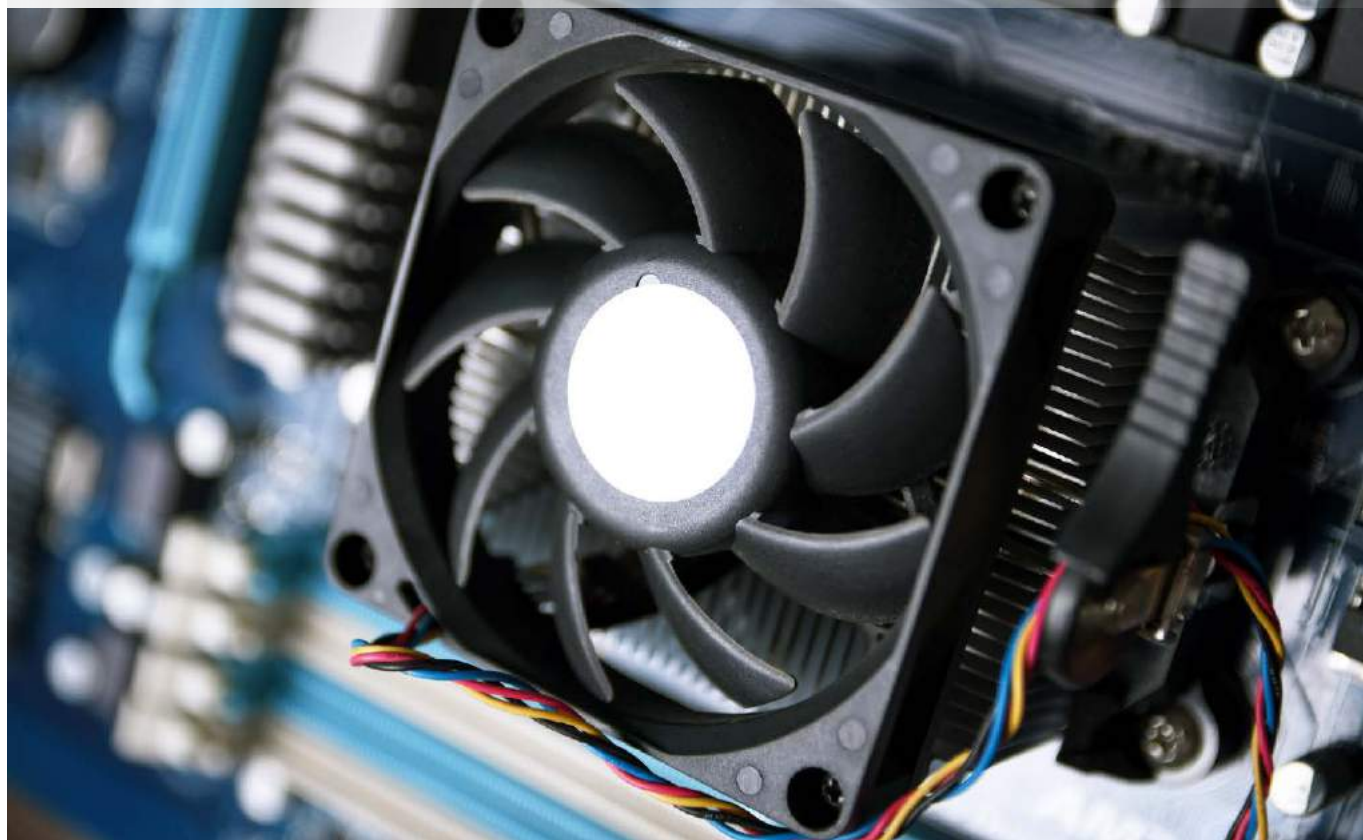
W artykule opisano mechanizm generowania ciepła w przyrządach półprzewodnikowych i innych elementach elektronicznych, model i sposób analizy przepływu energii cieplnej w systemie, a także podstawowe metody chłodzenia układów elektronicznych, które powinny zapewnić komfortową temperaturę struktur krzemowych. Wiedza zawarta w powyższym tekście powinna wystarczyć, do estymacji, jakie rozwiązania chłodzące wymagane są w projektowanym przez nas systemie.

Celowo pominięto bardziej ekstrawaganckie systemy chłodzenia, takie jak wykorzystanie np. chłodziarek freonowych (lub ogólnie systemów chłodzenia ewaporacyjnego) i podobnych urządzeń czy też chłodzenie cieczami kriogenicznymi (gł. ciekłym azotem). Z powodu złożoności takiego systemu są one rzadko stosowane w urządzeniach elektronicznych. Ich ogromną zaletą jest możliwość utrzymywania urządzenia w bardzo niskiej temperaturze, nawet dużo poniżej temperatury otoczenia, jednakże związane z instalacją i projektowaniem takiego układu problemy stanowią wykraczają poza ramy tego poradnika.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła:

1. <https://bit.ly/2XeBnFe>
2. <https://bit.ly/34fkGdY>
3. <https://bit.ly/34g6WzZ>
4. <https://bit.ly/2UMa6rV>



Wentylatory w elektronice

– jakość jest w cenie

Wentylatory w urządzeniach elektronicznych to produkty, od których wymaga się coraz więcej. Dobry wentylator musi zapewniać znakomitą trwałość mechaniczną i środowiskową, wysoką skuteczność chłodzenia przy niskim hałasie, niewielkich wymiarach i poborze prądu zasilającego. Większość z tych komponentów nie jest w stanie zapewnić jednocześnie wszystkich tych cech na wysokim poziomie, stąd w ofertach producentów są setki modeli pozwalających osiągnąć założone cele. Zapraszamy do zapoznania się z przeglądem oferty dwóch dużych producentów wentylatorów, którzy starają się sprostać wymaganiom konstruktorów i przekonać, że chłodzenie wentylatorem nie oznacza od razu problemów.

Wentylatory AC firmy Maxair

Maxair to dalekowschodni producent wentylatorów, który wyspecjalizował się w wytwarzaniu wersji przeznaczonych do zasilania napięciem przemiennym. Takie wersje wykorzystuje się do chłodzenia większych systemów, instalacji przemysłowych, szaf teleinformatycznych oraz urządzeń energoelektronicznych, gdzie potrzeba wydajnej wentylacji urządzeń przy zachowaniu niskiego poziomu hałasu.

Wentylatory Maxair łączą w jednym produkcie wysoką jakość, bardzo dobre parametry techniczne przy rozsądnej cenie, wyraźnie

Więcej informacji:

Micros

30-198 Kraków, ul. E. Godlewskiego 38

tel. 12 636 95 66

biuro@micros.com.pl, www.micros.com.pl



niższej niż wielu równoważnych rozwiązań tego typu dostępnych na rynku. Wszystkie wentylatory spełniają wymagania dyrektywy RoHS, a fabryka posiada wdrożony system zarządzania jakością EN ISO 9001:2008. Każdy kierowany do sprzedaży wyrób jest automatycznie testowany – producent dysponuje profesjonalnymi stanowiskami testowymi i pomiarowymi, gwarantującymi, że wentylatory dostępne w handlu nie tylko w 100% spełniają specyfikację techniczną, ale są też konkurencyjne cenowo na naszym rynku. O renomie i jakości produktów może świadczyć to, że Maxair jest dostawcą OEM dla m.in. Hyundai Elevator, któremu sprzedaje 80 tys. wentylatorów AC rocznie.

Jedną z ich największych zalet jest doskonałe wyważenie wirnika. Dodatkowo cechuje je duża wydajność przy zachowaniu niskiego poziomu hałasu. Na specjalne życzenie mogą być wykonane z materiałów o obniżonej masie, odpornych na korozję, o podwyższonej żywotności w wysokich lub w niskich temperaturach.

Przegląd oferty

W sprzedaży znaleźć można wiele typów wentylatorów, w tym wszystkie popularne standardowe wielkości, jak 80×80×25,



80×80×38, 92×92×25, 92×92×38, 120×120×25, 120×120×38 i wersje okrągłe 172×150×51 mm. Największe jednostki mają 254 mm średnicy przy 89 mm grubości.

Warto zauważyć, że przy dość dużych wydajnościach, wentylatory Maxair charakteryzują się stosunkowo cichą pracą – poziom hałasu waha się pomiędzy 20 dBA dla małych wykonan po 50 dBA dla największych wentylatorów.

Te znakomite rezultaty to wynik dokładnej obróbki mechanicznej łopatek wirnika i wyważenia całej konstrukcji ruchomej, co pozwala na uniknięcie drgań. Wydajność wentylatorów jest powiązana z ich wymiarami i pośrednio z mocą silnika i po szczególne dane trzeba sięgać do kart katalogowych, niemniej z uwagi na specyfikę zasilania napięciem przemiennym i wykorzystanie w takich konstrukcjach indukcyjnego silnika klatkowego ze zwartą fazą rozruchową obroty wentylatora są mniej więcej stałe, powiązane z częstotliwością napięcia zasilającego i na poziomie 1500...3000 obr./min w zależności od modelu.

Przy dość dużych wymiarach wentylatory Maxair charakteryzują się stosunkowo cichą pracą. Wersje na łożyskach kulkowych pracują w zakresie temperatur -30...+75°C, a wersje na łożyskach ślizgowych -10...+70°C

Wentylatory DC X-FAN

Firma X-FAN to jeden z największych tajwańskich producentów systemów chłodzących wytwarzający ponad 30 mln sztuk wentylatorów i dmuchaw rocznie i istniejący na rynku od 1994 roku. Firma kładzie duży nacisk na zapewnienie wysokiej jakości produktów – wszystkie materiały i procesy produkcyjne są ściśle kontrolowane i spełniają normy bezpieczeństwa środowiskowe oraz jakościowe, jak CE, UL, TUV. Firma dostarcza swoje wyroby takim renomowanym producentom jak: Sony, Philips, Samsung Electronics, Panasonic czy LG.

W ofercie firmy znajdują się wentylatory zasilane prądem przemiennym i stałym. Asortyment wentylatorów jest bardzo szeroki i obejmuje wersje z wirnikiem umieszczonym w ramce oraz wysuniętym na zewnątrz konstrukcji (external rotation).

Warto dodać, że wentylatory X-FAN dostępne są w opcjach z wyprowadzonym sygnałem informującym o szybkości wirowania, tj. z sygnałem o częstotliwości proporcjonalnej do obrotów,

co umożliwia precyzyjną regulację wirowania i kontrolę pracy (zabrudzenie). Są też dostępne wersje z wyjściem alarmowym, gdzie sygnał wyjściowy mówi o tym, czy wirnik się obraca lub nie.

Jeszcze inną opcją jest możliwość regulacji obrotów w funkcji temperatury. Modele z taką funkcją pozwalają na dołączenie termistora do wentylatora i tym samym zapewniają prostotę realizacji. Ostatnią grupę funkcji tworzą modele, w których szybkość wirowania ustala się poprzez podanie sygnału PWM z mikrokontrolera.

Przegląd oferty

Zasadniczą część oferty tworzą wentylatory osiowe DC z obudową w formie prostokątnej ramki. Są one wykorzystywane w urządzeniach elektronicznych, systemach automatyki i energetyki. Większość parametrów tych produktów, takich jak wydajność i generowany hałas, jest powiązana z wielkością. Najmniejsze jednostki zaczynają się od 25×25 mm i grubości 10 mm, kolejne mają wymiar zmieniający się co 10 mm, a więc 20, 40..., aż do 90 i 120 mm. Typowa grubość wentylatora wynosi 10–15 mm dla jednostek mniejszych i 20–25 mm dla większych, niemniej są też grubości nietypowe, np. 30×30×6 mm lub dla dużych wersji także 28, 32 i 38 mm.

W sprzedaży są też duże wentylatory przeznaczone do montażu w obudowach i szafach przemysłowych pozwalające na chłodzenie całego systemu. Mają one wymiary 182×171×82 mm lub 172×150×51 mm.

Napięcie pracy wentylatorów DC wynosi: 5, 12, 24 i 36 i 48 V, z tym że skrajne wartości nie są dostępne dla wszystkich wersji.

Łożysko i silnik

Bardzo ważnym zagadnieniem związanym z wentylatorami jest trwałość napędu oraz generowany hałas. Wentylatory wykonywane są z łożyskiem kulkowym, co zapewnia dobrą trwałość kosztem hałasu lub łożyskiem ślizgowym, które jest mniej trwałe, ale za to ciche. Poziom hałasu można regulować, wybierając silnik o odpowiedniej prędkości wirowania (6 grup) i model o odpowiednim ukształtowaniu łopatek.

Jak widać, opcji wyboru jest mnóstwo, co przekonuje, że konstruktor może dobrać do projektu jednostkę ściśle pasującą od strony parametrów.

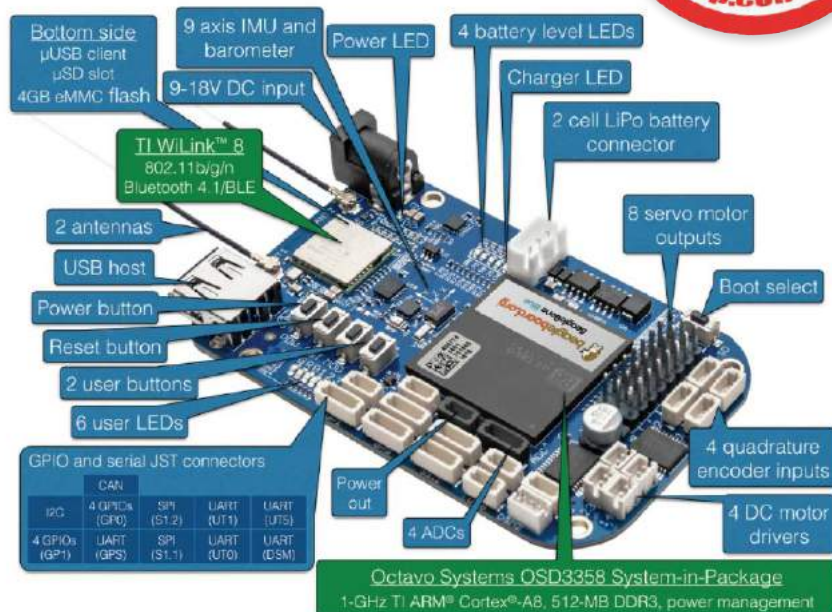


Dzięki uprzejmości firmy Farnell, mamy dla czytelników EP rozbudowaną płytę BeagleBone Blue przeznaczoną do konstrukcji mobilnych i robotyki.

BeagleBone Blue jest kontrolerem dla robotyki zbudowanym wokół komputera BeagleBone typu Open Hardware. Zawiera otwartą dystrybucję Linux (open source), wspieraną przez społeczność, oferującą elastyczne możliwości sieciowe oraz interfejsy peryferiów pozwalających do zbudowania robotów mobilnych.

Podstawowe parametry płytki:

- AM335x 1 GHz ARM Cortex-A8,
- Akcelerator graficzny SGX530,
- Akcelerator NEON typu floating-point,
- 2x32-bitowe jednostki PRU 200 MHz,
- 512 MB RAM DDR3 800 MHz,
- Wbudowana pamięć Flash eMMC 4 GB,
- Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.1 i BLE,
- Porty USB 2.0 Client i Host,
- Gniazdo karty MicroSD,
- 9-osiowa jednostka IMU i czujniki barometryczne,
- 8 wyjść serwo 6 V, 4 wyjścia silnika DC, 4 wejścia enkodera kwadraturowego,
- Kompatybilność programowa: Debian, Ardupilot, ROS i Cloud9



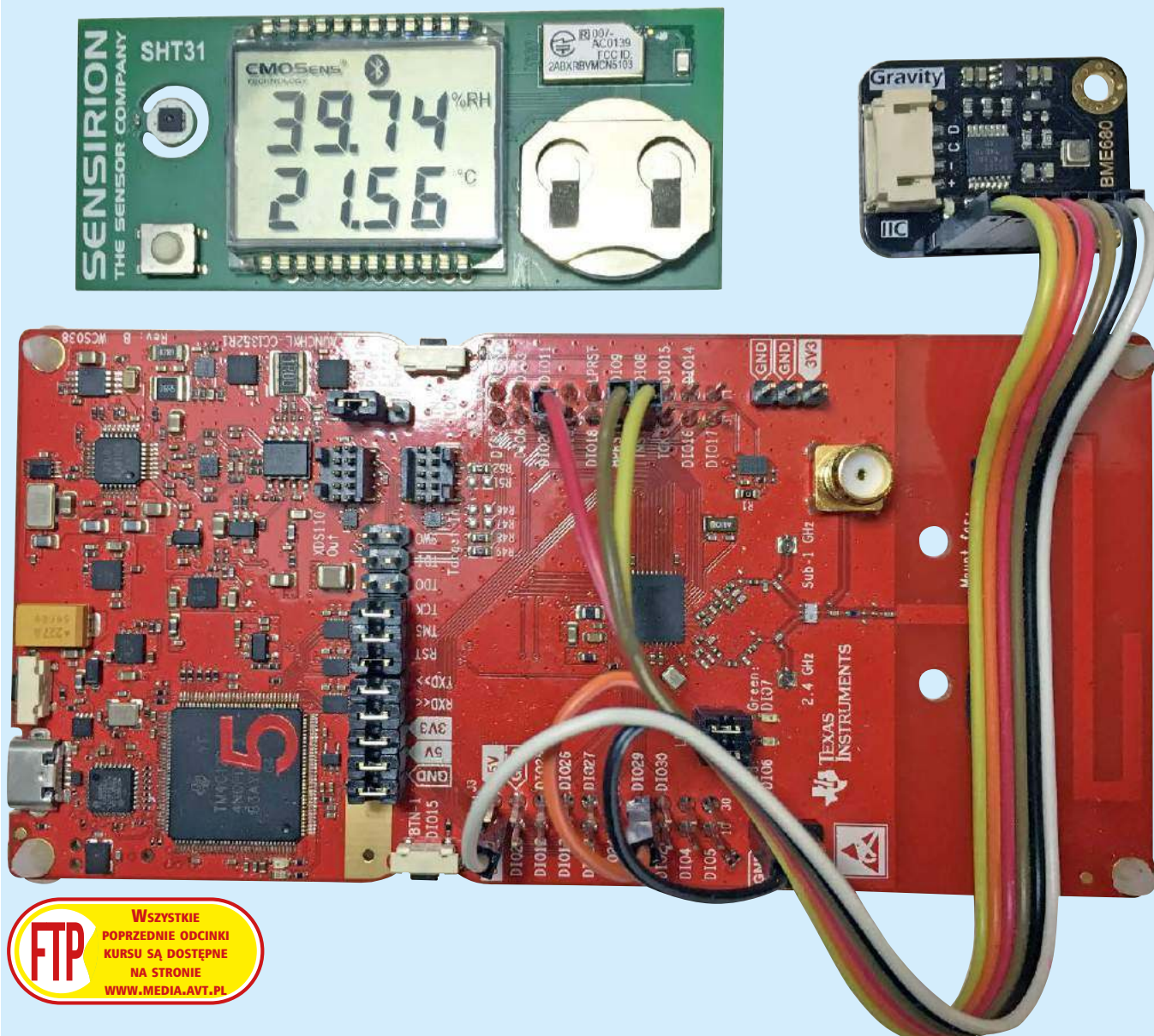
beagleboard.org®

Klub Aplikantów Próbek

to inicjatywa redakcji „Elektroniki Praktycznej”. W kontaktach z firmami redakcja często otrzymuje do przetestowania próbki podzespołów, modułów, a nawet całych urządzeń elektronicznych. Są to zwykle najnowsze typy/modele produktów na rynku. Z chęci podzielenia się z Czytelnikami tymi próbkami zrodziła się inicjatywa pod nazwą Klub Aplikantów Próbek. Członkiem KAP staje się każdy, kto zgłosi chęć przetestowania próbki. Wykaz i krótki opis próbek, którymi dysponuje redakcja EP, można znaleźć na stronie <http://bit.ly/339j0Sb>. Wystarczy wybrać rodzaj próbek i zwrócić się majmem na adres: Szefer Pracowni Konstrukcyjnej: grzegorz.becker@ep.com.pl z prośbą o przesłanie bezpłatnych próbek, podając ich nazwę i adres wysyłki. Warto dopisać jaki jest plan zastosowania tych próbek. Nie jest to konieczne, ale może mieć znaczenie przy podziale próbek w przypadku większej liczby zgłoszeń. Mile widziane, choć nieobowiązkowe, jest też przysłanie do redakcji EP opisu wykonanej aplikacji próbek, oczywiście po jej wykonaniu z zastosowaniem otrzymanej próbki. Autorom przysłanych opisów przyznamy punkty, które będą im dawały pierwszeństwo przy ubieganiu się o kolejne próbki. Najciekawsze opisy aplikacji opublikujemy na forum ep.com.pl lub na łamach „Elektroniki Praktycznej”.

Dla pełnej jasności jeszcze raz podkreślamy, że próbki przekazujemy bezpłatnie i nie trzeba ich zwracać do redakcji. Z uwagi na ograniczoną liczbę dostępnych próbek i niemałe zainteresowanie nimi, prosimy o opisanie swojego pomysłu na projekt na naszym forum internetowym, w dziale poświęconym Klubowi Aplikantów Próbek <http://bit.ly/2qeN28e>. Ponadto, by zwiększyć swoje szanse na bycie wybranym do realizacji projektu w oparciu o nasze próbki, należy polubić fanpage Elektroniki Praktycznej na Facebooku (<http://bit.ly/2WygF09>) oraz udostępnić post, w którym opisujemy rozdawane próbki. W przypadku podobnie interesujących pomysłów na projekty, będziemy uwzględniać to jako dodatkowe kryterium wyboru.

www.ep.com.pl/kap



Systemy dla Internetu Rzeczy (37)

Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad z transmisją protokołem SPI

Czujnik jakości powietrza BME680 firmy Bosch jest bardzo popularny w zastosowaniach Internetu Rzeczy. Jednak brakuje informacji o dołączaniu tego czujnika poprzez interfejs SPI. Również nie ma opisów dołączenia go do popularnego procesora komunikacyjnego CC1352R1 firmy Texas Instruments. Po wykonaniu połączenia z transmisją I²C zadanie okazało się łatwiejsze do zrealizowania.

Kolejne podziękowania dla pana Marcina Paszkiewicza, szefa oddziału polskiego firmy Texas Instruments za udostępnienie wersji produkcyjnej zestawów startowych CC1352R1 LaunchPad.

Układ scalony BME680 to jakby kilka układów w jednym: czujnik ciśnienia i temperatury (jak w układzie BMP280) z rozszerzeniem o czujnik wilgotności (jak w układzie BME280) i z dodatkowym czujnikiem gazu [S34]. Czujnik wilgotności względnej jest wykonany w technologii MEMS z zastosowaniem pomiaru zmian pojemności kondensatora z polimerową folią [S32]. Czujnik ciśnienia barometrycznego jest wykonany w technologii MEMS z zastosowaniem pomiaru rezystancji cienkiej membrany. Pomiar temperatury jest wykonywany poprzez pomiar zmian napięcia diody krzemowej. Każda struktura scalona zastosowana w układzie scalonym BME680 zawiera czujnik temperatury.

Układ scalony BME680 został użyty w najnowszym zestawie Thingy:91 firmy Nordic Semiconductor przeznaczonym dla mobilnego Internetu Rzeczy [S31]. Dokładny opis dołączania procesora komunikacyjnego CC1352R1 firmy Texas Instruments do układu BME680 z zastosowaniem komunikacji I²C został zamieszczony w poprzednim odcinku kursu [S36]. Jest tam również dokładnie omówiony indeks jakości powietrza IAQ. W tym artykule, w celu zapewnienia kompletności opisu zostały częściowo powtórzone niektóre informacje. Jest to konieczne ze względu na niepełny opis układu BME680 w dokumentacji firmowej.

Indeks jakości powietrza IAQ

IAQ (*Indoor Air Quality*) jest liczbą, która informuje o jakości powietrza w pomieszczeniach. Obecnie nie ma globalnego standardu definiującego IAQ [3]. Niektóre kraje mają lokalne podejście i opublikowały badania, które podają wskaźniki czystego powietrza i jego implikacje. Niestety, nie ma zgodności w zastosowaniu skali, liczby poziomów, nazw ani kolorów.

Praca układu BME680

Układ scalony BME680 pracuje w dwóch stanach: uśpienia (*sleep*) oraz pracy (*forced mode*). Tryb pracy jest ustawiany na bitach 1:0 rejestru Config (pod adresem 0x75). Wpis 00b oznacza ustawienie stanu uśpienia a wpis 01b ustawienie stanu pracy. Układ po włączeniu zasilania automatycznie ustawia tryb uśpienia. W tym stanie nie jest wykonywany pomiar i pobierana jest minimalna moc zasilania.

W stanie pracy wykonywany jest pojedynczy pomiar w sekwencji: temperatura, ciśnienie, wilgotność, rozpoczęcie podgrzewania czujnika gazu, wykonanie pomiaru gazu i zakończenie grzania. Można ustawić w rejestrach układu scalonego 10 konfiguracji pracy, co opisano w poprzedniej części artykułu.

Odczyt danych pomiarowych trzeba rozpocząć od odczytu rejestru stanu `Eas_status_0` (0x1D) z polami bitowymi:

- 7 – new data: dane nowego pomiaru są zapisane w rejestrach,
- 6 – gas measuring: zmiana stanu na zero sygnalizuje zakończenie pomiaru gazu.
- 5 – measuring: zmiana stanu na zero sygnalizuje zakończenie wszystkich pomiarów,
- 3:0 – gas meas index: numer konfiguracji pracy czujnika gazu.

Następnie trzeba sprawdzić stan bitów `gas_valid` oraz `heat_stab` rejestru `gas_valid_r` (0x2B), aby ustalić, czy dane pomiarowe są poprawne oraz czy grzejnik pracował stabilnie.

Następnie odczytane dane z rejestrów danych układu należy przeliczyć z uwzględnieniem danych z rejestrów kalibracyjnych układu.

W przypadku wykonywania przez układ BME680 pomiaru gazu włączany jest wewnętrzny grzejnik czujnika gazu. W stabilnych warunkach długiej sekwencji pomiarów powoduje to wystąpienie stałego podwyższenia mierzonej temperatury oraz obniżonego odczytu wilgotności. Można to zjawisko skompensować poprzez uwzględnienie stałej poprawki lub odczytu z dodatkowych czujników zewnętrznych.

Rejestry wewnętrzne

Układ zawiera wiele 8-bitowych rejestrów: kalibracji, sterowania, danych, statusu oraz rejestry zarezerwowane. Dostępna jest przestrzeń adresowa z zakresu 0x00 do 0xFF. Rejestry mają inny adres przy dostępie poprzez interfejs I²C oraz SPI:

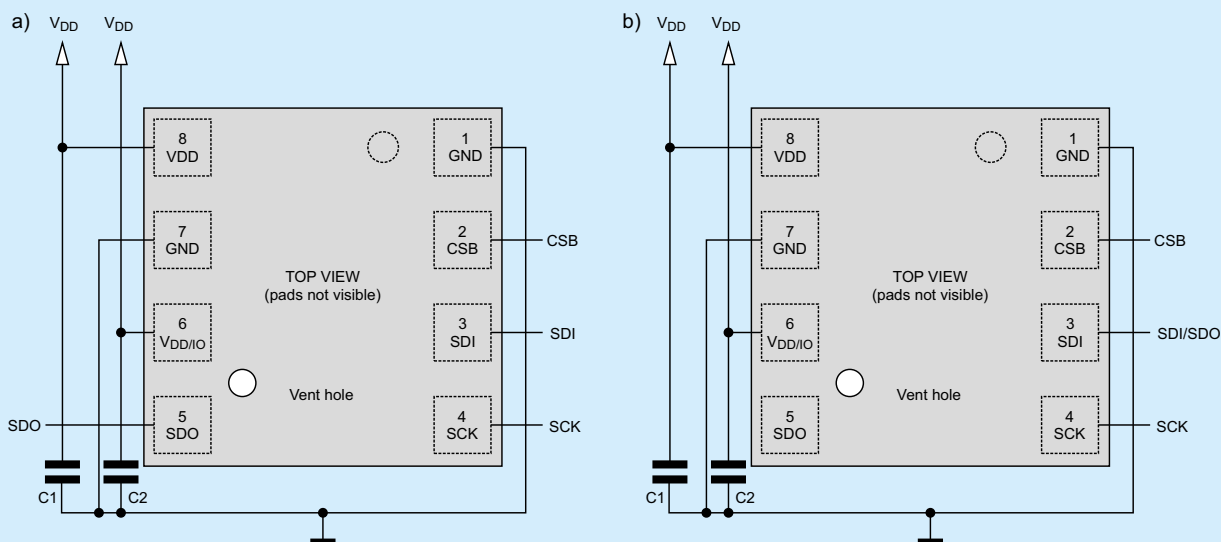
- Podczas pracy z interfejsem I²C stosowany jest adres 8-bitowy z dostępem do całej przestrzeni adresowej.
- Podczas pracy z interfejsem SPI stosowany jest adres 7-bitowy z dostępem do dwóch stron wybieranych przez ustawienia rejestru `spi_mem_page`. Po włączeniu zasilania wybrana jest strona zerowa (0x80 do 0xFF). Wpisanie do rejestru `spi_mem_page` wartości 1 powoduje wybranie strony 1 (0x00 do 0x7F).

Mapa i opis rejestrów jest zamieszczony w dokumencie BME680 Datasheet [2]. Mapa nie zawiera wszystkich rejestrów a opis nie zawiera omówienia niektórych istotnych rejestrów układu.

Interfejs komunikacyjny

Interfejs komunikacyjny układu BME680 ma osobne wyprowadzenie zasilania VDDIO. Poziom wysoki sygnałów wejściowych interfejsu cyfrowego odnosi się do poziomu napięcia na wyprowadzeniu VDDIO [2]. Układ może pracować w trzech konfiguracjach wyprowadzeń – przy pracy w standardzie: I²C, SPI (4 linie) lub SPI (3 linie).

Wyprowadzenie SCK pracuje zawsze jako wejście. Wyprowadzenie SDI pracuje jako wejście (SPI 4 linie), wejście/wyjście SPI (3 linie) lub jako linia



Rysunek 1. Konfiguracja wyprowadzeń podczas pracy w standardzie: a) SPI (4 linie), b) SPI (3 linie) [2]

dwukierunkowa danych (I²C). Wyprowadzenie SDO pracuje jako wyjście (SPI 4 linie) lub jako wejście wyboru adresu (I²C). Wyprowadzenie CSB pracuje zawsze jako wejście. Pełni funkcję wejścia wyboru (chip select) dla pracy SPI.

Wybór standardu komunikacyjnego jest wykonywany na podstawie stanu wejścia CSB. Jeśli podczas włączenia zasilania układu wyprowadzenie CSB jest dołączone do napięcia, to wybierany jest standard I²C. Poziom niższy niż VDDIO spowoduje trwałą pracę ze standardem SPI. Po podaniu w trakcie pracy układu na wejście CSB poziomu niskiego (nawet jeden impuls) aktywowany jest na stałe interfejs SPI.

Układ obsługuje cyfrową komunikację w standardzie SPI oraz I²C jako układ „slave”. Komunikacja z układem jest wykonywana poprzez odczyt lub wpis do rejestrów.

Interfejs SPI

Układ BME680 obsługuje komunikację w standardzie SPI w dwóch konfiguracjach wyprowadzeń: SPI (4 linie) lub SPI (3 linie) (**rysunek 1**). Maksymalna częstotliwość zegara wynosi 10 MHz [2].

Układ BME680 obsługuje dwa tryby pracy SPI:

- w trybie '00' (CPOL = CPHA = '0'),
- w trybie '11' (CPOL = CPHA = '1').

Automatyczny wybór trybu jest określany poprzez stan wejścia SCK po zboczu opadającym wejścia CSB (**rysunek 2**).

Protokół obsługi obu trybów pracy SPI (4 linie) oraz SPI (3 linie) jest taki sam. Tryb SPI (3 linie) jest wybierany poprzez wpis '1' do rejestru spi3w_en.

Podczas pracy układu BME680 w standardzie SPI do komunikacji używane są cztery wyprowadzenia (rysunki 1a, 2b):

- CSB – wejście chip select, aktywny poziomem niskim,
- SCK – jako wejście zegara,
- SDI – jako wejściowa linia danych – SPI (4 linie) lub dwukierunkowa linia danych – SPI (3 linie),
- SDO – jako wyjście danych – SPI (4 linie) lub wysoka impedancja – ASPI (3 linie).

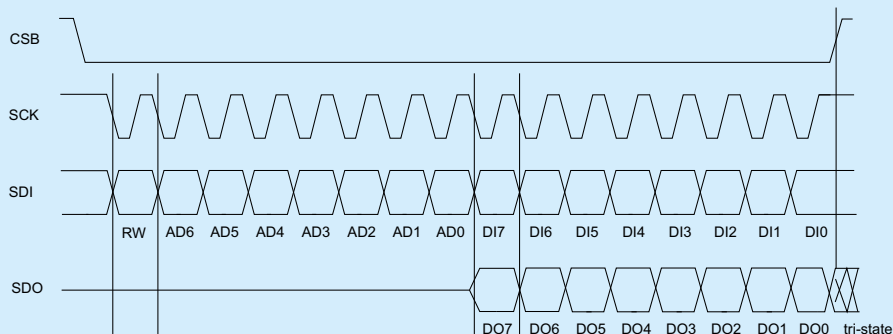
Interfejs SPI używa adresowania 7-bitowego i obsługuje dwa rodzaje transferu:

- odczyt pojedynczego bajtu (bit R/W = 0 + 7b add + 8b data),
- wpis pojedynczy lub wielokrotny bajtów – sekwencja (bit R/W = 1 + 7b add + 8b data).

Przestrzeń adresowa jest podzielona na dwie strony. Po włączeniu zasilania rejestr spi_mem_page (adr 0x73) jest wyzerowany i wybrana jest strona 0 z adresami rejestrów 0x80 do 0xFF. Po wpisaniu 1 do rejestru spi_mem_page wybrana jest strona 1 z adresami rejestrów 0x00 do 0x7F.

Wpis bajtu danych do rejestru układu

Schemat transmisji podczas wpisu bajtów pokazano na **rysunku 3**. Pokazany jest stan wejścia SDI, gdyż stan wyjścia



Rysunek 2. Interfejs SPI. Sygnały konfiguracji „4 linie” w trybie 11 [2]

SDO jest nieistotny. Obserwacje pokazują, że układ na wyjściu SDO ustawia trzeci stan. Transmisja następuje zawsze jako dwa bajty, gdzie pierwszy bajt zawiera adres rejestru, a drugi daną do wpisania.

Podczas wpisu danych do rejestrów układu transmisja rozpoczyna się od:

- wystawienia przez układ master niskiego stanu na linii CSB i 7-bitowego adresu rejestru poprzedzonego bitem RW=0 (write),
- następnie master wysyła bajt z daną do wpisu,
- master może jednak wysyłać kolejne pary bajtów do wpisu danych pod inne adresy rejestrów,
- zdjęcie przez układ master niskiego poziomu na linii CSB kończy wpis bajtów.

Nie jest stosowana autoinkrementacja adresów. Przykład zapisu bajtu jest pokazany dalej na **rysunku 11**.

Odczyt bajtu danych z rejestru układu

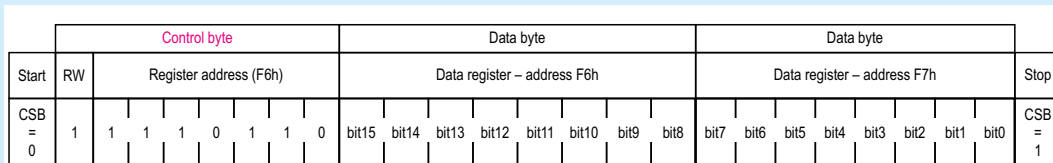
Schemat transmisji podczas odczytu bajtów pokazano na **rysunku 4**. Podczas odczytu danych z rejestrów układu transmisja rozpoczyna się od:

- wystawienia przez układ master niskiego stanu na linii CSB i 7-bitowego adresu rejestru poprzedzonego bitem RW=1 (read),
- następnie układ BME680 wysyła na wyjście SDO bajt z odczytaną z rejestru daną. Stan wyjścia SDO podczas bajtu adresowego jest nieistotny. Obserwacje pokazują, że układ na wyjściu SDO ustawia trzeci stan,
- master może wysyłać kolejne bajty sygnałów zegarowych do odczytu danych z rejestrów spod kolejnych adresów (autoinkrementacja adresów),
- zdjęcie przez układ master niskiego poziomu na linii CSB kończy wpis bajtów.

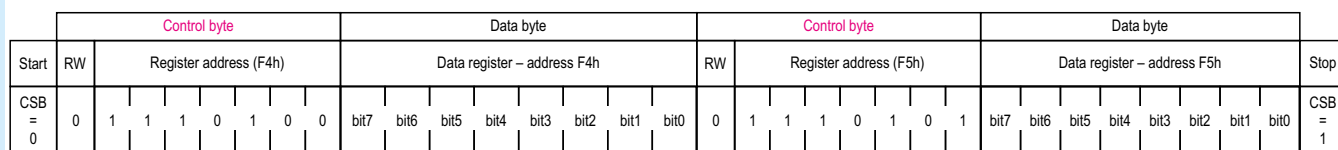
Przykład odczytu pojedynczego bajtu danych jest pokazany dalej na **rysunku 10**, a odczytu sekwencji bajtów na **rysunku 12**.

Biblioteka Bosch Sensortec drivers

Firmowe sterowniki dla układu BME680 są dostępne na stronie Bosch Sensortec drivers [10].



Rysunek 3. Interfejs SPI. Wpis wielokrotny bajtów (bez autoinkrementacji) [2]



Rysunek 4. Interfejs SPI. Odczyt wielokrotny bajtów (z autoinkrementacją) [2]

Repozytorium BoschSensortec Github udostępnia dwa komplety sterowników:

- BME680 sensor driver/API – sterowniki z opisem i przykładami,
- BSEC-Arduino – biblioteka do Arduino do integracji biblioteki firmowej BSEC.

Pakiet programowy *BME680 sensor driver/API* zapewnia niskopoziomą komunikację z układem BME680 oraz kalibrację wartości odczytu z sensorów. Uwalnia to użytkownika od konieczności zajmowania się obsługą poszczególnych rejestrów układu scalonego.

Pobierany z repozytorium plik *BME680_driver-master.zip* zawiera trzy pliki źródłowe:

- *bme680_defs.h* – zawiera stałe, makra i deklaracje,
- *bme680.h* – zawiera deklaracje funkcji API,
- *bme680.c* – zawiera definicje funkcji API,
- *REDAME.md* – zawiera opis sposobu dołączania drajwerów do projektu użytkownika.

Dodatkowo jest pobierany folder *Self test* z dwoma plikami:

- *bme680_selftest.h* – zawiera stałe, makra i deklaracje funkcji,
- *bme680_selftest.c* – zawiera definicje funkcji wykonywania testu i analizy danych.

Pakiet *BME680 sensor driver/API* obsługuje komunikację z układem BME680 w dwóch standardach: I²C oraz SPI (4 linie). Na stronie repozytorium zamieszczony jest przykładowy kod inicjalizacji układu (dla obu standardów komunikacji), skonfigurowania układu oraz wykonania pojedynczego pomiaru i odczytania wyników.

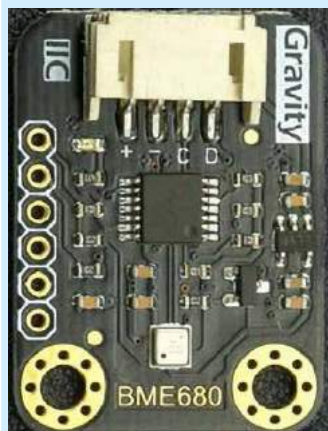
W nocie aplikacyjnej AN-014 [3] została opisana praca układu scalonego oraz postępowanie podczas wykonywania testowania układu: weryfikacja identyfikacji struktury scalonej, weryfikacja danych kalibracyjnych, generowanie CRC, pomiar danych z czujników, weryfikacja danych pomiarowych.

Biblioteka pomiarowa BSEC

Biblioteka *Bosch Sensortec Environmental Cluster* (BSEC) [11] jest przeznaczona do obsługi pracy z czujnikiem BME680. Komunikację oraz kompensację danych zapewnia sterownik firmowy [10]. Algoritmy biblioteki zapewniają również dodatkową kompensację pomiarów czujnika gazu z uwzględnieniem wilgotności oraz dryftu. Kod biblioteki jest zamknięty.

Moduł czujnikowy BME680 Environmental Sensor

Kilka firm oferuje moduły czujnikowe z układem scalonym BME680. Typowo zawierają one układ scalony BME680 oraz dodatkowo (opcjonalnie) układy interfejsu cyfrowego oraz regulator napięcia zasilania. Typowym przykładem jest moduł czujnikowy BME680 Environmental Sensor (DFRobot SEN0248) [6] oferowany również przez Kamami



Rysunek 5. Płytka BME680 Environmental Sensor (widok z góry) [6]



Rysunek 6. Płytka BME680 Environmental Sensor (widok z dołu) [7]

[7]. Widok płytki drukowanej modułu czujnikowego BME680 Environmental Sensor został pokazany na **rysunkach 5 i 6**. Dokładniejszy opis modułu znajduje się w poprzedniej części artykułu.

Zestaw startowy CC1352R1 LaunchPad (Texas Instruments)

Zestaw startowy *SimpleLink Multi-Band CC1352R Wireless MCU LaunchPad Development Kit (LAUNCHXL-CC1352R1)* jest wyposażony w układ scalony CC1352R1F3 [S15]. Zestaw jest przeznaczony do pracy w pasmach 868 MHz/915 MHz oraz 2,4 GHz. Cała elektronika zestawu *CC1352R1 LaunchPad* jest umieszczona na jednej wielowarstwowej płytce drukowanej. Płytka jest podzielona na dwie części: u góry płytki jest emulator sprzętowy standardu XDS110 oraz układ monitora zasilania a na dole układ scalony CC1352R.

Na złączach J1, J2, umieszczonych po obu bokach płytki drukowanej, jest udostępnionych 26 wyprowadzeń wejścia-wyjścia (GPIO) układu scalonego CC1352R oznaczanych jako „DIOxx”, gdzie xx – numery od 01 do 31. Dodatkowo na dole płytki są umieszczone dwa potrójne złącza z wyprowadzoną masą „GND” oraz zasilaniem „3V3”.

Połączenia sprzętowe

Na płytce modułu BME680 Environmental Sensor jest umieszczone złącze P2 typu IDC do obsługi komunikacji SPI. Dołączanie sygnałów SPI modułu do zestawu startowego *CC1352R LaunchPad* [S15]:

- GND (P2.5) → GND (P1.3) płytki CC1352R1 LP
- VCC (P2.6) → 3,3 V (J1.1) płytki CC1352R1 LP
- MOSI (P2.6) → DIO9 (J2.12, MOSI) płytki CC1352R1 LP
- CS (P2.6) → DIO11 (J2.6, CS) płytki CC1352R1 LP
- SCLK (P2.6) → DIO10 (J1.13, SCLK) płytki CC1352R1 LP
- MISO (P2.6) → DIO8 (J2.14, MISO) płytki CC1352R1 LP

Sposób podłączenia kabelków jest pokazany na rysunku tytułowym. Dodatkowo jest tam pokazany zestaw uruchomieniowy *SHT31 Smart Gadget* firmy Sensirion zastosowany do referencyjnego pomiaru temperatury i wilgotności [S32].

Aktualizowanie oprogramowania firmowego

Debugger sprzętowy typu XDS110 wymaga okresowej aktualizacji oprogramowania firmowego. Obecnie razem z wersją CCS stosowana jest aktualizacja FW do wersji 3.0.0.11 z pakietu emulacyjnego 9.1.0.00001 (2020-02-13). Numer aktualnej wersji oprogramowania firmowego w środowisku CCS można sprawdzić z menu *Help → About Code Composer Studio → Installation Detiles*. Teraz w górnym oknie należy przewinąć do linii *TI Emulators* i kliknąć na nią. W dolnym oknie wyświetlane są dokładne informacje o pakiecie.

W obecnej wersji został zmieniony sposób aktualizacji FW. Jest on wykonywany w jednym kroku (zamiast w dwóch osobnych), co obejmuje: przełączenie debugera XDS110 w tryb programowania, dołączanie do debugera pracującego w trybie programowania, przesyłanie nowego oprogramowania firmowego, kończenie aktualizacji oprogramowania oraz ponowne bootowanie debugera w celu powrotu do trybu pracy normalnej. W trakcie aktualizacji oprogramowania porty wirtualne COM widoczne w systemie Windows są kasowane. Po zakończeniu aktualizacji porty pojawiają się ponownie. Jednak do portu Application/User UART nie można się już dołączyć programem PuTTY. Wymaga to odłączenia XD110 od komputera i ponownego dołączenia lub ponownego uruchomienia systemu Windows. Ze sterownikami dla XDS110 jest ogólnie spory problem, ponieważ odłączenie debugera podczas działania programu PuTTY dołączonego do jego portu również blokuje dostęp do tego portu i wymaga ponownego uruchomienia systemu Windows.

Pakiet programowy SimpleLink Sensor and Actuator Plugin (Texas Instruments)

Do obsługi układu BME280 z zastosowaniem różnych procesorów służy darmowy pakiet programowy *SimpleLink Sensor and Actuator*

Plugin firmy Texas Instruments [13]. Trochę zamieszania wprowadza stosowanie w opisach pakietu zamiennie nowej nazwy *SimpleLink Sensor and Actuator Plugin* oraz starej nazwy *Sensor Actuator Interface Layer (SAIL)*. Na przykład, tak nazywa się folder z zainstalowanym pakietem na dysku. Pakiet zawiera przykładowy projekt *i2cbme280*, który korzysta z firmowego pakietu *BME280 sensor driver/API* firmy Bosch kompatybilnego z pakietem *BME680 sensor driver/API*.

Pakiet SimpleLink Sensor and Actuator Plugin (1.50.00.00) ma następujące wymagania [13]:

- Windows 7, Windows 8, Windows 10, Ubuntu 14.04, Mac OS X El Capitan,
- Code Composer Studio 9.2, lepiej zastosować najnowszą wersję CCS,
- *simplelink_cc13x2_26x2_sdk_3_40_00_02* SDK lub nowsza wersja [12].

Tworzenie projektu obsługi czujnika BME680

Poniżej zostanie opisany sposób dołączenia czujnika BME680 do procesora CC1352R1. Czujnik jest zamontowany na płytce drukowanej modułu BME680 Environmental Sensor [6] a procesor na płytce drukowanej zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad [S15].

Jako środowisko programowe zostanie zastosowany Code Composer Studio (9.3 lub nowszy). Można go darmowo pobrać ze strony producenta Texas Instruments. Po zainstalowaniu CCS trzeba doinstalować pakiet SimpleLink Sensor and Actuator Plugin (1.50.00.00) [13] oraz pakiet SimpleLink cc13x2 26x2 SDK (3.40.00.02 lub nowszy) [12].

Pracę rozpoczynamy od użycia projektu *i2cbme280_CC1352R1_LAUNCHXL_tirtos_ccs* z pakietu *SimpleLink Sensor and Actuator Plugin*. Projekt jest przeznaczony do obsługi komunikacji w standardzie I²C czujnika BME280. Ma on taki sam interfejs programowy jak czujnik BME680. Różni się trochę zawartością mapy adresowej rejestrów oraz dodaniem pomiaru gazu. Program wysła napisy poprzez łącze UART do portu wirtualnego COM komputera dołączonego do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad. Umożliwia to oglądanie na bieżąco aktualnych danych pobranych z czujnika. Opis projektu i parametrów jest zamieszczony w pliku *REDAME.html* w folderze projektu.

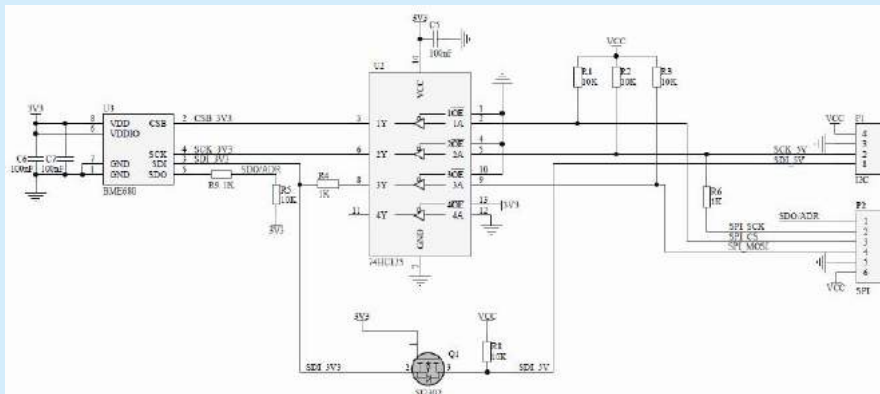
1. Dołącz zestaw startowy *CC1352R1 LaunchPad* kablem USB do komputera.
2. Wystartuj środowisko CCS.
3. Utwórz folder roboczy o nazwie *work_BME680_SPI* w ścieżce *C:\home_dir*.

Taki sposób nazywania i umieszczania foldera roboczego ułatwia potem orientację wśród wielu folderów o podobnych nazwach. Umożliwia też przenoszenie foldera roboczego projektu pomiędzy komputerami o tej samej strukturze folderów.

4. Zaimportuj projekt *i2cbme280_CC1352R1_LAUNCHXL_tirtos_ccs* z pakietu SimpleLink Sensor and Actuator Plugin.
5. Zmień nazwę projektu na *spibme680_CC1352R1_LAUNCHXL_tirtos_ccs*. W oknie *Project Explorer* kliknij prawym klawiszem na linię projektu, z podręcznego menu wybierz *Rename* i zmień nazwę.
6. Pobierz pliki sterownika firmowego *Bosch Sensortec drivers* z repozytorium Github [10].

Na stronie repozytorium kliknij przycisk [Clone or download] a następnie [Download ZIP]. Rozpakuj archiwum w eksploratorze plików.

7. Dodaj pliki do projektu. Po kolei zaznacz pliki źródłowe i przeciągnij (drag and drop) na linię projektu *i2cbme680_CC1352R1_LAUNCHXL_tirtos_ccs* w oknie *Project Explorer*. Pozostaw wybraną opcję *Copy files*.



Rysunek 7. Moduł BME680 Environmental Sensor. Schemat toru komunikacji cyfrowej [7]

Plik *spibme680.c* ze zmianami jest dostępny w materiałach dodatkowych do artykułu

8. Zmień nazwę pliku *i2cbme280.c* na *spibme680.c*.

Zmodyfikuj kod źródłowy pliku *spibme680.c* według opisu w pliku *REDAME* pakietu drajwera firmowego *Bosch Sensortec drivers*.

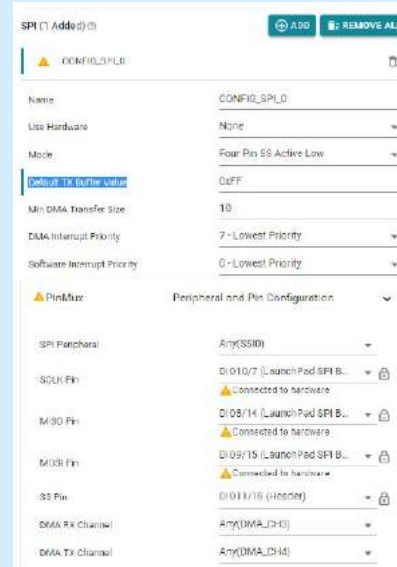
- Zastąp linię kodu `#include <ti/sail/bme280/bme280.h>` na `#include "bme680.h"`.
- Zastąp linię kodu `#include <ti/drivers/I2C.h>` na `#include <ti/drivers/SPI.h>`.
- Pod definicjami zmiennych globalnych należy umieścić kod funkcji służących do obsługi komunikacji szyną SPI: `user_delay_ms`, `user_spi_read` oraz `user_spi_write`. Są to funkcje realizowane przez użytkownika specjalnie dla zastosowanego procesora.
- Poniżej należy umieścić funkcję `getIAQ` obliczającą IAQ.
- Należy zmodyfikować funkcję główną aplikacji.

Tych modyfikacji jest sporo. Dlatego najprościej jest wymienić plik *i2cbme680.c* na plik *spibme680.c* pobrany ze strony FTP.

9. Otwórz plik *i2cbme280.syscfg*.
10. W nowym oknie edycyjnym, w lewym panelu znajdź I2C i kliknij na niego.
11. W prawym panelu kliknij na ikonkę kosza, usuń definicję I2C.
12. W lewym panelu kliknij na SPI.
13. W prawym panelu kliknij na przycisk *ADD* (rysunek 4).
14. Zmień tryb (Mode) na *Four Pin SS Active Low*.
15. Ustaw *Default TX Buffer Value* na *0xFF*.
16. Rozwiń listę PinMUX (Peripheral and Pin Configuration).
17. Wybierz: SCLK Pin:

DIO10, MISO Pin:
DIO8, MOSI Pin:
DIO9, SS Pin: DIO11.

Pojawiają się informacje *Connected to hardware*. Te linie są dołączone do pamięci SPI Flash zamontowanej na płytce zestawu startowego *CC1352R LaunchPad*. Nie ma to znaczenia, ponieważ szyna SPI jest współdzielona z zastosowaniem osobnych sygnałów wyboru (CS, SS). Nazwa *CONFIG_SPI_0* jest używana jako odwołanie do uchwytu dla pracy z układem SPI.



Rysunek 8. Konfigurowanie układu SPI

Funkcja `mainThread()` w pliku `i2cbme680.c` została poważnie zmodyfikowana w stosunku do wersji w pliku `readme`. Zostało dodanych sporo wydruków opisujących błędy występujące podczas pracy. Bardzo ułatwia to uruchamianie programu oraz umożliwia lepsze orientowanie się w działaniu czujnika.

Pierwszy fragment kodu funkcji wykonuje inicjalizację modułu peryferyjnego SPI procesora CC1352R1. Następnie wykonywana jest inicjalizacja czujnika BME680. Dane potrzebne do konfigurowania czujnika BME680 są przechowywane w strukturze `gas_sensor` typu `bme680_dev` (zdefiniowanej w pliku `bme680_defs.h`). Po ustawieniu w strukturze parametrów czujnika wykonywana jest funkcja `bme680_init`, która wysyła do czujnika polecenie resetu programowego oraz odczytuje identyfikator układu scalonego (**rysunek 11**) a następnie dane kalibracyjne (zaczynając od adresu 0x89, brak opisu rejestrów) oraz inne współczynniki. Następnie konfigurowane są rejestry sterujące czujnika BME680. Ustawiane są parametry pomiaru wilgotności, ciśnienia, temperatury i gazu (w tej kolejności). Dla czujnika gazu ustawiana jest temperatura pracy na 320°C oraz czas podgrzewania na 150 ms (typowe warunki pracy).

Teraz wysyłana jest komenda (**rysunek 9**, linia 348) wystartowania pomiaru (**rysunek 12**). Następnie w funkcji `bme680_get_profile_dur` (linia 357) jest obliczany i ustawiany dokładny czas podgrzewania (profil). Dla powyższych ustawień wynosi on typowo 183 ms. Jego wartość jest bardzo ważna, ponieważ co najmniej tyle czasu trzeba po wystartowaniu pomiaru czekać na dostęp do zwalidowanych i stabilnych danych.

Praca układu jest zorganizowana w pętli nieskończonej (linia 368). Teraz już można odczytać (linia 372) skalibrowane dane pomiarowe (**rysunek 13**). Są one wysyłane do portu UART (linia 382). Następnie wysyłana jest komenda wykonania kolejnego pomiaru (linia 392) i procesor jest wprowadzany w uśpienie na czas 1 sekundy (linia 396). Po wybudzeniu procesora program powraca do wykonywania pętli nieskończonej i wysyła do portu UART dane ostatniego pomiaru. W ten sposób unika się czekania 183 ms na dostęp do danych oraz oszczędza energię zasilania.

Uruchamianie projektu obsługi czujnika BME680

18. Zbuduj projekt przyciskiem *Build*. Nie powinny być zasygnalizowane żadne błędy kompilacji i powinien być wygenerowany plik `spibme680_CC1352R1_LAUNCHXL_tirtos_ccs.out`. Projekt zawiera już gotową definicję modułu sprzętowego (w folderze `targetConfigs`).

19. Zaprogramuj przyciskiem *Debug* pamięć Flash procesora wygenerowanym kodem.

Projekt jest zorganizowany z zastosowaniem systemu operacyjnego TIRTOS. Po załadowaniu kodu wykonywany jest reset procesora i program jest uruchamiany do pierwszej linii kodu funkcji `main()` w pliku `main_tirtos.c`.

W funkcji `main` wykonywana jest inicjalizacja procesora i tworzone jest zadanie (wątek) `mainThread` (z kodem w pliku `spibme680.c`). Na koniec działania funkcji `main()` rozpoczyna działać system operacyjny i zostaje uruchamiane wykonanie jednego zadania (task) `mainThread`.

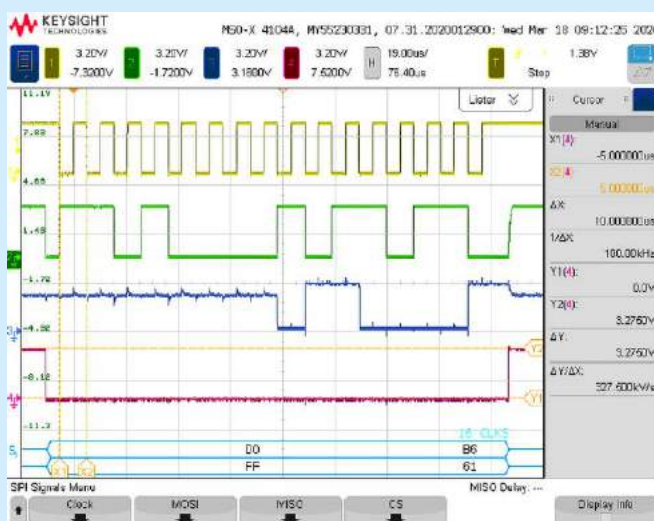
Sprawdź w Menedżerze Urządzeń systemu Windows, jaki numer portu COM został przypisany do kanału XDS110 Class Application/User UART.

```

531 /* Trigger the measurement */
532 rslt = bme680_set_sensor_mode(&gas_sensor);
533 if (rslt != BME680_OK)
534     Display_printf(display, 0, 0, "BME680 trigger the measurement DE!");
535 else
536     Display_printf(display, 0, 0, "reset trigger the measurement error");
537
538 /* Set the total measurement duration so as to sleep or wait till the
539  * measurement is complete */
540 uint16_t meas_period; /* take up duration in ms */
541 bme680_get_profile_dur(&meas_period, &gas_sensor);
542
543 Display_printf(display, 0, 0, "Heater temperature: %d Celsius degree, Heater duration: %d ms", gas_sensor_gas_sett.heater_temp, gas_sensor_gas_sett.heater_dur);
544 Display_printf(display, 0, 0, "Ambient temperature: %d, gas_sensor.amb_temp");
545 Display_printf(display, 0, 0, "Measurement duration: %d ms", meas_period);
546
547 user_delay_ms(meas_period); /* Delay till the measurement is ready */
548
549 struct bme680_field_data data; /* Sensor field data structure */
550
551 /* BME680 Reading all sensor data */
552 while(1)
553 {
554     /* This SPI reads the pressure, temperature and humidity and gas data
555     * from the sensor, compensates the data and store it in the bme680_data structure */
556     rslt = bme680_get_sensor_data(&data, &gas_sensor);
557     if (rslt != BME680_OK)
558         Display_printf(display, 0, 0, "BME680 get data Error");
559
560     if (data.status & BME680_GAS_VALID_HQ)
561     {
562         if (data.gas_resistance > gas_resistance_max)
563         {
564             if (first_time == 0)
565             {
566                 gas_resistance_max = data.gas_resistance;
567                 Display_printf(display, 0, 0, "Pressure: %d hPa, Temp: %d.2f DegC, Humidity: %d.3f %RH, Gas res: %d Ohms, Gas res max: %d Ohms",
568                     ((float)data.pressure)/100, ((float)data.temperature)/100, ((float)data.humidity)/1000, data.gas_resistance, gas_resistance_max);
569             }
570             getTQ(&data);
571         }
572         else
573             /* Avoid using measurements from an unstable heating setup */
574             Display_printf(display, 0, 0, "AQH Valid max Error");
575
576         /* Trigger the next measurement if you would like to read data out continuously */
577         if (gas_sensor_sensor_mode == BME680_FORCE_HQ) {
578             rslt = bme680_set_sensor_mode(&gas_sensor);
579             if (rslt != BME680_OK)
580                 Display_printf(display, 0, 0, "Trigger the next measurement error");
581         }
582     }
583     sleep(1);
584 }

```

Rysunek 9. Główna pętla pomiarowa w funkcji `mainThread`



Rysunek 10. Odczyt rejestru ID układu BME680

Do tego portu dołącz terminal znakowy, na przykład PuTTY. Wymagane ustawienia 115200/8/1/N.

Rozpocznij wykonywanie programu przyciskiem *Resume*.

Przykładowy wydruk podczas pracy projektu obsługi czujnika BME680 jest pokazany na **listingu 1**. Wysoki poziom indeksu IAQ został uzyskany niedługo po pierwszym włączeniu układu BME680 i wynika z zastosowania wysokiego progu górnej wartości rezystancji czujnika, oszacowanego w poprzednim eksperymencie [S36]. Dodatkowo zapisywana jest największa i najmniejsza wartość rezystancji czujnika oraz obliczane jest, jaki procent wartości pomiędzy nimi stanowi aktualna wartość rezystancji. Daje to pewny wgląd w dynamikę zmian poziomu (typowo wzrost) wartości rezystancji czujnika w dłuższym okresie (kilku dni) eksploatacji.

Wartości temperatury, ciśnienia i wilgotności są pokazywane (nadmiarowo) z czterema miejscami po przecinku, ponieważ wystąpiły kłopoty z obsługą formatowania wydruku liczb ułamkowych przez bibliotekę firmową.

Uruchamianie obsługi czujnika BME680

Projekt jest bardzo łatwy do debugowania w środowisku CCS. Po uruchomieniu działania programu można go zatrzymać w każdej chwili przyciskiem *Suspend*. Teraz powrót do stanu bezpośrednio

po załadowaniu kodu programu (przyciskiem *Debug*) jest prosty. Trzeba kliknąć na ikonkę *System Reset* a następnie ikonkę *Restat*. Po wykonaniu restartu działanie programu jest ponownie zatrzymane w pierwszej linii kodu funkcji `main()`. W każdej linii kodu (nie komentarza) w plikach `ic2bme60.c` oraz `bme680.c` można ustawiać pułapki (sprzętowe). Wystarczy dwa razy kliknąć na pasku z numeracją linii kodu źródłowego. Dostępna jest też praca krokowa z wchodzeniem do wywoływanych w linii kodu funkcji lub bez. Najechanie kursorem na nazwę funkcji z przyciśniętym klawiszem CTRL pozwala, po kliknięciu na nią, na przeniesienie się do miejsca definicji tej funkcji. Tak samo jest z deklaracjami zmiennych i stałych.

Uruchamianie pracy czujnika BME680 okazało się dosyć trudne. Bardzo w tym pomógł oscyloskop z analizą protokołu SPI. Odczyt rejestru identyfikatora układu scalonego 0x61 spod adresu 0x50 jest pokazany na **rysunku 10**. Najpierw na szynie SPI (linia MOSI, wejście SDI układu BME680) jest wysłany bajt adresowy z ustawionym bitem odczytu (`0xD0 = 0x50 + 0x80`). Układ BME680 na linii MISO (wyjście SDO) utrzymuje trzeci stan. Następnie układ BME680 wystawia na niej zawartość rejestru (0x61).

Wystartowanie pomiaru jest bardziej złożone (**rysunek 11**). Najpierw odczytywany jest stan rejestru `Ctrl_meas` (adr. `0x74 + 0x80 = 0xF4`). Pole bitowe `mode1:0` tego rejestru musi mieć wartość 0x00, co oznacza, że nie jest wykonywany pomiar. Odczytana wartość 0x8C oznacza zerową zawartość pola `mode`. Dopiero teraz można w pole `mode` wpisać wartość 0x01, bez zmiany stanu pozostałych bitów (`0x8C + 0x01 = 0x8D`). Jest to wykonane w następnej parze bajtów.

Sekwencja odczytu danych pomiarowych trwa ok. 1,27 ms, a odstęp powtarzania ok. 1019,8 ms (**rysunek 12**). Najpierw odczytywany jest stan rejestru `Eas_status_0` (adr. `0x1D + 0x80 = 0x8D`). Odczytana zawartość 0x80 oznacza, że są gotowe nowe dane. W kolejnym rejestrze (adr. `0x1E`) są następne znaczniki, ale już nie ma ich opisu w dokumentacji fabrycznej. O ich znaczeniu można wnioskować z kodu biblioteki firmowej. Zawartość kolejnych rejestrów danych jest już w dokumentacji lepiej opisana.

Listing 1. Komunikaty przesyłane podczas pracy projektu obsługi czujnika BME680 Starting the spibme680 sensor example...

```
SPI Initialized!
Chip ID: 0x61, Chip Addr: 0x0
BME680 Initialization OK!
BME680 sensor configuration OK!
BME680 Trigger the measurement OK!
Heater temperature: 320 Celcius degree, Heater duration: 150 ms
Ambient temperature: 25
Measurement duration: 183 ms

Pressure: 1011.7399 hPa, Temp: 21.9899 DegC, Humidity: 48.8310 %RH
Gas_res: 171971 Ohms, Gas_res_min: 161213 Ohms, Gas_res_max: 173936 Ohms, Gas_res_%: 84.5555 %
Hum_IAQ: 18.3982, Gas_IAQ: 316.5969, IAQ: 334
Air quality is: Hazardous
Pressure: 1011.7399 hPa, Temp: 21.9899 DegC, Humidity: 48.8240 %RH
Gas_res: 172503 Ohms, Gas_res_min: 161213 Ohms, Gas_res_max: 173936 Ohms, Gas_res_%: 88.7369 %
Hum_IAQ: 18.3836, Gas_IAQ: 316.4051, IAQ: 334
Air quality is: Hazardous...
```

Szyna SPI pracuje z dosyć niską częstotliwością zegara 100 kHz (**rysunek 10**). Próby ze zwiększeniem częstotliwości wykazały kłopoty układu SPI (SSI) procesora CC1252R1 z obsługą ramki (**rysunek 13**). Losowo zdejmował on sygnał CS po pierwszym bajcie adresowym na czas ok. 33 ns. Powodowało to brak odpowiedzi układu BME680.

Eksperymenty z obsługą czujnika BME680

Zrealizowany zestaw został eksploatowany przez dłuższy czas. Do referencyjnego pomiaru temperatury i wilgotności został zastosowany zestaw uruchomieniowy *SHT31 Smart Gadget* firmy Sensirion [S32]. Wartości odczytane z czujnika BME680 były porównywane z pomiarami wykonywanymi przez czujnik SHT31 firmy Sensirion. Typowo temperatura odczytywana przez czujnik jest wyższa od temperatury otoczenia o ok. 1,2°C, a odczytywana wilgotność niższa o ok. 2,3%. Są to wyniki porównywalne z uzyskanymi dla transmisji I²C [S36].

Drugi zastosowany do porównania moduł czujnikowy to Thingy:52 firmy Nordic Semiconductor [S21]. W nim jest zastosowany czujnik ciśnienia LPS22HB firmy ST Microelectronics, czujnik wilgotności względnej i temperatury HTS221 firmy ST Microelectronics oraz jakości powietrza CCS811 firmy AMS. Układ CCS811 pozwala na wykrywanie w powietrzu bardzo niskiego stężenia dwutlenku węgla (CO₂) oraz lotnych związków organicznych VOC. Na podstawie rezystancji czujnika MOX obliczany jest pomiar przez wewnętrzny mikroprocesor:

- eCO₂ – równoważny (equivalent) poziom dwutlenku węgla, w zakresie od 400 ppm do 32768 ppm.

Literatura

Wybrane artykuły kursu „Systemy dla Internetu Rzeczy” z miesięcznika „Elektronika Praktyczna”:

- [S15] Zestaw CC1352R1 LaunchPad, EP 5/2018
- [S21] Zestaw Nordic Thingy:52 IoT Sensor Kit, EP 12/2018
- [S31] Nordic Thingy:91 – platforma prototypowania dla mobilnego IoT, EP 11/2019
- [S32] Scalane czujniki cyfrowe wilgotności i temperatury, EP 12/2019
- [S34] Cyfrowe czujniki gazu, EP 2/2020
- [S36] Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad z transmisją protokołem I²C, EP 3/2020

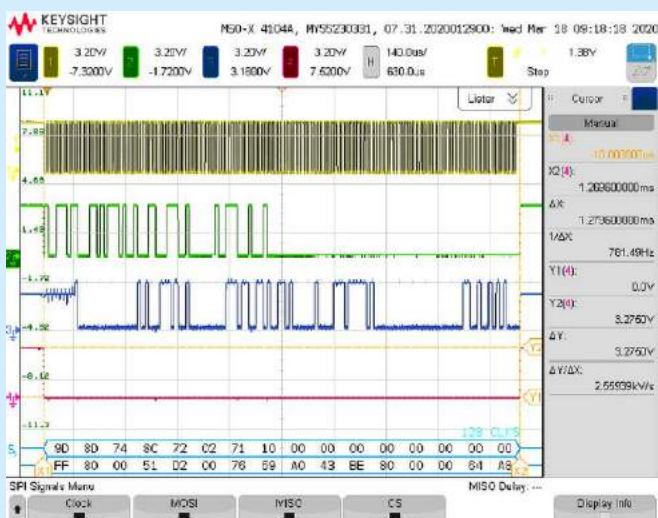
Literatura

- [1] BME680 Low power gas, pressure, temperature & humidity sensor, Bosch Sensortec, <http://bit.ly/2P0cyry>
- [2] BME680 Datasheet, rev.1.3, July 2019, BST-BME680-DS001, Bosch, <http://bit.ly/2U9wi11>
- [3] BME680 Self-test application note, rev.1.4, May 2018, BST-BME-680-AN014, Bosch, <http://bit.ly/2WfZQJK>
- [4] BME680 IAQ Example, David Bird, <http://bit.ly/2TXVvCd>
- [5] Moduł czujnika BME680 – v.1.1a – Shield do Wemos D1 mini, Nettigo, <http://bit.ly/2UdmTSD>
- [6] Gravity: I2C BME680 Environmental Sensor, SKU:SEN0248, Product Page, DFRobot, <http://bit.ly/2x72Pta>
- [7] Gravity: I2C BME680 Environmental Sensor – czujnik środowiska 4 w 1, DFRobot SEN0248, Kamami, <http://bit.ly/2wdWvAb>
- [8] DFRobot's BME680 Environmental Sensor, Wiki, <http://bit.ly/2w5Ly3P>
- [9] Adafruit BME680, Adafruit, <http://bit.ly/2QpkD9M>
- [10] BoschSensortec, Github, BME680 sensor driver/API including example guide. Bosch Sensortec GmbH, 29 Jun 2018, <http://bit.ly/3d6pLdf>
- [11] Bosch Sensortec Environmental Cluster (BSEC) v1.4.7.4, July 3rd, 2019, <http://bit.ly/2Qod2by>
- [12] SimpleLink CC13x2 and CC26x2 software development kit (SDK) (Ver. 3.40.00.02), Texas Instruments, <http://bit.ly/38I8TXC>
- [13] SimpleLink Sensor and Actuator Plugin (1.50.00.00), Texas Instruments, <http://bit.ly/2w1lhm2>

- eTVOC – równoważny całkowity (equivalent Total) poziom lotnych związków organicznych w zakresie od 0 ppb do 32768 ppb. Odczyty ciśnienia obu czujników były prawie identyczne. Czujnik SHT31 pokazywał najniższą temperaturę. Ma on największą dokładność i jest zamontowany na „wysepce” płytki drukowanej.



Rysunek 11. Odczyt i zapis rejestru Ctrl_meas (komenda wystartowania pomiaru)



Rysunek 12. Sekwencja odczytu danych pomiarowych



Rysunek 13. Zwiększenie częstotliwości zegara szyny SPI do 400 kHz

Thingy:52 pokazywał najwyższą wilgotność, o ok. 3% wyższą niż czujnik SHT31. Dotyczyło to także innych egzemplarzy tego modułu czujnikowego.

Układ CCS811 pokazywał bardzo niski poziom eTVOC. Kierunek zmian tego poziomu był skorelowany ze zmianami rezystancji czujnika BME680. Jednak w trakcie prób wystąpił problem z określeniem górnego i dolnego zakresu pomiaru rezystancji czujnika gazu układu BME680. Nie udało się znaleźć takiej informacji w dokumentacji firmowej. W sieci podawana jest wartość górna ok. 50 kΩ. Próby pokazały, że po pierwszym włączeniu układu wartość rezystancji czujnika jest dosyć niska ok. 100 kΩ. Rośnie ona stopniowo w ciągu kilku dni. Badania pokazały wartości sięgające 950 kΩ, a nawet ponad 1,4 MΩ. Ustalenie górnej wartości jest istotne dla określenia skali do obliczeń indeksu IAQ.

Po włączeniu zasilania i rozpoczęciu wykonywania pomiarów w regularnych odstępach (tutaj ok. 1 s) odczytywana wartość rezystancji czujnika gazu zaczyna rosnąć i stabilizuje się po pewnym czasie. W opisach podawana jest nawet konieczność odczekania 30 minut [9]. Wydaje się, że dopiero zastosowanie firmowej biblioteki BSEC i obliczanie estymowanego poziomu VOC może pozwolić na porównanie działania obu czujników jakości powietrza. Jednorazowa próba w niekontrolowanych warunkach nie może być podstawą do wyciągania zbyt daleko idących wniosków.

Podsumowanie

Pierwsza próba podłączenia układu BME680 do procesora CC1352R1 z zastosowaniem transmisji SPI została podjęta w ramach projektów studenckich przedmiotu *Systemy dla Internetu Rzeczy* na Wydziale Elektroniki i Techniki Informatycznych Politechniki Warszawskiej. Pozwoliła ona na opracowanie sposobu użycia firmowych sterowników dla modułu SPI procesora. Integracja tego kodu z biblioteką *Bosch Sensortec drivers* znowu wymagała zaglądania do kodu źródłowego. Spowodowane jest brakiem opisu biblioteki. Na szczęście kod źródłowy jest dosyć dobrze skomentowany. Dodatkową trudność sprawia brak w dokumentacji firmowej pełnego opisu wszystkich rejestrów układu BME680. O działaniu niektórych rejestrów sterujących można się dowiedzieć tylko na podstawie zachowania programu.

Próby z zastosowaniem kodu funkcji *selftest* dołączonej do biblioteki *Bosch Sensortec drivers* dalej nie bardzo się powiodły. Zostaną one ponowione później. Nie została, na razie, podjęta próba wykorzystania firmowej biblioteki BSEC.

Tak jak się można było spodziewać, problemy z zastosowaniem czujnika gazu dotyczyły kalibracji. Procedury postępowania kalibracyjnego takich czujników są dosyć skomplikowane. Typowo wymagają one wystawienia czujnika na czyste powietrze. Wtedy taki minimalny poziom jest traktowany jako poziom referencyjny. Potrzebne jest do tego odpowiednie oprogramowanie i możliwość przechowywania/zapisu danych kalibracyjnych. A i tak procedurę należy okresowo powtarzać.

Zaskakująco dobrze wygląda debugowanie działania programu. Kod biblioteki *Bosch Sensortec drivers* jest tak przejrzysty zorganizowany, że bardzo łatwo można śledzić działanie programu, nawet na poziomie pracy krokowej.

Dłuższy okres ciągłego działania układu BME680 dołączonego do procesora pokazuje stabilną pracę z występowaniem małych fluktuacji surowej wartości pomiaru rezystancji czujnika gazu. Ale aktualnym celem było tylko uzyskanie stabilnej pracy oprogramowania z użyciem procesora CC1352R1. Pozytywny wynik daje podstawę do wykonania prób dołączenia kolejnych czujników i rozbudowania oprogramowania.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

Zdjęcia: Piotr T. Kowalski

Eksperymenty z FPGA (6)

W poprzedniej części uruchomiliśmy część nadawczą portu szeregowego, który znajdziemy na płytce „Rysino”. Dzisiaj uzupełnimy go o część odbiorczą. A na końcu zajmiemy się luźniejszym tematem: przygotujemy moduł generujący sygnał o zmiennym wypełnieniu (PWM). Tak jak poprzednio przed przystąpieniem do wykonywania eksperymentów zachęcam do aktualizacji repozytorium z przykładami [1] (na przykład poprzez wywołanie polecenia git pull).



Odbieramy

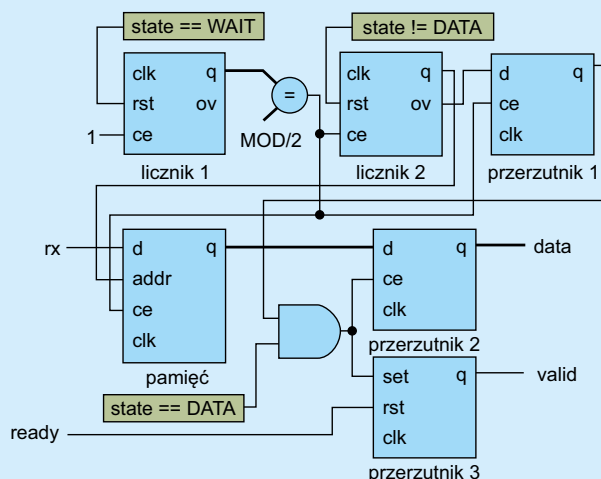
Odbieranie danych jest procesem nieco trudniejszym od nadawania. Nie mamy pełnej kontroli nad sytuacją, musimy bardziej dostosować się do nadawcy. Przyjrzyjmy się jeszcze raz ramce danych (**rysunek 1**). Dodatkowo znalazły się nad nią strzałki, określające momenty, w których musi zareagować nasz odbiornik.

W stanie bezczynności na linii panuje jedynka logiczna. Nasz odbiornik cały czas oczekuje, aż stan zmieni się na zero, co oznacza pojawienie się bitu startu i początek nowej ramki. Wydarzenie to zaznaczone jest czerwoną strzałką. Bit startu pozwala nam zsynchronizować nasz odbiór z nadajnikiem. W tym momencie musimy uruchomić nasz własny zegar, który powie nam, kiedy na linii pojawią się kolejne bity. Chcemy jednak odczytywać stan linii nie w momentach, gdy następuje zmiana, ale gdy jej stan jest stabilny. Dlatego kolejne odczyty będziemy wykonywać nie w momencie gdy licznik się przepełni, ale gdy doliczy do połowy. Pierwszy odczyt (niebieska strzałka) trafi więc w bit startu, a dopiero kolejne osiem (zaznaczone na zielono) pozwoli odebrać dane. Cały cykl odbioru kończymy na bicie stopu, zaznaczonym czarną strzałką. W tym momencie dane zostały odebrane, a odbiornik znowu rozpoczyna nasłuch w celu wykrycia następnego bitu startu.

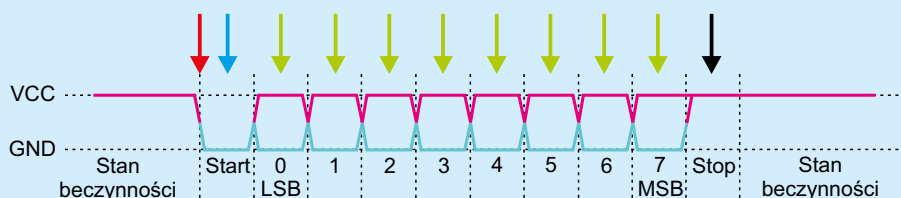
Podobnie jak w nadajniku, tu także skorzystamy z maszyny stanów. Tym razem wystarczą nam cztery stany: WAIT, START, DATA i STOP. Na **rysunku 2** pokazano graf przejść maszyny stanów. Bezpośrednio wynikają one ze zdarzeń zaznaczonych na **rysunku 1**. Po resecie moduł znajdzie się w stanie WAIT, gdzie

Listing 1. Implementacja maszyny stanów (06_UART/uart_rx.sv)

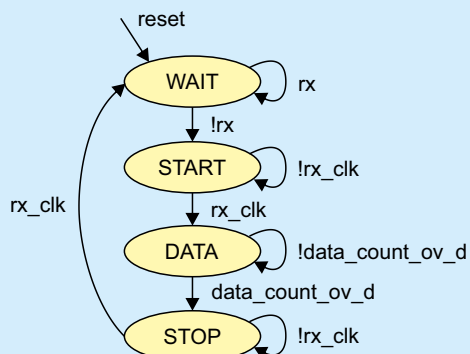
```
29 always_ff @(posedge bus.clk or negedge bus.rst)
30 if (!bus.rst)
31   s <= WAIT;
32 else
33   case (s)
34     WAIT: s <= rx ? WAIT : START;
35     START: s <= rx_clk ? DATA : START;
36     DATA: s <= data_count_ov_d ? STOP : DATA;
37     STOP: s <= rx_clk ? WAIT : STOP;
38     default: s <= WAIT;
39   endcase
```



Rysunek 3. Schemat ścieżki danych



Rysunek 1. Ramka danych w porcie szeregowym, gdzie strzałki określają momenty, w których reaguje nasz odbiornik



Rysunek 2. Przejścia pomiędzy stanami w odbiorniku

oczekuje dopóty, dopóki stan na wejściu rx nie zmieni się na niski. Spowoduje to przejście do stanu START, gdzie oczekuje na pierwszy sygnał rx_clk, który następuje w połowie bitu startu. Wtedy następuje przejście do stanu DATA, w którym odbiornik znajduje się aż do odebrania 8 bitów transmitowanych w pojedynczej ramce. Następnie poprzez stan STOP

wraca do oczekiwania na nową transmisję w stanie WAIT. Jej implementację pokazuje **listing 1**.

Na **rysunku 3** pokazano poglądowy schemat logiki odbiornika, natomiast **listing 2** prezentuje jej implementację. Jego zachowanie zależy od aktualnego stanu maszyny stanów. Licznik1 służy do odmierzania czasu trwania pojedynczego symbolu. Startuje on, gdy moduł wyjdzie ze stanu WAIT. Jego implementacja znajduje się w liniach 41...48. Tym razem jednak sygnał CE jest aktywny, gdy doliczy do połowy, a nie w momencie przepełnienia. Zostało to zrealizowane za pomocą polecenia *assign* w linii 48. Licznik2 (linie 50...56) zlicza liczbę odebranych bitów. Pracuje, tylko gdy odbiornik jest w stanie DATA. Na podstawie jego wartości wybierana jest pozycja w ośmiobitowej „pamięci”, pod którą

Listing 2. Implementacja interfejsu w języku SystemVerilog (06_UART/uart_rx.sv)

```

41 assign ctx_rst = (s == WAIT);
43 counter #(.N(MOD)) ctx (
44   .clk(bus.clk),
45   .rst(!ctx_rst),
46   .ce(1'b1),
47   .q(ctx_q),
48   .ov());
49 assign rx_clk = (ctx_q == MOD/2);
50 assign data_count_rst = (s != uartPkg::DATA);
51 counter #(.N(8)) data_count (
52   .clk(bus.clk),
53   .rst(!data_count_rst),
54   .ce(rx_clk),
55   .q(i),
56   .ov(data_count_ov));
57
58 always_ff @(posedge bus.clk)
59   if (rx_clk)
60     data_count_ov_d <= data_count_ov;
61
62 always_ff @(posedge bus.clk)
63   if (rx_clk)
64     rxb[i] <= rx;
65
66 always_ff @(posedge bus.clk or negedge bus.rst)
67   if (!bus.rst)
68     bus.valid <= 1'b0;
69   else if (data_count_ov_d && s == DATA)
70     bus.valid <= 1'b1;
71   else if (bus.ready)
72     bus.valid <= 1'b0;
73
74 always_ff @(posedge bus.clk)
75   if (data_count_ov_d && s == DATA)
76     bus.data <= rxb;

```

Listing 3. Testbench umożliwiający sprawdzenie pracy odbiornika (06_UART/uart_rx_tb.sv)

```

28 initial begin
29   bus_rx.ready <= 1'b1;
30   bus_tx.valid <= 1'b1;
31   bus_tx.data <= 8'hAB;
32 end
33
34 uart_tx uart_tx(
35   .bus(bus_tx),
36   .tx(rtx));
37
38 uart_rx dut(
39   .rx(rtx),
40   .bus(bus_rx));

```

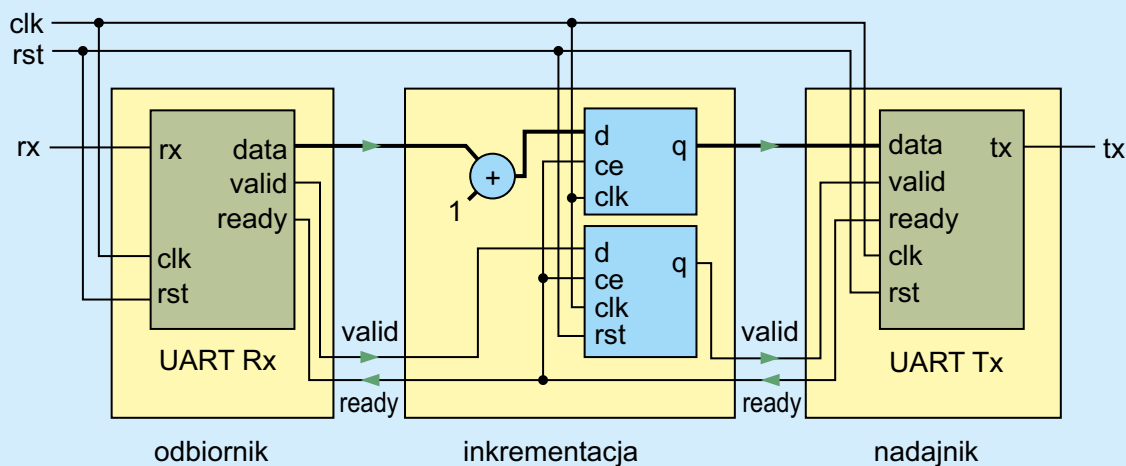
zostanie zapisana kolejna wartość z wejścia rx. Jej implementacja zajmuje trzy linie 62...64. Na końcu Przerzutnik2 (linie 74...76) zatrzymuje odebraną wartość, dzięki czemu będzie ona dostępna cały czas, aż do odebrania kolejnej. Przerzutnik3 (linie 66...72) obsługuje naszą magistralę. Gdy pojawi się nowa wartość, sygnał *valid* zostanie ustawiony na 1, w którym zostanie, aż do pojawienia się sygnału na wejściu *ready*. W kodzie, za pomocą kolejności warunków w wyrażeniu if/else, zadaliśmy o to, żeby ustawienie miało wyższy priorytet niż kasowanie. Wtedy nawet jeżeli *ready* będzie cały czas aktywne, *valid* i tak „zapaliło” się na jeden cykl zegara. Natomiast w żaden sposób nie sprawdzamy, czy dana została przez kogoś odczytana. Jeżeli pojawi się kolejna, stara wartość zostanie po prostu nadpisana.

Aby sprawdzić działanie modułu, zastosujemy testbench, którego fragment pokazuje listing 3. Do wygenerowania sygnału testowego użyty został nadajnik opisany w poprzedniej części. Jego wyjście tx zostało podłączone do wejścia rx odbiornika. Aby ją uruchomić, w programie ModelSim wywołujemy polecenie: do uart_rx_sim.do

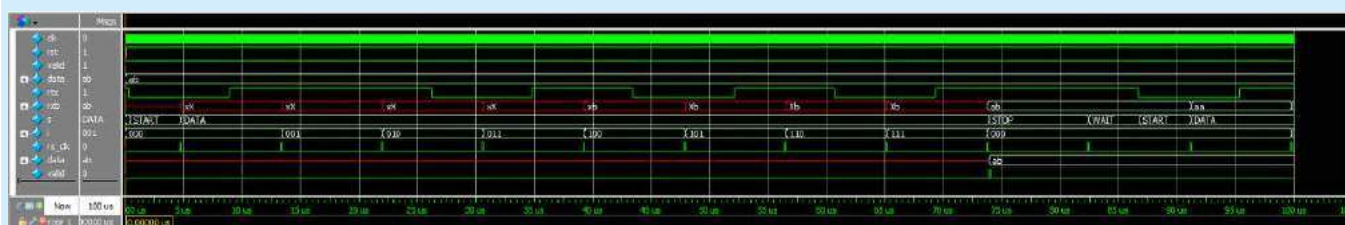
Uzyskany wynik pokazano na rysunku 4. Na samej górze widzimy sygnał zegarowy *clk*, lecz jest on na tyle szybki, że w ustawionym przybliżeniu jego zmiany zlewają się ze sobą i widzimy „ciągły prostokąt”. Pod nim widzimy sygnał resetu. Niżej widzimy fragment magistrali wejściowej nadajnika. Jako dana wpisana jest liczba 0xAB, natomiast sygnał *valid* jest ciągle ustawiony na 1. Powoduje to, że nadajnik gdy tylko skończy jedną transakcję od razu rozpocznie następną.

Sygnał wejściowy odbiornika pokazany jest w linii rtx. Najciekawszy jest sygnał rxb, w którym widzimy kolejne odebrane bity. Na początku jego stan jest nieustalony, co symbolizuje kolor czerwony oraz znaki X. Przy okazji warto zobaczyć, że raz mamy mały znak x, a raz duży X. x oznacza, że wszystkie 4 bity, które opisuje, są nieustalone, a X – że część z nich ma już przypisaną wartość. Na samym końcu widzimy, że poprawnie została odebrana wartość 0xAB.

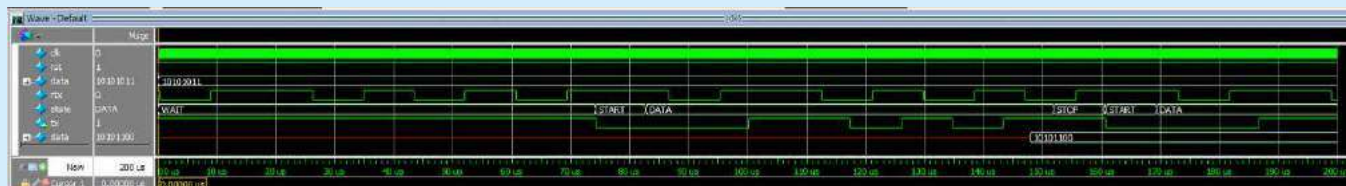
Trzy kolejne sygnały to informacje o wnętrzu odbiornika: s to aktualny stan odbiornika, i – numer odbieranego bitu, a rx_clk



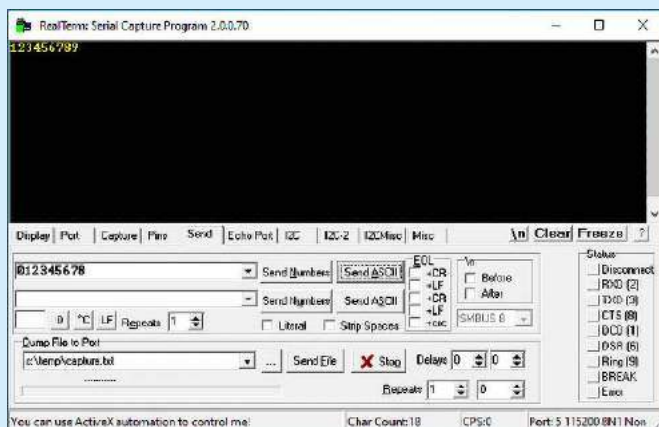
Rysunek 5 Schemat modułu, który odbiera liczbę z portu szeregowego i odsyła liczbę o jeden większą



Rysunek 4. Wyniki symulacji odbiornika



Rysunek 6. Symulacja modułu z listingu 4



Rysunek 7. Okno programu RealTerm przedstawiające wynik działania modułu

– zegara odbiornika liczący czas trwania symbolu. Na samym końcu widzimy magistralę wyjściową: jej sygnał data i valid.

Echo

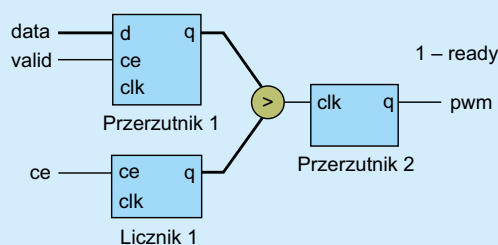
Aby przetestować działanie całości, uruchomimy układ działający podobnie jak „echo”, ale żeby sprawdzić, czy poprawnie przetwarza dane pomiędzy odbiornikiem a nadajnikiem dodamy blok zwiększający odebraną wartość o jeden. Układ pokazano na **rysunku 5**.

Pierwszym elementem jest odbiornik. Jego wyjście przepływa przez blok realizujący inkrementację. Warto zwrócić uwagę, że sygnał valid ma taką samą latencję jak data. Ostatnim elementem jest opracowany w poprzedniej części nadajnik. Jego implementację znajdziemy na **listingu 4**. Nasz główny model nosi nazwę uart_inc. Ma on trzy wejścia: zegar clk, reset rst i rx oraz jedno wyjście: tx. W liniach 18 i 19 tworzymy dwie magistrale. Pierwsza bus_rx posłuży do połączenia odbiornika z modułem inkrementującym, a druga bus_tx posłuży do przekazania uzyskanego wyniku do nadajnika. Następnie znajdują się instancje wykorzystanych pod modułów: odbiornik (linie 21...23), inkrementacji (25...27) i nadajnik (29...31).

Moduł można przetestować za pomocą testbenchu, który znajduje się w pliku 06_UART/uart_inc_tb.sv. Aby wygenerować

Listing. 4. Moduł odbierający, inkrementujący i odsyłający liczbę po porcie szeregowym (06_UART/uart_inc.sv)

```
10 module uart_inc #(
11     parameter F = 8000000
12 ) (
13     input wire clk,
14     input wire rst,
15     input wire rx,
16     output logic tx
17 );
18 StreamBus #(N(8)) bus_rx (.clk(clk), .rst(rst));
19 StreamBus #(N(8)) bus_tx (.clk(clk), .rst(rst));
20
21 uart_rx #(F(F), .BAUD(115200)) urx (
22     .rx(rx),
23     .bus(bus_rx));
24
25 inc increment (
26     .bus_in(bus_rx),
27     .bus_out(bus_tx));
28
29 uart_tx #(F(F), .BAUD(115200)) utx (
30     .bus(bus_tx),
31     .tx(tx));
32
33 endmodule
```



Rysunek 8. Schemat generatora PWM

i sprawdzić sygnały testowe zostały w nim dodane dodatkowe moduły Rx i Tx. Można go uruchomić za pomocą polecenia: do uart_inc_sim.do

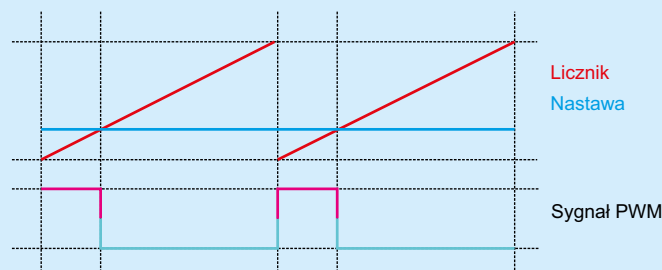
Jej wynik możemy zobaczyć na **rysunku 6**. W trzeciej linii widzimy dane wejściowe. W zapisie binarnym jest to liczba 10101011, co dziesiętnie daje liczbę 171. W ostatniej linii widzimy dane, które wychodzą z bloku uart_inc. Uzyskana wartość to 10101100 binarnie, czyli 172. Oznacza to, że wynik symulacji jest poprawny.

Teraz możemy przejść do ostatniej części, czyli uruchomienia projektu w sprężce. W tym celu przygotowany został projekt 06_UART/06_uart_inc.qpf. Możemy go utworzyć, zbudować i zaprogramować płytke. Do przetestowania użyjemy znanego nam już programu RealTerm. Najpierw w zakładce Port wybieramy numer portu i ustawiamy prędkość na 115200. Następnie przechodzimy do zakładki Send, co zostało zaprezentowane na **rysunku 7**. W pole tekstowe możemy wpisać kilka znaków ASCII (u mnie 0123456789). Po kliknięciu przycisku Send ASCII zostaną one wysłane przez port szeregowy. W konsoli zobaczymy wyniki, czyli ciąg znaków o kodach o 1 większych. W przedstawionym przypadku jest to 123456789.

Sygnał PWM

Kolejnym eksperymentem jest generator sygnału PWM. Skrót ten pochodzi od *pulse-width modulation*, czyli modulacja szerokości impulsu. Jest to sygnał prostokątny o zadanym wypełnieniu.

Uproszczony schemat pokazano na **rysunku 8**. W przerzutniku 1 zapamiętane jest zadane wypełnienie. Jest ono zatrzymywane w momencie, gdy sygnał valid jest ustawiony. Zapis jest zawsze możliwy, dlatego sygnał ready został na stałe ustawiony na 1. Licznik 1 w kółko zlicza od 0 do zadanej wartości maksymalnej. Sygnał CE pozwala na regulację częstotliwości generowanego przebiegu. Sygnał wyjściowy jest obliczany poprzez porównanie zadanego wypełnienia z obecną wartością licznika. Dopóki wartość licznika jest mniejsza niż wartość zadana, dopóty na wyjściu



Rysunek 9. Wartość zadana wypełnienia (nastawa), stan licznika oraz wyjściowy sygnał PWM

Listing 5. Implementacja generatora sygnału PWM (07_PWM/pwm.sv)

```

11 module pwm #(
12     parameter MAX = 255,
13     parameter MAX_LOG = $clog2(MAX)
14 ) (
15     StreamBus.Slave bus,
16     input wire ce,
17     output logic pwm
18 );
19 logic [MAX_LOG-1:0] count;
20 logic [MAX_LOG-1:0] value;
21
22 assign bus.ready = 1'b1;
23
24 counter #(N(MAX)) ctx (
25     .clk(bus.clk),
26     .rst(bus.rst),
27     .ce(ce),
28     .q(count),
29     .ov());
30
31 always_ff @(posedge bus.clk or negedge bus.rst)
32 if (!bus.rst)
33     value <= '0;
34 else if (bus.valid)
35     value <= bus.data;
36
37 always_ff @(posedge bus.clk)
38     pwm <= (count < value);
39
40 endmodule

```

Listing 6. Fragmenty testbench dla modułu pwm (07_PWM/pwm_tb.sv)

```

26 initial begin
27     bus.valid <= 1'b1;
28     bus.data <= 4'd0;
29     for (int i = 1; i <= 10; i++)
30         #5us bus.data <= i;
31     #5us $stop;
32 end
33
34 pwm #(.MAX(10)) dut (
35     .bus(bus),
36     .ce(1'b1),
37     .pwm());

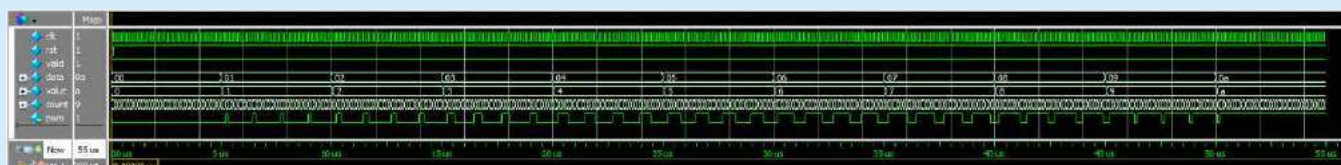
```

Listing 7. Generator sygnału PWM sterowany przez UART (07_PWM/pwm_uart.sv)

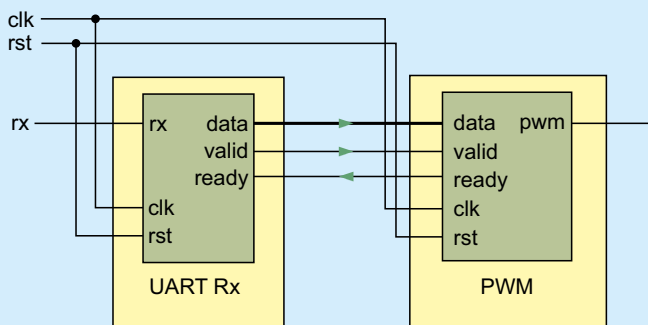
```

10 module pwm_uart #(
11     parameter F = 8000000
12 ) (
13     input wire clk,
14     input wire rst,
15     input wire rx,
16     output logic [7:0] led
17 );
18 StreamBus #(N(8)) bus (.clk(clk), .rst(rst));
19 logic pwm_out;
20
21 uart_rx #(F(F), .BAUD(115200)) urx (
22     .rx(rx),
23     .bus(bus));
24
25 pwm #(.MAX(255)) dut(
26     .bus(bus),
27     .ce(1'b1),
28     .pwm(pwm_out));
29
30 genvar i;
31 generate
32     for (i = 0; i < $bits(led); i++) begin : LED_PWM
33         always_ff @(posedge bus.clk)
34             led[i] <= pwm_out;
35     end
36 endgenerate
37
38 endmodule

```



Rysunek 10. Wyniki symulacji modułu PWM



Rysunek 11. Połączenie odbiornika UART z modułem PWM

panuje stan wysoki. Natomiast od momentu, gdy się zrównają, aż do przepełnienia licznika wyjście znajduje się w stanie niskim.

Sytuacja została pokazana na przebiegu czasowym z **rysunku 9**. Górny wykres pokazuje zadane wypełnienie (kolor niebieski) oraz zmieniający się stan licznika (czerwony). Dolny wykres pokazuje sygnał wyjściowy. Widzimy, że gdy stan licznika jest niższy niż wartość zadana, na wyjściu panuje stan wysoki. W chwili przecięcia następuje zmiana i na wyjściu mamy stan niski. Wypełnienie jest więc równe stosunkowi nastawy do maksymalnej wartości, która może zostać osiągnięta przez licznik.

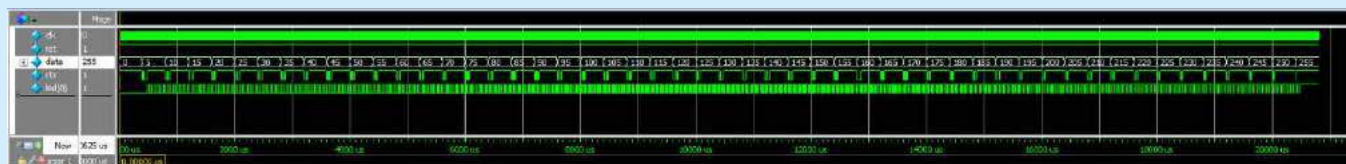
Przejdźmy teraz do implementacji, którą znajdziemy na **listingu 5** (oraz w pliku `07_PWM/pwm.sv`). Parametr MAX określa wartość, do której będzie odliczał licznik, więc równocześnie także wartość nastawy oznaczającej wypełnienie 100%. Sam moduł wystawia nam interface StreamBus dzięki czemu będziemy mogli go podłączyć bezpośrednio do wyjścia odbiornika portu szeregowego. Poza tym dostępne jest jeszcze wejście ce oraz wyjście pwm z generowanym przebiegiem. W liniach 24...29 znajduje się instancja licznika. Natomiast w liniach od 31...35 znajduje się przerzutnik, w którym zatraskiwana jest nastawa generatora. Samo tworzenie przebiegu ma miejsce w liniach 37 i 38.

Fragment testbench dla modułu znajduje się na **listingu 6** (a całość w pliku `07_PWM/pwm_tb.sv`). W liniach od 34...37 znajduje się instancja generatora PWM. Wartość MAX została ustalona na 10, co oznacza, że wpisanie 0 równa się 0%, a wpisanie 10 odpowiada wypełnieniu 100%. W liniach 26...32 następuje generowanie wymuszenia. Sygnałowi valid na stałe została przypisana wartość 1. Nie jest to problemem, ponieważ na wejściu data cały czas utrzymywana jest zadana wartość. Na początku jest ona równa zero, a następnie co pięć mikrosekund jest inkrementowana. Gdy osiągnie maksymalną wartość, czyli 10, nastąpi odczekanie kolejnych pięciu mikrosekund i symulacja zostanie zakończona.

Aby zobaczyć wynik symulacji w programie ModelSim, uruchamiamy skrypt poleceniem:

```
do ./pwm_sim.do
```

Wyniki symulacji są pokazane na **rysunku 10**. W pierwszych trzech liniach widzimy sygnały zegara (clk), resetu (rst) oraz valid. W dwóch kolejnych wierszach mamy wartość data z magistrali oraz opóźnioną o jeden takt zatrzaśniętą wartość zadaną value. Przedostatni wiersz zawiera aktualny stan licznika (count), jednak na załączonym powiększeniu nie da się go odczytać (zachęcam jednak do uruchomienia symulacji i przyglądnięcia mu się na ekranie komputera). Na samym końcu widzimy wyjściowy



Rysunek 12. Wynik symulacji generatora PWM sterowanego poprzez port szeregowy

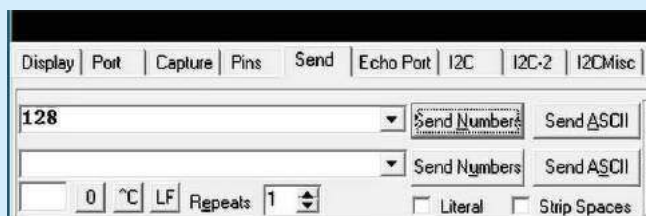
sygnał pwm. Jak możemy zauważyć, że na samym początku dla wypełnienia 0 jest on ciągle w stanie niskim, następnie wypełnienie rośnie, aby dla wartości 10 być ciągle w stanie wysokim.

Aby przetestować działanie modułu PWM, połączymy go z odbiornikiem portu szeregowego zgodnie z **rysunkiem 11**. Dzięki temu będziemy mogli za pomocą portu szeregowego sterować jasnością diod LED. Implementacja tego projektu znajduje się na **listingu 7**. Nasz główny moduł nosi nazwę `pwm_uart`. W liniach 21...23 znajduje się instancja odbiornika, a dalej w wierszach 25...28 moduł generatora sygnału PWM. Maksymalne wypełnienie jest reprezentowane jako 255. Na końcu w bloku `generate` zostało stworzone osiem przerzutników, z których każdy będzie sterował jedną z diod świecących. Warto zwrócić uwagę, że obecna tu instrukcja `for` nie opisuje typowej pętli. Intuicyjnie możemy ją potraktować jako ośmiokrotne wklejenie jej zawartości. Kod ten nie opisuje kolejnych iteracji, ale 8 niezależnych, działających równolegle przerzutników D.

Działanie projektu możemy sprawdzić w symulacji. W programie ModelSim uruchamiamy skrypt:

```
do ./pwm_uart_sim.do
```

Wyniki powinny być podobne do tych z **rysunku 12**. W 3 wierszu widzimy kolejne wartości wysyłane przez port szeregowy. Na początku zaczynamy od 0, a następnie zwiększając co 5, dochodzimy do maksimum, czyli 255. W czwartym rzędzie widoczna jest linia portu szeregowego, a w piątym sygnał sterujący jedną z diod LED. Rozpoczyna się on od ciągłego stanu niskiego. Widzimy, że ulega zmianom po kolejnych zakończonych transmisjach. Na końcu, po odebraniu wartości 255, otrzymujemy ciągły stan wysoki.



Rysunek 13. Okno programu RealTerm z widocznym przyciskiem Send Numbers

Ostatnim krokiem jest zbudowanie i uruchomienie projektu w sprzęcie. W tym celu otwieramy projekt `07_PWM/07_pwm.qpf`. Po kompilacji i zaprogramowaniu płytki wracamy do programu RealTerm. Tym razem do przesyłania danych użyjemy przycisku *Send Numbers* (wyslij liczby) pokazany na **rysunku 13**. Dzięki temu wpisany tekst zostanie zinterpretowany jako liczba dziesiętna, a nie ciąg znaków ASCII. Gdy wysłamy 0, diody zgasną, a gdy 255, będą świecić z pełną jasnością.

Podsumowanie

W tym odcinku uruchomiliśmy odbiornik portu szeregowego, dzięki czemu dysponujemy już pełną obsługą tego interfejsu. Następnie przygotowaliśmy prosty generator sygnału PWM i przetestowaliśmy jego działanie. W kolejnej części użyjemy go do zbudowania generatora przebiegu sinusoidalnego, za pomocą którego będziemy sterować membraną piezoelektryczną.

Rafał Kozik
rafkozik@gmail.com

[1] Repozytorium z przykładami <http://bit.ly/33uYPxs>

Miesięcznik „Elektronika Praktyczna” (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT-Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.

Wydawca:

AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11
tel.: 22 257 84 99, faks: 22 257 84 00



Adres redakcji:

03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11
tel.: 22 257 84 60
faks: 22 257 84 00
e-mail: redakcja@ep.com.pl
www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:

Wiesław Marciniak

Redaktor Programowy,

Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbyskiński

Zastępca Redaktora Naczelnego,

Redaktor Prowadzący:
Damian Sosnowski

Zastępca Redaktora Naczelnego,

Menedżer Magazynu
Marcin Karbowiczek

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:

Grzegorz Becker, tel.: 22 257 84 58

Redaktor strony internetowej www.ep.com.pl

Dariusz Welik

Zespół marketingu i reklamy:

Katarzyna Gugala, tel.: 22 257 84 64
Bożena Krzykawska, tel.: 22 257 84 42
Grzegorz Krzykowski, tel.: 22 257 84 60

Sekretarz Redakcji:

Grzegorz Krzykowski, tel.: 22 257 84 60

DTP i okładka:

MAD Sp. z o.o.

Stali Współpracownicy:

Jacek Bogusz, Lucjan Bryndza, Jarosław Doliński,
Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński,
Michał Kurzela, Szymon Panecki, Sławomir Skrzyński,
Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Robert Wołgajew

Uwaga!

Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

Prenumerata w Wydawnictwie AVT

www.avt.pl/prenumerata

lub tel.: 22 257 84 22

e-mail: prenumerata@avt.pl

www.sklep.avt.pl, tel.: 22 257 84 66



Prenumerata w RUCH S.A.

www.prenumerata.ruch.com.pl

lub tel.: 801 800 803, 22 717 59 59

e-mail: prenumerata@ruch.com.pl



Wydawnictwo
AVT-Korporacja Sp. z o.o.
należy do Izby Wydawców Prasy

Copyright AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczyńska 11

Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej” mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej” jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”.



Ogłoszenia i reklamy hurtowni, sklepów, importerów, producentów, dealerów, itp. są płatne. Cena podstawowego modułu (35x20 mm) wynosi 66 zł + VAT. Koszt minimalnej ramki dla ogłoszeń o wielkości 3 modułów wynosi 198 zł + VAT. Moduły można łączyć zarówno w pionie jak i w poziomie. Maksymalna szerokość ogłoszenia to 5 modułów, wysokość 12 modułów. Rabaty stosujemy wyłącznie dla reklam powyżej 8 modułów: 4-6 emisji 10%, 7-11 emisji 15% i od 12 emisji 25%.

Oferta specjalna:

- publikacja fragmentów cennika w ramce o wielkości: 8 modułów w pionie cena 264 zł + VAT, 9 modułów w poziomie 305 zł + VAT
- rabat specjalny dla firm poszukujących pracowników wynosi 25% (wyłącznie dla dużych reklam).

Wszelkich informacji udziela **Grzegorz Krzykowski**, tel. 22 257 84 60, e-mail: grzegorz.krzykowski@ep.com.pl.

Reklamy do tej rubryki mogą być przygotowane przez Zamawiającego w CMYK, w formacie CDR (wersja do 2018), AI, EPS (tekst zmieniony na krzywe), PSD, PDF (programy Adobe w wersji do CC 2019 włącznie PC/Mac) z próbnym wydrukiem. Małe reklamy mogą być przygotowane w redakcji (gratis) na podstawie odręcznego szkicu. Opracowania te nie będą jednak wówczas uzgadniane z Zamawiającym przed oddaniem do druku.



Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczonych w Elektronice Praktycznej

www.delta.poznan.pl

Wielkość matrycy: 5 Mpx (Sony Starvis)
Obiektyw: 2,8 - 12 mm (kąt widzenia 86° - 24°)
Rozdzielczość: 2592 x 1944 (5 Mpx)
Zasięg oświetlacza IR: 40 m
Protokoły sieciowe: TCP/IP, DDNS, NTP, ONVIF 2.4
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66
3D-DNR, WDR, DEFOG, H265+, ROI, ...
Aplikacje dla: Android, iOS
Bardzo dobra jakość w jeszcze lepszej cenie

▶ APTI-54C4-2812WP

Wielkość matrycy: 8,3 Mpx (przetwornik 1/1.8")
Obiektyw: 3,6 - 11 mm (kąt widzenia 90° - 36°)
Rozdzielczość: 3840 x 2160 (4K UHD)
Przepływność (bitrate): 64 ... 12000 kbit/s
Protokoły sieciowe: TCP/IP, NTP, DNS, ONVIF 2.4
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66
3D-DNR, WDR, DEFOG, ROI, H265+, ...
Aplikacje dla: Android, iOS
Wysoka rozdzielczość dostępna w atrakcyjnej cenie

▶ APTI-84C6-3611WP-Z

Wielkość matrycy: 5 Mpx (przetwornik 1/2.8")
Obiektyw: 2,8 - 12 mm (kąt widzenia 86° - 24°)
Rozdzielczość: 2592 x 1944
Obsługa audio - mikrofon zewnętrzny
Protokoły sieciowe: TCP/IP, NTP, DDNS, FTP
PoE 802.3af, Klasa szczelności IP66, H.265+
3D-DNR, DEFOG, D-WDR, ROI, detekcja ruchu, ...
Aplikacje dla: Android, iOS
Bardzo dobry stosunek jakości do ceny

Największy wybór w Polsce

Hurtownia elementów elektronicznych "AKSOTRONIK" zaprasza do swojego sklepu internetowego
Zaloguj się i kupuj ON-LINE na naszej stronie:

WWW.AKSOTRONIK.COM.PL

Aksotronik
ELEMENTY ELEKTRONICZNE

Magnesy neodymowe oraz ferrytowe
Ceny od 0.10zł

Przełączniki klawiszowe wodoodporne/pyszczone
Ceny od 2.40zł

Druty oporowe od 0.16 do 6.31mm
Ceny od 5.70zł

Przewodniki do przewodów
Ceny od 11.00zł

Kosztorysy elektryczne zaciskowe
Ceny od 0.22zł

Szczetki węglowe do elektronarzędzi
Ceny od 2.60zł/kpl

Przełączniki do elektronarzędzi zwykłe i elektromagnetyczne
Ceny od 7.00zł

Podkładki/organizery
Ceny od 0.95zł

Zestawy śrubek M2, M3 z nakrętkami i podkładkami
Ceny od 2.50zł

Złącza hermetyczne Superseal
Ceny od 1.10zł/kpl

Uwaga!!! Powyższe ceny dotyczą zakupów minimalnych ilości hurtowych, poprzez nasz sklep internetowy.
W swojej ofercie posiadamy m.in.: półprzewodniki (diody, układy scalone, tranzystory, triaki, elementy optoelektroniczne), elementy dystansowe, złącza, przełączniki, elementy akustyczne, rejestry, kondensatory, kwarce, podstawki, moduły Arduino
Zapraszamy do kontaktu: INFO@aksotronik.com.pl, tel: (22) 783-20-51

www.ep.com.pl

RACK i Eurocarta 19" Wyposażenie szaf 19"
www.obudowa.pl
Producent obudów dla elektroniki tel. 032-230-2301

ELMAX
1988

OBWODY DROKOWANE
Produkcja, Projektowanie, Montaż

Certyfikat Underwriters Laboratories
94V-0 E490148 TYPE 1

Zakład produkcyjny:
05-260 Marki
ul. Duża 1
tel. 22 781 63 95
22 761 95 80
fax. 22 781 63 95 w 23
www.elmax.waw.pl
elmax@elmax.waw.pl

QR code

Płytki jednostronne
Płytki dwustronne
Płytki na podłożu aluminium
Płyty czolowe FR4

Serie dowolne
Prototypy
Maksymalny wymiar płytek 1w 630 mm

Dokumentacja technologiczna
Dokumentacja konstrukcyjna
Trawione szablony SMD

Montaż elektroniki
Krótkie terminy
Wykonania super expresowe

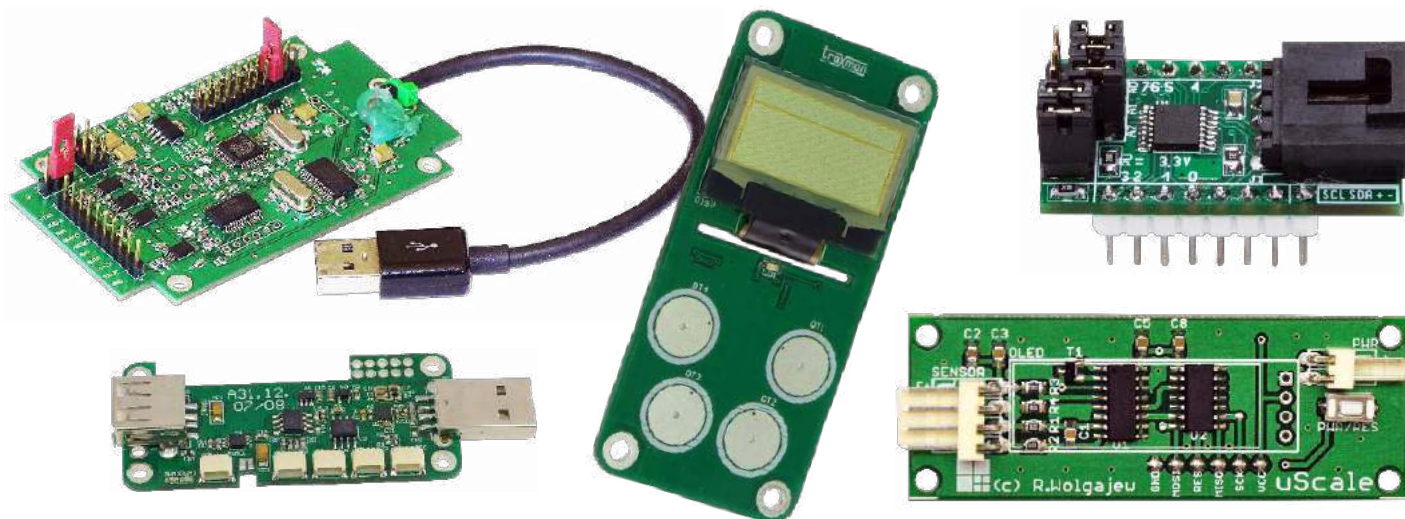
Aktywny kalkulator prototypów na stronie internetowej

Pokrycie Sn lub SnPb inne na życzenie
Maski, opisy montażowe w różnych kolorach

KITY AVT

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

NINIEJSZE OGŁOSZENIA SĄ INFORMACJĄ HANDLOWĄ I NIE STANOWIĄ OFERTY W MYŚL ART. 66, § 1 KODEKSU CYWILNEGO. EWENTUALNIE PODANE CENY MOGĄ ULEC ZMIANIE.



Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

Reklamy stron internetowych na str. 15

AKSOTRONIK.....	114
ARMEL	114
BORNICO.....	6
COMPUTER CONTROLS.....	17
DELTA-OPTI.....	114
ELMAX.....	114
FARNELL	116
FERYSER.....	15
GAMMA	15
KAMAMI	80
KRADEX	82
MASZCZYK.....	91
MICROS.....	98
PIEKARZ	15
RELPOL	7
RENEX.....	15
RUTRONIK.....	9
ST MICROELECTRONICS.....	
.....	5, 31, 33, 35, 41
TERMOPRODUKT	71

Kieszonkowy Linux

Raspberry Pi Zero jest doskonałym komputerkiem edukacyjnym. Ze względu na niewielkie rozmiary można zabrać go ze sobą wszędzie i z pomocą laptopa wgłębiać się w tajniki Linuksa. Dodając do niego kilka typowych układów współpracujących, konwerter USB/UART i nadając całości formę wygodnego sticka korzystającego z portu USB, otrzymujemy za przystępną kwotę mobilne laboratorium edukacyjne.

uScale – elektroniczna waga

Układ elektronicznej wagi współpracującej z belką tensometryczną skonfigurowaną w układzie mostka Wheatstone’a. Jest to popularne rozwiązanie stosowane do pomiaru masy, siły czy naprężeń, charakteryzujące się prostą konstrukcją i dobrą dokładnością pomiarów.

System uruchomieniowy dla układów z STM8 i STM32

Prezentowany układ, oprócz funkcji programatora i debuggera układów STM8 i STM32, zawiera również zasilacz stabilizowany o nastawnym napięciu wyjściowym 1,2...4,2 V oraz wirtualny port szeregowy. Wszystkie te funkcje są realizowane przy zajęciu tylko jednego portu USB.

Mikrointerfejs użytkownika dla RPi Zero

Prezentowany moduł rozszerza funkcjonalności Raspberry Pi Zero (i nie tylko) o graficzny wyświetlacz OLED 128×64 i czteropolową klawiaturę dotykową. Płytkę jest zgodna z każdą wersją Raspberry Pi, ale mechanicznie dopasowana jest do Pi Zero, tworząc z nim zgrany zestaw o niewielkich rozmiarach.

Expander IO z interfejsem I2C

Minimoduł jest ekspanderem GPIO korzystającym z magistrali I²C, o znacznie większej funkcjonalności niż popularny PCF8574. Układ XRA1200 (Maxlinear) umożliwia rozbudowę aplikacji o ośmiobitowy port cyfrowy GPIO a dodatkowo ma możliwość definiowania kierunku każdego z wyprowadzeń IO, sterowanie rezystorami podciągającymi, konfigurację buforów wyjściowych w trybie trójstanowym oraz elastyczną konfigurację generowanych przerwań.

a ponadto tematy wiodące EP06/2020:

OCHRONA PRZED IMPULSAMI EMP/HEMP
ŁĄCZNOŚĆ BEZPRZEWODOWA
ZŁĄCZA ELEKTRONICZNE, WIĄZKI I KABLE

Sprawdź nasz największy asortyment od wiodących dostawców

- Produkty w magazynie, gotowe do wysyłki
- Oferta produktowa od etapu projektowania, po utrzymanie ruchu
- Doskonała, lokalna obsługa klienta
- Kwotacje na produkty spoza katalogu i niestandardowe produkty dostosowane do indywidualnych potrzeb klienta

KLEIN
TOOLS



Honeywell

OMRON

NXP

ON Semiconductor ON

maxim
integrated.

Panasonic

KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

multicomp PRO

METCAL

Life Is On | Schneider
Electric

ST life.augmented

VISHAY

RENESAS

MICROCHIP

ROHDE & SCHWARZ

FLUKE

Tektronix

TE

molex

Weller

pl.farnell.com

 **Farnell**
AN AVNET COMPANY