SYSTEMY CHŁODZENIA DLA ELEKTRONIKI

www.ep.com.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA +FTP

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● Styczeń ● 1/2022 ●



EP W TOKU NA EP.COM.PL

tylko Prenumeratorzy

mają dostęp do artykułów przed ich publikacją w EP

inspirujące, użyteczne projekty

Licznik czasu pracy z wyświetlaczem LCD • Zegar z wyświetlaczem matrycowym na diodach WS2812 • Ambient LED controler – sterownik diod LED RGB, kontrolowany poprzez aplikację Bluetooth • Raspberry Pi w amatorskim odbiorniku radiowym • Sterowanie lampy Nixie z Arduino • Sekwencer do modułowego syntezatora • Joystick analogowy jako symulator myszy • Cyfrowy wzmacniacz audio 2×10 W w formacie RPi Zero • Expander wyjść z interfejsem I²C • Gra „kto pierwszy” • Zasilacz 5 V/1 A z szerokim zakresem napięć wejściowych • Zasilacz buforowy dla RPi Zero

podzespoły, sprzęt, aplikacje

Alternatywna płytka bazowa dla Compute Module 4 • PicoScope – oscyloskopy pełne nowych funkcjonalności. Dekodowanie interfejsu I³C • Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE. Front-endy do pomiaru indukcyjności

tutoriale

Budujemy mosty – czyli mostki pomiarowe w elektronice • Precyzyjne źródła częstotliwości i czasu • Interfejsy termiczne do łączenia elementów w elektronice • Symulacje termiczne w SPICE

kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy. Układ SPV1050 firmy ST Microelectronics do pozyskiwania energii słonecznej i termalnej

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

ISSN 1230-3526 Indeks 357677

9 771230 352221 01>

PRECYZYJNE ŹRÓDŁA CZĘSTOTLIWOŚCI I CZASU

TEMAT NUMERU





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

na start do 6* wydań gratis

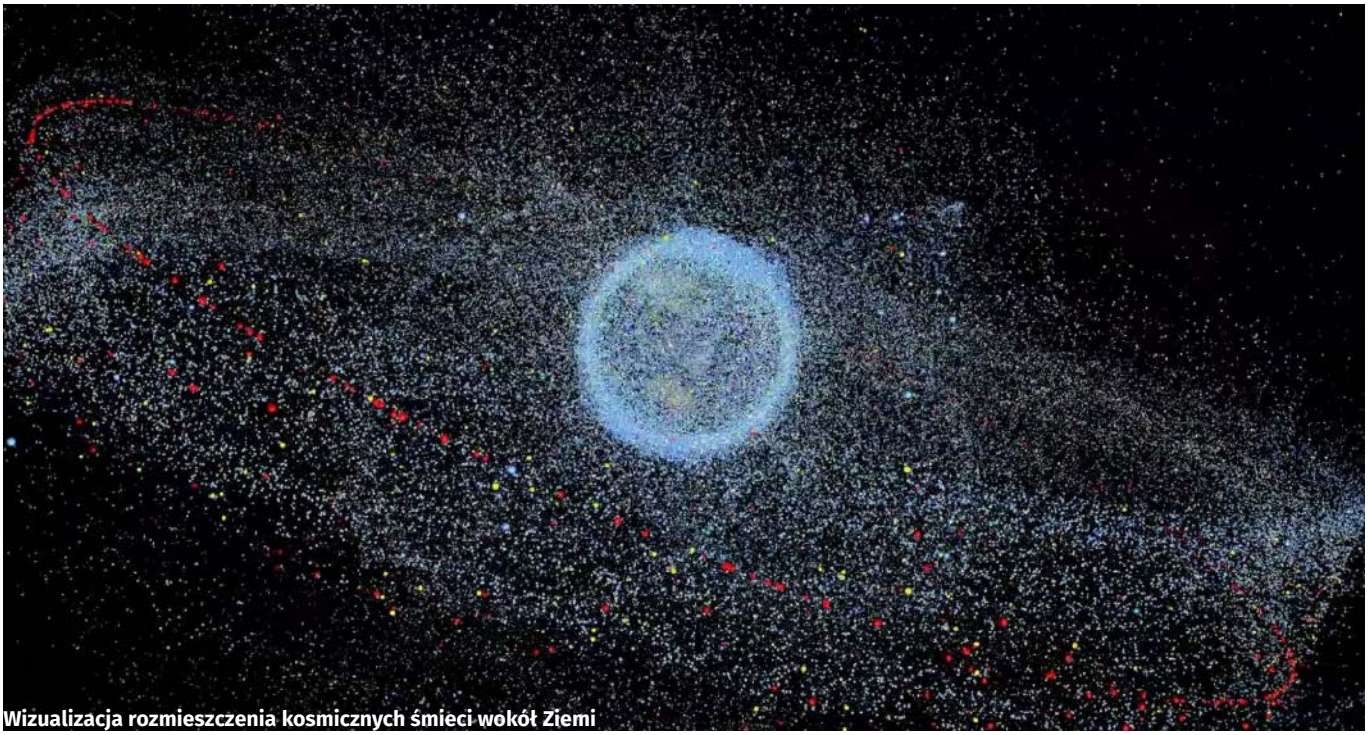
po 5 latach nieprzerwanej prenumeraty do 12* wydań gratis

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

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

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

eprasa.pl 5d23d6856a



Wizualizacja rozmieszczenia kosmicznych śmieci wokół Ziemi

Zlecenie za 120 milionów euro

W ostatnich dniach grudnia rozpoczęła się jedna z najważniejszych misji naukowych naszej współczesności.

Rakieta Ariane 5 startująca z kosmodromu w Gujanie Francuskiej wyniosła w kosmos teleskop Jamesa Webba. Punkt docelowy jego podróży znajduje się 1,5 mln km od Ziemi w tzw. punkcie libracyjnym L2 – tam siły grawitacji i bezwładności będą go utrzymywały w stałej pozycji względem Słońca i Ziemi. Podróż powinna potrwać miesiąc. W tym czasie cała konstrukcja będzie się rozkładała i umieszczała poszczególne elementy na swoich miejscach – 6,5-metrowe zwierciadło główne złożone z 18 sześciokątnych segmentów, zwierciadło wtórne umieszczone naprzeciwko zwierciadła głównego, a także osłonę termiczną przypominającą żagiel o wymiarach 21×14 metrów, składającą się z pięciu warstw tworzywa grubości włosa. Teleskop w docelowym kształcie nie zmieściłby się w żadnej rakiecie, dlatego został zaprojektowany jako konstrukcja składana. Trzymajmy kciuki za powodzenie tego przedsięwzięcia, oby wszystko poszło zgodnie z planem.

W przestrzeni kosmicznej panują ekstremalne warunki. Duże wahania temperatury i promieniowanie jonizujące mogą przyczynić się do awarii teleskopów czy satelitów. Jednak obecnie jednym z największych zagrożeń dla konstrukcji umieszczonych w przestrzeni kosmicznej relatywnie blisko naszej planety są kosmiczne śmieci. Liczbę nieczynnych satelitów i fragmentów wystrzelonych rakiet, które mają rozmiar większy niż 10 cm, szacuje się na ok. 35 tysięcy. Ponadto mamy do czynienia z co najmniej 500 tys. odpadków o rozmiarze 1...10 cm i setkami milionów drobiazgów mniejszych niż 1 cm. Wszystkie te obiekty pędzą z prędkościami od kilku do kilkunastu km/s.

Najstarszym kosmicznym śmieciem, który krąży wokół Ziemi, jest pierwszy amerykański satelita Vanguard 1C. Na orbicie został umieszczony w 1958 r. i już od 1964 r. nie funkcjonuje. Jeśli nic tego nie zmieni, będzie dryfował jeszcze przez około 200 lat, zanim wejdzie w atmosferę. Jednak wyjątkowo groźne są szczątki powstałe w wyniku kolizji czy celowego zestrzelenia. Przy prędkościach orbitalnych nawet odprysk farby o średnicy 1 mm ma możliwość uszkodzenia szyby promu kosmicznego (w 1983 r. zeschły listek farby uszkodził okno promu kosmicznego Challenger). Co gorsza, nie ma przepisów regulujących zasady postępowania z kosmicznym złomem. Nie ma obowiązku usuwania po sobie śmieci i nawet nie bardzo wiadomo, jak to robić. Dopóki obiekt jest pod kontrolą można go przenieść na tzw. orbitę cmentarną, na której parkują niepotrzebne statki, albo sprowadzić w atmosferę, by spłonął lub zatonął w oceanie (jak rosyjska stacja Mir). Ale czasami podjęte działania są lekkomyślne i nieodpowiedzialne – niedawne zestrzelenie rosyjskiego satelity Kosmos 1408 spowodowało powstanie dużego skupiska szczątków potencjalnie zagrażających Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS) oraz chińskiej stacji Tiangong.

Sektor usuwania kosmicznych śmieci zdaje się mieć ogromny potencjał. W 2019 Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) zapowiedziała chęć wydania 120 mln euro za usunięcie ważącego 100 kilogramów elementu, który w 2013 r. pomógł umieścić na orbicie satelitę badawczego. Obiekt o nazwie VESPA, pozostawiony przez rakietę VEGA, krąży wokół Ziemi na wysokości ok. 700...800 km. Ma on dość prosty kształt i solidną konstrukcję, a więc się nie pokruszy, gdy będzie chwytany. Jednak, co istotne – obiekt nie został w żaden sposób przygotowany do chwytania go w kosmosie. Kontrakt na sprzątanie w kosmosie dostał szwajcarski start-up ClearSpace, a realizacja zadania jest zaplanowana na 2025 r. Nietrudno sobie wyobrazić, że z takich usług niebawem będą chciały skorzystać inne podmioty, np. firma Elona Muska. Raczej nie będziemy w stanie sami produkować i wysyłać takich urządzeń sprzątających w kosmos, ale zaangażowanie Polskiej Agencji Kosmicznej w ramach Świadomości Sytuacyjnej Przestrzeni Kosmicznej sprawia, że mamy duże możliwości współpracy przy tego typu zadaniach.

Damian Sosnowski

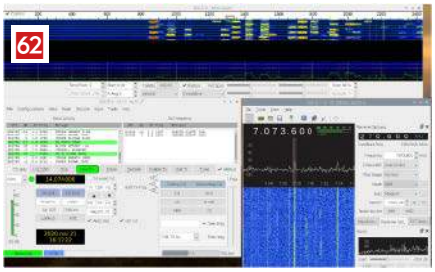
eprasa.pl 5d23d6856a

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 1 (348) • Styczeń 2022



Sterowanie lampy Nixie z Arduino
Współczesna elektronika oferuje szeroki wachlarz wyświetlaczy i innych elementów optycznych. Mimo to elementy retro, takie jak lampy Nixie, nadal interesują wielu projektantów, nawet tych, którzy projektują nowoczesne i zaawansowane układy bazujące na mikrokontrolerach i nowych platformach programistycznych.



Raspberry Pi w amatorskim odbiorniku radiowym
Kiedyś radioamator wyposażony był w rozbudowany sprzęt z dużą ilością pokręteł i przełączników ale komputery wszystko to zmieniły. Niektóre najnowsze transceivery są teraz sterowane całkowicie komputerowo. Kiedyś zestawy radioamatorów uzupełniały teleksy, odpowiednie monitory, faksy czy drukarki do np. odbierania obrazów satelitarnych. Teraz wszystko to może znajdować się w jednym urządzeniu, tak niewielkim, jak Raspberry Pi.



Sekwencer do modułowego syntezatora
Modułowe syntezatory to idealne projekty dla hobbystów elektroników. Mogą oni projektować i konstruować rozmaite moduły, które następnie można zestawiać w różnych kombinacjach, aby tworzyć muzykę elektroniczną. Największe syntezatory analogowe składają się nawet z setek tego rodzaju modułów, które połączone ze sobą w odpowiedni sposób pozwalają na generowanie całych utworów.

Nie przeocz
Nowe podzespoły 5
Dodaj do obserwowanych 10
Koktajl niusów 94

Projekty
Licznik czasu pracy z wyświetlaczem LCD 18
Zegar z wyświetlaczem matrycowym na diodach WS2812 23
Ambient LED controler – sterownik diod LED RGB, kontrolowany poprzez aplikację Bluetooth 28

Miniprojekty
Cyfrowy wzmacniacz audio 2×10 W w formacie RPi Zero 33
Expander wyjść z interfejsem I²C 36
Gra „kto pierwszy” 38
Zasilacz 5 V/1 A z szerokim zakresem napięć wejściowych 41
Zasilacz buforowy dla RPi Zero 43

Temat numeru
Precyzyjne źródła częstotliwości i czasu 46

Prezentacje
PicoScope – oscyloskopy pełne nowych funkcjonalności. Dekodowanie interfejsu I³C 58

Moduły w aplikacjach
Joystick analogowy jako symulator myszy 60

Projekty soft
Raspberry Pi w amatorskim odbiorniku radiowym 62
Sterowanie lampy Nixie z Arduino 66
Sekwencer do modułowego syntezatora 68

Podzespoły
Alternatywna płytka bazowa dla Compute Module 4 73

Elektronika w praktyce
Interfejsy termiczne do łączenia elementów w elektronice 76
Symulacje termiczne w SPICE 79

Poradnik implementacji
Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (11). Front-endy do pomiaru indukcyjności 83

Notatnik konstruktora
Budujemy mosty – czyli mostki pomiarowe w elektronice (2) 92

Kursy
Systemy dla Internetu Rzeczy (56). Układ SPV1050 firmy ST Microelectronics do pozyskiwania energii słonecznej i termalnej 98

Prenumerata 2
Od wydawcy 3
Hity następnego numeru 103

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

eprasa.pl 5d23d6856a

Szczegóły na stronie 40

nowe podzespoły

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



Moduł komunikacyjny Click Wi-Fi/Bluetooth z układem Microchip ATWINC3400-MR210CA

MikroElektronika uzupełnia rodzinę płytek peryferyjnych Click o nowy model Wi-Fi 8 Click z wbudowanym układem komunikacyjnym ATWINC3400-MR210CA produkcji Microchip, realizującym transmisję danych w standardach Wi-Fi i Bluetooth 5.0. Jest to certyfikowany moduł, mogący znaleźć zastosowanie w urządzeniach mobilnych o małym poborze mocy.

Wi-Fi 8 Click dołącza do 15 innych płytek Wi-Fi Click dostępnych w ofercie firmy. Zawiera wzmacniacze mocy i niskoszumowe, przełącznik nadawania/odbioru, jednostkę zarządzania energią, zintegrowaną antenę chipową 2,4 GHz oraz dodatkowy zegar 32,768 kHz do trybu uśpienia. Wykorzystuje zoptymalizowane protokoły koegzystencji IEEE 802.11 Bluetooth. Komunikacja z kontrolerem hosta odbywa się poprzez interfejs szeregowy SPI/UART. Model Wi-Fi 8 Click jest kompatybilny z bibliotekami mikroSDK, obejmującymi funkcje ułatwiające tworzenie oprogramowania. Może znaleźć zastosowanie w każdym systemie wyposażonym w gniazdo mikroBUS. Jego cena detaliczna wynosi 34 USD.

www.mikroe.com

Energooszczędne, wysokonapięciowe przekaźniki kontaktronowe o dużej rezystancji cewki



Wysokonapięciowe przekaźniki kontaktronowe nowej serii 100HV firmy Pickering Electronics charakteryzują się dwukrotnie większą rezystancją cewki niż wcześniejszych wersji, pozwalającą na zredukowanie poboru mocy. Są to przekaźniki o napięciu przebicia do 3 kV, nadające się do zastosowań m.in. we wszelkiego typu wysokonapięciowych testerach ATE. Są produkowane w konfiguracjach 1 Form A, 2 Form A i 1 Form B w wersji o napięciu cewki 5, 12 i 24 V oraz o napięciu przebicia 1,5 kV, 2 kV i 3 kV. Zawierają wewnętrzny ekran ze stopu niklu i żelaza (mumetal), umożliwiający ciasny montaż zespołów przekaźnikowych bez ryzyka pojawienia się problemów związanych z oddziaływaniem magnetycznym. Wersje 3-kilowoltowe charakteryzują się zwiększoną odległością między przełącznikiem i wyprowadzeniami cewki, mającą zapewnić odpowiedni odstęp izolacyjny. Na indywidualne zamówienia firma może dostarczyć wersje o jeszcze większym napięciu przebicia.

www.pickeringrelay.com



Miniaturowy moduł kamery do endoskopów medycznych

Firma AMS OSRAM zaprojektowała najmniejszy na rynku moduł kamery do endoskopów medycznych, zamykany w obudowie o wymiarach 2,7×1,0×1,0 mm. Został on specjalnie zaprojektowany z myślą o zapewnieniu optymalnych parametrów na krótkich dystansach. Obiektyw łączy szerokie pole widzenia (FoV) z rozszerzoną głębią ostrości (DOF), redukując zniekształcenia i zapewniając dużą ostrość obrazu.

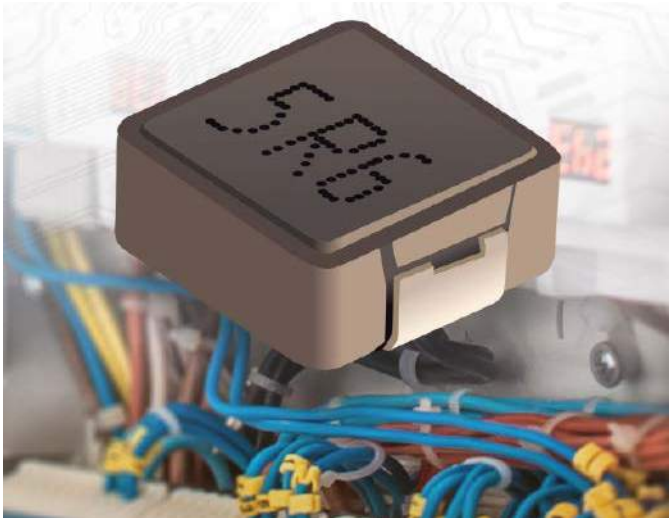
Kamera NanEyeM korzysta z interfejsu LVDS o dużym stosunku sygnału do szumu, co umożliwia transmisję obrazu przez długie kable bez utraty integralności sygnału. Zapewnia szybkość rejestracji obrazu do 49 fps przy rozdzielczości 320×320 pikseli. Przetwornik o dużej czułości charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami obrazu również w warunkach słabego oświetlenia, co pomaga kontrolować wytwarzanie ciepła na końcówce sondy z oświetleniem LED. Uzupełnieniem modułu jest kabel o długości do 3 m, zapewniający bezproblemową integrację z urządzeniem endoskopowym. Model NanEyeM jest w małym stopniu podatny na zaburzenia elektromagnetyczne, co eliminuje potrzebę stosowania kabli koncentrycznych lub ekranowanych.

www.ams.com

Ekranowane cewki z kwalifikacją AEC-Q200 o zakresie prądu przewodzenia do 70 A

Bourns wprowadza na rynek serię ekranowanych cewek dużej mocy SRP6530A z kwalifikacją AEC-Q200. Są to cewki o dużym prądzie nasycenia i dużej gęstości prądu, mogące pracować w szerokim zakresie

eprasa.pl 5d23d6856a



temperatury otoczenia od –55 do +155°C. Dodatkowo wykazują małe promieniowanie elektromagnetyczne i mały przydźwięk akustyczny. Nadają się do zastosowań w filtrach EMI i układach zarządzania mocą urządzeń konsumenckich, przemysłowych i telekomunikacyjnych, wymagających dużej niezawodności.

Opracowany przez Bourns rdzeń ze sproszkowanego stopu żelaza wraz z odlewaną konstrukcją pozwoliły uzyskać duży prąd nasycenia, wynoszący od 7 do 70 A w zakresie indukcyjności 0,1...10 µH. Dzięki zastosowaniu wysokotemperaturowych materiałów konstrukcyjnych cewki serii SRP6530A charakteryzują się dopuszczalnym napięciem pracy 50 VDC i prądem znamionowym do 34 A. Zapewniają też małą rezystancję DC i bardzo dobrą stabilność w szerokim zakresie temperatury pracy. Są zamykane w obudowach SMD o wymiarach 7,7×6,6×3,0 mm.

www.bourns.com



Sterownik bramek tranzystorów MOSFET do układów napędowych 3-fazowych silników BLDC

Trójfazowy sterownik bramek tranzystorów MOSFET, TMC6140-LA firmy Trinamic, pozwala wydłużyć czas pracy na akumulatorze oraz zmniejszyć liczbę komponentów współpracujących o połowę w porównaniu z podobnymi sterownikami innych producentów. Uzyskano to dzięki wbudowaniu w jego strukturę zespołu wzmacniaczy do pomiaru prądu wyjściowego i funkcji diagnostycznych. Układ został zaprojektowany do sterowania 3-fazowymi silnikami BLDC i PMSM o prądzie do 100 A/fazę. Zawiera wyprowadzenia umożliwiające podłączenie zewnętrznej pompy ładunkowej do stabilizacji napięć podawanych na bramki wyjściowych tranzystorów MOSFET. TMC6140-LA oferuje wydajność prądową do 1 A/fazę w układach o napięciu zasilania od 5 do 30 V. Doskonale nadaje się do zastosowań m.in. w elektronarzędziach, gdzie napięcie akumulatora może spaść do wartości poniżej 10 V.

Cena hurtowa TMC6140-LA wynosi 2,68 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. Firma Trinamic oferuje również płytkę ewaluacyjną TMC6140-EVAL w cenie 66 USD oraz zestaw ewaluacyjny TMC6140-EVAL-KIT z płytkami sterownika i wyjściowego modułu mostkowego. Cena zestawu wynosi 130 USD.

www.trinamic.com

Oscylatory TCXO o bardzo małych szumach fazowych i stabilności ±1 ppm



Firma MtronPTI wprowadza do sprzedaży nową serię oscylatorów TCXO o bardzo małych szumach fazowych, produkowanych w hermetycznych, ceramicznych obudowach SMD o standardowych wymiarach 2,5×2,0 mm. Są to oscylatory z wyjściem z obciętą falą sinusoidalną, dostępne w wersjach o standardowych częstotliwościach z zakresu od 13 do 52 MHz. Ich szumy fazowe wynoszą –98 dBc/Hz przy offsecie 10 Hz i –162 dBc/Hz @ 1 MHz, co w połączeniu z małym poborem prądu (2,5 mA @3,3 V) otwiera przed nimi szeroki zakres zastosowań m.in. w systemach nawigacyjnych i bezprzewodowej transmisji danych, aparaturze pomiarowej oraz w aplikacjach przemysłowych. Oscylatory serii M6066 mogą pracować w zakresie temperatury otoczenia od –45 do +85°C, zapewniając stabilność od ±1 ppm w podzakresie –30...+85°C.

www.mtronpti.com

Najmniejszy na rynku moduł komunikacyjny UWB do energooszczędnych urządzeń IoT



Murata wprowadza do oferty najmniejszy jak dotąd na rynku moduł komunikacyjny UWB + Bluetooth 5.2 low-energy do lokalizacji krótkodystansowej i pomiaru odległości, zamykany w obudowie o wymiarach 10,5×8,3×1,44 mm. Model 2AB nadaje się do zastosowań w aplikacjach, w których kluczowe znaczenie ma dokładność pomiaru i pobór mocy. Wykorzystuje trzy anteny: dwie do pomiaru różnicy faz sygnału odbieranego (PDoA) i trzecią do komunikacji BLE. Nadaje się do zastosowań w sektorze medycznym, urządzeniach przenośnych i przemyśle (śledzenie zasobów, nawigacja wewnątrz pomieszczeń, inteligentne systemy oświetleniowe, inteligentne fabryki itp.).

W porównaniu z konstrukcjami chip-on-board, model 2AB umożliwia zmniejszenie powierzchni montażowej o około 75%. Zawiera chipset UWB DW3110/3120 produkcji Qorvo, chipset Bluetooth nRF52840 produkcji Nordic, mikrokontroler ARM Cortex-M4, 256 kB pamięci RAM i 1 Mb pamięci Flash, 3-osiowy czujnik do wykrywania ruchu oraz interfejsy lokalne USB, UART, SPI i I²C. Może pracować w zakresie temperatury otoczenia od –40 do +85°C. Pobiera zaledwie 250 nA prądu w trybie głębokiego uśpienia. Producent oferuje do tego układu płytkę ewaluacyjną (ozn. LBUA5QJ2AB-EVB).

www.qorvo.com



Tanie lasery liniowe i krzyżowe w obudowach o wymiarach Ø 9×16,5 mm

Lasery pozycjonujące są stosowane w maszynach do dokładnego pozycjonowania obrabianego przedmiotu, a także do zaznaczania

eprasa.pl 5d23d6856a

punktów wiercenia i przecięć. Ponieważ pełnią tylko funkcję pomocniczą, ważne jest, aby można je było zintegrować z maszyną w sposób zapewniający maksymalną oszczędność miejsca.

Firma Laser Components powiększa rodzinę tanich laserów pozycjonujących LC-LMx o dwa nowe warianty o wyjątkowo małych gabarytach: liniowy LC-LML-635-09 i krzyżowy LC-LMC-635-09. Są to lasery czerwone, pracujące na długości fali 645 nm, produkowane w jednakowych obudowach o średnicy 9 mm i długości 16,5 mm. Ich maksymalna moc wyjściowa wynosi 5 mW, a kąt emisji to 60°.

www.lasercomponents.com



Kontroler ACF do ultraenergooszczędnych ładowarek i zasilaczy sieciowych o mocy do 100 W

Nowy kontroler ACF (*active clamp flyback*) SZ1131 firmy Silanna Semiconductor pozwala obniżyć pobór mocy w ładowarkach i zasilaczach sieciowych w stanie aktywnym i standby, równocześnie ograniczając liczbę podzespołów i wymaganą powierzchnię płytki drukowanej. Zapewnia sprawność sięgającą 95% w całym zakresie dopuszczalnego napięcia wejściowego od 90 do 264 VAC, natomiast jego pobór mocy w trybie standby nie przekracza 20 mW (również w jedno- i wieloportowych ładowarkach USB PD).

SZ1131 może być stosowany w zasilaczach i ładowarkach o mocy wyjściowej do 65 W (do 100 W z układem korekcji PFC). Zawiera adaptacyjny kontroler PWM, tranzystor MOSFET z układem sterowania bramki i regulator startowy.

SZ1131 łączy w sobie łatwość projektowania, typową dla prostych kontrolerów flyback ze wszystkimi zaletami topologii ACF, w tym ponownym wykorzystaniem energii w indukcyjności rozproszenia transformatora flyback i małymi przepięciami na drenie tranzystora MOSFET podczas wyłączania. Opracowana przez firmę Silanna Semiconductor technika sterowania OptiMode zapewnia ciągłe dostrajanie, cykl po cyklu, parametrów pracy w celu uzyskania dużej sprawności energetycznej, małego poziomu generowanych zaburzeń EMI i szybkiej odpowiedzi impulsowej przy zmieniającym się napięciu wejściowym i prądzie obciążenia.

Producent oferuje zestaw referencyjny 65-watowego zasilacza USB PD, zrealizowanego na bazie SZ1131, zapewniającego gęstość mocy 1,83 W/cm^3, pobór mocy w stanie spoczynkowym poniżej 20 mW oraz sprawność wynoszącą 93% przy napięciu zasilania 90 VAC i >94% przy 230 VAC – wszystko to przy użyciu tanich elementów zewnętrznych. SZ1131 zawiera zabezpieczenie termiczne, nadnapięciowe, nadprądowe, zwarciowe i przeciążeniowe. Jest zamykany w obudowie SOIC-16.

www.powerdensity.com

Energooszczędny kontroler kryptograficzny z technologią ChipDNA PUF

MAXQ1065 to ultraenergooszczędny kontroler kryptograficzny oferujący najwyższy, przemysłowy poziom bezpieczeństwa danych, wynikający z zastosowania technologii ChipDNA PUF, eliminującej fizycznie możliwość klonowania układów. Zapewnia on 30-krotnie mniejszy pobór prądu w trybie power-down (100 nA) od podobnych układów innych producentów, dzięki czemu nadaje się idealnie do zastosowań m.in. w medycynie i wszelkiego rodzaju urządzeniach



przenośnych, w których krytyczne jest bezpieczeństwo danych. Dodatkowo układ wyróżnia się długim czasem bezawaryjnej pracy w ciężkich warunkach, w tym w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40 do +105°C.

Koprocesor bezpieczeństwa w MAXQ1065 oferuje gotowe do użycia funkcje kryptograficzne: źródła zaufania (*root-of-trust*), wzajemnej autoryzacji, bezpiecznego rozruchu (*secure boot*), bezpiecznej aktualizacji oprogramowania firmware i bezpiecznej komunikacji. Zawiera standardowe algorytmy wymiany kluczy, szyfrowania i TLS. Został wyposażony w 8 kB wewnętrznej pamięci na m.in. dane użytkownika, klucze kryptograficzne i certyfikaty.

Zastosowana w MAXQ1065 technologia PUF (*physically unclonable function*) eliminuje fizycznie możliwość sklonowania układu i zastosowania do ataku tzw. inżynierii odwrotnej. Cyfrowy znak

REKLAMA

ZAJRZYJ NA TE STRONY

All In One
• Projektowanie i wykonywanie
– modeli karkasów i obudów na drukarce 3D
– transformatorów i induktorów
– prototypów PCB
• Modelowanie 3D modułów i urządzeń
• Projektowanie urządzeń zasilających
Feryster – producent elementów EMC
FERYSTER
www.feryster.pl

renex.pl
KOMPLEKSOWE WSPARCIE PRZEMYSŁU ELEKTRONICZNEGO

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

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

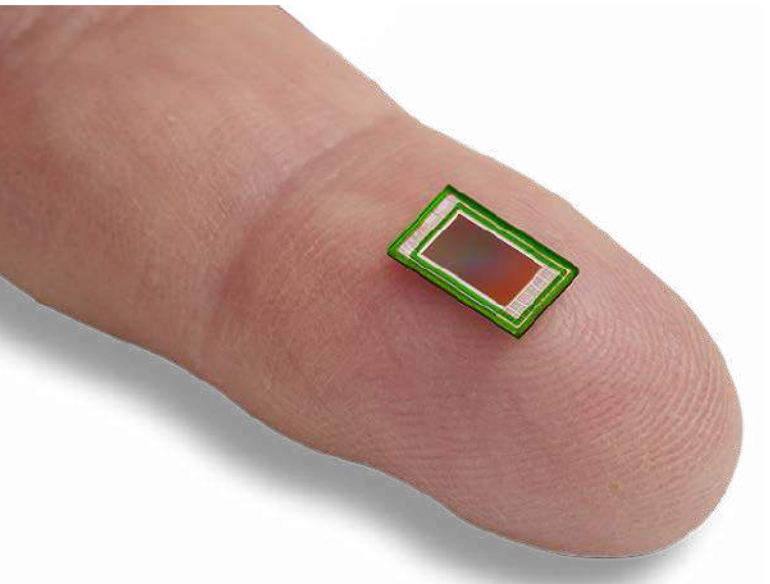
RACK i Eurocarta 19" Wyposażenie szaf 19"
www.obudowa.pl
Producent obudów dla elektroniki tel. 032-230-2301

eprasa.pl 5d23d6856a

identyfikacyjny każdego chipa jest tu generowany w oparciu na przypadkowych różnicach technologicznych procesu CMOS, innych dla każdego układu, a w przypadku wykrycia prób manipulacji zostaje bezpowrotnie zniszczony.

MAXQ1065 jest zamykany w obudowie TDFN-12 o wymiarach 3×3×0,75 mm. Jego cena hurtowa wynosi 0,83 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. Producent oferuje też zestaw ewaluacyjny MAXQ1065EVKIT w cenie 90,10 USD.

www.maximintegrated.com



Najmniejsze na rynku czujniki obrazu CMOS o rozdzielczości 1,5 i 2 megapikseli

Firma Teledyne e2v wprowadza na rynek serię najmniejszych na rynku, niskoszumowych czujników obrazu CMOS global shutter 1/3" o rozmiarach piksela 2,5×2,5 µm. Czujniki serii Topaz są obecnie dostępne w wersjach z matrycą 1,5 i 2 megapikseli, rejestrujących obraz w maksymalnej rozdzielczości odpowiednio 1920×800 i 1920×1200 pikseli. Są zamykane w obudowach CSP o wymiarach 7,65×4,45 mm. W trybie 8-bitowym mogą pracować z szybkością rejestracji powyżej 100 fps. Zawierają interfejsy MIPI CSI 2 o szybkości transmisji 1,2 Gpix/s.

Czujniki serii Topaz są polecane do zastosowań w skanerach kodów kreskowych i OCR, terminalach mobilnych, robotach przemysłowych, systemach identyfikacji bezkontaktowej oraz aplikacjach AR/VR. Charakteryzują się małym poborem mocy, wynoszącym 220 mW w stanie aktywnym i <1 mW w trybie standby. Zapewniają bardzo dobrą jakość obrazu również w warunkach słabego oświetlenia zewnętrznego. Są produkowane w wariancie monochromatycznym i kolorowym. Jako czujniki do zastosowań przemysłowych nadają się do pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40 do +85°C.

www.teledyne-e2v.com

Nowa generacja superkondensatorów do zastosowań w motoryzacji

Firma Kemet rozpoczyna produkcję nowej generacji superkondensatorów zaprojektowanych specjalnie do zastosowań w motoryzacji. Obecnie na rynek wchodzą elementy dwóch pierwszych serii: FMD i FU0H. Wyróżniają się one długim czasem bezawaryjnej pracy, dużą gęstością mocy, krótkim czasem ładowania i szerokim zakresem temperatury pracy, wynoszącym od –40 do +85°C.



FMD FU0H

Superkondensatory serii FMD i FU0H są produkowane w zakładach z certyfikatem ISO TS 16949. Przeszły 1000-godzinny test pracy w warunkach dużej temperatury i wilgotności (85°C/85% RH). W przypadku serii FMD żywotność w takich warunkach wynosi nawet 4000 godzin. Ich zakres zastosowań obejmuje układy zasilania awaryjnego pojazdów autonomicznych oraz podsystemów samochodowych ADAS i sterowników ECU. Superkondensatory FMD i FU0H mogą być stosowane do zasilania zegarów RTC, pamięci i innych komponentów podczas wymiany lub awarii głównego akumulatora. Oprócz motoryzacji, ich zakres zastosowań obejmuje też urządzenia IoT, liczniki zużycia mediów, aparaturą medyczną i komputery przemysłowe.

W miniaturowych superkondensatorach firmy Kemet zastosowano opatentowany roztwór elektrolitu wodnego, zapewniający dużą odporność na wycieki, wibracje i szok termiczny, a tym samym dużą niezawodność w trudnych warunkach pracy. Elektrolity wodne charakteryzują się bardzo dobrym przewodnictwem oraz są nietoksyczne i niepalne. W przeciwieństwie do akumulatorów szybko magazynują i uwalniają energię poprzez fizyczną adsorpcję i desorpcję jonów w elektrolicie między elektrodami. Dzięki małej rezystancji wewnętrznej mogą zostać w pełni naładowane w ciągu kilku sekund, co stanowi jedną z najważniejszych zalet w stosunku do superkondensatorów, w przypadku których proces ładowania może zająć do kilku godzin. Co więcej, nie ma teoretycznej granicy cyklu życia, podczas gdy dla ogniw litowo-jonowych jest to około 500 cykli. Dodatkowo superkondensatory zapewniają zazwyczaj większą odporność na wchłanianie wilgoci niż związki organiczne, co skutkuje dłuższą żywotnością i lepszą stabilnością.

www.kemet.com



Pierwszy w pełni konfigurowalny sterownik bramek tranzystorów SiC MOSFET

Wraz ze wzrostem zapotrzebowania na autobusy elektryczne i inne zelektryfikowane, ciężkie pojazdy transportowe rośnie też zapotrzebowanie na systemy zarządzania energią oparte na komponentach z węglika krzemu, ułatwiające sprostanie wymogom w zakresie sprawności energetycznej. Microchip wprowadził do oferty nowy, dwukanałowy sterownik bramek 1200-woltowych tranzystorów SiC MOSFET, oferujący projektantom wielopoziomowy system kontroli i ochrony, zwiększający bezpieczeństwo i niezawodność pracy.

W porównaniu z konwencjonalnymi sterownikami bramek model AgileSwitch 2ASC-12A2HP z technologią Augmented Switching zapewnia lepsze o 80% tłumienie oscylacji napięcia VDS oraz pozwala zmniejszyć straty przy przełączaniu nawet o 50%. Zapewnia wydajność prądową ±10 A. Zawiera izolowany konwerter DC/DC z barierą izolacyjną o małej pojemności do transmisji sygnałów PWM i sprzężenia zwrotnego.

Sterownik 2ASC-12A2HP jest zgodny z najnowszą wersją narzędzia Intelligent Configuration Tool (ICT). Interfejs ten umożliwia użytkownikom konfigurowanie parametrów sterownika, w tym profili przełączania bramki, krytycznych parametrów systemu i ustawień interfejsu. Dzięki temu układ może być dostosowany do wymogów aplikacji bez konieczności wprowadzania zmian sprzętowych, co pozwala skrócić czas projektowania i wprowadzania nowych produktów na rynek nawet o kilka miesięcy.

Oprócz motoryzacji, 2ASC-12A2HP może też znaleźć zastosowanie w systemach ładowania i magazynowania energii, instalacjach fotowoltaicznych i siłownikach lotniczych.

www.microchip.com

eprasa.pl 5d23d6856a

Najmniejsze na rynku kondensatory klasy X2 do pracy w ciężkich warunkach środowiskowych



Firma Kemet wprowadza do sprzedaży serię najmniejszych na rynku kondensatorów polipropylenowych klasy X2 do ochrony przed zaburzeniami EMI, zaprojektowanych do pracy w ciężkich warunkach środowiskowych. Seria R53 obejmuje kondensatory z kwalifikacją AEC-Q200 i klasyfikacją środowiskową 85/85 THB Class IIIB, mogące znaleźć zastosowanie w motoryzacji, przemyśle i energetyce. Zapewniają one długoterminową stabilność parametrów w ciężkich warunkach środowiskowych. Są produkowane w prostopadłościennych obudowach o rozstawie wyprowadzeń od 15 do 37,5 mm i pokrywają zakres pojemności od 0,1 do 22 µF.

Pod względem objętości kondensatory serii R53 są mniejsze średnio o 60% od porównywalnych odpowiedników klasy X2 z oferty innych producentów. Charakteryzują się napięciem znamionowym 310 VAC, pozwalającym na włączanie między przewodami fazowymi lub łączenie szeregowe z linią zasilania. Nadają się do zastosowań w układach ładowania pojazdów, filtrach EMI napędów VFD, sterownikach diod LED oraz wszelkiego typu aplikacjach o dużej gęstości energii. Są produkowane na bazie metalizowanej folii polipropylenowej z wypełnieniem żywicą samogasnącą, co w połączeniu z równoległą konstrukcją wewnętrzną zapewnia właściwości samoregenerujące, zapobiegając katastrofalnym uszkodzeniom i zapewniając długi czas bezawaryjnej pracy.

www.kemet.com

Seria kwadratowych wyświetlaczy LCD od AUO

Modele P281SVN01.0 (przekątna 28,1 cala), P353KVN01.0 (35,3 cala) oraz najnowszy P449SVN01.0 (44,9 cala) są już dostępne, natomiast P398SVN01.0 (39,8 cala) ciągle jeszcze czeka na oficjalną datę premiery. Tak duża różnorodność rozmiarów to odpowiedź producenta na rosnące zapotrzebowanie na wyświetlacze o nietypowych kształtach, odpowiednie dla miejsc dysponujących ograniczonym miejscem na ich instalację i ekspozycję.



model	P281SVN01.0	P353KVN01.0	P449SVN01.0
przekątna	28,1”	35,3”	44,9”
rozdzielczość	800×800	1600×1800	1280×1280
obszar aktywny	504(H)×504(V) mm	595,2(H) ×669,6(V) mm	806,4(H) ×806,4(V) mm
jasność	700 cd/m²	500 cd/m²	700 cd/m²
kontrast	4000:1	4000:1	4000:1
kąty obserwacji	89° /89° /89° /89°	89° /89° /89° /89°	89° /89° /89° /89°
powierzchnia	Anti-Glare 2%	Anti-Glare, 3H	Anti-Glare, 3H
interfejs	LVDS	LVDS	LVDS
wymiary	526,8(H)×526,8(V) ×10,7(D) mm	618,2(H)×692,4(W) ×25,1(D) mm	829,2(H)×829,6(V) ×10,7(D) mm
zakres temperatury pracy	0...50°C	0...50°C	0...50°C
czas życia LED	70 000 godz.	70 000 godz.	70 000 godz.
waga	3,6 kg	5,4 kg	8,6 kg



Wymienione modele reprezentują opracowaną przez AUO serię TARTAN, produkowaną w technologii o tej samej nazwie. Umożliwia ona produkcję wyświetlaczy o niemal dowolnym kształcie i rozmiarze – nie tylko typu stretch oraz kwadratowych, ale także i okrągłych. Stosowanie skomplikowanych procesów wytwarzania (m.in. fotolitografii), zamiast standardowego i częściej spotykanego wycinania szkła z gotowych ekranów LCD 16:9, pozwala na spełnienie wysokich standardów jakościowych przy niemal nieograniczonych możliwościach projektowych.

Pełny kąt widzenia (89°/89°/89°/89°) oraz zwiększona jasność (w przedziale między 500 a 700 cd/m²) gwarantują pełną czytelność wszystkich treści pokazywanych na wyświetlaczach LCD serii TARTAN. Należy jednak pamiętać, że modele te mają ograniczony zakres temperatur pracy – od 0°C do 50°C. Omawiane rozwiązania od AUO sprawdzą się zarówno w aplikacjach indoroowych, jak i outdoorowych, ale w przypadku narażenia ich na bardziej skrajne warunki pogodowe należy zapewnić im dodatkowe chłodzenie latem i ogrzewanie zimą. Kluczowe parametry produktów z prezentowanej serii zostały zawarte w tabeli.

Niestandardowe kształty ekranów z serii TARTAN łatwiej wpasować w identyfikację wizualną sklepów, kawiarni i restauracji – takie rozwiązania dobrze sprawdzą się w ograniczonej przestrzeni, gdzie montaż może okazać się wyzwaniem. Wyświetlacze od AUO mogą być również stosowane jako nośniki informacji w komunikacji miejskiej, m.in. na przystankach, lotniskach czy peronach (pamiętając o zakresie temperatur pracy w przypadku aplikacji outdoorowych).

W ofercie Unisystemu jest już niemal w całości obecna seria kwadratowych wyświetlaczy LCD od AUO.

www.unisystem.pl

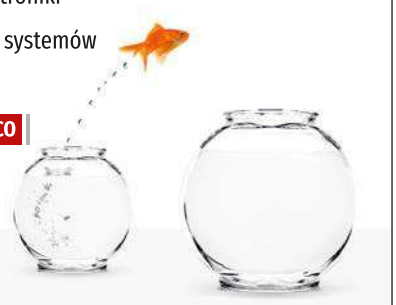
REKLAMA

BORNICO Teraz większe MOŻLIWOŚCI

bornico.com.pl

montaż kontraktowy elektroniki

projektowanie urządzeń i systemów



Zakład Elektroniczny BORNICO

ul. Małęczyńska 25
26-600 Radom

tel. +48 48 365 58 22
bornico@bornico.com.pl

eprasa.pl 5d23d6856a

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.



Modyfikacja wodomierza – podłączenie do systemów IoT

Zaprezentowany projekt to miniaturowy moduł, który daje możliwość podłączenia klasycznego, mechanicznego wodomierza do dowolnej instalacji Internetu Rzeczy (IoT), na przykład domowej sieci automatyki. Zaprojektowany przez Alexandra Dvorkovego system w bezinwazyjny sposób integruje elektronikę z wodomierzem. Wiele wodomierzy jest „smart-ready", oznacza to, że mają specjalne koło pod szkłem, które wykonuje 1 obrót na każdy 1 litr przepuszczonej cieczy. Połowa koła zawiera trochę metalu (miedzi), co można wykryć za pomocą czujnika indukcyjnego znajdującego się nad szkłem.

Ze względu na koszty firmy wodociągowe zwykle nie instalują elektronicznych inteligentnych czytników na takich licznikach, ale niektórzy chcą zaprojektować i zainstalować takie czytniki we własnym zakresie. Pozwala to na stałe rejestrowanie zużycia wody w gospodarstwie domowym, na przykład za pomocą Home Asistant lub dowolnego innego systemu automatyki domowej. Taki system może być również używany do wykrywania nieszczelności w instalacji.

Jeden czujnik indukcyjny nie wystarcza do wiarygodnych odczytów. Zdarzają się sytuacje, w których czujnik np. pominie obrót koła lub doliczy obrót dwa razy. Przeanalizujmy taką sytuację: koło miernika może zatrzymać się w dowolnym momencie pod dowolnym kątem, a następnie kontynuować swój ruch w dowolnym momencie. Podczas czasu pomiędzy zatrzymaniem a kontynuowaniem ruchu środowisko może się znacznie zmienić (temperatura, wilgotność itp.), co może oszukać obwód czujnikowy. Ponadto, aby zaoszczędzić energię, każdy czujnik indukcyjny jest skanowany raz na 800 ms – nie ma z niego ciągłego wyjścia, co powoduje czasami problemy w wykrywaniu zmian pozycji. Dwa czujniki indukcyjne pozwalają na wykluczenie problemów z sygnałami przejściowymi itp.

Autor do projektowania używał programu KiCAD 6. Dodatkowo, aby wygodnie operować jego projektem, warto zainstalować biblioteki *kicad-goodies*, ale nie jest to wymagane. Kluczowym elementem projektu sekcji analogowej było stworzenie ścieżek o bardzo małej szerokości i dużej gęstości. Udało się z tymi wymiarami zejść do 5 milsów. Sercem układu jest mikrokontroler z interfejsem ZigBee. Wszystkie pliki konfiguracyjne i oprogramowanie dla tego układu można znaleźć w repozytorium projektu na GitHubie. To repozytorium ma wszystko, co jest potrzebne, aby zaprogramować mikrokontroler dla czujnika:

- skompilowane oprogramowanie,
- plik konfiguracyjny dla ZigBee2MQTT,
- kod mikrokontrolera, oparty na module EBYTE z CC2652P.

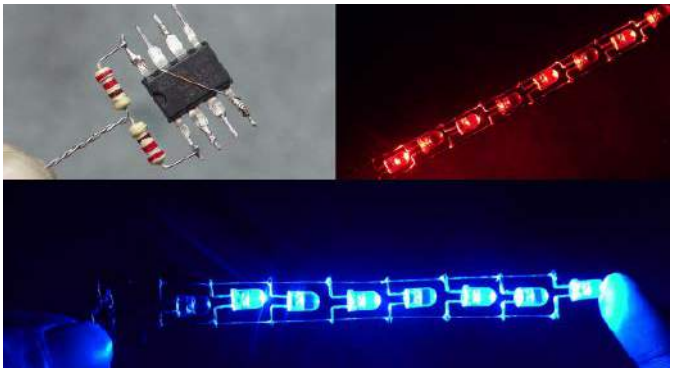
Oprogramowanie układowe ma następujące funkcje:

- minimalizacja mocy zasilania – czujnik powinien działać przez lata na 2 bateriach AAA,
- dane o zużyciu wody są buforowane przez 5 minut,
- gdy połączenie zostanie utracone, system próbuje automatycznie ponownie się połączyć co 5 minut,
- moc transmisji jest ustawiona na 14 dBm, co powinno wystarczyć do uzyskania sygnału w trudnych warunkach, a jednocześnie nie spowoduje zbyt intensywnego zużycia baterii.

Z powodu błędu w oprogramowaniu TI okres ponownego dołączenia nie może być dłuższy niż 5 minut. Ponadto ponowne dołączanie do sieci zużywa więcej energii niż standardowy raport danych, więc należy starać się unikać sytuacji, w których urządzenie pozostaje włączone przez dłuższy czas bez połączenia z siecią (czas rzędu dni, tygodni, miesięcy).

Finalnym elementem jest wykonanie odpowiedniego uchwytu pasującego do wodomierza. Autor zaprojektował uchwyt dopasowany do swojego urządzenia, jednakże nie wiadomo, czy będzie on pasował do innych wodomierzy.

https://bit.ly/3psSW1Y



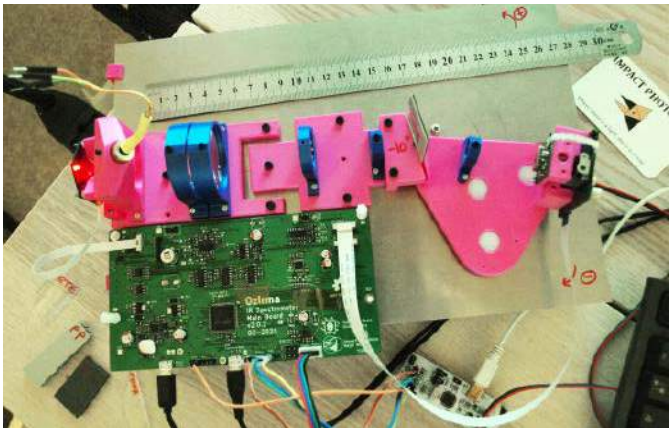
LED Chaser – kompaktowa linijka LED

Zaprezentowany projekt jest ekstremalnie prostym urządzeniem, dzięki temu idealnie nadaje się jako pierwsza konstrukcja do samodzielnego wykonania albo drobna zabawka do zrobienia w wolnym czasie. Jest to prosty migacz, sterujący łańcuchem połączonych diod LED. Można zastosować dwie dyskretne diody lub jedną, która ma zintegrowane w sobie dwie struktury elektroluminescencyjne. Obwód zrealizowano za pomocą taniego układu scalonego z timerem. Idealnie nadaje się np. do dekoracji domu lub biura. Do wykonania tego projektu będzie potrzebnych zaledwie kilka części elektronicznych:

eprasa.pl 5d23d6856a

- układ scalony – timer NE555,
- rezystory 220 Ω i 33 kΩ, najlepiej dosyć duże, do montażu przewlekanego,
- kondensator 10 µF o napięciu pracy co najmniej 25 V,
- 8 diod LED 5 mm (czerwona i niebieska ze wspólną katodą),
- drucik miedziany do połączeń elementów,
- źródło zasilania – zasilacz DC 12 V.

https://bit.ly/3z3UaE8



Ozirma – spektrometr podczerwieni DIY

Ozirma to przenośny czujnik, który może identyfikować różne rodzaje tworzyw sztucznych, aby wspomóc proces ich recyklingu. Urządzenie wykorzystuje spektroskopię w podczerwieni, tę samą technologię, którą można znaleźć w dużych fabrykach recyklingu. Zostało ono zmniejszone, aby dopasować to rozwiązanie do możliwości mikrofabryk. Przy jego budowie zastosownao technologie takie jak druk 3D, cięcie laserowe, CNC itp. dostępne hobbystom. Istotnie zredukowano także koszt budowy takiego urządzenia. Dzięki przystępnej cenie Ozirma może pomóc zdecentralizowanym i prostym punktom recyklingu w sortowaniu wszystkich rodzajów odpadów z tworzyw sztucznych. To pierwszy krok do przekształcenia ich w nowe przedmioty z tworzywa sztucznego (kostka brukowa, cegły, krzesło, doniczka itp.) lub po prostu surowiec do dalszego przetwarzania.

Najważniejsze parametry układu, ustalone przez jego konstruktorów, to:

- koszt do 200 euro,
- rozdzielczość spektralna co najmniej 10 nm,
- odbicie rozproszone mierzone w trzech pasmach NIR: 750...1000 nm, 1100...1300 nm, 1500...1700 nm,
- fluorescencja (mierzona w zakresie od 450 nm od 1000 nm) przy wzbudzeniu 405 nm,
- maksymalny czas na przeskanowanie pełnego widma (fluorescencja + 3 pasma NIR) – 5 minut.

Za projektem stoją dwaj użytkownicy portalu Hackaday.io – Mejdi i Vivien, inżynierowie optyki i elektronicy. Został on zaprojektowany z myślą o redukcji kosztów i możliwości budowy z uwzględnieniem technologii dostępnych dla hobbystów. „Wykonano wiele pracy w zakresie rozwoju zdecentralizowanego recyklingu tworzyw sztucznych (z inicjatywami takimi jak np. precious plastic na czele), ale wciąż brakuje jednego istotnego elementu: niezawodnego narzędzia do identyfikacji różnych rodzajów tworzyw sztucznych. Ozirma będzie w stanie wykrywać tworzywa różnych typów: PE, PP, PET, PS itd. i pozwala na lepsze sortowanie przy mniejszych kosztach. Istniejące rozwiązania są drogie (od 50 do 100 tysięcy euro) i używane głównie przez duże zakłady recyklingu. Mniejsze, przenośne rozwiązania istnieją, ale nadal kosztują około 10 000 euro”, opisują motywację do realizacji tego projektu jego autorzy.

REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

TWÓJ WIODĄCY PARTNER W DYSTRYBUCJI ROZWIĄZAŃ DLA ELEKTRONIKI

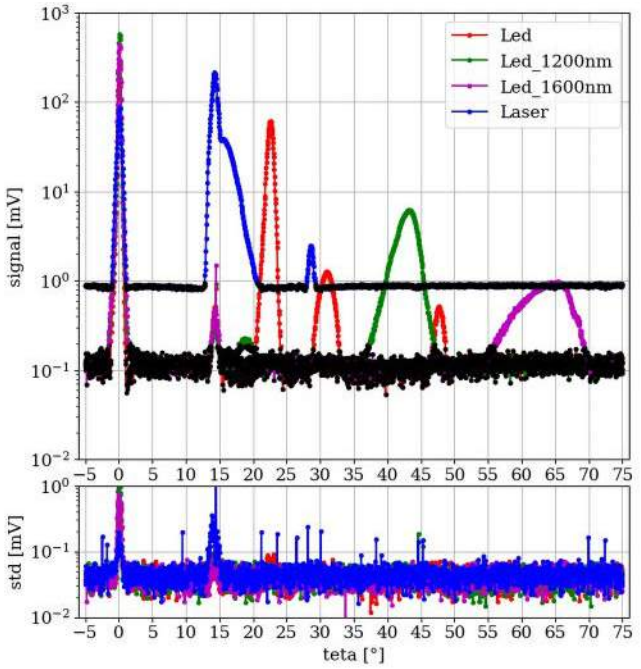
Zaufany dostawca oprogramowania **Altium**
do projektowania PCB i kompilatorów **Arm KEIL**
oraz dystrybutor komponentów elektronicznych

szczegóły dostępne na: www.ccontrols.net/pl/

Altium arm KEIL swissbit SILICON LABS neoway SILERGY

Computer Controls Sp. z o.o.
Bielsko-Biała, ul. Budowlanych 1
Warszawa, ul. Pańska 98
tel.: +48 (33) 485 94 90
tel.: +48 (22) 718 31 90

eprasa.pl 5d23d6856a



Kluczowe idee, jakie stały za tym projektem, autorzy podsumowują w kilku punktach:

- Zastosowanie jednopikselowego detektora IR (fotodioda InGaAs), co czyni układ detekcji prostszym i tańszym, ale wymaga skanowania poprzez obracanie elementów silnikiem krokowym, co sprawia, że akwizycja zajmuje trochę więcej czasu;
- Podczerwone diody LED (NIR) – mają niższą moc niż żarówka (1 mW vs 10 W) i o wiele wyższą sprawność – niemalże cała moc elektryczna zamieniana jest w moc optyczną w interesującym pasmie. Ponadto diody LED są modulowane, co zwiększa stosunek sygnału do szumu (detekcja synchroniczna);
- Zastosowanie taniej transmisyjnej siatki interferencyjnej;
- Wzmacniacz transimpedancyjny o wysokim wzmocnieniu – z opornikiem 1 GΩ (!), pracujący w paśmie 1 kHz;
- Kompensacja pionowego skanowania ogniskowej (za pomocą małego silnika liniowego) w celu umożliwienia kompensacji luzu i niewielkiej niewspółosiowości mechaniki;
- Akwizycja sygnału odbywa się za pośrednictwem specjalnie przygotowanej płytki elektronicznej, a przetwarzanie sygnału jest realizowane przez oprogramowanie zaprojektowane z myślą o *open source*.

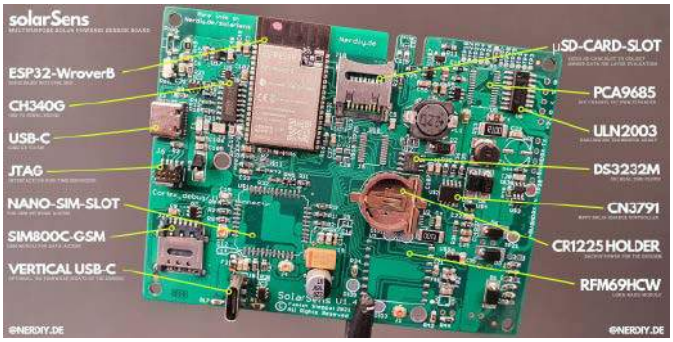
Ozirma jest projektem w pełni otwartym, zbudowanym wyłącznie przy użyciu oprogramowania *open source*: GeoGebra, OpenSCAD, KiCAD, Python i GCC/Modm. Dzięki temu wyniki projektu można łatwo przekazywać i rozpowszechniać.

https://bit.ly/3mALOi7

SolarSense – stacja meteorologiczna z zasilaniem fotowoltaicznym

SolarSense to modułowa stacja pogodowa, która może być wyposażona w różne czujniki. Systemu tego można użyć do mierzenia temperatury, wilgotności czy też jasności i ekspozycji na promieniowanie UV. Wodoszczelna obudowa mieści całą niezbędną elektronikę oraz, co bardzo istotne, ogniwo fotowoltaiczne. Ponadto można podpiąć z tyłu obudowy moduł SDS011. Ogniwo słoneczne na froncie zasila elektronikę energią i ładuje



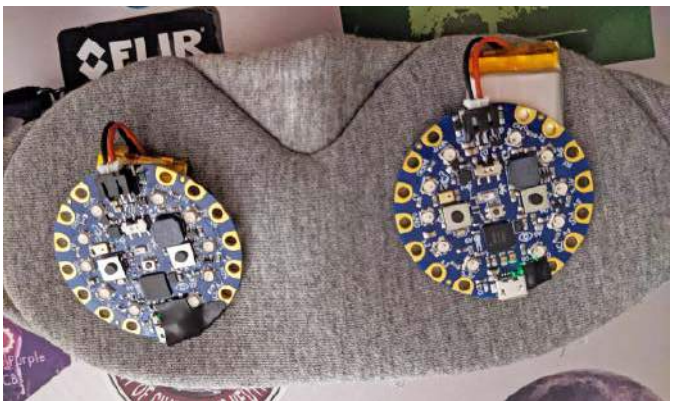


wbudowane ogniwo litowo-polimerowe 18650. Zmierzone dane mogą być następnie przesyłane do systemu automatyki domowej poprzez sieć Wi-Fi.

Obecnie autor rozwija nową wersję płytki drukowanej dla urządzenia, która ma poszerzyć możliwości komunikacyjne o interfejsy LoRa oraz GSM. W tej chwili wciąż pracuje nad końcowymi elementami projektu. Aktualny stan można zobaczyć na zdjęciach. Brakuje jeszcze modułowych obudów dla czujników, które są przykręcane do przedniego panelu pod ogniwem słonecznym. W porównaniu z pierwszą wersją urządzenia, elektronika znajduje się pod ogniwem słonecznym. Dzięki temu obudowa czujnika nie rzuca cienia na ogniwo słoneczne, a w przypadku wycieku wilgoć nie przeniknie do wnętrza systemu. Na wyrenderowanych obrazkach widać także silnik krokowy w podstawie. Pozwala on na ustawianie systemu w kierunku słońca. Brakuje jeszcze odpowiedniego stojaka, na którym można obracać stację pogodową, ale jego realizacja jest w planach.

Sercem systemu jest moduł elektroniczny pod nazwą solarPhalanx. Płytka ta zawiera wszelkiego rodzaju czujniki światła, za pomocą których można określić jasność, wartości promieniowania, a nawet ustawienie stacji pogodowej. Niestety ze względu na obecny niedobór chipów na rynku nie wszystkie sensory są dostępne. Autor mógł przeprowadzić tylko pierwsze testy, a na resztę przyjdzie jeszcze czas.

https://bit.ly/3yZzblP



Morpheus – maska do spania

Spanie i budzenie się jest bardzo ważne dla zdrowia i dobrego samopoczucia. Takie założenie przyświeca Bhaveshowi Kakwani, autorowi maski Morpheus. Na razie jest to prototypowa wersja sprzętu, ale pozwala na zbieranie opinii od użytkowników – samego autora, jak i innych osób. Kolejnym krokiem Kakwaniego ma być zaprojektowanie specjalnie dopasowanej płytki PCB.

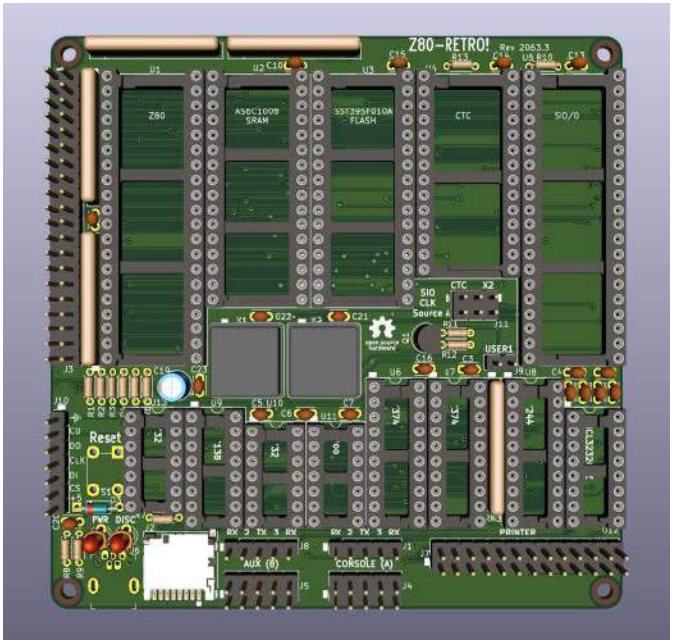
Prototyp zbudowany jest z płytek BLE CircuitPlayground firmy Adafruit, baterii LiPo i zmodyfikowanej maski do spania kupionej na Amazonie. Płytki nie mają gniazd słuchawkowych, więc dźwięk poprzez Bluetooth nie jest na razie możliwy. Mają jednak diody LED RGB, co pozwala na symulację delikatnej animacji wschodu słońca nad zamkniętymi oczami. Oszukuje to umysł, symulując ciepły i słoneczny poranek, co w Toronto, gdzie mieszka autor, jest prawdziwym błogosławieństwem. Zamiarem autora jest przekształcenie morpheusa

eprasa.pl 5d23d6856a

w pełnowartościowy produkt, jeśli będzie na niego wystarczający popyt. Obecnie zbiera on różne pomysły racjonalizatorskie i opinie od potencjalnych użytkowników.

Pierwszy prototyp systemu jest już gotowy, a autor obecnie pracuje nad udoskonaleniem algorytmu do detekcji ruchu. Realizowane jest to przy użyciu surowych danych z akcelerometru. Algorytm bazuje na obliczaniu pochodnej z przyspieszenia i rejestrowaniu, jeśli wartość przekroczy strefę nieczułości – ustalony próg. Autor wypróbował rozwiązanie na sobie w nocy i wyniki są bardzo dobre. Na wykresach można zobaczyć wzorce przekręcania się i okresy spokojnego snu.

https://bit.ly/3qvdQwu



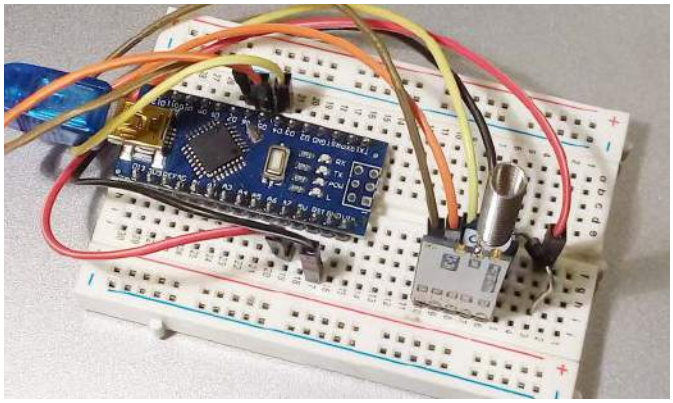
Retrokomputer na Z80

Dział obserwowanych projektów nie byłby kompletny bez projektu retro. W tym miesiącu będzie to (kolejny) komputer jednopłytkowy, bazujący na procesorze Z80. Pokazany w projekcie moduł opracowany został przez Johna Winansa. Płytka drukowana tego komputera jednopłytkowego mierzy 100×100 mm (to ukłon w stronę chińskich producentów płytek drukowanych, którzy przyjęli to jako maksymalny rozmiar dla promocyjnych płytek drukowanych). Na wspomnianej płytce znajduje się miejsce na procesor Z80, 512 kB pamięci SRAM, a także układ Flash. Płytka ma porty szeregowe i równoległe oraz miejsce na kartę SD. Na karcie tej znajduje się wszystko, co potrzebne, aby uruchomić kompletny system CP/M od zera. Do systemu może być również dołączona płytka adaptera, która umożliwia programowanie pamięci Flash w układzie za pomocą dowolnego modułu Raspberry Pi ze standardowym, 40-pinowym złączem GPIO.

Podstawowym planem autora jest zbudowanie płytki dla procesora Z80, która zawiera tylko części do montażu przewlekanego, tak aby każdy, nawet początkujący, mógł ją samodzielnie zbudować. Jedynym problemem jest brak przewlekanych gniazd dla kart microSD, dlatego też zamiast tego zastosowano moduł firmy Sparkfun (DEV-13743) (jest także miejsce na przylutowania gniazda SD do montażu powierzchniowego). Procesor Z80 jest taktowany zegarem 10 MHz i osiągana prędkość transferu z karty SD na poziomie około 150 kbit/s, co jest porównywalne z prędkością odczytu z dyskietki o pojedynczej gęstości 5 i ¼ cala, ale z zerowym opóźnieniem obrotowym. Działa więc z realistyczną prędkością typowego dysku.

Pliki projektowe KiCad oraz gerbery gotowe do zamówienia własnych płytek drukowanych i PDF ze schematem można znaleźć w repozytoriach projektów na GitHubie. Znaleźć można tam też firmware i oprogramowanie do programatora.

https://bit.ly/3erTJKk



Konfigurator modułu HC-12

„Każdy projekt publiczny, który widziałem, używa domyślnej konfiguracji HC-12: FU3 przy 9600 bps", pisze autor tego prostego projektu, Yann Guidon (YGDES). Moduł HC-12 to wielokanałowy układ do bezprzewodowej transmisji danych w pasmie 433 MHz. Wyposażony jest w interfejs UART, który służy do przesyłania danych, a także do konfiguracji. Gdy potrzebna jest naprawdę duża odległość, należy ustawić tryb FU4, który działa z prędkością 1200 bps (500 bps over the air). Konfiguracja jest zapisywana w układzie na stałe, więc sensowne jest przygotowanie oddzielnego programu do konfigurowania opcji w module, zamiast dołączania go do wszystkich węzłów sieci. To znacznie oszczędza też wyprowadzenia GPIO. Dość duża część projektu skupiała się na inżynierii odwrotnej, ponieważ detale konfiguracji modułów nie są czytelnie opisane w dostępnej dokumentacji.

Sam program jest dość prosty. Obecna wersja wyświetla tylko bieżącą konfigurację. Wiele poleceń AT jest dostępnych, są jednakże zakomentowane. Można samodzielnie włączyć je, jeśli będą potrzebne.

Działanie systemu jest bardzo proste. W kodzie opisano sposób podłączenia elementów do modułu radiowego. Następnie należy otworzyć szkic (kod źródłowy) w Arduino IDE i podłączyć płytkę do portu USB. Po uruchomieniu skryptu należy uruchomić monitor portu szeregowego, aby wyświetlać komunikację z płytką Arduino i skompilować kod. Następnie na monitorze pojawi się miejsce do wpisania komend, co pozwoli na skonfigurowanie systemu zgodnie z pożądanymi opcjami.

https://bit.ly/3z1UrHw

REKLAMA



eprasa.pl 5d23d6856a

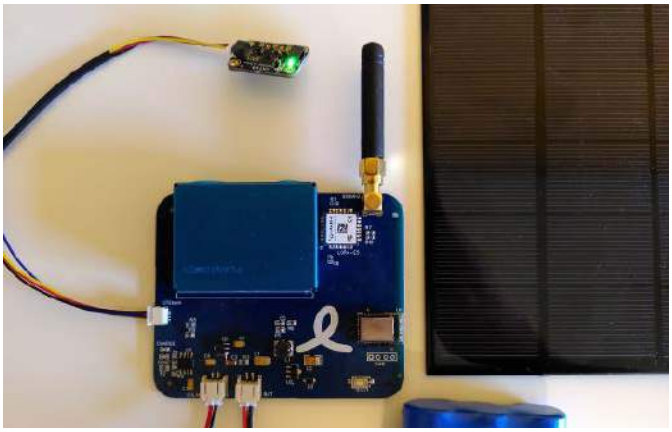


Komputer rowerowy

Celem tego projektu było skonstruowanie komputera pokładowego do roweru. Korzysta on z zamontowanego na ramie kontaktronu do pomiaru prędkości obrotowej kół. Ponadto jest wyposażony w ekran OLED, a całością steruje Raspberry Pi Pico. W początkowym prototypie nieosłonięty kontaktron (jego obudowa jest wykonana ze szkła) został po prostu przyklejony taśmą do ramy obok miejsca, w którym zamontowany na kole był magnes. Na szczęście system nie pracował za wiele w deszczu czy błocie, gdyż inaczej rozwiązanie to nie wytrzymałoby zbyt długo. Wyłącznik został przylutowany bezpośrednio do wiązki kablowej, bez możliwości rozłączenia. Taka była pierwsza wersja. Kolejna jest już bardziej dopracowana. Zastosowano fabrycznie uszczelniony czujnik oraz złącze zgodne z IP67, aby ułatwić konserwację systemu.

Znacznie poprawiono również mocowanie czujnika. Element dystansowy wydrukowany został w 3 D i wyznacza teraz pozycję czujnika względem ramy roweru. Sztywny element dystansowy nie jest tutaj najlepszym rozwiązaniem, gdyż nie pozwala na regulację odległości, ale na ten moment prototypowania systemu jest wystarczający.

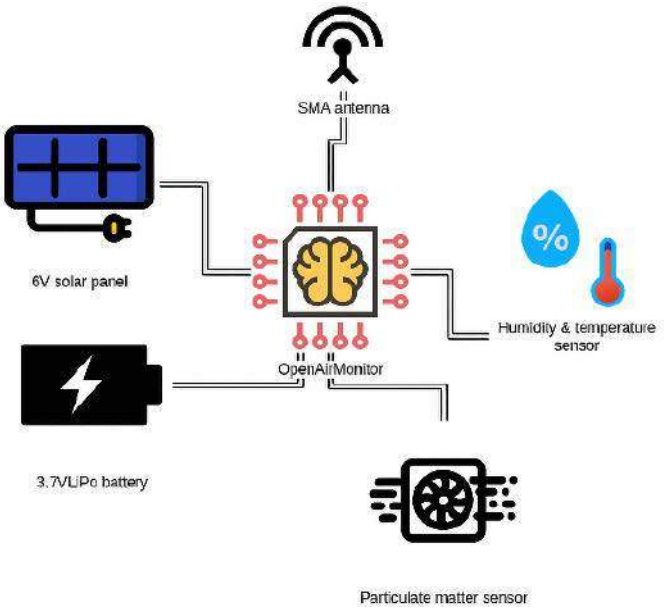
https://bit.ly/3Fzkd8n



OpenAirMonitor

Jest to zasilany energią słoneczną monitor jakości powietrza do zastosowań zewnętrznych. Przesyła dane przez LoRaWAN i Bluetooth Low Energy. Mierzy poziom cząstek stałych (PM1, PM2, M5 i PM10) w powietrzu oraz jego wilgotność i temperaturę. Monitor ma złącze STEMMA QT, dzięki czemu można go rozbudować o inne czujniki.

Urządzenie jest oprogramowane w JavaScript. Komunikuje się przez Bluetooth LE za pomocą Espruino. Sprzęt udostępniony jest na licencji



CERN Open Hardware License, a oprogramowanie na licencji GPL-3.0. Cała pozostała dokumentacja jest na licencji CC BY-SA 4.0.

Zanieczyszczenie powietrza przez paliwa kopalne jest przyczyną 1/5 zgonów na świecie. Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) zanieczyszczenie powietrza jest, obok zmian klimatycznych, jednym z największych zagrożeń środowiskowych dla ludzkiego zdrowia. Oba wpływają na siebie nawzajem, ponieważ poprawa jakości powietrza może zwiększyć wysiłki na rzecz łagodzenia zmian klimatycznych, a z kolei zmniejszenie emisji poprawi jakość powietrza.

Zanieczyszczenie powietrza ma różne rodzaje i rozmiary, są to między innymi:

- cząstki stałe (PM2, PM5 i PM10),
- tlenek węgla,
- dwutlenek siarki,
- dwutlenek azotu,
- ozon przyziemny.

22 września 2021 r. WHO zaktualizowała swoje globalne wytyczne dotyczące jakości powietrza (AQG), zmniejszając prawie wszystkie poziomy AQG. WHO ostrzega jednocześnie, że przekroczenie nowych poziomów wytycznych dotyczących jakości powietrza wiąże się ze znacznym ryzykiem dla zdrowia, a jednocześnie ich przestrzeganie może uratować miliony istnień ludzkich. Omawiany system bierze pod uwagę najnowsze wytyczne. System ma być również okazją, aby edukować na temat zanieczyszczenia powietrza w naszym najbliższym otoczeniu, jak i informować władze lokalne i krajowe o tym, co dokładnie się dzieje i na czym powinny skoncentrować swoje wysiłki.

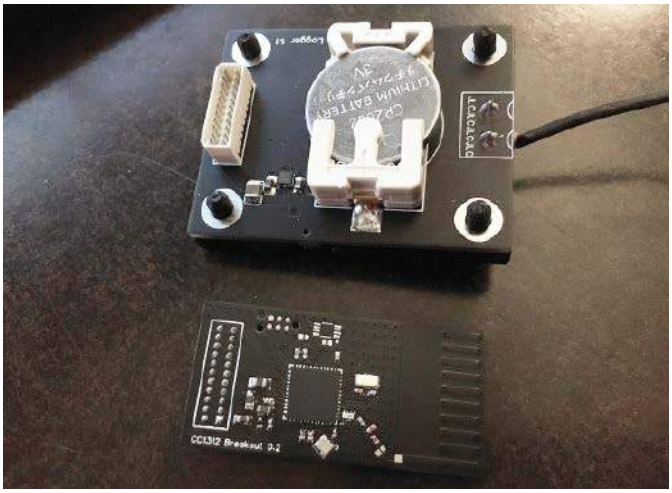
Obecnie samodzielny pomiar zanieczyszczenia powietrza stał się o wiele łatwiejszy dzięki dostępności tanich czujników, które zawierają wiązkę laserową i fotodiodę do pomiaru zanieczyszczenia pyłem zawieszonym. Autor przetestował szereg urządzeń z takimi komponentami, jednakże wielokrotnie brakowało im pewnych funkcjonalności, takich jak zasilanie bateryjne, ograniczenie do komunikacji przez Wi-Fi, które nie wszędzie jest dostępne, ograniczona dokładność sensorów itp. Dlatego postanowił skonstruować własne urządzenie. Podstawowe założenia to:

- zasilanie bateryjne, ładowanie panelem słonecznym,
- komunikacja bezprzewodowa dalekiego zasięgu (np. LoRaWAN),
- czujniki, które mogą być używane w środowiskach o wysokiej wilgotności.

Warto śledzić rozwój projektu, aby zobaczyć, jak autor poradził sobie z implementacją tych założeń w fizycznym systemie.

https://bit.ly/3HdlmCV

eprasa.pl 5d23d6856a



Moduł IoT o zwiększonym zasięgu z wejściem dla termopary

Celem tego projektu było skonstruowanie sensora zawierającego termoparę, który miałby służyć do monitorowania temperatury wędzarni lub grilla (lub dowolnego innego sprzętu tego rodzaju) i raportowania pomiarów z dużej odległości, logowania do Grafany i ostrzegania przez IFTTT. Ważnym założeniem był również bardzo niski pobór prądu – udało się to osiągnąć w zaprezentowanym urządzeniu, które pobiera zaledwie 80 nA w trybie uśpienia.

Autor projektu, ukrywający się pod nickiem Discreet Mayor na portalu Hackaday.io, wspomina, że niedawno kupił wędzarnię i nie był zbyt dobry w jej obsłudze, dlatego też sięgnął po elektronikę, aby logować parametry procesu wędzenia, celem sprawdzenia powtarzalności, ale także ostrzegania, jeśli temperatury przekroczą ustalony zakres. Projekt ten używa przetwornika do termopary typu K – układu MAX31855 wraz z oszczędnym stabilizatorem impulsowym TPS61291 do zmaksymalizowania sprawności systemu. Całość uzupełniona jest modułem do bezprzewodowego przesyłania danych.

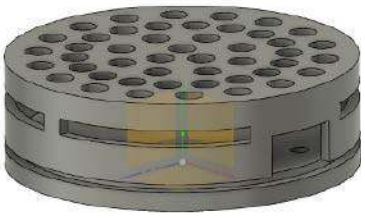
Czas raportowania danych można ustawić w internetowym interfejsie użytkownika, a wszystkie dane są przesyłane bezprzewodowo przez protokół dalekiego zasięgu 802.15.4, a następne zalogowane w systemie bazującym na Grafany i bazie danych redis. System wyzwala alerty, korzystając z *If This Then That* (IFTTT) o temperaturach poza zasięgiem, które z kolei przekazywane są na telefon. Kiedy mikrokontroler w układzie jest w stanie uśpienia, wyłącza również MAX31855 za pomocą prostego tranzystora PNP. Zegar okresowo budzi mikrokontroler, który uruchamia wyjście sterujące, aby wybudzić MAX31855, czeka, a następnie odczytuje dane przez SPI i wysyła je bezprzewodowo. Na koniec wyłącza układ przetwarzania napięcia z termopary i wraca do stanu uśpienia.

Jak zauważa autor, najciekawszą częścią projektu było wykonywanie pomiarów poboru prądu, aby upewnić się, że zużycie energii było jak najniższe. W tym celu zastosował specjalny moduł do pomiaru prądu – CurrentRanger, który jest w stanie automatycznie przełączać się pomiędzy zakresami od nA przez µA do mA.

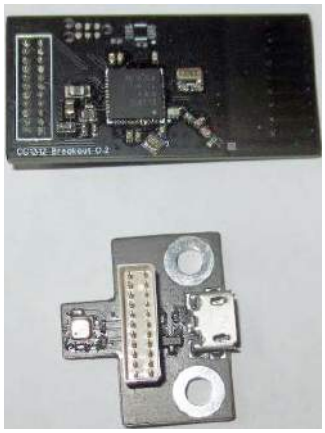
https://bit.ly/3EwxMUL

Bezprzewodowy sensor środowiskowy IoT

Autor projektu, ukrywający się pod nickiem Discreet Mayor, opracował uniwersalny moduł do komunikacji bezprzewodowej. Zastosował go nie tylko w module do logowania temperatury, ale także w szeregu innych konstrukcji – to bardzo uniwersalny system. Wszystkie płytki zawierają mikrokontroler SimpleLink CC1352 i CC1312 firmy Texas Instruments,



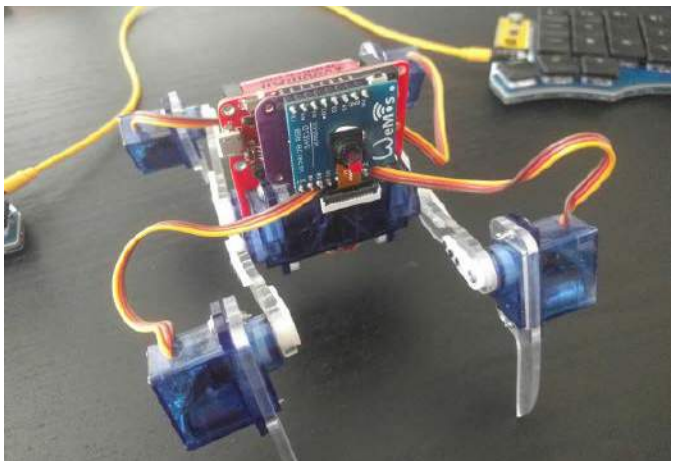
który zastosowano, aby dodać komunikację bezprzewodową do dowolnego projektu elektronicznego. Płytki bazują na projektach z rodziny TI LaunchPads, ale są mniejsze, dzięki czemu można je łatwo zintegrować w dowolnym miejscu. Jest to doskonała podstawa dla wielu różnych projektów, które są częścią prywatnej sieci o dużym zasięgu – na poziomie nawet 600 metrów w linii wzroku (autorowi konstrukcji nie udało się znaleźć większej przestrzeni do testów!).



Płytka jest zminiaturyzowaną wersją modułu LaunchPad od TI, którą dodatkowo nieznacznie zmodyfikowano. Podstawową zmianą jest inne złącze (o mniejszym rastrze), zapewniające lepszy dostęp do wyprowadzeń mikrokontrolera. Autor zastosował na płytce zintegrowane baluny, zamiast dyskretnych komponentów do front-endu. Dodatkowo, na PCB pozostawiono miejsce na zewnętrzną pamięć Flash.

Największe zmiany dotyczą oprogramowania, gdzie zamiast stałych typów komunikatów (jak w kodzie TI), komunikaty są tworzone w dostosowaniu do konkretnej aplikacji i mogą mieć różną długość. Kolejną kluczową różnicą jest to, że każde urządzenie może zmieniać swój interwał raportowania, w przeciwieństwie do ustalonego interwału dla wszystkich. Dzięki temu pisanie oprogramowania układowego dla każdej z płytek jest znacznie łatwiejsze, nie wymaga modyfikacji po stronie systemu zbierającego dane.

https://bit.ly/3mCS74S



Moduł z kamerą dla płytki S2 Mini

Ponieważ CircuitPython obsługuje od niedawna również kamerę, autor zaprezentowanej konstrukcji – Radomir Dopieralski, postanowił skonstruować moduł z kamerą, który pozwoli na użycie tej nowej funkcji. Nie ma się co dziwić, jest on znany w środowisku użytkowników języka CircuitPython. Dodatkowo, jak pisze w opisie projektu na portalu Hackaday.io, chciał zastosować zaprojektowany shield do użytku z budowanym przez niego robotem #Fluffbug.

Do budowy systemu użyto modułu kamery OV2640 – jest to dość potężny moduł kamery (może tworzyć dane JPEG do przesyłania strumieniowego), ale ESP-S2 Mini ma wystarczającą liczbę wyprowadzeń do jego sterowania. Jedyną niedogodnością są trzy napięcia potrzebne do zasilania kamery. Dokładnie tym zajmuje się omawiany shield. Jak zauważa sam autor: „Oczywiście ESP32-S2 nie będzie w stanie wiele zrobić z kamerą, ponieważ brakuje mu mocy obliczeniowej i pamięci. Mam nadzieję, że będzie w stanie przesyłać strumieniowo wideo o niskiej rozdzielczości przez Wi-Fi i być może, w odpowiednich warunkach

eprasa.pl 5d23d6856a

oświetleniowych, odnaleźć kolorowe plamy z szybkością jednej klatki na 10 sekund. Te funkcje mają pozwolić na integrację w robocie".

Przy odpowiedniej ilości czasu autor planuje przenieść kod Apriltags z OpenMV i używać go ze swoim robotem. „Byłoby to niesamowite, ale wątpię, czy moje umiejętności są wystarczające", podsumowuje Dopieralski. Warto obserwować jego postępy w tym zakresie, jako że pierwsze testy wyglądają bardzo obiecująco. Zastosowano w nich również wyświetlacz ILI9341, co wymagało pewnych przeróbek w module Lolin S2 Mini. Autor ma na tym etapie jeszcze sporo problemów do rozwiązania, ale cytowane wpisy są bardzo świeże.

https://bit.ly/3syWqlh



Programowalna cewka Tesli

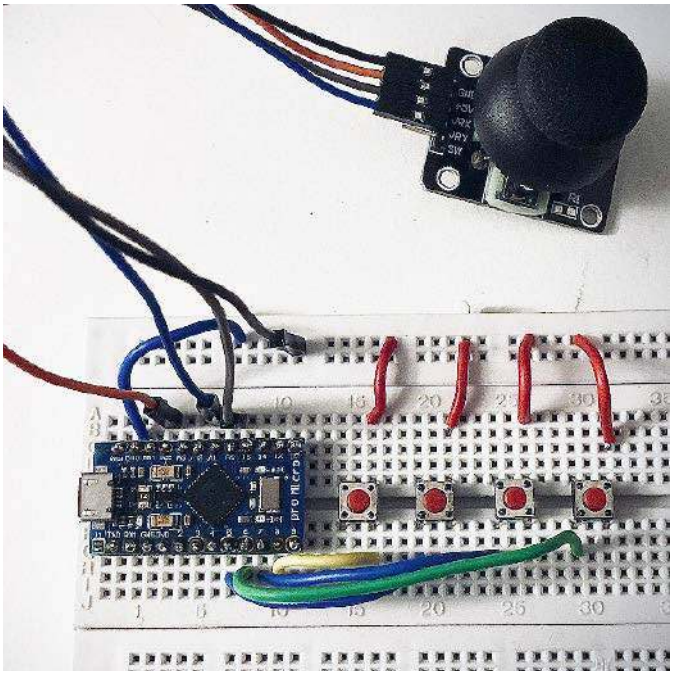
Przedmiotem tego projektu jest zbudowanie programowalnej i prostej w budowie cewki Tesli (SSTC), która działa przy niskim napięciu. Jest to zabawka idealna do użycia w małych rekwizytach czy jako element kostiumu. Zastosowano tutaj dwie główne płytki drukowane. Jedną z nich jest sam sterownik SSTC, który jest modułem z samowzbudną przetwornicą z pojedynczym tranzystorem, podczas gdy drugi to kontroler kompatybilny z Arduino, zawierający mikrokontroler ATmega4808. Programowalny interfejs umożliwia dodawanie wszelkiego rodzaju fajnych efektów iskier, w tym muzyki.

Cewka Tesli sama w sobie składa się z małego układu rezonansowego, pracującego przy częstotliwości około 700 kHz. Jest on zasilany bezpośrednio ze źródła prądu stałego o niskim napięciu (12 do 30 V) i może dawać całkiem imponujące iskry. Taktowanie impulsów jest kontrolowane za pomocą sterownika PWM-4808. Autor wciąż pracuje nad ostatnimi fragmentami kodu, ale ma już kilka świetnych funkcji, w tym obsługę PWM, paczek impulsów, muzyki oraz tryb Special FX, w którym iskry wydają dźwięki lasera i zmieniają swój wygląd. Autor pracuje również nad drukowanym w 3D uchwytem pistoletowym, aby można było trzymać cewkę jak pistolet.

Kod programu i schematy mają być niebawem opublikowane w repozytorium na GitHubie, co umożliwi każdemu skonstruowanie podobnego urządzenia.

https://bit.ly/3epZ84f





Klawiatura do makr z Arduino

Klawiatury do programowalnych makr to dosyć częsty temat w tym dziale. Wynika to z faktu, że tego rodzaju systemy są relatywnie proste do oprogramowania, a zakres możliwości ich mechanicznej budowy jest ogromny. Nasze korzystanie z komputerów drastycznie wzrosło w ciągu ostatnich kilku lat, a wraz z ciągle rozwijającym się Internetem czas spędzany na interakcji z technologią będzie tylko wzrastał. Jednak nawet współczesną zaawansowaną technologię można jeszcze ulepszyć. Z tego założenia wyszedł właśnie autor omawianego projektu i postanowił skonstruować bardzo prostą klawiaturę z programowalnymi makrami, które mają zastąpić skróty klawiszowe.

Pomysł na ten projekt narodził się, gdy autor brał udział w spotkaniach online. Podczas wszystkich swoich spotkań starał się wykonywać co najmniej kilka zrzutów ekranu z najważniejszymi elementami celem robienia notatek itp. Ostatecznie okazało się to dosyć zajmujące – zrobienie zrzutu prezentowanego okna wymaga naciśnięcia jednocześnie trzech klawiszy. Autor postanowił zastąpić je jednym klawiszem z przypisanym makrem.

Klawiatura składa się z 6 mechanicznych przełączników, które można przeprogramować w celu wykonania dowolnego zadania jednym kliknięciem przycisku. Obecnie przyciski te wykonują makra takie jak kopiowanie, wklejanie, zaznaczanie wszystkiego, zapisywanie i cofanie. Jednak klawisze te są w pełni programowalne, więc równie dobrze można je zaprogramować tak, aby np. wpisywać „tak" lub „nie" za naciśnięciem jednego przycisku. Może to być również stosowane przez graczy lub streamerów, aby ułatwić kontrolę gier czy streamów.

Autor zastosował w projekcie moduł Arduino pro. Uzupełnił go mechanicznymi przyciskami, ponieważ są one niezwykle wygodne i dają satysfakcjonujące „kliknięcie" po naciśnięciu, które potwierdza poprawne naciśnięcie klawisza i ułatwia odruchowe korzystanie z urządzenia.

https://bit.ly/3mBCaMe

Klawiatura MMMK – Mini Media Macro Keyboard

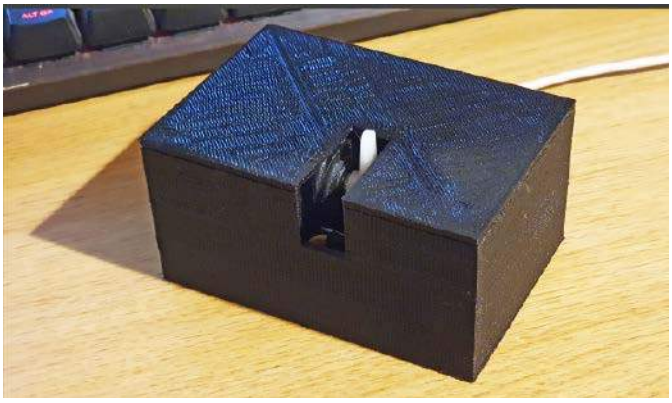
Na stronie projektu na portalu Hackaday.io jego autor – Guillaume DIB, nie pisze zbyt wiele, przynajmniej w momencie powstania tego artykułu. Na szczęście sporo ciekawych informacji na temat tej konstrukcji można wyciągnąć z towarzyszącego jej repozytorium na GitHubie. Klawiatura korzysta z modułu Arduino Pro Micro, do którego podłączone jest sześć przycisków oraz impulsator obsługujący pokrętło. Całość umieszczona jest w obudowie z druku 3D, w której dodatkowo umieszczono podświetlanie zawierające pojedynczą diodę RGB LED ze zintegrowanym sterownikiem.

eprasa.pl 5d23d6856a



Dokumentację znaleźć można w repozytorium na GitHubie. Autor udostępnia schematy elektryczne oraz pliki STEP elementów do druku 3D. Firmware klawiatury bazuje na PlatformIO i również jest do znalezienia na GitHubie.

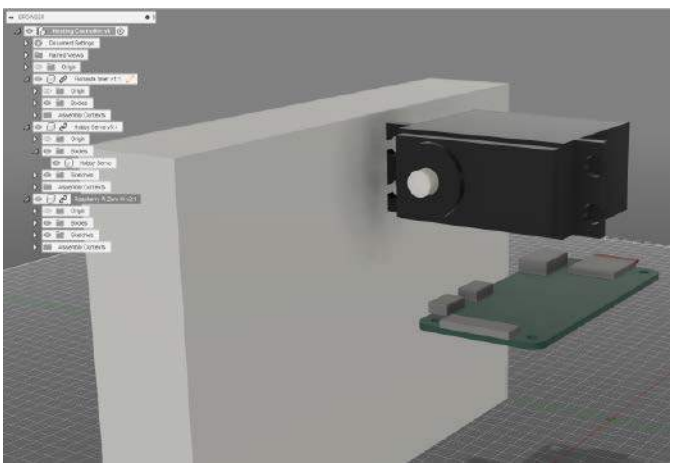
https://bit.ly/33UqNs9



Kontroler ogrzewania

Autor omawianej konstrukcji chciał móc podłączyć swój piec centralnego ogrzewania do systemu automatyki domowej, jednak nie chciał wprowadzać zbyt wielkich zmian w samej konstrukcji tego urządzenia. Do obsłużenia był tutaj tylko jeden kanał przełącznika czasowego kotła. Dlatego też skorzystał z najprostszego w tej sytuacji rozwiązania – mechanicznego manipulatora kontrolera na kotle. System używa serwomechanizmu, aby w razie potrzeby fizycznie nacisnąć przycisk „Boost" na kontrolerze ogrzewania. W ten sposób można zrezygnować z wszystkich funkcji czasowych sterownika i przekazać wszystkie obowiązki związane z zarządzaniem systemem do Raspberry Pi lub ręcznego włączania i wyłączania, w celu kontroli systemu przez Internet lub Amazon Alexa.

Podstawowym zastosowaniem systemu jest sprzężenie go z Amazon Alexa. Do kontroli systemu użyto Raspberry Pi Zero W, które kontroluje serwomechanizm o zasilaniu 5 V. Chociaż Raspberry Pi może wydawać się nieco za mocne do tego rodzaju sterowania, jednak



autor chciał, aby sterowanie było „inteligentnie", więc nie zadowolił się układem z mikrokontrolerem PIC lub Arduino. RPi będzie normalnym urządzeniem stosu LAMP, uruchamiającym mały skrypt, który steruje silnikiem serwomechanizmu, naciskającym fizyczny przycisk.

Przycisk BOOST na kotle autora działa niezależnie od harmonogramu czy trybu, w którym znajduje się piec. Jego naciśnięcie daje 1 godzinę grzania, następnie wyłącza kocioł. Można nacisnąć go 3 razy, aby uzyskać 3 godziny grzania. Automatyzacja sterowania jest szczególnie ważna jesienią i na wiosnę, gdy temperatura na zewnątrz gwałtownie się waha i często trzeba regulować temperaturę pracy kotła.

https://bit.ly/33QCGPO



Przezroczysty wyświetlacz „Hollow-Lens"

Autor konstrukcji od jakiegoś czasu aktywnie pracuje nad swoim nowym pomysłem. Bazuje na swoich doświadczeniach w zakresie systemów rozszerzonej rzeczywistości (AR). W dużym uproszczeniu, system ma być wyświetlaczem zintegrowanym z okularami, który prezentuje obrazy bezpośrednio przed okiem.

Obecnie autor dysponuje tekturowym prototypem, schematami i zebraną połową części kolejnego prototypu. Całość bazuje na przezroczystym wyświetlaczu OLED sterowanym przez SPI lub I²C.

„Zdałem sobie sprawę, że po raz pierwszy w naszej historii pojawiły się tanie i dostępne przezroczyste wyświetlacze, które można zastosować do różnych celów. Zawsze chciałem skonstruować futurystyczne inteligentne okulary (...) i wydawało mi się, że jest to najłatwiejszy sposób na zrobienie tego. Chociaż ostatecznie potrzebne będą dwa ekrany, zamówiłem na razie jeden do przetestowania", pisze autor. Uruchomienie wstępnego programu testowego działa zgodnie z oczekiwaniami, ale autor napotkał dwa problemy – nie jest możliwe odwrócenie ekranu w prosty sposób na Androidzie. Skrypt nie działa poprawnie po podłączeniu układu do Raspberry Pi poprzez SPI i HDMI. Po drugie, problematyczna pozostaje optyka, ponieważ umieszczenie ekranu przed okiem – jak szkło okularów, sprawia, że widziany obraz będzie rozmazany. Rozwiązanie tego problemu nie jest oczywiste, ponieważ dodanie najprostszej soczewki, która wyostrzyłaby obraz z ekranu, sprawi, że wszystko inne przestanie być ostre.

Autor opracował dwie techniki rozwiązania problemu nieostrości obrazu bez zniekształcania widoczności dalej. Pierwszym pomysłem jest umieszczenie wyświetlacza na końcu specjalnie ukształtowanego peryskopu, który zasadniczo działa, ale może wymagać dodatkowych luster. Drugim pomysłem było całkowite porzucenie przezroczystego OLED i użycie zupełnie innej technologii – wyświetleniu obrazu na szklanej tafli, która jest ustawiona pod kątem 45 stopni względem osi wzroku. Tak działają m.in. telepromptery, które wyświetlają tekst w osi patrzenia kamery, dzięki czemu aktorzy czy prezenterzy mogą czytać tekst bez konieczności odrywania oczu od kamery. Obecnie autor próbuje zweryfikować swoje pomysły w praktyce i zminiaturyzować urządzenie tak, aby realnie dało się nosić.

https://bit.ly/3FvFXlK

eprasa.pl 5d23d6856a

Podstawowe parametry:

- wykrywanie działania urządzenia poprzez detekcję przepływu prądu przemiennego,
- regulowany próg detekcji umożliwia pominięcie prądu spoczynkowego,
- pełna izolacja galwaniczna od kontrolowanego obwodu,
- wyświetlanie godzin, minut i sekund,
- sygnalizacja przepełnienia po upływie 10 000 godzin,
- kompaktowa, zwarta budowa,
- zapamiętywanie wskazań po zaniku zasilania,
- wygodne zerowanie przy użyciu jednego przycisku,
- zasilanie napięciem stałym 12...36 V lub przemiennym 9...24 V.

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

AVT5875	Licznik czasu z czujnikiem odbiciowym (EP 8/2021)	AVT5475	Licznik czasu pracy (EP 11/2014)
AVT5853	Energooszczędny czujnik odbiciowy (EP 4/2021)	AVT1740	Zbliżeniowy włącznik oświetlenia (EP 5/2013)
Projekt 237	Wyłącznik taśmy LED – bariera podczerwieni (EP 12/2018)	AVT1711	Włącznik zbliżeniowy (EP 10/2012)
AVT5548	Licznik czasu pracy wyzwalany za pomocą przepływu prądu (EP 9/2016)	AVT1690	Włącznik zbliżeniowy (EP 8/2012)
AVT1852	Optoelektroniczny czujnik zbliżeniowy (EP 5/2015)	AVT1531	Zbliżeniowy włącznik refleksyjny (EP 8/2009)
		AVT1396	Czujnik zbliżeniowy (EP 8/2004)
		AVT2641	Radar IRED (EdW 9/2002)
		AVT1348	Przełącznik zbliżeniowy (EP 8/2002)
		AVT3009	Licznik czasu (EdW 10/2001)

W ofercie AVT*

AVT5920

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

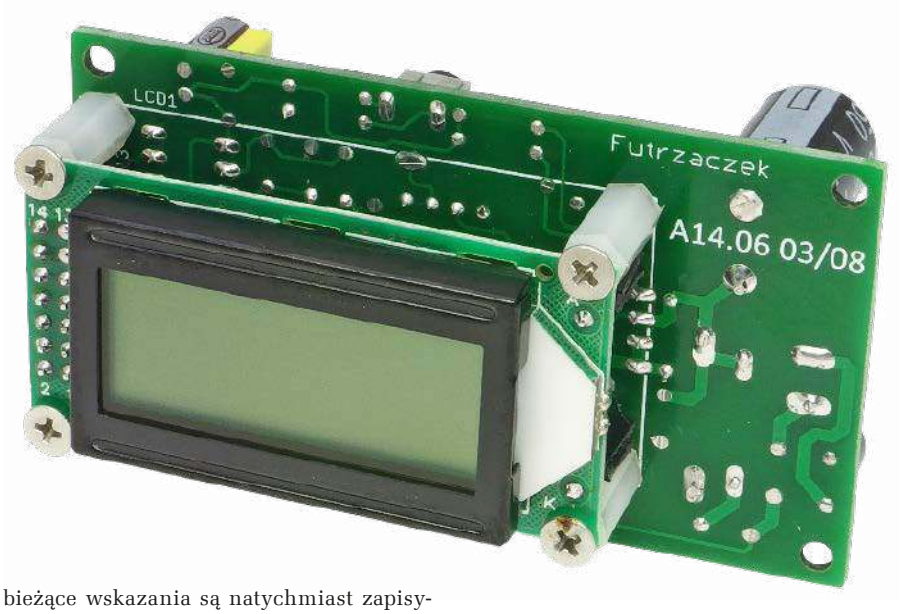
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

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

Licznik czasu pracy z wyświetlaczem LCD

Czas pracy danego urządzenia to istotne kryterium oceny jego stanu technicznego. Okresowy przegląd urządzeń w zakładzie produkcyjnym pozwala na uniknięcie wielu poważnych awarii, których skutki mogłyby zatrzymać całe przedsiębiorstwo na wiele tygodni. Przedstawiony układ w wygodny sposób wyświetla liczbę godzin, minut i sekund od ostatniej wizyty technika sprawującego nadzór nad jego funkcjonowaniem.



Wiele urządzeń pracujących w przemyśle wymaga okresowej wymiany niektórych podzespołów lub chociaż dokonania ich oględzin. Bez tego można utracić gwarancję producenta, a nawet narazić się na awarię maszyny, która uniemożliwi dalszą pracę zakładu. Dlatego warto w porę zapobiegać takim zdarzeniom.

W jaki sposób możemy dowiedzieć się, ile czasu dana maszyna przepracowała od ostatniej kontroli? Jeżeli ma wbudowany licznik czasu pracy, sprawa jest trywialna: odczytamy to z wyświetlacza. Jednak takie urządzenie nie zawsze jest montowane przez producenta, dotyczy to zwłaszcza maszyn starszej generacji. Wtedy problem musimy rozwiązać inaczej.

Prezentowane urządzenie wykrywa pracę maszyny poprzez pomiar natężenia prądu płynącego przez jej sieciowy przewód zasilający. Jeżeli jest wyższy od założonego progu, wówczas odliczanie trwa. W razie utraty zasilania bieżące wskazania są natychmiast zapisywane w nieulotnej pamięci, przez co układ może sumować czas pracy z wielu dni, tygodni a nawet miesięcy. Do dyspozycji osoby dokonującej okresowych przeglądów jest niewielki przycisk zerujący aktualne wskazania. Po wykonaniu swoich czynności może ona wyzerować stan licznika, aby odliczanie rozpoczęło się na nowo.

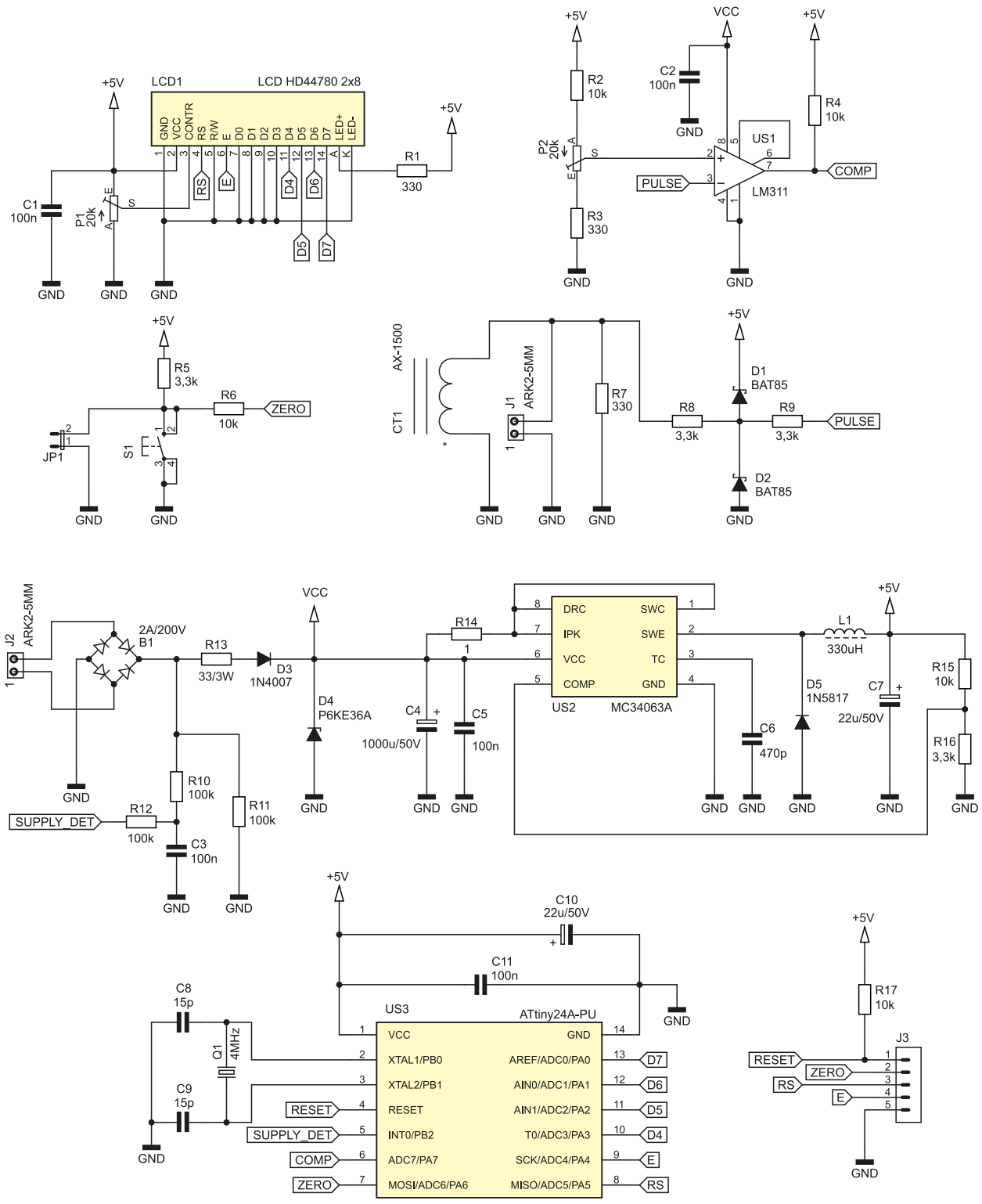
Układ odmierza godziny, minuty i sekundy z rozdzielczością 1 s, więc się sprawdzi nawet w tych urządzeniach, które wymagają stosunkowo częstych przeglądów. Z kolei maksymalna pojemność licznika to aż 10 000 h (ponad rok), więc można je zastosować również do nadzoru czasu pracy tych maszyn, które wymagają kontroli znacznie rzadziej.

Wykrywanie działania maszyny poprzez kontrolę pobieranego przez nią prądu jest rozwiązaniem relatywnie łatwym do zrealizowania. Ma jednak pewną wadę: pewien prąd spoczynkowy może niepotrzebnie wzbudzać licznik. Na przykład prąd jałowy transformatora spawarki jest pobierany przez cały czas, a samo spawanie trwa znacznie krócej. Dlatego układ ma regulację minimalnego prądu pobieranego przez obciążenie, aby mógł ignorować stan jałowy urządzenia.

Budowa i działanie

Schemat ideowy licznika czasu pracy został pokazany na **rysunku 1**. Głównym elementem realizującym podstawowe funkcje układu jest mikrokontroler US3 typu ATtiny24A. Jest taktowany sygnałem zegarowym o częstotliwości 4 MHz, którego źródłem jest wbudowany generator współpracujący z zewnętrznym

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 1. Schemat ideowy licznika czasu pracy z wyświetlaczem LCD

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

Rezystory: (THT o mocy 0,25 W, jeżeli nie wskazano inaczej)
R1, R3, R7: 330 Ω
R2, R4, R6, R15, R17: 10 kΩ
R5, R8, R9, R16: 3,3 kΩ
R10...R12: 100 kΩ
R13: 33 Ω 3 W
R14: 1 Ω
P1, P2: 20 kΩ montażowe leżące

Kondensatory:
C1...C3, C5, C11: 100 nF raster 5 mm MKT
C4: 1000 µF 50 V raster 5 mm
C6: 470 pF raster 5 mm monolityczny
C7, C10: 22 µF 50 V raster 2,54 mm LowESR
C8, C9: 15 pF raster 5 mm monolityczne

Półprzewodniki:
D1, D2: BAT85
D3: 1N4007
D4: P6KE36A
D5: 1N5817
LCD1: 2×8, zgodny z HD44780 np. LCD2X8 03
US1: LM311 DIP8
US2: MC34063A DIP8
US3: ATtiny24A-PU

Pozostałe:
CT1: AX-1500 (opis w tekście)
J1, J2: ARK2/500
J3: goldpin 5 pin męski 2,54 mm THT
JP1: goldpin 2 pin męski 2,54 mm THT
L1: 330 µH pionowy (9×12) 800 mA
Q1: 4 MHz niski
S1: microswitch 1,5 mm do druku (6×6)
Dwie podstawki DIP8
Jedna podstawka DIP14
Złącze męskie i żeńskie goldpin 2×7 pin 2,54 mm
Dwa złącza męskie i żeńskie goldpin 1 pin 2,54 mm
Cztery tuleje dystansowe gwint wewnętrzny M3 12 mm poliamid
Osiem śrub M3 6 mm

eprasa.pl 5d23d6856a

Tabela 1. Obliczenia dotyczące minimalnej i maksymalnej mocy wykrywanej przez monitorowane urządzenie

Położenie potencjometru P2	Napięcie uzyskiwane z dzielnika P2 + R2 + R3	Wartość szczytowa prądu płynącego przez rezystor obciążający R7	Wartość szczytowa prądu pobieranego przez obciążenie (przekładnia 1500)	Wartość skuteczna prądu pobieranego przez obciążenie (kształt sinusoidalny)	Moc pobierana przez obciążenie (przy zasilaniu napięciem 230 V)
Minimalne	54,4 mV	0,164 mA	246 mA	174 mA	40 W
Maksymalne	3,35 V	10,2 mA	15,3 A	10,8 A	2480 W

rezonatorem kwarcowym. Kondensatory C8 i C9 ułatwiają wzbudzenie drgań rezonatora.

Czytelny wyświetlacz o organizacji 2 wiersze po 8 znaków wystarcza do tego, aby w pełni wyświetlić wszystkie odmierzone wartości. Służy również do wskazania, czy nadzorowane urządzenie w danej chwili pracuje. Komunikacja z mikrokontrolerem zachodzi przy użyciu sześciu linii sygnałowych, co jest charakterystyczne dla kontrolera zgodnego z HD44780. Kontrast ustawia się potencjometrem P1. Natężenie prądu diody podświetlającej ogranicza rezystor R1 – jest ona na tyle jasna, że umożliwia wygodny odczyt, a jednocześnie nie będzie niepotrzebnie raziła wzroku.

Przekładnik prądowy CT1 może być zarówno wlutowany w płytkę, jak i dołączony poprzez zaciski złącza J1. Jego obciążeniem jest rezystor R7. Wprawdzie rezystancja R7 jest większa od maksymalnej, jaką zaleca producent przekładnika (200 Ω), ale niewielka nieliniowość pomiaru nie będzie stanowiła w tym układzie najmniejszego problemu. Chodzi tylko o zgrubne wykrycie przekroczenia progu pobieranego prądu.

Należy uważać również na maksymalny prąd, jaki może płynąć przez przewód przewleczony przez otwór przekładnika, aby nie doszło do spalenia zarówno rezystora R7, jak i samego uzwojenia tego elementu. Przy przekładniku AX-1500, którego przekładnia wynosi 1:1500, i maksymalnej mocy rezystora R7 równej 0,25 W, maksymalna wartość skuteczna prądu pobieranego przez obciążenie wynosi około 41 A. Przy zasilaniu napięciem 230 V przekłada się to na maksymalną moc blisko 9,5 kW. Powyżej tej wartości rezystor R7 może ulec przegrzaniu. Mogą również wystąpić trudności z przewleczeniem odpowiednio grubego przewodu przez otwór w obudowie przekładnika.

Napięcie odkładające się na rezystorze obciążenia jest ograniczane przez diody D1 i D2. Obcinają one dolną połówkę powstałej sinusoidy oraz zapobiegają przekroczeniu wartości chwilowej przez górną, ograniczając ją do około 5,3 V. W ten sposób następny stopień nie zostanie uszkodzony w razie wystąpienia chwilowego udaru prądowego, wywołanego np. zwarciem w nadzorowanym urządzeniu. Rezystor R8 ogranicza prąd tych diod, a R9 zapobiega przepływowi prądu o zbyt dużym natężeniu przez wejście komparatora. Wprawdzie taka sytuacja nie powinna wystąpić w czasie normalnej pracy, lecz chwilowe impulsy prądu o bardzo wysokim natężeniu mogą przebić wstecznie tranzystor wejściowy komparatora, a dokładniej: dolna połówka napięcia, której dioda D2 nie ograniczy w wystarczającym stopniu.

Jako komparator został użyty dobrze znany, poczciwy układ LM311. Wartość chwilowa napięcia z zacisków przekładnika prądowego jest porównywana z wartością stałą, którą zadaje się potencjometrem P2. Wraz z rezystorami R2 i R3 tworzy on dzielnik napięcia zasilającego część cyfrową układu, czyli 5 V. Napięcie wychodzące z tegoż dzielnika może się zmieniać od około 54,4 mV do około 3,35 V. Zakładając zerowy offset napięciowy komparatora, taka sama będzie wartość szczytowa wykrywanego napięcia sinusoidalnego. To przekłada się na próg czułości układu, który można płynnie regulować od 40 W do prawie 2500 W przy zasilaniu maszyny napięciem sinusoidalnie zmiennym o wartości skutecznej 230 V. Szczegóły tych obliczeń zostały zawarte w **tabeli 1**.

Sam komparator jest zasilany ze znacznie wyższego napięcia, aby jego obwód wejściowy mógł pracować w możliwie optymalnych dla niego warunkach. Ponadto nie obciąża w ten sposób sekcji zasilającej część cyfrową. Jego maksymalne napięcie zasilania wynosi aż 36 V. Wyjście typu otwarty kolektor zostało obciążone rezystorem R4, przez co mikrokontroler może reagować na zmieniający się stan logiczny tego wyprowadzenia po przekroczeniu progu detekcji prądu obciążenia.

Mikrokontroler ATtiny24 ma wbudowany komparator, lecz w tym układzie jego użycie było niemożliwe. Liczba wyprowadzeń mikrokontrolera okazała się niewystarczająca, więc zastosowano zewnętrzny komparator, co pozwoliło zaoszczędzić jedno wyprowadzenie układu programowalnego. Alternatywnie można było zastosować układ rozszerzający liczbę wyprowadzeń (na przykład dla wyświetlacza LCD) lub zastosować mikrokontroler z większą liczbą wyprowadzeń. Zdecydowano się na rozwiązanie najtańsze i najprostsze z wymienionych.

Do zerowania wskazań układu służy przycisk S1, który może być zastąpiony przez inny przełącznik monostabilny, podłączony do wyprowadzeń JP1. Rezystor R5 podciąga rozwarty styk do potencjału wysokiego poziomu logicznego w chwili, gdy jest rozwarty. Z kolei rezystor R6 ogranicza prąd płynący przez diody zabezpieczające wejście mikrokontrolera, wbudowane w samą strukturę krzemową układu. Jego rola będzie znacząca w razie wystąpienia zakłóceń elektromagnetycznych lub wyładowań elektrostatycznych w pobliżu przewodów łączących płytkę z przełącznikiem.

Napięcie zasilające powinno być podłączone do zacisków złącza J2. Może być zarówno stałe, jak i przemienne, ponieważ na wejściu znajduje się prostownik mostkowy B1 w układzie Graetza. Rezystor R13 ogranicza prąd ładowania kondensatora wygładzającego tętnienia, przez co włączenie zasilania dla układu licznika czasu pracy nie wiąże się z udarem prądowym oraz nieprzyjemnym iskrzeniem niszczącym styki. Dioda D4 zabezpiecza układ przed nadmiernie wysokim napięciem zasilającym.

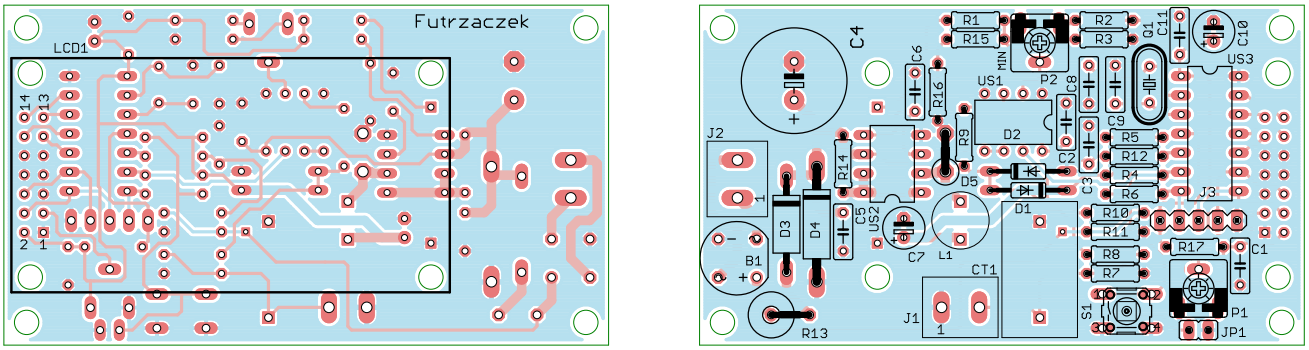
Detekcja obecności zasilania odbywa się poprzez kontrolę potencjału górnej okładki kondensatora C3. Jeżeli jest dostatecznie wysoka, czyli powyżej progu przełączenia wejścia mikrokontrolera, układ traktuje to jako sytuację umożliwiającą prawidłowe działanie układu. Rezystor R12 ogranicza prąd płynący przez to wejście, R11 odpowiada za rozładowanie tego kondensatora po zaniku zasilania, zaś R10 tworzy z C3 filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej leżącej poniżej częstotliwości sieciowej 50 Hz. Wygładza to tętnienia, przez co mikrokontroler dostaje informację w postaci stałego poziomu logicznego.

Jeżeli napięcie zasilające zaniknie, kondensator C3 rozładuje się bardzo szybko, co mikrokontroler wykryje i rozpocznie zapis odliczonej wartości do nieulotnej pamięci EEPROM. Dioda D3 służy do tego, aby prąd nie wypływał z kondensatora wygładzającego C4. W ten sposób informacja o zaniku zasilania zostanie dostarczona możliwie szybko, a sam C4 będzie jeszcze przez chwilę podtrzymywał zasilanie dla układu, co wystarczy do wykonania zapisu.

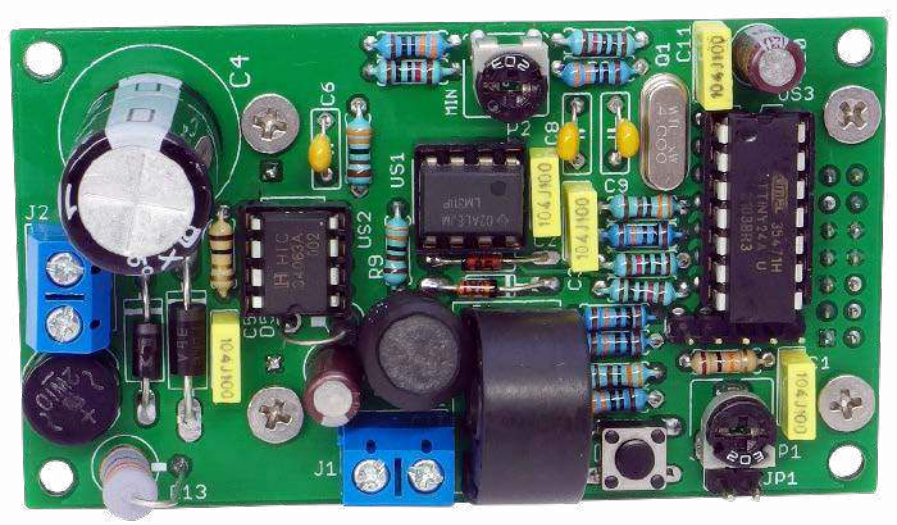
Zakres dopuszczalnych wartości napięcia zasilającego układ jest stosunkowo szeroki, więc do jego obniżenia i ustabilizowania zastosowano przetwornicę impulsową. Bazuje na bardzo prostym układzie MC34063A, który został tutaj użyty w swojej podstawowej topologii przetwornicy obniżającej napięcie (buck). Jak okaże się później, ma to również pozytywny wpływ na natężenie pobieranego prądu zasilania.

Programowanie mikrokontrolera może się odbyć zarówno po wyjęciu

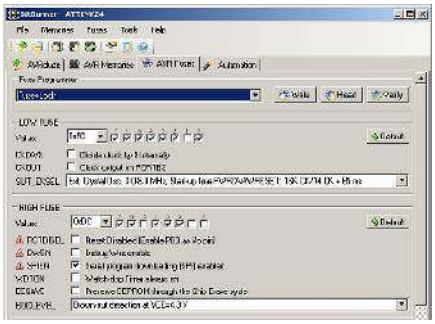
eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 2. Schemat płytki PCB



Fotografia 1. Wygląd zmontowanego układu od strony elementów



Rysunek 3. Szczegóły ustawienia bitów zabezpieczających

go z układu (w podstawce programatora układów AVR), jak i poprzez złącze J3. Na jego wyprowadzenia są dołączone wszystkie te linie mikrokontrolera, które są wymagane przez programator ISP. Niektóre są współdzielone przez wyświetlacz, lecz nie ma to wpływu na proces programowania.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 80×45 mm. Jej schemat został pokazany na rysunku **rysunek 2**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm. Montaż proponuję rozpocząć od elementów o najmniejszej wysokości obudowy, czyli rezystorów i niektórych diod. Wszystkie te podzespoły, poza wyświetlaczem LCD, są montowane na tylnej stronie płytki. Pod układy scalone proponuję zastosować podstawki, aby można było je łatwo wymienić w razie awarii. Dioda D5 i rezystor R13 są montowane w pionie, przy czym D5 jest skierowana anodą w stronę masy, czyli katodą w stronę okręgu narysowanego wokół jednego z jej pól lutowniczych na płytce.

Elementy są upakowane dosyć gęsto, dlatego polecam zwrócić szczególną uwagę na kolejność ich montażu. Pominięcie któregokolwiek niższego podzespołu może spowodować utrudniony dostęp do niego na dalszym etapie montażu. Cała zmontowana płytka została pokazana od strony spodniej na **fotografii 1.**

Przekładnik CT1 może być zarówno wlutowany w płytkę, jak i podłączony na przewodach. Można też użyć innego modelu przekładnika, o mniejszej przekładni (np. AX-0750) do detekcji mniejszego prądu lub o większej, jeżeli urządzenie pobiera znacznie większą moc z sieci. Ważne jest jedynie, aby wartość skuteczna prądu płynącego przez R7 nie przekraczała wartości 27 mA. W przypadku układów trójfazowych powinien wystarczyć pomiar prądu jednej fazy. Ma to zastosowanie zwłaszcza w przypadku obciążeń symetrycznych, jak silniki i transformatory.

Wyświetlacz LCD powinien być przykręcony do płytki przy użyciu tulei dystansowych. Wysokość złączy typu goldpin wynosi około 11 mm, zaś najpopularniejsze tuleje mają 12 mm długości. Z tego względu zalecam włożenie złączy w wyświetlacz i płytkę drukowaną, skręcenie ich śrubami M3 i tulejami, a dopiero potem przylutowanie. W ten sposób część męska i żeńska złącza będą wsadzone jedna w drugą bez żadnych przerw – co najwyżej jedna z nich będzie przylutowana w niewielkiej odległości od powierzchni laminatu, co w niczym nie przeszkadza. Wyprowadzenia podświetlenia znajdują się w innych miejscach

REKLAMA



eprasa.pl 5d23d6856a

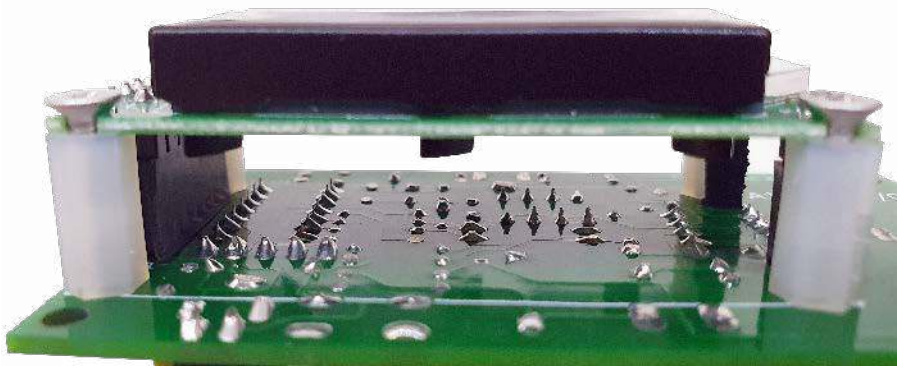
niż wyprowadzenia sygnałowe i zasilające. Je również polecam połączyć z płytką przy użyciu złączy typu goldpin (wystarczy po jednym pinie), gdyż wtedy mamy w pełni wyjmowalny wyświetlacz. Szczegóły montażu wyświetlacza zostały pokazane na **fotografii 2**.

Na etapie uruchamiania konieczne jest zaprogramowanie pamięci Flash mikrokontrolera dostarczonym wsadem oraz zmiana jego bitów zabezpieczających. Ich nowe wartości to:

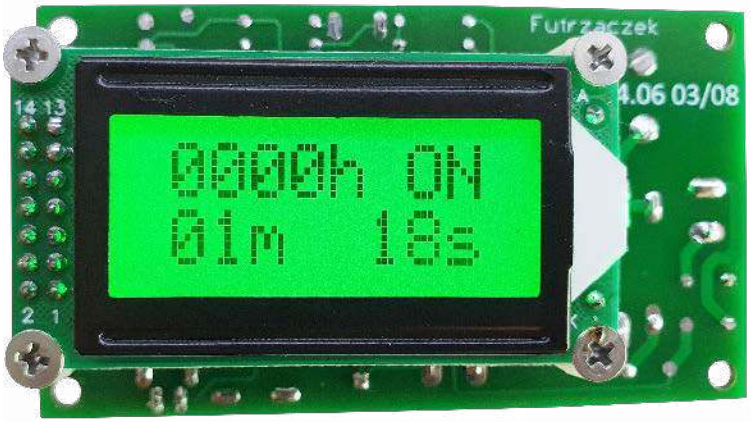
```
Low Fuse = 0xFD
High Fuse = 0xDC
```

Pełna konfiguracja została pokazana na **rysunku 3**, który zawiera okno konfiguracji bitów programu BitBurner. W ten sposób zostanie uruchomiony generator dla rezonatora kwarcowego oraz Brown-Out Detector, który wprowadzi mikrokontroler w stan zerowania, jeżeli napięcie zasilające spadnie poniżej 4,3 V. To znacznie zmniejsza ryzyko zawieszenia się układu podczas uruchamiania.

Ostatnią czynnością uruchomieniową jest ustawienie potencjometrów P1 i P2. Prawidłowy kontrast wyświetlacza można ustawić przy użyciu P1, a P2 służy do regulacji progu czułości układu – o czym dalej.



Fotografia 2. Szczegóły montażu wyświetlacza LCD



Fotografia 3. Wygląd ekranu wyświetlacza w czasie pracy

Eksploatacja

Napięcie zasilające układ może wynosić 12…36 V w przypadku napięcia stałego oraz 9…24 V (wartość skuteczna) dla napięcia sinusoidalnie zmiennego. Chodzi o to, aby jego wartość szczytowa nie przekraczała 36 V, ponieważ jest to napięcie progowe otwarcia diody zabezpieczającej D4. Pobór prądu przez układ licznika czasu pracy jest bardzo niski: około 10 mA dla 12 V DC i około 6 mA dla 36 V DC. Dlatego zaplanowanie dla niego zasilania nie powinno nastręczać trudności. Warto z kolei zadbać o to, aby jego zanik był możliwie szybki – chodzi o to, aby układ wykrył, że zostało ono wyłączone, zanim jego wartość spadnie poniżej progu działania przetwornicy impulsowej.

Ładunek zgromadzony w kondensatorze C4 pozwala nawet na kilkusekundową pracę układu po zaniku zasilania. Jednak w tym czasie układ wykonuje tylko dwie czynności: zapisuje całą odmierzoną ilość czasu do pamięci EEPROM oraz wstrzymuje dalsze działanie. Jeżeli napięcie zasilające powróci, zanim układ się wyłączy, wznowi on swoją pracę.

Widok ekranu wyświetlacza podczas pracy pokazuje **fotografia 3**. Napis ON oznacza, że obciążenie jest włączone, czyli pobiera prąd o natężeniu większym od progowego. Zniknięcie tego napisu powoduje ustanie odliczania. Ustawiając potencjometr P2 w stronę napisu MIN na płytce drukowanej, zmniejszamy próg czułości, czyli minimalne natężenie prądu potrzebne do rozpoczęcia odliczania. Trzeba zatem tak ustawić P2, aby napis ON pojawiał się tylko wtedy, kiedy maszyna faktycznie pracuje.

Zerowanie wskazań może odbyć się w każdym momencie, jednak musi się to odbyć w trakcie normalnej pracy układu – czyli przy obecnym napięciu zasilającym. Wystarczy na chwilę zewrzeć styki przycisku S1. Pamięć również zostaje w tym momencie wyczyszczona.

Odmierzanie i zapamiętywanie czasu odbywa się z rozdzielczością 200 ms. Jeżeli w czasie takiej szczeliny komparator wystawił na swoim wyjściu jakiekolwiek zbocze – opadające lub narastające, układ to zarejestruje i doliczy ten czas. Dla układów zasilanych z sieci 50 Hz te zbocza będą występowały co 10 ms, więc na pewno któreś z nich zostanie zarejestrowane. Dlatego krótkotrwałe impulsy prądowe będą powodowały zwiększenie odmierzonego interwału czasowego o 200 ms, zatem po pięciu takich zdarzeniach układ zwiększy wyświetlaną wartość o jedną sekundę. Warto mieć to na uwadze, jeżeli obciążenie jest włączane sporadycznie na krótki czas. Po przepełnieniu licznika, czyli po odmierzeniu 10 000 h, układ zasygnalizuje to wyświetleniem napisu „OVF!" – *overfull*. Wtedy trzeba go wyzerować, aby wrócił do normalnej pracy.

Michał Kurzela, EP

Chcesz czytać nasze najnowsze artykuły jeszcze przed wydrukowaniem w EP?

Zajrzyj na **www.ep.com.pl/EPwtoku**



eprasa.pl 5d23d6856a

W ofercie AVT*

AVT5903

Podstawowe parametry:

- steruje wyświetlaczem matrycowym zawierającym 256 diod LED typu WS2812,
- wyświetla czas, temperaturę oraz ciśnienie,
- wbudowany budzik, który alarmuje dźwiękiem piania koguta.

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

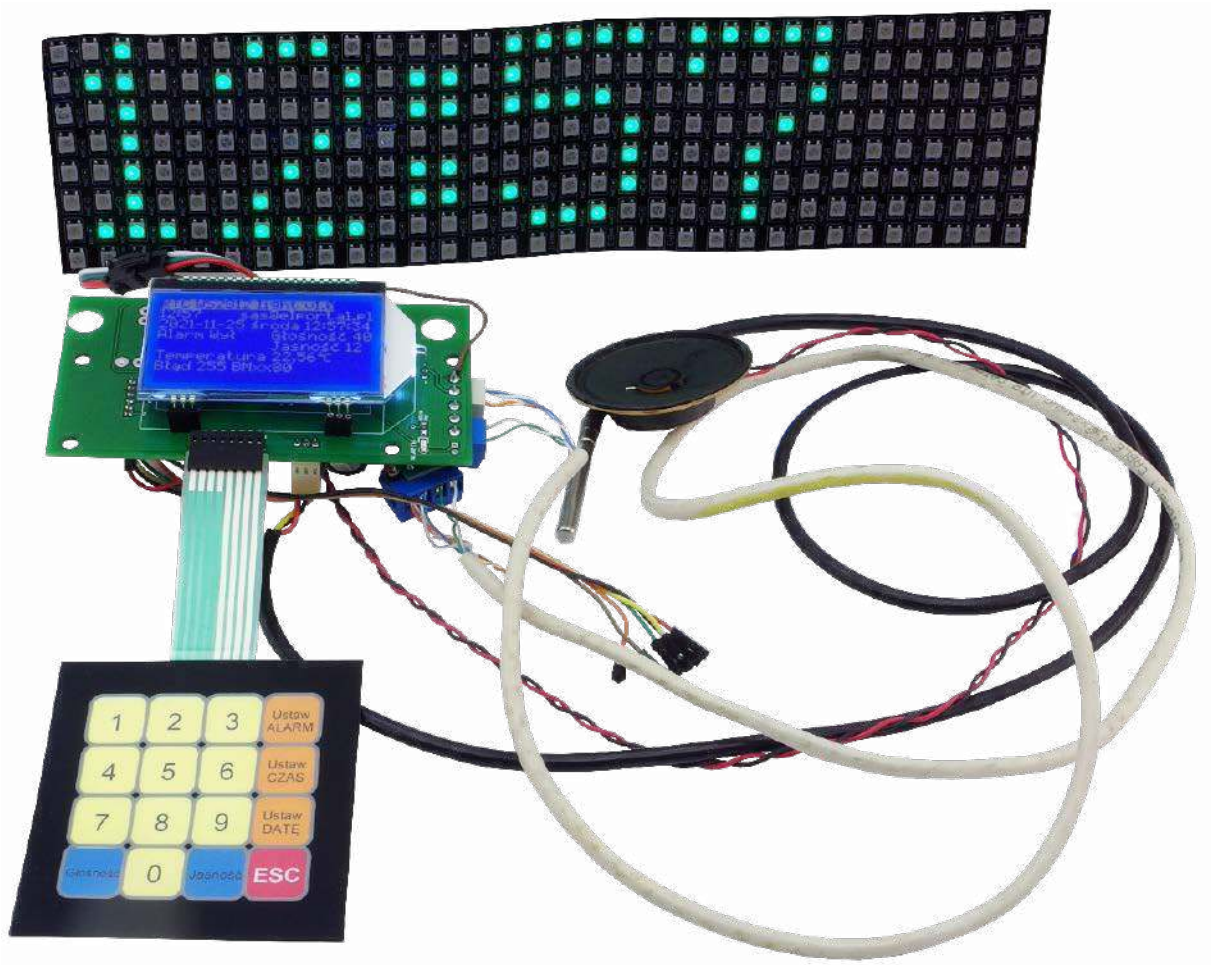
AVT5846	Flames (EP 3/2021)
-	Modułowa matryca LED (EP 4/2019)
AVT5606	Magic Matrix (EP 10–11/2017)
AVT3184	Zegar/termometr z wyświetlaczem matrycowym (EdW 11/2017)
AVT5561	Efektowny sterownik oświetlenia (EP 12/2016)
AVT2784	Zegar matrycowy (EdW 4/2006)

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

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

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

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



Zegar z wyświetlaczem matrycowym na diodach WS2812

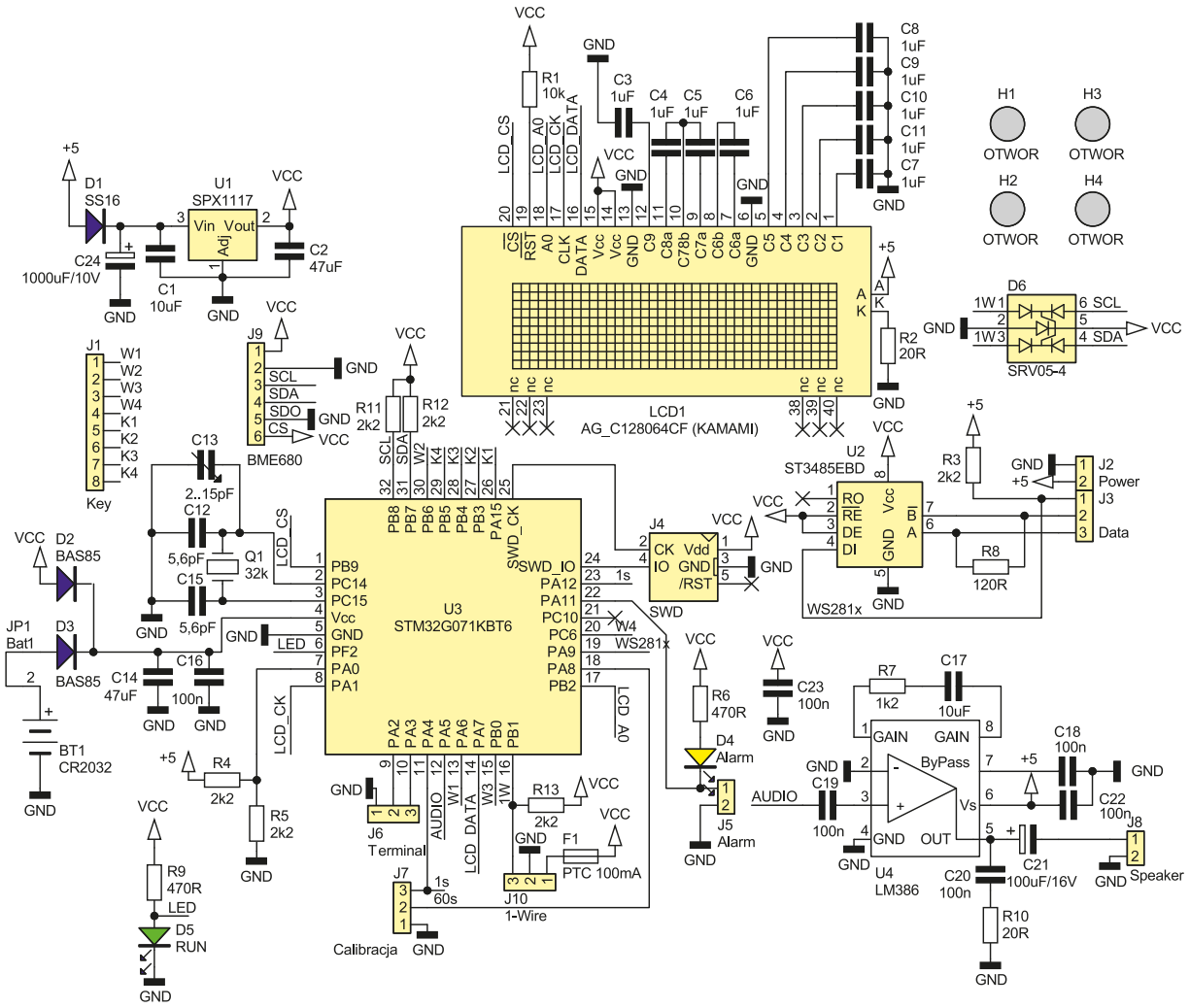
Diody WS2812 zdobyły dużą popularność za sprawą sporych możliwości, prostego interfejsu i niskiej ceny. Zaprezentowany w artykule zegar steruje wyświetlaczem matrycowym zawierającym 256 diod LED tego typu, co umożliwia wyświetlenie 5...6 znaków czcionki o wielkości 5×8 w dowolnym kolorze. Poza wyświetlaniem czasu, zegar pokazuje także temperaturę oraz ciśnienie, a wbudowany budzik alarmuje dźwiękiem… piania koguta.

Konstrukcje podobne do opisanej w tym artykule z pewnością już powstały z zastosowaniem popularnej platformy Arduino. Jednak, aby zrealizować wszystkie funkcjonalności, Arduino wymagałoby kilku modułów rozszerzających, zawierających m.in. układ zegara RTC oraz odtwarzacz plików audio. Podwyższa to cenę urządzenia i zmniejsza jego niezawodność. W zaprezentowanym zegarze zastosowano wysokowydajny mikrokontroler typu STM32G071K z rdzeniem ARM Cortex M0+. Przy cenie ok. 11 zł, poza 128 kB pamięci FLASH i 36 kB pamięci RAM, ma on liczne peryferia w tym RTC, UART (bardzo usprawniający obsługę LED WS2812), SPI (niezbędny do sterowania wyświetlaczem LCD), 12-bit DAC i co ważne – kontroler DMA, który odciąża CPU od czasochłonnych transferów danych.

Budowa i działanie

Schemat zegara został pokazany na **rysunku 1**. Zasilanie układu jest doprowadzane do złącza J2

eprasa.pl 5d23d6856a

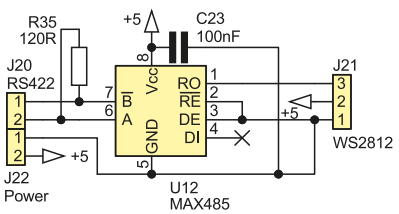


Rysunek 1. Schemat ideowy zegara

i poprzez diodę D1 trafia do wejścia stabilizatora napięcia U1. Mikrokontroler U3 jest zasilany napięciem 3,3 V z wyjścia tego stabilizatora poprzez dodatkową diodę D2. Jest ona niezbędna, ponieważ separuje główne zasilanie 3,3 V od awaryjnego zasilania mikrokontrolera z baterii. Dużo lepszym rozwiązaniem niż połączone D2 i D3 byłby specjalizowany przełącznik zasilania, ale biorąc pod uwagę fakt, że przerwy w zasilaniu będą dla tego układu rzadkie i z baterii zegar będzie korzystał sporadycznie, można pogodzić się z niedoskonałością takiego rozwiązania. Zamiast baterii lepszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie superkondensatora, który bez problemu podtrzyma pracę zegara przez kilka dni.

Wyświetlacz graficzny zastosowany w urządzeniu – LCD1, jest sterowany interfejsem SPI. Sygnał audio z przetwornika DAC jest przekazywany do wzmacniacza mocy U4. Regulacja poziomu dźwięku jest realizowana cyfrowo, dlatego brak jest potencjometru regulacji głośności. Sygnał dla matrycy LED dostarczany jest na wyprowadzenie 1. złącza J3. Rezystor R6 ustala poziom wysoki jako 5 V, co gwarantuje poprawną pracę WS2812 (przy napięciu 5 V wymagają minimum 3,3 V w stanie wysokim). Podciąganie do 5 V jest możliwe, ponieważ wyjście UART pracuje w trybie OD (Open Drain), a GPIO akceptuje napięcie do wartości 5,5 V. Dodatkowo, po konwersji do poziomów RS485/422, sygnał dla WS2812 jest doprowadzony do pinów 2 i 3 złącza J3. Umożliwia to niezawodną transmisję na duże odległości, dzięki czemu układ zegara może być znacznie oddalony od wyświetlacza. Więcej o sposobie sterowania WS2812 można przeczytać w artykule „Sterowanie diod WS2812 poprzez DMX" opublikowanym w EP 4/2021.

Klawiatura matrycowa 4×4 jest podłączona bezpośrednio do portów mikrokontrolera przez złącze J1. Termometr DS18B20 podłączono do złącza J10. Dioda D6 zabezpiecza port mikrokontrolera przed ładunkami elektrostatycznymi podobnie jak sygnały magistrali I²C potrzebne do komunikacji z czujnikiem ciśnienia. Złącze J4 umożliwia zaprogramowanie mikrokontrolera. Opcjonalnie można skorzystać z bootloadera za pośrednictwem interfejsu UART wyprowadzonego na złącze J6.



Rysunek 2. Schemat ideowy dodatkowego interfejsu RS485

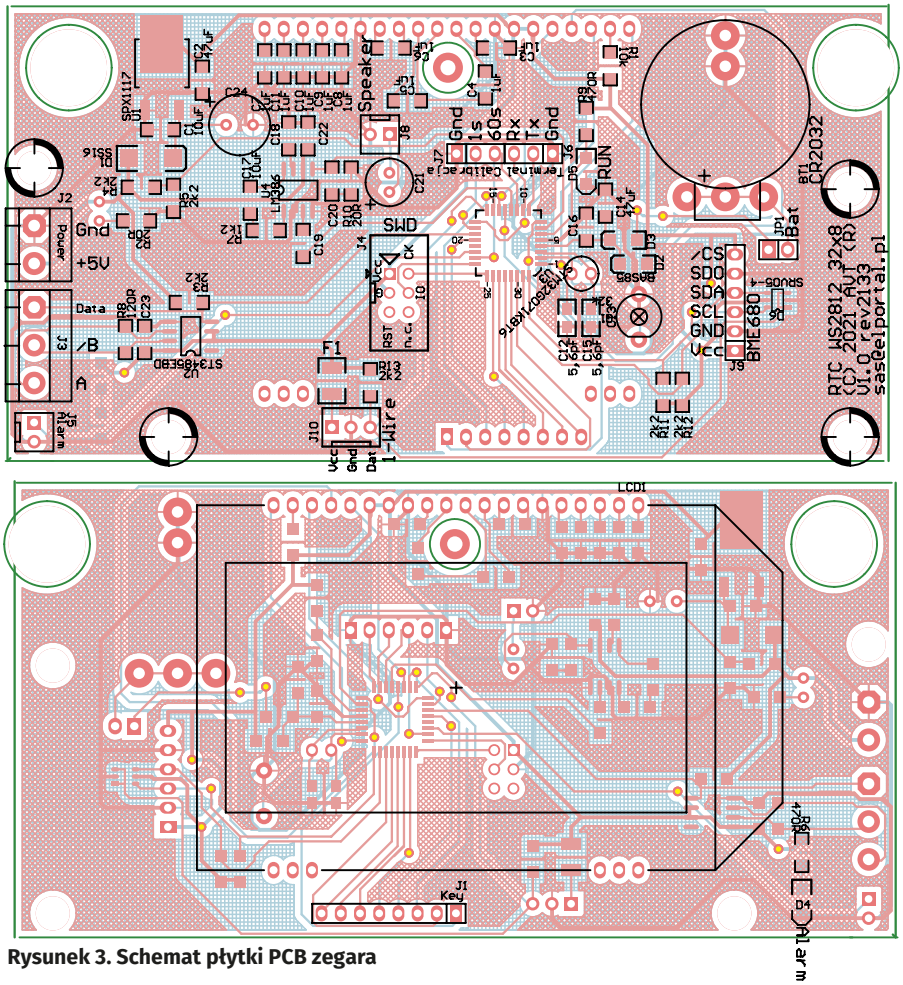
W przypadku wykorzystania do sterowania WS281x sygnału o poziomach RS485/422 wymagany jest prosty układ konwertera na układzie MAX485 pokazany na **rysunku 2**. Płytka PCB konwertera powstała na potrzeby innego projektu, lecz okazała się optymalna do tego zastosowania.

Wyjaśnienia może wymagać rola rezystorów R4, R5. Służą one do wykrycia zaniku zasilania. Jest to konieczne, aby uśpić mikrokontroler, ponieważ nie ma on osobnego wyprowadzenia do zasilania RTC, jak ma to miejsce w mikrokontrolerach o większych obudowach. Gdyby mikrokontroler nie został uśpiony, pobierałby prąd około 50 mA, co szybko wyczerpałoby baterię, o ile w ogóle pozwoliłaby ona na pracę mikrokontrolera, ponieważ CR2032 ma niewielką obciążalność (ma dużą rezystancję wewnętrzną).

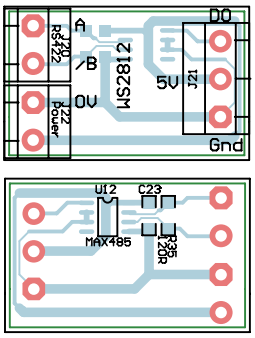
Montaż i uruchomienie

Schemat płytki zegara został pokazany na **rysunku 3**, a dodatkowej płytki z układem dla interfejsu RS485 na **rysunku 4**. Montaż jest typowy i nie wymaga omawiania. Płytka zegara dostosowana jest do umieszczenia w obudowie K-M60.

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 3. Schemat płytki PCB zegara



Rysunek 4. Schemat płytki PCB dodatkowego interfejsu RS485

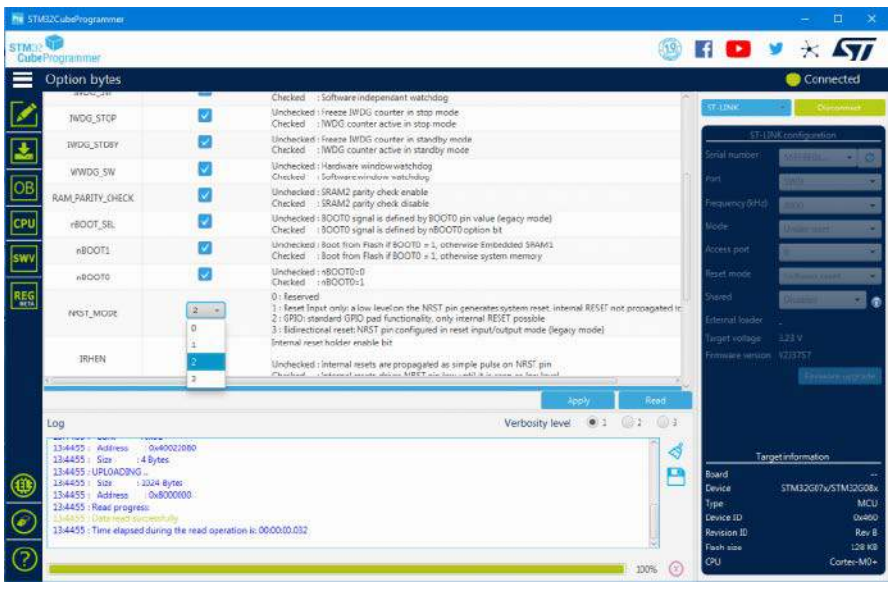


Fotografia 1. Wygląd ekranu głównego

Przed załadowaniem programu do mikrokontrolera warto sprawdzić napięcie zasilania 3,3 V. Po załadowaniu programu należy ustawić bit konfiguracyjny *NRST_MODE* na wartość 2 – tak jak pokazano na **rysunku 5**. Bez tego dioda D5 – *Run*, nie będzie migała. Jeśli program pracuje poprawnie, na wyświetlaczu LCD pojawi się ekran powitalny, a po chwili ekran główny (**fotografia 1**). Dodatkowo na matrycy LED pokaże się godzina, wyświetlana naprzemiennie z datą, temperaturą i ciśnieniem. Jeśli termometr lub czujnik temperatury nie jest podłączony, ich pomiary są pomijane na LED, a na LCD wyświetlany jest komunikat o błędzie.

Przy zastosowaniu sygnałów RS485/422 do połączenia konwertera z wyświetlaczem trzeba mieć na uwadze to, aby przewody sygnałowe były wykonane w postaci skrętki. Może do tego posłużyć np. kabel UTP. W razie wątpliwości, czy przewody sygnałowe zostały podłączone prawidłowo, można sygnał sprawdzić oscyloskopem na płytce układu ze schematu 2. Na wyjściu MAX485 powinny być paczki impulsów o długości niecałych 8 ms w odstępach 100 milisekund. Pomiędzy paczkami powinien występować poziom niski (**rysunek 6**). Jeśli przerwy pomiędzy paczkami mają poziom H, oznacza to, że przewody A i /B są zamienione miejscami. Aby oscylogram był stabilny, warto skorzystać z zaawansowanego wyzwalania długością impulsu.

Przed zakończeniem opisu budowy zegara warto na chwilę zatrzymać się przy obwodzie zasilania awaryjnego. Pierwotnie źródłem tego zasilania miała być bateria CR2032. Jednak lepszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie superkondensatora. Cena takiego rozwiązania jest porównywalna do ceny akumulatora, ale trwałość jest zdecydowanie większa. Proponuję więc, zamiast baterii, zastosować prosty układ pokazany na **rysunku 7**. Świadomie zrezygnowano ze specjalizowanego układu ładowania i kontroli superkondensatora, co pozwala zmontować układ „na pająka" lub na płytce uniwersalnej. Konieczne jest zastosowanie dwóch kondensatorów, ponieważ ich maksymalne napięcie pracy wynosi 2,5...2,7 V. Nie należy stosować



Rysunek 5. Ustawienia fuse bitów



Rysunek 6. Prawidłowy oscylogram na wyjściu interfejsu RS485

eprasa.pl 5d23d6856a

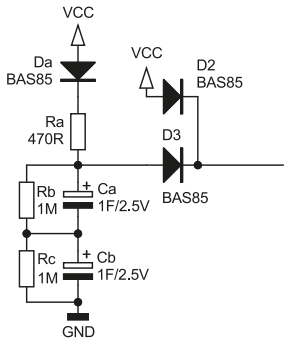
WYKAZ ELEMENTÓW, które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory: (SMD1206)
R1: 10 kΩ
R2, R10: 20 Ω
R7 1,2 kΩ
R3, R4, R5, R11, R12, R13: 2,2 kΩ
R8: 120 Ω
R6, R9: 470 Ω

Kondensatory:
C1, C17: 10 µF SMD1206
C2, C14: 47 µF SMD1206
C3....C11: 1 µF SMD1206
C13: trymer 2...25 pF
C12, C15: 5,6 pF SMD0805
C16, C18, C19, C22, C23, C20: 100 nF SMD1206
C21: 100 µF/16 V elektrolityczny
C24: 1000 µF/10 V elektrolityczny

Pozostałe:
Q1: rezonator kwarcowy 32,768 Hz zegarkowy
F1: bezpiecznik PTC 100 mA SMD1210
BT1: CR2032
J1: goldpin kątowy 1×8
J2: złącze TB-5.0-PP-2P + TB-5.0-PIN24
J3: złącze TB-5.0-PP-3P + TB-5.0-PIN24
J4: złącze T821-1-06-S1
J5: złącze NS25-W2K
J6: złącze NS25-G3
J7: goldpin prosty 1×3
J8: złącze NS25-W2P
J9: gniazdo goldpin 1×6
J10: złącze NS25-W3
JP1: goldpin 1×2 + jumper
Klawiatura: klawiatura typu QW-02 (np.: https://bit.ly/3l8fmD9)

Półprzewodniki:
D1: SS16 (SMD)
D2, D3: BAS85 (SMD)
D4: dioda LED żółta (SMD1206)
D5: dioda LED zielona (SMD1206)
D6: SRV05-4 (SOT-23-6)
U1: SPX1117 (SOT-223)
U2: ST3485EBD (SO-8)
U3: STM32G071KBT6 (TQFP32)
U4: LM386 (SO-8)
LCD1: wyświetlacz AG_
C128064CF (np. https://bit.ly/3HQEV5l)



Rysunek 7. Schemat zastąpienia baterii superkondensatorami

kondensatorów na 5 V, ponieważ charakteryzują się one dużą rezystancją wewnętrzną i nie do końca sprawdzą się w tym zastosowaniu. Superkondensatory (Ca i Cb) mają małą rezystancję wewnętrzną, dlatego rezystor Ra ogranicza ich prąd ładowania. Lepszym rozwiązaniem byłoby źródło prądowe, które szybciej naładowałoby kondensatory, ale w przypadku zegara nie ma to dużego znaczenia, a rozwiązanie z rezystorem jest proste, tanie i niezawodne. Dioda Da zabezpiecza przed przepływem prądu z kondensatorów do obwodów innych niż mikrokontroler. Rezystory Rb i Rc są prostym balancerem, zabezpieczającym superkondensatory przed uszkodzeniem przy zbyt wysokim napięciu powstałym przez nierównomierny rozpływ prądu ładowania. Oczywiście elementy związane z superkondensatorami włączamy zamiast baterii CR2032.

Na koniec warto napisać kilka słów o klawiaturze. Typowe klawiatury z szesnastoma przyciskami mają najczęściej klawisze oznaczone cyframi 0...9, literami A...D oraz znaki # i *. Wykonanie klawiatury na zamówienie to duży koszt, zwłaszcza przy niewielkich ilościach.



Fotografia 2. Wygląd ekranu ustawiania czasu

Na szczęście dostępne są klawiatury, do których można wsunąć dowolny wydruk. Taka klawiatura jest dostępna między innymi w TME: https://bit.ly/3l8fmD9. Wzór rysunku klawiatury znajduje się w materiałach dodatkowych, zarówno w postaci pliku PDF, jak i edytowalnej.

Obsługa zegara

Pierwszą czynnością, jaką należy wykonać po włączeniu zasilania, jest ustawienie zegara. W tym celu należy nacisnąć przycisk *Ustaw CZAS*, po czym wprowadzić godzinę w formacie gg:mm:ss z poprzedzającymi zerami. Wprowadzany czas jest widoczny na wyświetlaczu LCD (**fotografia 2**). Wprowadzanego czasu nie trzeba akceptować żadnym przyciskiem, zostanie on wprowadzony do RTC po wpisaniu jedności sekund. Wprowadzanie można anulować przyciskiem *ESC*. W przypadku złego formatu czasu wyświetlany jest komunikat błędu.

Ustawianie daty realizuje się podobnie jak ustawianie czasu, z tym że należy użyć przycisku *Ustaw DATĘ*, którą wprowadza się w formacie rrrr-mm-dd-t, gdzie t to dzień tygodnia w zakresie 1...7 (1 – poniedziałek). Godzinę alarmu ustawia się po naciśnięciu klawisza *Ustaw ALARM* w formacie gg:mm. Ustawienie alarmu na 00:00 wyłączy go – nie można ustawić alarmu na północ, ale można minutę wcześniej albo później. Po załączeniu alarmu zostanie wygenerowany dźwięk piejącego koguta (https://bit.ly/3l8hM4A). Dodatkowo wyjście PA11 jest zwierane do masy, co powoduje zaświecenie diody D4 – *Alarm*. Maksymalny czas generowania dźwięku jest ograniczony do trzech minut. Można go skrócić, naciskając przycisk *ESC*, co także zdezaktywuje wyjście *Alarm*.

Przycisk *Jasność* pozwala na ustawienie jasności wyświetlacza LED w zakresie 1...99. Głośność alarmu i dźwięków generowanych podczas naciskania klawiszy regulujemy w zakresie 0...99 po naciśnięciu przycisku *Głośność*. Nie zaleca się przekraczania wartości 40...50, bo wzmacniacz będzie przesterowany. Można co prawda uniknąć przesterowania wzmacniacza, ale wymaga to zwiększenia napięcia zasilania, to z kolei wymaga modyfikacji wartości R3 lub podłączenia go do 3,3 V. Alternatywą jest usunięcie R3 i przełączenie wyjścia UART z trybu OD (Open Drain) na PP (PushPull), ale to wymaga modyfikacji oprogramowania (zainteresowanych proszę o kontakt via e-mail). Przy zwiększeniu napięcia zasilającego należy mieć na uwadze moc wydzielaną w stabilizatorze U1. W przypadku wykorzystania zewnętrznego układu wzmacniacza sygnał można pobrać z C19. Po dostosowaniu go do poziomu wymaganego przez wzmacniacz regulacja głośności będzie działała poprawnie w zakresie 1...99.

Program sterujący

Program, jak praktycznie wszystkie pisane przeze mnie, bazuje na maszynie stanów – nie czeka w pętli na zdarzenie, tylko realizuje przerwania oraz DMA. Dzięki temu nie ma sytuacji, że program czeka na np. naciśnięcie przycisku przez użytkownika, przez co nie realizuje innych zadań, np. odświeżania zawartości wyświetlacza. Daje to wrażenie pracy wielozadaniowej, dlatego należy zadbać, aby poszczególne zadania nie wykonywały się zbyt długo. Gdy o to nie zadbany, program może mieć „czkawkę". Takich problemów nie mają systemy czasu rzeczywistego – RTOS, ale powodują inne, przez co napisanie dobrego, dużego programu dla RTOS nie jest łatwe. Osobiście sięgam po RTOS, gdy muszę równocześnie realizować czasochłonne zadania, które ciężko zrealizować tylko na przerwaniach czy przez maszynę stanu, jak równoczesna obsługa systemu plików i innego czasochłonnego zadania. Jest to możliwe bez RTOS, ale wymagałoby przepisania kodu systemu plików, co jest zadaniem niebanalnym.

W przypadku zegara najdłuższe zadanie to obsługa LCD, która nie została napisana z wykorzystaniem przerwań i DMA, przez co zajmuje kilkanaście milisekund. Można by pokusić się o modyfikację procedur transferu do LCD, ale w wypadku zegara nie ma to większego sensu. Wielu początkujących programistów, zwłaszcza na platformy Arduino, może zastanawiać się, jak zrealizowano odczyt temperatury tak, aby nie zawieszać głównej pętli programu na około 700 ms. Jest to możliwe, realizując obsługę termometru z użyciem przerwań, ale w przypadku termometru skorzystano z prostszego rozwiązania, zamiast realizować odczyt w tradycyjny sposób. Cały proces przebiega tak:

eprasa.pl 5d23d6856a

1. Uruchomienie konwersji;
2. Odczekanie czasu konwersji (dla 12-bitowej rozdzielczości jest to ok. 700 ms);
3. Odczyt temperatury.

Postąpiono inaczej:

1. Odczyt temperatury (pierwszy jest błędny, dlatego jest ignorowany);
2. Uruchomienie konwersji.

Po tych operacjach mikrokontroler realizuje inne zadania i dopiero gdy timer odliczy czas potrzebny na konwersję, realizowany będzie odczyt i uruchomienie kolejnej konwersji. Dzięki temu operacje na 1-Wire trwają maksymalnie 4 ms (odczyt danych z termometru razem z CRC). Wartość CRC jest konieczna do wyeliminowania wszelkich błędów w działaniu i uszkodzeń w obwodzie czujnika temperatury.

Zegar nie ma potencjometru regulacji głośności, czy to tradycyjnego, czy też elektronicznego. Regulację głośności zrealizowano w dosyć prosty, cyfrowy sposób. Każdą próbkę dźwięku mnoży się przez wartość głośności w zakresie 1...255, po czym wynik należy podzielić przez 256. Aby uniknąć niepotrzebnej i czasochłonnej operacji dzielenia, wynik mnożenia przez 1...255 jest przesuwany w prawo o 8 bitów, co odpowiada dzieleniu przez 256. Kod regulacji głośności wykonywany w przerwaniu został pokazany na **listingu 1**. Należy też mieć na uwadze fakt, że cyfrowa regulacja, przy małych poziomach sygnału, zmniejsza rozdzielczość próbek dźwięku, a co za tym idzie jego jakość. Jednak zegarek to nie sprzęt Hi-Fi i nie stanowi to problemu.

Listing 1. Kod procedury regulacji głośności wykonywanej w przerwaniu

```
void irqDac(){
    uint16_t const ofs = 128;
    uint32_t const size = kogut4b_8b_wav_size;
    uint16_t static dana;

    if( pSample++ >=  size-ofs) pSample = 0;
    dana =  kogut4b_8b_wav[ofs+pSample];

    dana *= volume;
    dana >>= 8;          // dzielenie przez 256
    HAL_DAC_SetValue(&hdac1, DAC_CHANNEL_2, DAC_ALIGN_8B_R, dana );
}
```

W mikrokontrolerze na dźwięk przeznaczone jest blisko 70 kB (program zajmuje blisko 60 kB), co pozwala na odtworzenie niecałych dziewięciu sekund nagrania (8 bitów, 8 kHz). W razie konieczności można zwiększyć czas nagrania dwukrotnie, przy okazji zwiększając rozdzielczość do 12-bit. Jest to możliwe po zastosowaniu kompresji ADPCM. Taka kompresja została użyta w AVT5841 (dekoder DCC trakcji i dźwięku do modeli kolejowych) opublikowany w EP 2 i 3/2021.

Jeszcze kilka słów o obsłudze czujnika ciśnienia. Kod jego obsługi został przeniesiony z Arduino i okazało się (jak zwykle), że ma poważne błędy i niedociągnięcia. Nadużywanie operacji zmiennoprzecinkowych pominę, bo to już norma w bibliotekach dla Arduino, ale skupię się na innym problemie. W przypadku, gdy brakuje czujnika ciśnienia lub termometru, zegar pomija wyświetlanie tych parametrów na wyświetlaczu. Niestety okazało się, że w przypadku braku czujnika ciśnienia program zawiesza się w trakcie inicjalizacji czujnika i następuje restart CPU przez układ watchdog. Po analizie kodu funkcji *BMP280_Init* w oczy rzuca się taki oto fragment programu:

```
while(BMP280_Read8(BMP280_
CHIPID) != 0x58);
```

Jak widać, to wieczna pętla, dopóki czujnik nie zwróci poprawnej wartości.

W przypadku zainteresowania zaawansowaną wersją zegara (https://bit.ly/3nREdgg) proszę o kontakt via e-mail.

Sas
sas@elportal.pl

- Opis sterownika diod WS2812 poprzez DMX opublikowanego w EP 4/2021 jest dostępny na: https://bit.ly/3r6efHO
- Opis dekodera DCC opublikowanego w EP 2/2021 i EP 3/2021 jest dostępny na: https://bit.ly/32mtbqP i na: https://bit.ly/3DVO0Hz

REKLAMA



eprasa.pl 5d23d6856a

Podstawowe parametry:

- 4 niezależnie sterowane wyjścia RGB z wyjściami o prądzie 40 mA (z możliwością zmiany),
- kontrolowany za pomocą aplikacji na system Android lub za pomocą przycisków microswitch,
- może być używany w samochodzie lub jako kontroler oświetlenia LED w domu,
- sterownik można zasilać napięciem 12 V lub 5 V.

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

AVT5880	Sterownik 12×LED z interfejsem I²C (EP 8/2021)
----	Sterownik LED RGB z układem AL1783 sterowany przez I²C (EP 6/2021)
AVT5857	Liniowy sterownik LED 3 W (EP 4/2021)
AVT5839	Minimoduły z driverem I²C do taśm LED RGBW (EP 1/2021)
AVT5815	Sterownik taśmy LED przez DMX (EP 10/2020)
AVT5789	Sterownik płynnego rozjaśniania i wygaszania oświetlenia LED z czujnikiem zbliżeniowym (EP 8/2020)
AVT5788	Sterownik płynnego rozjaśniania i wygaszania oświetlenia LED sterowany włącznikiem (EP 8/2020)
AVT5784	Wolnozmienny sterownik taśmy RGB (EP 8/2020)
AVT5733	Programowany sterownik LED dużej mocy (EP 12/2019)
AVT5706	Sterownik płynnego rozjaśniania i wygaszania oświetlenia LED (EP 8/2019)
Projekt 237	Wyłącznik taśmy LED – bariera podczerwieni (EP 12/2018)
AVT1996	Bedlight – sterownik oświetlenia nocnego z czujką ruchu (EP 8/2018)
AVT1975	Powolny rozjaśniacz do taśm LED 12 V (EP 7/2017)
AVT5561	Efektowny sterownik oświetlenia (EP 12/2016)
AVT5536	Sterownik taśmy LED ze zdalnym sterowaniem (EP 4/2016)
AVT1881	Programowany sterownik LED (EP 8/2015)
AVT1867	Sterownik zasilania taśm LED z wyłącznikiem czasowym (EP 8/2015)
AVT3133	Sterownik oświetlenia LED sterowany dowolnym pilotem (EdW 4/2015)
AVT5487	PWMLEDz: 10-kanałowy sterownik taśm LED z interfejsem Modbus lub SPPoB (EP 1/2015)
AVT1800	LED Dimmer – regulator oświetlenia LED (EP 5/2014)
AVT1669	Sterownik oświetlenia LED wewnątrz szafy (EP 3/2012)

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

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

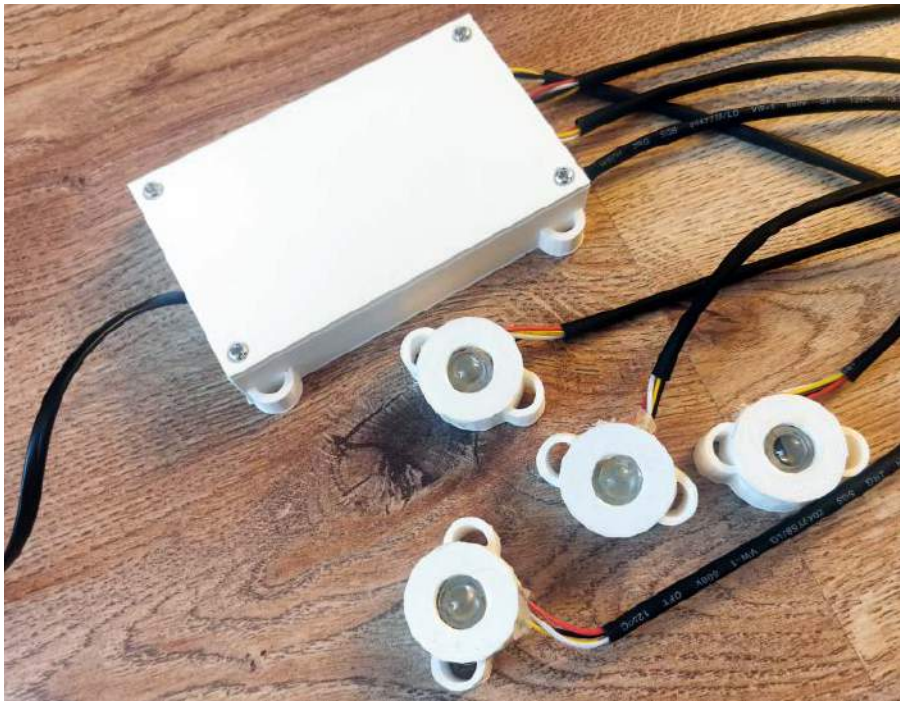
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! – http://sklep.avt.pl.

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

Ambient LED controler

sterownik diod LED RGB, kontrolowany poprzez aplikację Bluetooth

Zaprezentowany sterownik oświetlenia LED RGB jest kontrolowany za pomocą aplikacji na system Android. Powstał dlatego, że chciałem mieć w samochodzie podświetlanie na nogi, niestety w mojej wersji wyposażenia auta oświetlenia takiego nie było. Co prawda dostępne są gotowe sterowniki przeznaczone do tego celu, ale to konstrukcje bardzo słabej jakości i nie potrafiłem się do nich przekonać.



Postanowiłem opracować własny sterownik, który mógłbym podłączyć do gniazda USB lub gniazda zapalniczki, dzięki czemu nie ingerowałbym w instalację elektryczną auta. To bardzo istotne, ponieważ każda ingerencja może spowodować utratę gwarancji, którą objęte jest auto. Urządzenie, które zbudowałem, jest bardzo uniwersalne – nie musi być używane w samochodzie, może być używane jako kontroler oświetlenia LED w domu.

Budowa i działanie

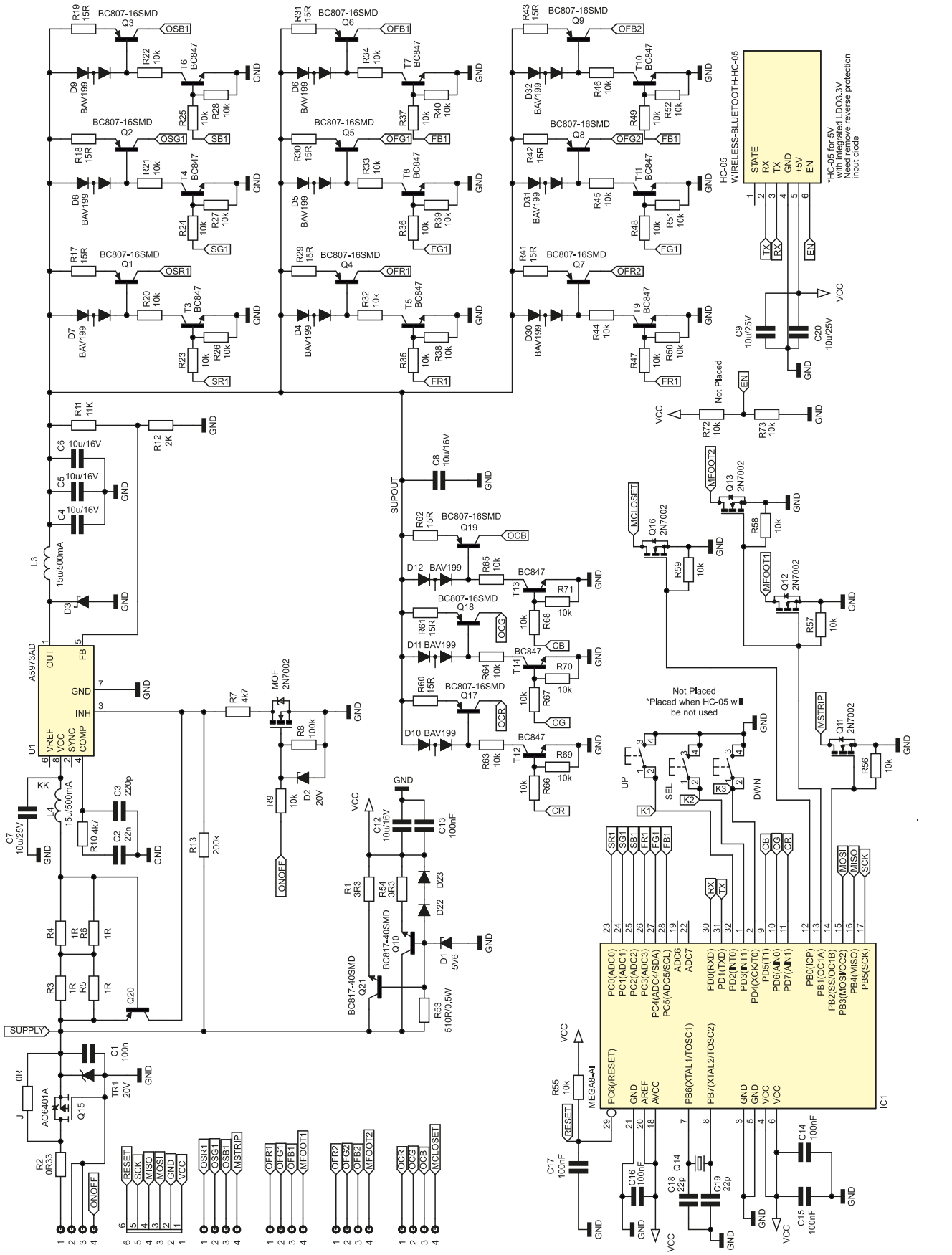
Na **rysunku 1** został pokazany schemat sterownika. Do złącza PWR jest doprowadzone zasilanie. Do pinu 1 należy podłączyć biegun dodatni 5 V lub 12 V, natomiast do pinu 2 lub 3 – masę zasilania. Do pinu 4 należy podać sygnał o wartości 5…12 V w momencie, gdy chcemy, aby nastąpiło uruchomienie sterownika. Pierwszym elementem na linii zasilania jest rezystor R2 zabezpieczający instalację w przypadku wystąpienia zwarcia w sterowniku. Zworki oznaczonej J (0R) nie należy wlutowywać. Za rezystorem R2 został umieszczony tranzystor MOSFET Q15 zabezpieczający cały układ przed podaniem napięcia o odwróconej polaryzacji. Za tranzystorem umieszczono diodę transil TR1 o napięciu zadziałania 20 V, chroniącą układ przed ewentualnymi przepięciami.

Kondensator C1 o niewielkiej pojemności filtruje zakłócenia na linii zasilania. Za kondensatorem znajduje się obwód zabezpieczający przed zwarciem i zbyt dużym poborem prądu przez przetwornicę z układem U1. Obwód składa się z tranzystora Q20 oraz rezystorów R3, R4, R5, R6. W momencie, gdy przetwornica pobiera zbyt duży prąd, tranzystor Q20 podaje napięcie na wyprowadzenie INH, powodując wyłączenie przetwornicy. Podanie napięcia na czwarte wyprowadzenie złącza PWR powoduje załączenie tranzystora i tym samym ustawienie wejścia INH przetwornicy w stanie niskim. Stan niski jest ustalany za pomocą dzielnika R13, R7. Dzielnik został tak dobrany, że jeżeli nie zadziała dioda zabezpieczająca TR1 (np. wskutek uszkodzenia), przetwornica i tak wyłączy się z powodu zbyt wysokiego napięcia na wejściu. Dioda D2 zabezpiecza bramkę tranzystora MOF.

eprasa.pl 5d23d6856a

Tranzystory Q10 i Q21 wraz z diodą D1 oraz rezystorem R53 stanowią układ stabilizacji napięcia potrzebnego do zasilania mikrokontrolera oraz modułu Bluetooth HC-05, który komunikuje się z mikrokontrolerem za pomocą interfejsu UART. Diody D22, D23 wraz z rezystorami R1, R54 stanowią zabezpieczenie przed zwarciem na wyjściu układu, ponadto wspomniane rezystory mają za zadanie wyrównanie prądów płynących przez tranzystory Q10, Q21. Kondensatory C12, C13 filtrują napięcie zasilania do mikrokontrolera oraz modułu Bluetooth.

Przetwornica U1 wraz z dławikiem L3, diodą Schottky'ego D3, kondensatorami C4,



Rysunek 1. Schemat ideowy sterownika

eprasa.pl 5d23d6856a

C5, C6 oraz dzielnikiem R11, R12 stanowi typowy układ przetwornicy typu BUCK. Napięcie wyjściowe przetwornicy zostało ustawione na wartość 8 V za pomocą wspomnianego dzielnika. W momencie, gdy cały układ jest zasilany napięciem niższym, np. 5 V, klucz przetwornicy po prostu się otwiera na stałe. Maksymalna rezystancja otwartego kanału przetwornicy wynosi 0,5 Ω, przez co spadek napięcia na przetwornicy oraz na rezystancji dławika L3 nie będzie duży.

Liczba możliwych do podłączenia szeregowo diod LED na wyjściu kontrolera zależy od jego napięcia zasilania, ale także od danej grupy napięcia przewodzenia użytych diod LED. W przypadku zasilania napięciem 5 V oraz napięcia przewodzenia diody LED równym np. 3,4 V, można podłączyć tylko jedną diodę na dane wyjście, natomiast w przypadku zasilania napięciem 12 V na wyjście należy podłączyć dwie szeregowo podłączone diody LED, aby ograniczyć straty mocy na źródle prądowym.

Wszystkie źródła prądowe służące do podłączenia diod LED mają taką samą budowę, dlatego zostanie opisany tylko jeden tor. Poprzez tranzystor T3, który jest sterowany z mikrokontrolera, następuje uruchomienie źródła prądowego zbudowanego za pomocą tranzystora Q1, diod D7 oraz rezystora R17. Za pomocą tego rezystora można ustawić maksymalny prąd płynący na diodę LED w taki sposób, aby tranzystor źródła prądowego nie uległ zniszczeniu. Przykładowo, jeśli spadek napięcia na tranzystorze źródła prądowego może wynieść maksymalnie 3 V, natomiast maksymalna moc tranzystora w obudowie SOT23 wynosi 0,25 W, nie należy wtedy przekraczać prądu o wartości 83 mA.

Model projektu zasilam z gniazda USB, a do każdego wyjścia jest podłączona jedna dioda LED. Jest to konfiguracja, w której źródło prądowe nie ulegnie uszkodzeniu w przypadku zwarcia jego wyjścia do masy. Powoduje to dodatkową ochronę źródła prądowego przed zwarciem diody LED.

Wartość graniczna prądu wyjściowych źródeł prądowych została ustawiona na wartość około 40 mA. Zalecane jest, aby nie zmieniać tej wartości, natomiast jako tranzystory wyjściowe PNP dobrze jest zastosować BC807-16 (300 mW). Grupa 16 zapewnia minimalne wzmocnienie, ale w przypadku wyboru tej grupy cały układ jest bardziej odporny na zakłócenia. W przypadku braku tranzystorów z grupy 16 można wlutować oczywiście grupę 25 lub 40, które mają większe wzmocnienie. Katody diod LED RGB należy podłączyć do złączy STIP, CLOSET, FOOT1, FOOT2, do których podłączone są tranzystory MOSFET Q11, Q12, Q13, Q16. Tranzystory te są kontrolowane za pomocą programowego sygnału PWM z mikrokontrolera i służą do regulacji mocy diod LED, co pozwala na uzyskanie określonej barwy światła.

Najlepiej jest zastosować diody LED RGB, które dla koloru zielonego, czerwonego i niebieskiego nie mają wspólnej katody, co sprawia, że diody można łączyć szeregowo w łatwy sposób. Ja użyłem diod POWER LED RGB, które mają duży prąd znamionowy oraz zapewniają dużą intensywność światła. Dzięki temu, nawet przy wysterowaniu ich niewielkim prądem, światło jest intensywne (wartość strumienia świetlnego jest proporcjonalna do wartości prądu – stosując takie założenie, otrzymujemy prosty sposób przeliczania wymaganego strumienia świetlnego w zależności od prądu).

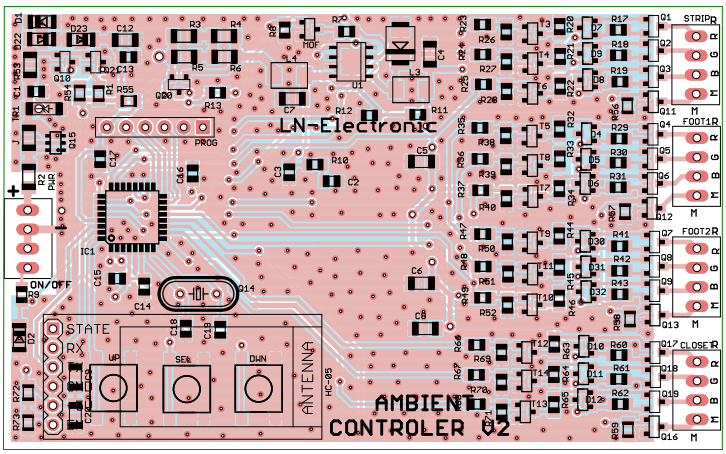
Sterownik z założenia miał pracować w samochodzie, dlatego starałem się, aby wszystkie użyte do jego budowy elementy były kwalifikowane pod AEC. Jako mikrokontroler sterujący został wybrany ATmega48, który jest taktowany za pomocą zewnętrznego rezonatora kwarcowego o częstotliwości 8 MHz. Rezystor R55 oraz kondensator C17 zapewniają właściwe zerowanie sprzętowe. Złącze PROG służy do podłączenia programatora ISP. Do złącza HC-05 należy przylutować moduł Bluetooth, który ma zgodne wyprowadzenia oraz jest umieszczony na fabrycznej podstawce PCB wyposażonej w złącze goldpin. Kontrolerem można też sterować za pomocą przycisków microswitch UP, DWN, SEL.

Moduł Bluetooth HC-05 domyślnie ma ustawioną prędkość UART 9600 bitów na sekundę dlatego mikrokontroler komunikuje się z modułem z taką prędkością. Aby zmienić jakiekolwiek ustawienia modułu, należy podłączyć do niego konwerter USB-UART, a następnie za pomocą komend AT zmienić ustawienia. Zmiana ustawień modułu jest niezalecana.

Montaż i uruchomienie

Płytka PCB jest dwuwarstwowa. Wszystkie elementy zostały rozmieszczone na jednej warstwie (strona TOP), żeby druga warstwa (BOTTOM) mogła być w całości wypełniona polem masy. Taka konstrukcja pomaga w ekranowaniu oraz w zapewnieniu właściwych torów prądów powrotnych, zmniejszając tym samym emisję zakłóceń EMC. Na warstwie TOP, tam gdzie to możliwe, także znajdują się pola masy. Na całej płytce zostały rozmieszczone przelotki, które łączą ze sobą obie warstwy masy, wyrównując ich potencjał. Schemat płytki drukowanej został pokazany na **rysunku 2**.

Montaż należy rozpocząć od przylutowania wszystkich elementów w torze zasilania



Rysunek 2. Schemat płytki PCB sterownika

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

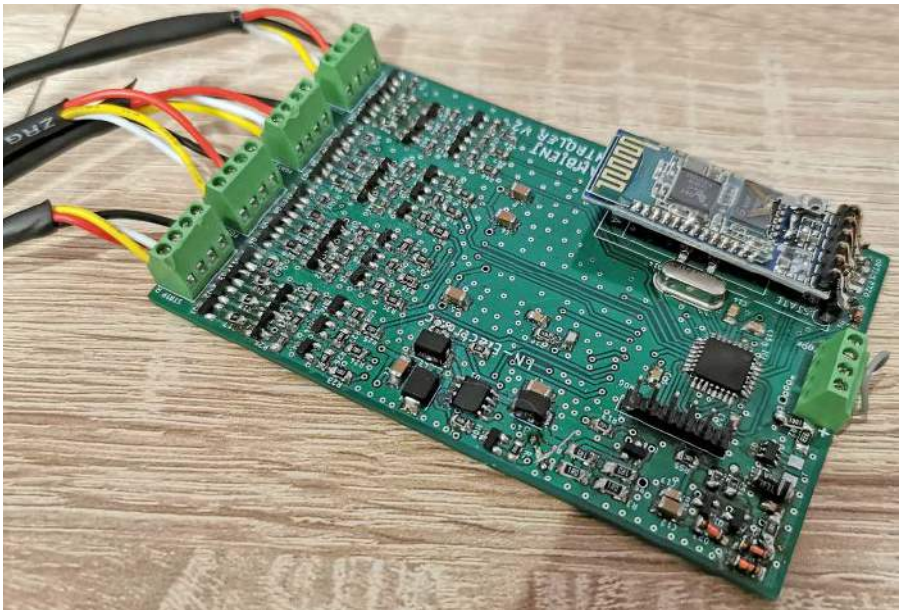
Rezystory:
R1, R54: 3,3 Ω (SMD0805)
R2: 0,33 Ω (SMD1206)
R3...R6: 1 Ω (SMD1206)
R7, R10: 4,7 kΩ (SMD0805)
R8: 100 kΩ (SMD0805)
R9, R20...R28, R32...R40, R44...R52, R63...R68, R70, R71: 10 kΩ (SMD0805)
R11: 11 kΩ (SMD0805)
R12: 2 kΩ (SMD0805)
R13: 200 kΩ (SMD0805)
R17...R19, R29...R31, R41...R43, R60, R61, R62: 15 Ω (SMD0805)
R53: 510 Ω/0,5 W (SMD1206)
R55...R59, R72, R73: 10 kΩ (SMD0805)

Kondensatory:
C1, C13...C17: 100 nF (SMD0805)
C2, C18, C19: 22 nF (SMD0805)
C3: 220 pF (SMD0805)
C4...C6, C8, C12: 10 µF/16 V (SMD1206)
C7, C9, C20: 10 µF/25 V (SMD1206)

Półprzewodniki:
D1: 5,6 V (SOD80C)
D22, D23: (MINIMELF)
D2: 20 V (SOD80C)
D3: (SMB)
D4...D12, D30, D31, D32: BAV199 (SOT23)
TR1: transil 20 V (DO214AC)
Q1...Q9, Q17, Q18, Q19, Q20: BC807-16 (SOT23)
Q10, Q21: BC817-40 (SOT23)
Q14: 8 MHz (HC49/S)
Q15: AO6401A (SC74)
MOF, Q11, Q12, Q13, Q16: 2N7002 (SOT23)
T3...T14: BC847 (SOT23)
IC1: ATmega48-AI (TQFP32-08)
U1: A5973AD (SO8-THERMALPAD)

Pozostałe:
J: 0R (SMD1206)
L3, L4: 15 µH/500 mA (SMD)
CLOSET, FOOT1, FOOT2, PWR, STRIP: złącze ARK254-4
HC-05: WIRELESS-BLUETOOT-C-05 (goldpin 1×5; 2,54)
PROG: GOLDPIN6 (goldpin 1×6)
UP, SEL, DWN: mikroswitch (SMD)

eprasa.pl 5d23d6856a



Fotografia 1. Zmontowana płytka PCB od strony TOP



Fotografia 2. Działanie modelu w docelowym zastosowaniu; wyjście STRIP – kolor czerwony; wyjście FOOT – kolor niebieski



Fotografia 3. Działanie modelu w docelowym zastosowaniu; wyjście STRIP – kolor niebieski; wyjście FOOT – kolor czerwony

(przetwornica oraz stabilizator dyskretny). Następnie należy podłączyć do układu zasilanie 12 V i sprawdzić, czy na wyjściu tranzystora Q10, Q21 jest obecne napięcie 5 V, natomiast na wyjściu przetwornicy jest obecne napięcie 8 V. Jeżeli napięcia są prawidłowe, można przystąpić do przylutowania procesora oraz pozostałych elementów SMD. Na samym końcu można przylutować wszystkie pozostałe elementy przewlekane.

Jeśli zamierzamy zasilać kontroler napięciem 5 V, wtedy należy sprawdzić, czy na podstawce modułu HC-05 nie ma diody prostowniczej na wejściu zasilania, która zabezpiecza moduł przed odwrotnym podłączeniem napięcia. Dioda ta powoduje, że moduł musi być zasilany napięciem nieco wyższym niż 5 V. Dlatego, aby mógł on działać przy zasilaniu 5 V, należy tę diodę wylutować, a pady zewrzeć. Zmontowana płytka od strony TOP została pokazana na **fotografii 1.**

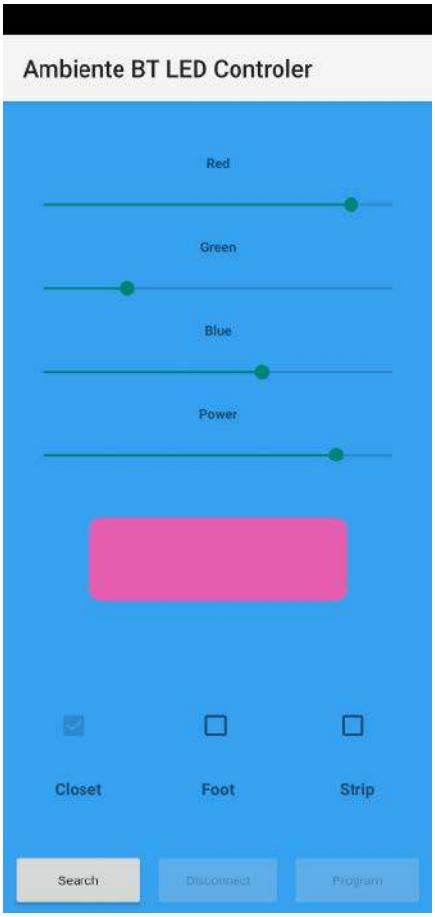
Po zmontowaniu płytki, do złącza PROG należy podłączyć programator i zaprogramować mikrokontroler. Następnie do wyjścia kontrolera należy podłączyć diody LED RGB. Kolejny krokiem jest zainstalowanie aplikacji Ambiente BT LED Controler na urządzeniu z systemem Android np. na smartfonie. Należy pamiętać o załączeniu Bluetooth, lokalizacji i zezwoleniu aplikacji na dostęp do tych modułów. Po tych czynnościach należy podłączyć zasilanie do sterownika, a następnie wyszukać i połączyć się z modułem HC-05 poprzez jego wyszukanie w aplikacji za pomocą przycisku SEARCH. Po tym wszystkim należy sprawdzić, czy wszystkimi kanałami wyjściowymi da się poprawnie sterować.

Dobrą praktyką jest sprawdzenie, czy po załączeniu wszystkich wyjść i ustawieniu ich na maksymalną moc sterownik się nie przegrzeje. Jeśli wszystko działa poprawnie, to należy zamontować sterownik oraz diody LED w obudowie. Przed instalacją sterownika w samochodzienależy pamiętać, że montaż w pojeździe wykonujemy wyłącznie na własną odpowiedzialność oraz że musi być to wykonane przez osobę mającą odpowiednie umiejętności i doświadczenie. Ostatnią ważną informacją jest to, że rozmieszczenie diod LED oraz ich jasność muszą być tak zaplanowane i dobrane, aby nie utrudniały kierowcy widoczności i możliwości prowadzenia auta. Na **fotografiach 2** i **3** pokazano działanie modelu w docelowym zastosowaniu.

Obsługa

Sterowanie układem może się odbywać przez moduł Bluetooth HC-05 lub przez przyciski microswitch. Poprzez naciśniecie przycisku SEL następuje zmiana zaznaczenia wybranego koloru na danym wyjściu sterownika lub zmiana wyjścia sterownika, które będziemy chcieli zmieniać. Po naciśnięciu SEL

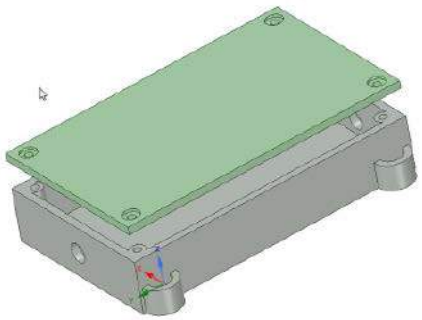
eprasa.pl 5d23d6856a



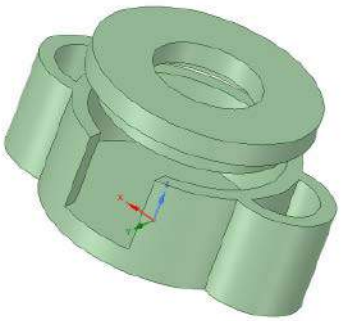
Rysunek 3. Wygląd aplikacji sterującej

następuje zamiganie danego koloru przynależnego do danego wyjścia lub zamiganie wszystkich kolorów dla danego wyjścia w przypadku, gdy chcemy zmienić moc świecenia tego wyjścia. Za pomocą przycisków UP, DWN możemy zmieniać daną wartość. Po około 10 s od ostatniej wprowadzonej zmiany program zapisze wszystkie ustawienia do pamięci EEPROM, dzięki czemu po ponownym uruchomieniu nie trzeba wprowadzać zmian od nowa.

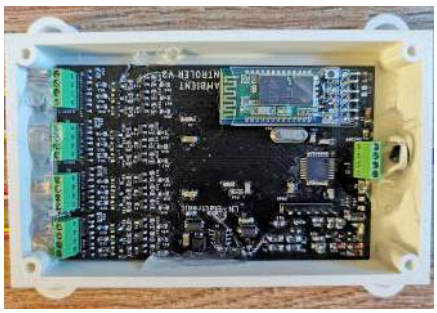
Drugim sposobem zmiany ustawień sterownika jest aplikacja Ambiente BT LED Controler, której wygląd został pokazany na **rysunku 3.** Na samym początku, mając włączoną komunikację Bluetooth oraz lokalizację w telefonie, należy dotknąć przycisku SEARCH w telefonie i wyszukać moduł HC-05



Rysunek 4. Model obudowy sterownika



Rysunek 5. Model obudowy diody LED



Fotografia 4. Wygląd zmontowanej płytki umieszczonej w obudowie



Fotografia 5. Diody LED umieszczone w obudowach

(jeżeli jego nazwa została zmieniona za pomocą komend AT, to należy wyszukać odpowiednią nazwę). Po połączeniu się z modułem HC-05 dostępne stają się przyciski DISCONNECT oraz PROGRAM. Pierwszy z nich służy do rozłączenia się ze sterownikiem, drugi natomiast służy do wysłania do sterownika wszystkich wprowadzonych ustawień. Po wysłaniu ustawień za pomocą przycisku PROGRAM następuje zmienia koloru lub mocy zaznaczonego wyjścia według ustawień, które wprowadziliśmy w aplikacji. Za pomocą trzech suwaków, zmieniamy moc danego koloru. Zmieniając wartości za pomocą wszystkich trzech suwaków jesteśmy w stanie uzyskać dowolny kolor. Podgląd ustawionego koloru oraz moc diod LED jest możliwy za pomocą prostokąta, znajdującego się pod suwakami. Nad przyciskami możemy zaznaczyć wyjście, którego parametry chcemy zmienić. Mając zaznaczone wyjście CLOSET zmieniamy wyjście CLOSET na sterowniku. Mając zaznaczone wyjście STRIP, zmieniamy wyjście STRIP na sterowniku, natomiast gdy mamy zaznaczone wyjście FOOT, wtedy zmieniamy wyjście FOOT1 oraz FOOT2 na sterowniku.

Obudowa

Obudowa sterownika składa się z dwóch części, które zostały wykonane na drukarce 3D. Płytka PCBA została przymocowana do obudowy klejem na gorąco. Pokrywka oraz główna część została przymocowana za pomocą śrubek 3 mm. Model obudowy został pokazany na **rysunku 4**. Na **fotografii 4** znajduje się zamontowana płytka w obudowie.

Obudowa diod LED także została wydrukowana na drukarce 3D. Również składa się ona z dwóch części (**rysunek 5**) – pokrywki, do której można przymocować kolimator oraz dolnej części, do której została przymocowana dioda LED. Część dolną oraz górną należy ze sobą skleić. Model diody LED w obudowie został pokazany na **fotografii 5**.

Krzysztof Miękus
lordwest1989@tlen.pl

REKLAMA

KITy AVT

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

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



AVT1960 - Termometr z termoparą i alarmem
AVT777 - Sterownik miniwiertarki modelarskiej
AVTMOD01 - Uniwersalny regulator impulsowy 5A
AVT5554 - Gra elektroniczna SNAKE
AVT478 - Regulator obrotów wentylatorów 12V
AVT720 - Błękitno-biały mrygacz

Podstawowe parametry:

- moc 2×10 W przy impedancji 8 Ω (4 Ω),
- interfejs I²S oraz I²C,
- zasilanie 9...14 VDC,
- zintegrowany stabilizator o napięciu 5 V i wydajności 2 A do zasilania RPi.

W ofercie AVT*

AVT5913

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

AVT5909	Sterownik czterech mikrosilników dla Pi Zero (EP 12/2021)
AVT5896	Karta sieciowa z PoE dla RPi Zero (EP 10/2021)
AVT5890	Interfejs wyświetlacza TFT RGB dla RPi Zero (EP 9/2021)
AVT5882	Podwójny klucz zasilania High Side (EP 8/2021)
–––	Zasilacz PoE do Raspberry Pi (EP 7/2021)
–––	Cyfrowy wzmacniacz audio w formacie RPi Zero (EP 7/2021)
–––	Moduł DSP Audio do Raspberry Pi (EP 6/2021)
AVT5858	Płytka bazowa dla Raspberry Pi Pico (EP 5/2021)
AVT5851	Dwukanałowy port szeregowy dla Raspberry (EP 3/2021)
AVT5847	Interfejs wyświetlacza TFT-RGB dla RPi Zero (EP 3/2021)
–––	Sterownik 18 LED dla Pi Zero (EP 2/2021)
AVT5837	Moduł do pomiaru napięcia i prądu z interfejsem I²C (EP 1/2021)
AVT5811	Odtwarzacz audio z Raspberry Pi (EP 10-12/2020)
–––	Kieszonkowy Linux (EP 9/2020)
AVT5776	Miniaturowa czujka ruchu dla Raspberry Pi, Arduino i nie tylko (EP 6/2020)
AVT5770	Arduino i nie tylko (EP 5/2020)
AVT5761	Czterokanałowy moduł przekaźnikowy sterowany I²C (EP 4/2020)
Projekt 249	Karta muzyczna dla Raspberry Pi (EP 3/2020)
AVT5739	Zasilacz buforowy z superkondensatorami dla Raspberry Pi (EP 1/2020)
–––	Instalacja zegara czasu rzeczywistego w Raspberry Pi (EP 9/2019)
–––	Domowy serwer Network Attached Storage na Raspberry Pi (EP 9/2019)
–––	Sprzętowy przycisk do wyłączania Raspberry Pi (EP 9/2019)
AVT5689	Budżetowy interfejs USB-I²S (EP 7/2019)
AVT5680	Sensor smogu z technologią Bluetooth Low Energy (EP 4/2019)
–––	Miniaturowy moduł interfejsu RS485 dla Raspberry Pi, launchpadów i nie tylko (EP 11/2018)
–––	Budowa projektora DLP z użyciem Raspberry Pi 3 oraz modułu TI LightCrafter Display 2000 (EP 9/2018)
AVT1989	Miniaturowy driver LED RGBW z interfejsem I²C (EP 8/2018)

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

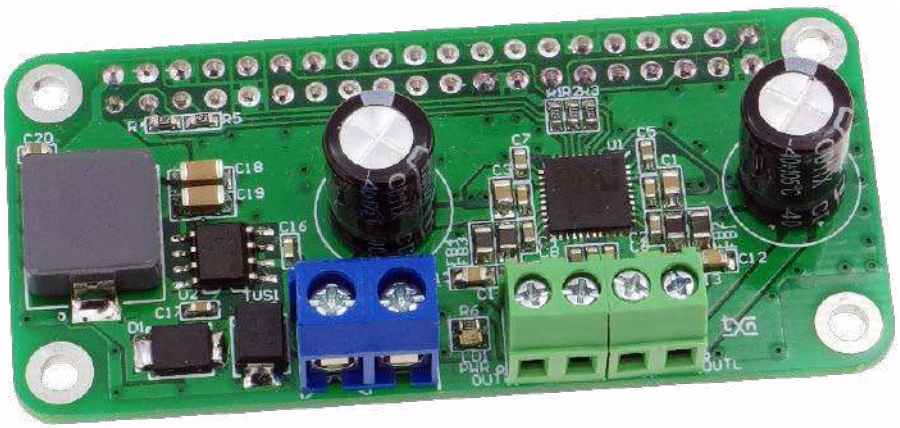
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

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

Cyfrowy wzmacniacz audio 2×10 W w formacie RPi Zero

W artykule zaprezentowano cyfrowy wzmacniacz audio wysokiej jakości, zaprojektowany w taki sposób, aby pasował do formatu płytki Raspberry Pi Zero. Moduł będzie pomocny przy budowaniu aplikacji multimedialnych, takich jak odtwarzacze sieciowe, odbiorniki radia internetowego czy kioski informacyjne. Dzięki zastosowaniu przetwornicy obniżającej finalna aplikacja wymaga tylko jednego zasilania.



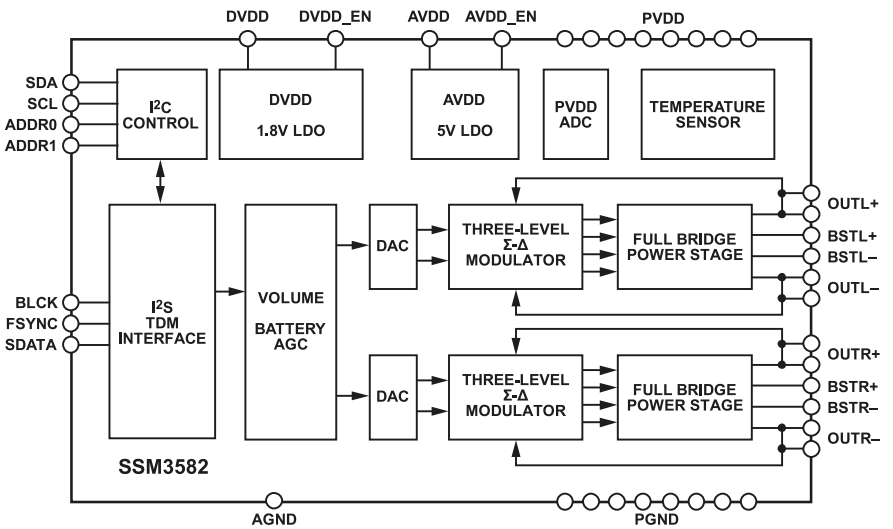
Pomimo niewielkich rozmiarów płytka integruje dwa kanały wzmacniacza o mocy 2×10 W przy 8 Ω i zasilaniu 12 VDC. Dodatkowo zawiera stabilizator impulsowy o napięciu 5 V i wydajności 2 A, który pozwala zasilać Raspberry Pi. Dzięki temu całość wymaga tylko jednego napięcia zasilającego z przedziału 9...14 V, co ułatwia zastosowanie wzmacniacza, także z zasilaniem akumulatorowym lub bateryjnym. Moduł bazuje na układzie SSM3582, którego struktura wewnętrzna została pokazana na **rysunku 1**.

SSM3852 zawiera dwa mostkowe stopnie mocy oraz stereofoniczny przetwornik DAC, współpracujący z magistralą I²S lub TDM. Konfiguracja i monitorowanie stanu układu odbywa się poprzez magistralę I²C, dzięki czemu ułatwione jest zdalne zarządzanie pracą wzmacniacza w aplikacjach sieciowych.

Budowa i działanie

Schemat ideowy modułu został pokazany na **rysunku 2**. Wyjściowy sygnał audio w standardzie I²S (BCLK, LRCK, SDO) ze złącza GPIO Raspberry Pi, poprzez rezystory dopasowujące R1...R3 doprowadzony jest do układu U1. Tam jest konwertowany poprzez wbudowany DAC na sygnał sterujący dwukanałową mostkową końcówką mocy, pracującą w klasie D. Wszystkie parametry interfejsu cyfrowego I²S – regulacja poziomu, wzmocnienie toru audio, ustawienia limitera, konfigurowane są poprzez interfejs I²C. Adres bazowy na magistrali I²C ustalany jest wyprowadzeniami ADR1, ADR0, w układzie jest to 0x10.

Do celów diagnostycznych SSM3582 ma wbudowany czujnik temperatury struktury, monitor napięcia zasilania oraz sygnalizację stanów awaryjnych, dzięki którym



Rysunek 1. Budowa wewnętrzna SSM3582

eprasa.pl 5d23d6856a

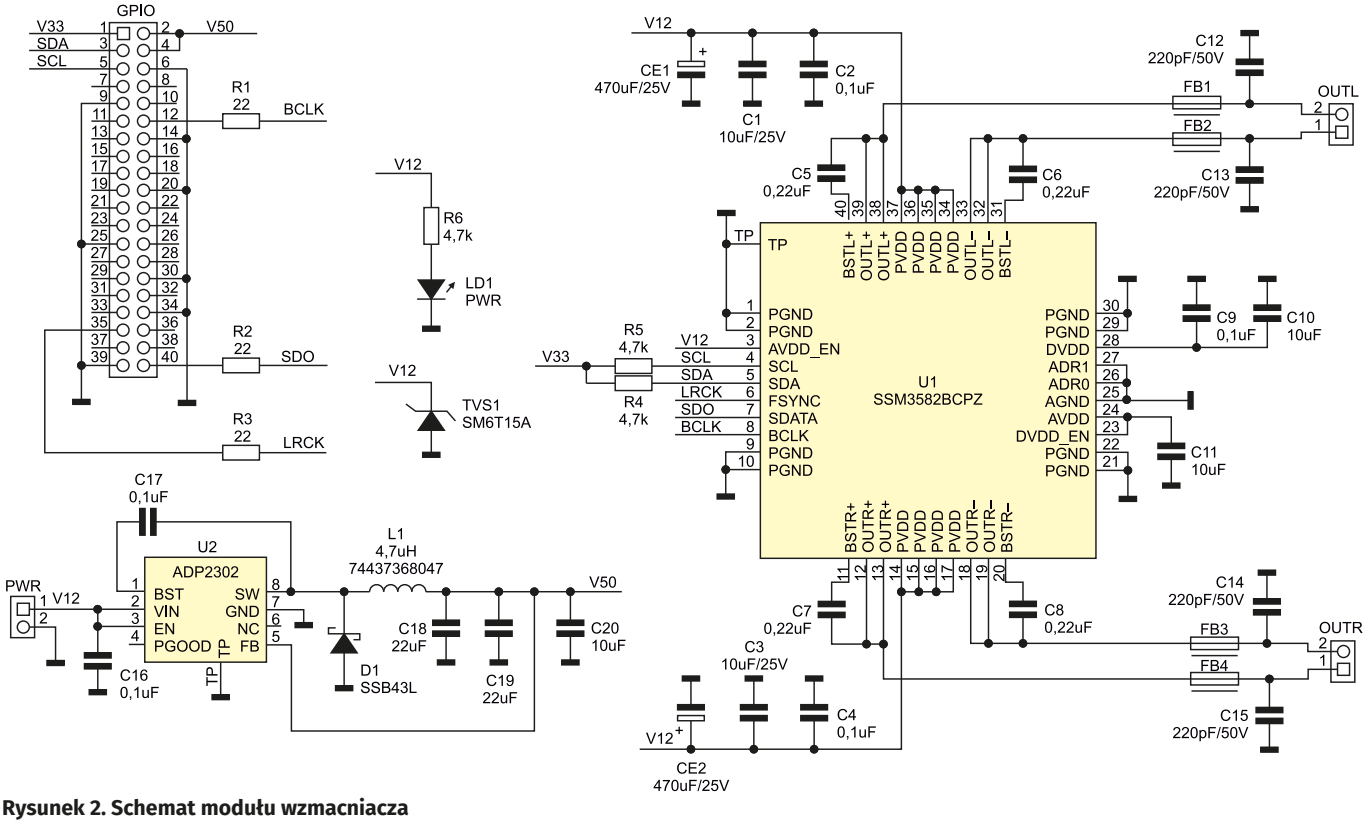
WYKAZ ELEMENTÓW, które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory:
R1...R3: 22 Ω (SMD0603) 1%
R4...R6: 4,7 kΩ (SMD0603) 1%

Kondensatory:
C1, C3: 10 µF/25 V (SMD0805) X5R
CE1, CE2: 470 µF/25 V (CED10.0P5.0) elektrolityczny
D=10 mm, r=5 mm
C2, C4, C9, C16, C17: 0,1 µF/25 V (SMD0603) X5R
C5...C8: 0,22 µF/35 V (SMD0603) X5R
C10, C11, C20: 10 µF/16 V (SMD0603) X5R
C12...C15: 220 pF/50 V (SMD0805) NP0
C18, C19: 22 µF/10 V (SMD1206) X5R

Półprzewodniki:
D1: SSB43L (SMB) dioda Schottky'ego
LD1: dioda LED (SMD0603)
U1: SSM3528BCPZ (LFCSP40)
U2: ADP2302 (SO8TP)

Pozostałe:
FB1...FB4: dławik ferrytowy BLM21PG121SN1D (SMD0805)
GPIO: złącze IDC 2×20pin żeńskie
L1: 4,7 µH WE LHMI 74437368047
OUTL, OUTR: złącze śrubowe 3,5 mm (DG381-3.5-2)
PWR: złącze śrubowe 5 mm (DG126-5.0-2)
TVS1: SM6T15A transil 15 V (SMD)



Rysunek 2. Schemat modułu wzmacniacza

otrzymujemy podstawowe informacje o stanie układu. W przypadku zasilania bateryjnego monitor napięcia może zostać użyty do ograniczania mocy wyjściowej zależnie od stanu baterii, co chroni głośniki przed pracą z przesterowaną końcówką mocy i zapewnia możliwie najniższy poziom zniekształceń sygnału przy zmiennych warunkach zasilania.

Aplikację SSM3852 uzupełniają tylko filtry wyjściowe EMI, FB1...FB4, C12...C15 wystarczające, gdy kable do głośników nie przekraczają długości kilkunastu centymetrów. Wzmocniony sygnał wyprowadzony jest na złącza OUTL, OUTR. Kondensatory C5...C8 są elementami polaryzacji wyjściowych tranzystorów mocy, pozostałe kondensatory odsprzęgają zasilanie. Układ U1 ma wbudowany stabilizator, dostarczający napięć zasilania do wszystkich bloków funkcjonalnych układu.

Wzmacniacz zasilany jest napięciem 9...14 V poprzez złącze PWR, transil TVS1 zabezpiecza U1 i U2 przed skutkami przepięć na linii zasilania. Dioda LD1 sygnalizuje obecność zasilania. Przetwornica obniżająca na układzie U2 typu ADP2302-5.0 zapewnia zasilanie 5 V dla komputerka Raspberry Pi. Obciążalność przetwornicy to ok. 2 A, co wystarcza w większości zastosowań. Jeżeli zależy nam na większej wydajności do ok. 3 A, można bez zmian układowych zastąpić U2 układem ADP2303-5.0, zwiększając jednocześnie pojemności C18, C19 do 33 µF.

Montaż i uruchomienie

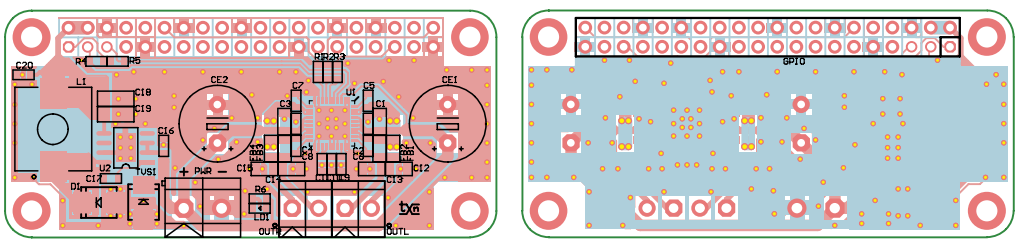
Moduł audio zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej (**rysunek 3**) zgodnej mechanicznie z RPi Zero, jednak nic nie stoi na przeszkodzie, aby używać jej też z innymi komputerkami. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga opisu. Wzmacniacz może współpracować także z obciążeniem 4 Ω, ale należy na układzie U1 dokleić niewielki radiator i zadbać o odpowiednią wydajność i przekroje przewodów zasilania. Zmontowany wzmacniacz pokazuje fotografia tytułowa.

Prawidłowo zmontowany układ nie wymaga uruchamiania, konieczna jest oczywiście konfiguracja systemu Linux oraz samego układu SSM3582. Najlepszym wyborem jest Raspbian, gdyż ma wbudowaną obsługę programową (zgodną z Hifi-Berry dac). Na wszelki wypadek na początek należy zaktualizować system, wpisując polecenie:

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

Następnie w pliku */boot/config.txt* należy usunąć linię:

```
dtparam=audio=on
```



Rysunek 3. Schemat płytki PCB

eprasa.pl 5d23d6856a

Tabela 1. Zestawianie rejestrów SSM3582

Reg	Name	Bits	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Reset	RW
0x00	VENDOR_ID	[7:0]	VENDOR								0x41	R
0x01	DEVICE_ID1	[7:0]	DEVICE1								0x35	R
0x02	DEVICE_ID2	[7:0]	DEVICE2								0x82	R
0x03	REVISION	[7:0]	REV								0x01	R
0x04	POWER_CTRL	[7:0]	APWDN_EN	RESERVED	TEMP_PWDN	MONO	R_PWDN	L_PWDN	RESERVED	SPWDN	0xA1	R/W
0x05	AMP_DAC_CTRL	[7:0]	DAC_LPM	RESERVED	DAC_POL_R	DAC_POL_L	EDGE	RESERVED	ANA_GAIN		0x8A	R/W
0x06	DAC_CTRL	[7:0]	DAC_HV	DAC_MUTE_R	DAC_MUTE_L	DAC_HPF	RESERVED	DAC_FS			0x02	R/W
0x07	VOL_LEFT_CTRL	[7:0]	VOL_L								0x40	R/W
0x08	VOL_RIGHT_CTRL	[7:0]	VOL_R								0x40	R/W
0x09	SAI_CTRL1	[7:0]	RESERVED	BCLK_POL	TDM_BCLKS			FSYNC_MODE	SDATA_FMT	SAI_MODE	0x11	R/W
0x0A	SAI_CTRL2	[7:0]	SDATA_EDGE	RESERVED		DATA_WIDTH	VOL_ZC_ONLY	CLIP_LINK	VOL_LINK	AUTO_SLOT	0x07	R/W
0x0B	SLOT_LEFT_CTRL	[7:0]	RESERVED			TDM_SLOT_L					0x00	R/W
0x0C	SLOT_RIGHT_CTRL	[7:0]	RESERVED			TDM_SLOT_R					0x01	R/W
0x0E	LIM_LEFT_CTRL1	[7:0]	LIM_RRT_L		LIM_ATR_L		RESERVED	VBAT_TRACK_L	LIM_EN_L		0xA0	R/W
0x0F	LIM_LEFT_CTRL2	[7:0]	LIM_THRES_L					RESERVED	SLOPE_L		0x51	R/W
0x10	LIM_LEFT_CTRL3	[7:0]	VBAT_INF_L								0x22	R/W
0x11	LIM_RIGHT_CTRL1	[7:0]	LIM_RRT_R		LIM_ATR_R		LIM_LINK	VBAT_TRACK_R	LIM_EN_R		0xA8	R/W
0x12	LIM_RIGHT_CTRL2	[7:0]	LIM_THRES_R					RESERVED	SLOPE_R		0x51	R/W
0x13	LIM_RIGHT_CTRL3	[7:0]	VBAT_INF_R								0x22	R/W
0x14	CLIP_LEFT_CTRL	[7:0]	DAC_CLIP_L								0xFF	R/W
0x15	CLIP_RIGHT_CTRL	[7:0]	DAC_CLIP_R								0xFF	R/W
0x16	FAULT_CTRL1	[7:0]	RESERVED		OTW_GAIN_R		RESERVED		OTW_GAIN_L		0x00	R/W
0x17	FAULT_CTRL2	[7:0]	MRCV	RESERVED	MAX_AR		RESERVED	ARCV_UV	ARCV_OT	ARCV_OC	0x30	R/W
0x18	STATUS1	[7:0]	UVLO_PVDD	UVLO_VREG	RESERVED				OTF	OTW	0x00	R
0x19	STATUS2	[7:0]	LIM_EG_R	CLIP_R	AMP_OC_R	BAT_WARN_R	LIM_EG_L	CLIP_L	AMP_OC_L	BAT_WARN_L	0x00	R
0x1A	VBAT	[7:0]	VBAT								0x00	R
0x1B	TEMP	[7:0]	TEMP								0x00	R
0x1C	SOFT_RESET	[7:0]	RESERVED							S_RST	0x00	R/W

oraz dodać linie:

```
dtparam=i2 c_arm=on
dtparam=i2 s=on
dtoverlay=hifiberry-dac
```

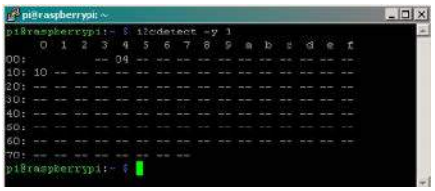
aktywujące obsługę magistrali I²C, I²S oraz obsługę DAC. Po restarcie systemu sprawdzamy obsługę DAC poleceniem:

```
aplay -l
**** List of PLAYBsudo aplayACK
Hardware Devices ****
card 0: sndrpihifiberry [snd_
rpi_hifiberry_dac], device 0:
HifiBerry DAC HiFi pcm5102
a-hifi-0 []
Subdevices: 1/1
Subdevice #0: subdevice #0
```

Następnie poleceniem:

```
i2 cdetect -y 1
```

sprawdzamy obecność układu SSM3582 na magistrali I²C (**rysunek 4**) – powinien być widoczny pod adresem 0x10. W celu szybkiego sprawdzenia działania wzmacniacza przygotowałem prosty skrypt (*SSM3582.sh*) konfigurujący rejestry



Rysunek 4. Detekcja SSM3582 na magistrali I²C

Listing 1. Skrypt konfiguracyjny SSM3582.sh

```
#!/bin/bash
i2cset -y 1 0x10 0x04 0x80
i2cset -y 1 0x10 0x05 0x88
i2cset -y 1 0x10 0x06 0x13
i2cset -y 1 0x10 0x07 0xA4
i2cset -y 1 0x10 0x08 0xA4
i2cset -y 1 0x10 0x09 0x10
i2cset -y 1 0x10 0x0A 0x17
i2cset -y 1 0x10 0x0B 0x00
i2cset -y 1 0x10 0x0C 0x01
i2cset -y 1 0x10 0x0E 0xA0
i2cset -y 1 0x10 0x0F 0x51
i2cset -y 1 0x10 0x10 0x22
i2cset -y 1 0x10 0x11 0xA8
i2cset -y 1 0x10 0x12 0x51
i2cset -y 1 0x10 0x13 0x22
i2cset -y 1 0x10 0x14 0xF9
i2cset -y 1 0x10 0x15 0xF9
i2cset -y 1 0x10 0x16 0x00
i2cset -y 1 0x10 0x17 0x30
i2cset -y 1 0x10 0x1C 0x00
```

układu, którego zawartość została pokazana na **listingu 1**.

Po uruchomieniu układ zostanie skonfigurowany do odtwarzania dźwięku w formacie I²S stereo 44,1 kHz. Poleceniem aplay lub innym odtwarzaczem można sprawdzić działanie wzmacniacza. Regulacja głośności odbywa się poprzez rejestry 0x07 i 0x08. Wartość 0x00 odpowiada maksymalnej głośności, 0xFF minimalnej:

```
i2cset -y 1 0x10 0x07 0xFF (min)
i2cset -y 1 0x10 0x08 0xFF (min)
i2cset -y 1 0x10 0x07 0x00 (max)
i2cset -y 1 0x10 0x08 0x00 (max)
```

Wzmocnienie końcówki mocy można zmienić poleceniem:

```
i2cset -y 1 0x10 0x05 0x88 (+13dB)
i2cset -y 1 0x10 0x05 0x89 (+16dB)
i2cset -y 1 0x10 0x05 0x8A (+19dB)
i2cset -y 1 0x10 0x05 0x8B (+21dB)
```

Pełny wykaz rejestrów SSM3582 został pokazany w **tabeli 1**.

Dla jednoczesnego odtwarzania i zmiany parametrów, jeżeli testujemy wzmacniacz w konsoli, polecenie aplay warto uruchomić w tle np.

```
aplay _plik.wav &
```

wtedy możliwa będzie zmiana konfiguracji SSM3582 poleceniami:

```
i2cget/i2 cset
```

podczas odtwarzania, co znacząco ułatwia testowanie ustawień układu.

Jeżeli planujemy bardziej zaawansowaną obsługę lub napisanie własnego sterownika, to pomocne może być środowisko SigmaStudio, którego można użyć do wygenerowania plików nagłówkowych dla SSM3582. Przykładowe pliki załączono w materiałach dodatkowych.

Adam Tatuś, EP

eprasa.pl 5d23d6856a

Podstawowe parametry:

- bazuje na układzie typu TPIC2810 sterowanym poprzez magistralę I²C,
- wyjścia z otwartym drenem są aktywne w stanie niskim,
- wyjścia zapewniają obciążalność do 100 mA (sumarycznie 210 mA),
- maksymalne napięcie pracy wyjść wynosi 40 V,
- konstrukcja mechaniczna modułu umożliwia bezproblemową współpracę z płytkami stykowymi.

W ofercie AVT*

AVT5912

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

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

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

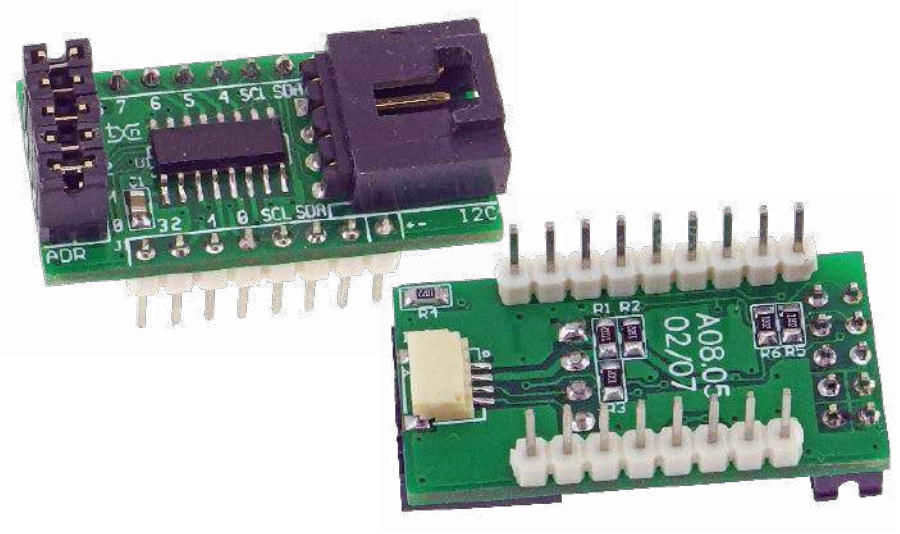
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

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

Expander wyjść z interfejsem I²C

Minimoduł jest ekspanderem ośmiu wyjść typu otwarty dren (OD), sterowanym poprzez magistralę I²C. Oferuje obciążalność wyjść wielokrotnie wyższą niż w przypadku wyjść cyfrowych oraz toleruje napięcie wartości do 40 V.



Konstrukcja modułu bazuje na układzie typu TPIC2810, którego schemat wewnętrzny został pokazany na **rysunku 1**. Wyjścia z otwartym drenem są aktywne w stanie niskim i zapewniają obciążalność do 100 mA (sumarycznie 210 mA), przy maksymalnym napięciu pracy 40 V. Umożliwiają bezpośrednie sterowanie statyczne zarówno szeregowych łańcuchów LED jak i pojedynczych LED o większej mocy.

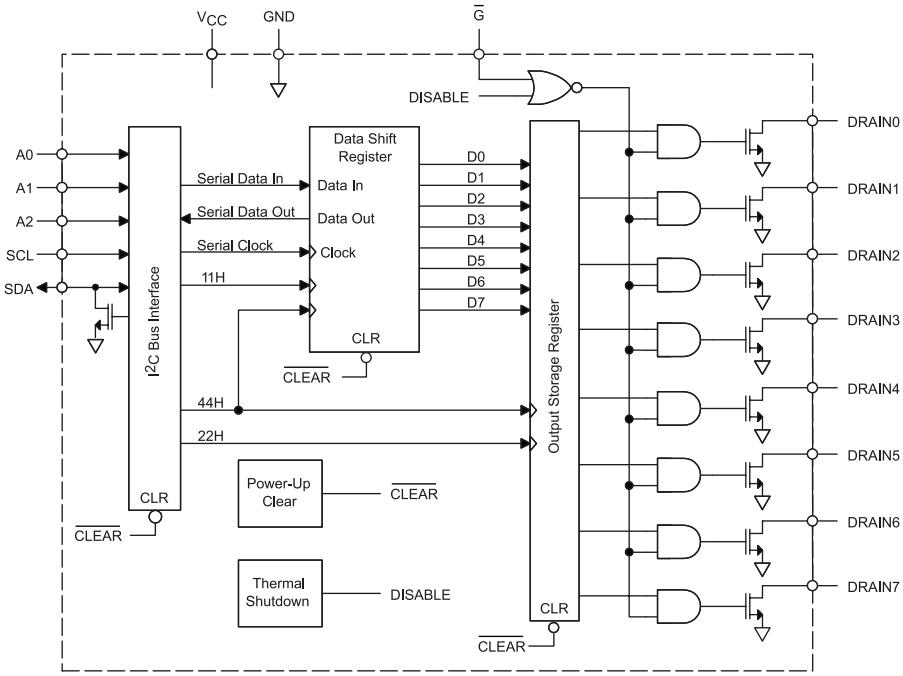
Budowa i działanie

Schemat ideowy modułu został pokazany na **rysunku 2**. Moduł, oprócz układu U1 typu TPIC2810 ma trzy zworki A0...A2 umożliwiające ustalenie adresu oraz zworę PU umożliwiającą odłączenie rezystorów podciągających magistralę I²C – R5, R6. Pełna adresacja U1 umożliwia zastosowanie do 8 układów na jednej magistrali. Moduł może być zasilany napięciami z zakresu 3...5 V. Dioda LD sygnalizuje obecność zasilania. Wyjścia D0...D7 tolerują maksymalnie 40 V i są doprowadzone są do złącz J1 i J2. Dodatkowo wyprowadzono sygnał G wyłączający wszystkie wyjścia, aktywny w stanie wysokim. Sygnały magistrali I²C i zasilanie doprowadzone są do czteropinowego złącza typu EH – I²C zgodnego z Arduino oraz do złącza I2C1 typu JST o rozstawie 1 mm.

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

Montaż i uruchomienie

Moduł został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 3**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga dokładnego opisu. Konstrukcja mechaniczna modułu umożliwia bezproblemową współpracę z płytkami stykowymi lub prototypowymi. Zalecam stosowanie długich (30...40 mm) złącz SIP, wlutowanych tak, aby wyprowadzenia wystawały po obu stronach płytki drukowanej.



Rysunek 1. Schemat wewnętrzny układu TPIC2810

eprasa.pl 5d23d6856a

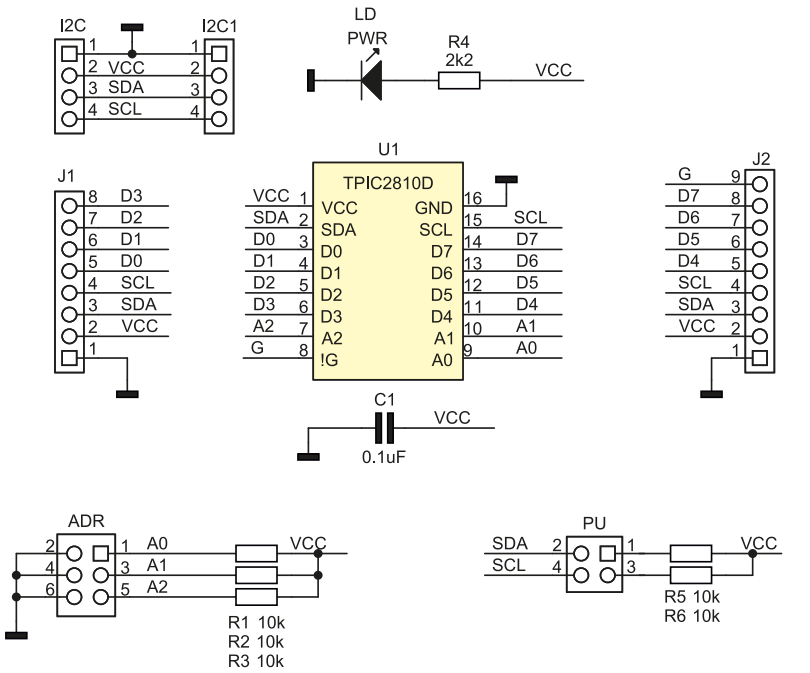
WYKAZ ELEMENTÓW, które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory: (SMD0805)
R1...R3, R5, R6: 10 kΩ
R4: 2,2 kΩ

Kondensatory:
C1: 0,1 µF (SMD0805)

Półprzewodniki:
LD: dioda LED SMD0805
U1: TPIC2810D (SO16)

Pozostałe:
ADR: złącze szpilkowe 2×5 pin + zwory
I2C: złącze EH4 kątowe
I2C1: złącze JST 1 mm
J1: złącze szpilkowe 1×8
J2: złącze szpilkowe 1×9



Rysunek 2. Schemat ideowy modułu



Rysunek 3. Schemat płytki PCB

Taki sposób montażu umożliwia wygodne stosowanie modułu w płytkach stykowych oraz ułatwia wyprowadzenie sygnałów oraz rozszerzanie magistrali I²C. Zmontowany moduł pokazuje fotografia tytułowa.

Adres bazowy układu TPIC2810 przy zwartych zworach to 0x60. Układ ma pośredni rejestr buforowy oraz możliwość bezpośredniej zmiany stanu wyprowadzeń. Rejestry pod subadresami 0x11, 0x22, 0x44 służą do kontroli działania układu:

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



Rysunek 4. Test modułu przy użyciu Raspberry Pi i biblioteki i2ctools

- 0x44 – zapis bezpośredni do rejestru wyjściowego, z ustawieniem stanu wyjść.

Dla szybkiego sprawdzenia działania, moduł można go podłączyć do Raspberry Pi, a do wyprowadzeń D0...D7 podłączyć LEDy z rezystorami ograniczającymi prąd, pamiętając o aktywacji wyjść zwarciem wyprowadzenia G do masy modułu. Przy użyciu biblioteki i2ctools, po ustawieniu adresu bazowego zworami A2, A1, A0, moduł powinien być widoczny po odczycie magistrali poleceniem:

```
i2cdetect -y 1
```

co pokazano na **rysunku 4** (ustawiony adres bazowy 7-bitowy 0x60). Stan rejestru bufora może być odczytany poleceniem:

```
i2cget -y 1 0x60 0x11
```

który po pierwszym odczycie zwróci wartość 0x00.

Zapis rejestru bufora (wartość 0xA5) wykonujemy poleceniem:

```
i2cset -y 1 0x60 0x11 0xA5
```

Ustawienie stanu 1, opowiada zwarciu klucza OD do masy. Przepisanie bufora do rejestru wyjściowego i ustawienie stanów wyjść:

```
i2cset -y 1 0x60 0x22
```

Bezpośredni zapis rejestru wyjściowego i ustawienie wyjść (wartość 0x5A):

```
i2cset -y 1 0x60 0x44 0x5A
```

Jeżeli wszystko działa poprawnie można moduł zastosować we własnej aplikacji.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA



eprasa.pl 5d23d6856a

W ofercie AVT*

AVT5910

Podstawowe parametry:

- wskazanie, który z czterech przycisków został wciśnięty jako pierwszy,
- wyjścia sygnalizujące najszybszego zawodnika,
- przycisk zerujący układ + wyjście sygnalizujące gotowość,
- obsługa sytuacji, w której jednocześnie wciśnięto dwa (lub więcej) przycisków,
- wydajność prądowa wyjść: do 1 A,
- zasilanie napięciem stałym 8...25 V,
- pobór prądu przez układ 20...50 mA.

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

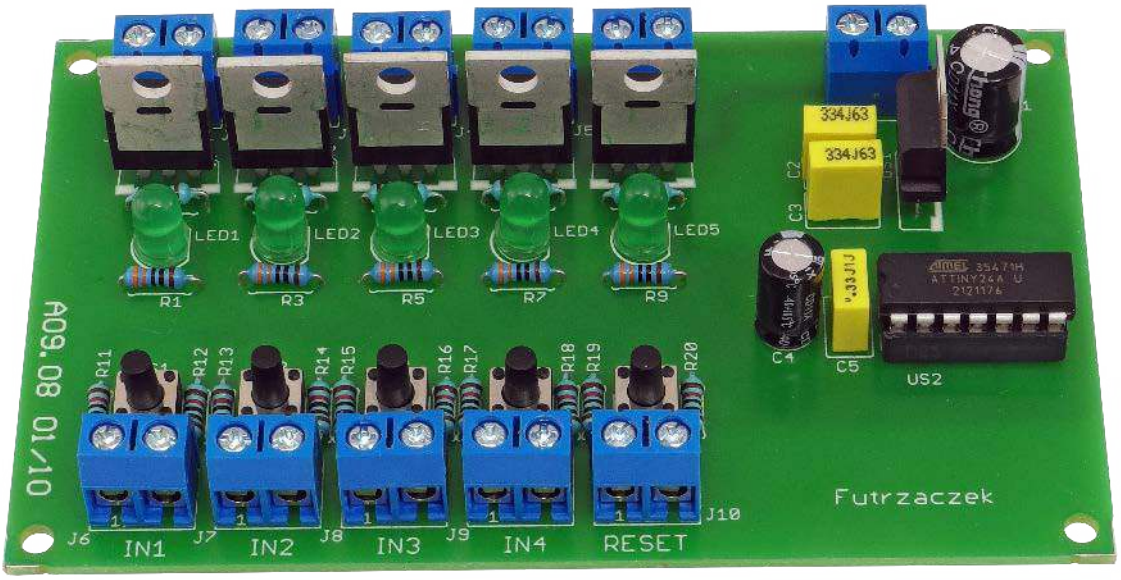
AVT5639	Gra elektroniczna Snake (EP 9/2018)
AVT5592	Gra elektroniczna Sudoku (EP 7/2017)
AVT5554	Gra elektroniczna „Snake" (EP 11/2016)
AVT1651	Gra „Kto pierwszy ten lepszy" (EP 11/2011)
AVT723	Uniwersalna gra zręcznościowa (EP 6/2004)
AVT5028	Elektroniczna gra w kości (EP 8/2001)
AVT5014	Gra zręcznościowa (EP 5/2001)

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

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

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

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



Gra „kto pierwszy"

Gry i zabawy potrafią rozkręcić niejedno spotkanie albo imprezę. Frajda może być jeszcze większa, kiedy wykorzystamy przy tym wykonane przez siebie rozwiązania elektroniczne. Klasycznym przykładem jest turniej, w którym prowadzący czyta pytanie, a uczestnicy zgłaszają się do odpowiedzi. Kto pierwszy wciśnie swój przycisk, ten ma szansę na wygranie rundy.

Budowa i działanie

Zaprezentowany układ nie realizuje skomplikowanych zadań – zapamiętuje stan jednego z czterech przycisków i sygnalizuje to na odpowiednim wyjściu. Musi również zablokować dalsze zmiany, aby spóźnieni gracze nie zmienili ustawionego stanu. Po wyzerowaniu układu wszystko wraca do stanu pierwotnego i układ oczekuje na pierwsze wciśnięcie od któregoś z graczy. Nie ma przy tym żadnych limitów czasowych.

Wciśnięcie przycisku przez gracza powoduje wyłączenie wyjścia neutralnego i załączenie tego, które jest związane z nim. Cechą, która wyróżnia układ na tle innych tego typu rozwiązań, jest to, że obsługuje także sytuację, w której jednocześnie zostają wciśnięte dwa przyciski lub więcej. To zdarza się niesłychanie rzadko, ale nie jest niemożliwe. Aby cała gra odbywała się sprawiedliwie, układ zarządzający musi uwzględniać takie zdarzenia.

Wyjścia tego układu celowo mają wysoką obciążalność, żeby można było z nich sterować, na przykład, taśmy LED podświetlające stanowisko danego gracza. Piąte wyjście, aktywne po wyzerowaniu układu, może służyć do oświetlania wszystkich stanowisk jednocześnie, kiedy czytane jest pytanie.

Schemat ideowy sterownika gry został pokazany na **rysunku 1**. Mikrokontroler ATtiny24A (US2) jest głównym układem zarządzającym pracą tego urządzenia. Jest taktowany wbudowanym generatorem RC o częstotliwości 8 MHz. Ponieważ nie wykonuje zadań krytycznych czasowo, stabilizacja częstotliwości zegara rezonatorem kwarcowym nie była potrzebna.

W układzie znajduje się pięć identycznych wyjść załączanych przez tranzystory typu

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

Rezystory: (THT o mocy 0,25 W, jeżeli nie wskazano inaczej)
R1, R3, R5, R7, R9: 330 Ω
R2, R4, R6, R8, R10...R20: 10 kΩ

Kondensatory:
C1: 220 µF 35 V raster 3,5 mm
C2, C3, C5: 330 nF raster 5 mm MKT
C4: 100 µF 25 V raster 2,54 mm

Półprzewodniki:
D1...D6: 1N5819
LED1...LED5: dioda LED 5 mm zielona matowa
T1...T5: IRL530N TO220
US1: 7805 TO220
US2: ATtiny24A-PU

Pozostałe:
J1...J11: złącze ARK2/500
S1...S5: microswitch 6 mm do druku (6×6)
Jedna podstawka DIP14

eprasa.pl 5d23d6856a

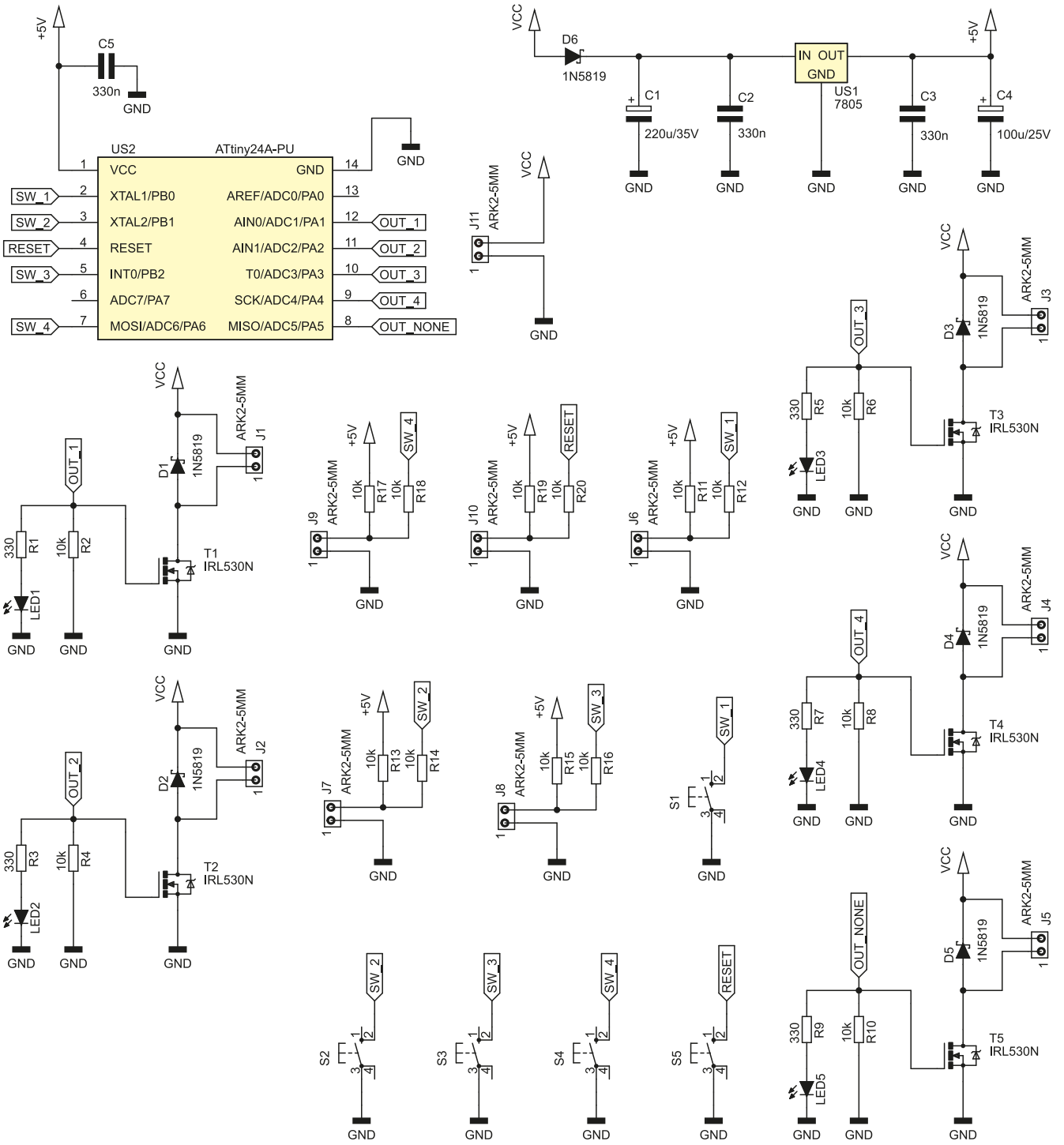
IRL530N. Litera L (*Logic*) wskazuje na przystosowanie tego elementu do sterowania wprost z układów cyfrowych. Nie wymaga stosowania dodatkowych buforów i translatorów napięcia. Diody LED1…LED5 sygnalizują załączenie danego wyjścia. Diody Schottky'ego zabezpieczają tranzystory przed uszkodzeniem w sytuacji, gdyby do wyjść były podłączone obciążenia o charakterze indukcyjnym, jak przekaźniki czy silniki prądu stałego.

Wejściami układu są przyciski monostabilne zwierne – cztery dla graczy i piąty do zerowania układu. Ponieważ przewody łączące płytkę drukowaną tego układu z poszczególnymi przyciskami mogą być długie, zastosowano proste zabezpieczenie delikatnych wejść mikrokontrolera przez dodanie rezystorów szeregowych o wartości 10 kΩ. Zmniejsza to prąd płynący przez diody zabezpieczające te wejścia, wbudowane w krzemową strukturę układu scalonego, jak również zwiększają czas narastania napięcia na nich.

Układ może być zasilany napięciem stałym z dosyć szerokiego zakresu wartości, więc konieczna była jego stabilizacja do poziomu 5 V, niezbędnego dla mikrokontrolera. Realizuje to prosty stabilizator liniowy typu 7805. Pobór prądu z jego wyjścia jest na tyle niski, że zastosowanie tutaj przetwornicy impulsowej nie miało uzasadnienia. Dioda D6 zabezpiecza stabilizator i mikrokontroler przed uszkodzeniem w razie przypadkowej zamiany biegunów zasilania układu.

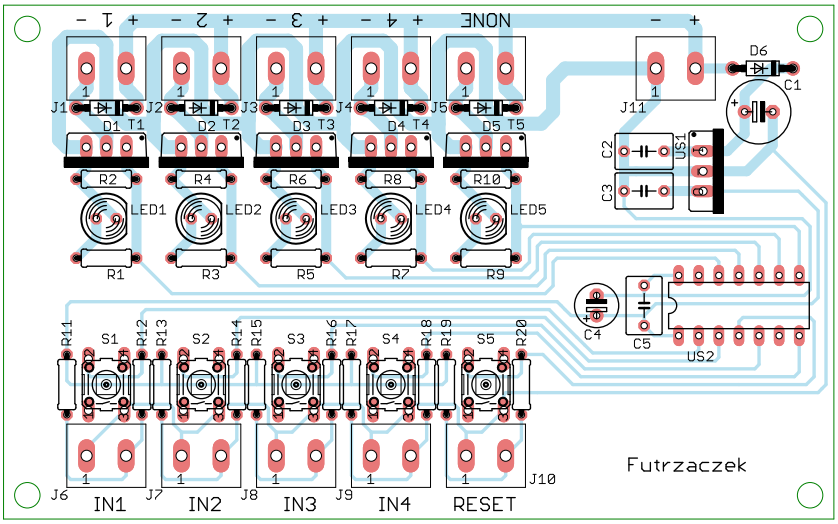
Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 105×65 mm. Jej schemat prezentuje **rysunek 2**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm. Montaż układu jest prosty i mogą się go podjąć nawet mniej wprawni użytkownicy lutownicy. Proponuję zacząć



Rysunek 1. Schemat ideowy sterownika gry

eprasa.pl 5d23d6856a



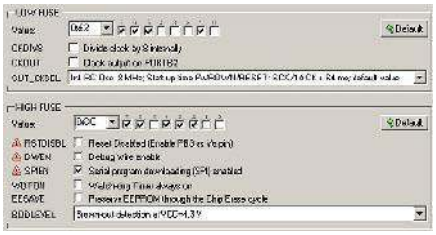
Rysunek 2. Schemat płytki PCB

od najniższych elementów układów – diody Schottky'ego i rezystorów, a następnie coraz wyższych. Pod układ US2 warto zastosować podstawkę. Widok zmontowanego układu pokazuje fotografia tytułowa.

Na etapie uruchamiania konieczne jest zaprogramowanie pamięci flash mikrokontrolera skompilowanym plikiem programu sterującego oraz zmiana ustawienia bitów zabezpieczających na wartości: Low Fuse = 0xE2, High Fuse = 0xDC. Szczegóły są widoczne na **rysunku 3**, który zawiera fragment okna konfiguracji bitów programu BitBurner. W ten sposób zostanie wyłączony preskaler zegara oraz załączony obwód Brown-Out Detector, który wprowadzi mikrokontroler w stan zerowania, jeżeli jego napięcie zasilające spadnie poniżej 4,3 V. Takie rozwiązanie zmniejsza ryzyko zawieszenia się mikrokontrolera po włączeniu zasilania.

Prawidłowo zmontowany i zaprogramowany układ jest gotowy do pracy. Do wejść (złącza J6…J10) należy podłączyć przyciski zwierne, które byłyby dostępne dla graczy oraz prowadzącego grę (J10). Wyjścia układu (złącza J1…J5) mogą służyć do załączania diod LED, taśm LED, przekaźników, żarówek lub jeszcze innych urządzeń. Przyjęto maksymalny prąd jednego wyjścia na ok. 1 A ze względu na szerokość ścieżek obwodu drukowanego. Gdyby naraz załączyły się wszystkie cztery wyjścia (mało prawdopodobne, ale możliwe), przez ścieżkę wspólną płynąłby prąd o natężeniu 4 A, co jest wartością graniczną dla tego pola przekroju miedzianego połączenia.

Prąd pobierany przez sam sterownik wynosi około 20 mA i nie ulega zmianie w trakcie



Rysunek 3. Szczegóły konfiguracji bitów zabezpieczających

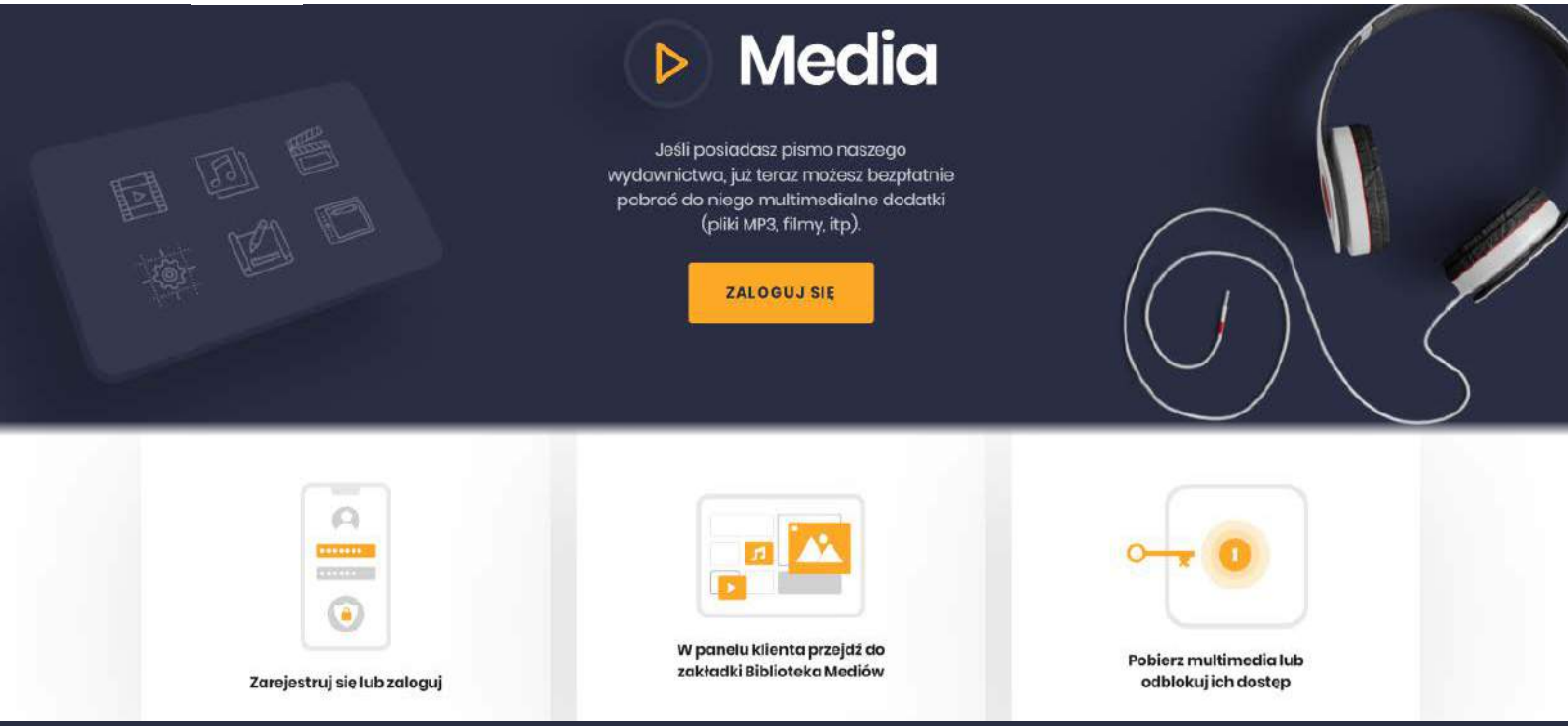
działania. Sytuacją graniczną jest załączenie czterech diod LED jednocześnie (od LED1 do LED4), kiedy to układ pobierałby około 50 mA. Napięcie zasilające układ (złącze J11) trzeba dostosować do zasilanych obciążeń, ale nie powinno być niższe niż 8 V ani wyższe niż 25 V ze względu na konieczność zapewnienia prawidłowych warunków pracy stabilizatora 7805.

W układzie nie ma zaszytych jakichkolwiek ograniczeń czasowych czy automatycznych wyłączników; po wyzerowaniu będzie czekał na impuls przez nieskończenie długi czas, jak również będzie mógł bardzo długo sygnalizować aktywowanie określonego wyjścia. Dzięki temu można wykorzystać to urządzenie do innego celu niż rozrywka, na przykład do sygnalizacji zadziałania któregoś z wyłączników krańcowych na linii produkcyjnej.

Jak łatwo zauważyć, nie wszystkie cztery wejścia muszą być obsługiwane. Przy dwóch lub trzech uczestnikach wystarczy po prostu nie podłączać tych przycisków, które mają być nieużywane.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA



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

eprasa.pl 5d23d6856a

Podstawowe parametry:

- dostarcza napięcia 5 V przy obciążalności do 1 A,
- bardzo szeroki zakres napięć zasilania wynoszący 8,55...98 V,
- zabezpieczenie przed zwarciem i przegrzaniem.

W ofercie AVT*

AVT5915

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

AVT5908	Beztransformatorowy impulsowy zasilacz sieciowy (EP 12/2021)
AVT5872	Regulowany zamiennik stabilizatora 78xx (EP 7/2021)
AVT1990	Regulowany zasilacz do płytek stykowych (EP 8/2018)
–––	Precyzyjny regulowany zasilacz stabilizowany (EP 2/2018)
AVT5585	Zasilacz laboratoryjny 0...30 V/5 A ze sterowaniem mikroprocesorowym (EP 12/2017-1/2018)
–––	Multizasilacz (EP 10/2017)
AVT1976	Precyzyjny, regulowany zasilacz uniwersalny 1,5...32 V/3 A (EP 8/2017)
AVT3172	Praktyczny zasilacz warsztatowy (EP 5/2017)
AVT1946	Zasilacz napięcia symetrycznego z LM27762 (EP 2/2017)
AVT1895	Uniwersalny moduł zasilający (EP 10/2016)
AVT1913	Moduł miniaturowego zasilacza (EP 8/2016)
AVT1857	Zasilacz modułowy (EP 7/2015)
AVT3072	Zasilacz płytek stykowych (EP 9/2013)
AVT1667	Stabilizator impulsowy 3 A z układem LM2576 (EP 3/2012)
AVT1731	Regulowany zasilacz uniwersalny 1,5...32 V/3 A (EP 8/2011)
AVT1572	Symetryczny zasilacz warsztatowy ±1,25 V...±25 V 1,5/5 A (EP 6/2010)
AVT1461	Uniwersalny zasilacz laboratoryjny 5 i 12 VDC/1 A (EP 1/2008)
AVT727	Uniwersalny moduł zasilający (EdW 8/2004)
AVT5083	Mikroprocesorowy zasilacz laboratoryjny (EP 10/2002)
AVT2462	Zasilacz 10 A 10...20 V (EdW 1/2001)
AVT1253	Zasilacz symetryczny (EP 11/1999)
AVT1066	Miniaturowy zasilacz uniwersalny (EP 8/1995)

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

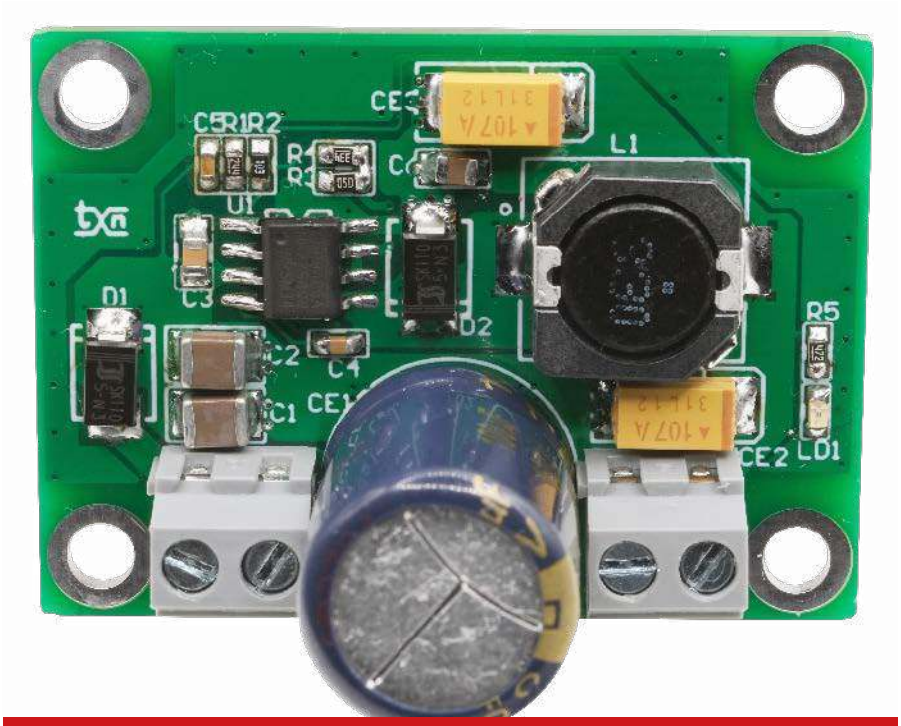
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

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

Zasilacz 5 V/1 A z szerokim zakresem napięć wejściowych

Zaprezentowany w artykule zasilacz dostarcza napięcia 5 V przy obciążalności do 1 A i charakteryzuje się bardzo szerokim zakresem napięć zasilania, wynoszącym 8,55...98 V. Dzięki temu może być stosowany w obwodach zasilania ze źródłami wysokonapięciowymi, takimi jak panele słoneczne i instalacje o napięciu znamionowym 36...72 V, używanymi np. w rowerach i innych pojazdach elektrycznych.

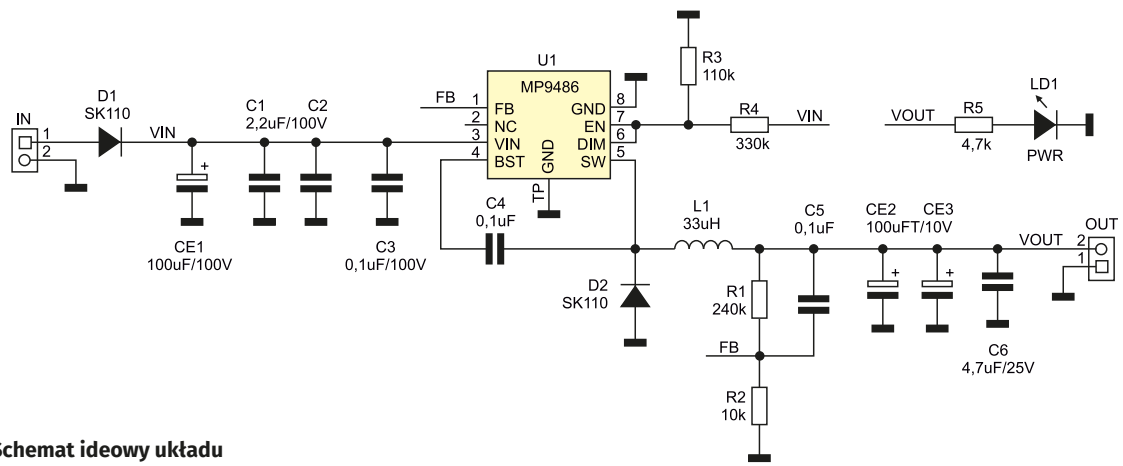


UWAGA! W układzie występują napięcia niebezpieczne. Uruchomienie należy przeprowadzić, zachowując szczególną ostrożność.

Jako sterownik przetwornicy zastosowano układ MP9486 firmy MPS. Jest to kompletne rozwiązanie ze zintegrowanym kluczem MOSFET o dopuszczalnym napięciu zasilania 100 V i prądzie przełączania do 2,5 A oraz szeregiem zabezpieczeń. Aplikacja układu nie odbiega od innych typów przetwornic obniżających napięcie.

Budowa i działanie

Schemat zasilacza został pokazany na **rysunku 1**. Napięcie wejściowe z zakresu 8,55...96 V doprowadzone jest do złącza IN, poprzez diodę zabezpieczającą D1 i zestaw kondensatorów odsprzęgających CE1, C1, C2, C3 trafia do układu U1. Rezystory R3, R4 są dzielnikiem układu ULVO. Napięcie wyjściowe przetwornicy dostępne jest na złączu OUT. Dzielnik R1, R2 ustala wartość na 5 V, dioda LD1 sygnalizuje jego obecność.



Rysunek 1. Schemat ideowy układu

eprasa.pl 5d23d6856a

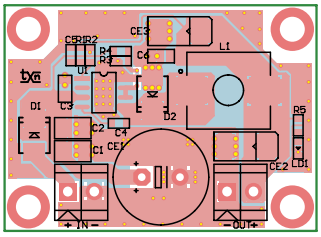
WYKAZ ELEMENTÓW, które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory: (SMD0603, 1%)
R1: 240 kΩ
R2: 10 kΩ
R3: 110 kΩ
R4: 330 kΩ
R5: 4,7 kΩ

Kondensatory:
C1, C2: 2,2 µF/100 V (SMD1210)
CE1: 100 µF/100 V (CED12.5P5.0) elektrolityczny Low ESR
CE2, CE3: 100 µFT/10 V (SMD0603) tantalowy Low ESR
C3: 0,1 µF/100 V (SMD0805)
C4, C5: 0,1 µF (SMD0603)
C6: 4,7 µF/25 V (SMD0805)

Półprzewodniki:
D1, D2: SK110 (SMD) dioda Schottky'ego
LD1: dioda LED (SMD0603)
U1: MP9486 (SO8TP)

Pozostałe:
IN, OUT: złącze DG381-3.5-2
L1: 33 µH dławik SMD WE7447714330



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

Montaż i uruchomienie

Układ jest zmontowany na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 2**. Montaż nie wymaga opisu, należy tylko poprawnie przylutować pad termiczny U1. Zmontowany moduł pokazuje fotografia tytułowa. Przed podłączeniem układu należy sprawdzić poprawność montażu i jakość zastosowanych elementów, szczególnie kondensatorów, gdyż mają one kluczowy wpływ na działanie układu.

Uruchomienie sprowadza się do wstępnego obciążenia wyjścia np. rezystorem 10 Ω/10 W lub sztucznym obciążeniem i doprowadzenia napięcia 9...12 V z zasilacza laboratoryjnego. Po włączeniu zasilania na wyjściu układu powinno pojawić się napięcie 5 V, ±0,2 V. Zmieniając obciążenie oraz wartość napięcia zasilania, należy sprawdzić poprawność stabilizacji napięcia wyjściowego. Wyniki pomiarów uzyskanych w modelu zostały pokazane w **tabeli 1**. W szerokim zakresie napięć zasilania i obciążenia sprawność pozostaje wyższa od 68%, a w większości typowych warunków (12...48 V) oscyluje wokół 80%.

Adam Tatuś, EP

Tabela 1. Wyniki pomiarów prototypu

Uwe	Iwe	Uwy	Iwy	Pwe	Pwy	n
[V]	[A]	[V]	[A]	[W]	[W]	[%]
9,00	0,066	5,02	0,10	0,59	0,50	84,5%
9,00	0,366	4,99	0,50	3,29	2,50	75,7%
9,00	0,704	4,89	1,00	6,34	4,89	77,2%
12,00	0,049	5,02	0,10	0,59	0,50	85,4%
12,00	0,251	4,97	0,50	3,01	2,49	82,5%
12,00	0,520	4,93	1,00	6,24	4,93	79,0%
24,00	0,026	5,02	0,10	0,62	0,50	80,4%
24,00	0,126	4,98	0,50	3,02	2,49	82,3%
24,00	0,255	4,92	1,00	6,12	4,92	80,4%
48,00	0,013	5,02	0,10	0,62	0,50	80,4%
48,00	0,065	4,95	0,50	3,12	2,48	79,3%
48,00	0,124	4,95	1,00	5,95	4,95	83,2%
60,00	0,011	5,01	0,10	0,66	0,50	75,9%
60,00	0,052	4,96	0,50	3,12	2,48	79,5%
60,00	0,105	4,96	1,00	6,30	4,96	78,7%
96,00	0,008	5,02	0,10	0,73	0,50	68,8%
96,00	0,036	4,99	0,50	3,41	2,50	73,2%
96,00	0,070	4,96	1,00	6,68	4,96	74,2%

REKLAMA

Nie przegap interesujących materiałów w siostrzanym czasopiśmie

W styczniowym wydaniu „Elektroniki dla Wszystkich" między innymi:



Frezarka CNC • Transmisja danych. Interfejs RS485 i pokrewne • Inteligentny dom także dla Ciebie. Smart Home – dla kogo? • Budowa modułowych mierników prądu stałego • Naprawa ładowarki ogniw Li-Ion • Pomiary wzmacniaczy operacyjnych. 1. Wejściowe napięcie niezrównoważenia • Współczesne akumulatory. 2. Akumulatory kwasowo-ołowiowe • Transmisja danych w inteligentnym domu. RS-485 i rozwiązania pokrewne

Szkoła Konstruktorów:
- Układ elektroniczny zbudowany z wykorzystaniem co najmniej jednego superkondensatora
- Zbadaj zagadnienie kontroli wilgotności gleby i zaproponuj elektroniczny sposób sygnalizacji wysychania trawnika.

ELPORTAL.pl

EdW możesz zamówić na **www.ulubionykiosk.pl** lub w Empikach i wszystkich większych kioskach z prasą.

eprasa.pl 5d23d6856a

Podstawowe parametry:

- napięcie wyjściowe 5 V i wydajność 1 A (chwilowo 1,5 A),
- gromadzi energię w typowym akumulatorze Li-Ion typu 14500, 18650 (lub podobnym),
- wbudowany szereg zabezpieczeń,
- zaprojektowany w formie nakładki HAT dla Raspberry Pi Zero.

W ofercie AVT*

AVT5914

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

AVT5909	Sterownik czterech mikrosilników dla Pi Zero (EP 12/2021)
AVT5896	Karta sieciowa z PoE dla RPi Zero (EP 10/2021)
AVT5890	Interfejs wyświetlacza TFT RGB dla RPi Zero (EP 9/2021)
AVT5882	Podwójny klucz zasilania High Side (EP 8/2021)
----	Zasilacz PoE do Raspberry Pi (EP 7/2021)
----	Cyfrowy wzmacniacz audio w formacie RPi Zero (EP 7/2021)
----	Moduł DSP Audio do Raspberry Pi (EP 6/2021)
AVT5858	Płytka bazowa dla Raspberry Pi Pico (EP 5/2021)
AVT5851	Dwukanałowy port szeregowy dla Raspberry (EP 3/2021)
AVT5847	Interfejs wyświetlacza TFT-RGB dla RPi Zero (EP 3/2021)
----	Sterownik 18 LED dla Pi Zero (EP 2/2021)
AVT5837	Moduł do pomiaru napięcia i prądu z interfejsem I²C (EP 1/2021)
AVT5811	Odtwarzacz audio z Raspberry Pi (EP 10-12/2020)
----	Kieszonkowy Linux (EP 9/2020)
AVT5776	Miniaturowa czujka ruchu dla Raspberry Pi, Arduino i nie tylko (EP 6/2020)
AVT5770	Arduino i nie tylko (EP 5/2020)
AVT5761	Czterokanałowy moduł przekaźnikowy sterowany I²C (EP 4/2020)
Projekt 249	Karta muzyczna dla Raspberry Pi (EP 3/2020)
AVT5739	Zasilacz buforowy z superkondensatorami dla Raspberry Pi (EP 1/2020)
----	Instalacja zegara czasu rzeczywistego w Raspberry Pi (EP 9/2019)

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

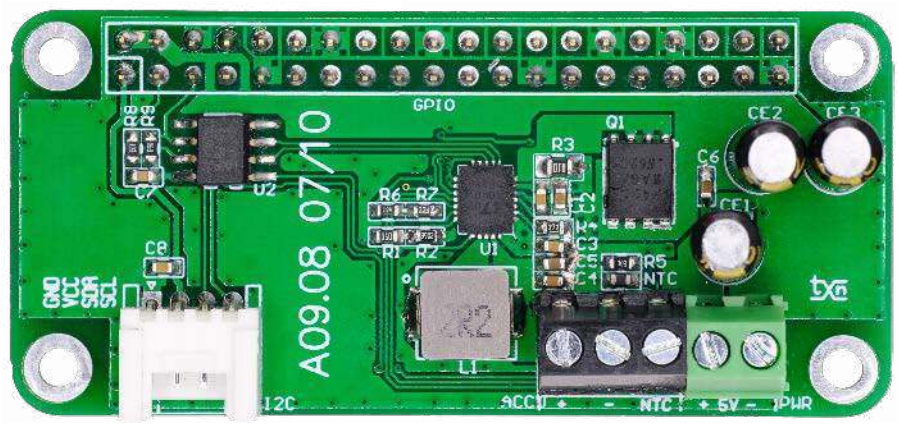
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

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

Zasilacz buforowy dla RPi Zero

W wielu aplikacjach zachodzi konieczność zapewnienia bezprzerwowego zasilania dla Raspberry Pi. Można do tego celu użyć powerbanku, ale znacznie lepiej jest zastosować specjalizowany zasilacz buforowy. Taki układ, oprócz zapewnienia stałego zasilania, kontroluje ładowanie, zabezpiecza współpracujący akumulator, bilansuje pobierany ze źródła prąd, zapobiegając przeciążeniom oraz pozwala na monitorowanie stanów pracy i sygnalizuje awarie zasilania.



W artykule został zaprezentowany zasilacz buforowy o napięciu wyjściowym 5 V i wydajności 1 A (chwilowo 1,5 A) w formie nakładki HAT dla Raspberry Pi Zero, gromadzący energię w typowym akumulatorze Li-Ion typu 14500, 18650 (lub podobnym). Zapewnia podtrzymanie zasilania w czasie od kilku minut do kilku godzin w zależności od obciążenia wymuszonego przez aplikację. Zasilacz buforowy jest typowym zastosowaniem specjalizowanego układu LTC4040 (Analog Devices), którego struktura wewnętrzna została pokazana na **rysunku 1**.

Budowa i działanie

Dzięki zastosowaniu LTC4040 aplikacja zawiera niewiele elementów zewnętrznych ograniczających się do dzielników rezystorowych układów monitorowania napięć, klucza wykonawczego i elementów przetwornicy DC/DC (**rysunek 2**). Ładowarka i przetwornica wbudowana w LTC4040 ma wszystkie niezbędne zabezpieczenia wymagane do bezpiecznej eksploatacji akumulatorów.

Napięcie wejściowe 5 V, ze źródła o obciążalności do 2500 mA, poprzez gniazdo PWR i wstępną filtrację w CE1, doprowadzone jest do dzielnika R1, R2 układu wykrywania zaniku zasilania ULVO (U1-19). W modelu wartość Ulvo ustalona jest na ok. 4,6 V, według wzoru:

$$Ulvo = 1{,}19 \times (1 + (R1 / R2))$$

Jeżeli korzystamy z urządzeń podłączonych do portu USB Raspberry Pi Zero, warto próg ustawić nieco wyżej, przykładowo na 4,8 V, zwiększając wartość R1, co zapewni szerszy margines napięcia dla zasilania USB.

Wbudowany komparator Ulvo steruje konfiguracją układu. Jeżeli napięcie na wyprowadzeniu PFI jest wyższe niż wewnętrzny próg 1,19 V, wbudowana przetwornica konfigurowana jest w tryb obniżający i pracuje w funkcji ładowarki akumulatorów. Jednocześnie tranzystor Q1 przekazuje napięcie zasilające V50 na zaciski złącza GPIO. Układ monitorowania napięcia wejściowego ustawia wyjście PFO (U1-20, OD) w stan wysoki. Gdy napięcie zasilania spadnie poniżej 1,19 V, na wyjściu PFO jest ustawiony stan niski i układ przechodzi do trybu podtrzymania zasilania, odcinając wejście zasilania i konfigurując przetwornicę w tryb podwyższający, zasilając się energią zgromadzoną w akumulatorze. Napięcie wyjściowe w trybie podtrzymania ustalone jest dzielnikiem R6, R7 podłączonym do wyprowadzenia RSTFB (U1-10), w modelu wynosi ok. 5,1 V:

$$Vsys = 0{,}8 \times (1 + (R6 / R7))$$

Ładowarka akumulatorów pracuje w trybie CC/CV z automatycznym wznawianiem ładowania i ograniczeniem czasu ładowania. Ładowarka w modelu współpracuje z ogniwem Li-Ion, z napięciem końcowym ładowania obniżonym do 4,1 V w celu podniesienia trwałości akumulatora. Wybór typu akumulatora (Li-Ion/$LiFePO_4$) oraz napięcie końcowe ustalane jest wyprowadzeniami F0, F1, F2 (U1-14...12). Prąd ładowania ustalany jest rezystorem R4:

$$Ichg = 2000 / R3$$

w modelu wynosi dla R4=3,9 k ok. 500 mA. Dla zapewnienia stabilności ładowarki prąd ładowania nie powinien być niższy niż 500 mA.

Wbudowany timer o ustalonym czasie 4 godz. zabezpiecza ogniwo przed przeładowaniem. Jeżeli w ustalonym czasie nie zostanie osiągnięte napięcie końcowe ładowania, układ wyłączy ładowanie i zasygnalizuje awarię. Podczas doboru pojemności akumulatora i prądu ładowania należy pamiętać o ograniczeniu czasowym. Model współpracuje z ogniwem 18650 o pojemności 1,8 Ah, w przypadku większych pojemności należy zwiększyć prąd ładowania, aby zmieścić się w wyznaczonym czasie, także w najmniej korzystnych warunkach (ładowanie kompletnie rozładowanego akumulatora). Zmiana R4 na 3,3 kΩ zwiększy prąd ładowania do 600 mA, co zapewni ładowanie akumulatorów 2,2 Ah. Zmniejszenie R4 do 2,7 kΩ ustali prąd ładowania na ok. 740 mA, co pozwoli ładować akumulatory 2,6 Ah.

eprasa.pl 5d23d6856a

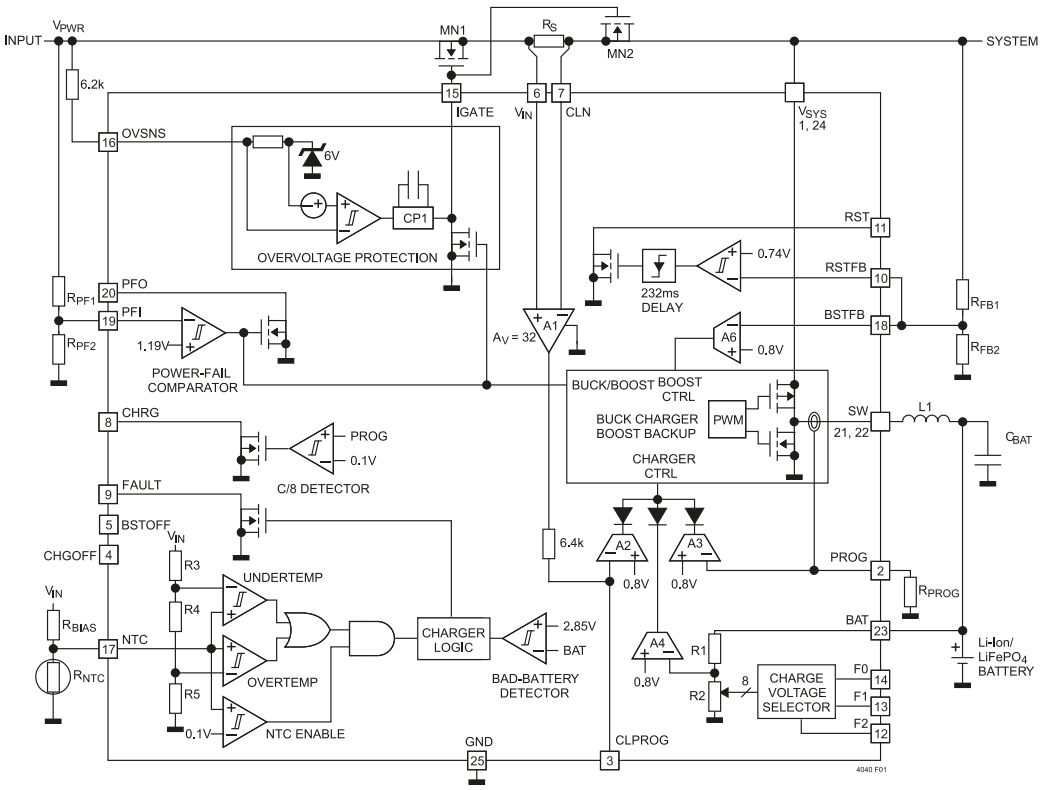
Ładowarka może zostać wyłączona poprzez podanie stanu wysokiego na wyprowadzenie CHGOFF. LTC4040 przystosowany jest do pracy z „głęboko" rozładowanymi akumulatorami. W takim przypadku zostanie rozpoczęta próba ładowania niewielkim prądem (1/8 × Ichg), jeżeli napięcie akumulatora będzie utrzymywać się poniżej 2,85 V dłużej niż 30 minut, układ zasygnalizuje awarię.

Obwód ładowania wyposażony jest w układ kontroli prądu, zabezpieczający źródło zasilania przed przeciążeniem. Prąd wejściowy rozdzielany jest pomiędzy podłączone obciążenie (Raspberry Pi) a ładowarkę. Obwód kontroli prądu mierzy napięcie na rezystorze R3, maksymalna wartość pobieranego przez układ prądu określana jest wzorem:

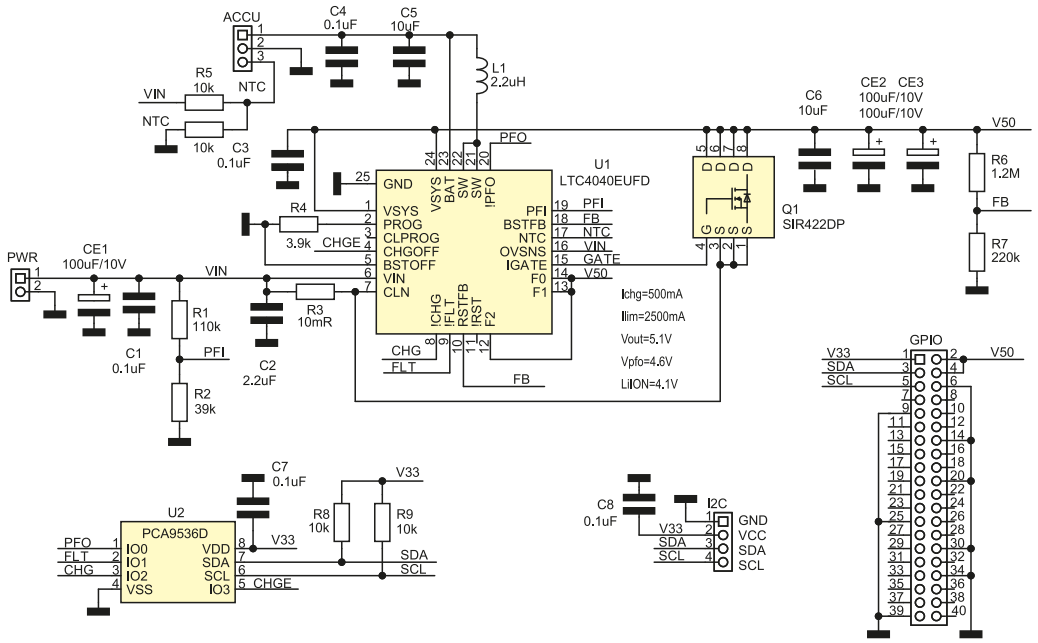
R3 = 25 mV / Isyslim

Jeżeli obciążenie pobiera chwilowo większy prąd, układ ogranicznika zredukuje prąd ładowania akumulatora tak, aby sumaryczny pobór nie przekroczył ustalonej przez R3 wartości, co ma oczywiście wpływ na czas ładowania akumulatora.

Akumulator podłączony jest do zacisków 1, 2 złącza ACCU. Do współpracy z zasilaczem należy stosować akumulatory z wbudowanym układem zabezpieczeń PCM. Termistor NTC zabezpiecza akumulator przed ładowaniem przy zbyt wysokiej (>40°) lub niskiej (<0°) temperaturze. Układ U1 sygnalizuje przekroczenie progów temperatury NTC. Optymalnym rozwiązaniem jest wbudowanie termistora w ogniwo lub przynajmniej umieszczenie go w bezpośrednim jego sąsiedztwie i podłączenie go pomiędzy masę a zacisk 3 złącza ACCU. W tym przypadku nie lutujemy termistora na płytce modułu. Na płytce pozostawione jest miejsce na wlutowanie NTC, ale to zdecydowanie gorsze rozwiązanie (lepsze niż brak zabezpieczenia termicznego). Termistor zamontowany na płytce wydłuża czas potrzebny do rozpoczęcia ładowania, po zakończeniu pracy układu w trybie zasilania z akumulatora, gdyż ze względu na niewielkie wymiary modułu nagrzewa się od elementów przetwornicy i Raspberry Pi Zero. W skrajnym i niezalecanym przypadku można NTC zastąpić rezystorem 10 kΩ, rezygnując z zabezpieczenia termicznego.



Rysunek 1. Struktura wewnętrzna LTC4040 (za notą Analog Devices)



Rysunek 2. Schemat ideowy zasilacza buforowego

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

Rezystory:
R1: 110 kΩ (SMD0603) 1%
R2: 39 kΩ (SMD0603) 1%
R3: 10 mΩ (SMD0805) 1%
R4: 3,9 kΩ (SMD0603) 1%
R5, R8, R9: 10 kΩ (SMD0603) 1%
R6: 1,2 MΩ (SMD0603) 1%
R7: 220 kΩ (SMD0603) 1%

Kondensatory:
C1, C3, C4, C7, C8: 0,1 µF (SMD0603)
CE1, CE2, CE3: 100 µF/10 V elektrolityczny
C2: 2,2 µF (SMD0603)
C5, C6: 10 µF (SMD0603)

Półprzewodniki:
Q1: SIR422DP (POWERPAKSO-8)
U1: LTC4040EUFD (QFN24_050UDF)
U2: PCA9536D (SO8)

Pozostałe:
ACCU: CONN (DG381-3.5-3) złącze DG 3 pin
GPIO: GPIO (IDC40) złącze żeńskie IDC40
L1: 2,2 µH (HPI0640) HPI0640-2R2
NTC: 10k (SMD0603) termistor NTC
PWR: CONN (DG381-3.5-2) złącze DG 2 pin

eprasa.pl 5d23d6856a

Układ U1 ma zabezpieczenie ULVO odcinające i zabezpieczające akumulator i przetwornicę przed pracą przy napięciu niższym od 2,45 V. Układ U1 zabezpieczony jest także przed przegrzaniem i po osiągnięciu temperatury struktury 125°C wyłączy się.

Uwaga! Niedopuszczalna jest współpraca układu z akumulatorem bez układu zabezpieczeń PCM, podczas pracy z akumulatorami Li-Ion należy zachować szczególną ostrożność, nie używać ogniw uszkodzonych, rozhermetyzowanych, nie zwierać zacisków akumulatora, nie przechowywać akumulatora w wysokich temperaturach, dokładne warunki eksploatacji i utylizacji akumulatora zawarte są w notach katalogowych producenta.

Sterowanie i monitorowanie ładowarki zapewnia układ uniwersalnego GPIO dla magistrali I²C, U2 typu PCA9536. Monitorowane są sygnały zaniku zasilania PFO (P0), statusu ładowania FLT (P1), CHG (P2), a sterowany jest sygnał wyłączenia ładowarki CHGE (P3). Sygnał CHGE może być używany do wyłączenia ładowarki, np. podczas transmisji GSM, gdy obciążenie będzie pobierało impulsowo duży prąd. Znaczenie stanów CHG, FLT zostało pokazane w **tabeli 1**. Złącze I²C wyprowadza magistralę Raspberry Pi Zero w standardzie Grove (3,3 V)

Tabela 1. Stany pracy ładowarki

CHG	FLT	Status
0	0	Przekroczenie progów NTC lub czasu ładowania
0	1	Ładowanie prawidłowe
1	0	Uszkodzenie akumulatora
1	1	Zakończenie ładowania

Tabela 2. Rejestry PCA9536

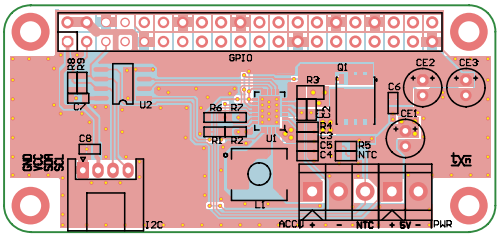
Subadres	Nazwa rejestru	Funkcja	Typ	Ustawienia domyślne
0x00	Input port	Stan wejść GPIO P0-3	Odczyt	0xFX
0x01	Output Port	Stan wyjść GPIO P0-3	Zapis/Odczyt	0xFF
0x02	Polarity Inversion	Polaryzacja wejść P0-7 bitx = 0, odczyt prosty, bitx = 1, odczyt zanegowany	Odczyt/Zapis	0x00
0x03	Configuration	Rejestr konfiguracji P0-3 bitx = 0, Px = wejście, bitx = 1, Pz = wyjście	Odczyt/Zapis	0xFF

Montaż i uruchomienie

Układ jest zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej zgodnej z Pi Zero, jej schemat został pokazany na **rysunku 3**. Montaż układu nie wymaga opisu, należy zadbać jednak o poprawne przylutowanie padów termicznych i o wymycie płytki po lutowaniu. Prawidłowo zmontowany moduł został pokazany na fotografii tytułowej.

Pierwsze uruchomienie warto przeprowadzić z użyciem regulowanego zasilacza laboratoryjnego z ograniczeniem prądowym 0...6 V/3 A, bez wlutowanego układu U2 i wyprowadzeniem U2-5 podłączonym do masy. Do wyjścia V50 należy podłączyć sztuczne obciążenie z ustawionym poborem na 500 mA. Przy wyłączonym obciążeniu i podaniu napięcia zasilania należy sprawdzić napięcie ładowania 4,1 V, a po podłączeniu akumulatora prąd ładowania. Zwiększając prąd obciążenia do 2000 mA, sprawdzamy poprawność rozdziału mocy na ładowarkę i obciążenie.

Zmieniając stan wyprowadzenia U2-5 na wysoki (zwierając z plusem zasilania lub akumulatora), sprawdzamy wyłączenie ładowarki. Po ponownym załączeniu ładowarki sprawdzamy działanie NTC poprzez ogrzanie gorącym powietrzem, po przekroczeniu progu prąd ładowania powinien zostać zmniejszony. Sprawdzenie detekcji uszkodzonego akumulatora może zostać wykonane poprzez podłączenie w jego miejsce dwóch szeregowo połączonych diod 3 A/50 V (anoda do plusa), po odczekaniu 30 minut U1 powinien zasygnalizować uszkodzenie (zbyt niskie napięcie) akumulatora. Stany wyjść OD najlepiej sprawdzać miernikiem w trybie pomiaru diody, niewymagane jest wtedy tymczasowe podwieszenie wyjść do plusa zasilania.



Rysunek 3. Schemat płytki PCB

Po wyłączeniu obciążenia i podłączeniu akumulatora przeprowadzamy ładowanie do końca cyklu, sprawdzając miernikiem zmiany stanu CHG, FLT. Gdy wszystko działa poprawnie, wyłączamy układ, odłączamy akumulator i lutujemy U2. Tak zmontowany moduł podłączamy do Pi Zero.

Sterowanie i monitorowanie podłączonego do Pi modułu można sprawdzić, korzystając z narzędzi i2ctools. Układ PCA9536 ma ustalony adres magistrali I²C na 0x41h i cztery rejestry konfiguracyjne (**tabela 2**). Obecność U2 na magistrali sprawdzamy poleceniem:

```
i2cdetect -y 1
```

Konfigurację PCA9536 ustawiamy poleceniami:

```
i2cset -y 1 0x41 0x03 0x07
i2cset -y 1 0x41 0x02 0x00
```

Odczyt statusu ładowarki możliwy jest poleceniem:

```
i2cget -y 1 0x41 0x00
```

Załączenie ładowarki wykonujemy poleceniem:

```
i2cset -y 1 0x41 0x01 0x00
```

Wyłączenie ładowarki:

```
i2cset -y 1 0x41 0x01 0x08
```

Jeżeli działa sterowanie programowe, przetestowane zostało sterowanie i sygnalizacja stanów pracy, układu można użyć we własnej aplikacji.

Należy pamiętać, że układ przeznaczony jest do pracy ciągłej i nie ma wyłącznika zasilania i akumulatora. Po włożeniu akumulatora przy braku napięcia zasilającego automatycznie uruchomiana jest przetwornica podwyższająca. Pozostawienie modułu podłączonego do Pi, bez obecności napięcia zasilania układu, pomimo niewielkiego poboru przez sam moduł zasilacza (<0,1 mA), doprowadzi do rozładowania akumulatora poprzez Pi Zero, które w trybie shutdown pobiera ok. 20 mA. Po powrocie zasilania będzie konieczne odczekanie czasu niezbędnego do pełnego naładowania akumulatora. W przypadku planowanych przerw w eksploatacji należy trwale odłączyć akumulator.

Adam Tatuś, EP

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

eprasa.pl 5d23d6856a



Precyzyjne źródła częstotliwości i czasu

Bez zbędnej przesady można przyjąć, że zdecydowana większość współczesnych urządzeń wymaga do poprawnej pracy stabilnego sygnału taktującego. Zarówno systemy bazujące na mikrokontrolerach, jak i wszystkie urządzenia radiowe, aparatura pomiarowa, systemy wizyjne czy też sprzęt audio-video, korzystają z precyzyjnych wzorców częstotliwości. Choć najprostsze urządzenia mogą poprawnie pracować ze źródłem w postaci oscylatora RC wbudowanego w mikrokontroler (zdecydowanie rzadziej w formie osobnego układu scalonego), to użycie dokładnego generatora sygnału taktowania stanowi zwykle standard, wymagany z wielu względów funkcjonalnych. Podczas gdy w wielu projektach sprawdzają się konwencjonalne oscylatory i generatory kwarcowe, rzadziej TCXO, to należy pamiętać, że mniej popularne źródła sygnału zegarowego tworzą w niektórych obszarach technologii fundament, niezbędny do poprawnego działania przez długi okres eksploatacji.

Zanim przejdziemy do opisu kolejnych źródeł czasu i częstotliwości (uszeregowanych na potrzeby niniejszego artykułu według rosnącej dokładności i stabilności), najpierw krótko podsumujemy podstawowe obszary zastosowań źródeł sygnału taktowania, spotykane w codziennej praktyce inżynierskiej.

- **Komunikacja asynchroniczna** – układy cyfrowe (przeważnie bazujące na mikrokontrolerach, ale także na układach programowalnych, jak FPGA), które komunikują się z innymi urządzeniami za pomocą szeregowych interfejsów o standardowej prędkości transmisji (np. 9600 bps, 19200 bps czy też 115200 bps w przypadku łączy UART, RS485, itp.), są zobligowane do zachowania niezbędnej dokładności częstotliwości taktowania. Przyczyna jest prozaiczna – odchyłki częstotliwości, zwłaszcza przy przesyłaniu długich pakietów danych, powodują powstanie błędów transmisji, z którymi odbiorniki współpracujących urządzeń mogą sobie nie poradzić. Z tego też względu w wielu współczesnych mikrokontrolerach dość powszechnie spotykane są sprzętowe bloki peryferyjne U(S)ART, zapewniające funkcjonalności ułatwiające zachowanie ciągłości przekazu danych. Przykładowo, odbiorniki USART procesorów STM32 oferują tolerancję odchyłek odbieranego sygnału na poziomie przekraczającym 4%, zaś niektóre podrodziny (np. STM32 L0) umożliwiają zaawansowaną, automatyczną detekcję prędkości transmisji (*auto baud*

eprasa.pl 5d23d6856a

rate detection), która do działania wymaga jednak zachowania pewnych warunków wstępnych dot. pierwszego otrzymanego znaku. Specyfikacja interfejsu USB 2.0 wymaga natomiast zachowania dokładności częstotliwościowej na poziomie ±1,5% (dla trybu low-speed 1,5 Mbps) lub ±0,25% (dla trybu full-speed 12 Mbps).

- **Taktowanie procesorów i systemów FPGA** – stabilne źródła taktowania są niezbędne również do poprawnej pracy komputerów, urządzeń mobilnych oraz procesorów aplikacyjnych we wszelkiej maści systemach wbudowanych, a także macierzy FPGA. O ile mniejsze procesory i niemal wszystkie mikrokontrolery korzystają z pojedynczych źródeł taktowania, wspieranych przez rozbudowane, wewnętrzne bloki preskalerów i pętle synchronizacji fazowej (nie licząc osobnych obwodów taktowania dla zegarów RTC), o tyle systemy komputerowe wymagają dostarczenia szeregu zewnętrznych sygnałów, zapewniających częstotliwości wymagane do poprawnej pracy procesora (często w dość szerokim zakresie, przestrajanym w ramach dynamicznego skalowania wydajności i poboru mocy), jak i wszelkich układów peryferyjnych, pamięci, koprocesorów graficznych, itd.
- **Zegary czasu rzeczywistego** – odmierzanie czasu to aspekt, który zdecydowanie najczęściej kojarzony jest przez konstruktorów systemów wbudowanych z zagadnieniem precyzyjnych źródeł częstotliwości. Z tego też względu lwia część rynku mikrokontrolerów zostaje obecnie wyposażona we wbudowane oscylatory, współpracujące z zewnętrznymi rezonatorami kwarcowymi o częstotliwości równej 32,768 kHz. Podzielenie tej wartości przez prosty, 15-bitowy licznik pozwala uzyskać dokładny sygnał o okresie 1 sekundy. W sprzedaży dostępne są także zintegrowane, scalone zegary czasu rzeczywistego, które oprócz cyfrowych liczników i układów korekcji (niezbędnej przy odliczaniu dni, miesięcy i lat, w tym również przestępnych) są wyposażone także w precyzyjne oscylatory z kompensacją termiczną.
- **Komunikacja radiowa** – współczesna transmisja bezprzewodowa z oczywistych względów bazuje na stabilnych źródłach sygnału odniesienia, które z uwagi na powszechność zastosowań modulacji fazy muszą zapewniać nie tylko stałą częstotliwość, ale także doskonałe parametry fazowe czy też dodatkowe wejścia kontrolne, pozwalające na dynamiczne dostosowywanie do potrzeb urządzenia. Postęp w dziedzinie parametrów widmowych musi jednak iść w parze z miniaturyzacją oraz redukcją poboru mocy, co zyskuje szczególne znaczenie w dobie powszechnego rozwoju segmentu IoT oraz technologii mobilnych. Rynek telekomunikacyjny w naturalny sposób jest więc największym odbiorcą coraz nowocześniejszych źródeł częstotliwości wzorcowej.
- **Systemy digital audio** – standardowe rozwiązania układowe, stosowane powszechnie w systemach akwizycji oraz odtwarzania cyfrowych sygnałów audio, zakładają użycie określonych częstotliwości próbkowania – najczęściej spotykane wartości to 44,1 kHz (CD audio), 48 kHz, 96 kHz oraz 192 kHz. Im wyższa częstotliwość taktowania, tym wierniejsze odwzorowanie dźwięku, jednak ważny okazuje się tu również tzw. jitter (utożsamiany z pojęciem szumu fazowego). W przypadku połączenia kilku systemów o niezbyt dobrze zsynchronizowanym taktowaniu różnice czystości odtwarzania mogą być słyszalne dla najbardziej wprawnych odbiorców. I choć na obecność takich zniekształceń wpływają głównie różnice w taktowaniu poszczególnych bloków (a nie wartość częstotliwości jako takiej), to są osoby gotowe inwestować dziesiątki tysięcy złotych w... specjalnie zaprojektowane zegary atomowe, zapewniające ultraprecyzyjną częstotliwość taktowania i niski jitter dla całego cyfrowego zestawu audio (**fotografia 1**).
- **Liczniki częstotliwości** – częstotliwość jest jedną z fundamentalnych wielkości fizycznych o szczególnym znaczeniu dla elektroniki, stąd nie trzeba raczej nikogo przekonywać o istotności jej pomiaru w laboratoriach i pracowniach konstrukcyjnych czy serwisowych. Podczas gdy funkcję pomiaru częstotliwości zapewnia dziś znaczna część uniwersalnych mierników (multimetrów przenośnych) oraz oscyloskopów, specjalizowane mierniki szerokopasmowe o precyzyjnych źródłach odniesienia stabilizowanych aktywnie (OCXO – więcej informacji na ich temat podamy w dalszej części artykułu) należą do stałego arsenału zarówno pracowni profesjonalnych, jak i warsztatów radioamatorskich.
- **Akwizycja sygnałów analogowych** – stabilne źródła częstotliwości mogą także służyć do taktowania przetworników ADC/DAC, pracujących w szybkich systemach synchronicznej akwizycji sygnałów pomiarowych, również w zakresie spektrum poniżej pasma radiowego. Praktycznie wszystkie zaawansowane konwertery umożliwiają pracę z zewnętrznym źródłem sygnału taktującego, w tym przypadku jednak zastosowanie znajdują często źródła o relatywnie wąskim zakresie częstotliwości. Jednym z zastosowań precyzyjnych źródeł częstotliwości są także wzmacniacze fazoczułe (tzw. *lock-in amplifiers*, **fotografia 2**), używane do detekcji bardzo słabych sygnałów, występujących na tle silnego szumu i innych zakłóceń. Szczególnym przykładem niezwykle rozbudowanych aplikacji, które opierają się na precyzyjnym odmierzaniu czasu i częstotliwości, są systemy obrazowania medycznego, odpowiednio – PET oraz MRI.



Fotografia 1. Źródło częstotliwości wzorcowej dla systemów HQ audio – zegar rubidowy 10MX marki Antelope Audio (https://bit.ly/3Jac38N)



Fotografia 2. Wzmacniacz fazoczuły SR850 marki Stanford Research Systems (https://bit.ly/32qNfby)

Rezonatory kwarcowe

Przegląd precyzyjnych źródeł częstotliwości należy zacząć od tych najczęściej spotykanych, stosowanych do taktowania w niemal wszystkich branżach elektroniki. Oscylatory kwarcowe (bo o nich mowa) składają się z właściwego rezonatora kwarcowego oraz układu zapewniającego podtrzymanie drgań rezonansowych kryształu na drodze wprowadzenia silnego sprzężenia zwrotnego. Sam rezonator jest w istocie cienką płytką kwarcu, przygotowaną według precyzyjnie dobranych wymiarów i geometrii oraz, co bardzo ważne, przyciętą pod ściśle określonym kątem względem osi bloku kwarcowego. Sposób cięcia wpływa na parametry rezonatora i wraz z geometrią płytki pozwala kształtować charakterystykę komponentu w zaskakująco szerokim zakresie.

Obecnie najczęściej używane są rezonatory wykonane w technologii *AT-cut* oraz *tuning fork*. Pierwsze z nich bazują na płytce o regularnym kształcie (okrągłej lub prostokątnej), z elektrodami planarnymi umieszczonymi na obu powierzchniach (**fotografia 3**). Rezonatory AT-cut występują w szerokim zakresie częstotliwości, zwykle od 1 MHz do kilkudziesięciu, a nawet kilkuset MHz – do tej grupy należą m.in. popularne „kwarce" w obudowach z serii HC-49 i HC-49 U (rezonatory przewlekane w obudowach „wysokich"), HC-49 S (potocznie określane jako „niski HC49"), a także liczne rezonatory SMD typu HC-49 SM oraz znacznie bardziej kompaktowe wykonania

eprasa.pl 5d23d6856a



Fotografia 3. Widok rezonatora kwarcowego typu AT-CUT w obudowie HC49 po zdjęciu metalowej pokrywy (https://bit.ly/3EjdzBR)



Fotografia 4. Rezonatory kwarcowe w obudowach typu SMD (https://bit.ly/3ElABYC)

niskoprofilowe (**fotografia 4**). Szeroki zakres częstotliwości sprawia, że to właśnie ta grupa rezonatorów jest zdecydowanie najszerzej stosowana m.in. do taktowania mikrokontrolerów.

Podczas gdy płytki AT-cut wykorzystują drgania ścinające (*thickness-shear vibrations*), rezonatory typu tuning-fork, jak sama nazwa wskazuje, działają w sposób bardzo zbliżony do popularnego kamertonu. Co więcej – rozwidlony kształt płytki kwarcowej (**fotografia 5**) do złudzenia przypomina ten prosty przyrząd, używany do strojenia instrumentów muzycznych. Rezonatory typu tuning-fork są spotykane w segmencie popularnych, zegarkowych źródeł częstotliwości wzorcowej w wersji przewlekanej (w postaci niewielkich, podłużnych walców o średnicy rzędu 1...2 mm), systemy wbudowane korzystają natomiast z niewielkich rezonatorów w obudowach do montażu SMT (**fotografia 6**).



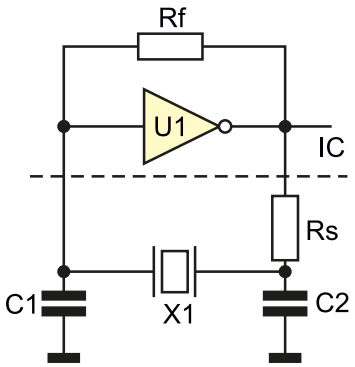
Fotografia 5. Płytka kwarcowa rezonatora „zegarkowego" typu tuning fork (https://bit.ly/3phqlwd)



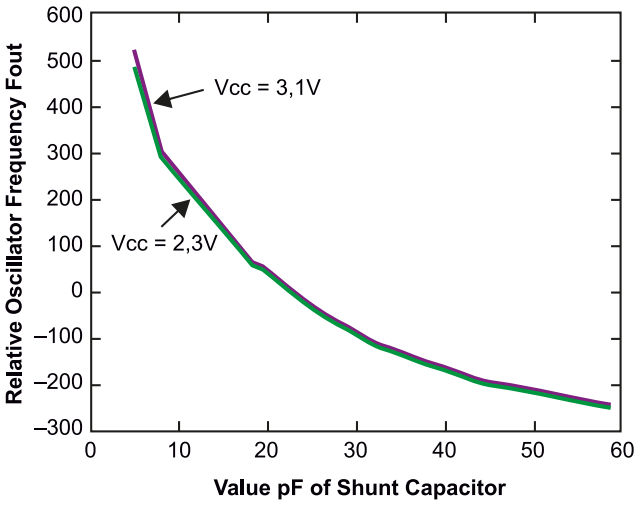
Fotografia 6. Rezonatory 32,768 kHz w obudowach SMD o wymiarach 4,1×1,5 mm (seria CC5VT1A marki Micro Crystal) (https://bit.ly/3ed5XWS)

Podstawowy układ pracy oscylatora kwarcowego

Zasada działania rezonatora kwarcowego opiera się na rezonansie mechanicznym płytki kwarcowej, który dzięki właściwościom piezoelektrycznym jest niejako „sprzężony" z rezonansem elektrycznym – impedancja rezonatora maleje bowiem drastycznie przy zbliżaniu się do częstotliwości charakterystycznej. W codziennej praktyce konstruktorskiej niemal wszystkie aplikacje rezonatorów kwarcowych są zatem zbudowane w oparciu na oscylatorze harmonicznym Pierce-Gate, którego schemat prezentuje **rysunek 1**. Układ ten wykorzystuje ujemną rezystancję dynamiczną rezonatora, który, co ciekawe, prezentuje sobą nie tylko pewne pojemności wewnętrzne (co nie dziwi z uwagi na planarną budowę płytki kwarcowej), ale także rezystancję szeregową (ESR) oraz…



Rysunek 1. Oscylator kwarcowy wykonany w topologii Pierce-Gate. Elementy Rs, C1 i C2 są dołączane z zewnątrz układu scalonego (np. mikrokontrolera), zaś inwerter i – w większości przypadków – rezystor sprzężenia zwrotnego znajdują się w strukturze układu (https://bit.ly/3pjdR7F)



Rysunek 2. Zależność względnej częstotliwości drgań oscylatora kwarcowego (odchyłka w [ppm] względem częstotliwości nominalnej) od pojemności kondensatorów CL (https://bit.ly/3EiSI1E)

eprasa.pl 5d23d6856a

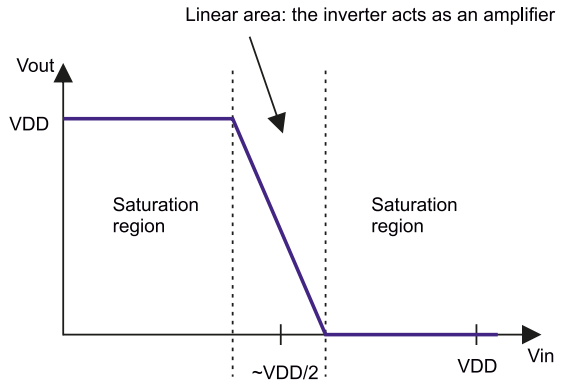
indukcyjność. To właśnie w indukcyjnym zakresie krzywej reaktancyjnej operują rezonatory kwarcowe, stosowane w układzie Pierce-Gate. Dwa kondensatory (C1 i C2 na rysunku 1), określane jako pojemność obciążenia (*load* – C_L), są niezbędne do stworzenia właściwych warunków pracy układu rezonansowego – wraz z rezystancją szeregową Rs oraz rezonatorem wprowadzają łączne przesunięcie fazy o około 180°, co w połączeniu z przesunięciem samego negatora daje łącznie 360°. A takie właśnie przesunięcie, w połączeniu ze wzmocnieniem pętli sprzężenia zwrotnego większym lub równym jedności, stanowi spełnienie tzw. kryteriów oscylacji Barkhausena, umożliwiających utrzymanie niegasnących, stabilnych drgań rezonansowych. Dobroć rezonatorów kwarcowych osiąga wartości na poziomie od kilkudziesięciu do nawet kilkuset tysięcy, co dodatkowo wspomaga oscylacje.

Co bardzo ważne – wartość kondensatorów wpływa istotnie na dokładną częstotliwość generowanych drgań (**rysunek 2**). O ile bowiem opisane wcześniej parametry geometryczne – kształt, rozmiary, a zwłaszcza grubość płytki – decydują w największym stopniu o częstotliwości rezonansowej, o tyle dokładna wartość tego parametru jest automatycznie kalibrowana w procesie produkcyjnym za pomocą wiązki laserowej, trawienia, itd. właśnie w układzie o ściśle określonej wartości pojemności obciążenia. Dlatego też producenci oscylatorów podają zalecaną pojemność C_L, przy jakiej element generuje częstotliwość możliwie najbliższą wartości nominalnej. I to dla… określonej temperatury otoczenia (zwykle pokojowej, tj. 25°C), gdyż to właśnie warunki termiczne są kolejnym czynnikiem silnie warunkującym częstotliwość pracy rezonatorów kwarcowych.

Znaczenie i dobór elementów dyskretnych oscylatora

Kondensatory obciążenia (C_L) – poszczególne dielektryki stosowane w kondensatorach wielowarstwowych do montażu powierzchniowego (MLCC) różnią się znacząco charakterystyką pojemności w funkcji temperatury. Z tego względu należy stosować elementy o możliwie małej zależności od warunków termicznych – jednym z najczęściej zalecanych dielektryków jest ceramika C0 G (NP0), należąca do dielektryków tzw. I klasy. Z uwagi na niewielką przenikalność względną znaczna część niewielkich kondensatorów oferowanych obecnie przez dystrybutorów komponentów pasywnych jest wykonywana właśnie z tego typu izolatorów – nic nie stoi zatem na przeszkodzie, by wykorzystywać kondensatory C0 G w roli pojemności obciążenia rezonatorów.

Rezystor szeregowy (Rs) – szeregowy rezystor, zalecany zwykle w układach oscylatorów Pierce-Gate, pełni trzy zasadnicze funkcje. Nie tylko oddziela wyjście negatora od złożonej impedancji, tworzonej przez rezonator oraz pojemności obciążenia, ale także redukuje moc wysterowania rezonatora i wprowadza (wraz z najbliższym kondensatorem, tj. C2 wg rysunku 1) – dodatkowe przesunięcie fazy, przydatne zwłaszcza w zakresie niskich częstotliwości. Rs jest szczególnie



Rysunek 3. Charakterystyka przejściowa negatora niebuforowanego, zlinearyzowanego za pomocą rezystora sprzężenia zwrotnego (https://bit.ly/3EkZqUT)

Tabela 1. Orientacyjne zakresy rezystancji sprzężenia zwrotnego w oscylatorze Pierce-Gate

Częstotliwość [MHz]	Zakres rezystancji Rf [Ω]
0,032768	10…15 M
1	5…10 M
10	1…5 M
20	0,47…5 M

zalecany w układach pracy rezonatorów tupu tuning-fork z uwagi na ich znikomą wytrzymałość w funkcji mocy wysterowania. Zwykle wartość rezystora Rs plasuje się na poziomie kilkudziesięciu…kilkuset kiloomów. Warto dodać, że w aplikacjach ultra low-power poziom mocy wysterowania rezonatora okazuje się często bardzo istotny. Co więcej, optymalizacja ilości energii traconej przez oscylator pozwala nie tylko zmniejszyć zapotrzebowanie urządzenia pod względem prądu zasilania (co ma znaczenie zwłaszcza w obwodach podtrzymujących pracę zegarów RTC), ale także uniknąć niepożądanych efektów, wynikających z nieliniowego zachowania rezonatora przy dużej mocy.

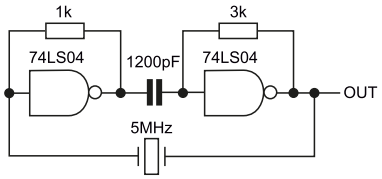
Rezystor sprzężenia zwrotnego (Rf) – zadaniem rezystora Rf jest wprowadzenie ujemnego sprzężenia zwrotnego, które linearyzuje negator, lub – innymi słowy – przesuwa jego punkt pracy do zakresu liniowego, „rozciągniętego" w porównaniu do negatora pozbawionego sprzężenia i czyni go w ten sposób… prostym wzmacniaczem CMOS (**rysunek 3**). Zalecana wartość rezystora Rf maleje wraz z częstotliwością pracy – przykładowe orientacyjne zakresy zostały pokazane w **tabeli 1**.

Inne realizacje układowe oscylatorów kwarcowych

Opisany powyżej układ Pierce-Gate – jakkolwiek bez wątpienia najbardziej rozpowszechniony na świecie dzięki systemom wbudowanym, nie jest jednak jedyną możliwą realizacją układu generatora, bazującego na rezonatorze kwarcowym. W literaturze można spotkać liczne schematy generatorów, które w roli elementów aktywnych zawierają bramki logiczne, wzmacniacze operacyjne, komparatory, a nawet komponenty dyskretne – tranzystory bipolarne lub polowe. Ciekawą kolekcję takich rozwiązań zaprezentowała firma Linear Technology w nocie aplikacyjnej pt. *Circuit Techniques for Clock Sources* z 1985 roku – na rysunkach 4…7 przywołujemy kilka ciekawych przykładów.

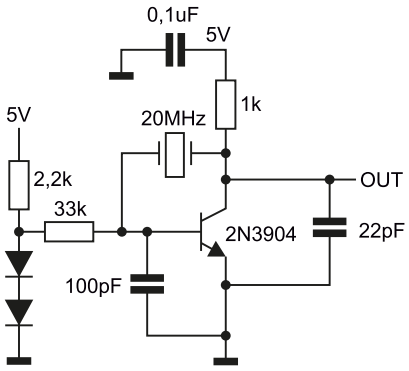
Rysunek 4 prezentuje prosty, dwubramkowy oscylator z dwupoziomowym sprzężeniem zwrotnym. Rezystory o wartościach 1 kΩ i 3 kΩ linearyzują poszczególne bramki, które połączone są ze sobą zmiennoprądowo za pomocą kondensatora. Całość układu jest zamknięta drugą pętlą sprzężenia zwrotnego, w którego roli występuje sam oscylator. Warto zwrócić uwagę, że kryterium fazy Barkhausena zostało tutaj spełnione dzięki 180-stopniowym przesunięciom fazy, wprowadzanym przez połączone kaskadowo bramki – całość oferuje zatem niezbędne przesunięcie równe 360°. Układ jest przeznaczony do pracy z elementami typu AT-cut.

Prosty generator Pierce'a pokazany na **rysunku 5** uważnym Czytelnikom przywoła na myśl schematy, doskonale znane z podręczników elektroniki sprzed kilku dekad. W gruncie rzeczy, sam układ działa na niemal identycznej podstawie, jak opisany szeroko układ Pierce-Gate – w roli zlinearyzowanego negatora o 180-stopniowym

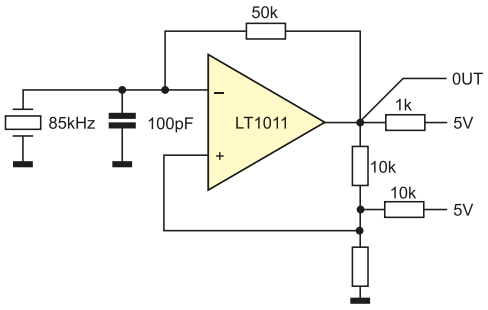


Rysunek 4. Oscylator dwubramkowy z oscylatorem AT-cut (https://bit.ly/3sv9vMu)

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 5. Oscylator kwarcowy Pierce'a na bazie tranzystora BJT (https://bit.ly/3sv9vMu)



Rysunek 6. Relaksacyjny oscylator kwarcowy bazujący na komparatorze scalonym (https://bit.ly/3sv9vMu)

przesunięciu fazy pracuje tutaj pojedynczy tranzystor bipolarny, spolaryzowany prostym źródłem prądowym tworzonym przez szeregowe diody, rezystory 2,2 kΩ i 33 kΩ oraz złącze baza-emiter tranzystora. Dodatkowe przesunięcie wprowadzają kondensatory 100 pF i 22 pF. Bardzo podobny układ, lecz z polaryzacją stałonapięciową w postaci dzielnika napięcia, zaprezentowała w jednej z not aplikacyjnych także firma National Instruments.

Układ z **rysunku 6** bazuje na scalonym komparatorze i – co ciekawe – należy do grupy oscylatorów relaksacyjnych (w odróżnieniu od harmonicznych, wśród których prym wiedzie topologia Pierce'a). Klasyczny schemat generatora RC, znany z licznych not aplikacyjnych i podręczników, został tutaj wzbogacony rezonatorem, włączonym równolegle do kondensatora tworzącego układ RC z rezystorem sprzężenia zwrotnego. Wartości elementów pasywnych układu dobrane zostały w taki sposób, by samorzutna relaksacja multiwibratora (tj. bez obecności rezonatora) była nieznacznie szybsza (5...10%) niż nominalna częstotliwość rezonatora – zbliżenie do punktu rezonansu powoduje „podkradanie" energii z układu RC, co wymusza generowanie przez układ oscylacji o pożądanej częstotliwości.

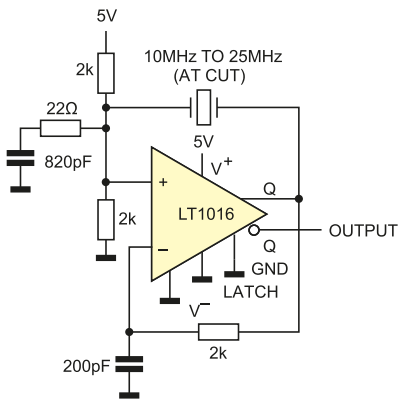
Warto przeanalizować także topologię przedstawioną na **rysunku 7** – bez rezonatora układ byłby „zwyczajnym", szerokopasmowym wtórnikiem napięcia o GBW na poziomie 50 GHz. Włączenie oscylatora kwarcowego pomiędzy wyjście komparatora a dzielnik napięcia, polaryzujący jego wejście nieodwracające, wprowadza do układu dodatnie sprzężenie zwrotne, „faworyzujące" częstotliwość rezonansową rezonatora i wymuszające rozpoczęcie generowania oscylacji. Dodatkowa sieć RC złożona z rezystora 22 Ω i kondensatora 820 pF tłumi wyższe częstotliwości, nie dopuszczając do pracy rezonatora w tzw. trybie overtone, czyli z częstotliwością harmoniczną wyższego rzędu (ten tryb pracy bywa jednak czasem używany w układach bazujących na rezonatorach AT-cut).

Hybrydowe generatory kwarcowe

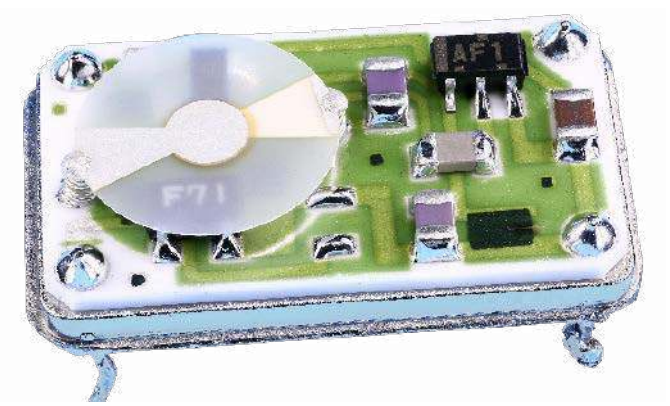
Dyskretne rezonatory kwarcowe są używane przez projektantów elektroniki często bez głębszego zastanowienia nad zapewnieniem im właściwych warunków pracy. Wyjaśnienie tego faktu jest dość prozaiczne – w większości przypadków wstawienie do układu „kwarcu" z dwoma kondensatorami o typowej wartości z przedziału 18...22 pF doskonale spełnia swoje zadanie i to bez konieczności wykonywania jakichkolwiek dodatkowych zabiegów projektowych w tym zakresie. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest też fakt, że coraz bardziej zaawansowane obwody taktowania, stosowane w mikrokontrolerach i procesorach aplikacyjnych, doskonale radzą sobie z rozpoczęciem i podtrzymaniem oscylacji, zapewniając także dodatkowe funkcje kontrolne, np. w postaci sprzętowych bloków nadzoru (CSS w przypadku procesorów STM32).

Warto jednak wiedzieć, że sumiennie i dokładnie przeprowadzony proces projektowania układu pracy rezonatora wraz z wyczerpującym programem testów mogą uchronić projekt od klęski, spowodowanej awarią w najmniej oczekiwanym momencie. Prostszą metodą na zapewnienie niezawodności przez ominięcie pułapek związanych z zawiłościami fizyki oscylatorów, a dodatkowo dającą korzyści w postaci redukcji liczby elementów dyskretnych, jest zastosowanie hybrydowego oscylatora kwarcowego. Komponenty takie zawierają w swojej strukturze zarówno sam rezonator, jak i niezbędne układy aktywne zapewniające poprawny start i podtrzymanie oscylacji, zaś do ich pracy wymagane jest jedynie podanie zasilania oraz (ewentualnie) podłączenie dodatkowego, zewnętrznego kondensatora odsprzęgającego. Dawniej powszechnie stosowane były dość duże oscylatory w metalowych obudowach, przeznaczonych do montażu przewlekanego (**fotografia 7**) – dziś zostały one w dużej mierze wyparte przez miniaturowe oscylatory SMD, w których część półprzewodnikowa to już nie konwencjonalny układ scalony, ale struktura krzemowa bezpośrednio podłączona do wyprowadzeń ceramicznej obudowy techniką bondingu (**fotografia 8**).

Gotowe oscylatory kwarcowe występują w szerokim zakresie częstotliwości, od kiloherców do nawet kilkuset megaherców. Do zalet tych układów, oprócz uproszczenia procesu projektowania i zmniejszenia liczby elementów dyskretnych, można zaliczyć także dość szeroki wybór wersji napięciowych (zwykle od 1,8 V do 5 V). Istotną wadą wielu oscylatorów jest natomiast relatywnie duży pobór prądu

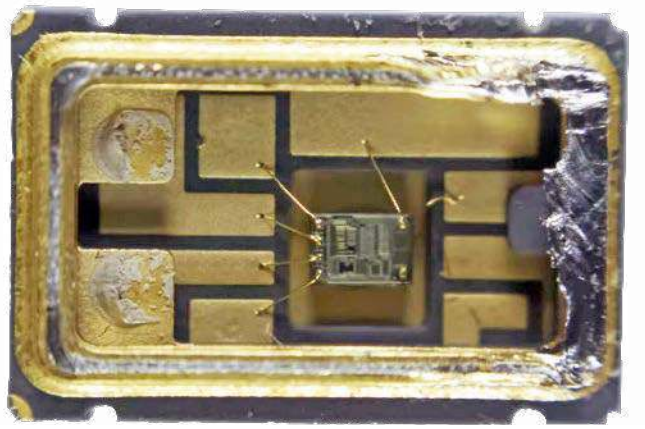


Rysunek 7. Oscylator na bazie szybkiego komparatora i rezonatora AT-cut (https://bit.ly/3sv9vMu)

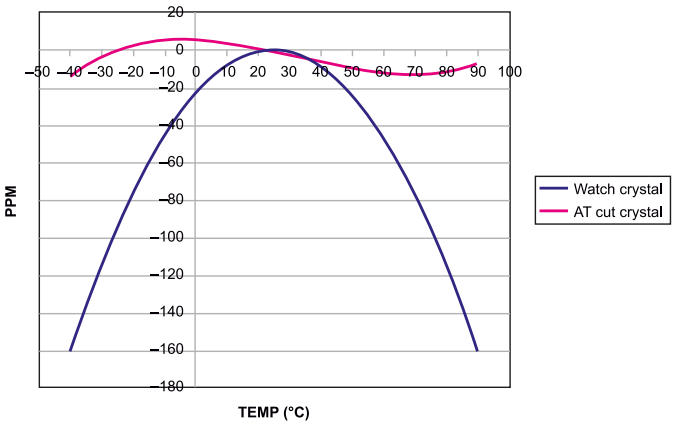


Fotografia 7. Widok hybrydowego oscylatora kwarcowego po usunięciu metalowej osłony (https://bit.ly/3phJfml)

eprasa.pl 5d23d6856a



Fotografia 8. Widok wnętrza ceramicznej obudowy oscylatora kwarcowego SMD po usunięciu pokrywy i prostokątnej płytki kwarcowej (strzałkami oznaczono trzy punkty zamocowania kwarcu) (https://bit.ly/3GVhBCa)



Rysunek 8. Wykres zależności częstotliwości rezonansowej rezonatorów typu AT-cut i tuning fork (in. zegarkowych – „watch crystal") w zależności od temperatury. Wartości podane w [ppm] względem częstotliwości nominalnej (https://bit.ly/3pjox6c)

– wersje określane jako *low-power* w istocie mogą pobierać nawet kilka mA prądu zasilania. Do układów wymagających pracy w trybie obniżonego poboru mocy z podtrzymaniem bateryjnym lub superkondensatorowym, a w czasie normalnej pracy zasilanych z „większego" źródła (np. sieciowego), warto wybrać oscylator z wyprowadzonym sygnałem zezwolenia, umożliwiającym wyłączenie generatora przed przejściem mikrokontrolera do trybu *ultra-low power*. Przykładowo, oscylator SiT1602 B marki SiTime w czasie normalnej pracy przy napięciu zasilania 1,8 V pobiera aż 3,5 mA, jednak w trybie uśpienia zapotrzebowanie spada do zaledwie 0,6 µA (max. 1,3 µA), co może już być akceptowalne w wielu praktycznych aplikacjach. Opisywany model występuje w szerokiej gamie obudów SMD, począwszy od rozmiaru, 2,0×1,6 mm, a skończywszy na 7,0×5,0 mm.

Wpływ temperatury

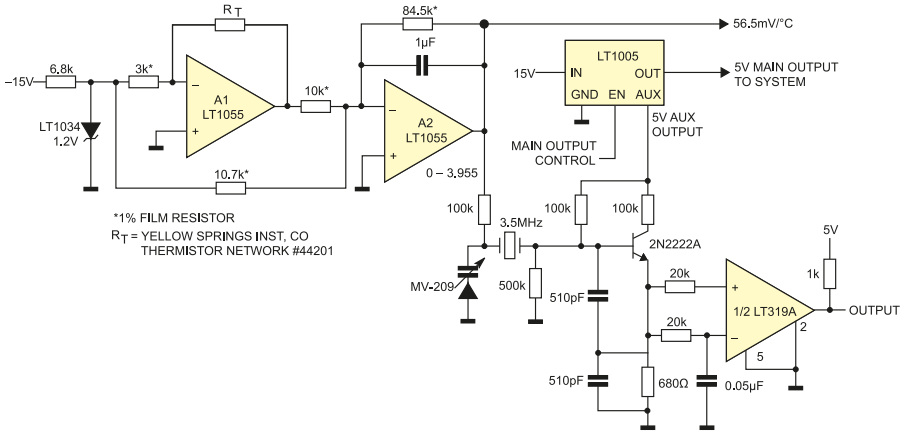
Wspomniany wcześniej silny wpływ warunków otoczenia na pracę rezonatorów kwarcowych zobrazowano na **rysunku 8**, prezentującym zależność częstotliwości względnej (odniesionej do wartości nominalnej) od temperatury. Jak widać, w przypadku rezonatorów typu tuning-fork charakterystyka ma postać paraboliczną, z wierzchołkiem kalibrowanym (co nie dziwi) dla temperatury pokojowej. Z kolei rezonatory typu AT-cut oferują diametralnie inny kształt oraz amplitudę charakterystyki termicznej – choć prezentują one znacznie niższą podatność na odchyłki spowodowane ogrzewaniem lub schładzaniem, w precyzyjnych urządzeniach telekomunikacyjnych lub pomiarowych nawet te, pozornie niewielkie, wahania są absolutnie niedopuszczalne. Konkluzja taka doprowadziła do powstania dwóch grup oscylatorów, które nieporównanie lepiej radzą sobie z utrzymaniem stabilnej częstotliwości w zmiennych warunkach pracy – mowa o TCXO i OCXO.

Oscylatory TCXO

Określenie to oznacza *Temperature Compensated Crystal Oscillator* – czyli realizują elektroniczną kompensację wahań temperatury za pomocą elementów termoczułych, sterujących pracą aktywnego układu przestrajania. Układ ten działa zwykle w oparciu na zmianie pojemności obciążenia, co – jak wiadomo z wcześniejszej części artykułu – jest w stanie wpływać na niewielkie przesunięcie częstotliwości rezonansowej oscylatora. W naturalny sposób układy TCXO korzystają zatem z warikapów – diod pojemnościowych przestrajanych napięciowo. Przykładowy schemat TCXO, wykonanego z elementów dyskretnych, został pokazany na **rysunku 9**. Wzmacniacze A1 i A2 zapewniają odpowiednie wzmocnienie oraz offset napięcia panującego na termistorze RT – sygnał wyjściowy wzmacniacza A2 jest następnie podawany przez rezystor 100 kΩ na diodę pojemnościową MV-209, która przestraja w niewielkim zakresie oscylator kwarcowy, zbudowany na bazie tranzystora BJT. Generator jest buforowany za pomocą komparatora LT319 A, zapewniającego kształtowanie wyjściowego sygnału prostokątnego. Co ciekawe, układ ten, mimo iż powstał w połowie lat 80. ubiegłego wieku, zapewniał doskonałą stabilizację temperatury, co uwidoczniono na **rysunku 10** – podczas gdy początkowy dryf częstotliwości oscylatora dochodził do 40 ppm w zakresie 0...70°C, konstruktorom układu udało się uzyskać poprawkę częstotliwości z odchyłką maksymalną 2 ppm. Dziś najlepsze oscylatory TCXO, wykonane w obudowach ceramicznych SMD, do złudzenia przypominających miniaturowe rezonatory i generatory kwarcowe, osiągają dokładność stabilizacji częstotliwości na poziomie ±1 ppm, ±0,5 ppm, a nierzadko nawet 0,1 ppm i to w pełnym zakresie temperatur roboczych.

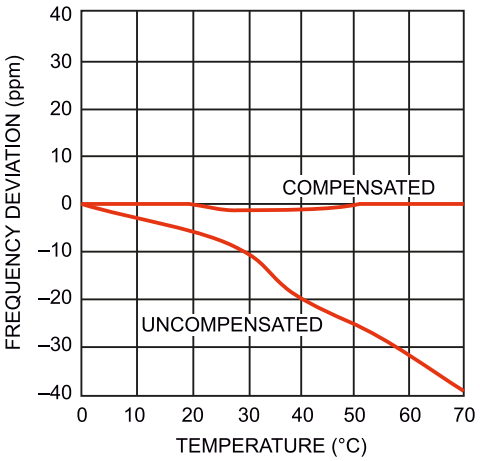
Oscylatory OCXO

Doskonałe dokładności osiągane przez oscylatory z kompensacją temperaturową w niektórych zastosowaniach są nadal niewystarczające. Problem dotyczy głównie (choć nie tylko) urządzeń pracujących w trudnych warunkach, przy dużej zmienności temperatur, a nierzadko także w narażeniu na wstrząsy i wibracje. Słusznym skojarzeniem będą tutaj wszelkiej maści technologie wojskowe – sprzęt radiokomunikacyjny, systemy radarowe, czy też systemy zarządzania polem walki – a także przemysł lotniczy i kosmiczny. W tych aplikacjach



Rysunek 9. Dyskretna realizacja TCXO z buforem wyjściowym i aktywnym układem kondycjonowania sygnału z termistora (R_T) (https://bit.ly/3sv9vMu)

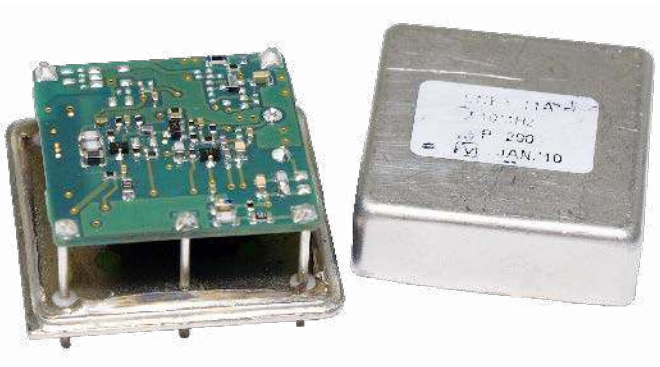
eprasa.pl 5d23d6856a



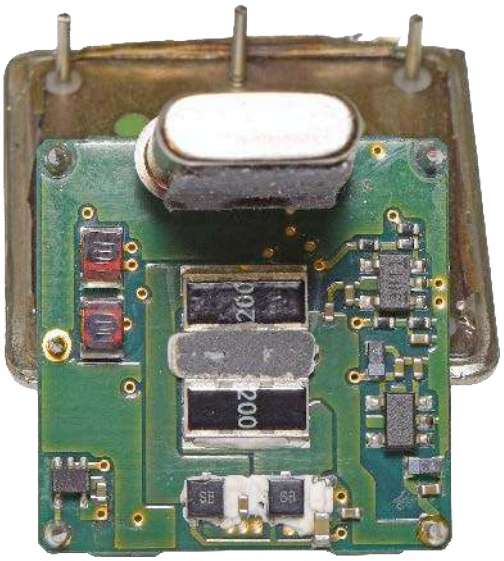
Rysunek 10. Porównanie termicznego dryfu częstotliwości rezonatora kwarcowego bez kompensacji i z kompensacją w układzie z rysunku 9 (https://bit.ly/3sv9vMu)

zastosowanie znajdują oscylatory OCXO (*Oven Controlled Crystal Oscillator*). W ich przypadku mamy już do czynienia nie tylko z precyzyjnym strojeniem fabrycznym, ale także aktywną regulacją temperatury rezonatora kwarcowego, korzystającą z miniaturowego termostatu oraz układu grzałek, sprzężonych termicznie z obudową rezonatora. Budowę przykładowego OCXO obrazuje schemat, zaczerpnięty z wielokrotnie już przywoływanej noty aplikacyjnej Linear Technology (**rysunek 11**). Choć współczesne OCXO bazują już na nieco innych rozwiązaniach układowych, zwłaszcza w zakresie części oscylacyjnej, to zasada działania pozostaje niezmienna – precyzyjny termostat reguluje w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego temperaturę grzałek oporowych, korzystając z wbudowanego czujnika temperatury, znajdującego się także w ścisłym otoczeniu samego rezonatora. Wnętrze nowoczesnego OCXO można zobaczyć na **fotografiach 9** i **10**.

Współczesne oscylatory z kontrolą termostatową zapewniają coraz lepsze parametry i to nie tylko pod względem stabilności temperaturowej (w przypadku serii OX-400/401 marki Microsemi – wykupionej przez Microchipa – dochodzi ona już nawet do poziomu ±5 ppb w przemysłowym zakresie temperatur), ale także tolerancji wstępnej (±0,2 ppm) i stabilności długoczasowej (efekt starzenia na poziomie ±1000 ppb przez 10 lat). Czas wstępnego nagrzewania – jako parametr, będący największą wadą OCXO obok dużego poboru mocy – dziś kształtuje się na poziomie kilkudziesięciu sekund, co jest naprawdę niezłym wynikiem. Co ważne, współczesne oscylatory tego typu oferują możliwość zasilania napięciem na poziomie logiki układów scalonych (3,3...5 V), występują ponadto w obudowach SMD, co znakomicie upraszcza proces automatycznego montażu seryjnego (**fotografia 11**).



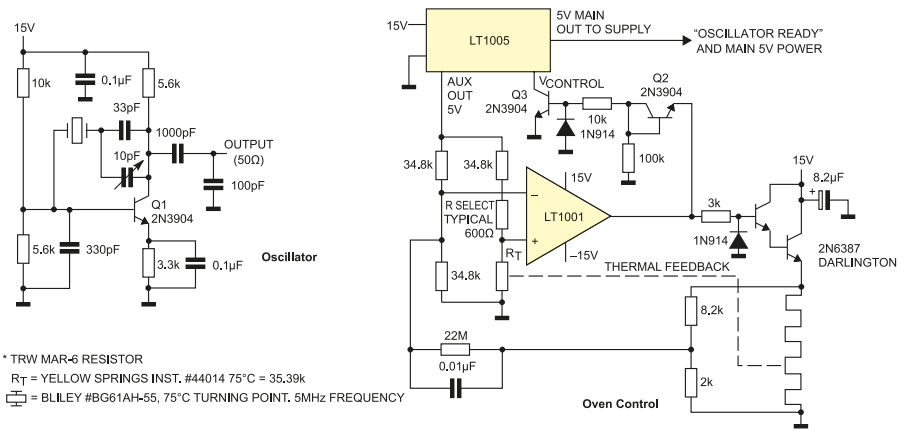
Fotografia 9. Widok OCXO typu NDK ENE3311A po otwarciu metalowej puszki (https://bit.ly/3sGu20X)



Fotografia 10. Widok sekcji termostatowej OCXO ENE3311A po odchyleniu rezonatora kwarcowego. Widoczne dwa rezystory grzejne SMD, sprzężone z rezonatorem (https://bit.ly/3sGu20X)

Oscylatory VCXO

Osobną kategorię źródeł częstotliwości wzorcowej stanowią oscylatory VCXO (*Voltage Controlled Crystal Oscillator*). Od strony technicznej VCXO są zbliżone do TCXO, przy czym przestrajanie odbywa się z użyciem zewnętrznego napięcia sterującego, dostarczanego przez jedno z wyprowadzeń układu – nie zaś, jak miało to miejsce w TCXO, za pomocą wbudowanych obwodów analogowych. Z uwagi na niewielki zakres przestrajania (na poziomie ±100...200 ppm) ten typ układów wykorzystywany jest przede wszystkim w roli generatora VCO w wąskopasmowych pętlach PLL, dekoderach telewizyjnych, dekoderach MPEG,

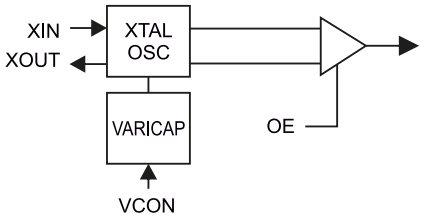


Rysunek 11. Przykładowa realizacja układowa oscylatora z aktywną regulacją temperatury (https://bit.ly/3sv9vMu)



Fotografia 11. OCXO z serii OX400/401 marki Microsemi (https://bit.ly/3EqwfzO)

eprasa.pl 5d23d6856a



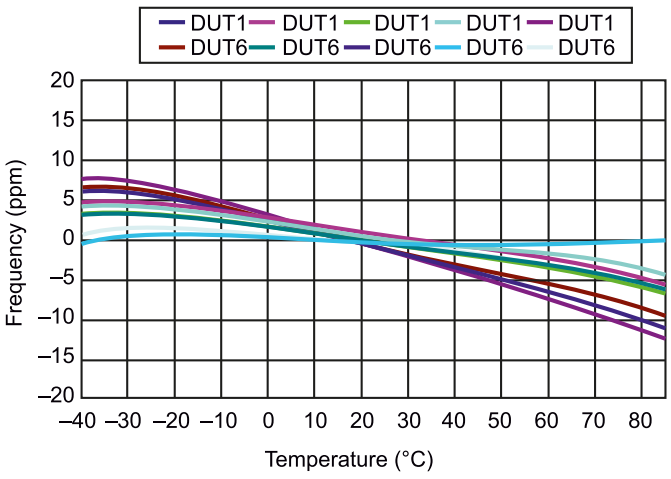
Rysunek 12. Schemat blokowy scalonego oscylatora VCXO typu PL500-37 (Micrel) (https://bit.ly/3ehFK9z)

urządzeniach mikrofalowych czy też teleinformatycznych. Innym zastosowaniem VCXO są generatory stałej częstotliwości referencyjnej, które z uwagi np. na zmienne warunki środowiska wymagają elektronicznej kalibracji, dokonywanej bez fizycznej ingerencji w układ elektroniczny – wszak do wysterowania wejścia VCXO można użyć np. przetwornika DAC lub potencjometru cyfrowego. Oscylatory VCXO występują zarówno w wersjach gotowych (najczęściej stosowane są obudowy ceramiczne, znane z rezonatorów i generatorów SMD), jak i w postaci układów scalonych przeznaczonych do współpracy z zewnętrznym „kwarcem" – przykładem takiego układu może być PL500-37 marki Micrel, oferowany w obudowach SO-8, SOT23-6 oraz w postaci wafla krzemowego. Wykonany w technologii CMOS układ współpracuje z rezonatorami o częstotliwości od 36 do 130 MHz i może być zasilany napięciem 2,5 V lub 3,3 V. Schemat blokowy tego prostego układu został pokazany na **rysunku 12**.

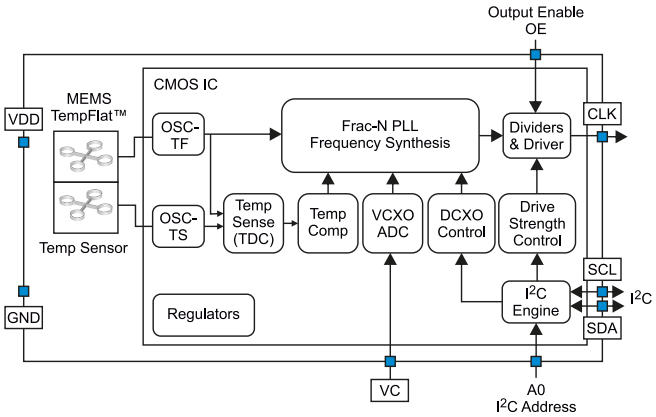
Oscylatory MEMS

Najnowszą odmianą lokalnych wzorców częstotliwości są oscylatory MEMS, stopniowo zdobywające popularność w różnego rodzaju aplikacjach, co ważne – także w zastosowaniach wymagających najwyższej stabilności i niezawodności. Jako nowsi następcy klasycznych oscylatorów kwarcowych, generatory MEMS są oferowane zarówno w zakresie niskich częstotliwości (w tym 32,768 kHz), jak i w paśmie rzędu kilkunastu, kilkudziesięciu, a nawet kilkuset megaherców. Warto zwrócić uwagę, że najszybsze oscylatory wykorzystują strukturę MEMS tylko jako wewnętrzny wzorzec, zaś częstotliwość wyjściowa jest generowana za pośrednictwem wbudowanej pętli synchronizacji fazowej.

Wśród omawianych układów znaleźć można zarówno proste oscylatory do powszechnie dostępnych urządzeń konsumenckich, jak i wyspecjalizowane, wysokiej klasy źródła częstotliwości dla najbardziej wymagających aplikacji. Do tych pierwszych zalicza się np. niewielki generator SiT2001 B marki SiTime, dostępny w obudowie SOT23-5 i oferujący (w zależności od wersji) dowolną częstotliwość w zakresie od 1 MHz do 110 MHz, utrzymywaną ze stabilnością nie gorszą



Rysunek 13. Stabilizacja częstotliwości wyjściowej oscylatora MEMS typu SiT2001B. Wykres dla dziesięciu egzemplarzy układu (https://bit.ly/32mTPQG)



Rysunek 14. Schemat blokowy układu SiT5348 (https://bit.ly/3mpNY3Q)

niż 20...50 ppm w pełnym, przemysłowym zakresie temperatur (–40...+85°C – **rysunek 13**). Krótki czas rozruchu (do 5 ms), szeroki zakres napięć zasilających (od 1,8 do 3,3 V) oraz funkcja wyłączania wyjścia lub usypiania całego układu (wybierana przy zakupie) sprawiają, że układ stanowi doskonały i co ważne, ekonomiczny zamiennik klasycznych „kwarców" w układach mikroprocesorowych niewymagających stabilności na poziomie TCXO (lub jeszcze lepszej).

Innym, niezwykle ciekawym przykładem generatora scalonego w technologii mikroelektromechanicznej jest układ SiT5348 tego samego producenta (fotografia 9). Ten doskonale dopracowany i silnie rozbudowany układ (schemat blokowy został pokazany na **rysunku 14**) oferuje ultraprecyzyjną stabilizację częstotliwości ±50 ppb w zakresie 0…+70°C!, niski jitter na poziomie 0,31 ps oraz niebywałą wprost odporność na wibracje i przeciążenia – dryf częstotliwości w funkcji narażeń mechanicznych to zaledwie 0,009 ppb/g. Co ciekawe, SiT5348 występuje w trzech wersjach: jako klasyczne TCXO (ze stałą częstotliwością oscylacji), VCTCXO (czyli… TCXO przestrajane napięciowo, stanowiące zatem „lepszą" wersję VCXO) oraz DCTCXO. Ta ostatnia pozwala na regulację częstotliwości wyjściowej za pomocą komend, przesyłanych przez interfejs I²C. Uważny Czytelnik zauważy jednak, że w strukturze pokazanej na rysunku 14 mamy do czynienia już nie z prostą pętlą PLL, ale… syntezerem częstotliwości. Warto zatem poświęcić nieco uwagi metodom przetwarzania i dystrybucji sygnałów zegarowych.

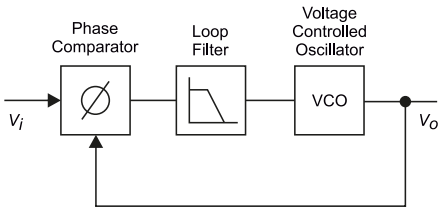
Przetwarzanie sygnałów zegarowych

Praktycznie nigdy nie zdarza się, by samo tylko źródło częstotliwości mogło funkcjonować jako osobne, samodzielne urządzenie – wyjątkiem są rzecz jasna moduły zegarów referencyjnych, stosowane w wysokiej klasy aparaturze pomiarowej, telekomunikacyjnej czy wojskowej, choć i te nie byłyby w stanie zbyt wiele zdziałać bez „napędzanych" przez nie systemów. W codziennej pracy inżynierskiej mamy zatem do czynienia z układami, których celem jest przetwarzanie częstotliwości odniesienia do postaci użytecznej w danej aplikacji. Modyfikacje sygnału oscylatora są dokonywane zarówno w domenie



Fotografia 12. Miniaturowe, ultraprecyzyjne TCXO z serii SiT5348 marki SiTime (https://bit.ly/3edaf0q)

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 15. Uproszczony schemat podstawowej pętli fazowej (https://bit.ly/3qhN2zN)

czasu i częstotliwości (przemiana, modulacja), jak i pod względem amplitudy oraz kształtu (wzmacnianie, tłumienie, kształtowanie impulsów, itd.). Tematyka ta jest niezwykle szeroka, dlatego skupimy się wyłącznie na kilku wybranych aspektach.

Pętle PLL i syntezery częstotliwości

Pętle synchronizacji fazowej (PLL) stanowią fundamentalne narzędzie techniki radiowej oraz… cyfrowej – dziś przynajmniej jedna pętla jest obecna w zdecydowanej większości mikrokontrolerów i procesorów aplikacyjnych, dzięki czemu rdzenie ARM, pracujące przy częstotliwościach taktowania rzędu kilkuset i więcej megaherców, mogą korzystać ze źródeł o relatywnie niskiej częstotliwości (zwykle do około 25 MHz). Podstawowa zasada działania PLL opiera się na regulacji przestrajanego napięciowo oscylatora (VCO) w taki sposób, by jego sygnał wyjściowy (*Vo*) pozostawał zsynchronizowany fazowo z sygnałem, podanym na wejście pętli (*Vi* – **rysunek 15**). Za porównywanie sygnału wejściowego oraz przebiegu wyjściowego oscylatora odpowiada detektor fazy – to właśnie jego sygnał wyjściowy, przefiltrowany dolnoprzepustowo przez tzw. filtr pętli, służy do przestrajania oscylatora.

Rozbudowana teoria, stojąca za funkcjonowaniem pętli PLL, sprawia, że poprawne zaprojektowanie takiego układu od zera jest nie lada wyzwaniem dla konstruktora – konieczne okazuje się zapewnienie szeregu istotnych parametrów, w tym stabilności, czasu ustalania, zakresów częstotliwości roboczych (trzymania i chwytania), szumu fazowego, itd. Na szczęście dziś zadanie to jest znacznie ułatwione dzięki zintegrowanym syntezerom częstotliwości, które, oprócz właściwej pętli PLL, zawierają także szereg wbudowanych obwodów cyfrowych, w tym przede wszystkim dzielników częstotliwości.

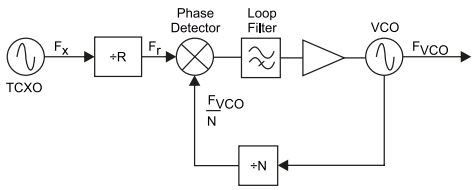
Uproszczony schemat blokowy syntezera częstotliwości typu integer-N (z całkowitym współczynnikiem podziału) został pokazany na **rysunku 16**. Zasada działania samej pętli PLL jest identyczna, jak opisano wcześniej, różnica polega natomiast na wprowadzeniu dzielników częstotliwości: R na wejściu sygnału odniesienia Fx (w przykładzie jego źródłem jest TCXO) oraz N pomiędzy wyjściem VCO a wejściem detektora fazy. Pętla stabilizuje się w takim punkcie pracy, dla którego sygnały doprowadzone do wejść detektora fazy są nie tylko przesunięte o stały kąt fazowy (np. 0° lub 90°), ale także... identyczne pod względem częstotliwości. Oznacza to zatem, że w stanie synchronizmu zachodzi równanie (1):

$$\frac{F_{VCO}}{N} = \frac{F_X}{R} \quad (1),$$

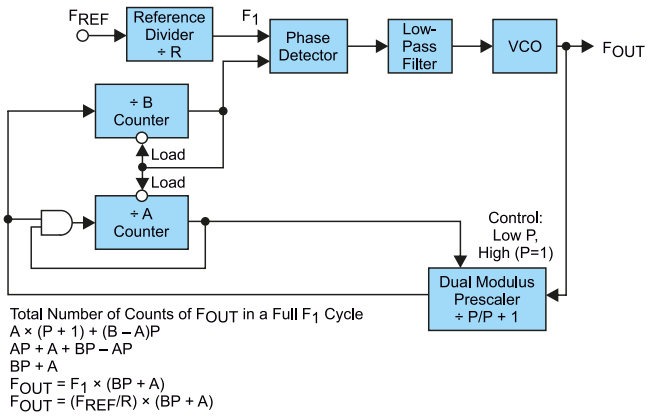
które po przekształceniu algebraicznym prowadzi do wzoru (2):

$$F_{VCO} = F_X \cdot \left(\frac{N}{R}\right) \quad (2).$$

Częstotliwość sygnału wyjściowego VCO może zatem być ustawiona w bardzo szerokim zakresie. Przykładowo syntezer z TCXO



Rysunek 16. Schemat blokowy syntezera częstotliwości typu integer-N (https://bit.ly/3pfmr7g)



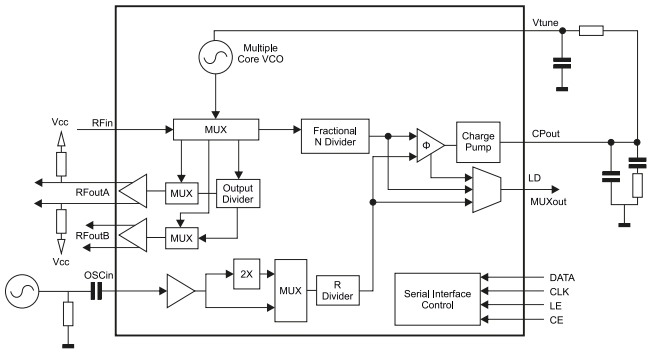
Rysunek 17. Schemat blokowy syntezera częstotliwości typu fractional-N (https://bit.ly/3JdAOkg)

o częstotliwości Fx=10 MHz i dzielnikami ustawionymi na: N=50, R=2 osiągnie częstotliwość wyjściową FVCO=250 MHz. Co więcej, częstotliwość tę będzie można przestrajać z krokiem równym 5 MHz (10 MHz/2), zmieniając wartość dzielnika N. Aby poprawić rozdzielczość częstotliwościową, można rzecz jasna zwiększyć stopień podziału N (np. do 500) i nastawę dzielnika R (do 20). W takim przypadku pętla nadal generowałaby częstotliwość podstawową równą 250 MHz, jednak krok przestrajania byłby równy 500 kHz.

Praktyka jak zwykle wymyka się najprostszym, teoretycznym rozważaniom – ograniczenie pojawia się bowiem pod względem szumu fazowego pętli, który rośnie logarytmicznie wraz z mnożnikiem pętli (czyli… dzielnikiem sprzężenia zwrotnego) z szybkością 20log(N). Oznacza to, że zastosowanie wysokich mnożników PLL istotnie degraduje jakość sygnału wyjściowego w domenie widmowej lub – innymi słowy – powoduje „rozmycie" piku widma wyjściowego. Efekt ten jest wysoce niepożądany w wielu aplikacjach, w tym przede wszystkim w zastosowaniach radiowych (mikrofalowych).

Wyjściem z sytuacji może być zastosowanie syntezera zaprojektowanego w topologii fractional-N, która zgodnie z nazwą umożliwia uzyskiwanie wymiernych (niecałkowitych) współczynników podziału. Rzecz jasna, stworzenie licznika cyfrowego zdolnego do podziału częstotliwości wejściowej np. przez 12,5 byłoby niemożliwe – konieczne zatem okazuje się zastosowanie triku w postaci podwójnego dzielnika, przełączanego co ściśle określoną liczbę cykli sygnału FVCO. Wybór stopnia podziału dzielnika wstępnego (P lub P+1 – r**ysunek 17**) jest dokonywany automatycznie na podstawie nastaw rejestrów konfiguracyjnych syntezera, co pozwala na uzyskanie efektywnego mnożnika pętli równego BP+A.

Na koniec ekspresowego przeglądu zasady działania pętli PLL i syntezerów częstotliwości warto przedstawić przynajmniej jeden obrazowy przykład nowoczesnego rozwiązania tego typu. Scalony syntezer



Rysunek 18. Uproszczony schemat blokowy scalonego syntezera częstotliwości LMX2581 (https://bit.ly/3mqrxLX)

eprasa.pl 5d23d6856a

fractional-N o oznaczeniu LMX2581 marki Texas Instruments (**rysunek 18**) integruje w sobie rozbudowaną pętlę PLL z zespołem dzielników, multiplekserów, pompą ładunkową do przestrajania VCO oraz… samym oscylatorem szerokopasmowym o częstotliwości wyjściowej do 3,76 GHz. Potężny układ, który do pracy wymaga zaledwie garstki elementów zewnętrznych (w tym źródła częstotliwości odniesienia, np. TCXO lub OCXO, a także pasywnej sieci pełniącej funkcję filtra pętli), ma wymiary obudowy równe 5,0×5,0 mm i umożliwia wygodne sterowanie za pośrednictwem 3-liniowego interfejsu szeregowego.

Atomowe wzorce częstotliwości

Opisane dotąd wzorce częstotliwości bazowały na zjawisku rezonansu elektromechanicznego płytki kwarcowej lub – w przypadku oscylatorów MEMS – specjalnie zaprojektowanej struktury mechanicznej wykonanej w technologii monolitycznej. Wspólną wadą wszystkich tych rozwiązań jest silna zależność od warunków środowiska, otoczenia układowego, itd. Tymczasem istnieją aplikacje, które do poprawnej pracy wymagają wzorców wręcz „idealnych", niezależnych m.in. od rozrzutów produkcyjnych. Takie właśnie zalety mają zegary atomowe, czy też innymi słowy, atomowe wzorce częstotliwości, w których generowana częstotliwość wynika wprost z niezmiennych właściwości kwantowych zastosowanego materiału.

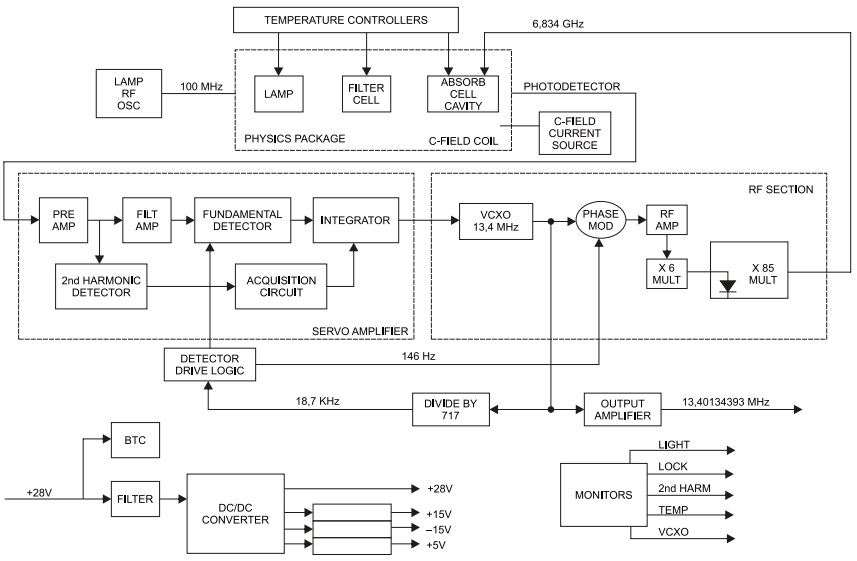
Istnieje kilka technologii, różniących się nie tylko zasadą działania, ale także wykorzystywanym do ich budowy pierwiastkiem.

- **Masery wodorowe** – pojęcie maser można w ogromnym uproszczeniu wytłumaczyć jako „mikrofalowy odpowiednik lasera" – w tym przypadku poprzez wymuszoną emisję dokonuje się wzmocnienia nie wiązki światła, ale mikrofal. Technologia, opracowana w 1960 roku, bazuje na wzbudzaniu atomów wodoru w specjalnej komorze, współpracującej z wnęką mikrofalową, rezonującą z częstotliwością 1,42 GHz (odpowiadającą przejściu atomu wodoru pomiędzy dwoma stanami energetycznymi struktury nadsubtelnej). Częstotliwość ta jest wzmacniania elektronicznie i służy do dalszego pobudzania gazu w komorze. Masery wodorowe są stosowane w (astro)fizyce oraz geolokalizacji satelitarnej, jednak z uwagi na podatność na warunki pracy (temperaturę, pole magnetyczne, czy też zewnętrzne promieniowanie) wymagają solidnych osłon i specjalnych układów regulacji otoczenia, w jakim znajduje się rezonator atomowy. Przykładowo, masery wodorowe zastosowane na pokładzie satelitów systemu Galileo pracują z dokładnością 0,45 ns/12 h.
- **Cezowe wzorce częstotliwości** – klasyczne konstrukcje wykorzystują wiązkę atomów cezu, generowaną na drodze podgrzewania i rozdzielaną w polu magnetycznym na dwa mniejsze strumienie, różniące się stanem energetycznym. Wiązki są kierowane do komory ze szczeliną, w której działa na nie pole elektromagnetyczne sterowane przez oscylator, zdolny do generowania przebiegów o częstotliwości równej 9,192631770 GHz – przy takiej właśnie częstotliwości w układzie zachodzi rezonans. Atomy trafiają na elektrodę w postaci wolframowego włókna, co powoduje wygenerowanie sygnału elektrycznego – ten zaś po wzmocnieniu jest wykorzystywany do sterowania oscylatorem. Klasyczne zegary cezowe miały całkowitą długość około 1 metra, dziś znane są już konstrukcje wielokrotnie mniejsze i bazujące na technologii *Coherent Population Trapping*. Zaletą zegarów cezowych jest ogromna dokładność, przez wiele źródeł uznawana za najwyższą wśród konwencjonalnych technologii wzorców atomowych – określa się, że są one zdolne do pracy ze stabilnością 10^{-18}, co oznacza… jedną sekundę na okres porównywalny z szacowanym wiekiem Wszechświata.
- **Zegary rubidowe** – klasyczny model budowy wzorców rubidowych opiera się na oscylatorze w postaci szczelnej komory, wypełnionej parami rubidu o wysokiej temperaturze. Do wzbudzenia atomów stosowana jest wyładowcza lampa rubidowa, umieszczona na jednym z końców komory – przy drugim znajduje się fotodetektor, sprzężony ze wzmacniaczem fazoczułym oraz oscylatorem, zdolnym do pracy z częstotliwością 3,417 GHz. Atomy rubidu są cyklicznie pobudzane przez mikrofale, przechodząc do stanu przejściowego, w którym absorpcja światła z lampy wyładowczej jest najsilniejsza. Zastosowanie zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego sprawia, że układ rezonuje na wspomnianej częstotliwości, wynikającej z różnic pomiędzy poszczególnymi poziomami energetycznymi.



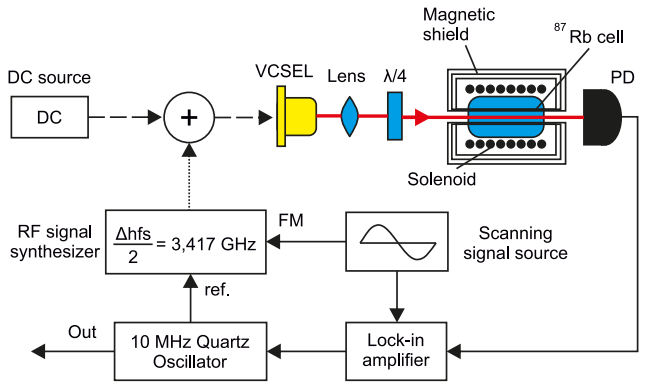
Fotografia 13. Rubidowy wzorzec atomowy do zastosowań kosmicznych (https://bit.ly/3mqrxLX)

Podczas gdy klasyczne konstrukcje z lampą wyładowczą są nadal stosowane w branży kosmicznej, to ich duże wymiary (**fotografia 13**) oraz bardzo złożona budowa (**rysunek 19**) sprawiły, że do bardziej „przyziemnych" zastosowań konieczne było znalezienie innych rozwiązań technicznych. Wzorce rubidowe przeżywają obecnie swój renesans i zyskują popularność dzięki technologii CPT (*Coherent Population Trapping*) – w tym przypadku do pobudzenia par rubidu wykorzystywana jest miniaturowa struktura lasera półprzewodnikowego typu VCSEL, modulowana przez syntezer mikrofalowy

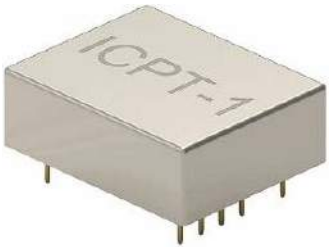


Rysunek 19. Schemat blokowy zegara atomowego z fotografii 13 (https://bit.ly/3mqrxLX)

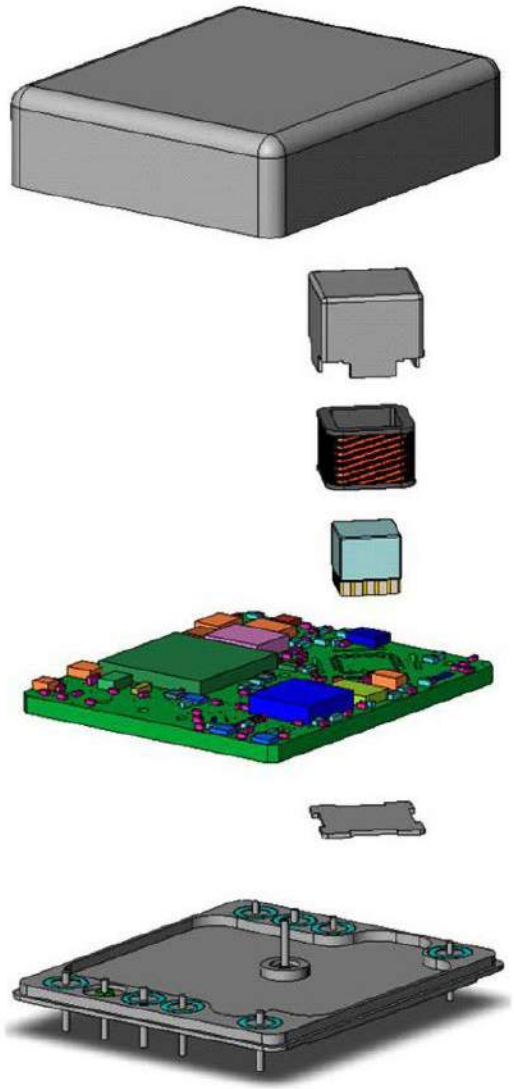
eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 20. Schemat blokowy wzorca rubidowego w technologii CPT (*Coherent Population Trapping*) (https://bit.ly/32wjOoQ)



Fotografia 14. Miniaturowy wzorzec rubidowy w technologii CPT, przeznaczony do montażu przewlekanego (https://bit.ly/3mmtWHO)



Rysunek 21. Rozstrzelony model 3D miniaturowego, cezowego zegara atomowego (https://bit.ly/3sryobZ)

(**rysunek 20**). O ile zasada działania serwa (tworzonego przez tor radiowy z wejściem sygnałowym połączonym z fotodiodą) okazuje się niemal identyczna, jak w przypadku klasycznych zegarów rubidowych, o tyle wymiary całości mogą być nieporównanie mniejsze. Dziś wzorce atomowe są oferowane w obudowach do montażu przewlekanego – przykładowo zegar atomowy ICPT-1 (**fotografia 14**) znanej marki IQD Frequency Products ma wymiary zaledwie 45×36×14,5 mm. Choć koszty tego typu źródeł są nadal dość wysokie (na poziomie kilku tysięcy euro), to łatwość implementacji i doskonałe osiągi (pozostawiające daleko w tyle nawet najlepsze OCXO) sprawiają, że stają się one niezwykle atrakcyjnym rozwiązaniem do zastosowań nie tylko kosmicznych i wojskowych, ale nawet… przemysłowych czy konsumenckich. Wspomniany model ICPT-1 oferuje stabilność na poziomie ±0,5 ppb i tolerancję wstępną ±0,05 ppb. W ślad za zegarami rubidowymi idą także rozwiązania na bazie cezu – istnieją już zresztą równie małe wzorce cezowe, o konstrukcji pokazanej na **rysunku 21**.

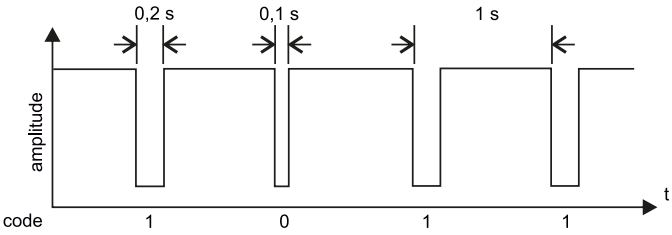
Warto dodać, że fizycy nie ustają w pracach nad rozwojem nowych metod odmierzania czasu – można trafić m.in. na informacje o superdokładnych zegarach optycznych, intensywnie rozwijanych przez Krajowe Laboratorium FAMO, znajdujące się na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. Inne zespoły (np. National Institute of Standards and Technology) pracują także nad wzorcami na bazie iterbu.

Technologie precyzyjnego odmierzania czasu – źródło lokalne vs synchronizowane

Jednym z najważniejszych zastosowań precyzyjnych wzorców częstotliwości są pomiary czasu w znaczeniu, w jakim pojęcie to rozumie większość społeczeństwa – mowa więc o zegarach jako takich. Dziś zdecydowana większość mikrokontrolerów ma coraz bardziej zaawansowane, wbudowane zegary czasu rzeczywistego (RTC – *real time clock*). Jako przykład warto podać rodzinę STM32. W starszych mikrokontrolerach STM32 F1 blok RTC przypominał raczej prosty licznik z konfigurowalnym preskalerem niż jakikolwiek zegar w dosłownym tego słowa znaczeniu, a całość obliczeń daty i godziny musiała być wykonywana programowo. Postęp dokonał się jednak i w tej kwestii – nowsze rodziny STM32 (np. STM32 L0) mają wielokrotnie więcej rejestrów, dzięki którym możliwy jest bezpośredni odczyt poszczególnych pól daty i godziny (roku, numerów miesiąca i dnia oraz dnia tygodnia, a także godzin, minut, sekund, a nawet ich ułamków). Nadal jednak dokładność RTC zależy od stabilności i tolerancji produkcyjnej zastosowanego wzorca częstotliwości. Można oczywiście próbować zastosować źródło sygnału o wysokiej stabilności, istnieje jednak też inne podejście – wystarczy raz na pewien czas korygować nastawy, wykorzystując do tego celu zewnętrzne źródło danych nt. czasu.

- **Oscylatory z synchronizacją GPS** – satelitarne systemy geolokalizacyjne bazują na sygnałach czasu, przesyłanych przez satelity zsynchronizowane dzięki pokładowym, redundantnym zegarom atomowym. Odbiornik GPS (lub inny) wyznacza pozycję na podstawie momentów otrzymania poszczególnych znaczników czasu, wykorzystując zasadę triangulacji. Z tego też względu niezwykle dokładne informacje o aktualnej godzinie są niejako „efektem ubocznym" działania systemów satelitarnych, zatem każde urządzenie z wbudowanym odbiornikiem geolokalizacyjnym może precyzyjnie korygować czas na podstawie odebranych danych.
- **Synchronizacja sygnałem DCF77** – sygnały radiowe, rozsyłane przez laboratorium Physikalisch-Technische Bundesanstalt w Brunszwiku za pomocą 50-kilowatowego nadajnika AM, są generowane na podstawie sygnału ze znajdującego się tam atomowego wzorca cezowego i niosą informacje na temat daty, godziny, czasu letniego lub zimowego, a nawet… prognozy pogody czy też ważnych dla ludności alertów dot. obrony cywilnej oraz katastrof. Ramka sygnału DCF77 składa się z 59 bitów, przesyłanych

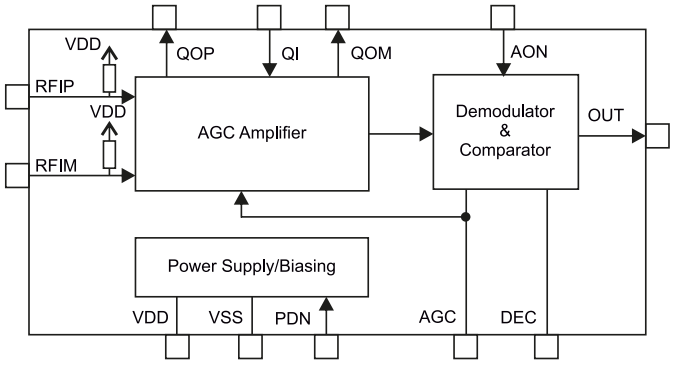
eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 22. Sposób kodowania bitów w sygnale synchronizacyjnym DCF77 (https://bit.ly/32olyAg)

z prędkością 1 bit/s na częstotliwości nośnej 77,5 kHz. Spadek amplitudy na czas 0,2 s oznacza bit „1”, zaś spadek 100-milisekundowy – bit „0” (**rysunek 22**). Do odbioru danych z nadajnika w Niemczech może być używany prosty odbiornik AM, np. MAS6180C (**rysunek 23**), obecny w popularnych modułach wyposażonych w antenę ferrytową.

- **Serwery czasu NTP** – protokół synchronizacji czasu NTP (*Network Time Protocol*) został opracowany jeszcze w 1985 roku i od tamtej pory pozostaje w ciągłym użyciu. Pozwala na automatyczną synchronizację czasu przez systemy operacyjne (Windows Time w przypadku systemów giganta z Redmond, SNTP w aplikacjach embedded, systemach linuksowych, itd.). Dość prosty algorytm działania doskonale radzi sobie z kompensacją opóźnień w transmisji poszczególnych pakietów – klient wysyła do serwera NTP zapytanie o aktualny czas i czeka na odpowiedź. Serwer odsyła ją z informacją o momencie odbioru zapytania i wysłania odpowiedzi. Po stronie klienta możliwe jest zatem obliczenie nie tylko opóźnienia transmisyjnego, ale także różnicy, o jaką należy skorygować czas lokalnego zegara.



Rysunek 23. Schemat blokowy odbiornika AM typu MAS6180C (https://bit.ly/3EdFhQo)

Podsumowanie

W artykule staraliśmy się możliwie wyczerpująco omówić tematykę wzorców czasu i częstotliwości. Jak widać, najbardziej rozpowszechnione są obecnie rozwiązania bazujące na starym, dobrym rezonatorze kwarcowym, pomimo że i ten zaczyna być powoli wypierany przez nowocześniejsze oscylatory MEMS. I choć w sprzedaży dostępne już są oscylatory skompensowane (TCXO) i stabilizowane aktywnie (OCXO) o doskonałych parametrach, czasem nadal niepodzielnie rządzą zegary atomowe. Fizyka nie ustępuje pola inżynierom i nadal pozostaje „autorką” najbardziej stabilnych wzorców częstotliwości – dlatego też w najbliższych latach możemy spodziewać się dalszej miniaturyzacji zegarów atomowych i zapewne w miarę upływu lat ich ceny spadną do poziomu obecnych OCXO.

inż. Przemysław Musz, EP

REKLAMA



eprasa.pl 5d23d6856a

PicoScope – oscyloskopy pełne nowych funkcjonalności

Dekodowanie interfejsu I3C

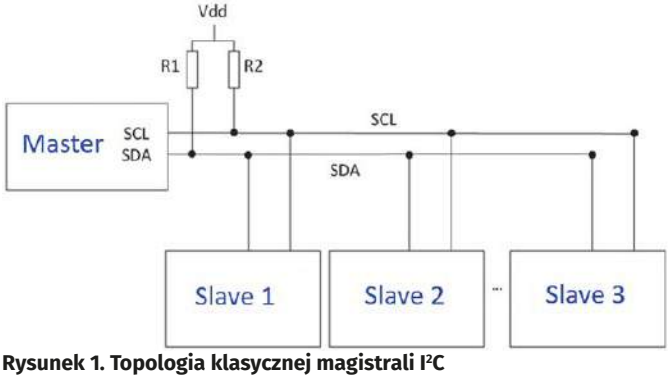
Nowoczesne oscyloskopy w postaci przystawki do PC mogą z powodzeniem konkurować z aparaturą tradycyjną. Oferta oscyloskopów USB firmy Pico Technology zapewnia nie tylko znakomitą wydajność analizy, ale również uniwersalność i ekonomiczne podejście do badań. Jeśli potrzebne są większe możliwości pomiarowe, producent zapewnia także długą listę funkcjonalności, do których dostęp jest możliwy poprzez bezpłatne aktualizacje oprogramowania.



W ostatnim czasie zespół Pico Technology zajmujący się rozwojem możliwości w zakresie dekodowania protokołów komunikacyjnych rozwinął możliwości analizy o interfejs I3C, który uzupełnia dostępny do tej pory pokaźny zestaw innych łączy, między innymi UART/RS-232, I2C, I2S, SPI, CAN, LIN czy FlexRay. Nowa użyteczność zaimplementowana została zarówno w wersji PicoScope 6 – w wersji stabilnej, jak i jeszcze będącej w fazie testów PicoScope 7. Dzięki temu przebiegi charakterystyczne dla MIPI I3C Basic Specification mogą być teraz wyświetlane i analizowane na PicoScope dysponujących wystarczającą przepustowością i ilością pamięci.

Interfejs komunikacyjny I2C

Nazwa I3C to rozwinięcie popularnego I2C, który jest jednym ze standardów komunikacji używanym do przesyłania danych w urządzeniach elektronicznych. Te same są też linie sygnałowe. Jest to magistrala szeregowa dwukierunkowa, która służy do łączenia mikrokontrolera (master) z peryferyjnymi układami scalonymi (slave). Standard został opracowany i wprowadzony na rynek przez firmę Philips na początku lat 80. ubiegłego wieku. Skrót nazwy I2C zapisywany jest też jako IIC – *Inter-Integrated Circuit*, co oznacza „pośrednik pomiędzy układami scalonymi". Standard określa dwie najniższe warstwy modelu odniesienia OSI: warstwę fizyczną i warstwę łącza danych.



Rysunek 1. Topologia klasycznej magistrali I2C

Więcej informacji:
Computer Controls Sp. z o.o.
43-300 Bielsko-Biała, ul. Budowlanych 1
tel. +48 33 485 94 90, e-mail: info@ccontrols.pl
https://www.ccontrols.net/pl/

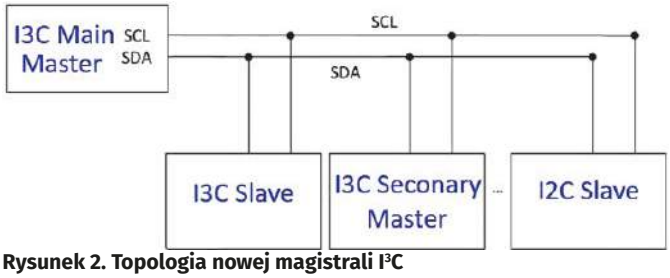
Magistrala I2C składa się z dwóch sygnałów: dane SDA (*serial data line*) i zegar SCL (*serial clock*). Umożliwia połączenie wielu urządzeń typu slave z masterem, a ich liczba jest ograniczona przez możliwości obsługi magistrali. Każde komunikujące się urządzenie ma swój unikatowy adres, a jednostka nadrzędna (master) umożliwia zarówno nadawanie, jak i odbieranie danych.

Interfejs komunikacyjny I3C

Nowy interfejs sterujący I3C osiąga większe prędkości transmisji od poprzednika, ale jest zaklasyfikowany do grupy interfejsów średniej prędkości transmisji. Służy do podłączania urządzeń peryferyjnych do procesora aplikacji w systemach wbudowanych oraz aplikacjach mobilnych, IoT i motoryzacyjnych. Podobnie jak poprzednik został zaimplementowany jako 2-przewodowy interfejs szeregowy. Zapewnia funkcjonalność architektury I2C, ale z dodatkiem trybów o dużej szybkości transmisji danych, które wcześniej wymagały użycia 4-przewodowej magistrali SPI.

eprasa.pl 5d23d6856a





Rysunek 2. Topologia nowej magistrali I³C

Dekoder PicoScope I³C wykrywa zarówno komunikację I²C, jak i I³C na magistrali SDA/SCL. PicoScope może jednocześnie dekodować ruch wielu magistrali przy użyciu dostępnych analogowych lub cyfrowych kanałów wejściowych. Aktualnie dekodowanych jest ponad 30 protokołów przez oprogramowanie systemowe przyrządu, a producent zapowiada, że w przyszłości będzie jeszcze więcej możliwości. Oprogramowanie PicoScope 6 i 7 (w wersji Early Access) można pobrać bezpłatnie ze strony internetowej producenta.

Producenci mikrokontrolerów już zaczęli dostarczać rozwiązania obsługujące protokół I³C i rozwiązanie to staje się często stosowanym łączem przez projektantów systemów. Niemniej do projektowania i prototypowania niezbędna jest też możliwość obserwacji sygnałów i odczytu zdekodowanej informacji w rzeczywistym układzie. Zastosowanie oscyloskopów PicoScope z wystarczającą przepustowością do przechwytywania sygnałów o wyższej szybkości transmisji danych umożliwia wydajne prace projektowe.

Wnioski

Oscyloskopy PicoScope, jako urządzenia współpracujące z komputerami PC, zapewniają użytkownikom ciągłe aktualizacje funkcjonalności. Producent dostarcza wszelkich starań, aby były one konkurencyjnym wyrobem dla klasycznych oscyloskopów autonomicznych. Niewątpliwą zaletą tych urządzeń jest to, że można zwiększać ich funkcjonalność dzięki wprowadzaniu nowych możliwości np. odczytu czy dekodowania przebiegu, zapisanego w pewnym standardzie. Oprócz wcześniej dekodowanych transmisji danych, między innymi UART/RS-232, I²C, I²S, SPI, CAN, LIN czy FlexRay, firma wspiera rynkowe nowości. Jedną z nich jest dekodowanie interfejsu I³C, który zwiększa możliwości popularnego łącza I²C, zachowując kompatybilność wsteczną. Dla użytkownika nie wiąże się to z dodatkowymi kosztami czy też zmianami w oprogramowaniu firmware urządzeń, a dekodowanie działa po pobraniu i zainstalowaniu nowej wersji programu. Takie rozwiązanie dostarcza znaczących korzyści dla właścicieli oscyloskopów. Mając model o wystarczającej przepustowości i głębokości pamięci, można pracować nad nowymi projektami, integrując je przy użyciu najnowszych technologii dostępnych na rynku.

Grzegorz Cuber
technical manager
Computer Controls, tel. 33 485 94 90
www.ccontrols.net/pl/

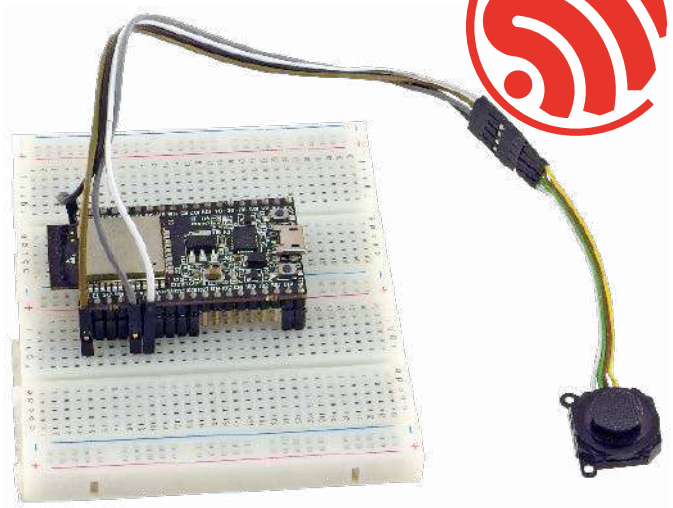


Rysunek 3. Wygląd okna programu obsługi przyrządów PicoScope

eprasa.pl 5d23d6856a

Joystick analogowy jako symulator myszy

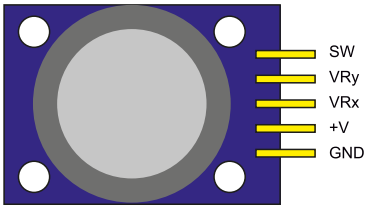
Joystick analogowy jest doskonałym manipulatorem do zdalnego kontrolowania ruchu obiektu, którym może być zarówno ramię robota, jak i kursor na ekranie. Choć sterowanie z jego pomocą może być mniej precyzyjne, to w wielu sytuacjach – gdy brakuje miejsca, a warunki są trudne, joystick jest jedynym wyborem. Dodatkowo przy odpowiednim oprogramowaniu może dość dobrze symulować działanie myszy komputerowej.



Ze względu na objętość listing 2 można pobrać ze strony: **https://ulubionykiosk.pl/media** lub ze strony z artykułem: **https://bit.ly/3eigPTe**

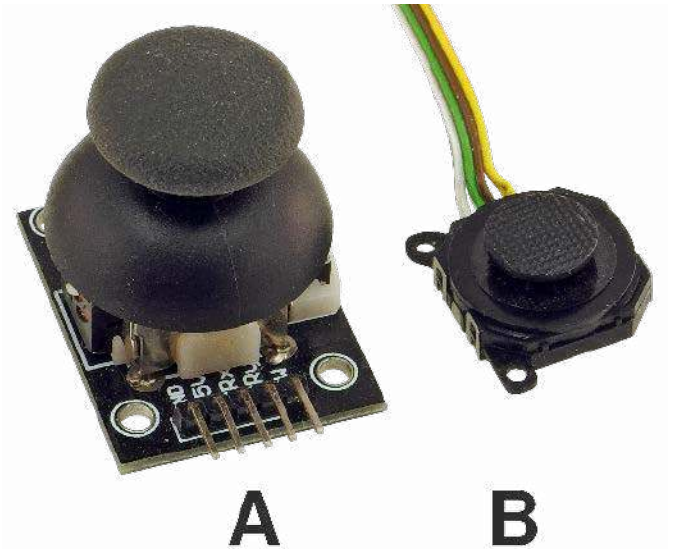
Joystick dostarcza na wyjściu dwa sygnały napięciowe, których poziomy są proporcjonalne do wychylenia jego elementu sterującego: czy to drążka, czy przesuwnego ślizgacza. Do wytworzenia sygnałów służą zamontowane w joysticku potencjometry. Każdy potencjometr reaguje na ruch elementu sterującego w jednej z dwu osi: X lub Y. W ten sposób sygnały na wyjściu mogą odwzorowywać kierunek ruchu na dwuwymiarowej płaszczyźnie. Na **fotografii 1** zostały pokazane przykładowe miniaturowe joysticki analogowe. Element oznaczony literą A jest sterowany za pomocą drążka zakończonego nasadką, pozwalającą na wygodną manipulację palcami.

Sygnały joysticka wyprowadzone są na 5-stykowym złączu. Funkcje poszczególnych wyprowadzeń zostały pokazane na **rysunku 1**. Wyprowadzenie GND łączy się z masą układu, a +V z napięciem odniesienia np. 5 V. Sygnały wyjściowe są dostępne na stykach VRx i VRy. Wyjście SW połączone jest z dodatkowym przyciskiem. Przycisk zwiera do masy po przyciśnięciu drążka joysticka i może być użyty jako sygnał zatwierdzenia.



Rysunek 1. Joystick z dźwignią wyprowadzenia sygnałów

Na fotografii 1B pokazany został typ joysticka, w którym ścieżki potencjometrów zostały napylone bezpośrednio na płytce stanowiącej część obudowy. Elementem sterującym zamiast drążka jest przesuwana palcem płytka, połączona mechanicznie ze ślizgaczami poruszającymi się po ścieżkach potencjometrów. Na **rysunku 2** pokazano widok elementu od dołu wraz z rozmieszczeniem sygnałów na złączu. Do GND i +V doprowadza się napięcie odniesienia, a sygnały wyjściowe są dostępne na stykach VRx i VRy.



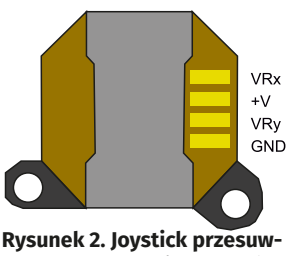
Fotografia 1. Joystick analogowy, różne wykonania

Joystick zamiast myszki

Taki analogowy joystick można przystosować do poruszania kursorem po ekranie komputera. Potrzebny jest do tego moduł ESP32 z odpowiednim oprogramowaniem. Tym razem część radiowa modułu nie będzie pracowała w trybie Wi-Fi, lecz zostanie użyta jako bezprzewodowy interfejs Bluetooth LE. Litery LE oznaczają, że będzie uruchomiony tryb pracy z niskim poborem mocy (moduł ESP32 może także pracować w trybie „starego" Bluetooth, oba rozwiązania nie są ze sobą kompatybilne).

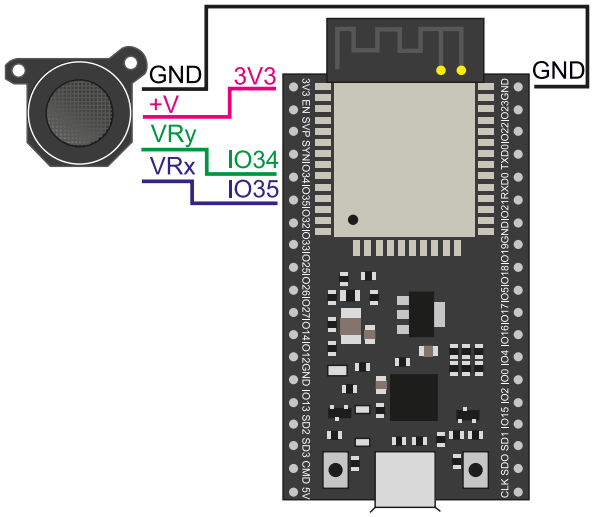
Sposób połączenia joysticka analogowego z modułem ESP32 został pokazany na **rysunku 3**. Napięcie odniesienia pobierane jest z wyprowadzenia modułu dostarczającego napięcie 3,3 V. Wybrano tę wartość, ponieważ wewnętrzny przetwornik ADC modułu pracuje z takim poziomem, a wyprowadzenia joysticka VRx i VRy podłączone są do wejść tego przetwornika.

Całą pracę przekształcania zmian poziomów napięć odczytywanych z wyjść joysticka na ruch kursora wykonuje oprogramowanie. Jego główną część stanowi biblioteka dla systemu Arduino o nazwie ESP32-BLE-Mouse, można ją pobrać z [1]. Biblioteka realizuje obsługę typowych zdarzeń związanych z myszą komputerową: reaguje na kliknięcie lewym, środkowym, prawym przyciskiem myszy, a także na naciskanie



Rysunek 2. Joystick przesuwny wyprowadzenia sygnałów

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 3. Połączenia joysticka z płytką ESP32

przycisków wstecz i dalej. Jest obsługiwane kółko przewijania, no i oczywiście ruch myszy przekładany na ruch kursora na ekranie. Składnia poleceń biblioteki ESP32-BLE-Mouse jest podobna do składni języka Arduino w bibliotece dla myszy USB, którą opisano tutaj [2].

Przykładowa komenda poruszająca kursorem o żądaną liczbę pikseli w stosunku do pozycji bieżącej wygląda tak:

```
BleMouse bleMouse;
        bleMouse.move(xVal, yVal, wheel);
```

gdzie:

`xVal` – wartość przesunięcia wzdłuż osi X, dozwolona jest wartość typu *char* dodatnia lub ujemna,

`yVal` – wartość przesunięcia wzdłuż osi Y, dozwolona jest wartość typu *char* dodatnia lub ujemna,

`wheel` – wartość przesunięcia kółkiem, dozwolona wartość typu *char* dodatnia lub ujemna.

W ogólnym zarysie program dla joysticka symulującego działanie myszy komputerowej może wyglądać tak jak na **listingu 1**. W rzeczywistości trzeba go rozbudować o kilka dodatkowych procedur: rozpoznawania bezruchu – gdy joystick pozostaje w pozycji środkowej,

Listing 1. Ogólny zarys programu dla joysticka symulującego działanie myszy komputerowej

```
#include <BleConnectionStatus.h>
#include <BleMouse.h>

BleMouse bleMouse;
const int VRxPin = 34;//wejście ADC, wyjscie joysticka VRx
const int VRyPin = 35;//wejście ADC, wyjscie joysticka VRy
int potValueX = 0, potValueY = 0;//wartosci po konwersji ADC
char wektorX=0, wektorY=0;//wartosci przesuniec kursora
int pauza;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(115200);
  bleMouse.begin();
  Serial.println("Start BLE!");
  delay(500);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:

  potValueX = analogRead(VRxPin);
  potValueY = analogRead(VRyPin);
 /*
  tutaj procedura konwersji poziomow napiec odczytanych
  z wyjsc joysticka na przesuniecie kursora
  bool stat_poz = KonwersjaADC_przesuwKursora(
  &pauza, &wektorX,   &wektorY, potValueX, potValueY);
 */

 if (bleMouse.isConnected())
 {
    bleMouse.move(wektorY,wektorX);
 }

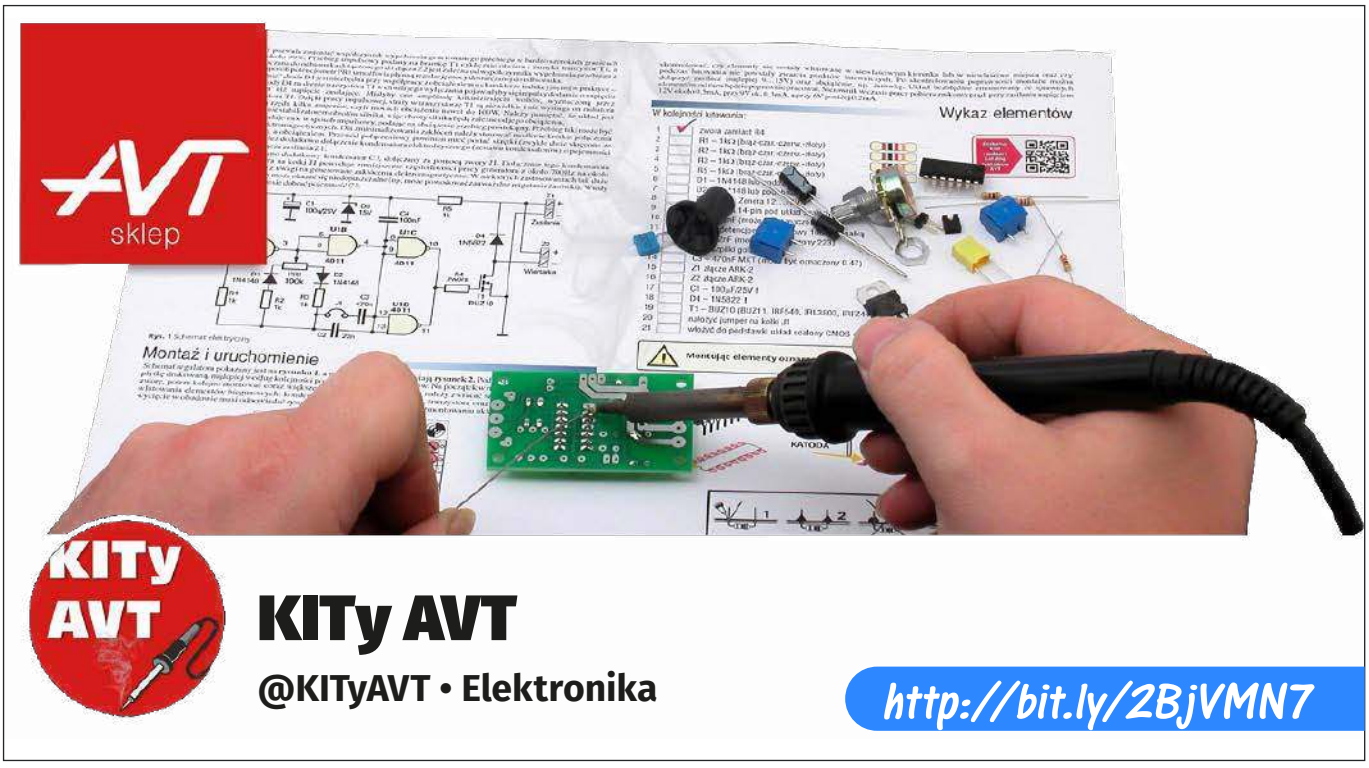
  delay(pauza);
}
```

detekcji kierunku ruchu kursora oraz szybkości jego przesuwania, co zamyka się w głównej procedurze konwersji sygnałów odczytywanych z joysticka na wartości X, Y jego przesunięcia. Takie kompletne oprogramowanie dla środowiska Arduino zostało pokazane na **listingu 2** i jest dostępne do pobrania z [3].

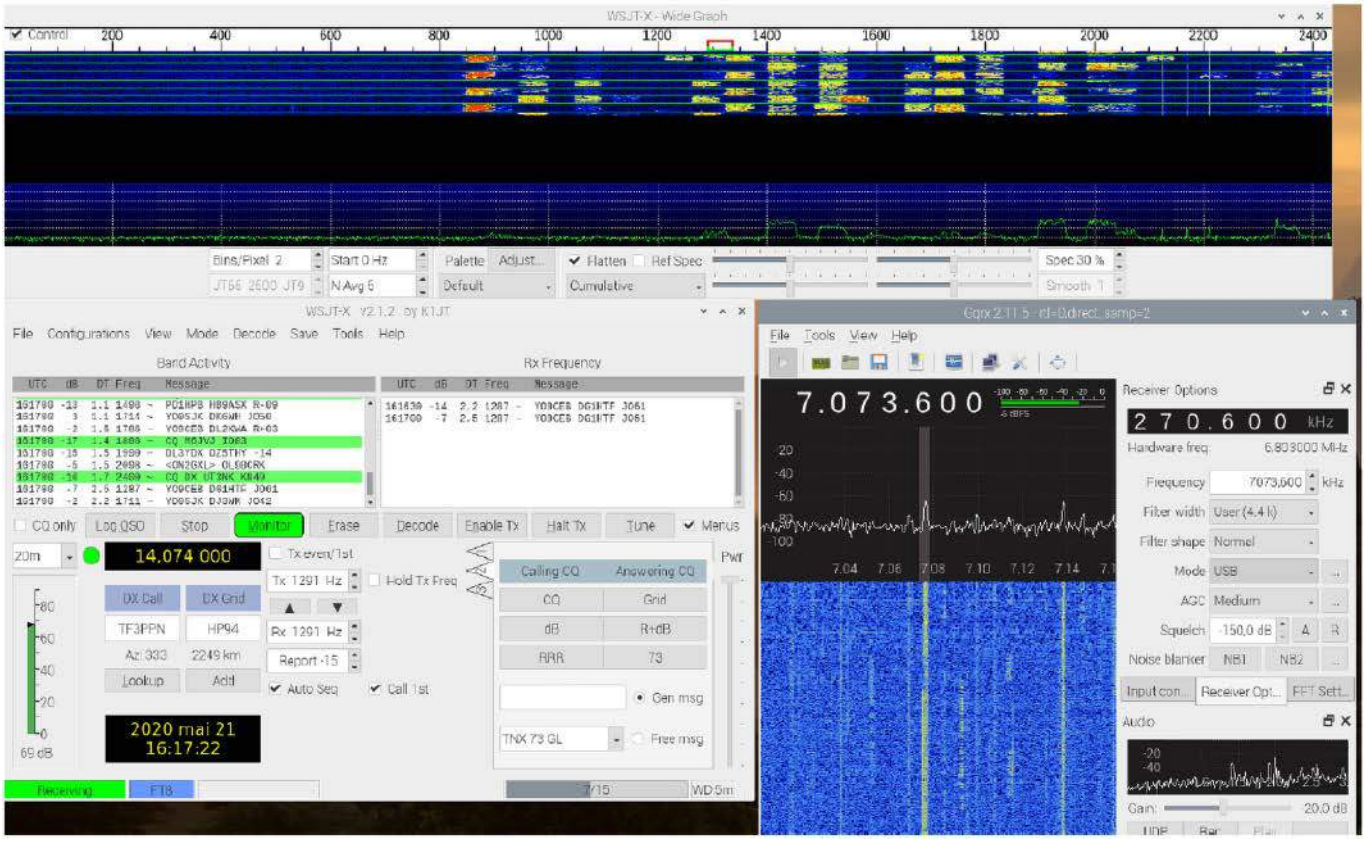
Ryszard Szymaniak
biuro@ars.info.pl

[1] źródła biblioteki ESP32-BLE-Mouse: https://bit.ly/3spEERC
[2] opis składni poleceń arduinowej biblioteki myszy: https://bit.ly/3GYOkXa
[3] strona internetowa z programem demonstracyjnym: https://bit.ly/32kKxVk

REKLAMA



eprasa.pl 5d23d6856a



Raspberry Pi w amatorskim odbiorniku radiowym

Kiedyś radioamator wyposażony był w rozbudowany sprzęt z dużą liczbą pokręteł i przełączników, ale komputery wszystko to zmieniły. Niektóre najnowsze transceivery są teraz sterowane całkowicie komputerowo. Kiedyś zestawy radioamatorów uzupełniały teleksy, odpowiednie monitory, faksy czy drukarki do np. odbierania obrazów satelitarnych. Teraz wszystko to może znajdować się w jednym urządzeniu, tak niewielkim jak Raspberry Pi.

Technologia krótkofalarska ewoluuje. Obecnie dostępne są niewielkie i niedrogie skanery, pozwalające na analizowanie widma promieniowania elektromagnetycznego i nasłuchiwanie wielu rodzajów komunikacji. Radio definiowane programowo (SDR) to nowoczesna technologia, w której za dekodowanie sygnałów radiowych odpowiedzialne jest oprogramowanie, a nie jak dotychczas sprzęt. Pozwala to na konstruowanie szerokiej gamy systemów radiowych przy zastosowaniu relatywnie prostego sprzętu, podłączonego do komputera. Komputerem takim może być na przykład kompaktowy i niedrogi komputer jednopłytkowy, taki jak Raspberry Pi.

W poniższym artykule na praktycznym przykładzie omówimy, jak można zastosować SDR i Raspberry Pi do odbioru wielu popularnych transmisji krótkofalowych dla trybów cyfrowych, APRS, SSTV i innych. Dokładniejsza dokumentacja opisująca tematykę odbiorników i oprogramowania SDR dostępna jest w Internecie (linki na końcu artykułu).

Nawet jeśli nie jesteście krótkofalowcami, niektóre prezentowane poniżej rozwiązania mogą być bardzo interesujące. Zastosowane oprogramowanie pozwala m.in. na odbiór zwykłego radia, pobieranie danych z satelitów pogodowych czy nasłuchiwanie danych kontroli lotnisk itd. Jako że korzystać będziemy z Raspberry Pi, wymagane będzie pewne doświadczenie w korzystaniu z Linuksa, jednakże dołożyłem wszelkich starań, aby poziom wymagany do zainstalowania i uruchomienia opisanych tutaj komponentów był możliwie najniższy.

Od 2012 roku komputer jednopłytkowy Raspberry Pi staje się coraz ważniejszą częścią społeczności majsterkowiczów i hobbystów. Poświęciliśmy mu na łamach „Elektroniki Praktycznej" wiele artykułów na przestrzeni ostatnich lat. Wzrost mocy obliczeniowej kolejnych wersji komputera na przestrzeni lat daje bardzo ciekawe możliwości radioamatorom. Umożliwia zastąpienie komputera PC w wykonywaniu stałych obliczeń – dekodowaniu ramek, zdjęć itd., za pomocą oprogramowania takiego jak WSJT-X, FLDIGI itp. Pozwala także na zdalne sterowanie systemem – Raspberry Pi może być umieszczony tam, gdzie są optymalne warunki radiowe i może być sterowany zdalnie, przez sieć. Dzięki temu możliwa jest praca w zaciszu swojego domu, gdy np. antena, moduł SDR i Raspberry Pi są zamontowane na dachu. Co więcej, taki komputer jednopłytkowy można łatwo umieścić w samochodzie czy w plecaku, tworząc przenośne moduły radiowe przeznaczone do dowolnych zadań.

Pomimo tych zalet, komputery jednopłytkowe rzadko goszczą w typowym warsztacie radioamatora. Dla wielu osób system operacyjny, zainstalowany domyślnie na Raspberry Pi – Raspbian, jest mało intuicyjny. Jest to dystrybucja Linuksa zaprojektowana specjalnie dla

eprasa.pl 5d23d6856a

Raspberry. Często konieczne jest użycie konsoli, a tym samym wpisywanie wielu poleceń, aby zainstalować, a następnie skonfigurować program. Może wydawać się to zniechęcające i nużące, jednak pokonanie tej drobnej trudności otwiera przed nami szeroki świat otwartego oprogramowania, które może przydać się niemal w każdej dziedzinie.

Elementy systemu

Na rynku jest dostępnych wiele komputerów jednopłytkowych. Różnią się ceną, parametrami, możliwościami technicznymi, a także dostępną dokumentacją i wsparciem społeczności. Z uwagi na te ostatnie elementy – szerokie wsparcie techniczne ze strony społeczności, dużą liczbę poradników, a także niską cenę – Raspberry Pi wydaje się tu najlepszym wyborem. Do budowy systemu skomputeryzowanego SDR potrzebny będzie komputer jednopłytkowy np. Raspberry Pi 4 wraz z zestawem akcesoriów (część z nich jest opcjonalna, jednak rekomendowana):

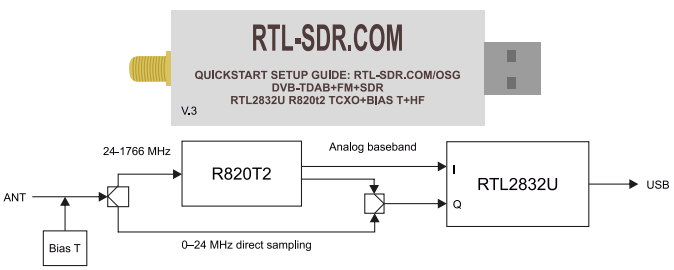
- karta SD (rekomendowana pojemność to 16...32 GB),
- zasilacz USB (z wyjściem USB typu C) o wydajności prądowej co najmniej 2 A,
- radiatory chłodzące dla układów Raspberry Pi,
- wentylator chłodzący,
- obudowa dla Raspberry Pi,
- potrzebny będzie także monitor i klawiatura oraz myszka – przynajmniej na etapie konfigurowania systemu, później możliwe jest kontrolowanie np. przez sieć.

Drugim kluczowym elementem systemu jest moduł RTL-SDR. Jest to odbiornik radiowy definiowany programowo zbudowany na chipsecie RTL2832 firmy Realtek. Został on przystosowany do pracy jako odbiornik telewizji naziemnej DVB-T, jednak w 2012 roku odkryto, że ma on o wiele większe możliwości. Może on transferować „surowe" próbki sygnałów I/Q do komputera. Na rynku dostępnych jest wiele urządzeń USB do odbioru sygnałów DVB-T, ale jeśli chcemy na poważnie zająć się tym tematem, warto sięgnąć po specjalizowany RTL-SDR, zaprojektowany specjalnie do takich aplikacji. Najnowszą wersję tego urządzenia pokazano na **rysunku 1**. Zawiera ono m.in. precyzyjniejsze, skompensowane termicznie oscylatory kwarcowe, dodatkowe filtry zasilania i sygnału, a także układ do dodawania składowej stałej na wejściu (duplekser typu bias tee), który pozwala zasilać układy znajdujące się po stronie odbiorczej, na przykład wzmacniacz sygnału czy antenę aktywną. Duplekser ten jest sterowany programowo, więc można go wyłączyć, jeśli nie jest potrzebny w danej implementacji.

Zestaw należy uzupełnić anteną. Jej dobór jest uzależniony od pasma, jakie chcemy nasłuchiwać. Sam moduł RTL-SDR oferuje pasmo od 500 kHz do 24 MHz (w trybie próbkowania bezpośredniego) lub do 1766 MHz. Anteny mają dużo węższe pasmo, w którym mogą odbierać sygnały. Dobór rodzaju i typu anteny stanowczo wykracza poza ramy tego artykułu i wiedzy autora tego skromnego poradnika.

Instalacja sterowników

Po zainstalowaniu systemu operacyjnego (Raspbiana) na Raspberry Pi 4 można przystąpić do zainstalowania sterowników modułu RTL-SDR, aby instalowane później aplikacje miały jak komunikować się



Rysunek 1. Moduł RTL-SDR v3 (powyżej) wraz z jego schematem blokowym (poniżej)

z odbiornikiem radiowym. W pierwszej kolejności należy usunąć sterowniki RTL-SDR, które już są zainstalowane w Raspbianie. Linux ma wiele preinstalowanych sterowników, niestety nie zawsze są one w najnowszej czy odpowiedniej do danego zastosowania wersji. Aby usunąć sterowniki, w linii komend wpisujemy:

```
sudo apt-get remove rtl-sdr
```

Następnie musimy pobrać aktualne sterowniki. Najlepiej jest pobrać je z repozytorium na GitHubie. Dzięki temu mamy pewność, że ściągamy najbardziej aktualną wersję i to z samego źródła. Najprościej jest w tym celu skorzystać z gita poprzez linię komend, wpisując w terminalu:

```
git clone https://github.com/osmocom/rtl-sdr.git
```

Dalej instalujemy biblioteki, które wymagane są do kompilacji sterowników. Aby je pobrać i zainstalować, wpisujemy w terminalu:

```
sudo apt install build-essential cmake usbutils
libusb-1.0-0-dev
```

Po zakończeniu instalacji tych bibliotek możemy wrócić do pobranego sterownika RTL-SDR. Musimy go skompilować przed instalacją. W tym celu w terminalu wpisujemy następujące komendy:

```
cd rtl-sdr
mkdir build
cd build
cmake -DINSTALL_UDEV_RULES=ON -DDETACH_KERNEL_
DRIVER=ON ../
```

Teraz dysponujemy skompilowanymi sterownikami, które możemy zainstalować:

```
sudo make install
```

Następnie musimy skonfigurować dowiązania i bufor dla bibliotek w systemie. W tym celu w pierwszej kolejności uruchamiamy ldconfig:

```
sudo ldconfig
```

A następnie edytujemy odpowiedni plik w modprobe.d:

```
sudo nano /etc/modprobe.d/rtlsdr-blacklist.conf
```

W pliku tym dodajemy do blacklisty inne sterowniki, które są kompatybilne z używanym przez nas modułem. Pozwoli to na uniknięcie ewentualnych konfliktów, które uniemożliwią działanie systemu.

```
blacklist dvb_usb_rtl28xxu
blacklist rtl2832
blacklist rtl2830
blacklist dvb_usb_rtl2832u
blacklist dvb_usb_v2
blacklist dvb_core
```

Po skopiowaniu powyższej listy do pliku konfiguracyjnego możemy zapisać plik (Ctrl+O) i wyjść z edytora nano (Ctrl+X). Pozostaje jeszcze teraz zresetować komputer:

```
sudo reboot
```

Po ponownym uruchomieniu możemy przetestować poprawne działanie sterowników i modułu. W pierwszej kolejności, po podłączeniu urządzenia RTL-SDR do komputera, listujemy urządzenia USB, podłączone do komputera:

```
lsubs
```

W przypadku Raspberry Pi 4 efekt powinien być taki, jak pokazany na **rysunku 2**.

Do sprawdzenia modułu można także użyć prostej aplikacji, którą zainstalowaliśmy wraz ze sterownikami. Wpisujemy polecenie:

```
rtl_test
```

Powinien wyświetlić się komunikat taki, jak pokazano na **rysunku 3**. Z programu *rtl_test* wychodzimy, naciskając Ctrl+C.

Dalszym krokiem, który nie jest konieczny, aczkolwiek w istotny sposób usprawni korzystanie z RTL-SDR pod Raspberry Pi, jest zoptymalizowanie działania algorytmu obliczania szybkiej transformaty Fouriera (FFT). Program *volk_profile* tworzy specjalny profil do obliczania FFT, zoptymalizowany dla systemu, na którym działa. Utworzenie takiego profilu zajmuje trochę czasu (około 20 minut na Raspberry Pi 4), ale istotnie poprawi wydajność obliczania FFT, wykorzystywanego m.in. do rysowania wykresów widma z RTL-SDR. Za pomocą terminalu lub przez *Putty* należy wpisać następującą komendę:

eprasa.pl 5d23d6856a

```
pi@raspberrypi:~ $ lsusb
Bus 002 Device 001: ID 1d6b:0003 Linux Foundation 3.0 root hub
Bus 001 Device 003: ID 0bda:2838 Realtek Semiconductor Corp. RTL2838 DVB-T
Bus 001 Device 002: ID 2109:3431 VIA Labs, Inc. Hub
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub
```

Rysunek 2. Urządzenia USB w Raspberry Pi 4 wraz z RTL-SDR

```
pi@raspberrypi:~ $ rtl_test
Found 1 device(s):
  0:  Realtek, RTL2838UHIDIR, SN: 00000001

Using device 0: Generic RTL2832U OEM
Found Rafael Micro R820T tuner
Supported gain values (29): 0.0 0.9 1.4 2.7 3.7 7.7 8.7 12.5 14.4 15.7 16.6 19.7
 20.7 22.9 25.4 28.0 29.7 32.8 33.8 36.4 37.2 38.6 40.2 42.1 43.4 43.9 44.5 48.0
 49.6
[R82XX] PLL not locked!
Sampling at 2048000 S/s.

Info: This tool will continuously read from the device, and report if
samples get lost. If you observe no further output, everything is fine.

Reading samples in async mode...
^CSignal caught, exiting!
ctrl+c

User cancel, exiting...
Samples per million lost (minimum): 0
pi@raspberrypi:~ $ ^C
```

Rysunek 3. Komunikat programu *rtl_test* dla poprawnie działającego modułu RTL-SDR

```
sudo volk_profile
```

Na tym etapie możemy przejść już do instalacji i używania interesującego nas oprogramowania, do zbierania i analizy sygnałów radiowych. Wystarczy podłączyć do transceivera odpowiednią antenę i działać.

Oprogramowanie do obsługi RTL-SDR

Dostępnych jest wiele programów, które korzystają z modułu RTL-SDR do odbioru i dekodowania różnych transmisji. Niektóre z nich, jak GQRX czy GNU Radio, to uniwersalne i konfigurowalne programy, które mają szerokie możliwości. Inne przeznaczone są do bardziej wyspecjalizowanych zadań.

GQRX

Jest to otwarte oprogramowanie do kontroli radia definiowanego programowo i graficzna nakładka na GNU Radio, która wykorzystuje interfejs graficzny utworzony w Qt. Program ten oferuje takie funkcje jak:

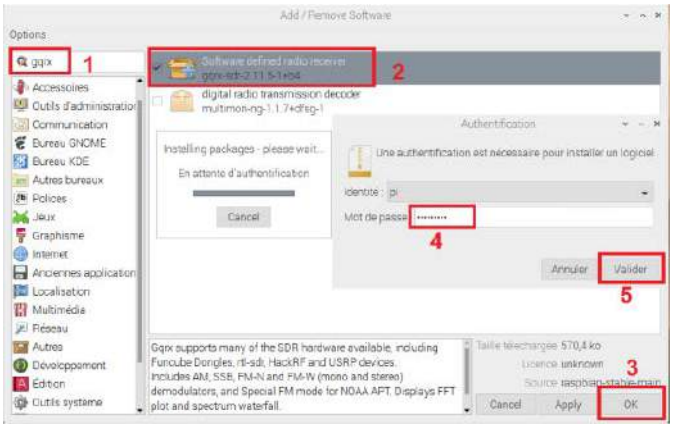
- wykrywanie urządzeń podłączonych do komputera,
- przetwarzanie danych I/Q z obsługiwanych urządzeń (takich jak Airspy, dongle Funcube, RTL-SDR, HackRF oraz USRP),
- kontrola częstotliwości, wzmocnienia i możliwość wprowadzania wielu korekcji sygnału (częstotliwość, balans I/Q),
- demodulacja AM, SSB, CW, FM-N i FM-W (mono i stereo),
- specjalny tryb FM dla NOAA APT (zdjęcia z satelitów meteorologicznych),
- zmienny filtr pasmowy,
- AGC, tłumiki szumów,
- FFT czasowe i wykres wodospadowy,
- nagrywanie i odtwarzanie dźwięków do/z pliku wav,
- nagrywanie i odtwarzanie surowych danych,
- tryb analizatora widma, w którym całe przetwarzanie sygnału jest wyłączone,
- zdalne sterowanie przez TCP,
- strumieniowe wyjście audio przez UDP.

Instalacja

Istnieją dwa sposoby na instalację GQRX. Pierwszy z nich wymaga skorzystania z terminalu. Program zainstalowany zostanie poprzez *apt*, dlatego dobrze jest najpierw zaktualizować wszystkie dane *apt*, a dopiero wtedy instalować. Wpisujemy kolejno takie polecenia:

```
sudo apt update
sudo apt upgrade
sudo apt install gqrx-sdr
```

Drugą opcją jest dodanie oprogramowania poprzez interfejs graficzny (**rysunek 4**). W menu opcji wybieramy dodaj/usuń oprogramowanie (Add / Remove Software) i wyszukujemy gqrx (1), następnie wybieramy pakiet do instalacji (2) i zatwierdzamy (3), co będzie



Rysunek 4. Instalacja GQRX z interfejsu graficznego

trzeba potwierdzić hasłem (4 and 5). Instalacja zajmie trochę czasu, ponieważ system musi pobrać i rozpakować około 500 MB plików. Może potrwać to około 20 minut lub więcej, zależnie od połączenia internetowego.

Odbiór VHF z GQRX

Aby słyszeć dźwięk z programu, należy do wyjścia audio Raspberry Pi podłączyć głośniki. Następnie uruchamiamy program i z menu wybieramy RTL-SDR. Zauważmy parametr *rtl=0*, który widać również w informacjach z *rtl_test* (**rysunek 5**). W tym menu ustawiamy także urządzenie wyjściowe, szczególnie jeśli ma być inne niż domyślne.

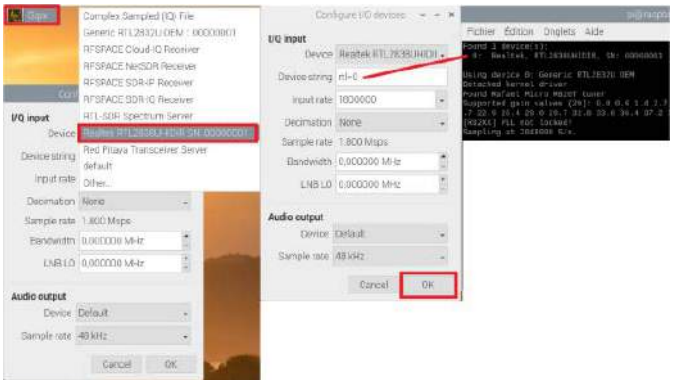
Przed jakimkolwiek konkretnym dekodowaniem ważne jest, aby sprawdzić poprawność działania urządzenia (**rysunek 6**). Najpierw należy uruchomić oprogramowanie (1), ustawić częstotliwość w paśmie FM (2), wybrać tryb WFM (mono). Jeśli dźwięk jest nierówny, należy dostosować rozmiar pasma FFT i prędkość (5), a na koniec dostosować poziom wyjściowy dźwięku (6). Jeśli jednak dźwięk jest bardzo nierówny, należy zmniejszyć rozdzielczość ekranu i unikać używania przeglądarki VNC Viewer, która zajmuje dużo zasobów procesora.

Odbiór HF z GQRX

Aby przejść z pasma VHF do HF, najlepiej jest wyjść z GQRX i zrestartować program. Przy kolejnym uruchomieniu musimy do parametrów dodać *direct_samp=2* (**rysunek 7**).

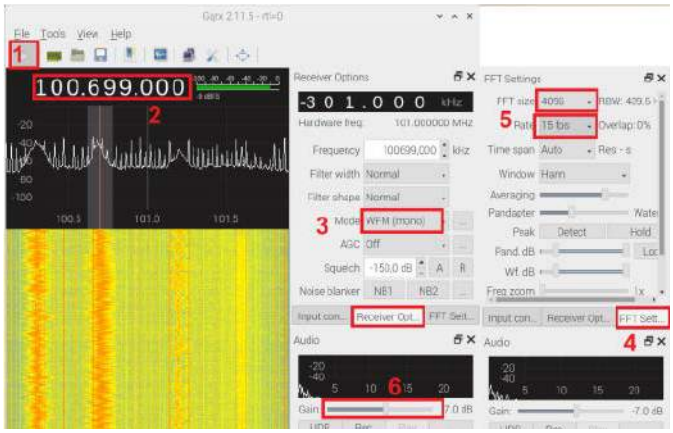
Dekodowanie FT8 z GQRX

W pasmie 40 metrów warto nasłuchiwać również w trybie cyfrowym – kodowanie FT8. Przykładową konfigurację do odbioru w tym trybie pokazano na **rysunku 8**. Kodowanie FT8 to nowoczesny sposób kodowania cyfrowego, używane przez radioamatorów od relatywnie niedawna. Pozwala ono na odbiór bardzo słabych sygnałów. Do dekodowania tego rodzaju sygnału potrzebny jest dodatkowy program – WSJT-X. Aby skonfigurować oba programy do współpracy, należy w pierwszej kolejności wyłączyć CAT (**rysunek 9**), a następnie skonfigurować WSJT-X do odbioru danych z wyjścia audio, do którego sygnał



Rysunek 5. Konfiguracja GQRX do odbioru sygnałów VHF

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 6. Uruchomienie GQRX i odtwarzanie dźwięku

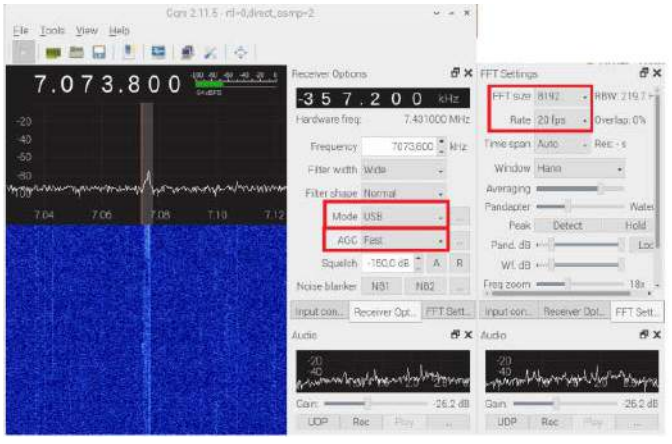
przekazuje GQRX (**rysunek 10**). Dekodowanie zaczyna się natychmiastowo. W ten sposób z łatwością można odbierać pakiety FT8, bez konieczności obciążania komputera PC. Oczywiście, możliwa jest także dalsza automatyzacja systemu – zapisywanie danych, ich parsowanie itd. Uruchomiony i odbierający dane program WSJT-X pokazano na rysunku tytułowym artykułu.



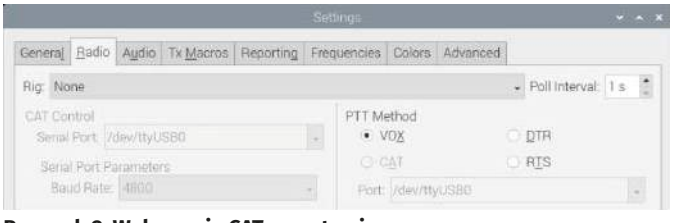
Rysunek 7. Konfiguracja GQRX do odbioru w pasmie HF

Pierwsze kroki z GNU Radio

GNU Radio to pakiet oprogramowania przeznaczony do implementacji radia definiowanego programowo. Przetwarzanie sygnału odbywa się za pomocą przeprogramowanych bloków, połączonych ze sobą. Konfiguracja systemu odbywa się w sposóbpełni graficzny. Wystarczy uruchomić program, aby zacząć programować system przetwarzania lub wczytać gotowy plik. Można, jako źródło sygnału, skonfigurować np. stały sygnał, jak z generatora czy sygnał odbierany z odpowiednio skonfigurowanego RTL-SDR (**rysunek 11**). W Internecie można znaleźć więcej



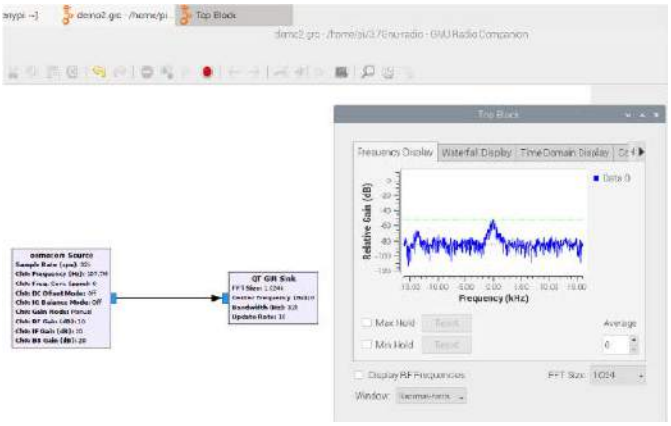
Rysunek 8. Odbiór HF za pomocą oprogramowania GQRX



Rysunek 9. Wyłączenie CAT w systemie



Rysunek 10. Konfiguracja WSJT-X



Rysunek 11. Konfiguracja GNU Radio, widoczne jest źródło osmocom z RTL-SDR

informacji, poradników itp. na temat tworzenia torów przetwarzania sygnałów radiowych.

Gotowy system operacyjny – *pisdr*

Istnieje również specjalna dystrybucja Raspbiana o nazwie *pisdr* z wieloma preinstalowanymi programami przeznaczonymi do obsługi systemów SDR. Obraz z systemem *pisdr* dostępny jest w repozytorium na GitHubie – *https://github.com/luigifcruz/pisdr-image* – skąd pobieramy aktualny obraz systemu. Wykorzystując *Pi Imager* (program do nagrywania obrazów systemu na kartę SD dla Raspberry Pi) lub inny podobny program (np. *Balena Etcher*), należy załadować obraz systemu na kartę.

Po uruchomieniu systemu możemy zalogować się do komputera przez SSH, korzystając z dowolnego programu terminalowego (np. *Putty*). Nie trzeba szukać adresu IP Raspberry PI – skonfigurowany jest domyślnie jako host o nazwie *pisdr*. W systemie preinstalowano, między innymi:

- UHD,
- GQRX,
- GNURadio,
- LimeVNA,
- Soapy Remote,
- Soapy,
- SDR Angel,
- LimeSuite,
- RTLSDR-Airband,
- LimeSDR_toolbox,
- osmo-fl2k,
- hamlib,
- VaporTrail,
- Universal Radio Hacker,
- dump1090,
- FoxTelem,
- Quisk,
- F5OEO/rpitx,
- merbanan/rtl_433,
- gpredict.

Dokładna lista oprogramowania, jakie domyślnie znajduje się w systemie, oraz lista wspieranego bazowo sprzętu znajdują się na GitHubie (linki na końcu artykułu).

Podsumowanie

Dzięki systemom SDR możliwe jest tworzenie bardzo nowoczesnych, wszechstronnych urządzeń krótkofalarskich. Proste i niedrogie odbiorniki definiowane programowo pozwalają na odbieranie i analizowanie szerokiej gamy sygnałów analogowych i cyfrowych, jakie są stosowane przez współczesnych amatorów krótkofalarstwa.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło

- https://bit.ly/32NSMtj/
- https://bit.ly/3pNBuVP
- https://bit.ly/32TUNE3
- https://bit.ly/3zlifWY
- http://bit.ly/2GtlK18
- https://bit.ly/31k4Guf

eprasa.pl 5d23d6856a

Sterowanie lampy Nixie z Arduino

Współczesna elektronika oferuje szeroki wachlarz wyświetlaczy i innych elementów optycznych. Mimo to elementy retro, takie jak lampy Nixie, nadal interesują wielu projektantów, nawet tych, którzy projektują nowoczesne i zaawansowane układy bazujące na mikrokontrolerach i nowych platformach programistycznych.

Większość czytelników EP na pewno zna lampy Nixie. Na łamach magazynu publikowaliśmy wiele projektów zawierających te interesujące komponenty. Dla tych, którzy ich nie znają, należy tylko wspomnieć – lampy Nixie to urządzenia elektronowe, służące do wyświetlania liczb i innych znaków za pomocą wyładowania jarzeniowego. Pochodzą z lat 50. XX wieku i nie są już używane komercyjnie, jednak hobbyści chętnie stosują je w swoich projektach. W artykule wyjaśnimy jak zasilać komponenty tego typu i jak zaświecać poszczególne cyfry lampy. Dowiemy się także, w jaki sposób wysterować jedną lub kilka lamp Nixie z płytki Arduino, aby w ten sposób połączyć nowoczesne sterowanie z niepowtarzalnym efektem wyświetlania jarzeniowego.



Uwaga! W układzie występują napięcia niebezpieczne dla człowieka. Należy zachować szczególną ostrożność przy stosowaniu lamp Nixie we własnych projektach.

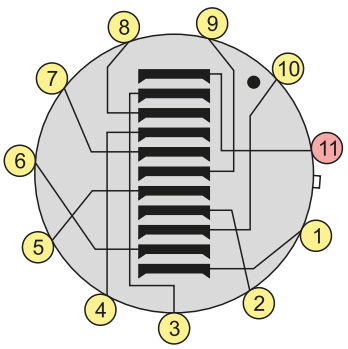
Budowa lampy Nixie

Lampa neonowa to prosty rodzaj lampy wyładowczej, która składa się z dwóch elektrod – anody i katody. Przepływ prądu pomiędzy nimi, na skutek wyładowania jarzeniowego, jonizuje gaz znajdujący się pomiędzy tymi elektrodami i wywołuje emisję światła. Gazem tym na ogół jest neon (stąd nazwa tego rodzaju lamp). Lampa Nixie jest podobna do lampy neonowej ale ma wiele, różnie ukształtowanych elektrod. Zasada działania jest dokładnie taka sama – wysokie napięcie podawane jest na anodę i katodę, a wyładowanie jarzeniowe rozświetla wnętrze lampy wokół katody. Różnica jest taka, że lampa tego rodzaju ma więcej niż jedną katodę – po jednej katodzie na każdy wyświetlany przez lampę znak.

Istnieje duża różnorodność lamp Nixie, dostępne są w najróżniejszych kształtach i formach. Na ogół maja do 10 katod, do wyświetlania cyfr od 0 do 9. Tak jest w przypadku lampy typu IN-1, która posłuży jako przykład w tym artykule (**fotografia tytułowa**). Jest ona krótką, przysadzistą lampą elektronową z cyframi widocznymi od góry, czyli po przeciwnej stronie do wyprowadzeń złącza, które wtyka się do odpowiedniego gniazda. Taki kształt pozwala na konstrukcję relatywnie kompaktowych układów wyświetlaczy. Lampa Nixie IN-1 ma 11 wyprowadzeń: 1...10 są katodami, a numer wyprowadzenia odpowiada cyfrze, która zapali się, jeśli przez ten styk przepływa prąd (z jednym wyjątkiem – pin 10 jest połączony z cyfrą 0). Wyprowadzenie 11 jest wspólną anodą dla wszystkich katod i powinno być na stałe podłączone do zasilania przez odpowiedni opornik ograniczający prąd. Na **rysunku 1** został pokazany schemat tej lampy, wraz z opisem wyprowadzeń.

Na rynku nadal dostępnych jest wiele lamp Nixie. Wiele z nich to tzw. leżaki magazynowe, a pozostałe to lampy używane. Do znacznej większości dostępna jest dokumentacja, często w języku rosyjskim, jeśli mamy do czynienia z lampami radzieckimi (jak w tym przypadku).

Schemat połączenia elektrod z wyprowadzeniami



Numer	Nazwa elektrody
1	Katoda cyfry 1
2	Katoda cyfry 2
3	Katoda cyfry 3
4	Katoda cyfry 4
5	Katoda cyfry 5
6	Katoda cyfry 6
7	Katoda cyfry 7
8	Katoda cyfry 8
9	Katoda cyfry 9
10	Katoda cyfry 0
11	Anoda

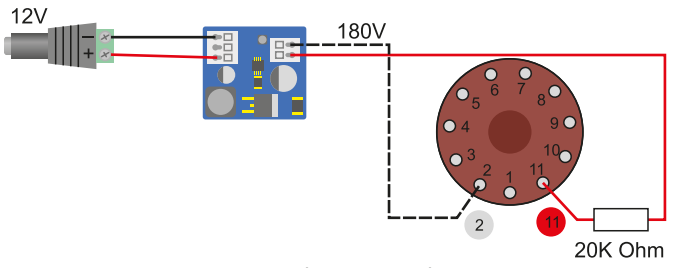
Rozmieszczenie szpilek
Wielkość szpilek РШ19

Rysunek 1. Fragment dokumentacji radzieckiej Lampy Nixie IN-1

Zasilanie lampy Nixie

Lampa Nixie typu IN-1 potrzebuje do działania napięcie anodowe równe około 180 V. W zaprezentowanym układzie jest ono generowane przez przetwornicę impulsową typu boost, bazującą na układzie NCH6100HV. Pozwala ona na uzyskanie napięcia zasilania anody lampy, równego 180 V, z napięcia wejściowego 12 V, którym zasilany jest układ. Napięcie wyjściowe trafia na anodę lampy Nixie przez opornik, ograniczający prąd. W przypadku tej lampy autor zastosował z powodzeniem rezystor 20 kΩ.

Na **rysunku 2** został pokazany schemat, jak podłączyć przetwornicę boost do lampy Nixie, aby zaświecić pojedynczą cyfrę. Cyfry załącza się

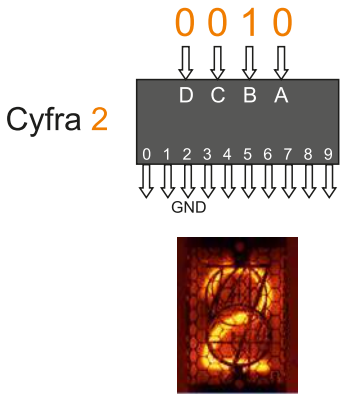


Rysunek 2. Schemat podłączenia przetwornicy typu boost do lampy Nixie

eprasa.pl 5d23d6856a



Fotografia 1. Działająca lampa Nixie z zaświeconym segmentem nr 6



Cyfra	Kod binarny
0	0 0 0 0
1	0 0 0 1
2	0 0 1 0
3	0 0 1 1
4	0 1 0 0
5	0 1 0 1
6	0 1 1 0
7	0 1 1 1
8	1 0 0 0
9	1 0 0 1

Rysunek 4. Sposób działania układu K155ID1

dołączając wyprowadzenia katod do masy. Po podłączeniu masy tak, jak pokazano na ilustracji, powinna zaświecić się cyfra 2 (ponieważ do masy dołączono wyprowadzenie nr 2). Chcąc zapalić dowolną inną cyfrę należy podłączyć masę do innego pinu. Na **fotografii 1** pokazano zaświeconą cyfrę 6 (podłączone wyprowadzenie nr 6). Jeśli masa podłączona zostanie do większej liczby pinów, zaświeci się wiele liczb.

Sterowanie lampą Nixie z pomocą scalonego kontrolera

Za pomocą modułu takiego jak Arduino Nano można sterować, która cyfra w lampie Nixie będzie załączona. Teoretycznie można to zrobić za pomocą 10 wyprowadzeń cyfrowych płytki Arduino, podłączonych do każdej katody lampy Nixie. Podświetlenie cyfr następowałoby poprzez podanie sygnału LOW na odpowiednie wyprowadzenie. Jednak wtedy tracimy 10 linii cyfrowych na kontrolowanie tylko jednej lampy. Dodatkowo, warunki pracy mogą uszkodzić Arduino – wysokie napięcie i relatywnie duże prądy mogą uszkodzić wyprowadzenia cyfrowe.

Doskonałym rozwiązaniem okazuje się układ scalony taki jak K155ID1. Pozwala on na sterowanie lampą Nixie za pomocą zaledwie 4 pinów GPIO z Arduino. K155I1 ma 16 wyprowadzeń – dziesięć z nich to wyjścia z aktywną masą, każde dla jednej z 10 katod wyświetlacza. Pozostałe wyprowadzenia to zasilanie i masa, które należy podłączyć do 5 V i GND modułu Arduino, oraz cztery wyprowadzenia do cyfrowego sterowania układem. Schemat podłączenia takiego kontrolera pokazano na schemacie z **rysunku 3**. Poprzez binarną reprezentację cyfry, którą chcemy załączyć, sterujemy jednym z 10 wyjść z aktywnym stanem – masą. Na **rysunku 4** zostały pokazane wszystkie sekwencje wejściowe i odpowiadające im stany wyjść. Dzięki temu sterowanie jest bardzo proste, a dodatkowo system jest zabezpieczony przed podłączeniem kilku katod jednocześnie.

Oprogramowanie w Arduino IDE

Ostatnim krokiem, przed uruchomieniem układu z rysunku 3 jest napisanie prostego kodu dla płytki Arduino. Dla uproszczenia prezentujemy prosty program, który przełącza wszystkie 10 cyfr po kolei w jednosekundowych odstępach czasu, ale kod ten może być zintegrowany z dowolnym innym programem.

W pierwszej kolejności musimy zadeklarować wyprowadzenia, które są podłączone do wejść układu K155ID1. Nie jest to konieczne, jednak istotnie uprości pisanie dalszej części programu. Następnie należy zadeklarować tablicę *digits[10][4]*, która powiąże cyfry od 0 do 10 z kodami binarnymi. Następnie musimy skonfigurować w sekcji *setup()* wybrane wyprowadzenia jako wyjścia cyfrowe. Dzięki temu, że zdefiniowaliśmy je wcześniej, możemy posługiwać się ich definicjami – po prostu A...D, niezależnie od tego, jaki to pin. W przypadku zmiany fizycznych pinów w systemie, wystarczy zmienić definicję i kod będzie poprawnie działał.

W ostatnim kroku w pętli głównej programu *loop()* dopisujemy pętlę *for*, która inkrementuje zmienną i co jeden i ustawia na wyjściach GPIO zawartość tabeli *digits*, w której znajdują się wartości kodów binarnych, odpowiadające poszczególnym cyfrom. Pomiędzy poszczególnymi iteracjami pętli układ zatrzymuje się na 1000 ms – polecenie *delay(1000)*. Pełny kod został pokazany na **listingu 1**, jego efektem jest zaświecanie kolejnych cyfr co 1 s.

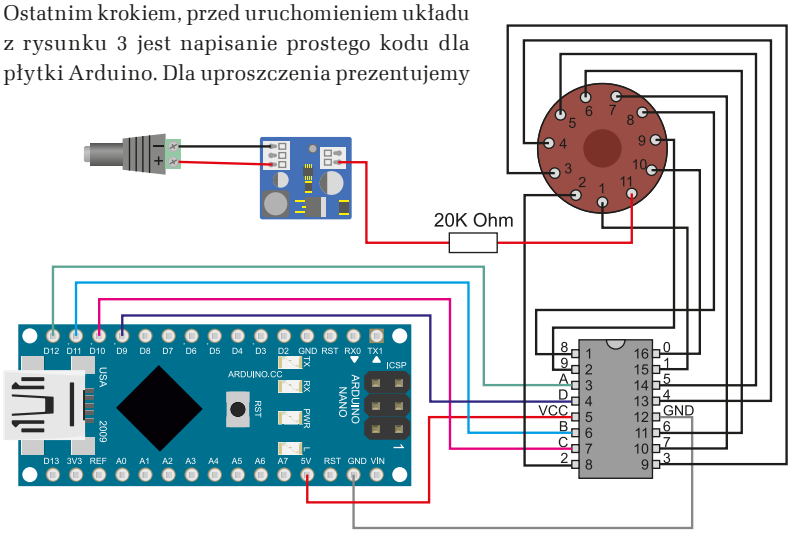
Listing 1. Kod przykładowego programu dla Arduino sterującego lampą Nixie poprzez układ K155I1

```
#define A 12
#define B 11
#define C 10
#define D 9

int digits [10][4] {
  {0,0,0,0},
  {0,0,0,1},
  {0,0,1,0},
  {0,0,1,1},
  {0,1,0,0},
  {0,1,0,1},
  {0,1,1,0},
  {0,1,1,1},
  {1,0,0,0},
  {1,0,0,1}};

void setup() {
  pinMode(A, OUTPUT);
  pinMode(B, OUTPUT);
  pinMode(C, OUTPUT);
  pinMode(D, OUTPUT);
}

void loop() {
  for(int i=0;i<10;i++) {
    digitalWrite(A,digits[i][3]);
    digitalWrite(B,digits[i][2]);
    digitalWrite(C,digits[i][1]);
    digitalWrite(D,digits[i][0]);
    delay(1000);
  }
}
```



Rysunek 3. Schemat sterownika lampy Nixie

Podsumowanie

Zaprezentowany prosty system, pozwala na zintegrowanie wyświetlacza z lampą (lub lampach) Nixie z dowolnym projektem Arduino i nie tylko. Dzięki temu możemy zbudować dowolne urządzenie zachowując retro-stylistykę, niezależnie, jak nowoczesne będzie wnętrze systemu. Pomysły są nieograniczone, od prostego zegara czy stopera po wyświetlacz kursu Bitcoina, spięty z serwisami finansowymi, czy też termometr zintegrowany z naszym domowym systemem automatyki.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło projektu: https://bit.ly/3Dwd5Zx

eprasa.pl 5d23d6856a

Sekwencer do modułowego syntezatora

Modułowe syntezatory to idealne projekty dla hobbystów elektroników. Mogą oni projektować i konstruować rozmaite moduły, które następnie można zestawiać w różnych kombinacjach, aby tworzyć muzykę elektroniczną. Największe syntezatory analogowe składają się nawet z setek tego rodzaju modułów, które połączone ze sobą w odpowiedni sposób pozwalają na generowanie całych utworów.



Typowe moduły do syntezatorów to układy w pełni analogowe. Nie powinno to dziwić – jest to kluczem do uniwersalności tych układów. Połączenia pomiędzy nimi przesyłają napięcia sterujące oraz oczywiście sygnał analogowy. Istnieje ogromna liczba typów modułów, jakich używa się w takich konstrukcjach. Moduły syntezatorów analogowych można podzielić (z grubsza) na kilka klas:

- generatory (moduły, które generują pojedynczy, ciągły przebieg o kontrolowanej częstotliwości i amplitudzie),
- filtry (analogowe filtry o różnej charakterystyce, także takiej, która może być kontrolowana np. napięciem sterującym),
- modulatory (AM, FM i tzw. modulatory obwiedni, które z ciągłego przebiegu robią pojedynczy „impuls" dźwiękowy, przypominający dźwięk instrumentu – pojedyncze naciśnięcie klawisza pianina, uderzenie werbla, szarpnięcie struny gitary itd.),
- do sterowania systemem używa się modułów zwanych sekwencerami. Są to układy, które taktują cały syntezator bądź jego system, generując zmieniające się krokowo napięcie sterujące lub impulsy wyzwalające, które służą następnie do sterowania innymi modułami.

Autor projektu sięgnął po syntezator analogowy jako pomoc naukową. Na co dzień uczy on elektroniki, inżynierii i robotyki. Dziedziny te są trudne w zademonstrowaniu w łatwy i zrozumiały sposób, szczególnie ze względu na leżącą u ich podstaw matematykę. Syntezator analogowy jest tutaj idealnym narzędziem, gdyż pozwala na zademonstrowanie (w słyszalny sposób) wielu zjawisk, takich jak rezonans, filtry itp. Modułowy syntezator pozwala na zestawianie układu w taki sposób, żeby w czytelny sposób demonstrować szerokie spektrum zjawisk, zachodzących pomiędzy sygnałami i układami elektronicznymi.

Jednym z modułów, które autor uważał za konieczne w swoim systemie, był sekwencer. To kluczowy element wielu syntezatorów. Jednak autor postanowił skonstruować nie byle jaki sekwencer – jego konstrukcja miała realizować tzw. rytm euklidesowski. Termin ten (lub rytm Euklidesa) został po raz pierwszy użyty przez informatyka Godfrieda Toussainta w jego pracy z 2005 roku. Rytmy euklidesowe to zupełnie nowe zjawisko – pomysł tej koncepcji pojawił się u Toussainta w 2004 roku. Inspiracją była hiszpańska muzyka flamenco, która do wykonywania i opisywania rytmów wykorzystuje okrąg. Toussaint odkrył, że można użyć algorytmu Euklidesa (algorytmu do obliczania największego wspólnego dzielnika dwóch liczb, znanego od starożytności i przypisywanego właśnie Euklidesowi) do równego dzielenia dowolnej kombinacji rytmów i że algorytm Euklidesa może być użyty do wyjaśnienia nawet bardzo złożonych rytmów od afrykańskich etnicznych pieśni przez bossa novę czy standardy jazzowe.

Rytmy Euklidesa składają się z N zdarzeń równomiernie rozmieszczonych w M możliwych pozycjach w powtarzającym się wzorze. Alokację zdarzeń określa się za pomocą algorytmu Euklidesa, stosowanego do wyznaczania największych wspólnych dzielników. Takie algorytmiczne podejście czyni system bardzo użytecznym do automatycznego generowania takich rzeczy, jak wzorce perkusyjne. Na rynku dostępnych jest wiele wirtualnych i fizycznych implementacji tego rodzaju generatorów rytmu, które były inspiracją do zbudowania opisanego poniżej urządzenia.

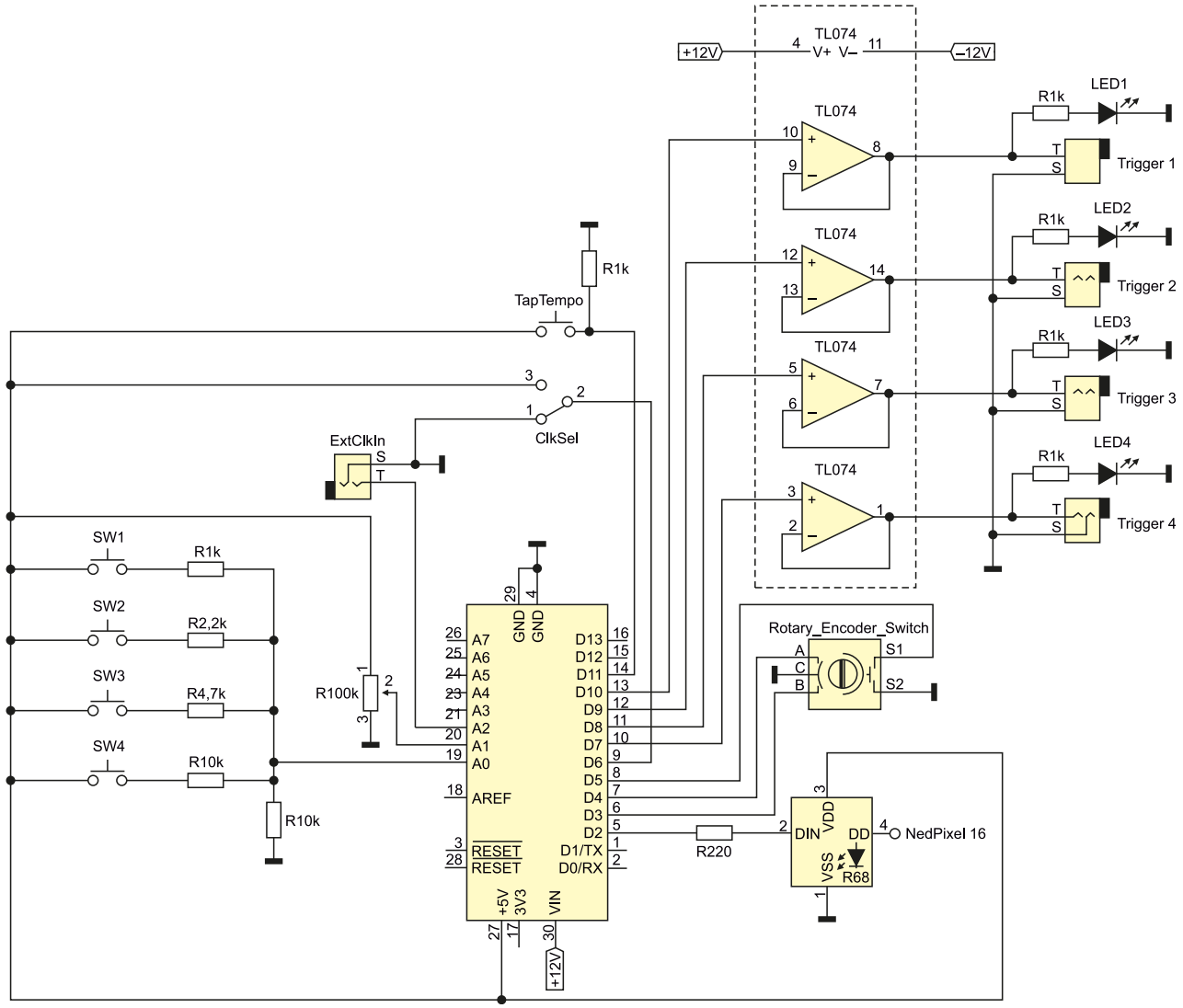
Moduł zaprezentowany w tym artykule bazuje na Arduino Nano i może sterować maksymalnie czterema głosami (wyzwalaczami perkusji, modulatorami obwiedni lub generatorami), wykorzystując przy tym rytm z podziałem na 16 lub mniej. Rytm może być generowany za pomocą wewnętrznego lub zewnętrznego zegara. Liczbę zdarzeń i ich pozycji (N i M) można niezależnie kontrolować, uzyskując interesujące rytmiczne interakcje między poszczególnymi głosami. Projekt panelu przedniego modułu bazuje na formacie Kosmo, bardzo często używanym w modułowych syntezatorach dźwięku.

Elementy potrzebne do budowy sekwencera

Do zestawienia prezentowanego modułu potrzebne są:

- moduł Arduino Nano (lub dowolne inne Arduino, Nano wybrano z uwagi na niewielki rozmiar),
- 16-bitowy Ring LED NeoPixel lub kompatybilny moduł,
- pięć przycisków chwilowych (microswitch),
- miniaturowy przełącznik SPDT,
- potencjometr 100 kΩ o charakterystyce liniowej,

eprasa.pl 5d23d6856a



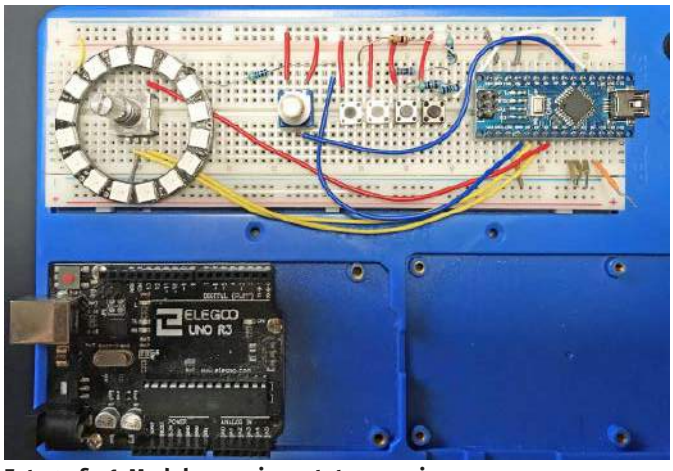
Rysunek 1. Schemat sekwencera

- enkoder obrotowy z przyciskiem,
- pięć monofonicznych złączy duży jack,
- poczwórny wzmacniacz operacyjny TL074 i podstawka DIL14,
- 10-wyprowadzeniowe złącze do zasilania w standardzie Eurorack,
- cztery diody LED 5 mm (czerwona, niebieska, zielona i żółta),
- opornik 220 Ω, sześć oporników 1 kΩ, opornik 2,2 kΩ, opornik 4,7 kΩ, dwa oporniki 10 kΩ,
- przewody połączeniowe, płytka uniwersalna, goldpiny (męskie i żeńskie),
- materiały do budowy panelu (blacha aluminiowa, pleksi itd.).

Ponadto potrzebne będą podstawowe narzędzia – multimetr, lutownica itp. Dodatkowo do wycięcia panelu autor użył plotera laserowego, jednak nie jest to jedyna opcja.

Budowa układu

Projekt rozpoczął się od nowego szkicu Arduino i obwodu testowego, zbudowanego do przeanalizowania pomysłów autora. Prototypowanie układu najlepiej jest przeprowadzić, dodając do systemu na płytce stykowej poszczególne elementy, krok po kroku. Taktyka ta przydaje się szczególnie w przypadku nieznanych nam dotychczas komponentów. W przypadku autora był to moduł NeoPixel oraz enkoder obrotowy. Dlatego też one w pierwszej kolejności trafiły na płytkę stykową (**fotografia 1**). Linia danych NeoPixel jest podłączona do cyfrowego pinu 2 w Arduino Nano przez rezystor 220 Ω. Enkoder obrotowy ma dwie cyfrowe linie wyjściowe, które są dołączone do pinów 3 i 4 modułu Arduino, w celu zliczania impulsów wychodzących z enkodera. Pin 5 jest używany wraz z wewnętrznym rezystorem podciągającym w Nano

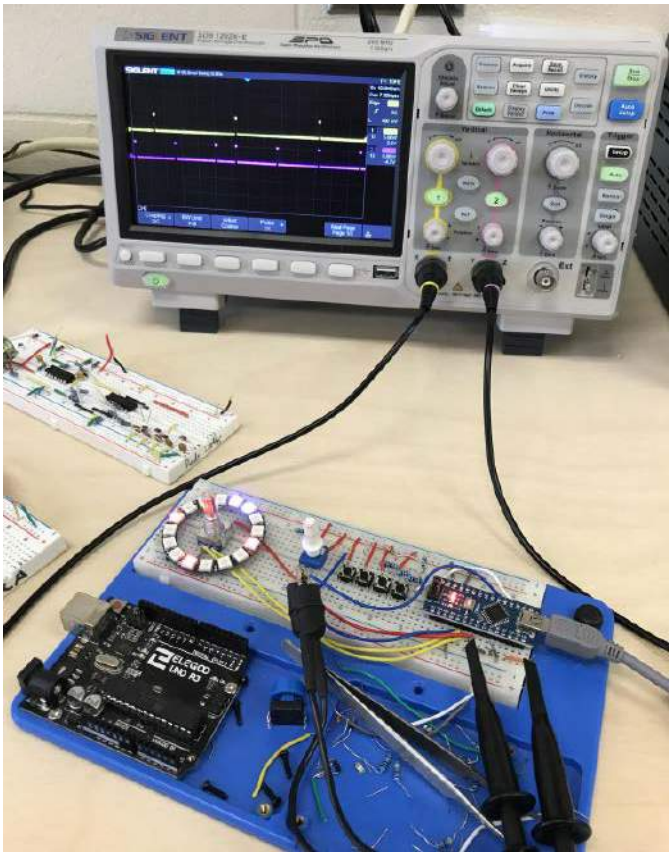


Fotografia 1. Moduł w czasie prototypowania

do odczytu stanu przycisku w enkoderze, który zostaje zwarty, gdy pokrętło enkodera zostaje naciśnięte. Przycisk ten zostanie użyty do przełączania się między różnymi trybami pracy w module. Należy pamiętać dodatkowo, że moduł NeoPixel musi być zasilany napięciem 5 V, więc aby go zasilić, należy podłączyć wyjście 5 V i pin masy do Nano. Enkoder ma dwa piny, które należy podłączyć do masy Nano. Są one pokazane na schemacie obwodu na **rysunku 1**.

Po uruchomieniu tych dwóch komponentów autor dodał przyciski chwilowe do przełączania między czterema wyzwalaczami. Przypisanie każdemu przyciskowi osobnego pinu cyfrowego może być

eprasa.pl 5d23d6856a



Fotografia 2. Testowanie prototypu sekwencera

kuszące, ale wyjścia układu są bardzo cenne w takim projekcie. Kiedy mamy do czynienia z kilkoma przyciskami, można połączyć je szeregowo z rezystorami, które stają się dzielnikiem napięcia. Napięcie wyjściowe z dzielnika różni się w zależności od tego, który przycisk jest wciśnięty i można je łatwo zdekodować za pomocą jednego z wejść analogowych w module Arduino Nano. To zgrabna sztuczka, która pomoże wycisnąć więcej z dostępnych w Arduino linii wejścia/wyjścia. Jeśli sam opis tego połączenia nie jest zrozumiały, to warto spojrzeć na schemat na rysunku 1, gdzie jest to czytelniej narysowane.

Finalnym dodatkiem do systemu był potencjometr, który pozwala na zmianę szerokości impulsu wyjściowego. To ważna funkcja do dodania, gdyż zwiększa elastyczność łączenia modułu z innymi modułami w syntezatorze. W ten sposób można wyzwalać inne urządzenia krótkim impulsem albo użyć dłuższego impulsu bramki jako np. obwiedni dla sygnału audio. Potencjometr zapewnia taką elastyczność.

Aby przetestować płytki prototypowe, autor po prostu podłączył zworki do odpowiednich pinów wyjścia cyfrowego w module Nano. To pozwoliło szybko sprawdzić za pomocą oscyloskopu prawidłowe ustawienia wyjść cyfrowych (**fotografia 2**).

Oprogramowanie

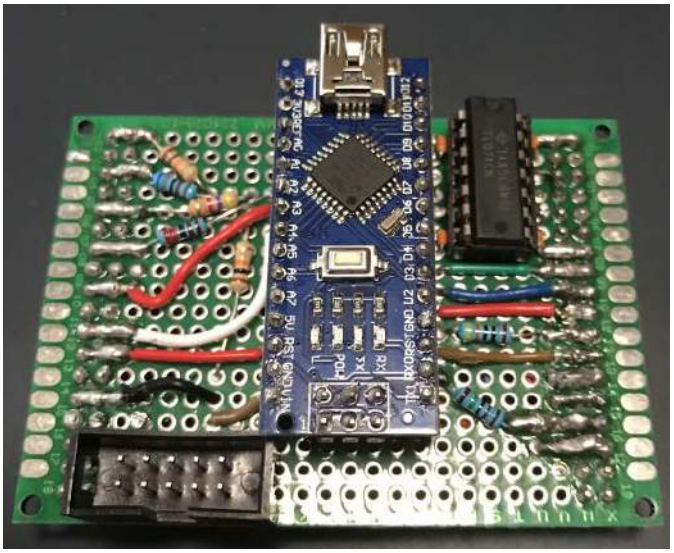
Dzięki dodawaniu poszczególnych elementów do systemu po kolei, debugowanie programu i pisanie kodu poszło autorowi dosyć łatwo. Pełny kod projektu **znajduje się w materiałach dodatkowych do artykułu**. Aby poprawnie skomplikować ten szkic, potrzebne będzie zainstalowanie dwóch bibliotek za pomocą *Manage Libraries* w menu *Tools*. Są to biblioteki *Encoder* i *Adafruit_NeoPixel*, które są potrzebne do obsługi, odpowiednio, enkodera obrotowego oraz modułu NeoPixel z diodami LED.

Aby załadować oprogramowanie do modułu Nano, wystarczy podłączyć go do komputera za pomocą kabla USB i z poziomu Arduino IDE skomplikować i wgrać szkic do pamięci mikrokontrolera. Kluczowe funkcje oprogramowania obejmują:

- Obsługę pierścienia LED NeoPixel, który wyświetla aktywny obecnie wzór, wybrany za pomocą jednego z czterech przycisków wyboru wzoru:
  - aktywny wzór jest wyświetlany w jednym z czterech kolorów (czerwony, zielony, niebieski lub żółty),
  - migający piksel obraca się wokół wzoru, wskazując tempo i tryb pracy enkodera:
    - biały piksel oznacza tryb tempa,
    - fioletowy piksel oznacza tryb euklidesowy,
    - żółty piksel oznacza tryb rotacji.
- Wciśnięcie pokrętła enkodera (naciśnięcie przełącznika) powoduje przejście pomiędzy trzema trybami działania:
  - tryb tempo – pokrętło enkodera przyspiesza i spowalnia wewnętrzny zegar,
  - tryb euklidesowy – pokrętło enkodera zwiększa i zmniejsza liczbę impulsów w aktywnym wzorze,
  - tryb rotacji – pokrętło enkodera obraca aktywny wzór zgodnie z ruchem wskazówek zegara lub przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.
- Przestawienie przełącznika wyboru zegara umożliwia taktowanie modułu wewnętrznie lub z zewnętrznego źródła wyzwalania:
  - w trybie tempo nie mamy wpływu na szybkość taktowania modułu, gdy używany jest zegar zewnętrzny.
- Potencjometr szerokości impulsu zmienia szerokość impulsów generowanych przez moduł:
  - ustawienie go całkowicie przeciwnie do ruchu wskazówek zegara wygeneruje krótkie impulsy,
  - ustawienia go w pozycji skrajnej zgodne z ruchem wskazówek zegara zwiększa szerokość impulsów, aby nadawały się do bramkowania.
- Moduł ma cztery niezależne wyjścia, które odpowiadają każdemu z czterech rytmów euklidesowych i tempu:
  - wyjścia cyfrowe mogą być używane do wyzwalania diod LED lub innych modułów syntezatora.

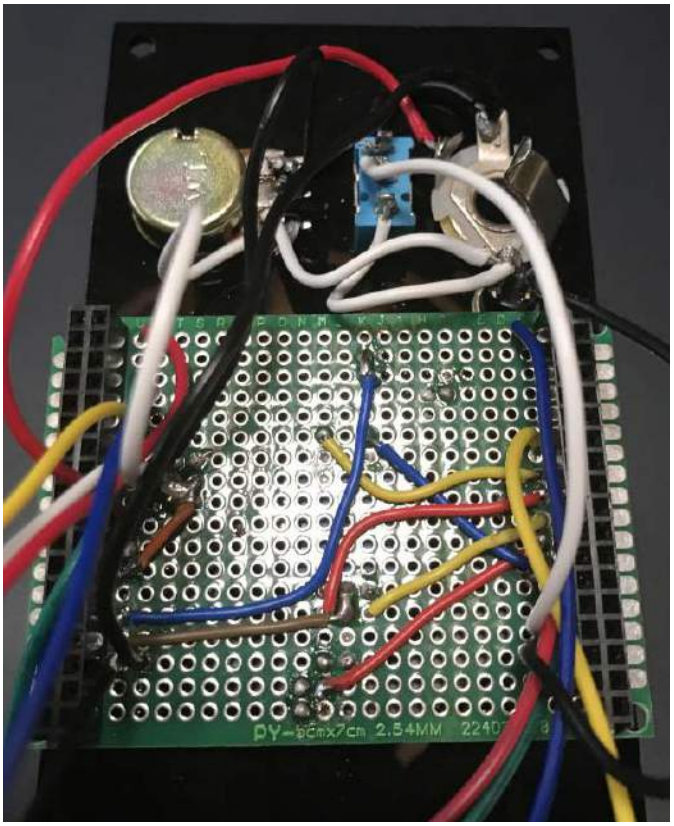
Płytka główna i przedni panel

Gdy oprogramowanie jest gotowe i przetestowane na płytce prototypowej, nadszedł czas na rozpoczęcie pracy nad samym modułem. Płytki stykowe są dobre do tymczasowych obwodów i testowania, ale wyprodukowanie trwalszego modułu, który można by zainstalować w szafie syntezatora, wymaga pewnego przylutowania elementów do płytki drukowanej. Autor zastosował dwie płytki uniwersalne o wymiarach 4×6 cm do instalacji komponentów. Jedna płytka zawiera Arduino Nano, rezystory, złącze zasilania i poczwórny wzmacniacz operacyjny do buforowania sygnałów wyjściowych z modułu. Druga płytka to miejsce instalacji pierścienia diod NeoPixel i enkodera. Jest ona ponadto punktem, do którego podłączone są wszystkie złącza, przełączniki i tym podobne elementy z przedniego panelu.

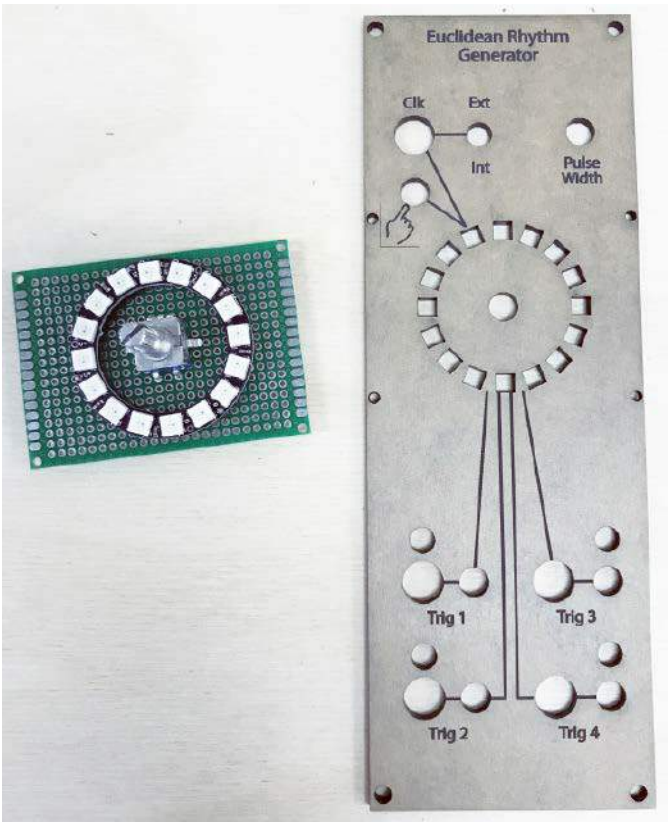


Fotografia 3. Płytka z mikrokontrolerem

eprasa.pl 5d23d6856a



Fotografia 4. Płytka z enkoderem, diodami RGB i złączami



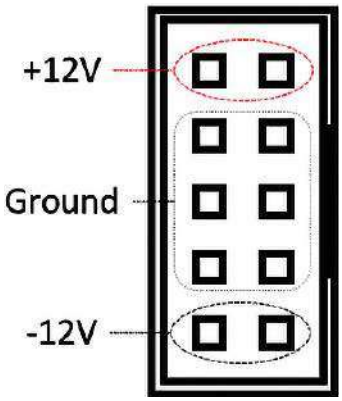
Fotografia 5. Panel przedni modułu

Płytki pokazano na **fotografii 3** (moduł z Arduino Nano) oraz **fotografii 4** (moduł przyłączeniowy).

Obie płytki zaplanowane są tak, aby łączyć się ze sobą za pomocą zestawu męskich/żeńskich goldpinów po lewej i prawej stronie płytki. Złącza te przenoszą zasilanie, masę i sygnały między płytkami.

Montaż należy rozpocząć od ułożenia elementów na płytce, aby rozplanować lokalizację poszczególnych elementów, odstępy pomiędzy nimi i ich wzajemną pozycję. Najwięcej miejsca zajmuje na płytce oczywiście moduł Nano. Dodatkowo, musi być on tak zorientowany, aby wtyczka USB była dostępna do programowania z zewnątrz. Jeśli chcemy zasilać moduł z zasilacza w stylu Eurorack (jeden z popularnych standardów zasilania w syntezatorach modułowych), konieczne będzie dodanie odpowiedniego złącza 2×5 pinów, co pozwoli pobrać napięcia 12 V oraz –12 V (schemat wyprowadzeń złącza pokazany na **rysunku 2**).

Na płytce z mikrokontrolerem znajduje się również wzmacniacz operacyjny TL074 do buforowania wyjść z Arduino. Bufor zapewnia sygnałom wyjściowym modułu nieco wyższy prąd wyjściowy i zapobiega nadmiernemu obciążeniu linii GPIO. Jeśli nie planujemy podłączać modułu do wielu innych modułów, można zrezygnować z tego elementu, ale nie jest to rekomendowane rozwiązanie.



Rysunek 2. Schemat wyprowadzeń złącza zasilania

Arduino Nano i wzmacniacz operacyjny nie powinny być lutowane bezpośrednio do płytki. W przypadku Arduino należy przylutować parę żeńskich złączy goldpin do płytki i podłączyć Nano do tego złącza. Układ scalony z kolei korzysta z podstawki, którą należy wlutować w płytkę drukowaną, a dopiero w niej umieścić wzmacniacz operacyjny. Zapobiegnie to przypadkowemu uszkodzeniu modułu Arduino i wzmacniacza operacyjnego podczas lutowania. W przyszłości, jeśli Nano lub wzmacniacz operacyjny ulegną uszkodzeniu, można po prostu wyjąć stare komponenty z gniazd i wymienić je na nowe, sprawne.

Montując wtyczkę zasilania, należy zwrócić uwagę na orientację wycięcia wtyczki, dzięki któremu można podłączyć ją tylko w jednej orientacji. Napięcie Vin Arduino Nano podłączone jest do linii 12 V, więc niepoprawne podłączenie gniazda może spowodować podanie tam –12 V i w konsekwencji uszkodzenie modułu.

Korzystając ze schematu z rysunku 1, należy polutować wszystkie połączenia między złączami Nano, wzmacniaczem operacyjnym, rezystorami i złączami krawędziowymi płyty. Po zakończeniu montażu dobrze jest użyć multimetru z funkcją testu ciągłości, aby upewnić się, że elementy połączone są poprawnie i nie występują żadne przypadkowo powstałe mostki między sąsiednimi stykami. Staranne planowanie, cierpliwość i konsekwentne testowanie naprawdę opłacają się na etapie lutowania.

Przedni panel, pokazany na **fotografii 5**, wycięty został na ploterze laserowym. Odpowiednie pliki dostępne są na stronie projektu. Można je pobrać i samodzielnie wyciąć taki panel, jeśli ma się dostęp do plotera laserowego lub innego podobnego urządzenia.

Ostatnia część budowy modułu obejmuje okablowanie gniazd, przycisków, przełącznika, potencjometru i diod LED. Najłatwiej jest zamontować elementy na panelu przed przylutowaniem do nich kabli. Pomoże to w określeniu długości i miejsca prowadzenia przewodów. Połączenia najlepiej jest wykonywać kablem typu linka, a nie drutem, z uwagi na zwiększoną wytrzymałość na zginanie. Korzystając ze schematu z rysunku 1, należy przylutować odcinki przewodu do płytki w celu przygotowania połączenia z elementami montowanymi na panelu. Większość komponentów wymaga połączenia

eprasa.pl 5d23d6856a

z masą – wykonuje się je za pomocą krótkich odcinków przewodów, które łączą się ze sobą (wszystkie gniazda, potencjometr, przełącznik z masą, szeregowo). Dodatkowy przewód łączy jeden punkt połączenia z płytką. W podobny sposób można postępować z elementami, które wymagają napięcia zasilania (5 V).

Lutując poszczególne elementy, nie można zapomnieć o dodaniu rezystorów ograniczających prąd diody LED (1 kΩ). Są one lutowane do dłuższego wyprowadzenia diody. Rezystor jest następnie lutowany do złącza gniazda wyjściowego, a drugi koniec diody LED jest lutowany do tulei – masy złącza. Po zlutowaniu elementów należy ostrożnie zagiąć wyprowadzenia LED, aby umieścić element w otworze panelu. Dobrym pomysłem jest zastosowanie rurek termokurczliwych do osłonięcia wyprowadzeń, aby uniknąć przypadkowych zwarć.

Po wykonaniu wszystkich połączeń między elementami panelu a płytką z mikrokontrolerem można przymocować ją do panelu. Enkoder powinien być wyposażony w podkładkę i nakrętkę. Należy je wykorzystać, aby dokręcić enkoder do panelu. Cztery mniejsze otwory w panelu powinny pokrywać się z otworami w płytce. Używając małych śrubek i nakrętek, można przykręcić PCB do panelu. Ostatnim krokiem montażu jest zamontowanie głównej płytki na płycie panelu. Należy ostrożnie wyrównać wyprowadzenia i złącze i docisnąć je do siebie. Powinno to zapewnić dopasowane i ciasne połączenie pomiędzy elementami. Po zmontowaniu obu płytek można, jeśli nie zrobiło się tego wcześniej, zainstalować Arduino Nano i wzmacniacz operacyjny w podstawkach. Należy pamiętać o orientacji elementów w ich gniazdach.

Zastosowanie modułu

Większość funkcjonalności modułu można przetestować za pomocą kabla USB, którym programowaliśmy Nano – brak zasilania dostarczanego przez złącze Eurorack nie powinno być problemem, gdyż elementy zasilane są z USB. Moduł NeoPixel powinien uruchomić się z czterema czerwonymi diodami LED i migającą białą diodą LED pędzącą wokół pierścienia. Moduł uruchamia się w trybie tempa i można przyspieszyć lub spowolnić tempo, obracając pokrętło enkodera. Jeśli widoczne są cztery czerwone kontrolki, ale migająca biała dioda LED nie porusza się, należy upewnić się, że przełącznik wyboru zegara jest ustawiony na zegar wewnętrzny. Naciśnięcie czterech przycisków wyboru impulsu wyzwalania powinno zmienić kolor NeoPixel, a także domyślne wzory, które są prezentowane. Jeśli przyciski nie działają niezawodnie, można dokonać zmian w kodzie w funkcji *CheckButtons* (komentarze znajdują się na listingu programu).

Testowanie należy rozpocząć od naciśnięcia raz pokrętła enkodera. Migające światło powinno zmienić kolor na fioletowy, a czerwone światła dookoła znikną. Obracanie enkoderem zwiększa lub zmniejsza liczbę impulsów we wzorze. Naciśnięcie przycisków wyboru wyzwalacza umożliwia określenie impulsów dla każdego z wyjść niezależnie. Po naciśnięciu pokrętła enkodera po raz drugi migające światło zmieni kolor na żółty. Obracanie pokrętłem enkodera obraca wybrany wzór. Naciskając przyciski wyboru wyjścia, przełącza się wzory impulsów i obraca je względem siebie. Trzecie naciśnięcie pokrętła enkodera powoduje powrót do pierwszego trybu działania układu.

W trakcie tego procesu można zauważyć, że diody LED dołączone do wyjść wyzwalających w module migają sporadycznie lub wcale. Dzieje się tak, ponieważ układ zasilany jest z USB – wyjściowe op-ampy zasilane są ze złącza na tyle modułu. Na czas testów zasilanie ±12 V zastąpić można ±9 V z dwóch baterii.

Po włączeniu, jeśli cały system działa prawidłowo, każda z diod LED wyjścia powinna migać w rytmie z pierścieniem diod NeoPixel. Każda dioda LED powinna zaświecić się, gdy lampka wskaźnika trybu przecina punkt w rytmie euklidesowym dla swojego wzoru. Podkręcenie potencjometru szerokości impulsu spowoduje, że dioda LED będzie świecić nieco dłużej. Jest to bardziej zauważalne przy wolniejszych przebiegach. Jeśli diody LED migają prawidłowo, sygnały wyzwalające



Fotografia 6. Gotowy moduł, zainstalowany i podłączony w syntezatorze

również powinny być prawidłowe. Aby to przetestować, można się posłużyć oscyloskopem lub po prostu podłączyć sekwencer do innych modułów syntezatora. Złożony moduł został pokazany na **fotografii 6**.

Podsumowanie

Arduino ma nadal wolne cyfrowe i analogowe wyprowadzenia. Można dalej rozszerzyć możliwości tego sekwencera. Autor ma kilka pomysłów na przyszłość, które mogłyby rozszerzyć funkcjonalność tego modułu:

- dodanie większej liczby triggerów/wyjść,
- zwiększenie zakresu kroków, jakie mogą być w sekwencji,
- dodanie przycisku do manualnego „wystukiwania" rytmu,
- dodanie czwartego trybu działania, pozwalające na redukcję okresu rytmów euklidesowych,
- dodanie wejścia dla napięcia kontrolnego, które sterować będzie:
  - liczbą uderzeń na cykl,
  - szerokością impulsów,
  - translacją wzorów.

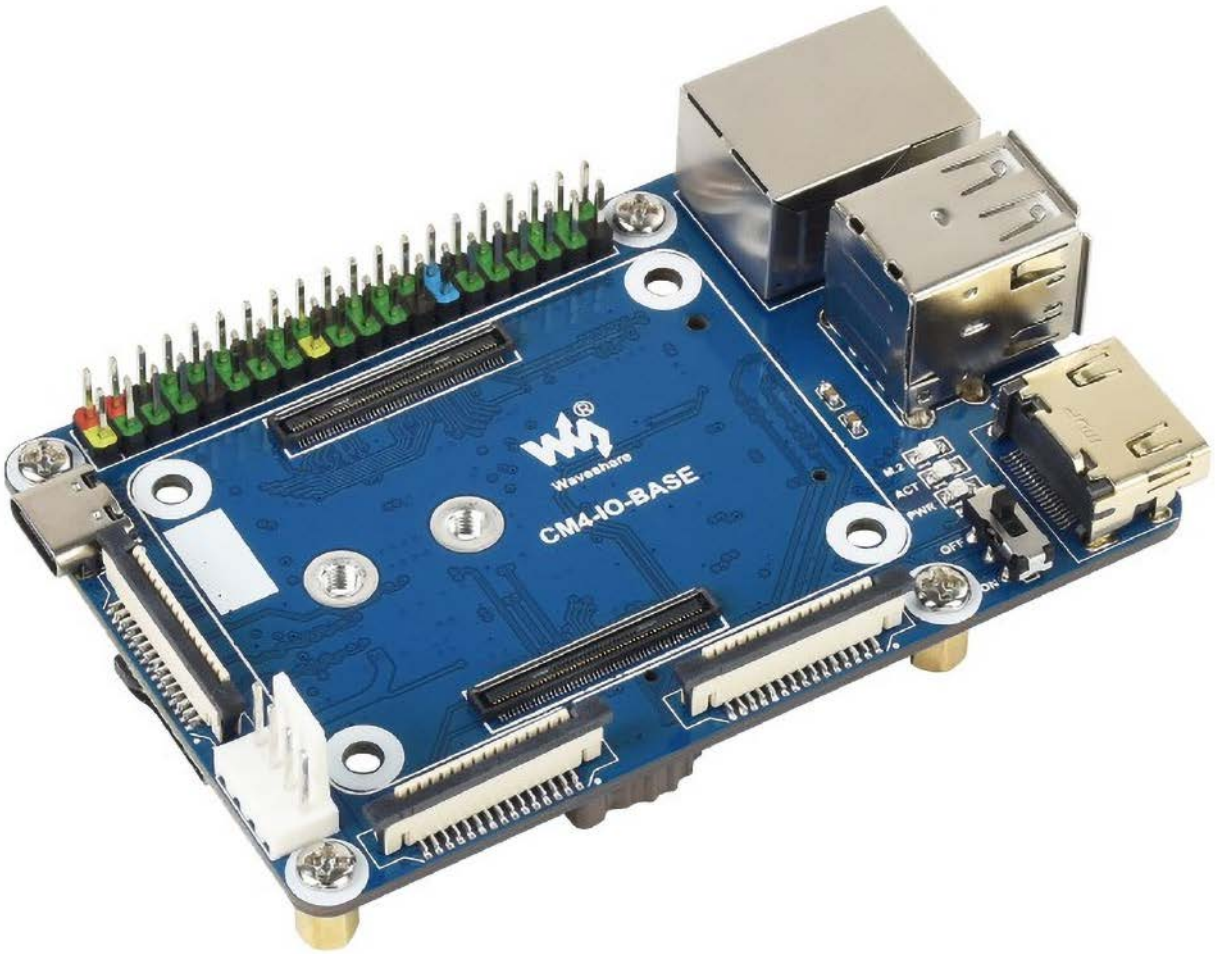
Moduł ten sprawdzi się doskonale w każdym analogowym syntezatorze. Dzięki automatycznej generacji rytmów z użyciem predefiniowanego algorytmu można mieć pewność, że generowana sekwencja zawsze będzie dobrze brzmiąca i wpadająca w ucho.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło:

- https://bit.ly/3F25WQB
- https://bit.ly/3qS4GdV (próbki dźwięku w systemie)

eprasa.pl 5d23d6856a



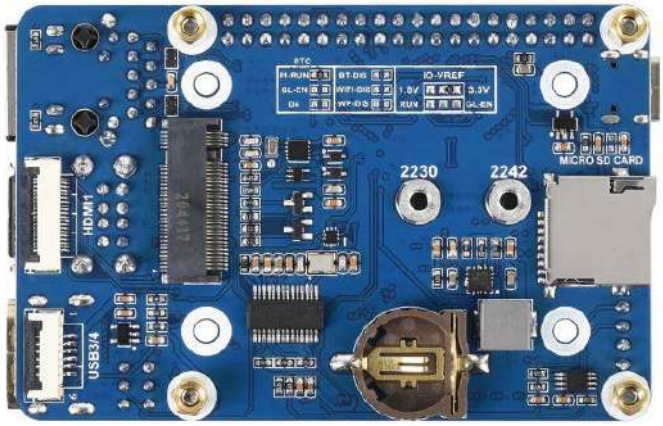
Alternatywna płytka bazowa dla Compute Module 4

Compute Module 4 wraz z płytką bazową IO Board jest na rynku już ponad rok. Premiera CM4 trafiła w mocno niefortunny okres związany z kryzysem na rynku półprzewodników, co spowolniło premiery akcesoriów. Pomimo trudnej sytuacji pojawiła się alternatywa dla CM4-IO Board w postaci płytki bazowej Waveshare CM4-IO-BASE-Acce, warto się z nią zapoznać i ocenić jej przydatność we własnych projektach.

Zespół Waveshare znany jest z dostarczania ciekawych rozwiązań DIY, bardzo często ułatwiających aplikację modułów SOM, w tym popularnego Raspberry Pi. W przypadku Compute Module 3 udostępnione były płytki Waveshare Compute Module IO Board Plus, Waveshare Compute Module IO Board wraz z wersją PoE i przeznaczoną do nich obudową, które zostały opisane w EP 07/20. Takie podejście znacząco usprawniało aplikację CM3, gdzie korzystając z wersji IO Board z fabryczną obudową, dostajemy praktycznie gotowe i przetestowane urządzenie w przystępnej cenie, a całą energię projektanta wystarczy skupić na opracowaniu aplikacji lub ewentualnym doborze lub opracowaniu nakładki HAT. Jest to szczególnie ważne dla osób mniej zaawansowanych w elektronice lub dla zespołów przygotowujących rozwiązania jednostkowe, gdzie opracowanie własnego urządzenia jest po prostu nieuzasadnione ekonomicznie.

Jak należało się spodziewać, także CM4, które jest bardziej wymagające w aplikacji, doczekało się alternatywnego zestawu uruchomieniowego. O ile opracowana przez fundację płytka IO-Board zapewnia szerokie możliwości rozbudowy oraz eksperymentów z CM4, o tyle zbudowanie urządzenia na tej bazie bywa kłopotliwe, chociażby ze względu na jej spory rozmiar. Spośród opracowanych przez WS kilku typów płytek dla CM4 najbardziej zainteresowały mnie modele CM4-IO-BASE-Acce z rozmiarem i kształtem zbliżonym do Raspberry Pi 4. Po zapoznaniu się z bardzo skromną dokumentacją, a raczej z udostępnionym na stronie producenta schematem, postanowiłem płytkę zakupić i przetestować.

eprasa.pl 5d23d6856a



Fotografia 1. Dolna strona płytki CM4-IO-BASE-Acce w wersji B

Charakterystyka płytki CM4-IO-BASE-Acce

Wygląd płytki CM4-IO-BASE-Acce został pokazany na fotografii tytułowej. Jest dostępna w dwóch wersjach sprzętowych A i B oraz w kilku wariantach wyposażenia opcjonalnego. Wersja A nie ma wbudowanego zegara RTC i podtrzymującej baterii. Detaliczna cena płytki w najprostszej konfiguracji zaczyna się od ok. 110 zł.

Płytka CM4-IO-BASE-Acce umożliwia bezpośrednie użycie następujących interfejsów:

- Ethernet 1GB RJ45,
- HDMI, pełnowymiarowe złącze typu A,
- HAT 40 pin, bez obsługi PoE,
- 2×USB2.0,
- SSD typu M2.M, obsługuje dyski w rozmiarze 2230, 2242,
- wyświetlacz z interfejsem DSI,
- 2×kamera z interfejsem CSI,
- zasilanie USB C,
- karta micro SD,
- wentylator 5 V.

Dodatkowe interfejsy HDMI1 i 2×USB wyprowadzone są na złącza FPC wlutowane na dolnej stronie płytki (**fotografia 1**). Jeżeli w naszej aplikacji chcemy skorzystać z dodatkowych interfejsów, konieczny jest zakup płytki USB HDMI Adapter (**fotografia 2**) lub zestawu CM4-IO-BASE-Acce z dołączonym adapterem. Połączenie z płytką bazową realizowane jest za pomocą dostarczonych taśm elastycznych, a sygnały USB i HDMI wyprowadzone są na typowe złącza, co ułatwia korzystanie z nich.

Płytka dostępna jest w wykonaniach A i B, różniących się obecnością zegara czasu rzeczywistego PCF85063 i podstawki baterii CR1220. W obu wersjach zrezygnowano z wyprowadzenia interfejsu USB3.0 (układ mostka VL805 z Raspberry 4), a magistrala PCIe x1 doprowadzona jest do złącza M2.M i jest zastosowana do współpracy z dyskiem SSD NVMe w rozmiarze 2230 lub 2242 (czyli m.in. z popularnymi dyskami z laptopów). Interfejs USB2.0 bazuje na 4-portowym hubie FE1.1S, w najprostszej możliwej aplikacji. Należy zwrócić uwagę, że nie zastosowano żadnego zabezpieczenia lub zarządzania zasilaniem dla urządzeń USB2.0. Jakiekolwiek zwarcie lub przeciążenie portów USB wpływa na główne zasilanie 5 V modułu CM4 i działanie całej płytki, a funkcję jedynego zabezpieczenia pełni zewnętrzny zasilacz systemu podłączony do USB C.

Interfejs Ethernet składa się z gniazda RJ45 i ma dodatkowe zabezpieczenie przepięciowe w postaci układów TPD4EUSB30. Niestety, ze względu na ograniczony rozmiar płytki złącze HAT IDC40 pozbawione jest dodatkowych 4 pinów odpowiedzialnych za współpracę z nakładkami PoE. CM4-IO-BASE-Acce nie jest zgodna z Raspberry Pi PoE+ HAT. Z interfejsem HAT wiąże się dodatkowy problem, jakim jest system odprowadzenia ciepła z CM4.

Niezależnie, czy skorzystamy z radiatora, czy wentylatora, wysokość takiej kanapki skutecznie odcina nas od możliwości użycia GPIO bez dodatkowej przejściówki. Najprościej w charakterze przedłużki użyć „stackowalnej" wersji złącza IDC40 oraz odpowiednio dobranych na wynikową wysokość „kanapki" tulejek M2,5. Zwiększa to nieco wysokość finalnego rozwiązania, o czym należy pamiętać. W przypadku chłodzenia wymuszonego, płytka obsługuje tylko wentylatory 5 V – brak jest napięcia 12 V na płytce. Jako sterownik wentylatora zastosowano układ EMC2301 identyczny jak w CM4-IO Board. W aplikacji, gdzie dostępne jest źródło zasilania 12 V DC, można spróbować za pomocą przejściówki doprowadzić zasilanie bezpośrednio do wentylatora, a nadzór pozostawić układowi EMC2301, bez zmian lub wykorzystać przetwornicę podwyższającą 5 V/12 V. W trakcie pisania artykułu nie były dostępne wentylatory przeznaczone do CM4-IO-BASE-Acce, bezpieczniejsze wydaje się więc zastosowanie radiatora CM4-HEATSINK z wcześniejszymi uwagami dotyczącymi GPIO.

Płytka zasilana jest poprzez złącze USB C. Jest to tylko użycie interfejsu w trybie zgodności z USB, bez zarządzania zasilaniem. Do zasilania wymagany jest zasilacz 5 V o odpowiedniej wydajności, szczególnie gdy intensywnie korzystamy z portów USB i interfejsu M2.M. Płytka pozbawiona jest zabezpieczeń oraz wyłącznika w torze zasilania 5 V.

CM4-IO-BASE-Acce umożliwia zastosowanie modułów CM4 z wbudowaną pamięcią EMMc lub bez, współpracujących z wbudowanym gniazdem micro SD i zewnętrzną kartą pamięci. Do programowania EMMc służy gniazdo zasilania USB C oraz przełącznik suwakowy BOOT, konfigurujący CM4 w tryb zapisu do EMMc. Płytkę uzupełniają diody sygnalizujące stan interfejsu M2, Ethernet i CM4. Kilka lutowanych zworek pozwala na wyłączenie interfejsów radiowych Wi-Fi i BT, zabezpieczenie zapisu pamięci EEPROM CM4, konfigurację napięć zasilania dla GPIO 1,8/3,3 V oraz RTC.

Dla osób zainteresowanych kompleksowym rozwiązaniem interesujący może być zestaw z płytką IO oraz zaprojektowana specjalnie dla modułu obudowa (**fotografia 3**). Niestety, nie mam możliwości sprawdzenia jej w praktyce, ale z załączonych przez producenta zdjęć

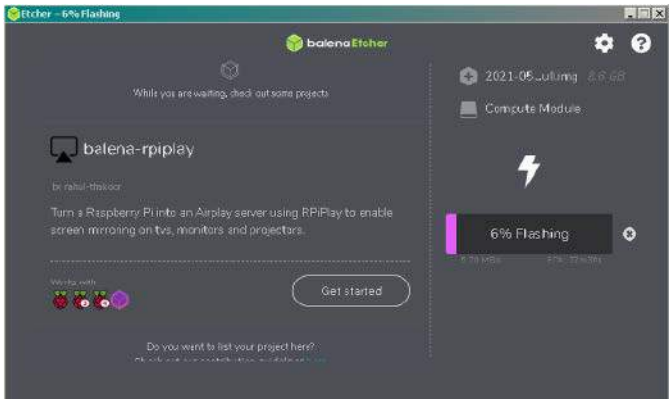


Fotografia 2. Adapter USB HDMI



Fotografia 3. Opcjonalna obudowa modułu

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 1. Programowanie systemu do pamięci modułu



Rysunek 2. Sprawdzenie urządzeń USB2.0



Rysunek 3. Detekcja kontrolera NVMe

można wywnioskować, że jakakolwiek nakładka HAT będzie wymagała podłączenia taśmą IDC40 i nie zmieści się w obudowie. Czyli obudowa będzie najbardziej użyteczna w sporej liczbie aplikacji, gdzie wymagane jest samo CM4 bez dodatkowych rozszerzeń. Uwzględniając wcześniejsze uwagi, płytka CM4-IO-BASE-Acce nie sprawia problemów podczas pracy.

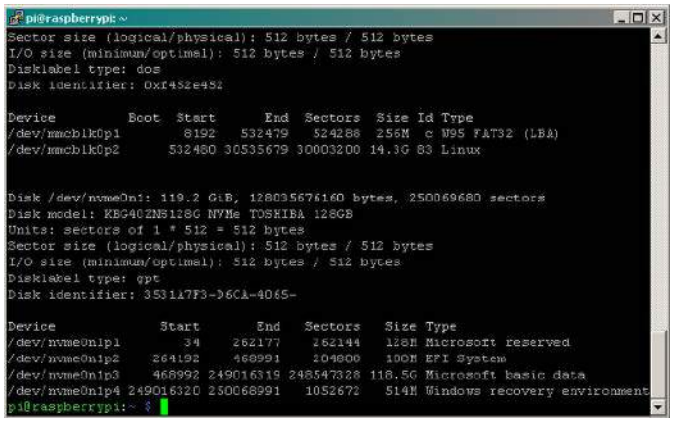
Uruchomienie

Po podłączeniu do PC i ustawieniu przełącznika BOOT można bezproblemowo zainstalować system w pamięci EMMc (**rysunek 1**). Po edycji pliku *config.txt* i załączeniu interfejsu USB2.0 za pomocą wpisu:

```
dtoverlay=dwc2,dr_mode=host
```

oraz ponownym uruchomieniu systemu poleceniem:

```
lsusb
```



Rysunek 4. Sprawdzenie obecności dysku NVMe

sprawdzamy poprawną inicjację huba FE1.1S (**rysunek 2**).

Kolejnym krokiem jest sprawdzenie interfejsu M2.M (dysk SSD instalujemy na wyłączonym zasilaniu!). Poleceniem:

```
lspci
```

sprawdzamy obecność kontrolera NVMe (**rysunek 3**), natomiast poleceniem:

```
sudo fdisk -l
```

sprawdzamy obecność dysku NVMe (**rysunek 4**), który po zamontowaniu jest widoczny w systemie.

Podsumowanie

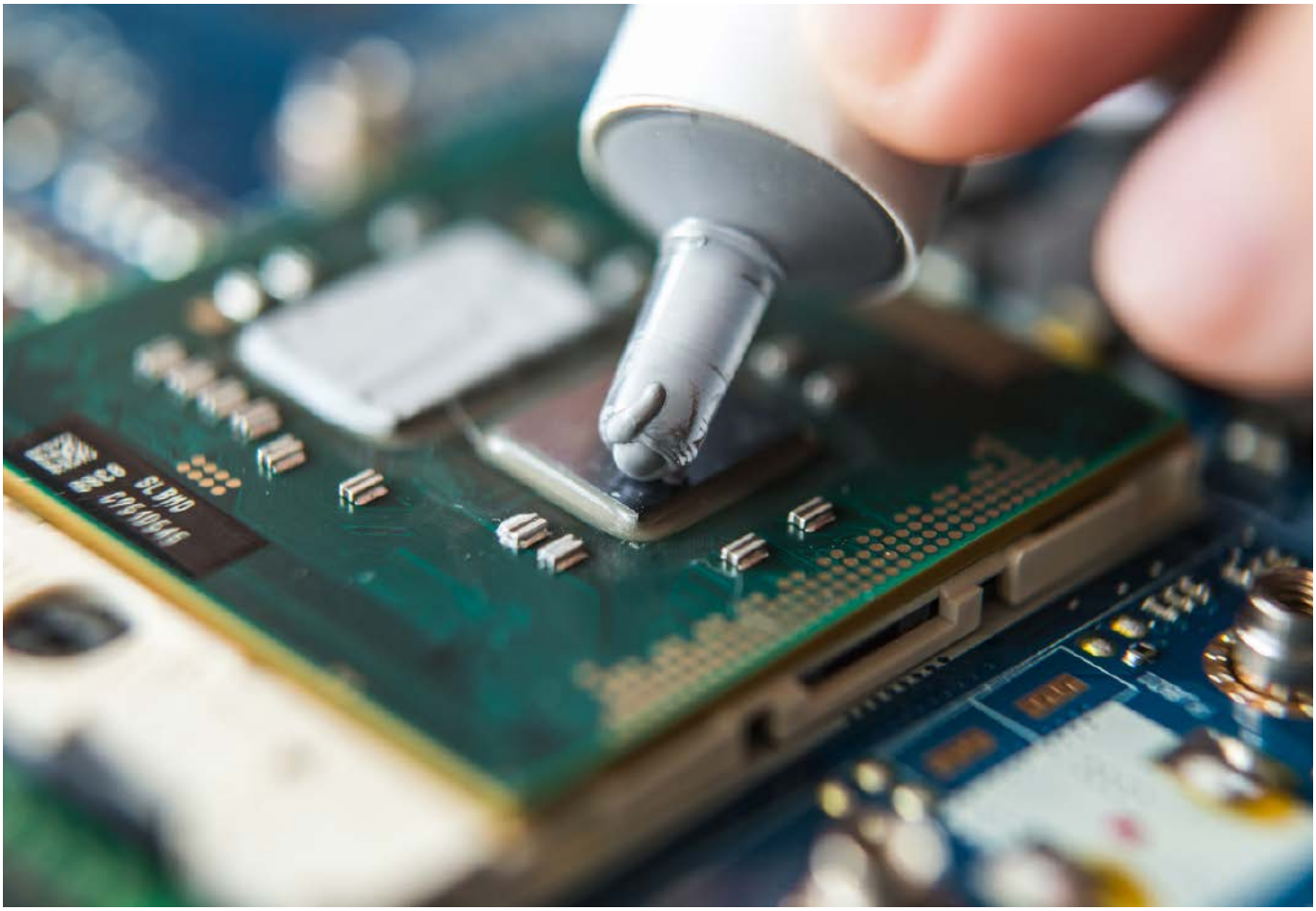
Pomimo opisanych ograniczeń (a raczej może cech), płytka jest bardzo ciekawą propozycją dla systemów multimedialnych bazujących na Raspberry Pi. Pełna obsługa interfejsów udostępnianych przez CM4 oraz dodatkowo wbudowane gniazdo M2.M znacząco upraszczają jej zastosowanie. Przystępna cena, kompaktowość rozwiązania oraz pewna możliwość wyboru akcesoriów ułatwiają dopasowanie do wymogów aplikacji. U mnie płytka zostaje na długo i będzie alternatywą dla CM4-IO Board w aplikacjach wymagających przechowywania większych ilości danych na dysku, zwalniając od stosowania kłopotliwych przejściówek USB. Łącząc ją z ekranem np. 7inch HDMI LCD, otrzymujemy gotowe urządzenie, które wystarczy „tylko" oprogramować.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA



eprasa.pl 5d23d6856a



Interfejsy termiczne do łączenia elementów w elektronice

Zasadnicze wymagania dotyczące doboru elementów chłodzących systemy elektroniczne są szeroko znane większości inżynierów. Każdy wie, że aluminiowe radiatory są lepsze, a miedziane najlepsze. Wiemy także, że im większa powierzchnia radiatora, tym lepiej będzie on odprowadzał ciepło. Jednak co umieścić pomiędzy radiatorem a elementem elektronicznym?

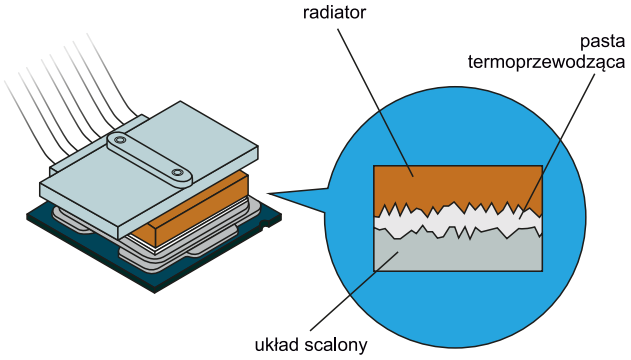
Jesteśmy przyzwyczajeni, że łącząc elementy elektroniczne z radiatorami, zawsze stosujemy pomiędzy nimi coś, co poprawia przewodzenie ciepła. Nikt nie kwestionuje tej praktyki, ale przecież zdrowy rozsądek podpowiada, że jeżeli pomiędzy dwoma ciałami umieścimy trzecie, o rezystancji cieplnej niższej niż tych ciał, przepływ ciepła pogorszy się. Co za tym idzie – wzrośnie temperatura układu elektronicznego bądź wymagane będzie bardziej wydajne chłodzenie. Po co zatem stosować dodatkowe elementy?

W tym artykule dokładnie omówimy przyczyny stosowania dodatkowych materiałów dla interfejsów termicznych – past, przekładek, padów itd. Dostępna jest szeroka gama tego rodzaju materiałów, co wynika głównie z faktu, że nie jest możliwe uzyskanie uniwersalnego rozwiązania – różne aplikacje wymagają różnych materiałów, zoptymalizowanych pod ich kątem.

Podstawowe informacje o interfejsach termicznych

Zasadniczą przyczyną konieczności stosowania dodatkowych materiałów na interfejsie termicznym jest chropowatość obu powierzchni, które mają się stykać, aby transferować ciepło. Chociaż metalowa podstawa radiatora i układy elektroniczne gołym okiem wyglądają na gładkie, elementy te mają na swojej powierzchni mikroskopijne niedoskonałości czy rysy, które mogą powodować gorsze przenoszenie ciepła. Powierzchnie obu elementów, z powodu tych niedoskonałości, nie stykają się ze sobą całą powierzchnią, a tylko najwyższymi punktami chropowatej powierzchni – zostało to zobrazowane na **rysunku 1**. Na przybliżeniu widać, że pomiędzy powierzchnią układu i radiatorem znajduje się spora pusta przestrzeń, która po złożeniu urządzenia będzie wypełniona powietrzem.

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 1. Szkic pokazujący główną przyczynę, dla której trzeba stosować pastę termoprzewodzącą

Przewodność cieplna właściwa powietrza wynosi zaledwie 0,025 W/(m×K), to znaczy, że jeśli przestrzeń pomiędzy elementem a radiatorem ma zaledwie 10 µm, to interfejs o powierzchni 10×10 mm będzie miał rezystancję cieplną równą 4 K/W. Jeśli zastąpimy powietrze pastą termoprzewodzącą, rezystancja znacznie się zmniejszy. Typowe pasty termoprzewodzące mają przewodność cieplną właściwą mieszczącą się w zakresie 0,4...5 W/(m×K), a najlepsze (z dużym dodatkiem srebra itp.) mają nawet 8,5 W/(m×K). Dzięki tego rodzaju materiałom rezystancja cieplna interfejsu pomiędzy radiatorem a układem wyniesie od 0,25 K/W do 0,012 K/W – rząd lub nawet dwa rzędy mniej niż bez tej specjalnej pasty.

Mówiąc najprościej, pasta termoprzewodząca pomaga układowi chłodzenia urządzeń półprzewodnikowych wykonywać swoją pracę. Poprawa wynikająca z zastosowania pasty termoprzewodzącej pozwala na zmniejszenie temperatury układu nawet do 4°C na każdy wat mocy cieplnej odprowadzanej z układu. To może być nie bez znaczenia dla układów wysokiej mocy – w przypadku układu, który generuje 10 W ciepła, brak odpowiedniego materiału przy interfejsie termicznym może oznaczać różnicę nawet aż 40°C. Dla wielu aplikacji będzie to „być albo nie być" w zakresie utrzymania chłodzonego elementu w komfortowej dla niego temperaturze.

Materiały interfejsu termicznego

Nowoczesne technologie oferują wiele materiałów do tworzenia interfejsów termicznych o dużej wydajności transmisji. Zanim jednak przyjrzymy się poszczególnym materiałom, przeanalizujmy, jakie parametry tych materiałów są krytyczne w szerokiej gamie aplikacji.

Izolacja elektryczna

Obudowy większości elementów mocy są wykonane z metalu. Podobnie jest z radiatorami stosowanymi do ich chłodzenia – również są metalowe. Oznacza to, że oba te elementy doskonale przewodzą prąd, co w pewnych sytuacjach może doprowadzać do niepożądanych zwarć. Weźmy na przykład dosyć typową sytuację, w której na wspólnym radiatorze montowana jest większa liczba tranzystorów mocy. Zależnie od typu elementy te mają różne potencjały (różne piny) połączone elektrycznie z polem termicznym, służącym do odprowadzania ciepła (np. w obudowach TO-220 typowo środkowa nóżka układu, niezależnie od tego, czym jest w układzie, zwarta jest z tylnym polem, przeznaczonym do połączenia z radiatorem). W przypadku, gdy np. na wspomnianym wspólnym radiatorze zamontowane są różne elementy lub po prostu nie chcemy, aby radiator miał jakiś potencjał względem masy (np. z uwagi na bezpieczeństwo), konieczne jest zainstalowanie materiału, który pozwala na uzyskanie izolacji galwanicznej.

Na rynku dostępne są specjalnie izolujące przekładki termoprzewodzące. Wykonywane są one z różnych materiałów, zależnie od konkretnej aplikacji i jej wymagań co do zakresu temperatur pracy, wymaganej przewodności cieplnej oraz zakresu napięć, jakie izolować ma dana przekładka.

Klasycznie rozwiązania wykonywane były z miki – grupy minerałów z gromady krzemianów, które charakteryzują się m.in. tym, że łatwo dają rozdzielać się na bardzo cienkie (około 0,1 mm), płaskie warstwy (**fotografia 1**). Mika ma całkiem dobrą przewodność cieplną (od 0,42 do 0,54 W/(m×K)) – nie może tutaj konkurować z pastami termoprzewodzącymi, ale też nie taka jest ich rola. Wytrzymałość dielektryczna tego materiału wynosi od 120 do 200 kV/mm, co przy podkładce o typowej grubości 100 µm daje wytrzymałość na poziomie 12...22 kV i jednocześnie, rezystancji cieplnej (dla podkładki dla elementu w obudowie TO-220) równej około 1,2 K/W.

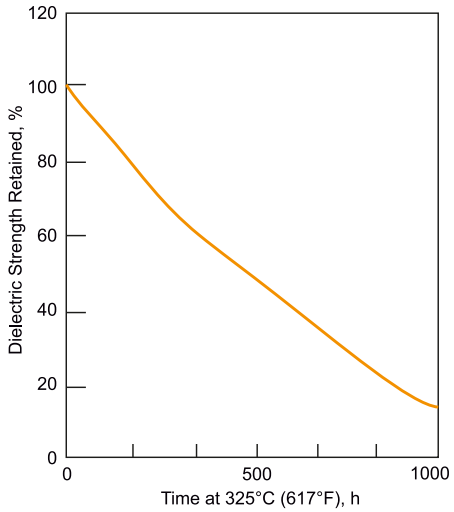


Fotografia 1. Mika (po lewej) i przekładki mikowe (po prawej)



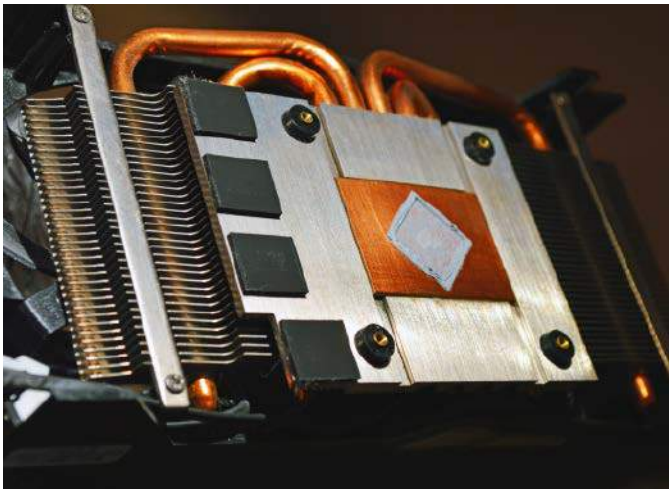
Fotografia 2. Typowa przekładka silikonowa

Nowocześniejsze materiały zastąpiły mikę w większości aplikacji izolacyjnych. Najczęściej stosuje się gumy silikonowe z dodatkiem ceramicznego wypełniacza (**fotografia 2**). Materiał tego rodzaju charakteryzuje się przewodnością cieplną właściwą wynoszącą ok. 0,8 W/(m×K), co przy typowej przekładce pod element w obudowie TO-220 daje rezystancje cieplną na poziomie 0,4 K/W. Wytrzymałość dielektryczna takiej podkładki przy typowej grubości około 0,3 mm określana jest przez producentów na 10 kV, co przekłada się na wytrzymałość dielektryczną na poziomie około 30 kV/mm.



Rysunek 2. Spadek wytrzymałości dielektrycznej kaptonu po podgrzaniu do 325°C w funkcji czasu spędzonego w podwyższonej temperaturze. Mierzone dla taśmy o grubości 25 µm, zgodnie z testem UL-746B

eprasa.pl 5d23d6856a

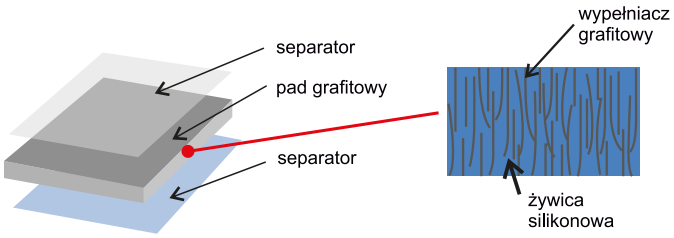


Fotografia 3. Radiatory karty graficznej komputera PC. Widoczne są termopady o zwiększonej grubości (czarne elementy na radiatorze) oraz pasta termoprzewodząca

Stosuje się również inne materiały dielektryczne, takie jak na przykład kapton. Przekładki takie mają grubość od 0,15 mm do 0,23 mm i osiągają przy tej grubości napięcie przebicia od 4 kV do 6 kV (co daje wytrzymałość około 26 kV/mm grubości). Należy pamiętać, że w przypadku materiałów polimerowych, takich jak właśnie kapton, **wytrzymałość dielektryczna zależy od temperatury pracy systemu** – im wyższa temperatura, tym niższe będzie napięcie przebicia. Dodatkowo, długotrwała praca w wysokiej temperaturze powoduje pogarszanie się własności dielektrycznych – dla przykładu, podgrzanie przekładki do 325°C powoduje, że po 500 h napięcie przebicia spadnie o około 50% (wykres pokazany na **rysunku 2**). Podobny wpływ ma podwyższona wilgotność względna otoczenia – im wyższa, tym bardziej spada wytrzymałość dielektryczna materiału. W przypadku systemów pracujących w ekstremalnych warunkach należy koniecznie wziąć pod uwagę te zmiany. Wartości w kartach katalogowych podawane są typowo dla temperatury 23°C lub 25°C i wilgotności względnej równej 50% – informacja ta jest zawsze zawarta w karcie katalogowej elementu lub w karcie charakterystyki samego materiału.

Zwiększona grubość

W niektórych przypadkach nie chcemy stosować możliwie cienkich przekładek termicznych – stosuje się intencjonalnie grubsze przekładki, które mają za zadanie kompensować np. różnice wysokości poszczególnych elementów. Sytuacje takie często występują w bardziej złożonych urządzeniach, na przykład w kartach graficznych, gdzie pojedynczy radiator ma za zadanie chłodzić wiele układów scalonych (**fotografia 3**). Aby skompensować różnice wysokości elementów, stosuje się specjalne termopady o zwiększonej grubości. Wykonywane są one na ogół z tworzyw sztucznych, głównie gumy silikonowej z różnymi dodatkami, mającymi polepszać przewodność cieplną, takimi jak proszki ceramiczne. Typowy termopad ma przewodność cieplną



Rysunek 3. Konstrukcja przekładki termicznej wykonanej na bazie grafitu

właściwą na poziomie od 1 W/(m×K) do 12 W/(m×K). Przy wymiarach układu TO-220 i grubości przekładki 1 mm przekłada się to na rezystancję termiczną równą od ok. 0,4 K/W do 4,3 K/W.

Wysoka przewodność cieplna

Finalnie docieramy do najbardziej oczywistego rodzaju interfejsów termicznych – przekładek, które zoptymalizowane są pod kątem maksymalizacji przewodności cieplnej. Osiąga się to, stosując czasami bardzo egzotyczne materiały, takie jak grafit w postaci ultracienkich (0,017 mm) arkuszy. Grafit w tych arkuszach ułożony jest w postaci pionowych włókien (**rysunek 3**), przez co przewodność cieplna przekładki jest anizotropowa – zależna od kierunku. W tym, w którym jest to istotne, czyli między płaszczyznami, pomiędzy którymi transferowane jest na ogół ciepło. Taki grafit charakteryzuje się przewodnością cieplną właściwą równą 1500 W/(m×K) (w osi X–Y) i 25 W/(m×K) (w osi Z). Oznacza to, że podkładka (ponownie – o wymiarze elementu w obudowie TO-220) i grubości 0,017 mm ma rezystancję cieplną równą 0,0029 K/W (!). Tak wysoka przewodność cieplna sprawia, że grafitowe przekładki pozwalają na bardzo sprawne odprowadzanie ciepła z układów scalonych.

Podsumowanie

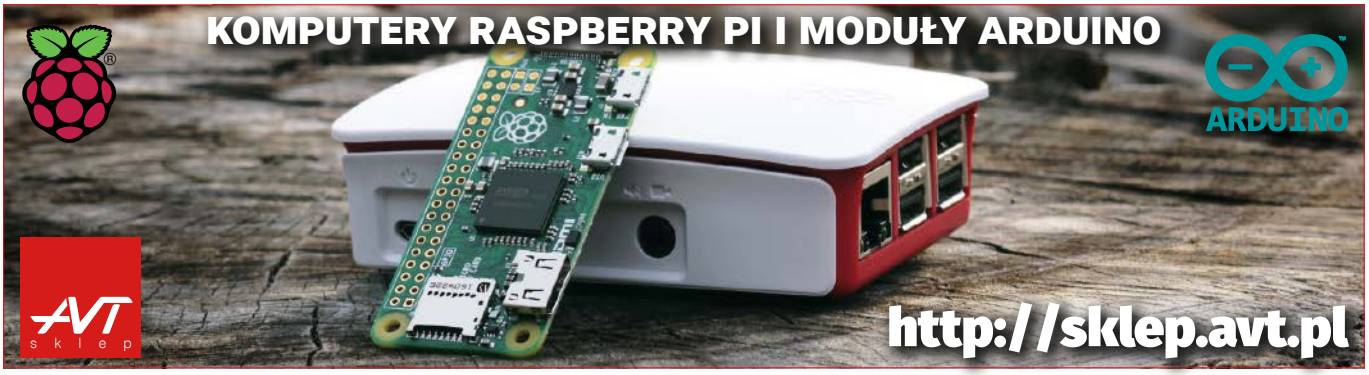
Materiały interfejsu termicznego – pasty termiczne, przekładki, pady termiczne itd., są często pomijanymi elementami systemu odprowadzania ciepła. Brak optymalizacji tych interfejsów może spowodować zauważalny wzrost temperatury chłodzonych układów. Dodatkowo, dobór materiału interfejsu termicznego ma także istotny wpływ na inne parametry systemu, może na przykład stanowić o izolacji galwanicznej pomiędzy elementami. Dobranie odpowiedniego materiału, który znajdzie się pomiędzy radiatorem a chłodzonym elementem, zapewni wysoką niezawodność i stabilność systemu.

Nikodem Czechowski, EP

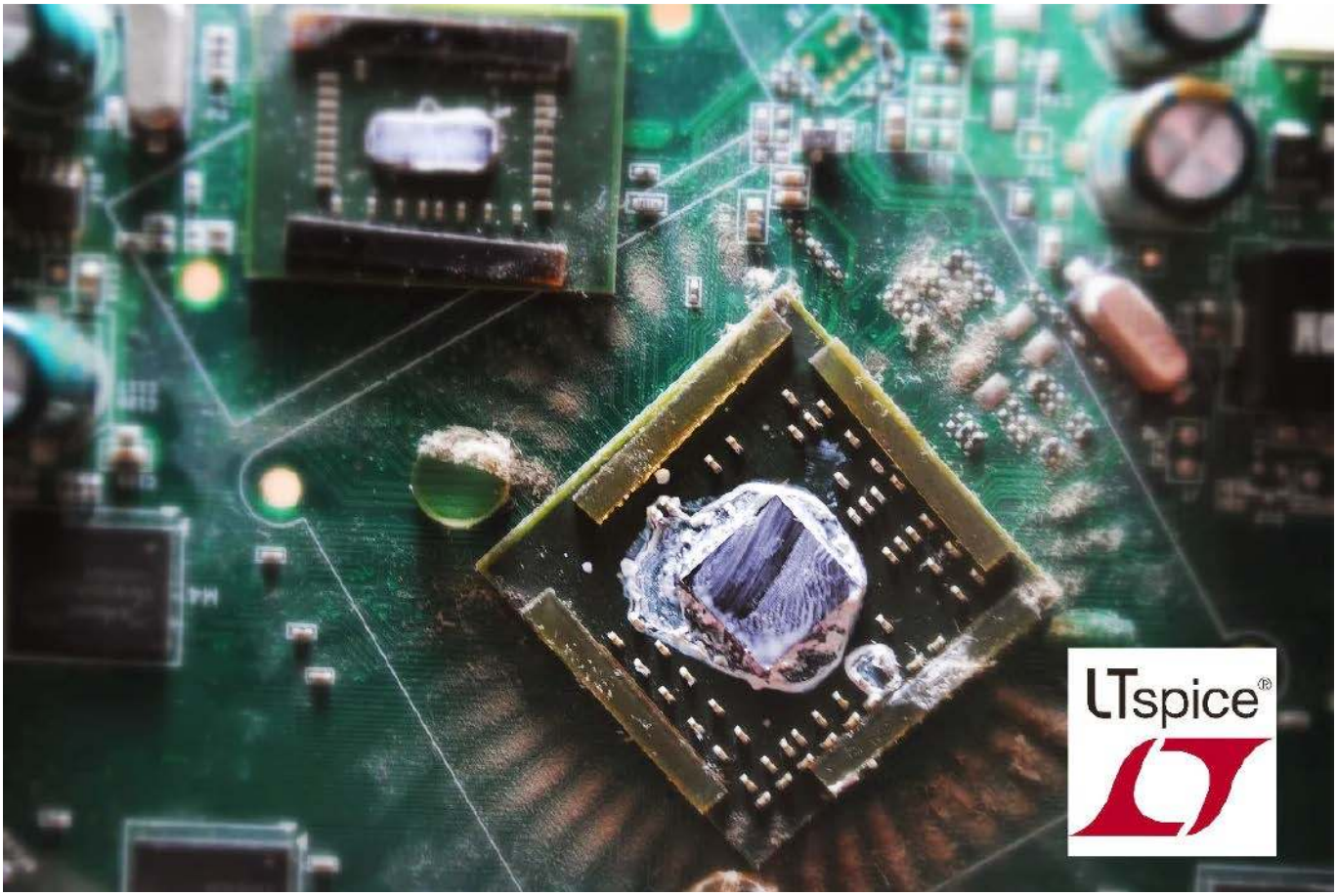
Źródła:

- https://bit.ly/3lZu1kn
- S. Narumanchi, M. Mihalic, K. Kelly, G. Eesley, "Thermal Interface Materials for Power Electronics Applications Preprint".
- https://bit.ly/3DR3dJg
- https://bit.ly/3EPfSha
- https://bit.ly/3INCuRl

REKLAMA



eprasa.pl 5d23d6856a



Symulacje termiczne w SPICE

Programy SPICE zwykle kojarzą się nam z modelowaniem układów elektronicznych. Nic jednak nie stoi na przeszkodzie, aby zastosować ten sam silnik symulacyjny do obliczania temperatur i przepływu mocy w urządzeniach elektronicznych (i nie tylko – termodynamika jest taka sama dla urządzenia elektronicznego, jak dla np. piekarnika czy paleniska kowalskiego).

Urządzenia elektroniczne wydzielają ciepło. Zjawisko to jest oczywiste dla każdego elektronika (i nie tylko). W wielu przypadkach konieczność zapewnienia chłodzenia komponentom półprzewodnikowym jest oczywistością. Jednak gdy zaczynamy szczegółowo analizować to zagadnienie, wtedy staje się ono bardzo problematyczne. Co w istocie oznacza, że „układ się grzeje"? Od czego jest zależne nagrzewanie się elementów? W jaki sposób ciepło przenika przez cały nasz system i jak pozbyć się go z urządzenia? Odpowiedzi na te, pozornie proste, pytania nie są wcale łatwe, gdy oczekujemy określenia konkretnych parametrów. Pierwsze – jakościowe spojrzenie na problem już może niejednego przyprawić o ból głowy, ale to dopiero ilościowe podejście da realne odpowiedzi na pytania projektowe.

W tym artykule przyjrzymy się teorii, stojącej za przepływem ciepła, szczególnie w urządzeniach elektronicznych. Omówimy zjawiska takie, jak ciepło i jego przepływ oraz pojemność cieplna, rezystancja cieplna itp. Zaprezentowana elektryczna analogia przepływu ciepła pozwoli zastosować narzędzia przeznaczone do symulacji elektrycznych do modelowania zjawisk termicznych. Oprogramowanie SPICE idealnie nadaje się do tego celu. Przykłady, omówione dalej, zostały zrealizowane w LTspice, darmowym oprogramowaniu bazującym na SPICE, opracowanym przez firmę Linear Technology (obecnie wykupioną przez Analog Devices).

Podstawowe pojęcia

Aby w precyzyjny sposób mówić o tematyce ciepła w elektronice, konieczne jest ustalenie definicji pewnych kluczowych pojęć. Ścisłe zdefiniowanie tych elementów pozwoli nam łatwo zrozumieć zależności pomiędzy nimi oraz elektryczną analogię, omówioną w dalszej części artykułu.

Ciepło to, w dużym uproszczeniu, ilość energii przekazywanej pomiędzy ciałami. Energia przekazywana może być jako praca (np. praca mechaniczna) lub właśnie ciepło. Ciepło może być przekazywane na trzy sposoby:

- Poprzez **przewodzenie cieplne**, które wymaga bezpośredniego kontaktu dwóch ciał, wymieniających energię cieplną;
- Poprzez **konwekcję**, czyli przez makroskopowy ruch medium, przenoszącego energię. Medium tym w systemach chłodzących będzie zwykle poruszające się powietrze;
- Poprzez **promieniowanie** – każde rozgrzane ciało (czyli takie, którego temperatura ma wartość powyżej zera absolutnego) emituje promieniowanie elektromagnetyczne o widmie uzależnionym od jego temperatury.

eprasa.pl 5d23d6856a

Temperatura jest miarą energii, jaką ma jakieś ciało. Ściślej rzecz biorąc, jest to średnia energia kinetyczna atomów, tworzących dane ciało. Każdy atom o temperaturze powyżej zera bezwzględnego porusza się lub drga, zależnie od stanu skupienia i innych warunków środowiskowych.

Moc to skalarna wielkość fizyczna, która **określa ilość pracy** – przekazywanej energii, w jednostce czasu. Jednostką mocy jest wat – W. Elektrycznie moc P to iloczyn natężenia prądu I, który przepływa pomiędzy punktami o różnych potencjałach, oraz napięcia elektrycznego U występującego pomiędzy tymi punktami:

$$P = I \times U$$

Istnieją dwie stałe materiałowe, które są kluczowe dla przeprowadzania analiz termicznych – **rezystancja termiczna i pojemność cieplna**. Opór cieplny jest kluczową właściwością termiczną materiału i miarą różnicy temperatur, przy określonym przepływie ciepła. **Rezystancja cieplna** jest odwrotnością przewodności cieplnej. Ściśle rzecz biorąc, rezystancja cieplna R_{th} to iloraz różnicy temperatur pomiędzy punktami ΔT i przekazywanej pomiędzy nimi mocy P. Rezystancję cieplną wyraża się w kKelwinach (lub stopniach Celsjusza) na wat.

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{P}$$

Rezystancja cieplna może być wyrażana na wiele sposobów. Bezwzględna rezystancja cieplna to wartość charakteryzująca konkretny element (np. element elektroniczny). Dla materiałów podaje się na ogół **przewodność cieplną właściwą**. To parametr charakteryzujący materiał – z tej wartości oraz parametrów mechanicznych można wyznaczyć bezwzględną rezystancję cieplną dla danego elementu (np. radiatora czy innego elementu, przeznaczonego do transportu czy rozpraszania ciepła).

Aby wyznaczyć rezystancję cieplną z właściwej przewodności cieplnej materiału i jego geometrii, należy w pierwszej kolejności wyznaczyć pole powierzchni A, przez którą płynie ciepło, a następnie odległość t, jaką ma ono do pokonania w materiale (na ogół jest to jego grubość). W takiej sytuacji rezystancja cieplna elementu wynosi:

$$R_{\theta} = \frac{t}{\lambda \cdot A}$$

gdzie λ to przewodność cieplna właściwa danego materiału.

Na przykład, jeśli chcemy obliczyć przewodność cieplną przekładki termicznej, mocowanej np. na tranzystorze, to uwzględniamy jej pole powierzchni (w przypadku elementu w obudowie TO-220 jest to 10,16×15,1 mm=153,416 mm^2), a następnie jej grubość, np. 0,2 mm. Przewodność cieplna podkładki silikonowej firmy 3M wynosi 1,6 W/(m×K) (dla typu 3M 5514). Rezystancja cieplna tej podkładki wynosi zatem:

$$R_{pad} = \frac{0,2\text{mm}}{1,6\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}\cdot 153,416\text{mm}^2} = 0,81\frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Pojemność cieplna to zdolność ciała do gromadzenia ciepła w swojej objętości. Definiuje się ją jako ilość ciepła, jaką trzeba dostarczyć do danego ciała, aby podnieść jego temperaturę o jeden stopień. Wyraża się ją w dżulach na kelwin (J/K). To znaczy, że do ciała o pojemności cieplnej 1000 J/K trzeba dostarczyć 1000 J, by podnieść jego temperaturę o 1 K. Wartością pochodną jest **ciepło właściwe** (C_p), czyli masowa właściwa pojemność cieplna – stała materiałowa, mówiąca o pojemności cieplnej danego materiału w przeliczeniu na jednostkę wagi. Typowo ciepło właściwe podawane jest w J/(kg×K) i służy do wyznaczania pojemności cieplnej modelowanych elementów. Na przykład, jeśli zastosowano aluminiowy radiator (C_p=1029 J/(kg×K)) o masie 200 g, to możemy wyznaczyć jego pojemność cieplną – wynosi ona 206 J/K. Zatem dostarczenie 206 dżuli ciepła do tego elementu podniesie jego temperaturę o 1 K.

Wszystkie te wartości można połączyć na gruncie termodynamiki, jednak można również skorzystać z faktu, że analogiczne równania można zrealizować z użyciem obliczeń elektrycznych. Elektryczna analogia termodynamiki pozwoli nam, elektronikom, lepiej zrozumieć wszystkie zależności, a także wykorzystać do modelowania oprogramowanie, które służy do symulacji układów elektronicznych.

Elektryczna analogia termodynamiki

W elektrycznej analogii obliczeń termicznych **rezystancja i pojemność cieplna pozostają odpowiednio rezystancją i pojemnością** (czyli opornikiem i kondensatorem w systemie do symulacji). Możemy teraz wyjść z tego założenia, aby zidentyfikować pozostałe analogie.

W układzie elektrycznym, gdy przez opornik o rezystancji R płynie prąd I, spadek napięcia U na nim jest równy:

$$U = I \times R$$

Analogicznie, jeśli do elementu o rezystancji cieplnej R_{th} przyłożymy moc P, to temperatura T na drugim końcu tego elementu podniesie się o:

$$\Delta T = P \times R_{th}$$

Elektryczna analogia jest tutaj w pełni czytelna. Ściślej rzecz biorąc, analogiem przepływu energii – mocy, jest prąd elektryczny. Napięcie jest analogiem różnicy temperatur, co ma ogromny sens, gdyż napięcie elektryczne jest, fizycznie, różnicą potencjałów elektrycznych (nie możemy mierzyć napięcia w punkcie, mierzymy je zawsze pomiędzy dwoma punktami – domyślnie jednym z nich jest na ogół masa, ale nie zawsze musi tak być).

Elektryczna analogia dla układów termodynamicznych ma także inne implikacje. Pozwala nam to w prosty sposób wyznaczać rezystancje czy pojemności cieplne nawet skomplikowanych systemów, ponieważ rezystancje i pojemności termiczne sumują się tak samo jak elektryczne, zależnie od sposobu połączenia – szeregowo bądź równolegle. Jest to istotne, gdyż rzeczywiste, fizyczne systemy, niemal zawsze są układem szeregowo i równolegle połączonych idealnych elementów. Aby uniknąć konieczności manualnego obliczania sum równolegle i szeregowo połączonych elementów w układzie, użyjemy odpowiedniego oprogramowania.

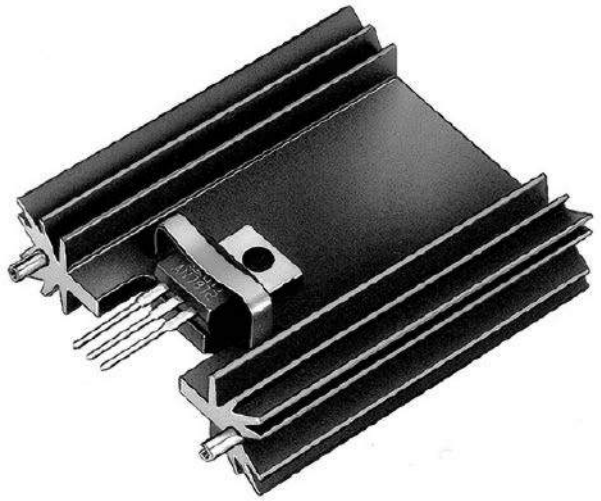
Symulacje SPICE

Sposób planowania symulacji najprościej jest zrozumieć, jeśli zobrazujemy go na przykładzie. Aby nie komplikować pierwszego przykładu, weźmy system pokazany na **fotografii 1**. Widzimy tam tranzystor w obudowie TO-220, wlutowany w płytkę drukowaną, wyposażony w radiator, celem poprawy chłodzenia. Załóżmy, że napięcie kolektor-emiter (lub źródło-dren dla tranzystora polowego) oraz prąd kolektora (drenu) są stałe w czasie.



Fotografia 1. Przykładowy układ do analizy termicznej

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 1. Wygląd zastosowanego radiatora

Scenariusz stacjonarny

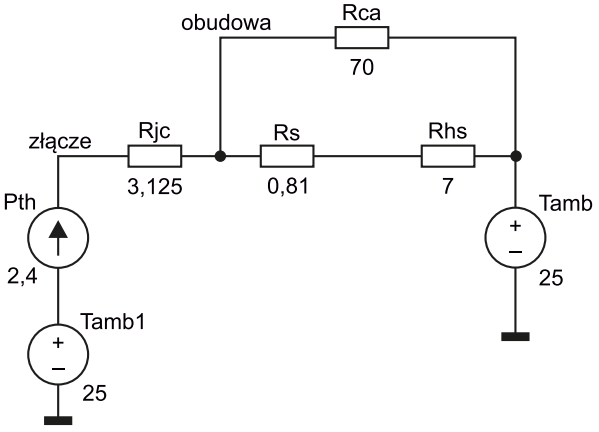
Skoro spadek napięcia na elemencie U_{tran} i prąd przez niego płynący I_{tran} są stałe w czasie, to będą one produkować stałą w czasie moc cieplną P_{th}.

$$P_{th} = I_{tran} \times U_{tran}$$

Jak pisaliśmy wyżej, produkowana moc, przenoszona jako ciepło, to w elektrycznej analogii płynący prąd. Dlatego też tranzystor ten, jako źródło ciepła, modelujemy jako źródło prądowe. Załóżmy, że spadek napięcia na tranzystorze wynosi 0,6 V, a płynie przez niego prąd równy 4 A, co daje P_{th}=2,4 W.

Kolejny krok wymaga zastanowienia się, którędy ciepło wydostaje się ze struktury krzemowej i przedostaje do otoczenia. W pierwszej kolejności ciepło musi przeniknąć ze struktury krzemowej (zwanej zwyczajowo złączem) do wierzchniej powierzchni obudowy. Na drodze stoi rezystancja cieplna złącze-obudowa $R_{\theta JC}$, która dla pokazanego na fotografii 1 tranzystora wynosi 3,125°C/W. Następnie ciepło to jest rozpraszane z obudowy. Część obudowy wystawiona jest na powietrze, które chłodzi tranzystor konwekcyjnie. Rezystancja cieplna obudowa-ambient $R_{\theta CA}$ dla obudowy TO-220 wynosi typowo 70°C/W. Druga część tranzystora zamontowana jest na tranzystorze. Typowo stosuje się izolujące przekładki dla tego rodzaju elementów. We wcześniejszej części artykułu obliczaliśmy rezystancję cieplną takiej przekładki (R_s) – dla zadanego przykładu wynosi ona 0,81°C/W. To zapewnia nam kontakt z radiatorem.

Rezystancja termiczna radiatora R_{HS} podobnego do tego z przykładu (Fischer Elektronik SK 409/38,1 STS, **rysunek 1**), wynosi 7°C/W. Temperatura (T_{amb}) otoczenia wynosi 25°C. Jak pamiętamy, analogią temperatury jest napięcie. Kluczowe jest dodanie tej temperatury we wszystkich miejscach, które znajdują się w temperaturze otoczenia.



Rysunek 2. Schemat symulacji układu stacjonarnego

Jeśli teraz umieścimy te elementy w modelu w LTspice, otrzymamy schemat taki, jak pokazany na **rysunku 2**. Łączy on w sobie wszystkie elementy opisane powyżej i umieszcza system w temperaturze otoczenia. Do symulacji, jako że jest to układ stacjonarny, wystarczy nam dyrektywa `.op` do znalezienia stacjonarnego punktu pracy układu. Generalnie układ ten znajduje się w czasie pracy w stanie stacjonarnym – w stanie równowagi termodynamicznej. Wyniki symulacji dla punktu pracy układu DC podawane są w tekstowej tabeli. To, co nas interesuje, to napięcia w oznaczonych punktach (złącze, obudowa, radiator):

```
--- Operating Point ---
V(złącze):              49.33626            voltage
V(obudowa):             41.88626            voltage
V(radiator):            40.11137            voltage
```

Interpretacja tych wartości jest bardzo prosta – to temperatury, jakie osiągną poszczególne elementy. Z projektowego punktu widzenia najistotniejsza jest temperatura złącza tranzystora, która nie może przekroczyć określonej w karcie katalogowej temperatury granicznej. Dla BUT11 jest to 150°C, więc znacznie powyżej osiąganej temperatury. Jeśli jednak zwiększymy moc traconą na tranzystorze pięciokrotnie, do 12 W, temperatura złącza osiągnie 147°C. Aby dalej zwiększać moc, należałoby zredukować rezystancję cieplną, zmieniając radiator. Jest to jednak nadal układ liniowy. Co, gdybyśmy chcieli sterować obciążeniem impulsowo (np. za pomocą impulsów o zmiennym wypełnieniu)?

Scenariusz dynamiczny

Aby zdefiniować impulsowe źródło ciepła, musimy zamiast źródła prądowego DC wstawić źródło zmienne. Charakter przebiegu PWM najlepiej będzie oddawać przebieg prostokątny, dlatego też definiujemy źródło prądowe, korzystając z dyrektywy:

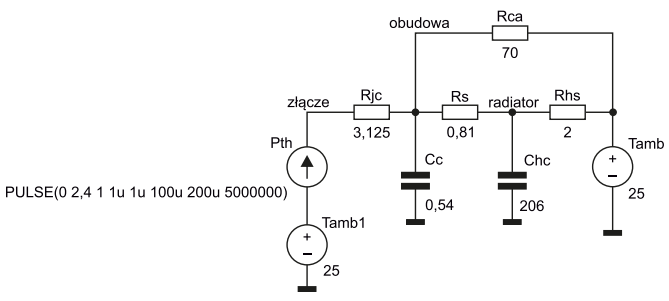
```
PULSE(0 2,44 1 1u 1u 100u 200u 5000000)
```

Oznacza to przebieg prostokątny o wartości równej 0 (w stanie 1) i 2,2 (w stanie 2), który uruchomi się z opóźnieniem 1 s. Czas narastania i opadania zdefiniowano jako 1 µs, a okres impulsu 200 µs, co daje częstotliwość przełączana równą 5 kHz. Wypełnienie impulsu równe jest 50% (impuls załączony ma być przez 100 µs – połowę z okresu). Impuls powtórzyć ma się 5 milionów razy, co w naszym przypadku (symulacja trwać będzie krócej) oznacza nieskończony ciąg impulsów.

Następnie musimy dodać dynamiczne elementy systemu – pojemności cieplne. Typowa pojemność cieplna tranzystora w obudowie TO-220 to 0,54 J/K, producent nie podaje wagi ani pojemności cieplnej zastosowanego radiatora, więc możemy założyć wartość obliczoną wcześniej – 206 J/K. Dodajemy zatem do schematu dwie pojemności o wartości, odpowiednio, 0,52 F i 206 F, jak pokazano na **rysunku 3.** Finalnie musimy zmienić dyrektywę symulatora na analizę stanów przejściowych:

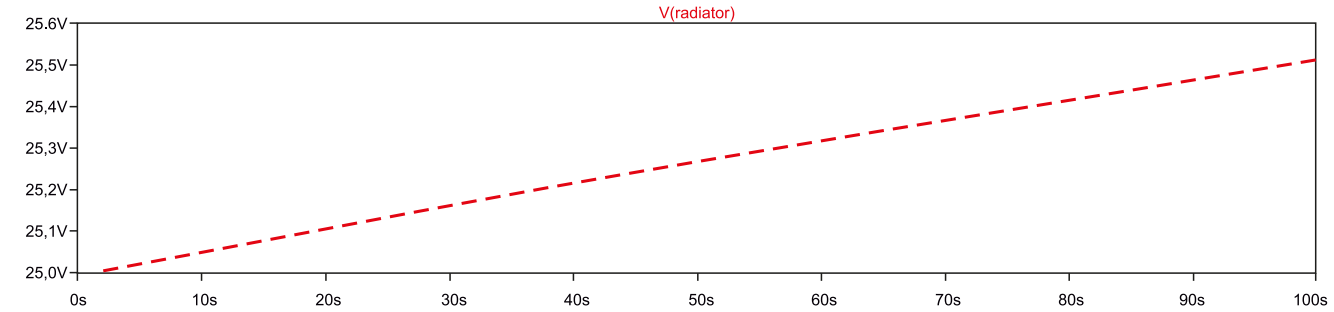
```
.tran 0 100 0
```

Oznacza to, że będziemy logować wszystkie wartości od 0 s do 100 s. Wyniki symulacji obrazowane są w postaci wykresów zadanego parametru w funkcji czasu. Na **rysunku 4** został pokazany wykres temperatury radiatora w funkcji czasu. Jak widać na wykresie, temperatura w czasie pierwszych 100 sekund działania systemu wzrośnie o jedynie ok. 0,5°C. Ekstrapolując ten wzrost, można by dojść

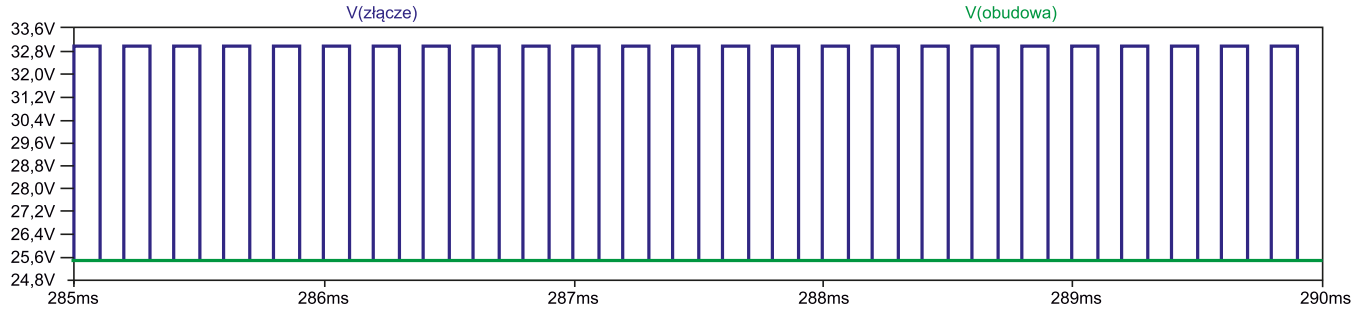


Rysunek 3. Schemat symulacji układu dynamicznego

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 4. Temperatura radiatora w funkcji czasu



Rysunek 5. Temperatura złącza i radiatora w funkcji czasu

do wniosku, że będzie ona rosła w nieskończoność, co nie jest prawdą. W rzeczywistości temperatura ustabilizuje się na pewnym poziomie – jakim? Można by prowadzić strasznie długą symulację, jednak jest to niepraktyczne i w takim wypadku warto zamienić źródło impulsowe w źródło DC o prądzie równym średniemu prądowi ze źródła impulsowego (dla przebiegu prostokątnego o wypełnieniu 50% to po prostu połowa mocy szczytowej). Na potrzeby wyznaczania de facto statycznego punktu pracy to dostatecznie dobre przybliżenie. Prawdziwie wartościowe zastosowanie dynamicznego modelowania temperatury leży gdzie indziej – w zobrazowaniu dynamiki zmian i wpływu pojemności cieplnej. Jak widać na rysunku 4, zmiana temperatury jest monotoniczna – to zasługa rezystancji i pojemności cieplnych, które działają jak filtr dolnoprzepustowy (w tym układzie) i całkują ciepło.

Na **rysunku 5** został pokazany przybliżony przebieg temperatury złącza (niebieska linia) i radiatora (zielona linia). Widoczne są impulsowe zmiany temperatury złącza, które wygładzają zmiany temperatury na dalszych elementach systemu. Tego rodzaju zjawiska przejściowe są kluczowe w wielu systemach, np. przy sterowaniu impulsowym odbiornikami wysokiej mocy (elektromagnesy, diody laserowe itp.).

Podsumowanie

Modelowanie termiczne systemów elektronicznych jest niezwykle proste, szczególnie jeśli pozna się stojące za nimi prawa i zależności fizyczne. Równania wiążą ze sobą wszystkie własności ciał (pojemność i rezystancję cieplną) z temperaturą, mocą, ciepłem… dzięki temu znając stałe materiałowe poszczególnych komponentów w systemie z łatwością można wyznaczyć zmianę temperatury dla różnych poziomów rozpraszanej mocy.

Termodynamika może wydawać się złożona, jednak można ułatwić zrozumienie jej równań, przekładając je na język elektryczny. Elektryczna analogia równań termodynamicznych ma jeszcze kolejną zaletę. Można dzięki temu zastosować oprogramowanie do symulacji układów elektronicznych również do symulacji termicznych. Takie oprogramowanie jest z pewnością doskonale znane każdemu elektronikowi, więc symulacje termiczne projektowanych układów nie będą stanowiły wielkiego problemu.

Dodatkową zaletą zastosowania oprogramowania SPICE takiego jak LTspice do symulacji termicznych jest możliwość zawarcia w jednej symulacji, dzięki czemu możliwe jest modelowanie nawet złożonego zachowania układu czy też nawet wpływu zmieniającej się temperatury na parametry układów. Tylko wyobraźnia (i znajomość składni SPICE) ogranicza nasze możliwości symulacyjne. A pamiętajmy – im więcej symulacji przy projektowaniu, tym mniej nerwów przy uruchamianiu układu!

Nikodem Czechowski, EP

Źródła:

- https://bit.ly/3lZu1kn
- https://bit.ly/3pPZOFu
- https://bit.ly/3pVNC6l
- https://bit.ly/3dLzx5D
- https://bit.ly/3s5tXDt
- https://bit.ly/3oMGhGO

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

ELPORTAL.pl

eprasa.pl 5d23d6856a

Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (11)

Front-endy do pomiaru indukcyjności

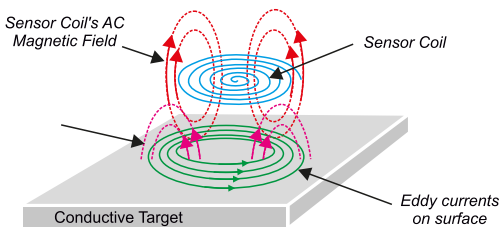
Zgodnie z zapowiedzią z ubiegłego miesiąca, w tym odcinku naszego cyklu pozostawiamy na pewien czas tematykę front-endów medycznych na rzecz uniwersalnych układów, służących do pomiaru bardziej przyziemnych – choć równie istotnych – parametrów elektrycznych i nieelektrycznych. Na początek omówimy układy przeznaczone do pomiaru indukcyjności.

Konkurencja na rynku front-endów indukcyjnych jest zaskakująco niewielka i to nie tylko w porównaniu do rozwiązań z segmentu medycznego – obecnie monopol na tego typu produkty ma firma Texas Instruments, która wprowadziła na rynek aż czternaście takich układów (najważniejsze informacje o nich zebraliśmy w **tabeli 1)**. W artykule zestawimy cztery wybrane, reprezentatywne przykłady z oferty TI, zaprezentujemy ponadto jeden układ konkurencji – MCP2036, opracowany przez firmę Microchip. Tradycyjnie już, nasz przegląd rozpoczniemy od omówienia fizycznych fundamentów działania czujników indukcyjnych oraz ich najczęstszych aplikacji praktycznych.

Zasada działania czujników indukcyjnych

Mocno uproszczony schemat sytuacji pomiarowej, stosowany w konstrukcjach czujników indukcyjnych, pokazao na **rysunku 1**. Cewka czujnika (*sensor coil*), zasilana lokalnym oscylatorem, generuje zmienne pole magnetyczne. Zbliżenie przewodzącego materiału (*conductive target*) powoduje powstanie prądów wirowych (*eddy currents*) na powierzchni obiektu, a wynika to wprost z prawa indukcji elektromagnetycznej Faradaya – na skutek oddziaływania zmiennym polem magnetycznym na przewodnik, powstaje w nim siła elektromotoryczna (SEM) o amplitudzie zależnej liniowo od szybkości (a zatem pośrednio od częstotliwości) zmian strumienia magnetycznego oraz jego wartości (iloczynu indukcji magnetycznej i powierzchni). Sama indukcja jest natomiast zależna od natężenia pola i przenikalności magnetycznej ośrodka. Wartość natężenia prądów wirowych, zgodnie z prawem Ohma, rośnie wraz ze zwiększaniem się SEM oraz maleje wraz ze wzrostem rezystancji, a ściślej rzecz ujmując – oporu właściwego przewodnika, gdyż w przypadku prądów wirowych w obiekcie planarnym (proces zachodzi bowiem na powierzchni przewodnika) trudno mówić o jednej, konkretnej wartości rezystancji.

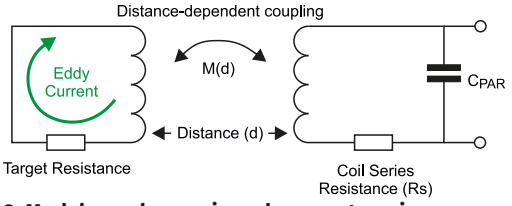
Jak wiadomo, prawo indukcji elektromagnetycznej definiuje reakcję opisywanego przewodnika ze znakiem ujemnym – indukowany w nim prąd staje się źródłem „nowego" pola magnetycznego, które



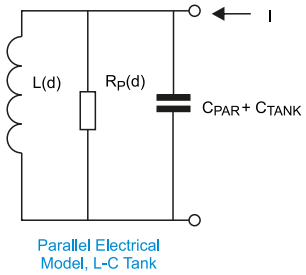
Rysunek 1. Zasada działania czujników indukcyjnych (https://bit.ly/3zG1CVZ)



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



Rysunek 2. Model cewek sprzężonych magnetycznie (https://bit.ly/3qYDfPz)



Rysunek 3. Uproszczony model wypadkowy układu z rysunku 2 (https://bit.ly/3qYDfPz)

„stara się" znieść pole generowane przez cewkę. A to wpływa bezpośrednio na efektywną indukcyjność cewki, widzianą od strony oscylatora. Podsumowując wszystkie wspomniane wyżej czynniki można zauważyć, że na bezwzględną zmianę indukcyjności wpływają:

- indukcyjność nominalna cewki,
- odległość przewodnika od cewki,
- rozmiar i kształt przewodnika,
- opór właściwy (a więc – rodzaj materiału) przewodnika.

Układ cewka-przewodnik można sprowadzić do postaci dwóch sprzężonych magnetycznie indukcyjności, przy czym sprzężenie (M) zmienia się w funkcji odległości (d). Cewka w czujnikach indukcyjnych pracuje zwykle w roli elementu rezonansowego obwodu LC, ze stałym kondensatorem o niewielkiej wartości (**rysunek 2**). W stanie rezonansu dla klasycznego, modelowego układu LC reaktancje indukcyjna i pojemnościowa wzajemnie się znoszą, „widoczna" zostaje zatem tylko szeregowa rezystancja, wynikająca z oporu przewodnika (Rs). Ostatecznie, całość układu pomiarowego można modelować równoległym obwodem RLC (**rysunek 3**), przy czym:

- **pojemność** wypadkowa jest sumą pojemności kondensatora (C_{TANK}) oraz pojemności pasożytniczych (C_{PAR}), np. pomiędzy ścieżkami PCB, żyłami przewodu cewki, itd.,
- **indukcyjność** wypadkowa L(d) to różnica indukcyjności cewki pozostawionej w wolnej przestrzeni oraz „wirtualnej" indukcyjności wynikającej ze sprzężenia,
- **rezystancja** równoległa R_p(d) to wypadkowa rezystancja układu widziana od strony oscylatora, której wartość wynika z odległości d, charakterystyki samej cewki oraz właściwości wykrywanego obiektu. Co ważne, zawiera ona także informację

eprasa.pl 5d23d6856a

o stratach energetycznych układu – nietrudno domyślić się, że powstawanie prądów wirowych wymaga dostarczenia do przewodnika pewnej ilości energii przez cewkę (na identycznej zasadzie działają przecież kuchenki indukcyjne, choć oczywiście skala zjawiska jest tu nieporównanie mniejsza).

Dokładne określenie sprzężenia magnetycznego wymaga stosowania rozbudowanych, wieloparametrowych modeli matematycznych, dlatego szczególnie użyteczne są wzory uproszczone, przykładowo (1):

$$L(d) = L_{inf} - M(d) = \frac{1}{(2\pi f_{SENS})^2 C} \quad (1)$$

gdzie:

L(d) – indukcyjność wypadkowa cewki w funkcji odległości d

L_{inf} – indukcyjność cewki w nieskończonej odległości od obiektu,

f_{SENS} – częstotliwość rezonansowa układu dla odległości d pomiędzy cewką, a obiektem,

C – wypadkowa pojemność układu rezonansowego ($C=C_{PAR}+C_{TANK}$).

Ze wzoru (1) wynika jasno, że indukcyjność maleje w funkcji odległości (**rysunek 4**), co potwierdza przykładowy wykres zależności wyjścia przetwornika LDC (tak będziemy oznaczać przetwornik indukcyjnościowo-cyfrowy, pracujący na zasadzie porównywania częstotliwości rezonansu do częstotliwosci wzorcowej) od odległości, zamieszczony na **rysunku 5**. Analiza przedstawionych zależności jasno pokazuje, że w codziennej praktyce odległość równą kilkukrotności średnicy sensora można uznać w przybliżeniu za nieskończoną, zatem indukcyjność wypadkowa cewki zbliży się wtedy do L_{inf} z wyrażenia (1).

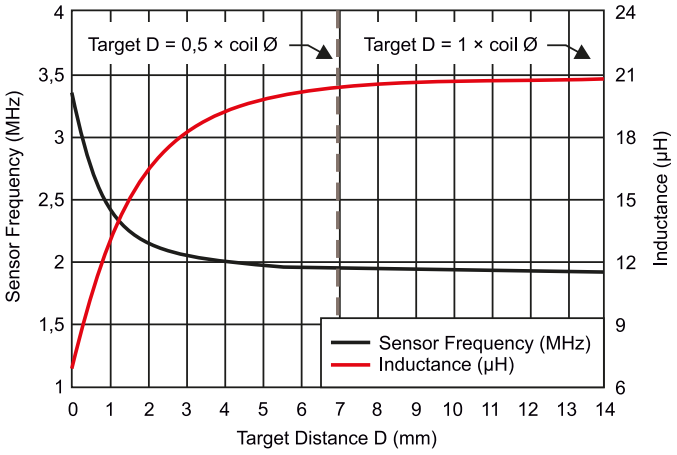
Co bardzo ważne, wraz ze zbliżaniem obiektu do cewki, maleje także wypadkowa rezystancja równoległa Rp (rosną bowiem straty generowane przez sprzężenie magnetyczne), a to sprawia, że dla bardzo małych dystansów drgania mogą w skrajnym przypadku ulec całkowitemu stłumieniu. Przykładowy wykres został pokazany na **rysunku 6**. Całość układu pomiarowego powinna zatem zostać tak zaprojektowana i przetestowana, by uniknąć ryzyka awarii w przypadku bardzo silnych sprzężeń magnetycznych z wykrywanym obiektem.

Ostatecznym efektem działania układu czujnika indukcyjnego jest przesuwanie częstotliwości rezonansowej w zależności od odległości cewka-przewodnik. Dokładny pomiar względnych zmian wartości $f_{SENSOR}(d)$ stanowi zatem fundament działania front-endów, zarówno w postaci pomiarowych przetworników LDC, jak i detektorów zbliżeniowych z wyjściem binarnym, szeroko stosowanych w aplikacjach przemysłowych.

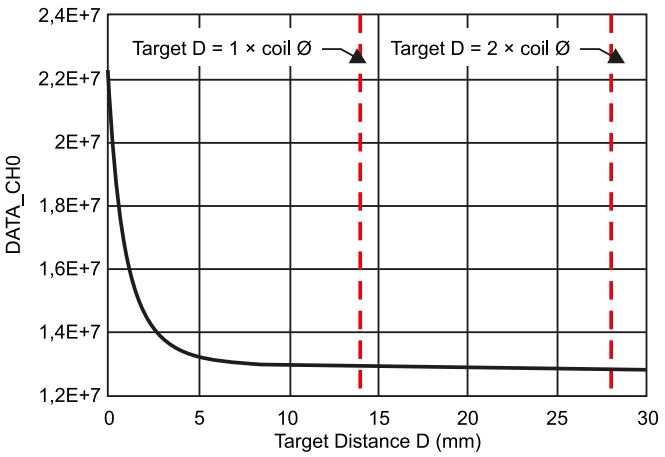
Tabela 1. Lista front-endów indukcyjnych marki Texas Instruments. Kolorem zaznaczono układy szerzej opisane w artykule

Model	Opis	Aplikacje	Rozdzielczość [bit]	Liczba kanałów	Vs (Max.) [V]	Vs (Min.) [V]	Obudowa	Zakres temperatur [°C]	Uwagi
LDC3114-Q1	Cyfrowy przetwornik indukcyjności	Przyciski indukcyjne, Enkodery, liczniki zdarzeń, Detektory zbliżeniowe	12	4	1,89	1,71	TSSOP16	–40 to 125	Aplikacje bezpieczeństwa funkcjonalnego/motoryzacja
LDC2112	Cyfrowy przetwornik indukcyjności ze śledzeniem linii bazowej	Przyciski indukcyjne	12	2	1,89	1,71	DSBGA16, TSSOP16	–40 to 85	Niskomocowy
LDC2114	Cyfrowy przetwornik indukcyjności ze śledzeniem linii bazowej	Przyciski indukcyjne	12	4	1,89	1,71	DSBGA16, TSSOP16	–40 to 85	–
LDC1314-Q1	Cyfrowy przetwornik indukcyjności	Przyciski indukcyjne, Enkodery, liczniki zdarzeń, Detektory zbliżeniowe	12	4	3,6	2,7	WQFN16	–40 to 125	Do aplikacji motoryzacyjnych
LDC1612-Q1	Cyfrowy przetwornik indukcyjności	Przyciski indukcyjne, Enkodery, liczniki zdarzeń, Detektory zbliżeniowe	28	2	3,6	2,7	WSON12	–40 to 125	Do aplikacji motoryzacyjnych
LDC1312-Q1	Cyfrowy przetwornik indukcyjności	Przyciski indukcyjne, Enkodery, liczniki zdarzeń, Detektory zbliżeniowe	12	2	3,6	2,7	WSON12	–40 to 125	Do aplikacji motoryzacyjnych
LDC1614-Q1	Cyfrowy przetwornik indukcyjności	Przyciski indukcyjne, Enkodery, liczniki zdarzeń, Detektory zbliżeniowe	28	4	3,6	2,7	WQFN16	–40 to 125	Do aplikacji motoryzacyjnych
LDC0851	Różnicowy przełącznik indukcyjny do aplikacji pozbawionych uC	Detektory zbliżeniowe, Enkodery, liczniki zdarzeń	–	1	3,46	1,71	WSON8	–40 to 125	–
LDC1101	1.8 V, 24-bit L, 16-bit Rp, szybki, cyfrowy przetwornik indukcyjności	Detektory zbliżeniowe	24 (L)/16 (Rp)	1	3,46	1,71	VSON10	–40 to 125	–
LDC1312	Cyfrowy przetwornik indukcyjności	Przyciski indukcyjne, Enkodery, liczniki zdarzeń, Detektory zbliżeniowe	12	2	3,6	2,7	WSON12	–40 to 125	–
LDC1314	Cyfrowy przetwornik indukcyjności	Przyciski indukcyjne, Enkodery, liczniki zdarzeń, Detektory zbliżeniowe	12	4	3,6	2,7	WQFN16	–40 to 125	–
LDC1612	Cyfrowy przetwornik indukcyjności	Przyciski indukcyjne, Enkodery, liczniki zdarzeń, Detektory zbliżeniowe	28	2	3,6	2,7	WSON12	–40 to 125	–
LDC1614	Cyfrowy przetwornik indukcyjności	Przyciski indukcyjne, Enkodery, liczniki zdarzeń, Detektory zbliżeniowe	28	4	3,6	2,7	WQFN16	–40 to 125	–
LMP91300	Front-end indukcyjnych czujników zbliżeniowych	Detektory zbliżeniowe	16	1	40	6,5	DSBGA20, WQFN24	–40 to 125	Wyjście binarne

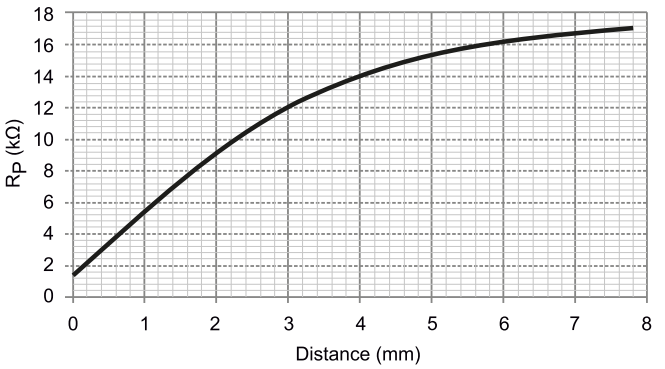
eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 4. Przykładowa zależność indukcyjności i częstotliwości rezonansowej od odległości cewka-czujnik (https://bit.ly/3qYDfPz)



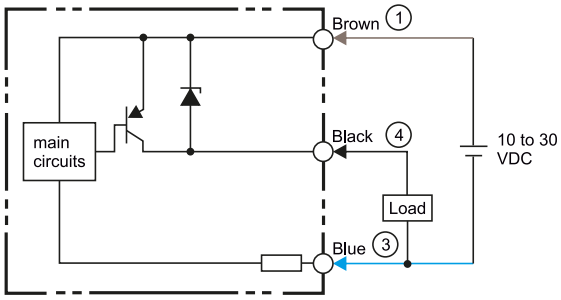
Rysunek 5. Przykładowa zależność wyjścia przetwornika LDC w funkcji odległości. Dla rosnącego dystansu, wpływ sprzężenia magnetycznego na indukcyjność cewki pomiarowej maleje asymptotycznie (https://bit.ly/3qYDfPz)



Rysunek 6. Przykładowa zależność rezystancji wypadkowej Rp układu rezonansowego od odległości cewka-obiekt (https://bit.ly/3qYDfPz)



Fotografia 1. Czujniki zbliżeniowe oparte na zasadzie detekcji indukcyjnej (OMRON) (https://bit.ly/3GmGOoY)

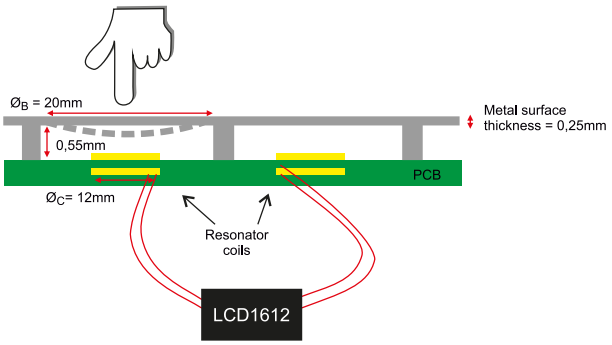


Rysunek 7. Typowy schemat instalacyjny czujnika z wyjściem PNP (https://bit.ly/33fMJ0K)

Aplikacje front-endów indukcyjnych

Po ekspresowym omówieniu zagadnień fizyki sprzężeń magnetycznych, możemy przejść do przeglądu najczęściej spotykanych aplikacji front-endów indukcyjnych. Lista nie jest rzecz jasna wyczerpująca, obejmuje jednak zdecydowaną większość stosowanych w praktyce urządzeń.

1. **Detektory zbliżeniowe** – obok czujników pojemnościowych i optycznych, indukcyjne czujniki zbliżeniowe stanowią jedne z najchętniej stosowanych sensorów w aplikacjach przemysłowych. Najczęściej występują w postaci cylindrycznej, przeznaczonej do zamocowania za pomocą gwintu (**fotografia 1**), i są wyposażone w wyjście typu PNP (**rysunek 7**).
2. **Interfejsy użytkownika** – niezwykle ciekawym i coraz powszechniejszym zastosowaniem czujników indukcyjnych są… panele dotykowe. Ich działanie opiera się jednak na zupełnie innej zasadzie, niż w przypadku czujników pojemnościowych – podczas gdy te ostatnie wykrywają zwiększenie pojemności sensora przez dodanie pojemności stanowionej przez ciało użytkownika, czujniki indukcyjne wyczuwają niewielkie ugięcie metalowego panelu, spowodowane naciskiem palca (**rysunek 8**, **fotografia 2**). Niebywałą

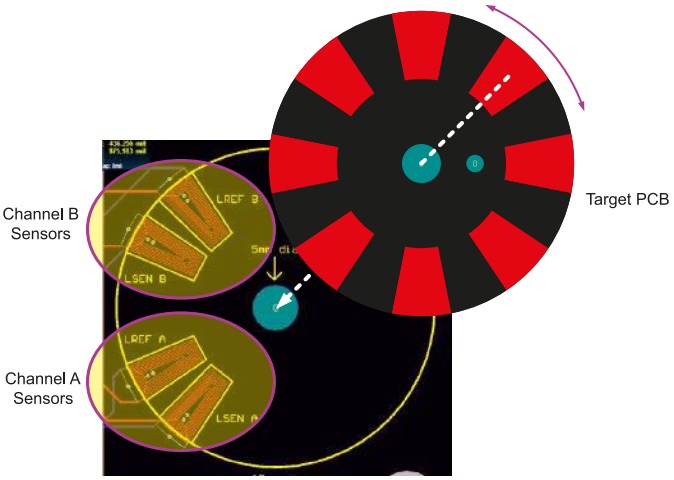


Rysunek 8. Zasada działania klawiatury dotykowej z czujnikami indukcyjnymi (https://bit.ly/3HI9mJY)

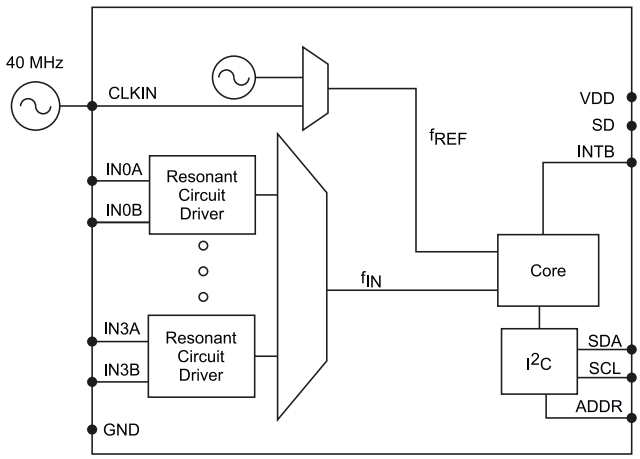


Fotografia 2. Przykładowe zastosowanie przycisków indukcyjnych – zestaw ewaluacyjny frontendendu LDC marki Texas Instruments (https://bit.ly/3HI9mJY)

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 9. Przykładowa realizacja enkodera inkrementalnego o małej rozdzielczości, wykonana z front-endem LDC i płytką PCB ze znacznikami w postaci pól miedzi (https://bit.ly/3q9JTDk)



Rysunek 10. Schemat blokowy front-endu LDC1614 (https://bit.ly/3qYDfPz)

zaletą tego typu układów jest niewrażliwość na niekorzystne warunki pracy (zwłaszcza wilgoć, będącą „zmorą" pojemnościowych interfejsów dotykowych) oraz możliwość pracy w obudowach metalowych (również hermetycznych), które z oczywistych względów nie nadają się do użycia z przyciskami pojemnościowymi.

3. **Wyłączniki krańcowe i czujniki typu *tamper*** – proste interfejsy indukcyjne z wyjściem binarnym, niewymagające programowej konfiguracji za pomocą mikrokontrolera, mogą być stosowane we wszelkiego rodzaju aplikacjach, w których zwykle znajdują zastosowanie klasyczne elementy elektromechaniczne. Jako przykład można wskazać choćby wyłącznik krańcowy w niewielkiej maszynie (np. drukarce) czy też czujnik *tamper*, służący do zainicjowania alarmu lub wykasowania poufnych danych z pamięci urządzenia po nieuprawnionym otwarciu jego obudowy.
4. **Enkodery i liczniki zdarzeń** – czujniki indukcyjne doskonale nadają się do realizacji prostych enkoderów inkrementalnych, niewymagających zbyt dużej rozdzielczości, ale za to pozbawionych mechanicznego sprzężenia wirującego elementu z płytką czujnika. Bezkontaktowa realizacja takiego systemu z użyciem szybkich front-endów indukcyjnych ma szereg zalet, z których na pierwszym miejscu należy wymienić znacznie lepszą (w porównaniu do konwencjonalnych enkoderów optycznych) odporność na zapylenie. Co więcej, w przypadku zastosowania opisanej wcześniej metody pomiarowej, z elementem ruchomym nie trzeba łączyć specjalnego magnesu, jak ma to miejsce w przypadku popularnych, cyfrowych enkoderów scalonych marki AMS – wystarczy odpowiednio zaprojektowana, okrągła płytka drukowana lub dysk z zatopionymi polami metalowymi (**rysunek 9**).

Rodziny LDC131x i LDC161x

Jak wspomnieliśmy na początku artykułu, rynkiem front-endów indukcyjnych niemal w całości zawładnęły produkty marki Texas Instruments, nic więc dziwnego, że to właśnie od nich zaczniemy nasz przegląd. Rodzina układów LDC131x i LDC161x zawiera obecnie osiem modeli układów, a ściślej rzecz ujmując – cztery główne odmiany, z których każda występuje dodatkowo w wersji standardowej oraz specjalnej, dedykowanej dla branży motoryzacyjnej. Zgodnie z konwencją nazewniczą chętnie stosowaną przez TI, pierwsze dwie cyfry oznaczenia pozwalają odróżnić rozdzielczość przetwornika (LDC121x – 12 bitów, LDC161x – 28 bitów), zaś ostatnia – liczbę kanałów (xx12 – dwa kanały, xx14 – cztery kanały).

LDC1614

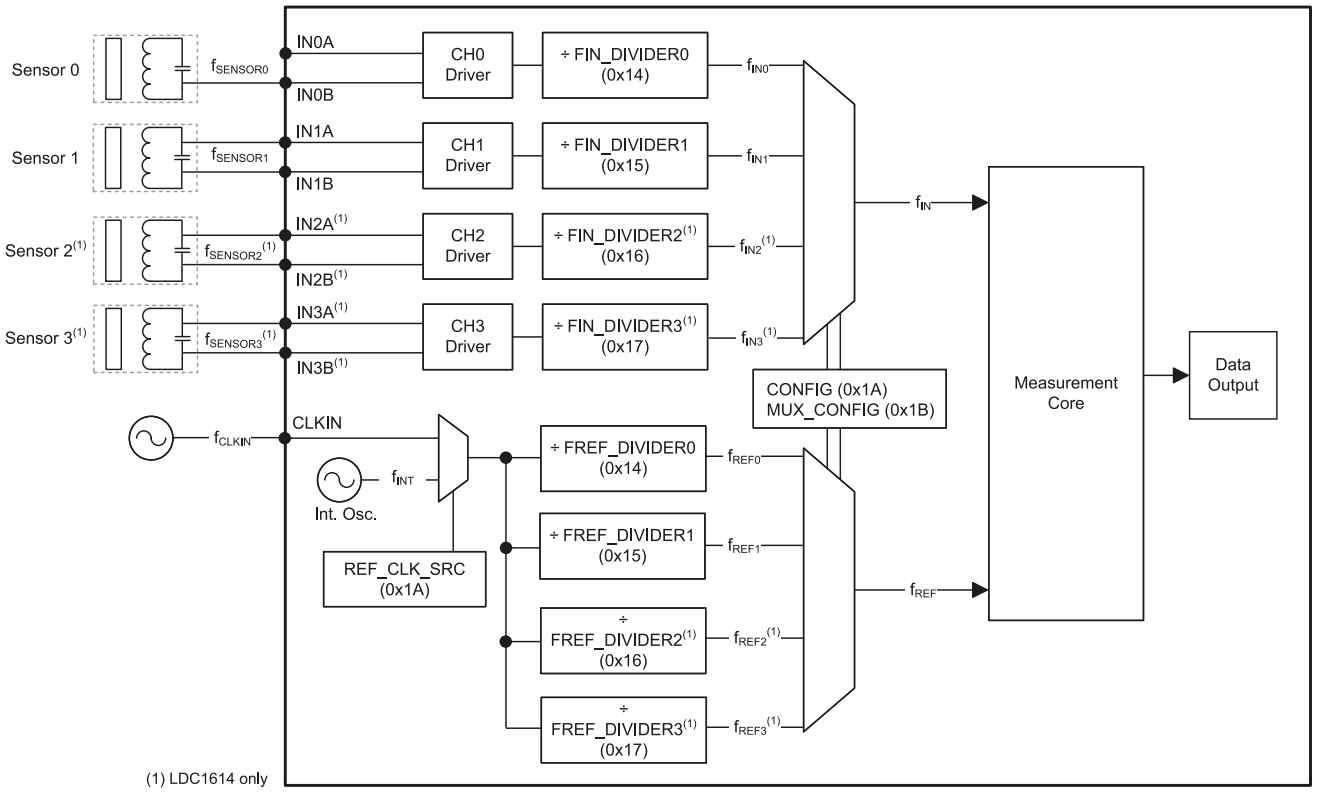
Schemat jednego z najbardziej zaawansowanych front-endów indukcyjnych w ofercie TI został pokazany na **rysunku 10**. Cztery kanały wejściowe współpracują z oscylatorami rezonansowymi, które – zgodnie z kryteriami oscylacji Barkhausena – formują pętle sprzężenia zwrotnego o łącznym przesunięciu fazy równym 360° i wzmocnieniu ≥1. Na bardzo podobnej zasadzie działają zresztą popularne oscylatory kwarcowe w topologii Pierce-Gate (więcej na ten temat można znaleźć w grudniowym *Temacie Numeru*). Całość front-endu może być taktowana wbudowanym generatorem przebiegu odniesienia o częstotliwości około 43 MHz – przy uwzględnieniu bardzo dużej tolerancji produkcyjnej, należy jednak spodziewać się wartości w przedziale od 35 do 55 MHz. Wewnętrzny oscylator z pewnością nie należy do dokładnych źródeł częstotliwości odniesienia, dlatego w bardziej zaawansowanych, precyzyjnych aplikacjach pomiarowych należy zastosować zewnętrzny generator taktowania (np. TCXO) o częstotliwości od 2 do 40 MHz.

Wyjścia wszystkich czterech oscylatorów są multipleksowane i w ten sposób podłączone do wspólnego rdzenia pomiarowego – właściwego przetwornika LDC, do którego dołączony jest również sygnał odniesienia. Niestety, producent nie kwapi się, by udostępnić szczegółowe informacje na temat budowy samego „serca" układu – można jedynie domyślać się, że bazuje ono na specjalnym zestawie liczników cyfrowych i timerów. Co ważne, kontroler (wyposażony w interfejs I²C i linię służącą do wyboru adresu) oferuje użytkownikom szereg bardzo istotnych funkcji: oprócz podstawowych – pełnej konfiguracji czasów próbkowania, dzielników, sekwencji pomiarowej, itd. – zapewnia także powiadomienia o potencjalnych problemach (praca poza zakresem zalecanej amplitudy, zanik oscylacji, czy też błędy procesu konwersji danych).

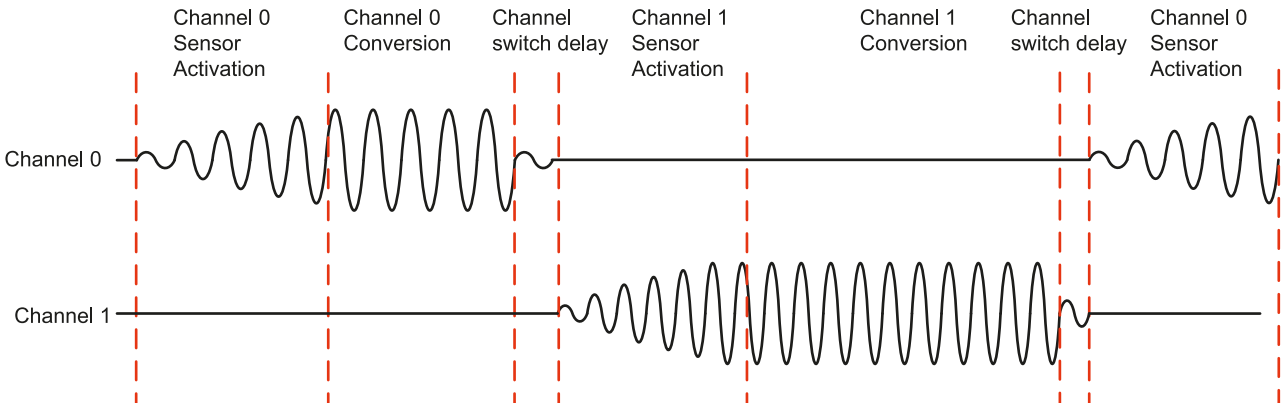
Schemat taktowania dla układów LDC1612 i LDC1614 został pokazany na **rysunku 11**. Każdy z kanałów ma nie tylko własny dzielnik częstotliwości wejściowej, ale także odpowiadający mu (choć sterowany osobnym polem bitowym w odpowiednim rejestrze konfiguracyjnym) dzielnik częstotliwości odniesienia. Opisana topologia wspaniale ułatwia podłączenie do jednego front-endu kilku sensorów o diametralnie różnych parametrach.

Przemyślana konstrukcja front-endów z rodziny LDC161x uwzględnia właściwe zarządzanie aktywnymi oraz nieaktywnymi kanałami. W danym momencie włączony jest tylko jeden oscylator, podczas gdy pozostałe wejścia (INxA oraz INxB) pozostają wewnętrznie zwarte do masy za pomocą automatycznie sterowanych kluczy o rezystancji szeregowej około 10 Ω. Rozwiązanie takie ma szereg zalet – oprócz natychmiastowego wygaszenia zbędnych już oscylacji (przed przełączeniem na kolejny kanał), zwarcie cewek pozwala także zmniejszyć pobór mocy, poziom zakłóceń EMI oraz uniknąć przesłuchów elektromagnetycznych w przypadku blisko położonych sensorów. Skanowanie odbywa się w ściśle zdefiniowanym reżimie czasowym, z konfigurowalnymi w pełni czasami konwersji oraz aktywacji (**rysunek 12**). Co więcej, użytkownik może zadecydować o trybie uruchamiania oscylacji rezonansowych: uruchomienie

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 11. Schemat taktowania front-endów z rodziny LDC161x. (1) oznacza, że dany element jest obecny tylko w wersji LDC1614 (https://bit.ly/3qYDfPz)



Rysunek 12. Przebiegi czasowe w trybie skanowania wielokanałowego w układach LDC161x (https://bit.ly/3qYDfPz)

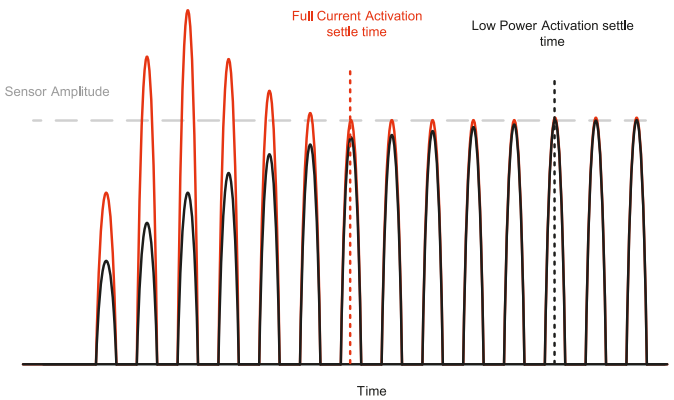
oscylatora z niewielką wydajnością prądową stopnia wyjściowego pozwala zaoszczędzić energię, jednak wydłuża czas stabilizacji amplitudy. Odpowiednie bity konfiguracyjne umożliwiają natomiast „podkręcenie" oscylacji maksymalnym prądem, co może wprawdzie doprowadzić do początkowego przeregulowania, daje jednak szansę na skrócenie cyklu pomiarowego i – co za tym idzie – zwiększenie efektywnej częstotliwości odczytów (**rysunek 13**).

LDC2112, LDC2114

Układy z rodziny LDC211x należą do całkowicie odmiennej kategorii, niż opisane wcześniej LDC161x. Choć i w tym przypadku mamy do czynienia z 2- lub 4-kanałowymi przetwornikami LDC, to zastosowanie układów jest inne – producent wskazuje przede wszystkim aplikacje interfejsów dotykowych, co wynika nie tylko z zastosowania przetworników o znacznie mniejszej rozdzielczości, ale przede wszystkim z obecności wysoce zaawansowanych funkcji automatycznej korekcji artefaktów.

Niepozorny schemat blokowy układów LDC2114 pokazano na **rysunku 14**. Istotną różnicą funkcjonalną – ułatwiającą implementację wielu przycisków na jednej płytce – jest zastosowanie wspólnego wyprowadzenia wejściowego (COM) co sprawia, że do podłączenia czterech przycisków potrzeba zaledwie 5 (a nie 8, jak miałoby to miejsce w przypadku LDC161x) ścieżek na PCB.

Konstruktorzy TI doskonale zdają sobie sprawę, że indukcyjne interfejsy dotykowe często będą współpracowały z monolitycznymi klawiaturami, w których całość panelu jest wykonywana w postaci



Rysunek 13. Porównanie niskomocowego i przyspieszonego trybu uruchamiania oscylacji (https://bit.ly/3qYDfPz)

eprasa.pl 5d23d6856a

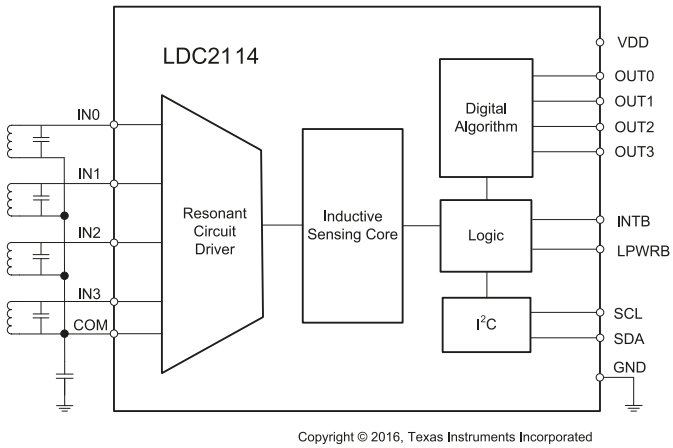
pojedynczego elementu z blachy, odpowiednio frezowanej w celu mechanicznego rozdzielenia naprężeń na poszczególne przyciski. Z uwagi na dużą sztywność paneli metalowych, należy jednak spodziewać się przenoszenia nacisku (w mniejszym lub większym stopniu) na całą powierzchnię klawiatury, co w przypadku zastosowania prostych komparatorów powodowałoby nieuchronne błędy odczytu. Aby móc skorzystać z ogromnej rozdzielczości pomiarów (układ może wykrywać odkształcenia płyty metalowej, teoretycznie na poziomie nawet 200 nm!), konieczne jest zastosowanie rozbudowanych algorytmów redukcji błędnych odczytów. Jest to istotne tym bardziej, że oprócz interfejsu konfiguracyjnego I²C, układ oferuje także cztery proste wyjścia binarne, przeznaczone dla odpowiednich kanałów pomiarowych – całość obróbki sygnałów musi zatem odbywać się na drodze analizy sprzętowej. W dalszej części opisu skrótowo omówimy zasadę działania poszczególnych algorytmów.

- **Śledzenie linii bazowej** (**rysunek 15**) – stały nacisk (wzrost wartości sygnału wyjściowego), spowodowany np. naprężeniami termicznymi bądź zmianą położenia obudowy urządzenia, może być pominięty dzięki zastosowaniu swego rodzaju licznika, który korzystając z określonego przyrostu izolinii, skonfigurowanego za pomocą rejestru BINC, odlicza skończony czas zadziałania, po czym przestaje reagować (nawet jeżeli nacisk utrzymuje się nadal). Ponadto, wykrycie ujemnych wartości sygnału (względem linii bazowej) powoduje szybkie wyzerowanie licznika, co pozwala powrócić do stanu podstawowego.
- **Eliminacja jednoczesnych naciśnięć** (**rysunek 16**) – front-end może automatycznie eliminować sygnały, które w podobnym momencie przekraczają wartość progu reakcji, co (najprawdopodobniej) oznacza nadmiarowe odkształcenie całej powierzchni klawiatury.
- **Eliminacja „przesłuchów mechanicznych”** (**rysunek 17**) – układ automatycznie eliminuje sygnały z przycisków, które zareagowały słabiej, niż przycisk intencjonalnie wciśnięty przez użytkownika. Algorytm opiera się na detekcji maksimum spośród sygnałów przekraczających próg detekcji, otrzymanych w tym samym czasie.
- **Detekcja skręcenia powierzchni klawiatury** (**rysunek 18**) – wystąpienie naprężeń skręcających, oddziałujących na powierzchnię panelu z klawiaturą, prowadzi zwykle do jednoczesnego pojawienia się sygnałów o przeciwnej polaryzacji (innymi słowy – część obudowy zbliża się do powierzchni PCB z cewkami czujnikowymi, inna zaś – oddala się, co powoduje spadek wartości sygnału z danego pola). Fakt taki może zostać automatycznie wykryty, dzięki czemu klawiatura zareaguje tylko na „izolowane” naciśnięcie, czyli wystąpienie silnego sygnału tylko w jednym kanale pomiarowym.

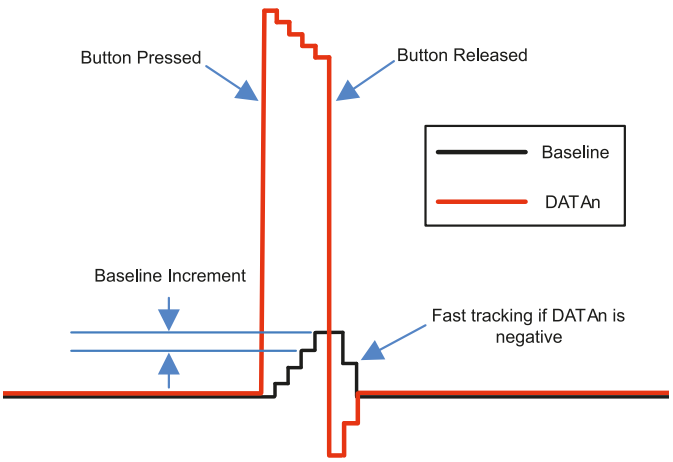
Co niezwykle istotne, inżynierowie TI zadbali o to, by użytkownik mógł samodzielnie skonfigurować, który z przycisków ma być włączony do grupy poddanej detekcji danego artefaktu. Tak rozbudowane możliwości ustalenia metody działania interfejsu dotykowego pozwalają niebywale zwiększyć niezawodność urządzenia i umożliwiają pracę w naprawdę niekorzystnych warunkach.

LDC0851

Schemat blokowy najprostszego front-endu indukcyjnego z oferty Texas Instruments został pokazany na **rysunku 19**. Układ, oferowany w miniaturowych obudowach WSON-8 o wymiarach zaledwie 2×2 mm, działa z dwoma cewkami – jedna pełni rolę indukcyjności odniesienia i pozwala niwelować

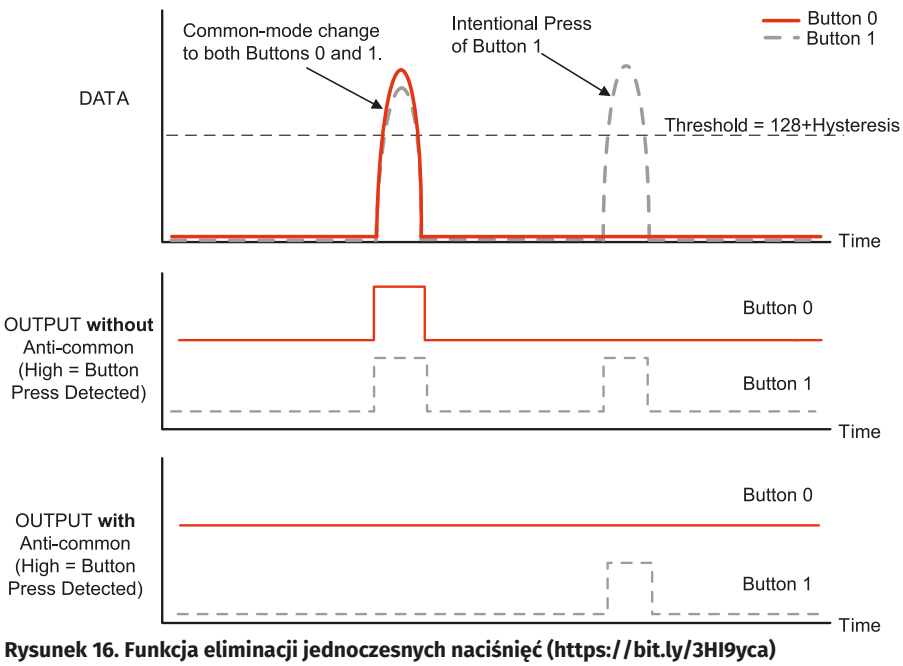


Rysunek 14. Schemat blokowy układu LDC2114 (https://bit.ly/3HI9yca)



Rysunek 15. Zasada działania algorytmu śledzenia linii bazowej (baseline tracking) w układach AFE z rodziny LDC211x (https://bit.ly/3HI9yca)

artefakty wynikające z dryfów termicznych, zewnętrznych zakłóceń elektromagnetycznych, czy też wpływu wilgotności otoczenia. Druga cewka stanowi już właściwy sensor indukcyjny, przy czym obydwa kanały wejściowe mają własne przetworniki indukcyjności, podłączone do cyfrowego komparatora z histerezą. Układ zawiera ponadto 4-bitowy przetwornik ADC, który – co dość nietypowe, służy tylko i wyłącznie do... niwelacji offsetu. Podczas, gdy w niemal wszystkich

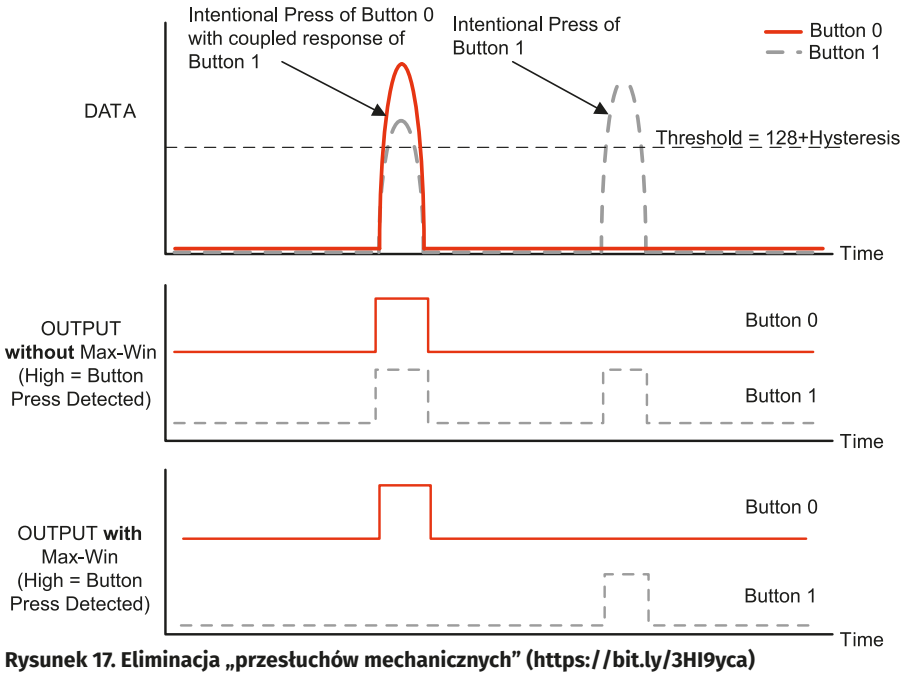


Rysunek 16. Funkcja eliminacji jednoczesnych naciśnięć (https://bit.ly/3HI9yca)

eprasa.pl 5d23d6856a

innych front-endach środkiem zaradczym przeciwko stałym przesunięciom amplitudy sygnałów są cyfrowo sterowane przetworniki DAC, w tym przypadku kompensacja odbywa się w domenie cyfrowej (offset jest odejmowany od danych otrzymywanych z konwertera indukcyjności odniesienia), a wejście analogowe przetwornika ADC współpracuje z prostym dzielnikiem napięciowym, pozwalającym zadać pożądany poziom offsetu.

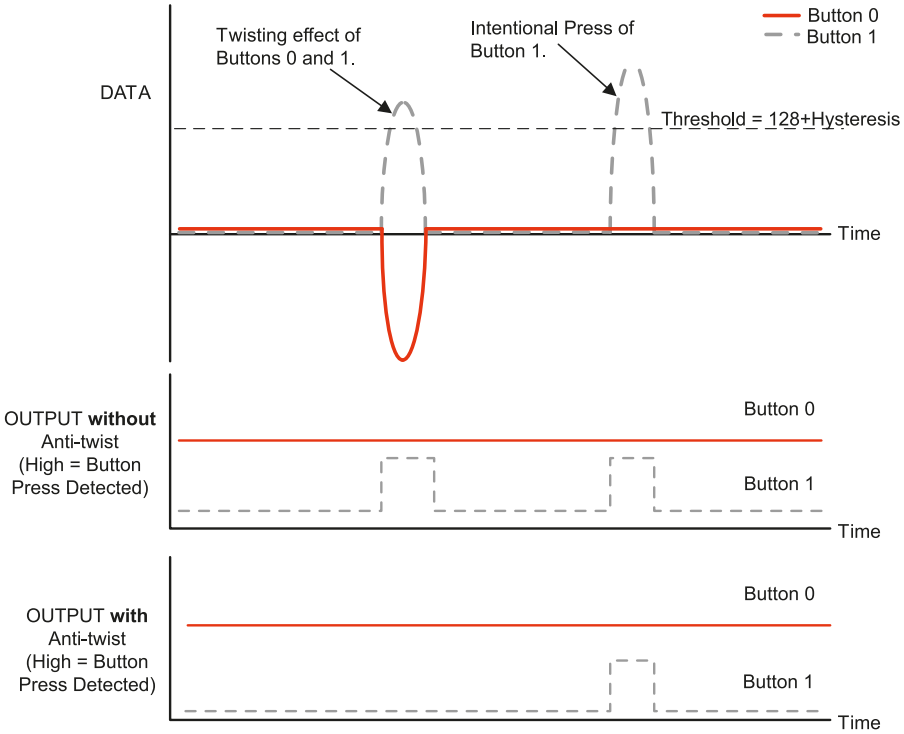
Z uwagi na sporą odporność na zakłócenia, układ LDC0851 jest przeznaczony przede wszystkim do aplikacji enkoderów, liczników zdarzeń, obrotomierzy, przepływomierzy, czy też przycisków w urządzeniach przemysłowych. Innym proponowanym przez producenta zastosowaniem AFE są przemysłowe czujniki zbliżeniowe, choć do tego celu znacznie bardziej interesujący okaże się inny front-end TI – LMP91300.



Rysunek 17. Eliminacja „przesłuchów mechanicznych" (https://bit.ly/3HI9yca)

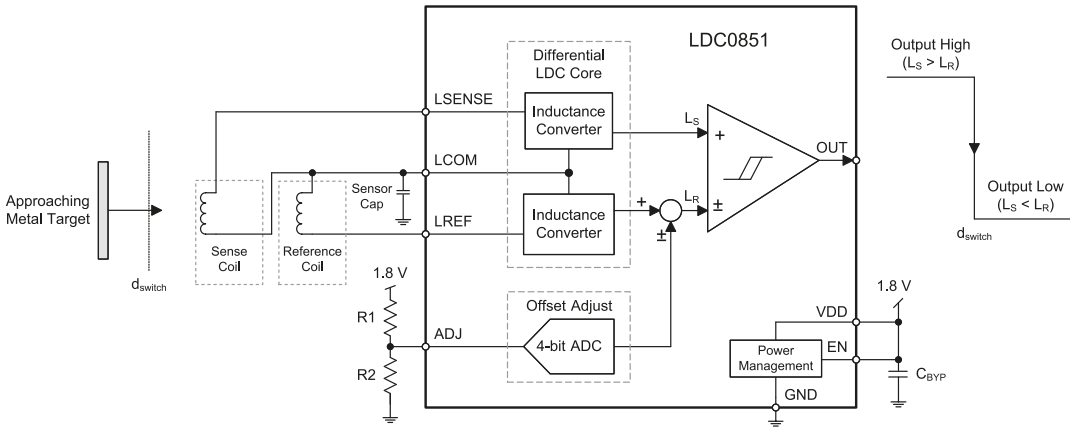
LMP91300

Układ LMP91300 powstał specjalnie z myślą o czujnikach przemysłowych, występujących zwykle w formie pokazanej wcześniej na fotografii 1 i rysunku 7. Najlepszym tego dowodem jest schemat aplikacyjny układu, zaprezentowany na **rysunku 20**. Za pomocą LMP91300 i zaledwie kilkunastu elementów dyskretnych można zrealizować w pełni funkcjonalny sensor zbliżeniowy z wyjściem PNP, zasilany napięciem z bardzo szerokiego zakresu (od 6,5 V aż do 40 V!). Choć kompletny układ pracy tego typu czujnika, spełniający wszystkie wymogi stawiane urządzeniom przemysłowym, byłby nieco bardziej rozbudowany, to i tak układ LMP91300 zapewnia niebywałą wprost redukcję nakładu pracy projektanta – osobne wyjście do sterowania wskaźnikiem LED, wsparcie topologii o polaryzacji NPN i PNP, niewielki pobór prądu, czy też wbudowany stabilizator napięcia zasilania oraz wejście do podłączenia termistora NTC to cechy najdobitniej pokazujące, jakie aplikacje docelowe mieli na myśli inżynierowie Texas Instruments podczas opracowywania układu.



Rysunek 18. Detekcja skręcenia powierzchni klawiatury (https://bit.ly/3HI9yca)

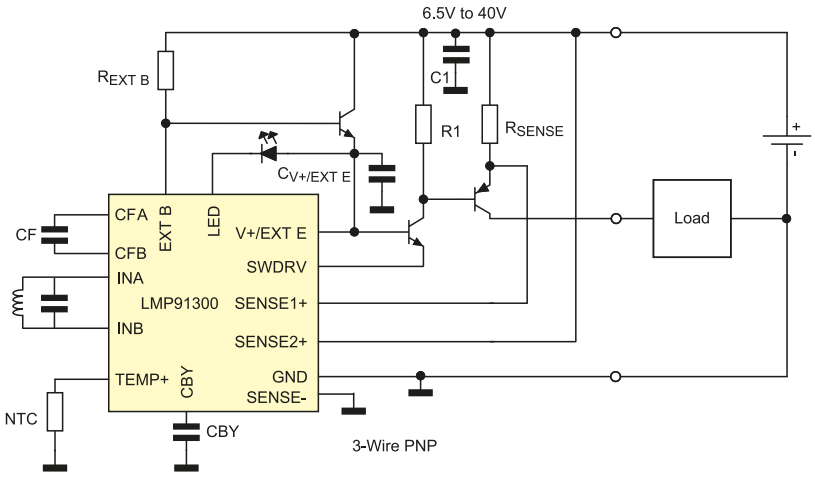
Schemat blokowy front-endu pokazano na **rysunku 21**. Podobnie, jak wszystkie inne AFE indukcyjne TI, także i ten układ pracuje niemal w całości w domenie cyfrowej – za blokiem oscylatora harmonicznego i przetwornika, co zaskakujące – tym razem służącego do pomiaru rezystancji równoległej Rp (a nie indukcyjności jako takiej), znajdują się sprzętowe obwody cyfrowej korekcji temperatury, komparator, kontroler stopnia wyjściowego z liniami sprzężenia zwrotnego (SENSE),



Rysunek 19. Schemat blokowy front-endu LDC0851 (Texas Instruments) (https://bit.ly/3tgiO3v)

eprasa.pl 5d23d6856a

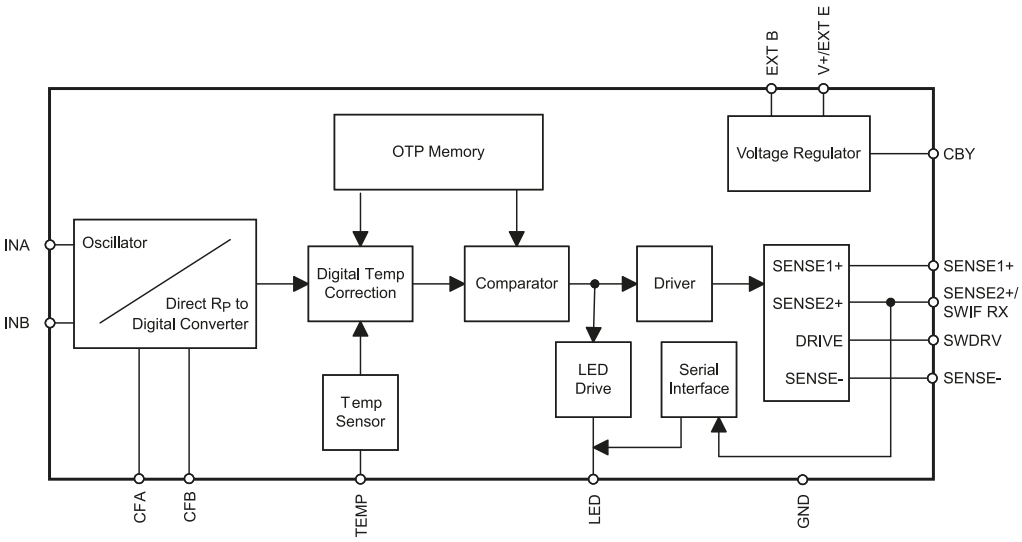
a także… pamięć OTP. A skoro układ zawiera wbudowaną pamięć nieulotną, nie powinna dziwić obecność interfejsu szeregowego, współdzielonego z jedną z linii układu wyjściowego. Celem interfejsu jest umożliwienie programowania czujnika po zakończeniu procesu produkcyjnego – użytkownik może wgrać tablicę LUT do kompensacji temperatury i ustawić szerokość pętli histerezy (poprzez ustalenie górnego i dolnego progu przełączania), szereg parametrów oscylatora, konfigurację wyjścia, czy też zapisać cztery bajty informacyjne. Ponadto, istnieje też możliwość odczytania danych wyjściowych z przetwornika (w postaci 16-bitowego słowa, podzielonego na dwa jednobajtowe rejestry MSB i LSB), statusu front-endu i wartości temperatury.



Rysunek 20. Schemat aplikacyjny front-endu LMP91300 (https://bit.ly/3JUgNQf)

MCP2036

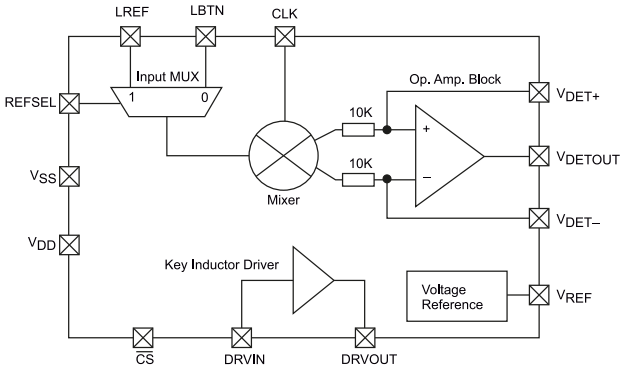
Na koniec naszego artykułu pozostawiliśmy (prawdopodobnie) jedyny konkurencyjny dla TI front-end indukcyjny, tym razem ze stajni Microchipa. Układ jest nieporównanie prostszy, niż omówione wcześniej AFE o budowie cyfrowej – tym razem mamy do czynienia z analogowym mieszaczem, wzmacniaczem operacyjnym oraz prostym buforem wyjściowym i wbudowanym źródłem napięcia odniesienia (**rysunek 22**). W odróżnieniu od poprzednich układów, MCP2036 monitoruje impedancję cewki i to w dosłownym tego słowa znaczeniu – parametrem mierzonym jest amplituda odpowiedzi cewki na pobudzenie prądem impulsowym. Zadaniem mieszacza (w tej roli występuje para przełączników, kierujących sygnał na wejście odwracające lub nieodwracające wzmacniacza) jest synchroniczna demodulacja sygnału, realizowana z użyciem dostarczonego z zewnątrz sygnału prostokątnego (np. PWM z wyjścia nadrzędnego mikrokontrolera).



Rysunek 21. Schemat blokowy front-endu LMP91300 (https://bit.ly/3JUgNQf)

Podsumowanie

W kolejnej części cyklu *Poradnik Implementacji* dość wyczerpująco – z uwagi na niezwykle małą konkurencję w tym segmencie rynku – omówiliśmy zagadnienie układów do pomiaru indukcyjności oraz parametrów z nią związanych (rezystancji równoległej Rp obwodu rezonansowego LC oraz jego impedancji). Jak widać, zdecydowana większość układów to silnie zintegrowane rozwiązania cyfrowe, w niektórych przypadkach zapewniające szereg rozbudowanych algorytmów automatycznej eliminacji artefaktów pomiarowych. Co ciekawe, na rynku trudno znaleźć rozwiązania innych producentów – godnym uwagi, ale wykraczającym poza ramy niniejszego cyklu zagadnieniem, jest blok peryferyjny IndSense, obecny w mikrokontrolerach PSoC 4 marki Infineon i służący do pomiarów indukcyjnych



Rysunek 22. Schemat blokowy front-endu MCP2036 (Microchip) (https://bit.ly/3HIa3D4)

w paśmie do 3 MHz z częstotliwością próbkowania nawet do 10 kSps. Zainteresowanych Czytelników zachęcamy do zgłębienia dokumentacji technicznej odpowiednich układów.

inż. Przemysław Musz, EP

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

eprasa.pl 5d23d6856a

Raspberry Pi 400

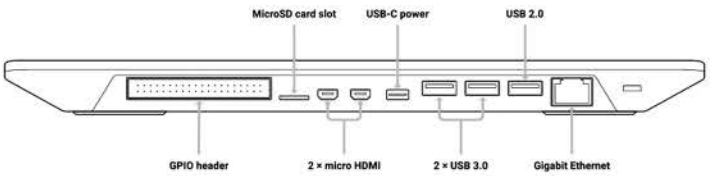
Raspberry Pi 400 to potężny, łatwy w użyciu komputer wbudowany w zgrabną i przenośną klawiaturę.

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

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



RASP0015
530zł





Raspberry Pi 400 i akcesoria w zestawie przeszły wszystkie rygorystyczne testy zgodności i spełniają szereg regionalnych i międzynarodowych standardów.

sklep.avt.pl

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

eprasa.pl 5d23d6856a

Budujemy mosty

– czyli mostki pomiarowe w elektronice (2)

W poprzedniej, pierwszej części artykułu, omówiliśmy podstawy działania mostków pomiarowych. Znamy podstawy działania takiej topologii elementów pasywnych, jednak same mostki na niewiele się zdają, bez odpowiednich układów aktywnych.



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

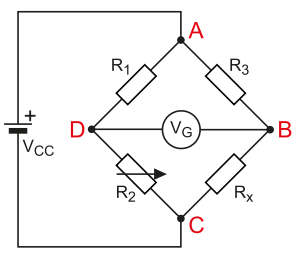
W pierwszej części artykułu omówiono konstrukcję mostka pomiarowego – układu czterech elementów pasywnych (typowo oporowych), służącego do pomiaru niewielkich zmian rezystancji (czy impedancji w systemach napięcia zmiennego, o których jeszcze nie pisaliśmy). Na **rysunku 1** pokazano najprostszy schemat mostka pomiarowego, tak zwany mostek Wheatstone'a. Po przyłożeniu napięcia wzbudzenia (VCC) do mostka pomiarowego, mierzone będzie tzw. napięcie niezrównoważenia, pomiędzy punktami D i B. Na ogół napięcie to jest bardzo małe i jeżeli nie korzystamy z mostka w warunkach laboratoryjnych, gdzie można stosować do jego pomiaru czuły galwanometr, konieczne jest zastosowanie odpowiednich układów analogowych, do wzmocnienia napięcia niezrównoważenia do poziomu, jaki może być następnie użyteczny dla reszty systemu – na przykład dla analogowej pętli sprzężenia zwrotnego lub przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC).

Z jakim sygnałem mamy do czynienia

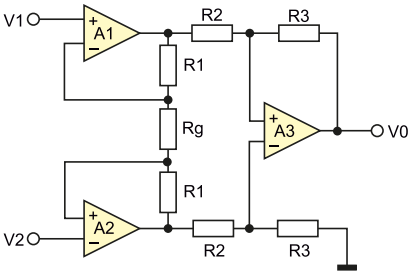
Zanim dobierzemy układ, czy topologię do połączenia z układem mostkowym, przyjrzyjmy się typowym sygnałom, z jakimi mamy do czynienia w przypadku układów mostkowych. Omówmy to na przykładzie mostka z czterema elementami zmiennymi (np. tensometrami) o rezystancji bazowej R, ułożonymi antyrównolegle (tzn. tak, że gdy dwa z nich zwiększają swoją rezystancję o ΔR, dwa pozostałe zmniejszają rezystancje o taką samą wartość). W takiej sytuacji napięcie niezrównoważenia równe jest:

$$V_G = V_{CC}\left(\frac{\Delta R}{R}\right)$$

Jako przykład weźmy tensometr TF1/120-P firmy TENMEX. Jego stała tensometru jest równa 2,15, a bazowa rezystancja (w stanie nierozciągniętym) równa jest 120 Ω. Oznacza to, że dla 1% odkształcenia rezystancja wzrośnie o 2,15%, czyli 2,58 Ω. Maksymalne odkształcenie dla tego elementu wynosi 5%, co przekłada się na maksymalne ΔR równe 12,9 Ω. Dla maksymalnego naprężenia i napięcia wzbudzenia mostka równego 12 V, napięcie niezrównoważenia wyniesie, zgodnie z **równaniem 1**, 1,29 V. To może wydawać się całkiem dużym napięciem, jednakże pamiętać należy, że jest to maksymalne napięcie, z jakim pracować ma układ. Typowe naprężenia, jakie mierzy się



Rysunek 1. Uproszczony schemat mostka pomiarowego



Rysunek 2. Schemat typowego wzmacniacza pomiarowego

w układach laboratoryjnych są na poziomie pojedynczych promili, co oznacza napięcie niezrównoważenia będące, co najmniej 10 razy mniejsze (ok. 130 mV), a potrzebna nam rozdzielczość pomiarowa powinna być dalsze kilka rzędów mniejsze, co oznacza, że mierzone napięcia mogą być na poziomie pojedynczych miliwoltów.

Dodatkowo, należy pamiętać, że napięcie niezrównoważenia nie jest napięciem mierzonym względem masy. Oznacza to, że tak niewielki, miliwoltowy sygnał, „jedzie" na grzbiecie o wiele większego sygnału stałego. Wymaga to zastosowania specjalnej topologii wzmacniacza – układu różnicowego, który wzmacniać będzie tylko sygnał różnicowy, tłumiąc jednocześnie sygnał współbieżny.

Wzmacniacz pomiarowy

Wzmacniaczem pomiarowym nazywamy układ trzech wzmacniaczy operacyjnych, pokazany na **rysunku 2**, który charakteryzuje się występowaniem wzmacniaczy buforujących wejście, co m.in. uniezależnia działanie stopnia różnicowego układu, od impedancji obu źródeł sygnału (V_1 oraz V_2). Wzmacniacze A_1 oraz A_2 buforują napięcia wejściowe odpowiednio V_1 i V_2. Dodatkowo, w układzie podłączony jest pojedynczy rezystor, kontrolujący wzmocnienie R_g, który umieszczono pomiędzy wyjściami obu elementów. W ten sposób na oporniku R_g rozpięte jest pełne napięcie różnicowe (ponieważ A_1 i A_2 to bufory o jednostkowym wzmocnieniu). Dzięki temu zmieniając wartość R_g – pojedynczego opornika, można zmieniać wartość wzmocnienia dla sygnału różnicowego całego układu. Ma to tę zaletę, że po dobraniu wartości oporników R_1, R_2 i R_3, tak, aby były one, odpowiednio, takie same, nie ma konieczności precyzyjnego dobierana wartości elementów dyskretnych między sobą. W takim układzie napięcie wyjściowe równe jest równe:

$$V_0 = (V_2 - V_1)\cdot\left(1+\frac{2\cdot R_1}{R_g}\right)\cdot\left(\frac{R_3}{R_2}\right)$$

Jako że napięcie na R_g równe jest $V_{IN}=(V_2-V_1)$, to prąd płynący przez opornik kontrolujący wzmocnienie równy jest V_{IN}/R_g, co powoduje spadek napięcia na opornikach R_1 i przekłada się na sterowanie wzmocnieniem – napięcia na wyjściach wzmacniaczy A_1 oraz A_2 będą wzmocnione. Będą to jednak tylko napięcia różnicowe. Jeśli na wejściu pojawi się napięcie współbieżne, to, jako że napięcia po obu stronach R_g będą równe, to przez opornik ten (i opornik R_1) nie popłynie prąd, a co za tym idzie, wzmacniacze A_1 i A_2 będą działały

eprasa.pl 5d23d6856a

ze wzmocnieniem jednostkowym. W ten sposób, sygnały współbieżne nie będą wzmacniane przez układy buforujące, a sygnały różnicowe będą wzmacniane. Wzmocnienie różnicowe buforów równe jest:

$$CMRR = A_D \cdot \frac{V_{CM}}{V_{OUT}}$$

W teorii oznacza to, że wzmocnienie różnicowe może być dowolnie wysokie, bez zwiększania błędów wynikających z wzmocnienia sygnału współbieżnego. Sygnał niewspółbieżny będzie wzmacniany, a sygnał współbieżny nie. Dzięki temu współczynnik odrzucenia sygnału współbieżnego (CMRR – *common mode rejection rate*) rośnie proporcjonalne ze wzmocnieniem. To szczególna cecha właściwości wzmacniaczy pomiarowych, dzięki czemu idealnie sprawdzają się w aplikacjach takich jak omawiana – pomiar niewielkich sygnałów różnicowych.

Drugim stopniem wzmacniacza pomiarowego jest wzmacniacz operacyjny (A_3) w topologii wzmacniacza różnicowego. Odejmuje on od siebie napięcia wyjściowe z op-ampów A_1 i A_2. W układzie pokazanym na **rysunku 2** napięcie V_o odnoszone jest do masy. Możliwe jest jednak podanie zamiast niej na wejście nieodwracające A_3 przez opornik R_3 napięcia stałego, o które zwiększone zostanie napięcie V_o. Ma to wiele zastosowań, między innymi pozwala pracować w systemie z pojedynczym napięciem zasilania, gdzie na wejście offsetowe podaje się, typowo, napięcie równe połowie napięcia zasilania systemu.

Selekcja układu – co znajdziemy w karcie katalogowej

Wzmacniacze pomiarowe charakteryzuje się szeregiem różnych parametrów. W dalszej części tego artykułu omówimy podstawowe parametry wzmacniaczy pomiarowych. Pełne omówienie parametrów tak złożonego układu analogowego, jakim jest wzmacniacz pomiarowy, stanowczo wykracza poza ramy jednego artykułu, ale potraktujmy ten skrócony opis, jako punkt wyjścia, do dalszych dywagacji nad pewnymi niuansami.

Podstawową informacją, jaką znajdziemy w karcie katalogowej, a jaka będzie potrzebna do zastosowania konkretnego układu scalonego w systemie, jest wzmocnienie sygnału różnicowego. Jest ono zależne od wartości elementów wewnętrznych układu oraz zewnętrznego wzmacniacza. Na ogół podaje się w karcie katalogowej układu wzór, uzależniający wzmocnienie różnicowe od wartości zewnętrznego opornika lub tabelkę z wartościami rezystancji i wzmocnieniami.

Kolejnym, szalenie istotnym parametrem, jest współczynnik odrzucenia wpływu napięcia współbieżnego – CMRR. Definiuje się go, jako:

$$CMRR = A_D \cdot \frac{V_{CM}}{V_{OUT}}$$

gdzie A_D to wzmocnienie różnicowe, V_{CM} to napięcie współbieżne na wejściu wzmacniacza, a V_{OUT} to napięcie, jakie pojawia się dla tego napięcia współbieżnego na wyjściu układu. Im wyższe CMRR, tym mniej sygnału współbieżnego „przenika" z wejścia na wyjście wzmacniacza. CMRR nie jest stały w funkcji częstotliwości i należy pamiętać o tym, że jeżeli w systemie pracujemy z sygnałami zmiennymi, to należy również zapoznać się z wykresem CMRR w funkcji częstotliwości.

Kolejne istotne parametry, na jakie trzeba zwrócić uwagę dobierając taki element, to własności analogiczne, jak w przypadku wzmacniaczy operacyjnych – pasmo przenoszenia, szybkość narastania/opadania napięcia na wyjściu układu, poziom szumów czy offsetu, a także ich stabilność w funkcji częstotliwości, temperatury itd.

Spośród parametrów, które znamy z op-ampów, na osobną i szczególną uwagę zasługuje tutaj impedancja wejścia oraz prąd polaryzacji wejść. Wynika to z faktu, że nadmierne obciążenie mostka pomiarowego może wprowadzić błędy pomiarowe itp. Impedancje wejścia odwracającego i nieodwracającego układu musi być jednakowo wysoka. Wysoka impedancja wejściowa jest konieczna, aby uniknąć obciążania mostka. Wartości impedancji wejściowej typowych wzmacniaczy pomiarowych wahają się w zakresie od 10^9 do 10^{12} Ω. Istnieją pewne odstępstwa od tego, takie jak n przykład układ AD629 (różnicowa impedancja wejścia równa 800 kΩ, współbieżna 200 kΩ), ale to dosyć egzotyczne przypadki (układ ten charakteryzuje się bardzo wysokim napięciem współbieżnym – do 270 V oraz dosyć wysokim CMRR – do 86 dB). Z impedancją wejścia powiązany jest prąd polaryzacji wejścia. To wartość prądu, która popłynie przez piny wejściowe, jako prądy bazowe wejściowych tranzystorów bipolarnych lub jako prądy upływu bramki w przypadku układów z wejściem FET. Prąd polaryzacji przepływający przez mostek pomiarowy może powodować powstanie pewnych offsetów napięciowych. W ogólności, wartość prądu wejściowego pomnożona przez rezystancję źródła nie powinna przekraczać 10 mV. Typowe wartości wejściowego prądu polaryzacji dla układu z tranzystorami BJT na wejściu wynosi od 1 nA do 50 nA, a dla urządzenia z wejściem FET od 1 pA do 50 pA. Warto zwrócić uwagę, że wartości te mogą zależeć od temperatury układu.

W przypadku, gdy napięcie niezrównoważenia naszego mostka ma być mierzone przez układ cyfrowy, również warto zwrócić uwagę na charakterystykę wyjścia. Nie każdy wzmacniacz pomiarowy może bezpośrednio wysterować np. przetwornik analogowo-cyfrowy i może potrzebować np. dodatkowego stopnia toru sygnałowego w postaci bufora. Można też dobrać odpowiedni wzmacniacz pomiarowy, który ma wyjście przeznaczone do sterowania wejściem nawet najbardziej wymagającego przetwornika ADC.

Podsumowanie

Wzmacniacze pomiarowe znajdują swoje podstawowe zastosowanie we wzmacnianiu sygnałów różnicowych narażonych na silne zakłócenia. Typowym przykładem takiej aplikacji są przetworniki pracujące w mostku. Wzmacniacze te są również szeroko stosowane w sprzęcie medycznym, do monitorowania napięć czy prądów w systemach zasilających czy w wymagających aplikacjach audio.

Układy mostkowe, dzięki scalonym wzmacniaczom pomiarowym są zadziwiająco łatwymi w implementacji systemami. Najistotniejszym etapem projektowania fragmentu takiego układu, jest dobór scalonego wzmacniacza mostkowego do danej aplikacji. Dzięki znajomości znaczenia różnych parametrów tego rodzaju układu można w prosty sposób dokonać wyboru odpowiedniego elementu – takiego, którego parametry i cena będą najlepszym kompromisem w danej aplikacji.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła:

- https://bit.ly/3oSZ1mV
- Wikipedia
- C. Kitchin, C. Lew, "A Designer's Guide to Instrumentation Amplifiers" Analog Devices 2006.

Czytaj artykuły jeszcze przed wydrukowaniem „Elektroniki Praktycznej"
www.ep.com.pl/**EPwtoku**

eprasa.pl 5d23d6856a

koktajl niusów

SYSGO
EMBEDDING INNOVATIONS

Nowa wersja linuksowego systemu operacyjnego ELinOS firmy SYSGO

Nowa kompilacja o oznaczeniu 7.0.2 uwzględnia ochronę rozwiązań klasy embedded i kładzie nacisk na zgodność ze standardami cyberbezpieczeństwa. W szczególności rozszerzenie jądra systemu zwane *Security-En-hanced Linux* (SELinux) oraz technika randomizacji przestrzeni adresowej ASLR (*Address Space Layout Randomization*) umożliwiają osiągnięcie wspomnianego celu.

Pakiet testowy i konfiguracje ELinOS sprawiają, że produkt firmy SYSGO spełnia m.in. wytyczne *Configuration Recommendations of a GNU/Linux System* – francuskiego urzędu ds. bezpieczeństwa cybernetycznego (Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information – ANSSI) oraz IT-Grundschutz – niemieckiego federalnego urzędu ds. bezpieczeństwa Informacji (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik – BSI).

Wśród realizowanych funkcji jest m.in. detekcja zmian haseł i niedozwolonych działań *root* oraz przeprowadzanie aktualizacji *over-the-air* (OTA) poprzez narzędzie dostarczania obrazów aktualizacji. Nowa wersja ELinOS jest adresowana przede wszystkim do twórców oprogramowania pracujących w sektorach: przemysłowym, medycznym, motoryzacyjnym, kolejowym i lotniczym, dla których jest wymagana niezawodna architektura bezpieczeństwa systemów wbudowanych. Wersja ta stanowi odpowiedź na wzrastający poziom zagrożeń w obszarze IT i ma na celu zapewnienie dodatkowych środków ochrony bezpieczeństwa.

Jak mówi David Engraf – szef działu rozwoju systemu ELinOS: „Jako zespół zastanawialiśmy się, jak możemy poprawić bezpieczeństwo naszych rozwiązań. Jestem dumny, że udało nam się dostarczyć twórcom systemów wbudowanych potężny zestaw narzędzi połączony z długoterminowym utrzymaniem naszego produktu ElinOS".

https://bit.ly/31v8UiO

System Mercusys Halo H50G – pogromca martwych stref Wi-Fi

Pod koniec ubiegłego roku marka Mercusys wprowadziła do sprzedaży w Polsce nowy system mesh Halo H50G. System ten można nabyć w opcji z dwoma lub trzema jednostkami. Jego urządzenia świetnie sprawdzają się tam, gdzie występuje problem z zanikającym sygnałem sieci bezprzewodowej – na przykład w sporym mieszkaniu lub domu jednorodzinnym. Związana z systemem technologia Mercusys Mesh pozwala na utworzenie jednolitego systemu sieci bezprzewodowej i zapewnienie dostępu do silnego sygnału Wi-Fi w każdym zakamarku mieszkania oraz dużego domu (o powierzchni dochodzącej nawet do 550 m^2). Jeżeli istnieje taka konieczność, całość można rozbudować o kolejne urządzenia serii Mercusys Halo.



Podczas przemieszczania się użytkownik ma zapewniony nieprzerwany dostęp do szybkich oraz stabilnych połączeń Wi-Fi i nie musi martwić się o utratę zasięgu czy buforowanie danych. Urządzenia klienta (telefony, laptopy, tablety itp.) automatycznie przełączają się między jednostkami systemu tak, aby zawsze korzystać z sygnału o większej mocy, który gwarantuje lepsze parametry połączenia. Tym sposobem system Mercusys Halo H50G zapewnia wydajność umożliwiającą nieskrępowane oraz bezproblemowe korzystanie z Internetu przez wielu użytkowników naraz.

Oferowane prędkości to: 1300 Mb/s w paśmie 5 GHz i 600 Mb/s w paśmie 2,4 GHz, w ramach standardu Wi-Fi 802.11ac. Wszystko to przy przydatnych funkcjach i technologiach – są to w szczególności: MU-MIMO obsługujące ponad setkę urządzeń w tym samym czasie (m.in. komputery, telefony i urządzenia IoT), Beamforming wspierający zasięg i stabilność połączeń Wi-Fi, Smart Connect do „łączenia" pasm 2,4 GHz i 5 GHz w sieć o wspólnym SSID, zapewniając płynną transmisję danych, a także ochrona rodzicielska, która pozwala na niezawodną kontrolę przeglądanych przez dzieci treści i sprawne monitorowanie czasu spędzanego w sieci przez pociechy.

Do podłączenia urządzeń, których nie wyposażono w interfejsy bezprzewodowe, przewidziano trzy gigabitowe porty Ethernet obecne w urządzeniach systemu. Jeżeli na jednym z nich wystąpi błąd, system automatycznie przekieruje dane do innego urządzenia, by nie dopuścić do utraty sygnału oraz przerwy w dostępie do sieci. Dzięki intuicyjnej aplikacji Mercusys konfiguracja i zarządzanie systemem Halo H50G nie sprawia kłopotów nawet niedoświadczonej osobie. Podobnie jak inne produkty marki Mercusys jest on objęty trzyletnią gwarancją.

https://bit.ly/3eSKMtH

Pożyteczny enkoder obrotowy

Niewielki, funkcjonalny i odpowiedni do każdego rozwiązania (niezależnie jaka platforma). Jest to uniwersalny komponent z pięcioma wyprowadzeniami, wśród których znajdują się trzy wyjścia danych – 2 impulsowe i jedno sygnalizujące naciśnięcie pokrętła (oraz wejścia

eprasa.pl 5d23d6856a

masy). Szczególnie praktyczny jest w postaci modułu VPI435 firmy Velleman, który na niewielkiej, białej płytce PCB zawiera wygodne złącze. Specyfikacja produktu jest następująca:



- zakres napięcia pracy: 0...5 V,
- liczba impulsów na obrót (CPR): 20,
- możliwość naciskania pokrętła (wbudowana funkcja przycisku),
- materiał, z którego wykonano pokrętło: mosiądz,
- wymiary: 26×19 mm,
- waga: 10 g.

https://bit.ly/32STV2U



Otwieraj urządzenia dzięki dwóm plastikowym kartom iFixit

Wymiary kart to: 3,375×2,175” (85,725×55,245 mm) – są one wielkości tych służących do płatności elektronicznych. Każda z nich jest przezroczysta i została wykonana z PCV. O ich oryginalności świadczą oznaczenia (w tym logo firmy). Można je trzymać za boki – nie są one ostre, bądź za niebieską krawędź. Na uwagę zasługuje ergonomia wykonania elementów oraz łatwość ich stosowania. Już delikatny ruch tymi kartami pozwala na sprawną separację części składających się na obudowy, zwłaszcza gdy w grę wchodzą zatrzaski. Jest to możliwe dzięki niedużej grubości (0,03”/0,762 mm) i odpowiedniemu profilowi narzędzi, które bez problemu wchodzą w wąskie szczeliny i własną, sztywną konstrukcją zapewniają wygodne podważanie bez porysowań i zadrapań po bokach. Doskonale to widać m.in. przy demontażu smartfonów oraz usuwaniu cienkich baterii z różnych urządzeń.

https://bit.ly/339gcsR

Nieduży rezonator wykonany w technice MEMS

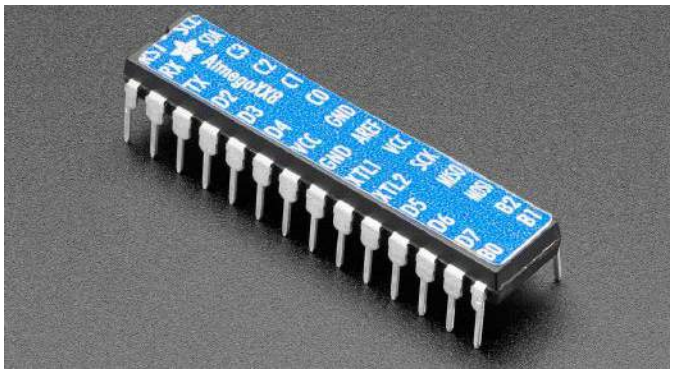
Element o oznaczeniu WMRAG-32K76CS2C00R0 firmy Murata Electronics ma wymiary 0,9×0,6 mm, czyli każda krawędź jest mniejsza niż pojedyncza podziałka linijki milimetrowej. Odznacza się wysoką dokładnością częstotliwości drgań i trwałą charakterystyką temperaturową wykluczającą konieczność stosowania elementów korygujących pracę. Jego proces starzenia jest określony poziomem ±3 ppm/rok. Został przewidziany do różnych aplikacji, od przemysłowych, przez systemy oświetlenia, do zegarów. Nie zawiera substancji organicznych, jest oferowany w obudowie CSP – wymaga montażu powierzchniowego.



Specyfikacja rezonatora WMRAG32K76CS2C00R0:

- częstotliwość drgań: 32,768 kHz,
- dokładność częstotliwości: ±20 ppm,
- przesunięcie temperaturowe częstotliwości: od –200 do 10 ppm (w obrębie temperatury pracy elementu),
- starzenie: ±3 ppm/rok,
- zastępcza rezystancja szeregowa (ESR): 75 kΩ,
- pojemność obciążenia (CS): 8 pF,
- wewnętrzna pojemność obciążenia (CL): 6,9 pF,
- napięcie zasilania: 3 V,
- zakres temperatury pracy: od –40 do 85°C,
- zakres temperatury składowania: od –55 do 125°C,
- wymiary: 0,9×0,6 mm,
- montaż: powierzchniowy (SMD).

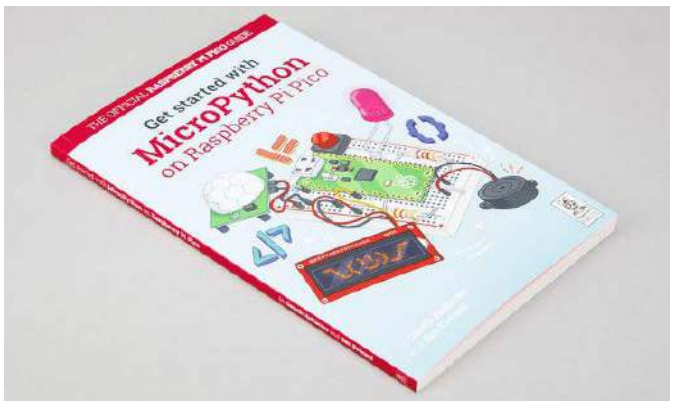
https://bit.ly/3G0Vdad



Orientuj się w wyprowadzeniach mikrokontrolerów ATmegaXX8 dzięki naklejce

Niebieska i podłużna naklejka jest dobrze dopasowana do wierzchu układów określonych w tytule. Dzięki niej dokumentacja nie jest potrzebna – jednorazowy montaż tego rozwiązania usprawni pracę z układem. Twardy winyl zapewnia dużą trwałość – materiał ten chroni naklejkę przed jej przesuwaniem się oraz zdrapywaniem i marszczeniem. Wszystko to przy wymiarach 7×34 mm. W sprzedaży są dostępne zestawy po 10 naklejek. Doskonałe pasują do mikrokontrolerów: ATmega8, ATmega48, ATmega88, ATmega168 i ATmega328, a ich montaż jest niezwykle łatwy.

https://bit.ly/3qQFpRm



Język MicroPython od podstaw

W celu praktycznej nauki zestawu Raspberry Pi Pico (od instalacji do jego użycia) warto wyposażyć się w książkę: „Get started with MicroPython on Raspberry Pi Pico”. Jest to licząca 139 stron pozycja, dzięki której dowiesz się, w jaki sposób zastosować język MicroPython, aby moduł Pico wchodził w interakcje ze światem. Dziesięć rozdziałów z łatwością pokazuje, jak ten zamiar osiągnąć. Wybrane

eprasa.pl 5d23d6856a

zagadnienia są poparte praktycznymi projektami, wcześniej jednak jest omówiony opis zestawu i jego obsługa oraz język MicroPython i środowisko wspierające go. Po zapoznaniu się z treścią opracowania z łatwością można konstruować własne rozwiązania dla zabawy bądź konkretnych zastosowań. W efekcie możliwe jest wszechstronne użycie mikrokontrolera Raspberry Pi RP2040, bez względu na jego przeznaczenie. Autorami książki są: Gareth Halfacree i Ben Everard. Przewodnik można nabyć w wielu branżowych sklepach.

https://bit.ly/390StMp



Środowisko IAR Embedded Workbench for ARM ze wsparciem dla mikrokontrolerów S32K3 firmy NXP

W listopadzie ubiegłego roku firma IAR Systems, lider w obszarze narzędzi programistycznych i usług dla systemów wbudowanych, rozszerzyła funkcjonalność środowiska IAR Embedded Workbench for ARM o obsługę mikrokontrolerów serii S32K3 firmy NXP, stosowanych w motoryzacji. Mowa tu o bazujących na rdzeniu ARM Cortex-M7 układach, które są zgodne ze standardami: ASIL B i ASIL D. Ich możliwości obejmują m.in. sprzętowy silnik bezpieczeństwa ze zintegrowanym oprogramowaniem firmware, aktualizacje *firmware-over-the-air* (FOTA) oraz spełniające normę ISO 26262 oprogramowanie *Real-Time Driver* przeznaczone w szczególności do aplikacji opisanych specyfikacjami AUTOSAR. Ostatnie współpracuje ze wspomnianym w tytule rozwiązaniem, które dostarcza wszechstronnych funkcji debugowania oraz narzędzi analizy kodu – w efekcie programiści mogą znacznie maksymalizować wydajność własnych kodów, utrzymując ich wysoki poziom i zgodność z zasadami bezpieczeństwa w projektach motoryzacyjnych.

Jak powiedział związany z linią produktów GPIS dyrektor generalny NXP Manuel Alves:

„Rodzina S32K3 wywodzi się z serii S32K1 i wnosi sobą nowe pokłady bezpieczeństwa, ochrony oraz oprogramowania w procesie projektowania motoryzacyjnych rozwiązań, szczególnie w niełatwych obecnie czasach. Dzięki oprogramowaniu firmy IAR Systems, motoryzacyjnemu know-how oraz certyfikacji bezpieczeństwa współpraca z przytoczoną spółką jest uzasadniona, tak samo jak z jej podmiotami opracowującymi jednostki ECU (*Electronic Control Unit*) nowej generacji".

Z kolei dyrektor działu rozwiązań motoryzacyjnych IAR Systems Kiyoufumi Uemura dodał: „Środowisko IAR Embedded Workbench for ARM ma istotne, udokumentowane osiągnięcia w branży motoryzacji i jest szeroko stosowane przez liczących się dostawców części samochodowych. Dodając wsparcie dla rodziny S32K3, jeszcze bardziej rozpowszechniamy nasze rozwiązania dla firm działających w motoryzacji".

Oprogramowanie jest dostępne w certyfikowanej przez TÜV SÜD edycji obejmującej m.in. standard IEC 61508 (plus 9 pozostałych). Jest to w pełni funkcjonalne rozwiązanie dla każdego, w tym laika.

https://bit.ly/3JXqFsC

Proto-PIC, czyli narzędzie Break-Away Header Pin Snapper Tool



Jest to narzędzie wykonane z przezroczystego tworzywa sztucznego o dużej grubości, odznaczające się 16 numerowanymi dziurkami o rozstawie 0,1" (2,54 mm). Listwę kołkową, do 16 szpilek włącznie, wystarczy włożyć do tych otworów, a wystającą (nadmiarową) część ułamać cążkami/szczypcami.

Narzędzie jest skręcone 4 śrubkami, jego powierzchnia jest gładka, tak samo jak jego krawędzie. Rogi elementu są z kolei zaokrąglane (w rezultacie to bezpieczny produkt). Jest to użyteczny dodatek do skrzynki z narzędziami, warto mieć taki pod ręką. Poniżej film prezentujący działanie przyrządu dostępny pod adresem: https://bit.ly/32UEQ0L.

https://bit.ly/3HDoWXp



Oryginalna, półprzezroczysta obudowa Yún Box do zestawu Arduino Yún

Obudowa jest idealnie dopasowana do wyrobu modułu Yún. Jest to dwuczęściowa konstrukcja złożona z podstawy i ruchomej pokrywki, która jest zatrzaskiwana. Wystarczy umieścić moduł w obudowie, aby ten się stabilnie trzymał – są w niej odpowiednie słupki montażowe. Możliwość łatwego otworzenia produktu to jego kolejna zaleta. Obudowa ma charakterystyczną turkusową barwę i jest odporna na zadrapania/zarysowania. Całość została wykonana metodą wtryskową. Specyfikacja obudowy:

- rodzaj konstrukcji: dwuczęściowa, ruchoma, otwierana, zatrzaskowa (bezśrubkowa),
- materiał: ABS,
- kolor: turkusowy,
- obecność otworów pod gniazda: Ethernet microUSB i USB,
- wymiary: 100×60×30 mm.

https://bit.ly/3JQ9OIe

Oryginalne projekty dzięki plastikowym przyciskom arcade od Pimoroni

Dzięki wygodnej obsłudze oraz ergonomii wykonania części te można stosować m.in. w konsolach i automatach z grami.

eprasa.pl 5d23d6856a



Elementy są oferowane w barwach: czarnej, czerwonej, białej, niebieskiej, różowej, żółtej, zielonej oraz przezroczystej. Ich powierzchnia jest błyszcząca (z wyjątkiem ostatniego wariantu), brak w nich podświetlenia. Są to produkty przeznaczone do bezpośredniego użycia, można je spotkać m.in. w zabawkowym automacie retro Picade. Wszystkie podzespoły odznaczają się skokiem 2 mm (nie są one przy tym w pełni szczelne).

https://bit.ly/34lphiV

Tapo C320WS – kamera do monitoringu zewnętrznego z kolorowym trybem nocnym

W ofercie firmy TP-Link pojawiła się nowa kamera C320WS serii Tapo do monitoringu zewnętrznego, którą cechują nowoczesne rozwiązania oraz trwałość i prosta obsługa. Produkt ten stanowi doskonały wybór dla osób, które martwią się o bezpieczeństwo swojego domu podczas własnej nieobecności (w pracy, na urlopie itd.). Jest to możliwe dzięki rozdzielczości 2K QHD (2560×1440 px) oraz wysokiej jakości obrazu niezależnej od pory dnia i pogody. Dostępny w kamerze wysokoczuły przetwornik Starlight tylko ułatwia wspomniane zadanie, w szczególności gdy oświetlenie jest słabe.

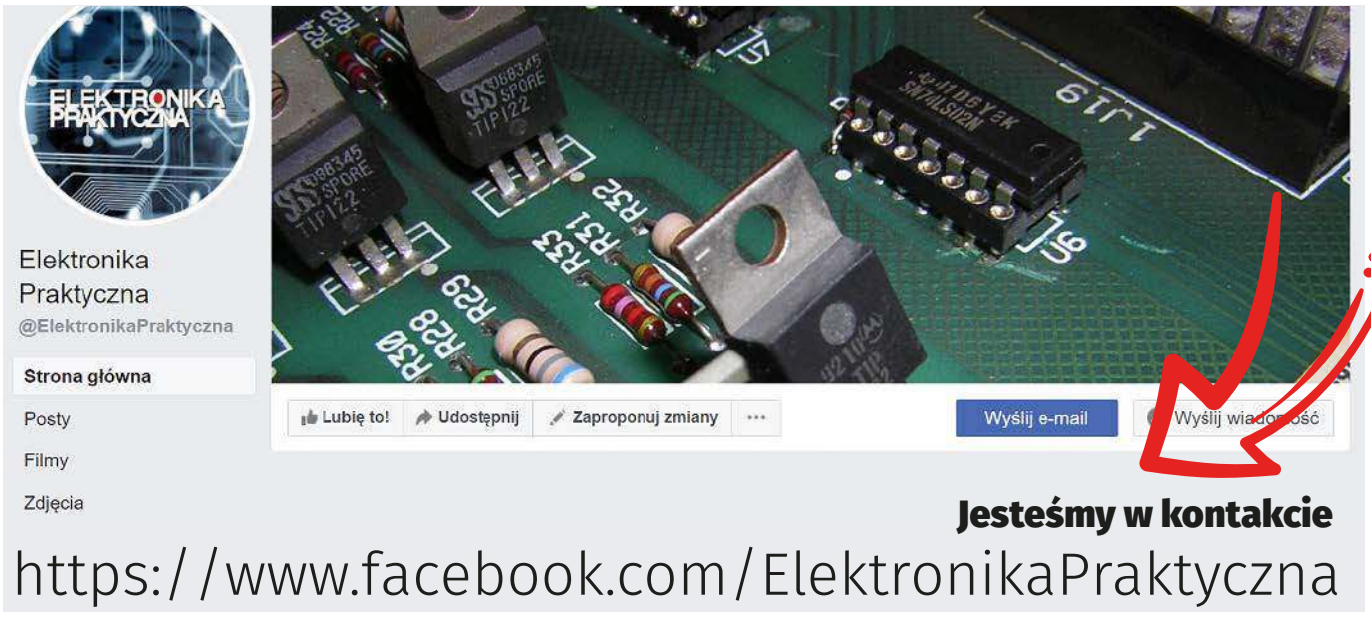
Urządzenie wyposażono w zaawansowany czujnik ruchu, który bezzwłocznie powiadamia użytkownika o niepożądanych ruchach



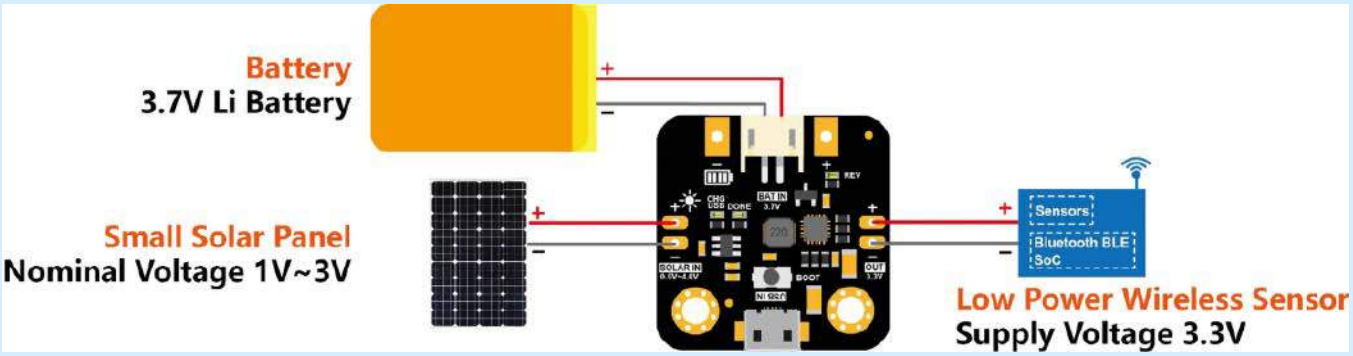
bądź aktywnościach, w tym o wtargnięciach na teren posesji, przekroczeniu wyznaczonej granicy oraz sabotażu C320WS (w ostatnim przypadku zostaje dodatkowo włączona syrena i alarm świetlny odstraszający nieproszonych gości). Wszystkie zdarzenia są prezentowane na mobilnych urządzeniach. Co więcej, rejestrowane nagrania można zapisywać na karcie microSD o pojemności do 256 GB włącznie. Urządzenie dysponuje trybem nocnym zapewniającym barwne wideo w warunkach zmierzchu. Dodatkowo kamera zapewnia dwustronną rozmowę np. z kurierem, który przywiózł paczkę (można go poprosić o jej zostawienie bezpośrednio przed drzwiami).

Konfiguracja i obsługa jest przy tym intuicyjna – przygotowana na system Android oraz iOS aplikacja Tapo pozwala na szybką i samodzielną instalację urządzenia oraz efektywne jego zarządzanie (w szczególności obsługuje ona do 32 kamer i pozwala na podgląd z czterech różnych urządzeń na jednym ekranie). Istnieje możliwość integracji produktu z Asystentem Google i Amazon Alexa (jest on tym samym sterowany głosowo). Model C320WS może łączyć się zarówno z sieciami Ethernet, jak i Wi-Fi, co daje większy wybór miejsc do jego instalacji (w zestawie znajduje się komplet montażowy). Pyłoszczelność i odporność jest zadana klasą IP66, a gwarancja trwa dwa lata.

https://bit.ly/3HJ9mcU



eprasa.pl 5d23d6856a

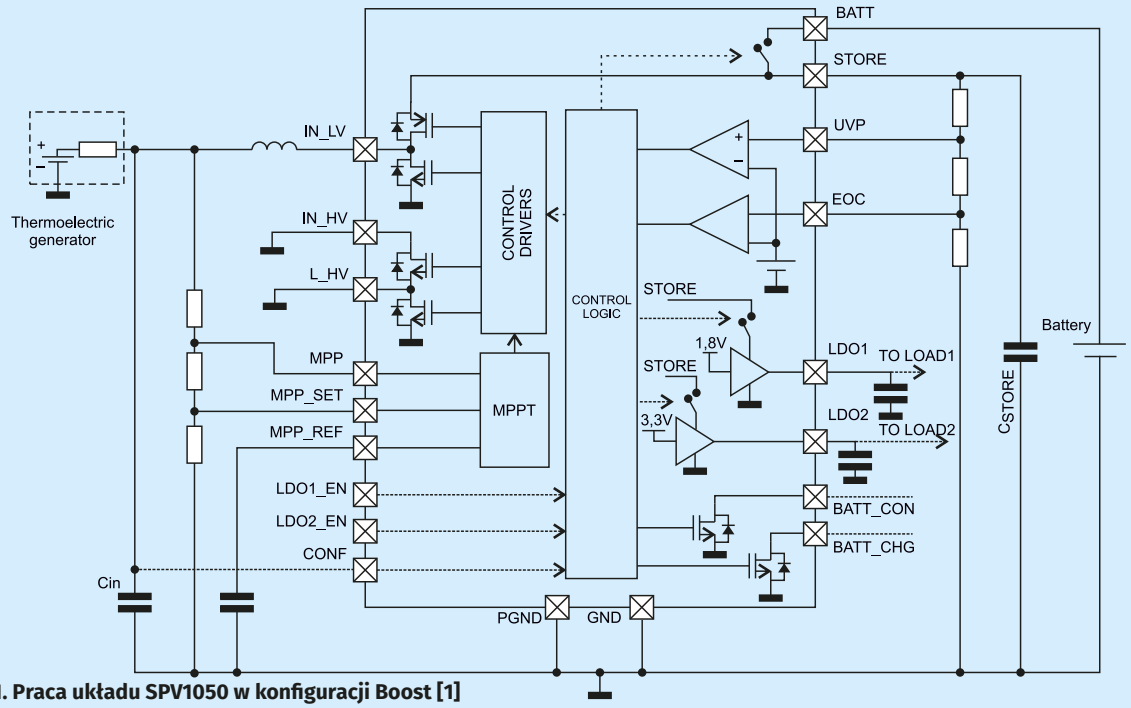


Systemy dla Internetu Rzeczy (56)

Układ SPV1050 firmy ST Microelectronics do pozyskiwania energii słonecznej i termalnej

Pozyskiwanie energii fotowoltaicznej nabiera coraz większego znaczenia. W tej serii warsztatów przeprowadzamy próby z różnymi układami scalonymi przeznaczonymi do tego. W pierwszym odcinku zajęliśmy się zasadą działania ogniwa fotowoltaicznego, układu MPPT oraz pracą modułu Solar DFR0559 Power Manager firmy DFRobot z układem CN3065 firmy Consonance Electronic [S49]. W kolejnym odcinku pracowaliśmy z modułem CJMCU-2557 z układem BQ25570 firmy Texas Instruments [S51]. W ostatnim odcinku sprawdziliśmy zestaw ewaluacyjny EVK10330 firmy E-peas z układem najnowszej (trzeciej) generacji AEM10330 [S55]. Została tam opisana analiza budżetu mocy. Teraz czas na następny popularny układ scalony.

Firma ST Microelectronics oferuje układ SPV1050 przeznaczony do pozyskiwania energii fotowoltaicznej i termalnej w aplikacji bez transformatora. Jest to energooszczędny i wysokowydajny menedżer mocy. Zwiera przetwornicę podwyższająco-obniżającą, co umożliwia pracę ze źródłem energii o bardzo dużej rozpiętości napięcia od 150 mV (500 mV, 30 µA zimny start) do 18 V. Jego schemat blokowy



Rysunek 1. Praca układu SPV1050 w konfiguracji Boost [1]

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

eprasa.pl 5d23d6856a

został pokazany na **rysunku 1**. Źródło napięcia wejściowego jest dołączone do przetwornicy DC/DC, której napięcie wyjściowe VSTORE jest dołączone do wyprowadzenia STORE z dołączonym kondensatorem. Wyjście BATT_CHG sygnalizuje pracę przetwornicy DC/DC (aktywne w stanie niskim). Wyjście BATT_CON sygnalizuje połączenie pomiędzy wyprowadzeniami STORE i BAT – ładowanie akumulatora (aktywne w stanie niskim). Element magazynujący energię – akumulator lub superkondensator, jest dołączony do wyprowadzenia BAT (o prądzie 70 mA maks.).

Automatyka nadzorowania napięcia na akumulatorze jest zdefiniowana przez zewnętrzne rezystory. Napięcie V_{EOC} zawiera się w zakresie 2,6...5,3 V dla pełnego naładowania akumulatora (zabezpieczenie przepięciowe) oraz napięcie V_{UVP} w zakresie 2,2...3,6 V (zabezpieczenie rozładowania).

Do wyprowadzenia STORE dołączone są regulatory LDO1 (1,8 V 200 mA) oraz LDO2 (3,3 V 200 mA) z indywidualnymi wejściami zezwalania.

Przetwornica DC/DC układu może być skonfigurowana do pracy w dwóch trybach [1]:

- W konfiguracji Boost (wyprowadzenie CONF podłączone do źródła zasilania) układ wymaga do zimnego startu napięcia wejściowego V_{EN_TH}=550 mV i 30 µA. Po naładowaniu akumulatora napięcie wejściowe może wynosić od 150 mV do V_{EOC}. W zakresie napięcia wyjściowego $0 \le V_{STORE} < 2,6$ V podwyższanie napięcia jest realizowane przez zintegrowaną wysokowydajną pompę ładunkową, podczas gdy stopień przetwornicy DC-DC pozostaje wyłączony.
- W konfiguracji Buck-Boost (wyprowadzenie CONF podłączone do masy), układ scalony wymaga do zimnego startu napięcia wejściowego 2,6 V i 5 µA. Podczas pracy normalnej napięcie wejściowe może wynosić od 150 mV do 18 V.

Układ może znajdować się w jednym z trzech trybów:

- tryb wyłączenia (*shutdown*) – przed pierwszym uruchomieniem lub gdy BATT_CONN=H;
- tryb oczekiwania (*standby*) – wyłączona przetwornica DC/DC, BATT_CONN=L, BATT_CHG=H, VMPP<V_{EN_TH}, LDO1,2_EN=L
- tryb pracy normalnej (*operating*) – BATT_CONN=L, BATT_CHG=H, LDO1_EN=H lub LDO2_EN=H

Wewnętrzny algorytm MPPT o wysokiej dokładności może być używany do maksymalizacji mocy pobieranej z panelu fotowoltaicznego (PV) lub ogniwa Peltiera (TEG).

Płytki z układem ST1050

Jest dostępnych kilka płytek ewaluacyjnych z układem SPV1050. Producent układu oferuje kilka zestawów przeznaczonych różnym zastosowaniom [1]:

- STEVAL-ISV019V1 – konfiguracja Boost, moduł zoptymalizowany do pozyskiwania energii z paneli fotowoltaicznych o parametrach: 0,5 V≤VMP≤2,5 V, 30 µA≤IMP≤20 mA. Ładuje akumulator do 4,25 V, zabezpieczenie rozładowania jest ustawione na wartość 3,7 V;
- STEVAL-ISV020 V1 – konfiguracja Buck-Boost, zoptymalizowany do pozyskiwania energii z paneli fotowoltaicznych o parametrach: 2,6 V≤VMP≤9 V, 10 µA≤IMP≤20 mA. Ładuje akumulator do 4,25 V, zabezpieczenie rozładowania jest ustawione na wartość 3,7 V;
- STEVAL-ISV021 V1 – konfiguracja Buck-Boost, zoptymalizowany do pozyskiwania energii z paneli fotowoltaicznych o parametrach (dla oświetlenia 200 lux): 8 V≤VMP≤9,8 V, 18 µA≤IMP≤20 µA. Ładuje akumulator do 4,25 V, zabezpieczenie rozładowania jest ustawione na wartość 2,75 V;
- STEVAL-GPT001 V1 – zegarek z cienkowarstwowym panelem słonecznym i akumulatorem 3,7 V/100 mAh.

Są także dwa zestawy innych producentów, które omówimy w dalszej części artykułu.



Fotografia 1. Płytka Peltier Click firmy MikroElektronika (Mikroe) [4]

Zestaw ewaluacyjny MIKROE-3814 Peltier Click firmy MikroElektronika

Płytka Peltier Click firmy MikroElektronika (Mikroe) jest wyposażona w układ SPV1050 pracujący w konfiguracji Boost (zgodny z aplikacją z rysunku 1). Do złącza BATT należy dołączyć akumulator 3,7 V (zakres pracy 2,2...5,3 V). Moduł jest zoptymalizowany do pracy z układem termoelektrycznego generowania energii elektrycznej TEG (*Thermoelectric Generator*) dołączonym do złącza VIN. TEG przekształca ciepło bezpośrednio w energię elektryczną zgodnie z efektem Seebecka. Najczęściej stosowana jest płytka (ogniwo, moduł) Peltiera. MPPT pracuje z ustawieniem 50% wejściowego napięcia. Na złącza wyprowadzone są wyjścia regulatorów LDO 1,8 V i 3,3 V (**fotografia 1**). Nie ma wyprowadzonego wyjścia STORE. Bardzo utrudnia to obserwowanie pracy układu SPV1050. Wejścia LDO1_EN i LDO2_EN oraz wyjścia BATT_CHG i BATT_CONN mają dołączone rezystory podciągające do linii VCC złącza rozszerzeń. Oznacza to, że w celu włączenia LDO do tej linii trzeba dołączyć napięcie większe niż 0,5 V. Niestety, mogą pracować tylko oba LDO albo żaden. Do linii VCC dołączona jest dioda LED poprzez rezystor 470 Ω. Utrudnia to ocenę wydajności pozyskiwania energii przez moduł przy pracy samodzielnej.

Praca z płytką MIKROE-3814 Peltier Click

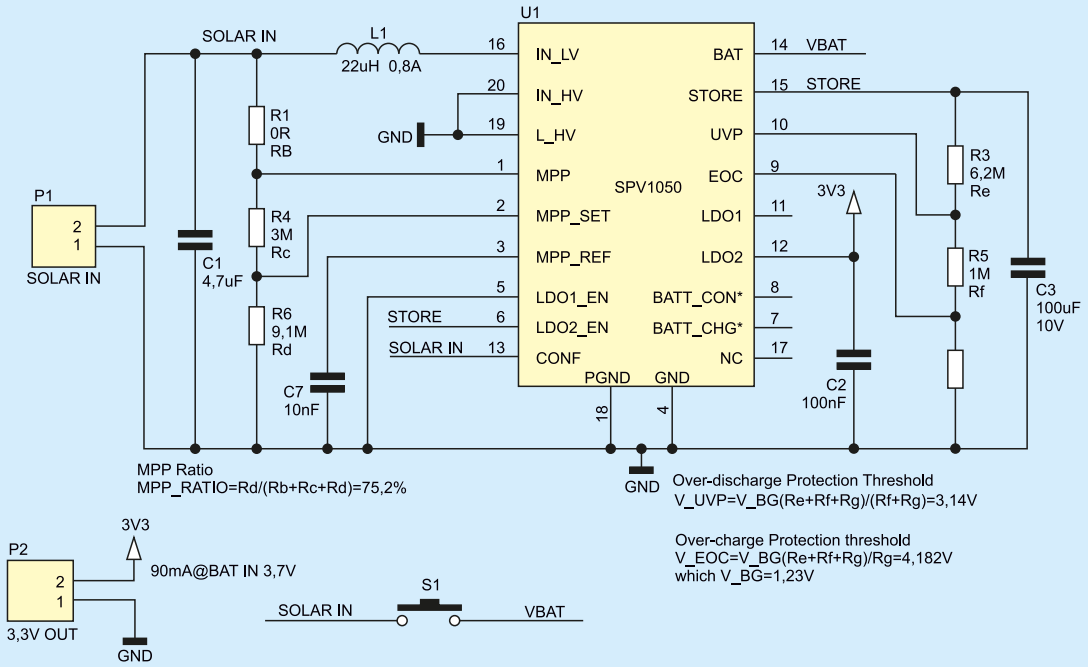
Do eksperymentów został zastosowany moduł Peltiera TEC1-12706 (MIKROE-3828) o mocy 50 W (przy różnicy temperatur 66°C), napięcie



Fotografia 2. Zestaw ewaluacyjny Solar Power Manager Micro DFR0579 firmy DFRobot [5]

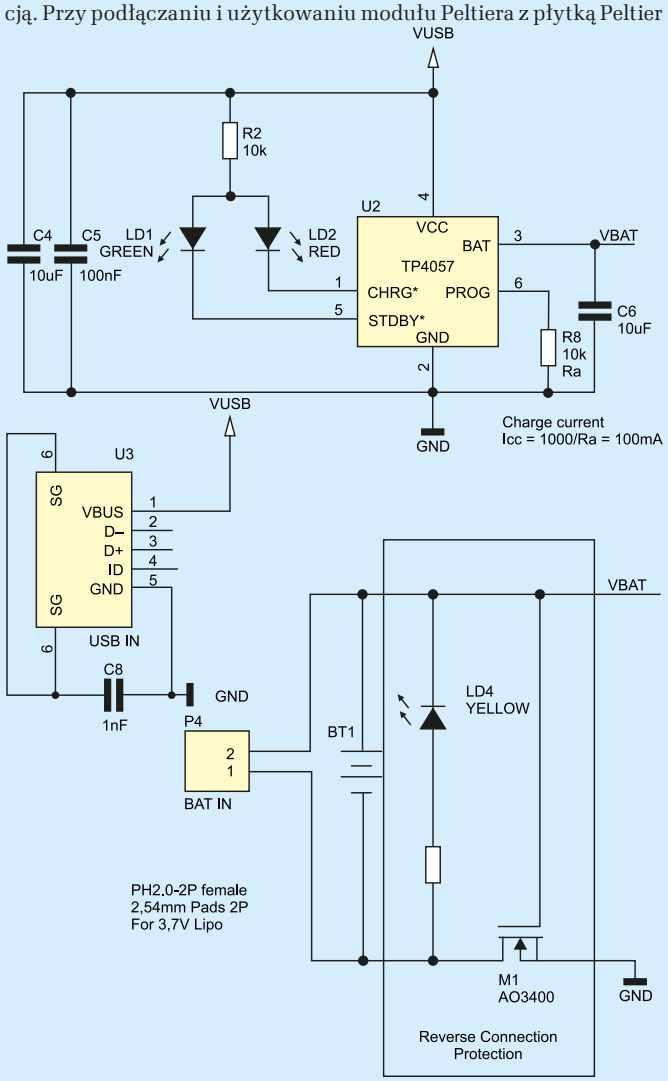
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 5d23d6856a



Rysunek 2. Skonfigurowanie układu SPV1050 na płytce Micro Solar Power Manager DFR0579 [5]

znamionowe 12 V (6 A) oraz powierzchnia 40×40×3,9 mm [4]. Moduły mają dołączone miękkie przewody długości 30 cm z teflonową izolacją. Przy podłączaniu i użytkowaniu modułu Peltiera z płytką Peltier Click należy zwrócić uwagę na polaryzację generowanego napięcia gdyż moduł nie zawiera zabezpieczenia przed odwrotnym dołączeniem biegunów. Moduł Peltiera ma dosyć małe rozmiary co utrudnia wymianę ciepła z otoczeniem. Wydaje się, że poprawę warunków pracy można uzyskać po dołączeniu radiatorów.



Rysunek 3. Skonfigurowanie układów pomocniczych na płytce Micro Solar Power Manager [5]

Zestaw ewaluacyjny Solar Power Manager Micro DFR0579 firmy DFRobot

DFR0579 firmy DFRobot to moduł zarządzania energią słoneczną wyposażony w układ SPV1050 [5]. W zestawie dostarczana jest płytka drukowana, kabelki oraz monokrystaliczny panel fotowoltaiczny (**fotografia 2**). Układ SPV1050 pracuje w konfiguracji Boost, schemat konfiguracji układu został pokazany na **rysunku 2**.

Typowy układ pracy zestawu został pokazany na rysunku tytułowym [6]. Do wejścia SOLAR IN (0,5...4 V) trzeba dołączyć panel fotowoltaiczny z nominalnym napięciu 1...3 V. Automatyka MPPT pracuje z ustawieniem 75% wejściowego napięcia na nie obciążonym panelu. Przy konfiguracji BOOST układu SPV1050 maksymalne napięcie na wejściu SOLAR IN wynosi BAT IN + 0,3 V. Dla w pełni naładowanego akumulatora 3,7 V daje to 4,5 V. Moduł nie ma zabezpieczenia wejścia. Należy utrzymywać napięcie wejściowe poniżej 4 V aby nie nastąpiło zniszczenie układu SPV1050.

Na płytce jest zamontowany przycisk BOOT (S1), który po przyciśnięciu podaje napięcie z akumulatora (VBAT) na wejście SOLAR IN. Powoduje to przejście układu SVT1050 do trybu pracy normalnej i obniżenie wymaganego napięcia wejściowego do 0,15 V. Do Złącza BAT IN trzeba dołączyć akumulator 3,7 V, prąd ładowania do 70 mA (SOLAR IN) lub do 100 mA (USB IN). Złącze BAT IN jest zabezpieczone tranzystorem M1 przed odwrotną polaryzacją dołączenia akumulatora (**rysunek 3**). W takiej sytuacji świeci dioda REV (LD4). Zabezpieczenie przeładowania jest ustawione na 4,2 V a rozładowania na 3,1 V. Na złączu OUT jest dostarczane regulowane napięcie 3,3 V 90 mA (dla napięcia BAT IN 3,7 V).

Moduł jest również wyposażony w gniazdko Micro-USB oraz układ ładowarki akumulatorów TP4057 (rysunek 3). Układ ma ustawiony rezystorem prąd ładowania na 100 mA (przy pomocy rezystora R8). Wyjście układu TP4057 jest dołączone bezpośrednio do akumulatora. Aby uniknąć konfliktów nie należy ładować akumulatora jednocześnie z dwóch źródeł (SOLAR IN). Ładowarka służy do szybkiego naładowania (lub doładowania) akumulatora. Powoduje

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

eprasa.pl 5d23d6856a

to natychmiastowe rozpoczęcie pracy po dołączeniu panela fotowoltaicznego.

Na płytce są zamontowane dwie diody LED:

- CHG USB (LD2, czerwona) – sygnalizuje obecność napięcia zasilania z gniazda USB (rozpoczęcie ładowania), po naładowaniu akumulatora przestaje świecić. Gdy nie ma dołączonego akumulatora to przy obecności napięcia zasilania z gniazdka USB dioda miga.
- DONE (LD1, zielona) – zakończenie ładowania (4,2 V) i przejście do ładowania podtrzymującego (10% normalnego prądu ładowania).

Po odłączeniu napięcia wejściowego USB układ TP4057 przechodzi w stan niskiego poboru mocy z prądem upływu akumulatora poniżej 2 µA.

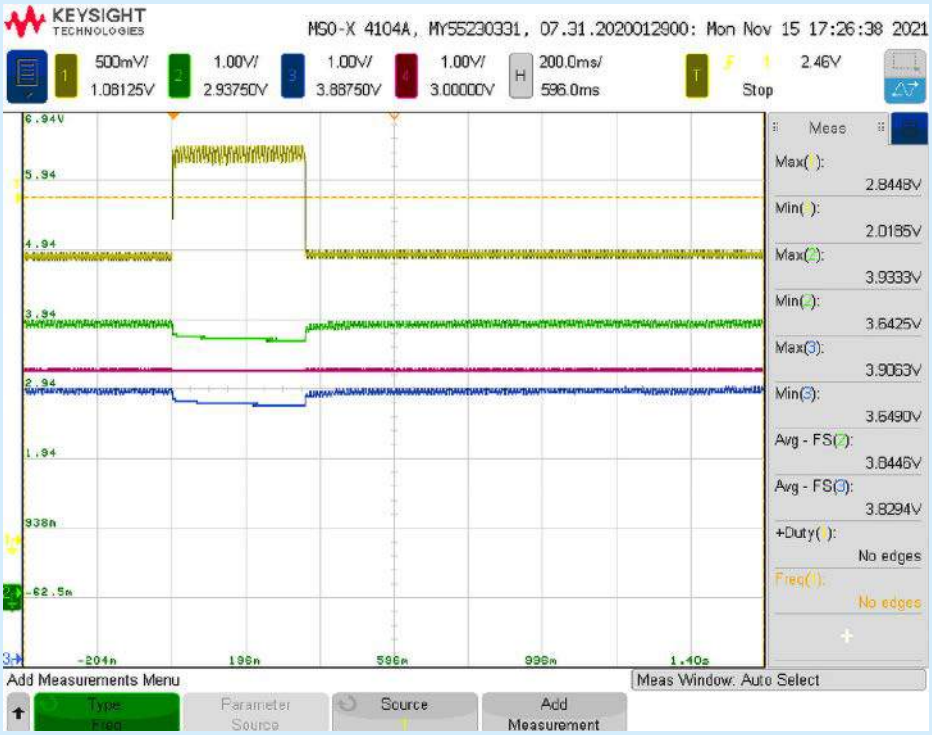
Należy zwrócić uwagę na pewne kwestie:

- gdy do modułu podłączony jest tylko panel fotowoltaiczny bez akumulatora, wyjście OUT nie jest aktywne;
- jeśli do wejścia SOLAR IN nie jest podłączony panel fotowoltaiczny, to wyjście OUT nie jest aktywne przy pierwszym dołączeniu akumulatora lub przy każdej jego wymianie. Krótkie naciśnięcie przycisku BOOT spowoduje podanie napięcia 3,3 V na wyjście OUT;
- wyjście OUT zostanie natychmiast wyłączone, gdy wystąpi zwarcie lub przeciążenie. Po rozwiązaniu problemu trzeba krótko nacisnąć przycisk BOOT, aby ponownie aktywować pracę układu.

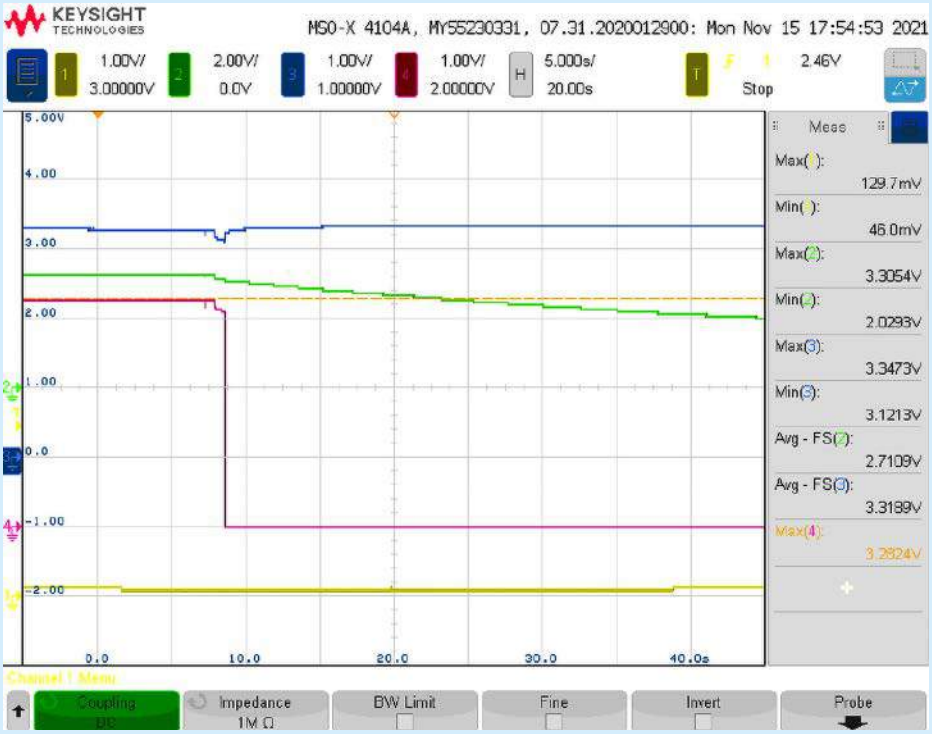
Praca z płytką DFR0579

W zestawie Solar Power Manager Micro DFR0579 razem z płytką dostarczany jest monokrystaliczny panel fotowoltaiczny AK50x50, 50×50 mm, 2 V 160 mA (nominalnie) [2]. Według dokumentacji, wraz ze wzrostem napięcia generowanego przez panel rośnie prąd ładowania akumulatora (odpowiednio): 1/2/3/4 V – 13/30/50/70 mA.

Próby przeprowadzono z płytką DFR0579 dołączoną do różnych



Rysunek 4. Impuls pomiarowy MPPT układu SPV1050



Rysunek 5. Reakcja układu SVP1050 na znaczne obniżenie oświetlenia

Wybrane artykuły kursu „Systemy dla Internetu Rzeczy" w miesięczniku „Elektronika Praktyczna"
[S49] Pozyskiwanie energii słonecznej, śledzenie maksymalnego punktu mocy (MPPT), EP 6/2021
[S51] Pozyskiwanie energii słonecznej – układ BQ25570, EP 8/2021
[S55] Zestaw ewaluacyjny EVK10330 firmy E-peas pozyskiwania energii słonecznej, EP12/2021

Literatura

[1] SPV1050 Ultra low power energy harvester and battery charger with embedded MPPT and LDOs, ST Microelectronics, https://bit.ly/3F47euz
[2] Ultralow power energy harvester and battery charger 6,0, DS10044, 12 Oct 2021, ST Microelectronics, https://bit.ly/3pYBO4m
[3] PELTIER CLICK PID: MIKROE-3814, MikroElektronika, https://bit.ly/3JOeez9
[4] Thermoelectric Peltier Modules Peltier Element TEC1-12706, MIKROE-3828, https://bit.ly/335JWae
[5] Solar Power Manager Micro (2 V 160 mA Solar Panel Included), DFR0579, DFRobot, https://www.dfrobot.com/product-1781.html
[6] Solar Power Manager Micro SKU DFR0579, DFRobot, https://bit.ly/3GfVNRy
[7] Solar Panel LL200-2.4-75, PowerFilm, https://bit.ly/3xKWn6r

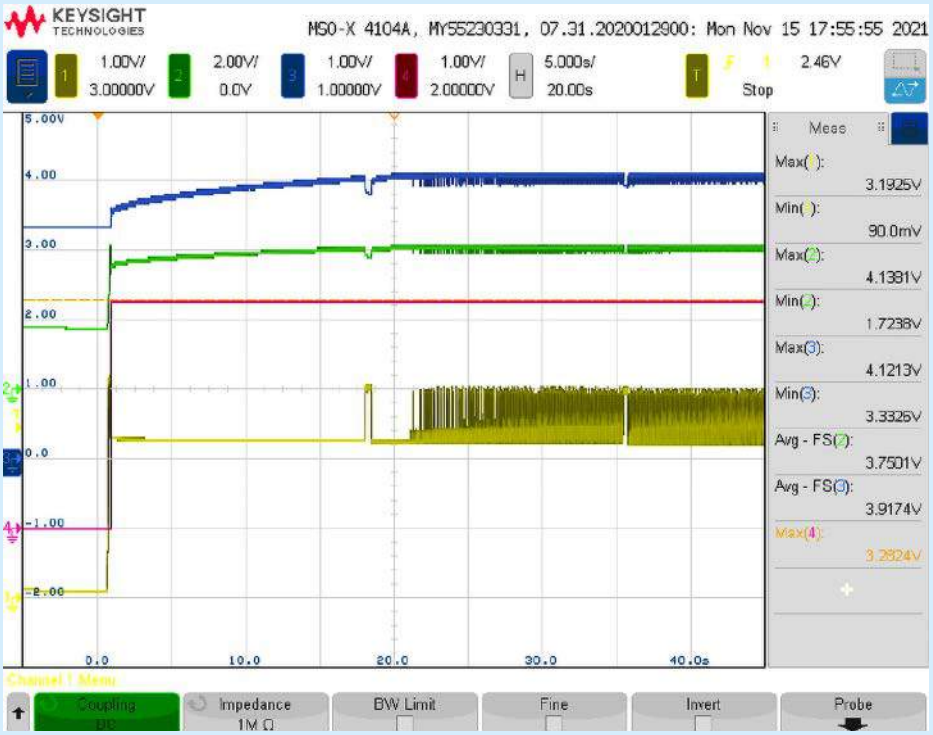
Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 5d23d6856a

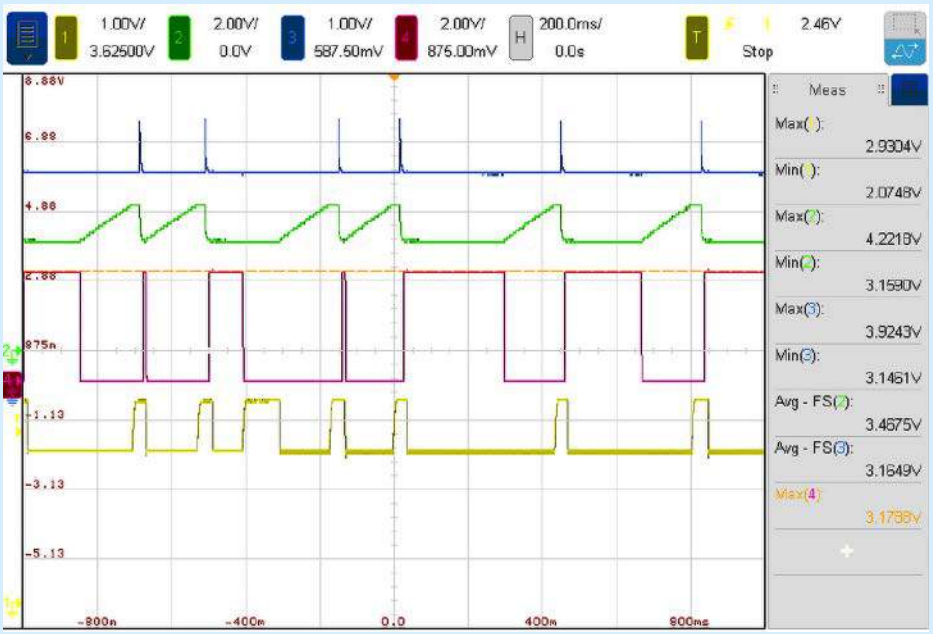
paneli słonecznych. Panele umieszczone były za szybą w oknie z wystawieniem południowo-zachodnim w terenie częściowo ocienionym drzewami. Na początku został zastosowany panel monokrystaliczny dołączony do zestawu: napięcie obwodu otwartego Voc=2,4 V, prąd zwarciowy Isc=190 mA. W warunkach sporego zaciemnienia panel okazał się zbyt mało wydajny.

Następnie został zastosowany panel elastyczny z krzemu amorficznego – LL200-2.4-75 (PowerFilm) o rozmiarach 94,0×73,0×0,22 mm, Voc=3,7 V [7]. Panel jest przeznaczony do pracy we wnętrzach i ma dobre parametry w warunkach niskiego poziomu oświetlenia: 200 lux – 1,6 V; 0,181 mA (średnie Voc: 2,4 V, Isc: 0,2 mA), 1000 lux – 2,1 V; 0,904 mA (średnie Voc: 2,7 V, Isc: 1,2 mA). Przykład pracy w warunkach dużego poziomu oświetlenia z zastosowaniem akumulatora LI-Ion został pokazany pokazany na **rysunku 4**. Przypisanie sygnałów: CH1 – Vin, CH2 – Vstore, CH3 – Vbat, CH4 – Vout. Na oscylogramie widoczny jest impuls pomiarowy MPPT. Po pomiarze napięcia Vin na nieobciążonym panelu fotowoltaicznym (2,8448 V) zostały przez MPPT ustawione warunki pracy z napięciem wejściowym na poziomie 70% wartości zmierzonej.

Przykład reakcji układu na znaczne obniżenie oświetlenia został pokazany na **rysunku 5**. Przy spadku napięcia Vstore poniżej progu odłączany jest akumulator oraz wyłączany jest regulator LDO 3,3 V. Kondensator dołączony do wyprowadzenia STORE dalej się rozładowuje. Przykład reakcji układu na duży wzrost poziomu oświetlenia, przy częściowo naładowanym akumulatorze, został pokazany na **rysunku 6**. Układ szybko doładował akumulator do napięcia granicznego i przeszedł w tryb podtrzymania z impulsowym doładowywaniem.



Rysunek 6. Reakcja układu SVP1050 na duży wzrost poziomu oświetlenia



Rysunek 7. Praca układu SPV1050 z kondensatorem 0,35 F w pochmurny dzień

Przeprowadzono próbę z zastosowaniem dwóch paneli elastycznych z krzemu amorficznego to LL200-2.4-75 (PowerFilm) połączonych równolegle. Jako element magazynujący energię został zastosowany superkondensator 0,35 F/5,2 V. Przy wysokim poziomie oświetlenia kondensator był ładowany szybko. Ale też szybko się rozładowywał przy niedużym obciążeniu – 10 kΩ na wyjściu Vout 3,3 V. Przykład zachowania układu w pochmurny dzień pokazuje **rysunek 7**. Przypisanie sygnałów: CH1 – Vin, CH2 – Vstore, CH3 – Vbat, CH4 – Vout. Nawet tak nieduże obciążenie wyjścia powodowało niestabilne kluczowanie napięcia na wyjściu LDO 3,3 V. W tych warunkach pracy wymagana jest dużo większa pojemność superkondensatora.

Podsumowanie

Użycie płytki Peltier Click firmy MikroElektronika (Mikroe) samodzielnie, bez dołączenia zewnętrznego napięcia do złącza VCC okazało się niemożliwe. Po dołączeniu modułu Peltiera do wejścia układu scalonego SPV1050 okazało się, że uzyskiwane napięcia wejściowe są zbyt niskie aby układ rozpoczął pracę. Konieczne będą próby z lepszym odprowadzaniem/doprowadzaniem ciepła do modułu Peltiera.

Znacznie lepiej przebiegły próby z modułem DFR0579 firmy DFRobot. Przy naładowanym akumulatorze zestaw z dwoma panelami fotowoltaicznym w słoneczne dni pracował poprawnie. Jednak pochmurne dni (a takie są teraz typowe w Polsce w sezonie jesienno-zimowym) spowodowały konsekwentne rozładowywanie akumulatora. Dołączenie superkondensatora o stosunkowo małej pojemności 0,35 F i małym obciążeniu 10 kΩ spowodowało niestabilną pracę układu SPV1050. Co więcej wymagany jest superkondensator o wysokim napięciu pracy – ponad 5 V, a obecnie są one relatywnie drogie.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

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

eprasa.pl 5d23d6856a

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 2/2022

Mikroprocesorowa ładowarka do akumulatorków AA oraz AAA

Zaprezentowana ładowarka do akumulatorków, ma możliwość ładowania oraz rozładowywania każdego akumulatorka indywidualnie. Wartość prądu ładującego/rozładowującego można regulować. Urządzenie zostało wyposażone w kolorowy 4-calowy wyświetlacz dotykowy, na którym wyświetlana jest aktualna wartość prądu płynącego do akumulatorka, zmierzone napięcie oraz zgromadzony ładunek. Ładowarka ma także diody sygnalizacyjne informujące użytkownika o zakończeniu procesu ładowana lub rozładowania. Po zakończeniu ustawia prąd konserwujący utrzymujący ogniwo w stałej gotowości. Inicjatywą do opracowania ładowarki był fakt, że ciągle przybywa urządzeń zasilanych bateryjnie. Często w zestawie z akumulatorkami jest dostarczana najprostsza ładowarka, która bazuje na najtańszym rozwiązaniu i powoduje przeładowanie lub niedoładowanie ogniw.

Zasilacz bezprzerwowy z akumulatorem litowym dla RPi Pico

W wielu aplikacjach konieczne jest zapewnienie bezprzerwowego zasilania dla modułu Raspberry Pi Pico. Zastosowanie powerbanku jest rozwiązaniem, pod wieloma względami nieoptymalnym. Znacznie lepiej sprawdzi się specjalizowany zasilacz bezprzerwowy. Oprócz zapewnienia stabilnego zasilania dla Pico, kontroluje ładowanie akumulatora podtrzymującego oraz pozwala na monitorowanie stanów pracy i awarii zasilania, czego nawet najlepszy powerbank nie zapewni.

Minimoduł interfejsu aparatury kontrolnej i sygnalizacyjnej standardu M22

Moduły takie jak RPi czy Arduino często są stosowane w aplikacjach, gdzie warunki pracy nie należą do najłatwiejszych – dotyczy to m.in. temperatury czy zapylenia. Zastosowanie aparatury kontrolno-sygnalizacyjnej, zaprojektowanej do pracy w środowisku przemysłowym staje się wtedy koniecznością. Interesującym rozwiązaniem jest osprzęt w systemie modułowym M22. Aparatura zaprojektowana jest w formie składanych elementów łączących, sygnalizacyjnych, manipulacyjnych oraz łączącej je mechanicznie ramki montażowej. Podłączenie elektryczne elementów stykowych jest łatwe, większym problemem jest sterowanie elementami sygnalizacyjnymi – większość typów toleruje napięcie z zakresu 12...30 V AC lub DC. Zaprezentowany moduł pozwoli na szybkie dostosowanie uniwersalnych modułów do osprzętu tego typu.

Regulator jasności LED sterowany pilotem od TV

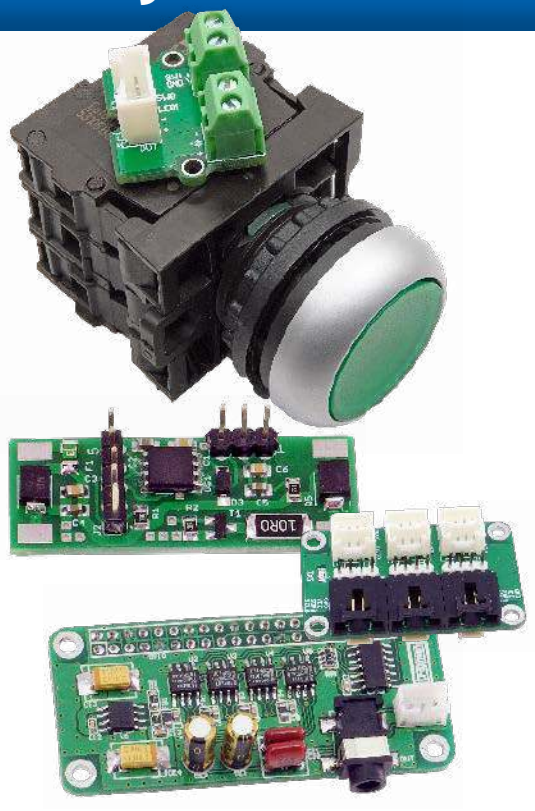
Diody LED są już od dawna stosowane w wielu miejscach jako wydajne i niezawodne źródła światła. Zaprezentowany układ pozwala w wygodny sposób sterować ich jasnością przy urzyciu zwykłego pilota od telewizora, nadającego w standardzie RC5. Można taki nabyć za dosłownie kilka złotych, a często już taki mamy. Jest przede wszystkim estetycznym urządzeniem, które może posłużyć do realizowania praktycznych zadań, np. do sterowania jasnością nastrojowego podświetlenia salonu lub sypialni. Układ nie wymaga żadnego uczenia, bowiem wszystkie komendy pilota zostały ustalone w oprogramowaniu mikrokontrolera.

„Vintage” audio DAC dla RPi Zero i nie tylko

Zaprezentowany DAC bazuje na układzie TDA1387T. Jest on młodszy od pierwowzoru który jest popularny w konstrukcjach DIY – TDA1543, dzięki temu ma kilka usprawnień, takich jak: obsługa wyższych częstotliwości próbkowania – 192 kHz, autokalibracja, mniejsza obudowa oraz prostsza aplikacja. Połączenie nowoczesnego Raspberry Pi, z krzemową prehistorią, daje interesujące efekty.

Ponadto tematy wiodące EP 2/2022:

• Projektowanie i produkcja PCB
• Zasilacze modułowe



Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

BORNICO....9
AKSOTRONIK....21
ARMEL....7
COMPUTER CONTROLS....11, 58
ELECTRO-WELLE....112
ELMAX....13
FERYSTER....7
GAMMA....7
HAMMOND....37
MICROS....27
PIEKARZ....7
RENEX....7
TARGI AUTOMATICON....57

Miesięcznik **„Elektronika Praktyczna”** (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT-Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.

Wydawnictwo:
AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: redakcja@ep.com.pl, www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Damian Sosnowski

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Grzegorz Becker

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64
Bożena Krzykawska, tel. 22 257 84 42
Grzegorz Krzykawski, tel. 22 257 84 60

Stali Współpracownicy:
Lucjan Bryndza, Nikodem Czechowski, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Henryk Kowalski, Rafał Kozik, Michał Kurzela, Przemysław Musz, Szymon Panecki, Sławomir Skrzyński, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Jakub Tyburski, Robert Wołgajew

Uwaga!
Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

DTP i okładka:
MAD Sp. z o.o.

Redakcja strony internetowej www.ep.com.pl
MAD Sp. z o.o.

Prenumerata w Wydawnictwie AVT
www.ulubionykiosk.pl lub tel. 22 257 84 22 (godz. 10:00–14:00)
e-mail: prenumerata@avt.pl

Prenumerata w RUCH S.A.
www.prenumerata.ruch.com.pl
lub tel. 801 800 803, 22 717 59 59
e-mail: prenumerata@ruch.com.pl

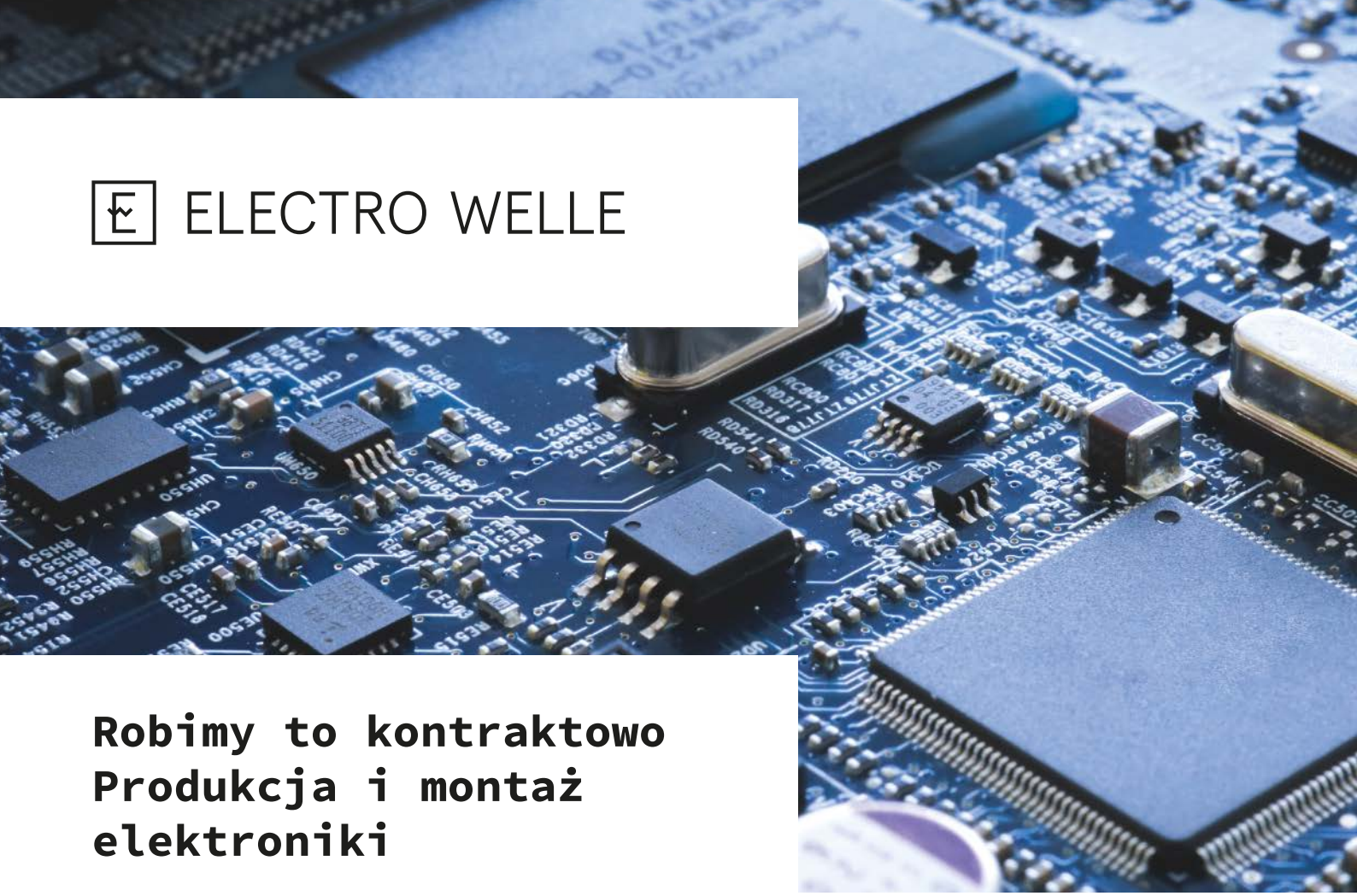
Wydawnictwo AVT-Korporacja Sp. z o.o. należy do **Izby Wydawców Prasy**

Copyright AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej” mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej” jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”.

Fotografia na okładce:
By MW AHM – Own work, CC BY-SA 4.0, https://bit.ly/3DjQBKn

eprasa.pl 5d23d6856a

ELECTRO WELLE



Robimy to kontraktowo
Produkcja i montaż elektroniki

Działamy w obszarach:

- Dostawa obwodów drukowanych PCB
- Montaż automatyczny SMD
- Montaż THT (ręczny lub na fali)
- Montaż zgodnie z normą IPC-A-610-E
- Kontrola AOI, test X-ray
- Kompletacja podzespołów elektronicznych
- Montaż końcowy, testy funkcjonalne
- Lakierowanie obwodów drukowanych
- Kompleksowa obróbka przewodów (cięcie, odizolowywanie, zakuwanie)
- Produkcja szaf i obudów metalowych
- Prowadzenie magazynu \ logistyka

Bazując na wieloletnim doświadczeniu cały czas zwiększamy ilość usług z zakresu produkcji kontraktowej elektroniki. Realizujemy zamówienia od prototypów po produkcje wielkoseryjną. Cechuje nas elastyczność produkcji oraz terminowość realizacji zleceń.

Kontrola każdego etapu prac zwiększa jakość wykonywanych zadań. Współpracujemy z klientami z różnych branż rynku i regionów Polski i świata. Wspieramy wiedzą i pomagamy skutecznie ograniczyć koszty produkcji.

Zainteresowany? Sprawdź nas!
Napisz na: montaz@electro-welle.pl
i dowiedź się więcej
lub zadzwoń - 538 239 729

Znajdziesz nas pod adresem:
Electro-Welle
Marcinkowice 440 \ 33-393 Marcinkowice
www.electro-welle.pl

eprasa.pl 5d23d6856a