TRANSFORMATORY I ELEMENTY INDUKCYJNE

www.ep.com.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA +FTP

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● Listopad ● 11/2021 ●

EP W TOKU
NA EP.COM.PL

tylko Prenumeratorzy
mają dostęp do artykułów przed ich publikacją w EP

TRANSMISJA DANYCH PRZEZ SIECI KOMÓRKOWE
TEMAT NUMERU

inspirujące, użyteczne projekty
Dwupasmowy odbiornik nasłuchowy KF. RX Wiesia 80/40 m • CLEDUV – lampa UV do manicure • Wzmacniacze wejściowe do częstościomierza. Rozszerzenie możliwości AVT3275 • Moduł żyroskopu i akcelerometru MPU-6050 • Debouncer – dwukanałowy eliminator drgań styków • Moduł z zegarem RTC i pamięcią FRAM po I²C • Przedwzmacniacz mikrofonowy z zasilaniem Phantom 48 V • Sterownik mikroserwomechanizmów do Pi Pico • Timer do pompy obiegowej • LED-owy wyświetlacz macierzowy • Kontrolowany gestami samochodzik z modułem micro:bit • Siłomierz na bazie Arduino

podzespoły, sprzęt, aplikacje
Sieci komórkowe w systemach embedded • BDMS – modułowy system BMS • Dławiki mocy w systemach energoelektronicznych • Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE. Wielofunkcyjne front-endy biomedyczne • Transformatory i elementy indukcyjne

tutoriale
Optymalizacja poziomu EMI. Położenie indukcyjności na płytce drukowanej • Konwerter poziomów logicznych nieco inaczej • Indukcyjność rozproszenia – co warto wiedzieć? • Idealne dopasowanie wydajności i rozmiaru

kursy
Systemy dla Internetu Rzeczy. Bosch BME688 – czujnik gazu ze sztuczną inteligencją

18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR
ISSN 1230-3526 Indeks 357677
11 >
9 771230 352214

epr.sa.pl 2b951c

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.

PREZENT
do każdej opłaconej prenumeraty

Każdorazowo opłacenie prenumeraty jest premiowane prezentem. Możesz otrzymać t-shirt z logo EP (do wyboru mamy rozmiar L lub XL).
Zgłoś się po prezent mailowo – prenumerata@avt.pl.

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

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

eprasa.pl 2b951cc363

Cewka indukcyjna zupełnie od nowa

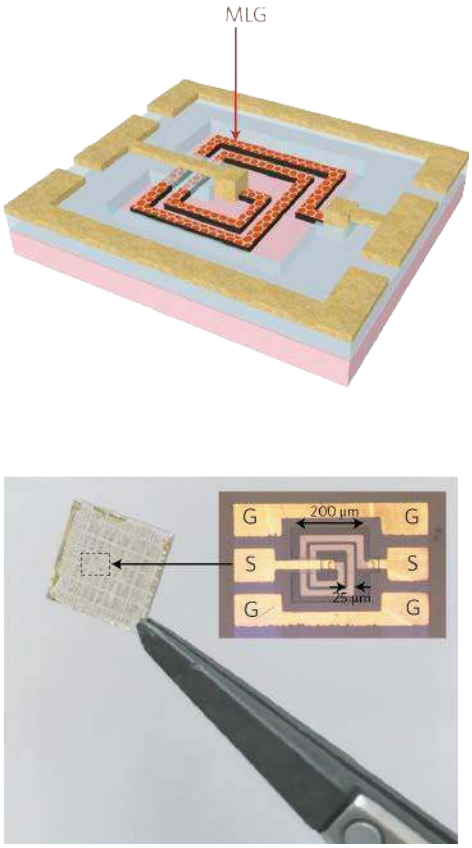
W tym wydaniu EP omawiamy tematykę elementów indukcyjnych. Mają one ogromny wpływ na rozwój współczesnej elektroniki, ponieważ są kluczowymi elementami w obwodach przetwarzających zasilanie oraz są niezbędne w układach przeznaczonych do komunikacji radiowej. Pomimo to są to elementy o nieskomplikowanej konstrukcji i zasadzie działania niezmiennej od 1831 roku, kiedy Michael Faraday odkrył zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Ich parametry zależą przede wszystkim od liczby zwojów przewodnika nawiniętego w taki sposób, aby umożliwiał wytworzenie skupionego strumienia magnetycznego podczas przepływu prądu. Dla wzmocnienia tego zjawiska wewnątrz cewki często umieszcza się rdzeń z materiału ferromagnetycznego. To wszystko sprawia, że cewki indukcyjne bardzo trudno poddają się redukcji objętości.

Naukowcy z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Santa Barbara (UCSB) opracowali zupełnie nowy typ cewki bazujący na zjawisku indukcyjności kinetycznej. Wszystkie cewki indukcyjne generują zarówno indukcyjność magnetyczną, jak i kinetyczną, ale w typowych przewodnikach metalowych indukcyjność kinetyczna jest tak niewielka, że jest niezauważalna. Jej praktyczne znaczenie występowało tylko w ekstremalnych warunkach – w nadprzewodnikach albo w obwodach o bardzo wysokiej częstotliwości. Teoria indukcyjności kinetycznej jest od dawna znana w fizyce i w uproszczeniu mówi o tym, że elektrony opierają się zmianom prędkości wywołanym przez fluktuacje natężenia prądu, zgodnie z prawem bezwładności Newtona. W konwencjonalnych przewodnikach metalicznych zjawisko to ma znikomy poziom. Parametrem, który określa jego intensywność, jest czas relaksacji pędu (*momentum relaxation time* – MRT), który wynosi od 0,001 do 0,01 pikosekundy dla miedzi stosowanej w uzwojeniach cewek. Zdecydowanie większą wartością odznacza się grafen – jest to kilka pikosekund. Jednak ma on zbyt duży opór do praktycznych zastosowań. Naukowcy z UCSB pokonali ten problem dzięki opracowaniu grafenu wielowarstwowego (*multilayer graphene* – MLG), a wyniki swojego eksperymentu opublikowali na: https://bit.ly/3EAnu6p.

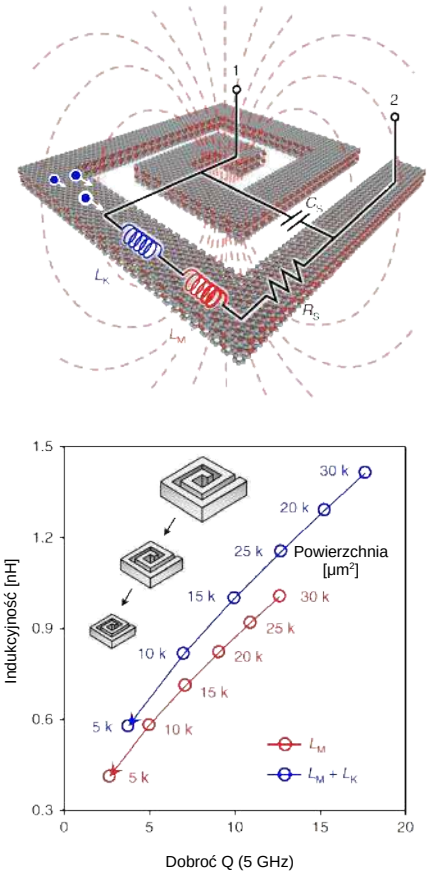
Wykonana w nowej technologii rewolucyjna cewka indukcyjna działa w zakresie częstotliwości 10...50 GHz, a jej wypadkowa indukcyjność, na którą składają się: indukcyjność magnetyczna (L_M) i indukcyjność kinetyczna (L_K), przewyższa 1,5-krotnie gęstość indukcyjności tradycyjnej cewki indukcyjnej o tych wymiarach. W efekcie pozwala to na zmniejszenie zajmowanej powierzchni o 1/3, a dodatkowo cewka jest niemal przezroczysta. Takie połączenie wysokiej indukcyjności i zmniejszonego rozmiaru było do tej pory nieuchwytną kombinacją i stanowi potencjalną ścieżkę rozwoju ultrakompaktowych systemów komunikacji bezprzewodowej w aplikacjach IoT i 5G.

Damian Sosnowski

Źrdło: https://bit.ly/3EAnu6p



Rysunek 1. Konstrukcja i wygląd cewki indukcyjnej na bazie grafenu wielowarstwowego (*multilayer graphene* – MLG)

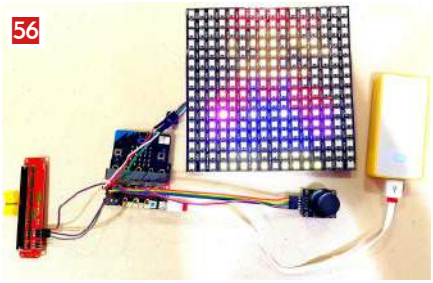


Rysunek 2. Zobrazowanie działania cewki indukcyjnej, której wypadkowa indukcyjność to suma indukcyjności magnetycznej (L_M) i kinetycznej (L_K)

eprasa.pl 2b951cc363

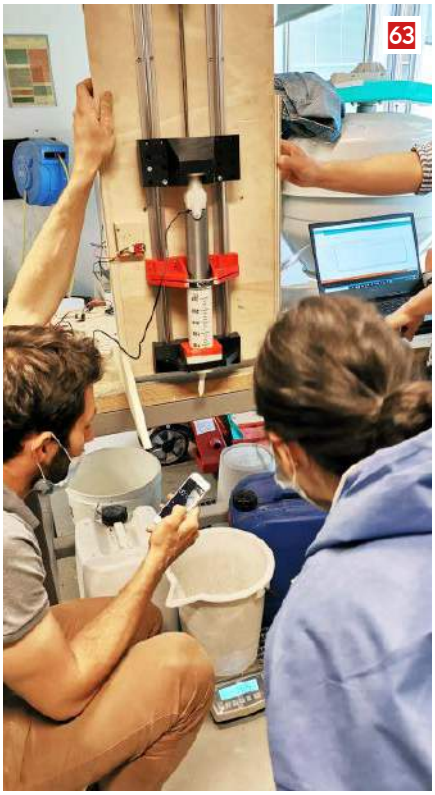
ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 11 (346) • Listopad 2021



LED-owy wyświetlacz macierzowy

We wrześniowym wydaniu „Elektroniki Praktycznej" (EP 9/21) prezentowaliśmy elektroniczny znikopis, zbudowany na bazie modułu Arduino. Projekt ten był inspiracją dla opracowania zaprezentowanego teraz urządzenia – kolejnego znikopisu, ale tym razem sterowanego za pomocą modułu micro:bit.



Siłomierz na bazie Arduino

Układ pomiarowy zaprezentowany w tym artykule jest częścią projektu inżynierskiego, którego celem było opracowanie nowego, zrównoważonego materiału do druku 3D na dużą skalę. Podczas badań nad tym nowym materiałem studenci opracowali urządzenie do pomiaru siły, potrzebnej do wytłoczenia materiału za pomocą miniaturowego modelu wytłaczarki.

Nie przeocz
Nowe podzespoły 5
Dodaj do obserwowanych 11
Koktajl niusów 96

Projekty
Dwupasmowy odbiornik nasłuchowy KF. RX Wiesia 80/40 m 18
CLEDUV – lampa UV do manicure 23
Wzmacniacze wejściowe do częstościomierza (3). Rozszerzenie możliwości AVT3275 28

Moduły w aplikacjach
Moduł żyroskopu i akcelerometru MPU-6050 34

Miniprojekty
Debouncer – dwukanałowy eliminator drgań styków 36
Moduł z zegarem RTC i pamięcią FRAM po I²C 37
Przedwzmacniacz mikrofonowy z zasilaniem Phantom 48 V 39
Sterownik mikroserwomechanizmów do Pi Pico 41
Timer do pompy obiegowej 42

Temat numeru: Transmisja danych przez sieci komórkowe
Sieci komórkowe w systemach embedded 46

Prezentacje
BDMS – modułowy system BMS 54
Dławiki mocy w systemach energoelektronicznych 85
Indukcyjność rozproszenia – co warto wiedzieć? 86
Idealne dopasowanie wydajności i rozmiaru 88

Projekty soft
LED-owy wyświetlacz macierzowy 56
Kontrolowany gestami samochodzik z modułem micro:bit 59
Siłomierz na bazie Arduino 63

Notatnik konstruktora
Optymalizacja poziomu EMI. Położenie indukcyjności na płytce drukowanej 68
Konwerter poziomów logicznych nieco inaczej 95

Poradnik implementacji
Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (9). Wielofunkcyjne front-endy biomedyczne (1) 90

Wybór konstruktora
Transformatory i elementy indukcyjne 74

Kursy
Systemy dla Internetu Rzeczy (54). Bosch BME688 – czujnik gazu ze sztuczną inteligencją 100

Prenumerata 2
Od wydawcy 3
Hity następnego numeru 107

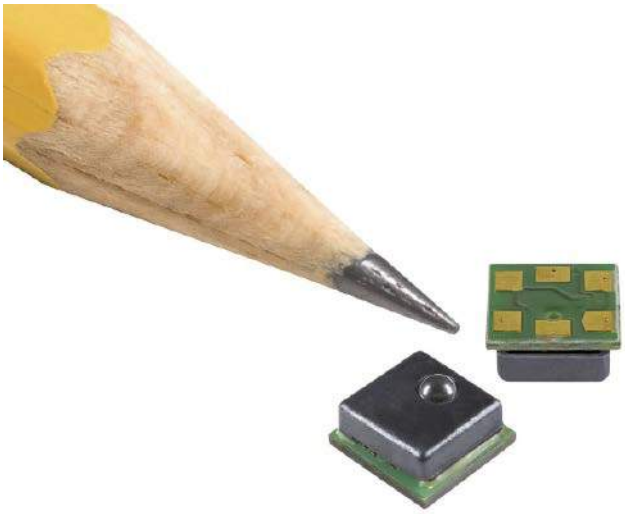
Dodatkowe materiały do artykułów znajdziesz na https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 2b951cc363

Szczegóły na stronie 22

nowe podzespoły

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



Piezorezystancyjne czujniki siły w obudowach SMD o powierzchni 5×5 mm

Do oferty firmy Mouser wchodzi seria piezorezystancyjnych czujników siły FMA MicroForce produkcji Honeywela, przeznaczonych do zastosowań przemysłowych i medycznych. Są to czujniki w pełni skalibrowane, z kompensacją termiczną offsetu, czułości i liniowości w zakresie temperatur 5...50°C, realizowaną przez wbudowany układ ASIC. Występują w wersjach o zakresie pomiarowym 5, 10 i 25 N. Charakteryzują się całkowitym błędem pomiaru poniżej ±8% FSS, 12-bitową rozdzielczością, odpornością na działanie siły do 3× wartości zakresowej i żywotnością minimum 1 miliona cykli mechanicznych. Pracują z napięciem zasilania 3,3 lub 5,0 VDC, pobierając typowo 14 mW mocy. Komunikują się z mikroprocesorem za pośrednictwem wyjścia cyfrowego SPI/I²C.

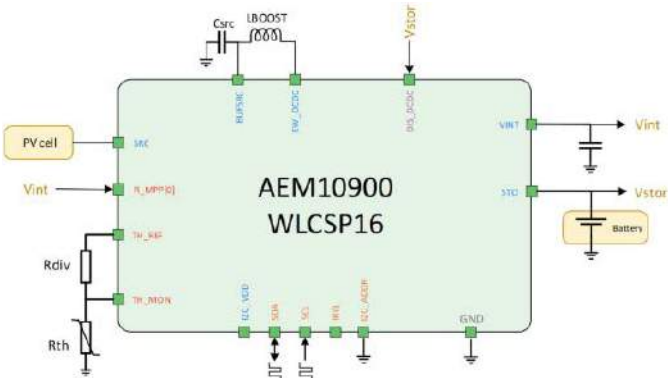
Czujniki FMA MicroForce są zamykane w obudowach SMD o powierzchni 5×5 mm z interfejsem mechanicznym w postaci powierzchni sferycznej ze stali nierdzewnej, umieszczonej na górnej powierzchni. Zawierają wbudowany układ diagnostyczny. Mogą być dostarczane również w wersjach o niestandardowym zakresie pomiarowym, określonym przez użytkownika.

www.mouser.com

Antena do małogabarytowych urządzeń pracujących w sieciach LTE i 5G

Firma Antenova wprowadza do oferty nowy typ anteny zaprojektowanej do zastosowań w małych urządzeniach pracujących w sieciach LTE i 5G. Model Lutosa pokrywa następujące pasma częstotliwości: B71 (617...698 MHz), LTE700, GSM850, GSM900, DCS1800, PCS1900, WCDMA2100, LTE B7 (2500...2690 MHz), B74 (1420...1520 MHz), LTE B40 (2300...2400 MHz) i 5G B78 (3300...3800 MHz). Jest to antena o polaryzacji liniowej, charakteryzująca się wymiarami 95×15×0,15 mm i elastyczną konstrukcją, umożliwiającą jej wyginanie podczas montażu. Nie wymaga komponentów dopasowujących ani połączenia z masą urządzenia. Może być doklejana do obudowy za pomocą nałożonego na nią paska samoprzylepnego. Nadaje się do zastosowań w aplikacjach M2M i IoT nowej generacji do streamingu wideo i szybkiej transmisji danych w sieciach 5G: pojazdach autonomicznych, hot spotach Wi-Fi, dronach i systemach CCTV over 5G.

www.antenova.com



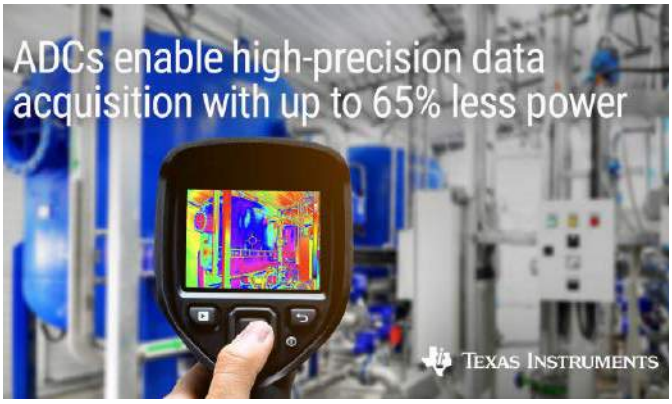
Ultraenergooszczędny układ ładowania akumulatorów i superkondensatorów z panelu PV

AEM10900 to jeden z najnowszych układów ładowania akumulatorów i superkondensatorów z oferty firmy E-Peas, wyróżniający się ultraenergooszczędną pracą. Został zaprojektowany do zastosowań w urządzeniach przenośnych, w tym w aparaturze medycznej oraz inteligentnych czujnikach. Różni się od typowych układów zarządzania zasilaniem (PMIC) prostszą konstrukcją; zawiera wyłącznie funkcje ładowania, co pozwala na zastosowania w aplikacjach wymagających prostszego wdrożenia, mniejszych gabarytów lub niższej ceny podzespołów. Zapewnia zerowy pobór prądu z akumulatora w stanie spoczynkowym. Oznacza to, że jeśli przetwarzanie energii wejściowej zostanie zatrzymane na dłuższy czas, energia zmagazynowana w akumulatorze nie zostanie zmarnowana na zasilanie modułu PMIC.

AEM10900 został zaprojektowany do współpracy z jednoogniwowym panelem fotowoltaicznym. Dzięki funkcji szybkiego śledzenia punktu maksymalnego transferu mocy (MPPT) doskonale nadaje się do zastosowań w aplikacjach mobilnych. Charakteryzuje się punktem zimnego startu już od 250 mV/5 μW, dzięki czemu może rozpocząć ładowanie akumulatora nawet przy bardzo małym natężeniu światła. Zawiera interfejs konfiguracyjny I²C, pozwalający minimalizować liczbę wyprowadzeń i zaoferować szerszy zestaw potencjalnych konfiguracji. Ponadto oferuje funkcję zabezpieczenia przed nadmiernym naładowaniem (3,0...4,8 V) i rozładowaniem (2,8...4,0 V) elementu magazynującego. Jest produkowany w dwóch typach obudów: QFN-28 (4×4 mm) i WLCSP-16 (2×2 mm).

www.e-peas.com

eprasa.pl 2b951cc363



Najszybsze na rynku przetworniki A/C SAR do przemysłowych systemów czasu rzeczywistego

Texas Instruments prezentuje serię najszybszych na rynku przetworników A/C SAR, dostępnych w 8 wersjach o rozdzielczości od 14 do 18 bitów i szybkości próbkowania od 10 do 125 MSps. Są to układy o szerokim zakresie dynamicznym, zapewniające znacznie krótsze czasy propagacji niż przetworniki konkurencyjne o tej samej szybkości próbkowania. Zostały zaprojektowane do zastosowań w przemysłowych systemach sterowania czasu rzeczywistego, wymagających szybkiej reakcji na zmiany prądu lub napięcia.

Przetworniki rodziny ADC3660 zapewniają krótszy nawet o 80% czas opóźnienia od układów konkurencyjnych. Na przykład model 2-kanałowy ADC3664 o 14-bitowej rozdzielczości i maksymalnej szybkości próbkowania 125 MSps charakteryzuje się czasem opóźnienia wynoszącym zaledwie 8 ns, odpowiadającym pojedynczemu taktowi zegara.

Dotychczas projektanci aplikacji przemysłowych musieli wybierać między małym napięciem szumu i małym poborem mocy. Przyjęcie odpowiedniego kompromisu jest szczególnie trudne w przypadku urządzeń bateryjnych o precyzyjnej akwizycji danych. Przetworniki nowej rodziny ADC3660 eliminują ten problem. Przykładowo ADC3683, będący najszybszym obecnie na rynku 18-bitowym przetwornikiem A/C, pracującym z szybkością próbkowania 65 MSps, charakteryzuje się stosunkiem sygnał/szum równym 84,2 dB i gęstością szumu –160 dBFS/Hz przy poborze mocy wynoszącym zaledwie 94 mW/kanał. Z kolei 16-bitowy model ADC3660 o maksymalnej szybkości próbkowania 65 MSps, polecany do zastosowań w sonarach, oferuje współczynnik SNR równy 82 dBFS przy poborze mocy 71 mW/kanał, mniejszym o 65% od najbliższego odpowiednika.

Duża szybkość próbkowania przetworników rodziny ADC3660 oraz ich zintegrowane funkcje pomagają projektantom zmniejszyć liczbę komponentów w systemie. Dwukanałowy, 18-bitowy model ADC3683, próbkujący czterokrotnie szybciej od najbliższego odpowiednika jednokanałowego, oferuje technikę nadpróbkowania, pozwalającą odsunąć w widmie harmoniczne dalej od sygnału pożądanego. Redukuje to stopień złożoności filtru antyaliasingowego i zmniejsza liczbę komponentów współpracujących nawet o 75%. Z kolei funkcja decymacji pozwala łatwo wyeliminować niepożądane harmoniczne oraz źródła szumu i zwiększyć szerokość zakresu dynamicznego (SFDR) nawet o 15 dB. Decymacja w połączeniu z komplementarnym interfejsem CMOS umożliwia współpracę z mikroprocesorami ARM lub procesorami DSP zamiast korzystania ze znacznie droższych układów FPGA.

Przetworniki rodziny ADC3660 są produkowane w obudowach WQFN o powierzchni 5×5 mm. Producent oferuje do nich zestawy ewaluacyjne, dostępne w cenie od 249 USD.

www.ti.com

Model	Częstotliwość próbkowania	Rozdzielczość	Liczba kanałów	Obudowa	Cena hurtowa (>1000 sztuk)
ADC3541	10 MSPS	14 bitów	1	WQFN (5×5 mm)	14,50 USD
ADC3563	65 MSPS	16 bitów	1		46,50 USD
ADC3663	65 MSPS	16 bitów	2		64,50 USD
ADC3583	65 MSPS	18 bitów	1		71,50 USD
ADC3683	65 MSPS	18 bitów	2		99,50 USD
ADC3643	65 MSPS	14 bitów	2		37,00 USD
ADC3660	65 MSPS	16 bitów	2		46,50 USD
ADC3664	125 MSPS	14 bitów	2		61,50 USD

Czujniki wilgotności o dokładności ±1,5% RH z wbudowanym mechanizmem korekcji dryftu

HDC3020 i HDC3020-Q1 najnowsze czujniki wilgotności z oferty Texas Instruments, wyróżniają się dużą niezawodnością oraz odpornością na naprężenia i ciężkie warunki środowiskowe, w tym dużą wilgotność. Mogą znaleźć zastosowanie m.in. w instalacjach samochodowych, zapewniając stabilne parametry w długim okresie eksploatacji. Są pierwszymi tego typu komponentami z wbudowanym mechanizmem korekcji dryftu, powodowanego naturalnym procesem starzenia oraz wpływem narażeń środowiskowych i zanieczyszczeń. Wersja HDC3020-Q1 uzyskała kwalifikację AEC-Q100.

HDC3020 i HDC3020-Q1 charakteryzują się długoterminowym dryftem mniejszym niż 0,21% RH/rok, a ich dryft spowodowany zmianą temperatury i wilgotności (w teście 85% RH, 85°C) nie przekracza 5% RH. Zapewnia to dłuższą żywotność systemu oraz eliminuje potrzebę częstej wymiany lub ponownej kalibracji czujników. Dokładność pomiaru wilgotności, potwierdzona testami NIST, wynosi ±1,5% RH w całym zakresie dopuszczalnego napięcia zasilania od 1,62 do 5,5 V. Dodatkową zaletą jest mały pobór prądu w całym zakresie napięcia zasilania, zarówno w stanie aktywnym, jak i w trybie uśpienia. Tryb automatyczny umożliwia pomiar wilgotności w regularnych odstępach czasu, podczas gdy reszta systemu znajduje się w stanie uśpienia, dodatkowo wydłużając czas pracy na baterii.

Czujniki HDC3020 i HDC3020-Q1 są zamykane w 8-wyprowadzeniowych obudowach plastikowych SO z opcjonalnym pokryciem zabezpieczającym o stopniu ochrony IP67. Ich ceny hurtowe zaczynają się od 1,65 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. Najważniejsze parametry to:

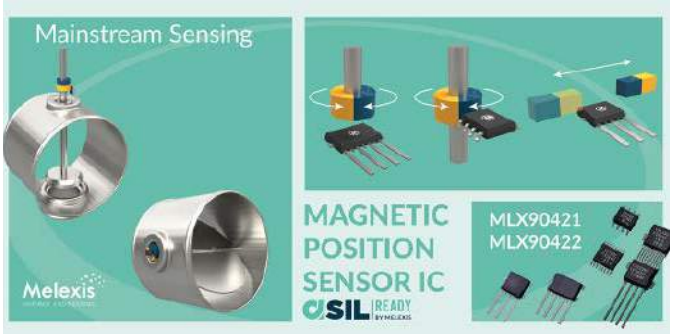
- zakres pomiaru wilgotności: 0...100% RH,
- dokładność pomiaru wilgotności: ±1,5% RH,
- zakres pomiaru temperatury: –40...+125°C,
- dokładność pomiaru temperatury: ±0,1°C,
- zakres napięcia zasilania: 1,62...5,5 V,
- średni pobór prądu: 0,7 μA,
- dryft długoterminowy: <0,21% RH/rok,
- interfejs: I²C.

www.ti.com

Magnetyczne czujniki położenia o zakresie temperatury pracy –40...160°C

Melexis rozszerza ofertę bezdotykowych czujników położenia o dwa nowe układy, stanowiące zmodyfikowane wersje wcześniejszych

eprasa.pl 2b951cc363



czujników MLX90364/5/6/7. MLX90421 i MLX90422 bazują na opracowanej przez Melexis technice pomiaru magnetycznego Triaxis o dużej dokładności. Mogą znaleźć zastosowanie w aplikacjach samochodowych: siłownikach, układach pozycjonowania pedałów, wskaźnikach poziomu paliwa i przekładniach, jak również nadają się do pracy w instalacjach przemysłowych. Mogą pracować w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –40°C do 160°C i charakteryzują się małą emisją elektromagnetyczną.

Oprócz sensora struktura wewnętrzna tych układów obejmuje sekcję konwersji danych i cyfrowego przetwarzania sygnału oraz programowalny stopień sterownik linii. MLX90421 zawiera wyjście analogowe i PWM, a MLX90422 interfejs SENT zgodny z SAE J2716. Oba układy spełniają wymogi normy ISO26262 (ASIL-B) w zakresie bezpieczeństwa funkcjonalnego. Zawierają zabezpieczenie przepięciowe na wyjściu (–18 V/34 V) i na linii zasilającej (–18 V/37 V). Są dostarczane w kilku wariantach obudów: SOIC-8, TSSOP-16, DMP-4, SMP-4 i SMP-3.

www.melexis.com

Ultraminiaturowe złącze koncentryczne na zakres częstotliwości pracy do 6 GHz

Würth Elektronik wprowadza do oferty złączy koncentrycznych w.cz. nowy typ ultraminiaturowego złącza o symbolu WR-UMRF, przeznaczonego do pracy w zakresie częstotliwości do 6 GHz. Jest to tanie złącze zatrzaskowe, którego całkowita wysokość po zamontowaniu wtyku w gnieździe wynosi zaledwie 2,5 mm. Powierzchnia gniazda na płytce drukowanej wynosi 3,1×3,0 mm. Pod względem specyfikacji mechanicznej WR-UMRF zapewnia kompatybilność z wieloma podobnymi złączami dostępnymi na rynku. W ofercie Würth Elektronik dostępne są również kable z końcówkami UMRF, SMA i RP-SMA, opcjonalnie o stopniu ochrony IP67. Najważniejsze dane techniczne:

- pasmo: DC...6 GHz,
- impedancja: 50 Ω,
- VSWR (DC...3 GHz): maks. 1,3,
- straty wtrącone (DC...3 GHz): maks. 0,3 dB,
- straty wtrącone (3...6 GHz): maks. 0,6 dB,
- rezystancja izolacji: min. 500 MΩ,
- żywotność mechaniczna: 30 cykli,
- zakres temperatury pracy: od –40 do +90°C.

www.we-online.com

80- i 200-woltowe tranzystory eGaN FET na rynek e-Mobility

Firma EPC powiększa ofertę tranzystorów eGaN FET o dwa nowe modele o napięciu znamionowym 80 V i 200 V, zaprojektowane do sterowania silników BLDC w aplikacjach e-Mobility. EPC2065 to tranzystor o napięciu znamionowym 80 V, rezystancji przewodzenia 2,7 mΩ i dopuszczalnym prądzie impulsowym 221 A, zrealizowany na powierzchni chipa wynoszącej 7,8 mm². Dzięki małym wymiarom i bardzo małym stratom pozwala zredukować wymiary i masę układów sterowania silnikami BLDC o napięciu zasilania 32...48 V, stosowanymi w rowerach i skuterach o napędzie elektrycznym, robotach logistycznych, dronach itp. EPC2065 może pracować z dużą częstotliwością przełączania i bardzo krótkim czasem martwym, co obniża poziom generowanych zaburzeń elektromagnetycznych.

Drugi z nowych tranzystorów, EPC2054, charakteryzuje się napięciem znamionowym 200 V, rezystancją przewodzenia 32 mΩ i powierzchnią chipa 1,69 mm². Może pracować z maksymalnym prądem impulsowym 32 A. Dzięki bardzo krótkim czasom przełączania oraz małej pojemności i indukcyjności pasożytniczej doskonale nadaje się do zastosowań m.in. w przemysłowych lidarach i systemach pomiarowych ToF. Ceny hurtowe tranzystorów EPC2065 i EPC2054 wynoszą odpowiednio 1,85 USD i 0,82 USD przy zamówieniach 2500 sztuk.

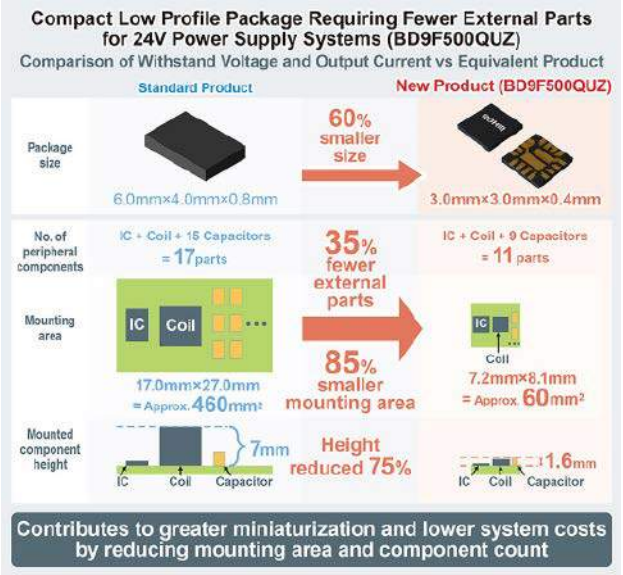
www.epc-co.com

Miniaturowe, wysokonapięciowe konwertery DC-DC o wydajności prądowej 5 A

Firma ROHM wprowadza do oferty układów zasilających dwa miniaturowe, nieizolowane konwertery DC-DC o wydajności prądowej

REKLAMA

eprasa.pl 2b951cc363



5 A, produkowane w wysokonapięciowym procesie BiCDMOS: BD9G500EFJ-LA i BD9F500QUZ. Są to konwertery z wbudowanym wysokoprądowym tranzystorem MOSFET, mogące pracować z maksymalnym napięciem wyjściowym odpowiednio 80 V i 39 V. Są zamykane w obudowach odpowiednio HTSOP-J8 (6,0×4,9×1,0 mm) i VMMP16LZ3030 (3,0×3,0×0,4 mm). Producent zaleca je do zastosowań w automatyce przemysłowej (np. sterownikach PLC) i stacjach bazowych 5G.

	Maks. napięcie wyjściowe	Napięcie wejściowe	Zakres napięcia wyjściowego	Wydajność prądowa	Częstotliwość pracy	Zakres temp. pracy	Obudowa
BD9G500EFJ-LA	80 V	7...76 V	od 1 V do 0,97 VIN	5 A	0,1... 0,65 MHz	−40...+125°C	HTSOP-J8 6,0×4,9×1,0 mm
BD9F500QUZ	39 V	4,5...36 V	0,6...14 V	5 A	0,6; 1,0; 2,2 MHz	−40...+85°C	VMMP16LZ3030 3,0×3,0×0,4 mm

BD9G500EFJ-LA wyróżnia się większym o około 20% dopuszczalnym napięciem pracy od innych podobnych konwerterów o identycznej wydajności prądowej oraz szerszym obszarem bezpiecznej pracy. Zapewnia to dostateczny margines bezpieczeństwa nie tylko w urządzeniach zasilanych napięciem 48 VDC (np. w telekomunikacyjnych stacjach bazowych), ale również w systemach 60-woltowych, np. e-bikach i elektronarzędziach. Drugą ważną zaletą układu jest małostratny wewnętrzny tranzystor MOSFET, zapewniający sprawność ok. 85% w zakresie prądów obciążenia od 2 do 5 A.

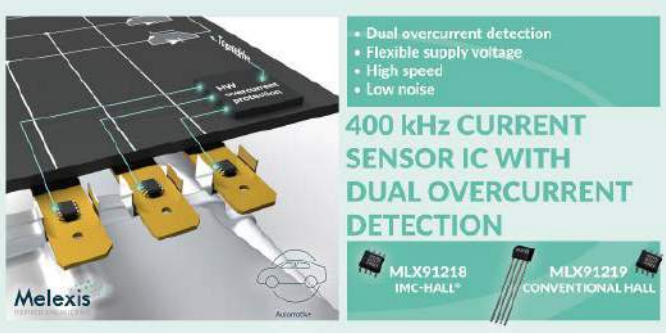
BD9F500QUZ to konwerter do systemów 24-woltowych, zamykany w obudowie o powierzchni mniejszej o około 60% od standardowych konwerterów o zbliżonych parametrach elektrycznych. Wymaga też mniejszej liczby elementów współpracujących. Ponadto, dzięki dużej częstotliwości taktowania (2,2 MHz), zapewnia stabilną pracę nawet przy zastosowaniu małej zewnętrznej cewki o indukcyjności 1,5 μH, co ogranicza powierzchnię i wysokość montażu. BD9F500QUZ wyróżnia się energooszczędną pracą i małą emisją ciepła. W przeciwieństwie do konwerterów o podobnej funkcjonalności, mogących osiągać temperaturę pracy nawet +100°C, dzięki dużej sprawności, sięgającej 90% przy prądzie wyjściowym 3 A, jego typowa temperatura pracy wynosi około +65°C, co przekłada się równocześnie na większą bezawaryjność.

www.rohm.com

Tranzystory IGBT TRENCHSTOP 5 WR6 o zwiększonym napięciu izolacji

Infineon prezentuje nową serię 650-woltowych tranzystorów IGBT, zamykanych w obudowach TO-247-3-HCC. Tranzystory TRENCHSTOP 5 WR6, dostępne w wersjach o prądzie znamionowym 20, 30, 40, 50, 60 i 70 A, mogą stanowić bezpośrednie zamienniki tranzystorów wcześniejszych serii TRENCHSTOP 5 WR5 i HighSpeed 3 H3 z oferty Infineon oraz odpowiedników z oferty innych producentów. Są polecane do zastosowań w obwodach PFC m.in. spawarek i klimatyzatorów. Wyróżniają się bardzo małymi stratami na przewodzenie (30 A, 1,45 V @25°C) i przełączanie (30 A, 1,55 mJ @175°C) oraz bardzo małym napięciem nasycenia (VCE(sat)=1,45 V). Zawierają wbudowaną diodę zabezpieczającą o napięciu przewodzenia dostosowanym do aplikacji docelowych, co pozwala uzyskać zarówno optymalne parametry pracy, jak i zmniejszyć liczbę elementów współpracujących. Zmodyfikowana obudowa TO-247-3-HCC zapewnia większy odstęp izolacyjny, dłuższą drogę upływu oraz większe napięcie izolacji od wersji standardowej, co zwiększa odporność na zanieczyszczenia i kondensację wilgoci.

www.infineon.com



Samochodowe czujniki prądu 200...2000 A z wbudowanym detektorem nadprądowym

Firma Melexis powiększa ofertę czujników natężenia prądu do aplikacji motoryzacyjnych o dwa nowe układy z kwalifikacją AEC-Q100. MLX91219 to konwencjonalny czujnik Halla z rdzeniem ferromagnetycznym, występujący w wersjach o zakresie pomiarowym od 200 do 2000 A. MLX91218 to czujnik bezrdzeniowy o identycznych zakresach, produkowany w technologii IMC-Hall. Oba układy zapewniają niemal dwukrotnie większy stosunek sygnału do szumu od czujników poprzedniej generacji oraz wykazują bardzo dobrą liniowość (błąd ±0,3% FS). Ponadto bardzo mały dryft temperaturowy, offset na poziomie ±5 mV i czułość ±1% zapewniają dużą dokładność pomiaru w szerokim zakresie temperatury.

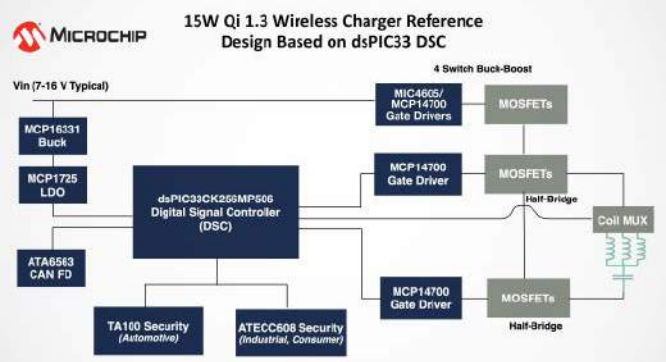
MLX91218 i MLX91219 mogą być zasilane napięciem 3,3 lub 5 V, co pozwala na współpracę zarówno z nowymi, jak i starszymi typami mikrokontrolerów. Zawierają detektor nadprądowy, zazwyczaj implementowany za pomocą zewnętrznego komparatora okienkowego, co ułatwia projektowanie układu pomiarowego i zmniejsza wymaganą powierzchnię płytki drukowanej. Wartość prądu progowego jest w zależności od wersji układu przechowywana w wewnętrznej pamięci EEPROM lub ustalana dzielnikiem rezystorowym i może wynosić odpowiednio 20...200% FS lub 10...100% FS. Czas zadziałania zabezpieczenia wynosi dla obu wariantów odpowiednio 2 μs i 10 μs. MLX91218 i MLX91219 są zamykane w obudowach SIP-4 i SOIC-8.

www.melexis.com

Nowy projekt referencyjny nadajnika systemu ładowania bezprzewodowego Qi 1.3

Microchip powiększa ofertę projektów referencyjnych o nowy projekt nadajnika systemu ładowania bezprzewodowego, pracującego w standardzie Qi 1.3. Standard ten, ogłoszony niedawno przez WPC (Wireless

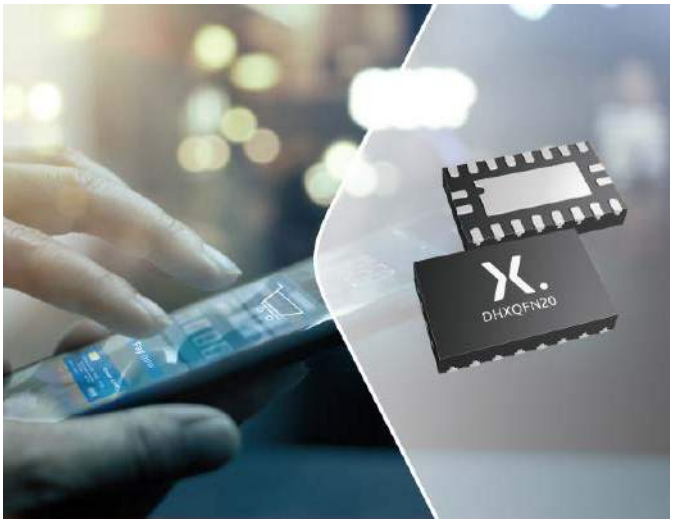
eprasa.pl 2b951cc363



Power Consortium), wprowadza mechanizm silnego uwierzytelnienia, mającego na celu ochronę urządzenia oraz użytkownika przed fałszywymi lub niekompatybilnymi ładowarkami. Umożliwia przesyłanie do 15 W mocy pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem.

Nowy projekt referencyjny firmy Microchip może ułatwić projektowanie systemów ładowania na rynek motoryzacyjny i konsumencki. W jego skład wchodzą wszystkie wymagane elementy: kontroler Qi, oprogramowanie aplikacyjne, kontroler uwierzytelniania z zatwierdzonym przez WPC podsystemem bezpiecznego przechowywania oraz biblioteki oprogramowania kryptograficznego, działające na kontrolerze Qi. Projekt obejmuje pełny zestaw schematów elektrycznych, listę podzespołów, oprogramowanie oraz wskazówki projektowe. Jest on obecnie dostarczany w wersji demonstracyjnej wybranym klientom. Jego dystrybucja rozpocznie się w sierpniu 2021 i będzie prowadzona przez firmę Avnet.

www.microchip.com



Najmniejsze na rynku układy logiczne w obudowach DHXQFN o wymiarach od 2×2×0,4 mm

Nexperia wprowadza na rynek serię najmniejszych na rynku standardowych układów logicznych, produkowanych w obudowach DHXQFN o wymiarach już od 2×2×0,4 mm. Przykładowa wersja 16-pinowa zajmuje mniejszą o 45% powierzchnię od standardowej obudowy DQFN16. Nowa oferta obejmuje obecnie 8 typów układów: 6-elementowe odwracające bramki Schmitta, 8-bitowe rejestry przesuwne SIPO z wyjściami typu latch, 4- i 8-bitowe transceivery z przesuwnikiem poziomów logicznych oraz 8-kanałowe bufory/sterowniki linii. Są one produkowane w czterech typach obudów DHXQFN: 14-wyprowadzeniowej (2,0×2,0 mm), 16-wyprowadzeniowej (2,4×2,0 mm), 20-wyprowadzeniowej (3,2×2,0 mm) oraz 24-wyprowadzeniowej (4,0×2,0 mm) o rozstawie wyprowadzeń 0,4 mm i grubości zaledwie 0,45 mm.

Dzięki małej powierzchni obudowy DHXQFN mogą być umieszczane w bardzo małej odległości od kondensatora bocznikowego, co nie tylko ogranicza powierzchnię płytki drukowanej, ale też poprawia działanie układów w.cz. ze względu na mniejszą długość ścieżek i mniejsze indukcyjności resztkowe.

www.nexperia.com

Pierwsze na rynku „wysokonapięciowe" mikrokontrolery zgodne ze standardem USB PD 3.1

EZ-PD PMG1 (*Power Delivery Microcontroller Gen1*) to pierwszy na rynku „wysokonapięciowy" mikrokontroler z obsługą standardu USB Power Delivery (USB PD) 3.1. Może on znaleźć zastosowanie w dowolnym urządzeniu embedded zasilanym lub dostarczającym napięcie do 28 V i moc do 140 W. Obsługuje tryby zasilania zdefiniowane w specyfikacji USB PD 3.1. Doskonale nadaje się do zastosowań w inteligentnych głośnikach, elektronarzędziach, narzędziach ogrodowych i routerach.

Mikrokontrolery rodziny PMG1, oparte na rdzeniu ARM Cortex-M0/M0+, zawierają sprawdzony w układach wcześniejszych serii stos protokołów USB PD, zapewniając dużą niezawodność i interoperacyjność. Zostały wyposażone w maksymalnie 256 kB pamięci Flash, 32 KB pamięci SRAM, port USB full-speed, zestaw programowalnych linii GPIO, sterowniki bramek zewnętrznych tranzystorów, regulatory

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
Feryster – producent elementów EMC
www.feryster.pl

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

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

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

RENEX.PL
KOMPLEKSOWE WSPARCIE PRZEMYSŁU ELEKTRONICZNEGO

eprasa.pl 2b951cc363

LDO oraz zestaw zabezpieczeń: nadprądowych, nadnapięciowych, zwarciowych i przed odwróceniem polaryzacji. Ponadto oferują mechanizm secure boot i funkcję bezpiecznej aktualizacji oprogramowania firmware. Wyposażono je w zestaw programowalnych bloków analogowych i cyfrowych, ułatwiających integrowanie inteligentnych czujników w aplikacjach docelowych. Programowanie ułatwia dostarczane przez producenta środowisko projektowe ModusToolbox z zestawem PMG1 SDK i zestawami prototypowymi.

www.infineon.com

32-pikselowy czujnik odległości Time-of-Flight o zasięgu 5 m

AFBR-S50MV85I to 32-pikselowy czujnik Time-of-Flight, służący do pomiaru odległości oraz wykrywania ruchu. Szeroki zakres dopuszczalnej temperatury pracy pozwala na jego zastosowania w przemysłowych aplikacjach średniego i długiego zasięgu (do 5 m). Funkcja tłumienia światła otaczającego pozwala na pracę czujnika również na zewnątrz pomieszczeń.

AFBR-S50MV85I umożliwia wykrywanie obiektów o dowolnej barwie, w tym również białych, czarnych, metalicznych i połyskliwych. Zawiera własne źródło sygnału zegarowego. Pracuje z napięciem zasilania 5 V, pobierając typowo 33 mA prądu. Dane są transmitowane za pośrednictwem interfejsu SPI pracującego ze standardowymi sygnałami CMOS 3,3 V. Do monitorowania pracy układu służą wbudowane czujniki temperatury i napięcia oraz piksel referencyjny.

Czujnik może pracować z maksymalną częstotliwością 3 kHz w zależności od typu współpracującego mikrokontrolera, trybu strumieniowania danych i liczby aktywnych pikseli. W zakresie częstotliwości do 100 Hz możliwe jest korzystanie z trybu dual-frequency (2f), pozwalającego wydłużyć zasięg nawet do 100 m.

AFBR-S50MV85I jest zamykany w obudowie o wymiarach 12,4×7,6×7,9 mm. Może znaleźć zastosowanie w systemach alarmowych, robotyce, interfejsach HMI, systemach sztucznej rzeczywistości itp. Pozostałe parametry:

- wewnętrzne źródło laserowe: 850 nm (Laser Class 1),
- pole widzenia (FoV): 12,4°×6,2° z równoczesną pracą 32 pikseli,
- częstotliwość pomiaru: do 3 kHz,
- zasięg pomiaru: do 5 m (do 100 m w trybie dual-frequency),
- maks. jasność światła otaczającego: 200 tys. lx,
- zakres temperatury pracy: –20...+70°C.

www.broadcom.com

85-calowe wyświetlacze LCD od Litemax

Wyświetlacze LCD z serii 8500-I wyróżniają się dużą powierzchnią ekranu oraz jasnością na poziomie 2000 cd/m², kontrastem w stosunku 4000:1 i szerokimi kątami obserwacji – 89°/89°/89°/89°. Wszystkie te parametry zapewnią doskonałą czytelność prezentowanych treści nawet w nasłonecznionych lokalizacjach. Prezentowane modele mogą być stosowane w aplikacjach indoorowych i outdoorowych, przy czym należy zwrócić uwagę na zakres temperatur pracy mieszczący się w przedziale od 0 do 50°C – w pewnych strefach klimatycznych, w zależności od pory roku, niezbędne okaże się zapewnienie dodatkowego ogrzewania i/lub chłodzenia, aby zagwarantować ich prawidłowe funkcjonowanie. W tabeli zestawiono najważniejsze parametry poszczególnych modeli z serii 8500-I od Litemax.

Czas życia LED dla serii 8500-I określono na 100 000 godzin, co pozwala na ich implementację w aplikacjach przeznaczonych do pracy w trybie ciągłym (24/7), np. w ramach systemów PID (*Public Information Display*).

W ofercie firmy Unisystem dostępne są cztery wyświetlacze LCD z serii 8500-I: DLF8500-I, DLH8500-I, DLD8500-I oraz DLS8500-I, które różnią się dodatkowym wyposażeniem. Pozwala to na wybór modelu, który najlepiej będzie pasował do projektowanej aplikacji:

- model **DLF8500-I** to panel LCD z płytką sterującą podświetleniem LED, który obsługujemy za pomocą jednego interfejsu, tj. V-by-One;
- model **DLH8500-I** to rozwiązanie DLF, w którym dodatkowym wyposażeniem jest AD Board umożliwiający komunikację za pomocą kilku interfejsów, w tym wypadku DVI, HDMI i DP;
- model **DLD8500-I** to rozwiązanie DLH, w którym cała elektronika umieszczona jest w obudowie.

Wyróżniany w ramach tej serii model **DLS8500-I** to rozwiązanie DLD z dodanym w standardzie modułem SDM (*Smart Display Module*) od Intela, który ułatwia proces wdrażania i zarządzania aplikacjami wizualnymi. Moduły SDM dostępne są w dwóch wariantach: SDM-L (*Smart Display Module-Large*, w ofercie Litemaxa: ASDM-APL5) oraz SDM-S (*Smart Display Module-Small*, w ofercie Litemaxa: ASDM-APL6). Komunikacja odbywa się za pomocą kilku interfejsów, w tym m.in. HDMI oraz DP.

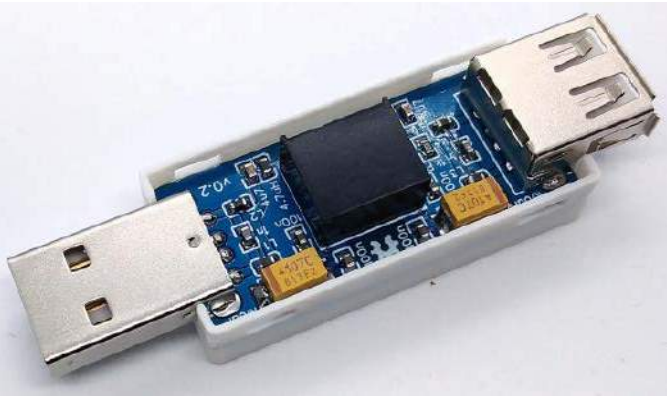
Seria 8500-I znajdzie zastosowanie przede wszystkim w systemach digital signage. Doskonale sprawdzi się m.in. jako nośnik reklam. Ponadto modele z serii 8500-I mogą być również instalowane w różnego rodzaju kioskach czy totemach, np. punktach informacyjnych. Tego typu aplikacje nierzadko obsługujemy za pomocą dotyku, więc konieczne może stać się połączenie wyświetlacza LCD z panelem dotykowym. W urządzeniach zlokalizowanych w przestrzeni publicznej warto rozważyć inne formy zabezpieczania modułów, w tym nakładanie powłok, takich jak np. anti-shatter (AS), która zapobiega rozprzestrzenianiu się odłamków szkła w razie mechanicznego uszkodzenia urządzenia, np. uderzenia.

Parametr	DLF8500-I	DLH8500-I	DLD8500-I	DLS8500-I
Rozmiar	85.0"	85.0"	85.0"	85.0"
Rozdzielczość	3840×2160	3840×2160	3840×2160	3840×2160
Proporcje	16:9	16:9	16:9	16:9
Obszar aktywny	1872,0(H) × 1053,0(V) mm	1872,0(H) × 1053,0(V) mm	1872,0(H) × 1053,0(V) mm	1872,0(H) × 1053,0(V) mm
Jasność	2000 cd/m²	2000 cd/m²	2000 cd/m²	2000 cd/m²
Kontrast	4000:1	4000:1	4000:1	4000:1
Kąty obserwacji [°]	89/89/89/89	89/89/89/89	89/89/89/89	89/89/89/89
Interfejs	V-by-One	DVI, HDMI, DP	DVI, HDMI, DP	m.in. HDMI, DP, USB 3.0, USB 2.0, PCIe ×1, UART, I²C, RJ45
Wymiary	1902,0(H) × 1083,0(V) × 93,87(D) mm	1902,0(H) × 1083,0(V) × 103,62(D) mm	1902,0(H) × 1083,0(V) × 107,8(D) mm	1902,0(H) × 1083,0(V) × 107,8(D) mm
Waga	58 000 g	58 000 g	80 000 g	80 000 g
Wymiary ramki	15,0/15,0/ 15,0/15,0 mm	15,0/15,0/ 15,0/15,0 mm	15,0/15,0/ 15,0/15,0 mm	15,0/15,0/ 15,0/15,0 mm
Podświetlenie	LED	LED	LED	LED
Czas życia LED	100 000 godz.	100 000 godz.	100 000 godz.	100 000 godz.
Pobór prądu	819 W	827 W	827 W	827 W
Zakres temperatur pracy	0~50°C	0~50°C	0~50°C	0~50°C

eprasa.pl 2b951cc363

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.



Izolator portu USB 2.0

Wadliwe urządzenia USB mogą uszkodzić port USB czy nawet zupełnie zniszczyć płytę główną komputera. Specjalne urządzenia, takie jak USB Killer przeznaczone są właśnie do tego celu. Oprócz tego, urządzenia pomiarowe z połączeniem USB mogą dawać nieprawidłowe wyniki pomiarów z powodu pętli masy przez linie uziemienia czy nawet mogą powodować zwarcia, jeśli podłączone są do masy komputera. Zaprezentowany izolator służy do izolacji portów USB 2.0. Zapewnia przy tym zasilanie o wydajności do 200 mA i obsługuje pełną prędkość komunikacji 12 Mbps. To proste rozwiązanie, ale zapewniające wysoki stopień ochrony. Najważniejsze parametry rozwiązania prezentuje tabela.

Parametr	Wartość
Rodzaj USB	USB 2.0 full speed 12 Mbps
Napięcie wejściowe	4,5...5,5 V
Napięcie wyjściowe	4,7...5,3 V
Tętnienia napięcia wyjściowego	30 mVpp przy poborze 100 mA
Maksymalny prąd wyjściowy	200 mA
Prąd w stanie standby	25 mA
Izolacja linii sygnałowych	2,5 kV
Izolacja linii zasilania	1,5 kV

https://bit.ly/3GfmMxd

System do domowej terapii polem elektromagnetycznym (PEMF)

Zaprezentowane urządzenie może być stosowane do uzupełniania i ulepszania obecnie istniejących metod opieki zdrowotnej. Magnetoterapia (PEMF) jest jedną z terapii proponowanych przez medycynę alternatywną. Nie zastąpi ona klasycznego leczenia, ale dla wielu osób może być cennym uzupełnieniem, nawet jeśli miałaby działać tylko jako placebo. Specjaliści sugerują, że terapia PEMF poprawia sen, koncentrację umysłową i ogólną wydajność organizmu, pomagając w produkcji energii i regeneracji komórek organizmu.

Dodatkowo podpierają się oni badaniami klinicznymi, które wskazują, że PEMF są zdolne do zwiększenia krążenia, redukcji stanów zapalnych, przyspieszenia gojenia kości, regeneracji mięśni, a także redukowania wpływu stresu oraz zwiększenia natlenienia krwi i wiele więcej.

Konstrukcja tego urządzenia bazuje na komercyjnych rozwiązaniach, które sprzedawane są w cenie od kilkuset do kilku tysięcy dolarów. Celem autora projektu jest udostępnienie prostego w budowie i funkcjonalnego urządzenia większej liczbie osób, których na to nie stać. Dzięki temu magnetoterapia może pomóc większej grupie osób.

W tym celu urządzenie zbudowane jest w całości z gotowych modułów, a jego budowa wymaga jedynie podstawowej znajomości elektroniki i lutowania. Tym samym koszt urządzenia bez zasilacza nie przekracza 10 dolarów. Kluczowym elementem układu jest cewka. Do jej zasilania zastosowano zasilacz ze starego laptopa, który zasila moduł kluczujący z tranzystorem MOSFET oraz generator sygnału, sterowany potencjometrem. W zależności od tego, dla której części ciała urządzenie ma być używane, można wykonać różne cewki. Powinny mieć one indukcyjność około 15 μH. Autor wykonał dwie różne cewki: jedna zawiera 200 zwojów nawiniętych drutem miedzianym (0,2...0,4 mm^2) na powietrznym rdzeniu o średnicy 17 cm. Druga miała oferować silniejsze i bardziej skupione pole magnetyczne – wykonano cewkę o mniejszej średnicy, ale z taką samą indukcyjnością. Do obliczenia parametrów cewki wykorzystać można jeden z wielu kalkulatorów dostępnych w internecie. Ważne jest, aby rezystancja cewki nie była mniejsza niż 4 Ω. Intensywność strumienia magnetycznego wynosi około 20 gausów. „Nie jestem osobą związaną z medycyną i nie mogę dyskutować o działaniu urządzenia, chociaż osobiście mam wiele pozytywnych doświadczeń z jego użytkowania. Mogę również z całą pewnością stwierdzić, że pola magnetyczne o niskiej częstotliwości zdecydowanie nie mają negatywnego wpływu, z wyjątkiem osób, u których jest to przeciwwskazane (ciąża, rozruszniki serca, krwawienie, gruźlica czy nowotwory złośliwe). W rzeczywistości obrazowanie MRI wykorzystuje pola magnetyczne, które są tysiące razy silniejsze niż te w PEMF i wszyscy wiemy, że to obrazowanie jest całkowicie nieszkodliwe”, uzupełnia opis autor. Pamiętajmy o tym

eprasa.pl 2b951cc363

i zanim przystąpimy do konstrukcji aparatu czy jego stosowania na sobie lub kimś innym, zapoznajmy się z dostępną wiedzą i skonsultujmy ze swoim lekarzem.

https://bit.ly/3BdBZuN

Wieloosiowy joystick do symulatorów samolotów i pojazdów kosmicznych

W sieci można znaleźć wiele dobrych przykładów kontrolerów do gier czy joysticków, wiele artykułów na temat ich konstrukcji, potrzebnych komponentów, okablowania itd. Jednak, jak wskazuje autor projektu, zebranie całej tej wiedzy, aby rozpocząć pracę nad własnym kontrolerem do gier, jest dość czasochłonne.

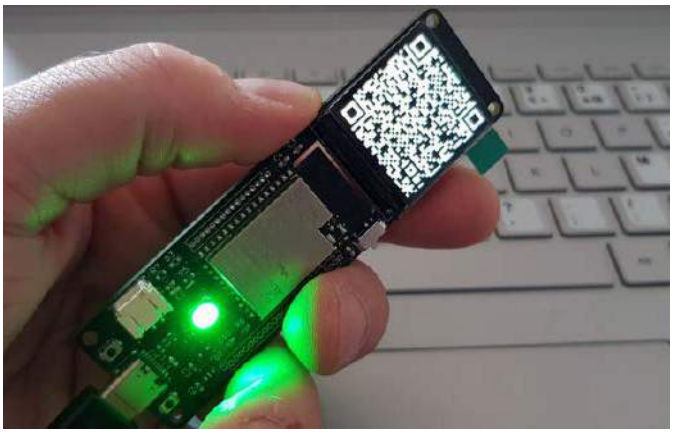
„Od prawie 2 lat pracuję nad własnym customowym joystickiem – oczywiście w niepełnym wymiarze godzin. Teraz chcę podzielić się z Wami moimi doświadczeniami i wiedzą na temat kanstrukcji, którą buduję", pisze autor. Jego celem jest przekazanie swoich pomysłów i wskazówek wszystkim, którzy zaczynają budować własny kontroler do gier. Jest także otwarty na komentarze – liczy na zebranie opinii na temat swoich pomysłów, a także poszerzenie własnej wiedzy i optymalizacje kontrolera.

„Lubię grać w gry komputerowe i spędzam sporo czasu z Elite Dangerous. Zabawę rozpocząłem z klawiaturą, a teraz latam z joystickiem Logitech i gamepadem, jednak dla mnie to nie jest to", pisze autor. Następnym jego pomysłem jest system typu HOTAS (*Hands on Throttle and Stick*). Ten termin opisuje paradygmaty projektowania systemów sterowania samolotami wojskowymi. Zgodnie z nimi wymagane jest takie rozmieszczenie manipulatorów awioniki, uzbrojenia i innych, aby można było je kontrolować bez konieczności zdejmowania rąk z manipulatorów odpowiedzialnych za sterowanie i przepustnicę. Niestety, kontrolery do gier, realizujące takie podejście w domu, są zbyt drogie i nie robią tego, co autor sobie wyobrażał. Postanowił więc zbudować własny kontroler, mając świadomość tego, że to będzie długa droga.

Autor spędził 2 lata, majsterkując, a efektem tych prac jest obecna forma systemu. Uważa jednak, że było warto. Nie tylko ze względu na sam kontroler, jaki teraz ma, ale z uwagi na zasób wiedzy, którą zdobył w różnych dziedzinach. Poleca on takie hobby każdemu, nie tylko amatorom symulatorów lotniczych. Autor, na stronie projektu, opisuje dokładniej poszczególne elementy, z jakich składa się kontroler:

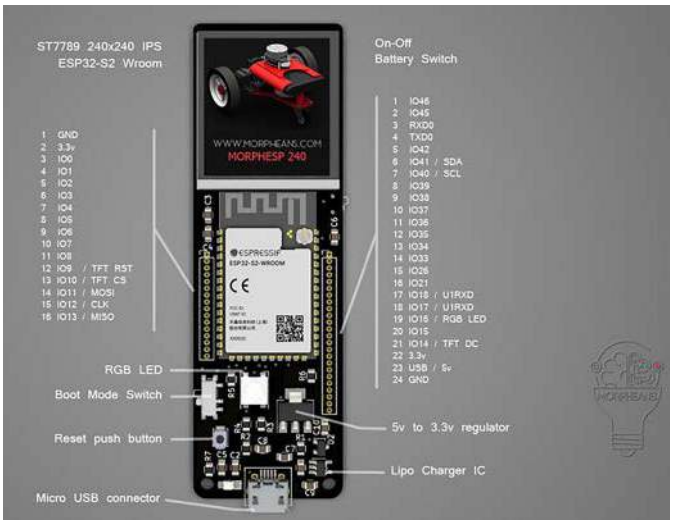
- joystick, a nawet dwa lub wręcz trzy, które można zastosować do sterowania różnymi elementami. Joysticki mogą być różnej wielkości, w zależności od potrzeb,
- przyciski – im więcej, tym lepiej, jak zauważa autor,
- przełączniki hebelkowe, aby zachować klimat prawdziwego samolotu. Mogą być używane na przykład jako przełączniki funkcji uzbrojenia,
- dźwignia przepustnicy, która jest elementem charakterystycznym dla kontrolerów symulatorów lotu itp.,
- wyświetlacz, który pozwala na prezentację stanu komponentów, w szczególności na prezentowanie załączonych w danym momencie funkcji kontrolera, gdyż poszczególne manipulatory mogą odgrywać różne role. Zamiast wyświetlacza można wykorzystać diody LED.

https://bit.ly/3b25qp8



MorphESP240 – płytka prototypowa do ESP32S2

Na rynku dostępnych jest wiele płytek deweloperskich z modułem ESP32, natomiast brak jest takich płytek z nowym ESP32-S2. Autor poniższej konstrukcji postanowi samodzielnie zaprojektować i zbudować taką płytkę. W ten sposób powstał moduł MorphESP240. Jest to łatwa w użyciu, zgodna z Arduino i CircuitPythonem płytka programistyczna do ESP32-S2 z wbudowanym kolorowym wyświetlaczem IPS o wysokiej rozdzielczości. Na płytce znajduje się też dioda LED RGB, ładowarka baterii i kilka portów GPIO. Całość jest w pełni open source. Dzięki temu może być stosowana i rozwijana przez wielu hobbystów i amatorów. „Chcieliśmy mieć coś minimalistycznego, ale z możliwością rozbudowy, dlatego wybraliśmy moduł ESP32 S2 WROOM, klasyczną diodę LED RGB WS2812B, stabilizator napięcia z 5 V do 3,3 V. Chcieliśmy czegoś niezwykle łatwego w użyciu, a zatem w pełni kompatybilnego z Arduino IDE. Chcieliśmy też czegoś prostego w obsłudze jako pierwszego projektu crowdfundingowego", piszą projektanci z zespołu, który stoi za konstrukcją.



Moduł ma wyprowadzenia w rastrze 1,27 mm, które pozwalają na podłączanie dodatkowych urządzeń do 32-bitowego procesora ESP32, jaki jest sercem modułu. Jest on taktowany zegarem o częstotliwości 240 MHz i został wyposażony we wbudowane 4 MB pamięci SPI Flash. Sekcja zasilania realizowana jest w oparciu na stabilizatorze LDO 3,3 V z możliwością dołączenia ogniwa litowo-polimerowego. Moduł ma również wbudowany system ładowania akumulatora. Opis wyprowadzeń modułu został pokazany na rysunku. System jest w pełni kompatybilny z Arduino IDE i MicroPythonem, ale może być

eprasa.pl 2b951cc363

także programowany poprzez Espressif ESP-IDF, które zapewnia dostęp do tysięcy przykładowych programów, które można znaleźć w internecie.

Jednym z głównych celów było zachowanie niewielkich wymiarów i masy. Gotowe urządzenie waży zaledwie 20 g i ma wymiary 89×28×6 mm. Dostępne są wszystkie schematy, źródła projektu KiCAD oraz pliki DXF, STL i Solidworks, które będą potrzebne, jeśli chce się samodzielnie wykonać system i wyciąć laserem lub wydrukować obudowę.

https://bit.ly/3vLgH6P
https://bit.ly/2ZhG7N3

W pełni funkcjonalny model Hyperloopa

Zaprezentowany projekt jest małą wersją Hyperloopa, który został opracowany, zaprojektowany i zbudowany od podstaw przez Adriana, użytkownika portalu Hackaday.io. System składa się z tuby ze stacją bazową i silnikiem liniowym oraz kapsuły (pojazdu poruszającego się w tubie) zawierającej system lewitacji. Konsola jest połączona ze stacją bazową przez BLE 5.0. Cały system jest obsługiwany za pomocą ekranu dotykowego w stacji bazowej. Podstawowe założenia modelu to:

- główna konstrukcja zbudowana z elementów drukowanych w 3D,
- specjalnie zaprojektowane płytki drukowane z elektroniką dla poszczególnych elementów,
- niestandardowe elektromagnesy (frezowane żelazne rdzenie z ręcznie nawijanym uzwojeniem),
- liniowe silniki PMSM na bazie płytek drukowanych.

Liniowy silnik PMSM PCB jest sterowany przez ESC G431 z niestandardowym FOC. W opisie projektu na stronie Hackaday.io można znaleźć link do szerszego opisu tego sterownika. „Zacząłem od pomysłu zbudowania małego systemu Hyperloop, który ma lewitować, będzie miał napęd magnetyczny, w którym kapsuła działałaby niezależnie od zasilania zewnętrznego. (…) Zacząłem od zgrubnego projektu CAD i poprawiałem go krok po kroku. Po określeniu przybliżonych wymiarów koncepcja została zaadaptowana pod kątem głównych elementów ograniczających wymiary (moduł akumulatora, elektronika – płytka główna, płytka toru). Z tego wynikał ostateczny kształt projektu, w tym tor rozwoju elektroniki”, opisuje proces projektowania Adrian.

Aby określić dynamikę systemu oraz projekt systemu sterowania i powiązanych komponentów, cały system został zasymulowany w Matlabie (Simulinku). Dodatkowo w środowisku tym zaprojektowano i zoptymalizowano też kontroler systemu.

https://bit.ly/3BkD0BH

Stabilizowany systemem GPS generator zegara dla IEEE 1588 PTP

Skrót PTP oznacza Precision Time Protocol – protokół precyzyjnego czasu. Jest używany do synchronizacji zegarów w sieciach

REKLAMA

® registered trademark of VACUUMSCHMELZE GmbH & Co. KG

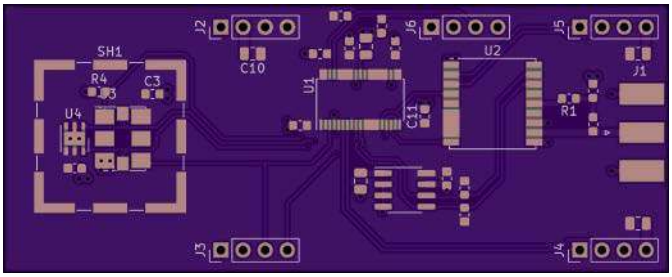
presto CONTRANS TI

www.contrans.pl wejdź i kup on-line

CONTRANS TI Sp. z o.o. ul. Polanowicka 66, 51-180 Wrocław
contrans@contrans.pl +48 71 325 26 21...24 FAX +48 71 325 44 39

CONTRANS TI

eprasa.pl 2b951cc363



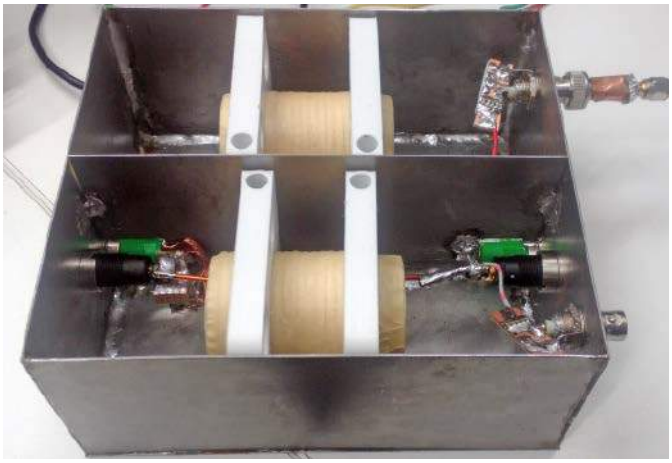
komputerowych. W sieci lokalnej osiąga dokładność zegara w zakresie poniżej mikrosekund, dzięki czemu nadaje się do systemów pomiarowych i kontrolnych. PTP jest obecnie stosowane do synchronizacji transakcji finansowych, stacji bazowych telefonii komórkowej, macierzy podmorskich mikrofonów czy też innych sieci i systemów, które wymagają precyzyjnego pomiaru czasu, ale nie mają dostępu do sygnałów nawigacji satelitarnej. Protokół ten jest ustandaryzowany przez IEEE jako IEEE 1588.

Zaprezentowany projekt to kompletny zegar z interfejsem IEEE 1588. Bazuje na oscylatorze kontrolowanym sygnałem GPS (z wykorzystaniem satelitarnego sygnału PPS – impulsów z precyzyjną częstotliwością 1 Hz), co zapewnia zwiększenie dokładności i stabilności czasu. Jest to kolejna wersja istniejącego już projektu, która od swojego poprzednika odróżnia się następującymi elementami:

- zwiększona precyzja pomiaru błędu zegara względem sygnału PPS z GPS – rozdzielczość 5 ns,
- programowa kompensacja termiczna z douczaniem algorytmu w czasie pracy (poprawia to stabilność systemu, kompensując efekty termiczne w rezonatorze kwarcowym),
- wbudowany cyfrowo sterowany oscylator kwarcowy o częstotliwości 25 MHz,
- interfejs Base 100-TX Ethernet, zapewniający następujące usługi:
  - master IEEE PTP Master,
  - serwer NTP,
  - serwer HTTP,
  - klient DHCP.

Moduł ma dostępne przez http menu serwisowe z informacją o statusie wszystkich komponentów modułu.

https://bit.ly/3mfunUJ



Stabilizator impedancji linii sieciowej do testów zgodności elektromagnetycznej

Zaprezentowany projekt to dwukanałowa sieć 5 μH LISN (sieć stabilizacji impedancji linii) do prowadzenia pomiarów emisji do systemów 60 V. Mimo amatorskiego charakteru tej konstrukcji, układ jest w pełni dostosowany do norm i wymagań prowadzenia pomiarów zakłóceń elektromagnetycznych przewodzonych.

Moduł zawiera cewki indukcyjne z rdzeniem powietrznym, nawinięte na prowadnicę wydrukowaną w technologii druku 3D. Całość umieszczona jest w lutowanej, metalowej skrzynce, która ekranuje cewki od wpływu zewnętrznych pól.

Opisany na portalu Hackaday.io system to w pełni gotowy, zwalidowany i działający projekt. Można odnaleźć tam również dziennik projektu dla wszystkich etapów projektowania – od schematu, poprzez symulacje, do budowy i wspominanej walidacji działania. Rezultatem tego projektu jest działający produkt do codziennego użytku, dlatego pełne testowanie i jego walidacja w zakresie częstotliwości do 100 MHz jest równie ważna, jak montaż.

Schemat układu jest zwodniczo prosty. Zasadniczo obwód ten, z wyjątkiem pojemności kondensatora wejściowego, który jest kondensatorem ceramicznym 10 μF połączonym szeregowo z rezystancją 0,5 do 1 Ω (zamiast tylko kondensatora 1 μF), jest kopią układu z literatury technicznej i norm. Zmiana ta pomaga zapobiec problemowi „impedancji wyjściowej poza limitami", gdy indukcyjność okablowania między zasilaczem a filtrem jest powyżej wartości 0,1 μH. Wszystkie kondensatory składają się z wielu jednostek o tej samej pojemności i obudowie, aby poprawić ich właściwości wysokoczęstotliwościowe (zmniejszenia pasożytniczej indukcyjności szeregowej, zapobieganie rezonansom i antyrezonansom kondensatorów itp.). Wszystkie komponenty (z wyjątkiem L1) powinny być montowane powierzchniowo, aby zmniejszyć ich pasożytniczy wpływ na pasmo przenoszenia wysokich częstotliwości.

https://bit.ly/3m7TiJH

Waylay IO – zautomatyzowany ogród wewnętrzny

Utrzymanie odpowiedniego stanu środowiska ma kluczowe znaczenie dla dobrej kondycji roślin. Odpowiedni poziom wilgotności gleby i powietrza, a także temperatury i natężenia światła, nie tylko przyspiesza tempo wzrostu roślin, ale także zmniejsza presję chorób i stres u roślin – tak, one także czują stres, który może być wywołany nieodpowiednimi warunkami otoczenia.

W tym projekcie zaprezentowano kolejny opis, jak zbudować własny automatyczny ogród wewnętrzny. System taki będzie sam podlewał rośliny i rejestrował dane środowiskowe, które można wizualizować z użyciem minimalistycznego wyświetlacza, zintegrowanego z systemem. Konstrukcja pozwala także na skonfigurowanie własnych alarmów informujących o przekroczeniu określonych progów czy o braku możliwości samoregulacji systemu – tak jest w przypadku temperatury lub światła.

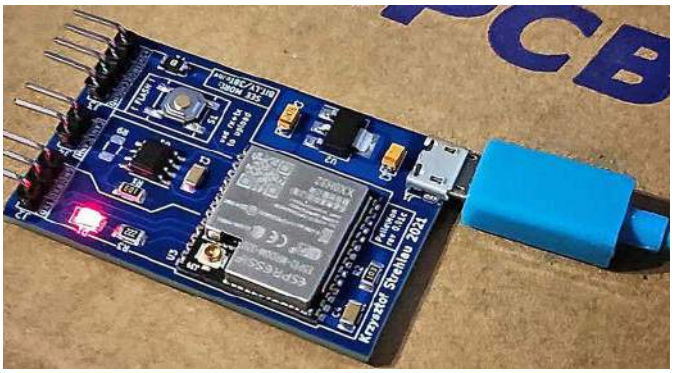
Do realizacji tego projektu wybrano ekosystem M5Stack, ponieważ zawiera wszystkie wymagane moduły i jest łatwy w obsłudze. Jego dodatkowe zalety to modułowa budowa i szeroka społeczność open source, często prezentująca nowe przykłady użycia i fragmenty oprogramowania. Mózgiem tego projektu jest M5Core2 – zestaw deweloperski IoT bazujący na mikrokontrolerze ESP32. Zestaw ten umożliwia

eprasa.pl 2b951cc363

podłączenie dostarczonych modułów poprzez porty GROVE, a także ma poręczny ekran dotykowy do uruchamiania poleceń i debugowania.

Do monitorowania warunków środowiskowych wybrano moduł ENV II z czujnikami SHT30 i BMP280 do pomiaru wilgotności, temperatury i ciśnienia atmosferycznego. Do pomiaru natężenia światła wybrano moduł czujnika światła z fotoopornikiem i LM393. Ma on potencjometr pozwalający ustawić czułość czujnika na określony próg. Aby osiągnąć automatyzację pomiaru i nawadniania gleby, zastosowano czujnik wilgoci gleby i elektryczną pompkę do automatycznego nawadniania rośliny, gdy wilgotność spadnie poniżej określonego progu.

https://bit.ly/30WxOHB



PelletMon – zautomatyzowany system Internetu Rzeczy do kotła centralnego ogrzewania

„Nasz stary kocioł centralnego ogrzewania był wcześniej podłączony do mojego systemu IoT. Po wymianie kotła na nowy nie mamy już takiej możliwości. Dlaczego więc nie wprowadzić jej do nowego kotła?", pyta retorycznie autor PelletMona, użytkownik h4rdc0der ze strony Hackaday.io. Celem zaprezentowanego projektu jest inżynieria wsteczna komunikacji CAN nowego kotła CO i udostępnienie danych w czasie rzeczywistym do domowej sieci IoT. Przy okazji czujnik HC-SR04 mierzy poziom paliwa w zbiorniku.

Projekt ma własną płytkę drukowaną. Komunikacja ze światem zewnętrznym jest realizowana za pomocą modułu ESP32, a pomiar poziomu paliwa za pomocą HC-SR04. Chip SN65HVD230 jest używany jako transceiver CAN, który obecnie wykorzystuje protokół VideNet i zapewnia następujące funkcje:

- możliwość włączenia/wyłączenia kontrolera,
- możliwość odczytu/ustawienia trybu ciepłej wody,
- możliwość odczytu/ustawienia trybu centralnego ogrzewania,
- możliwość odczytu temperatury kotła,
- możliwość odczytu temperatury ciepłej wody,
- możliwość odczytu mocy palnika (%),
- możliwość odczytu sumy zużycia paliwa (kg).

Oprogramowanie zostało zbudowane w środowisku Arduino IDE w C++ i korzysta z autorskiego frameworku IoT – ksIotFrameworkLib.

https://bit.ly/3GgBaFh

Cyber80 – kolejny projekt komputera na 8-bitowym CPU

Czy świat potrzebuje kolejnego komputera DIY pracującego na procesorze Z80? Autor projektu jest zdania, że tak, dlatego też zaprojektował i uruchomił tego rodzaju system. „Po pewnym czasie podążania za Benem Eaterem (znany elektronik hobbysta, który prezentował uznaną konstrukcję komputera DIY na procesorze 6502) postanowiłem zbudować własny komputer, ale zamiast 6502 zdecydowałem się na procesor Z80", pisze autor, ukrywający się za pseudonimem cybermats. Plan autora polega na zbudowaniu całego komputera,

REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

pico® Technology

Zalety oscyloskopów PicoScope:

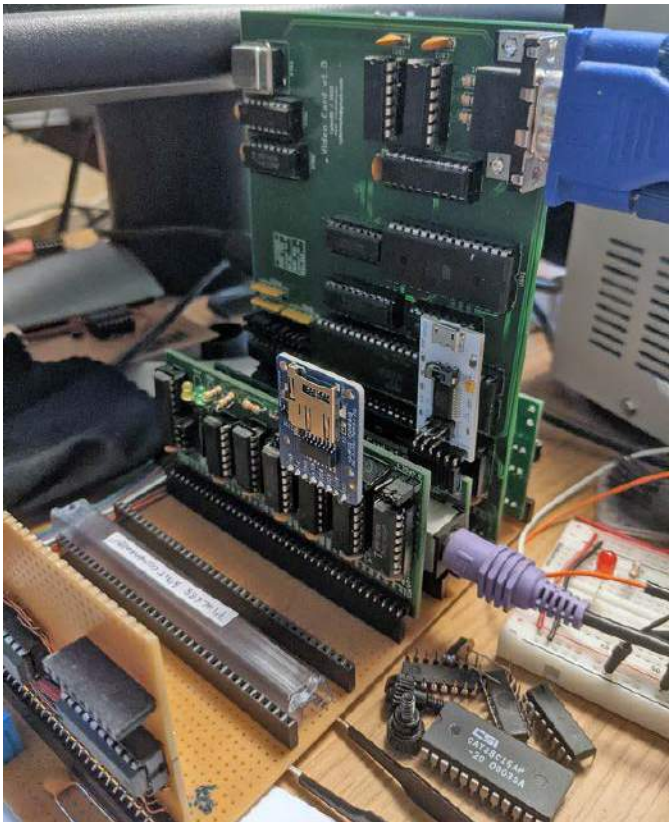
- Nowoczesne i szybkie oscyloskopy USB 3.0
- Kompaktowe wymiary, urządzenia o wysokich parametrach pracy
- Ekonomiczna alternatywa dla tradycyjnych rozwiązań
- Szeroka gama akcesoriów testowych i pomiarowych
- Stale udoskonalana funkcjonalność - nowe wersje aplikacji na PC

Promocja 10% USB PicoSope na zakup oscyloskopów

Dystrybutor aparatury pomiarowej: KEYSIGHT TECHNOLOGIES GW INSTEK AimTTi

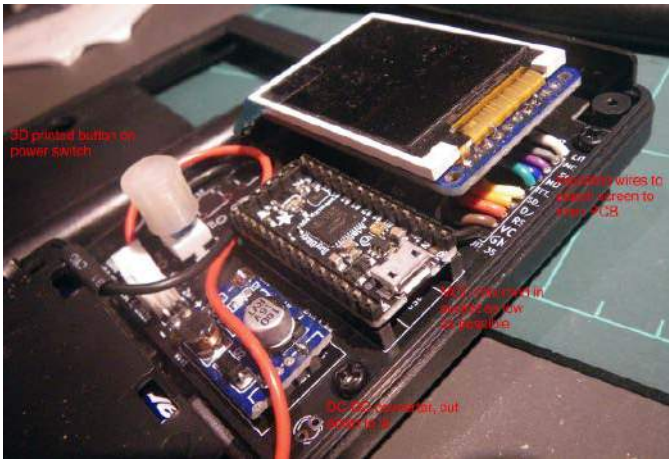
Computer Controls Sp. z o.o.
Bielsko-Biała, ul. Budowlanych 1
tel.: +48 (33) 485 94 90
e-mail: info@ccontrols.pl
www.ccontrols.pl

eprasa.pl 2b951cc363



z wejściami i wyjściami, takimi jak klawiatura PS/2, karta graficzna, obsługa dyskietek itp., a następnie utworzenie dla tej platformy całego systemu operacyjnego. Praca jest mocno inspirowana projektem Bena Eatera dotyczącym 6502 i RC2014 po stronie sprzętu oraz systemami takimi jak SymbOS, CP/M i wczesnymi Unixami po stronie systemu operacyjnego.

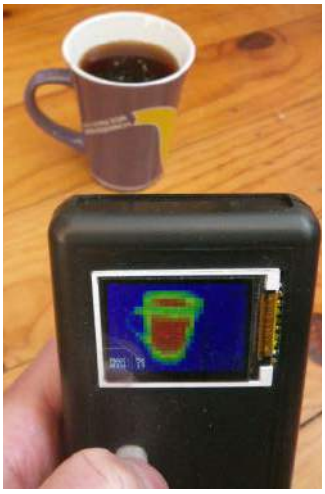
https://bit.ly/3jvq0D1



Prosta kamera termalna

Przedmiotem tego projektu jest prosta kamera termowizyjna, zawierająca czujnik MLX90640. Akceptuje różne moduły z tym sensorem, w zależności od tego, co jest w danym miejscu i czasie dostępne. Projekt ten jest inspirowany pracą Adafruit w zakresie modułów do obrazowania termalnego, ale nie wymaga płytki programistycznej PyBadge ani tylu bibliotek.

Cała praca autora jest opublikowana na licencji CC-SA. Projekt jest w pełni otwarty, dzięki czemu można go wykorzystywać, adaptować i przerabiać w swoich projektach. Obrazowanie termowizyjne jest bardzo przydatnym narzędziem do zastosowań tak różnorodnych, jak remonty domów (np. sprawdzanie termoizolacji domów lub monitorowanie zużycia narzędzi elektrycznych), naprawa i konserwacja samochodów czy serwisowanie elektroniki. Możliwość szybkiego zobaczenia rozkładu temperatur różnych obiektów może znacznie przyspieszyć szereg zadań projektowych i diagnostycznych.



Podczas gdy cena czujników do obrazowania w widmie światła widzialnego gwałtownie spadła w ostatnich dziesięcioleciach, obrazowanie długofalowe, tj. w podczerwieni, pozostaje stosunkowo drogim rynkiem niszowym. Komercyjne gotowe rozwiązania istnieją, ale są drogie. Ceny gotowej do użycia kamery termowizyjnej zaczynają się od około 500 dolarów. To stawia je poza zasięgiem zwykłego hobbysty, studenta czy majsterkowicza.

Z powodu pandemii COVID-19 w latach 2020–21 wszystkie narzędzia i komponenty do obrazowania termicznego stały się rzadkością w sklepach. Szybkie przeszukanie stanów największych dostawców elementów elektronicznych pokazuje, że ok. 80% wszystkich urządzeń termowizyjnych jest niedostępnych od co najmniej czerwca 2021 roku. Od czerwca 2021 roku występuje również ciągły niedobór chipów, który wpłynął na dostępność wielu komponentów elektronicznych, od mikrokontrolerów po elementy pasywne, takie jak kondensatory czy tranzystory.

Prezentowane przez autora domowe urządzenie może korzystać z czujnika termicznego MLX90640 firmy Melexis. Czujnik ten jest dostępny m.in. w sklepie Digikey, który może również dostarczyć szeroki wybór modułów deweloperskich od Adafruit i Sparkfun. Projekt bazuje właśnie na jednym z projektów, opracowanych przez Adafruit, przeznaczonym dla ich modułu typu MLX90640. Pokazany tutaj projekt powinien być kompatybilny z szerszą gamą 32-bitowych płytek rozwojowych Arduino i pakietów czujników do obrazowania w podczerwieni. Powinno to pomóc uniknąć niektórych z wyżej wymienionych problemów związanych z łańcuchem dostaw. Konstrukcja została zmontowany za mniej niż 150 dolarów, co stanowi istotną oszczędność kosztów w porównaniu z opcją komercyjną. Ma również tę zaletę, że można go dostosować do własnych potrzeb lub lokalnej dostępności komponentów.

Czujnik Melexis MLX90640 to macierz 32×24 termostosów, które są wrażliwe na promieniowanie cieplne. Zwykle jest to promieniowanie o długości fali w zakresie od 8 μm do 14 μm. Oferuje on niższą rozdzielczość niż komercyjne kamery termowizyjne, ale jest ona dostatecznie dobra do pracy hobbystycznej. Sensor komunikuje się z mikrokontrolerem za pośrednictwem magistrali I²C. Melexis ma doskonałą dokumentację zarówno dla czujnika, jak i jego protokołu komunikacyjnego. Sparkfun opublikowało także kilka sugestii dotyczących symulacji obrazu o wyższej rozdzielczości z interpolacją programową, ale ten projekt wykorzystuje natywną rozdzielczość czujnika.

Płytka nośna jest fizycznym sercem projektu. Została zaprojektowana tak, aby pasowała do dowolnej z 4 różnych płytek z sensorem MLX90640 a także by obsługiwała sam czujnik (bez płytki) po drobnych przeróbkach. Płytka ma również system zasilania w postaci przetwornicy DC/DC oraz złącza do ekranu LCD i adapter dla kart SD. Płytka jest zaprojektowana do współpracy z płytkami z mikrokontrolerami z rodziny Adafruit ItsyBitsy i przetestowana z ItsyBitsy M4.

Podejście modułowe znacznie skróciło czas projektowania, ponieważ nie trzeba było wymyślać na nowo koła, jak pisze sam autor. Zmniejsza to liczbę małych elementów lutowanych powierzchniowo, wymaganych do konstrukcji. Sprawia również, że cała lista materiałowa jest bardziej elastyczna i pozwala uwzględnić te elementy, które są dostępne w danym miejscu i czasie.

https://bit.ly/3vM7NpO

eprasa.pl 2b951cc363

Moduł GNSS z interfejsem NMEA przez Bluetooth

Zaprezentowany moduł to druga wersja systemu nawigacji satelitarnej przeznaczonego do zastosowań marynistycznych. Układ ten, oprócz odbierania sygnałów GNSS, wysyła ciągi NMEA przez Bluetooth do urządzenia mobilnego. NMEA to protokół komunikacyjny, zaprojektowany dla morskich urządzeń elektronicznych, takich jak systemy komunikacyjne, radarowe i nawigacyjne. Główne zmiany w porównaniu do poprzedniej wersji układu to:

- zredukowana wielkość anteny,
- nowa antena systemu GNSS o niskim poziomie szumów i zysku >20 dB,
- mniejsza bateria do zasilania (ogniwo 18650 zamieniono na akumulator litowo-polimerowy 1100 mAh), która powinna wystarczyć na co najmniej 12 godzin pracy,
- możliwość ładowania przez USB,
- lepszy projekt ścieżek sygnałów RF,
- dodanie danych korekcyjnych NTRIP pobieranych przez aplikację na smartfonie.

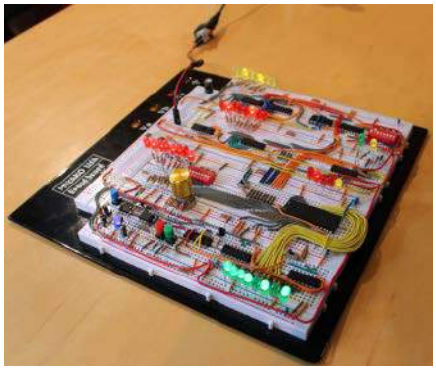
Najważniejsze cechy systemu pozostają jednak takie same:

- obsługa GPS, Glonass, Galileo oraz Baidou,
- dokładność pozycjonowania równa 2,5 m, zgodnie z arkuszem danych,
- łączy stare urządzenia z Androidem z usługą pozycjonowania,
- niskie zużycie energii,
- port USB do programowania U-center i jako urządzenie USB-GPS,
- konfiguracja przeznaczona do współpracy głównie z GPS, Glonass i Galileo.

https://bit.ly/3pxv1yz

1-bitowy komputer lampowy

„Projekt, nad którym pracuję, to długoczasowe przedsięwzięcie. Polega na zbudowaniu 1-bitowego komputera lampowego inspirowanego 1-bitowym układem Motorola MC14500. Komputer lampowy został podzielony na cztery sekcje: procesor, pamięć, sterowanie programem i I/O", zaczyna opis projektu autor, David, ukrywający się za pseudonimem Usagi Electric. Pierwszym krokiem było zaprojektowanie architektury dla tego systemu. Początkowym pomysłem było zreplikowanie 8-bitowej architektury komputera SAP-1 przy użyciu lamp, ale to wymagałoby tysięcy lamp, przez co byłoby bardzo drogie. Odpowiedź nadeszła w postaci 1-bitowej przemysłowej jednostki sterującej MC14500, która jest bardzo unikalnym, małym 1-bitowym mikroprocesorem. Na stronie z projektem można znaleźć dokładny opis architektury tego ciekawego układu. „Aby upewnić się, że wszystko pójdzie dobrze, zdecydowałem się zbudować uproszczony komputer w oparciu na układach scalone, bazujący na tym projekcie, na płytce stykowej", pisze autor.



Prototyp działał znakomicie, ale miał jedną poważną wadę. Jednostka logiczna była okropnie wolna. Aby zsumować dwie 1-bitowe liczby, trzeba było wykonać 12 kroków. Prosty 8-bitowy program inkrementacyjny miał ponad 100 kroków. Aby usprawnić działanie systemu, autor postanowił usprawnić działanie jednostki arytmetyczno-logicznej (ALU) systemu. Pierwotnie jednostka logiczna miała zaimplementowane następujące operacje:

- wczytanie danych,
- uzupełnienie danych,
- operacja OR,
- operacja OR z uzupełnieniem,
- operacja AND,
- operacja AND z uzupełnieniem,
- operacja XNOR.

Nowy ALU ma następujące operacje:

- wczytanie danych,
- dodawanie,
- odejmowanie,
- wymuszenie jedynki,
- operacja NAND,
- operacja OR,
- operacja XOR.

Jedyną operacją, która została pominięta, jest dopełnienie załadowanych danych, ale odpowiednie operacje arytmetyczne pozwolą to nadrobić w innych aspektach. Teraz jest to o wiele bardziej wydajny projekt, jak zauważa autor.

Po wybraniu architektury systemu, która spełnia wymagania autora, nadszedł czas, aby dowiedzieć się, jak zaimplementować tę architekturę. Aby jednak można było sięgać tak daleko, konieczne było opracowanie podstaw, jak zbudować system. Tradycyjnie komputery z lampami próżniowymi działają przy setkach woltów i często wykorzystują bardzo szeroką gamę napięć. Komputer lampowy IBM 604 używa napięcia 150 V, 75 V, –100 V, –175 V i –250 V. Autor chciałby ograniczyć te napięcia do bezpiecznego 24 V i –12 V. Te konkretne napięcia zostały wybrane z dwóch powodów. Po pierwsze, są bardzo niskie i bezpieczne. Nawet przy największej różnicy potencjałów w obwodzie występuje tylko 36 V różnicy, co jest mniej więcej nieszkodliwe. Po drugie, wybór ten sprawia, że szeregowe zasilanie grzałek 6 V jest niezwykle łatwe. Można połączyć dwa czy cztery żarniki lamp szeregowo, dzięki czemu nie ma konieczności doprowadzania dodatkowego, trzeciego napięcia zasilania.

Kolejnym krokiem były testy lamp przy niższych napięciach zasilania. Dały one pozytywne rezultaty, co autor prezentuje w dokumentacji projektu. Pozwoliło to na przystąpienie do konstruowania systemu. Warto śledzić postępy autora w konstrukcji tego urządzenia.

https://bit.ly/3E8il5j

eprasa.pl 2b951cc363

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT5900

Podstawowe parametry:

- odbiornik dwupasmowy 80/40 m (3,5...3,8 MHz/7,0...7,2 MHz),
- zbudowany na bazie układu TDA1083 (TA7613AP, A223D, 174XA10),
- możliwość dołączenia skali cyfrowej w postaci zestawu AVT2885 (AVT2885v2),
- nieskomplikowana konstrukcja, łatwa w uruchomieniu.

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

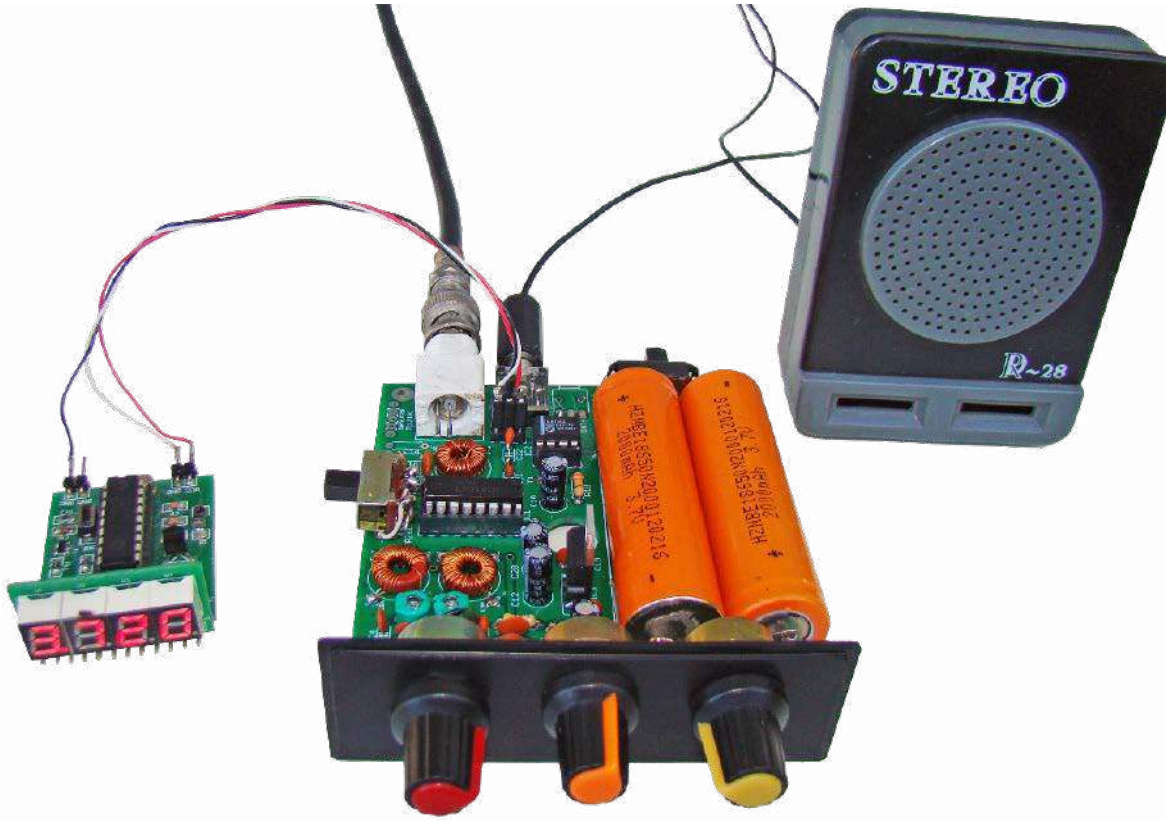
AVT3198	Modułowy odbiornik nasłuchowy na pasma 80 m i 40 m „Dosia" – mikroprocesorowy moduł kontrolno-sterujący (EP 2–3/2020)
AVT3230	Czteropasmowy odbiornik „Staś" – odbiornik CW/SSB początkującego nasłuchowca (80/40/30/20 m) (EdW 8/2018)
AVT3199, 3197	Modułowy odbiornik nasłuchowy na pasma 40 i 80 m „Dosia" (EP 9–11/2017 i 2–4/2018)
–––	Odbiornik nasłuchowy na pasmo 80 m (EP 6/2015)
AVT2970	Odbiornik SDR na pasmo 2 m (EdW 2/2011)
AVT2960	Minitransceiver SP5AHT (80 m/SSB) (EdW 11/2010)
AVT2934	Odbiornik na pasmo 80 m (EdW 2/2010)
AVT2925	Odbiornik nasłuchowy „Cypisek" (EdW 12/2009)
AVT2902	Wzmacniacz mocy na pasmo 80 m (EdW 6/2009)
AVT2891	Prosty odbiornik nasłuchowy na pasmo 80 m (EdW 2/2009)
AVT5151	Minitransceiver „Jędrek" (EP 10/2008)
AVT5127	Minitransceiver na pasmo 3,7 MHz TRX2008 (EP 3–4/2008)
AVT967	Minitransceiver Junior (EP 2/2007)
AVT962	Odbiornik nasłuchowy SSB/CW 80 m (EP 1/2007)
AVT2810	Minitransceiver ZUCH (EdW 10/2006)
AVT157_2	Odbiornik dwupasmowy 80/10 m na bazie AVT157 (EdW 3/2005)
AVT2479	Odbiornik RX-80 (EdW 4/2001)
AVT2310	Transceivery SSB (EdW 9–11/1998)
AVT157	Odbiornik nasłuchowy CW/SSB – 80/20 m (EP 12/1996)
AVT179	Odbiorniki na UL1321. Część 2 – odbiornik nasłuchowy na pasmo 80 m (EP 7/1994)

* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie 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.



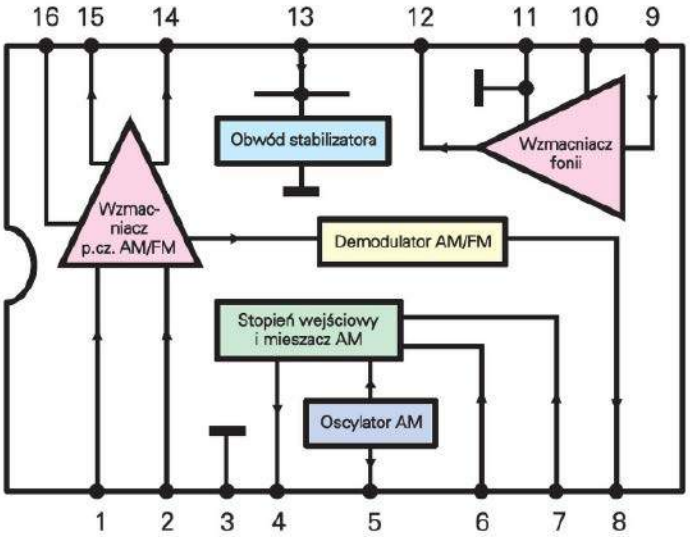
Dwupasmowy odbiornik nasłuchowy KF

RX Wiesia 80/40 m

Pomimo dostępności wielu modeli fabrycznych odbiorników i skanerów częstotliwości, zainteresowanie samodzielną budową odbiorników radiowych, w tym do nasłuchu stacji amatorskich, nie maleje. Zainteresowanie krótkofalarstwem rozpoczyna się z reguły od nasłuchu krótkofalowców. Do słuchania rozmów na pasmach amatorskich KF nie jest potrzebne żadne zezwolenie, wystarczy tylko odbiornik przystosowany do odbioru emisji CW (telegrafii) oraz SSB (jedna wstęga boczna z wytłumioną nośną) oraz odpowiednia antena.

Początkujący radioamator, zanim przystąpi do egzaminu na licencję krótkofalarską, powinien najpierw „osłuchać się" na pasmach amatorskich i uzyskać licencję nasłuchową (SWL). Licencja taka uprawnia do posługiwania się przydzielonym znakiem nasłuchowym w krajowej i międzynarodowej korespondencji amatorskiej oraz do korzystania z usług Biura QSL Polskiego Związku Krótkofalowców.

eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 1. Schemat struktury wewnętrznej układu scalonego TDA1083

Staż nasłuchowy w ramach takiej licencji przyczynia się do doskonalenia umiejętności operatorskich. Najlepiej zacząć od popularnego pasma amatorskiego, jakim jest zakres 80 m (3,5...3,8 MHz). Tutaj w dzień, w okresie dobrej propagacji, najczęściej pracują polskie stacje. W pobliżu 3,7 MHz nadawane są co środy od godziny 18.00 komunikaty PZK (wieczorem na tym paśmie słychać wiele stacji europejskich). Stacje zagraniczne można usłyszeć głównie w paśmie 40 m (7,0...7,2 MHz).

W czasopismach, a także w sieci, bez problemu można znaleźć wiele opisów wykonania odbiorników CW/SSB głównie na pasmo 80 m. Są tam układy z bezpośrednią przemianą częstotliwości, z pośrednią przemianą (najbardziej popularne) oraz układy pracujące w oparciu na SDR (*Software Defined Radio*), czyli programowej obróbce sygnału. Wszystkie te trzy metody mają zarówno swoje zalety, jak i wady.

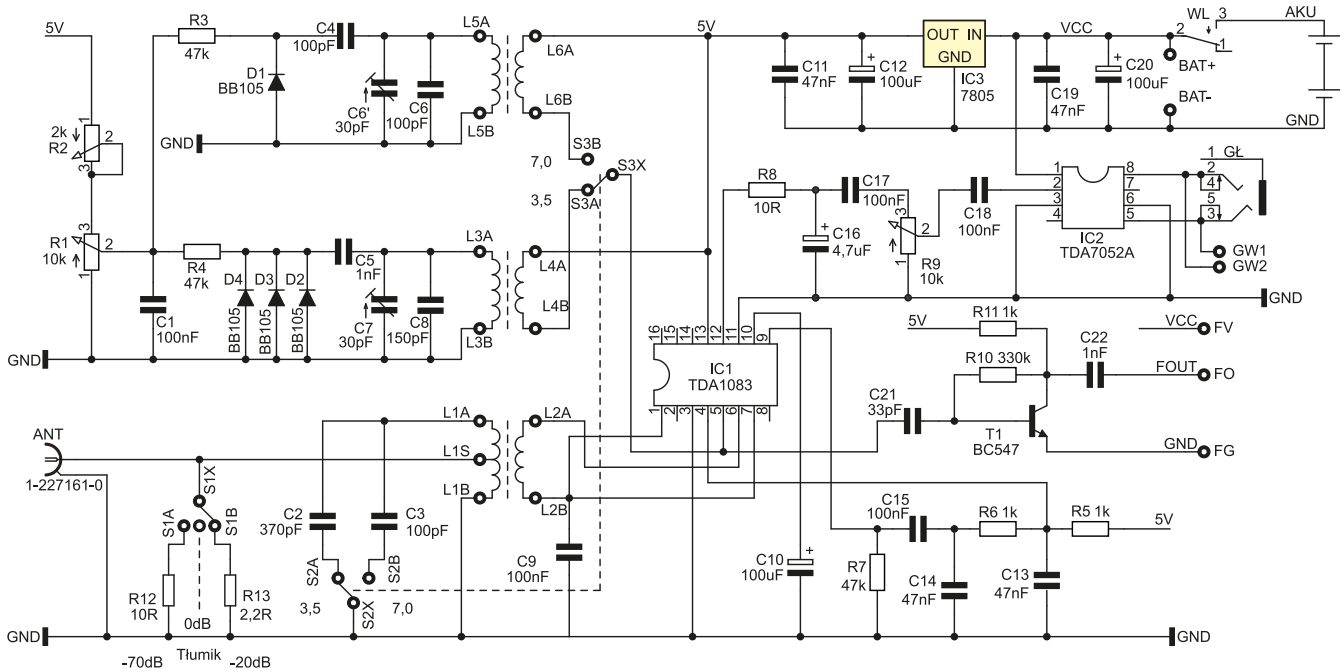
Budowa i działanie

Kluczowym elementem opisywanego tu prostego odbiornika o bezpośredniej przemianie został nieco starszy układ scalony, ale wciąż dostępny w sieci handlowej – TDA1083 (TA7613AP, A223D, 174XA10). Jest to kompletny radioodbiornik AM/FM ze wzmacniaczem fonii (z wyjątkiem stopnia wejściowego FM). Schemat struktury wewnętrznej układu scalonego został pokazany na **rysunku 1**.

W tym rozwiązaniu zastosowano tor przemiany częstotliwości AM charakteryzujący się dużą czułością (wyprowadzenia układu IC1: 3 – masa, 4 – wyjście mieszacza, 5 – obwód oscylatora, 6 – wejście, 7 – odsprzężenie) oraz tor wzmacniacza fonii (wyprowadzenia układu IC1: 9 – wejście, 10 – sprzężenie zwrotne, 11 – masa, 12 – wyjście). Układ charakteryzuje się szerokim zakresem napięć zasilania 3...12 V, doprowadzonym do wyprowadzenia 13. Wewnętrzna dioda Zenera ogranicza napięcie zasilania do poziomu ok. 13 V, co umożliwia zasilanie wyższym napięciem po dołączeniu zewnętrznego rezystora. Wzmocnienie wzmacniacza m.cz. wynosi około 40 dB (impedancja wejściowa 150 kΩ), a moc wyjściowa to około 300 mW.

Kompletny schemat prostego dwupasmowego odbiornika na pasma 80/40 m z zastosowaniem układu scalonego TDA1083 został pokazany na **rysunku 2**. Jest to nietypowe użycie struktury wewnętrznej układu, w którym został pominięty tor pośredniej częstotliwości, czyli na wyjściu mieszacza jest od razu wydzielony sygnał małej częstotliwości. Takie rozwiązanie charakteryzuje się niekorzystnym odbiorem dwusygnałowym (odbiór sygnału po obydwu stronach nośnej), ale nie jest to wielkim problemem, bo zawsze ustawia się RX na najbardziej czytelny sygnał. Co prawda skuteczne wyeliminowanie niepożądanych sygnałów jest także możliwe, ale wiąże się z dużą komplikacją układową (konieczność zastosowania szerokopasmowych przesuwników fazowych). Główną zaletą tak uproszczonego rozwiązania jest niska cena gotowego odbiornika, co jest szczególnie istotne, kiedy kierujemy urządzenie do początkujących radioamatorów.

Szczególnie dla początkujących przyda się kilka słów na temat działania układu. Sygnał z anteny trafia na filtr wejściowy w postaci pojedynczego obwodu LC. Odczep na cewce L1 jest dopasowany do niskoomowej anteny podłączonej kablem koncentrycznym. Częstotliwość rezonansowa obwodu jest zmieniana poprzez podłączenie jedną sekcją przełącznika pasmowego kondensatorów różnej wartości. W ten kompromisowy sposób udało się zapewnić pokrycie pasm 80 i 40 m.



Rysunek 2. Kompletny schemat prostego dwupasmowego odbiornika na pasma 80/40 m z zastosowaniem układu scalonego TDA1083

eprasa.pl 2b951cc363

Odfiltrowany sygnał trafia poprzez uzwojenie sprzęgające L2 na wejście mieszacza układu scalonego US1. Na drugie wejście mieszacza, już w strukturze układu scalonego, jest skierowany sygnał z generatora VFO. O częstotliwości pracy decydują dwa obwody LC, przestrajane diodami pojemnościowymi, przełączane drugą sekcją przełącznika pasmowego po stronie uzwojeń sprzęgających, poprzez które jest podawane również zasilanie generatora. Taki sposób przełączania okazał się lepszy, ze względu na stabilność generatora, niż po stronie pierwotnej obwodu.

W paśmie 80 m pracuje cewka L3 z trzema diodami pojemnościowymi BB105, aby pokryć cały zakres 3,5...3,8 MHz. Przy użyciu jednej diody BB105 i dobraniu wartości kondensatora udaje się uzyskać najbardziej uczęszczany zakres SSB, czyli od nieco poniżej 3,7 do 3,76 MHz. Z kolei w paśmie 40 m pracuje cewka L5 z jedną diodą pojemnościową BB105 i pokrywa z niewielkim zapasem cały zakres 7,0...7,2 MHz.

Przestrajanie odbywa się dwoma potencjometrami: R1 – strojenie zgrubne, R2 – dostrojenie dokładne. Jest to rozwiązanie kompromisowe podyktowane przede wszystkim obniżeniem kosztów. Lepsze rezultaty, jeśli chodzi o precyzję dostrajania, umożliwi zastosowanie w miejsce R1 potencjometru dzisięcioobrotowego helipod, ale potrzebna będzie cyfrowa skala częstotliwości. Z kolei wokół osi zwykłego potencjometru można nanieść choćby orientacyjne punkty, które pozwolą zorientować się, w jakim miejscu na paśmie znajduje się RX.

Generator VFO pracuje dość stabilnie, szczególnie przy użyciu kondensatorów z literą G (zerowy współczynnik temperaturowy). W przypadku chęci zastosowania zewnętrznego generatora (np. użycie modnych ostatnio syntezerów częstotliwości) należy w miejsce obwodu LC użyć transformatora szerokopasmowego. W najprostszym przypadku należy nóżkę 5 podłączyć do 5 V poprzez rezystor 1 kΩ i podać na nią poprzez kondensator 1 nF sygnał z VFO. Wydaje się jednak, że użycie zewnętrznego generatora w takim prostym układzie jest ekonomicznie nieuzasadnione.

Aby umożliwić pomiar i wyświetlanie częstotliwości pracy odbiornika, został zastosowany dodatkowy wzmacniacz w.cz. – separator z tranzystorem T1, którego zadaniem jest podwyższenie wyjściowej wartości sygnału z generatora do około 1 Vpp (poziom sygnału na nóżce 5 jest przeważnie za mały do wysterowania skali cyfrowej). W naszym uproszczonym rozwiązaniu skala cyfrowa to opcja (potrzebna głównie podczas uruchamiania i korekty zakresów przestrajania generatora).

Warto wiedzieć, że wzmocniony w ten sposób sygnał VFO może okazać się niezbędny, gdyby ktoś chciał rozbudować układ o możliwość nadawania sygnałów telegraficznych. Aby uzyskać transceiver CW/QRP o mocy około 10 W, wystarczy użyć dwustopniowego wzmacniacza i zastosować układ kluczowania.

Rezygnacja w układzie z wszelkich dodatkowych przedwzmacniaczy w.cz./m.cz. pozwoliła uzyskać niezłą dynamikę RX i czysty klarowny sygnał akustyczny. Dla poprawy czułości i większej siły głosu, przy korzystaniu z głośnika, konieczny okazał się dodatkowy wzmacniacz m.cz., który został dobudowany w ostatniej fazie realizacji eksperymentalnego układu. Ten stopień końcowy z układem US2 TDA7052A początkowo nie był planowany. Przy korzystaniu ze słuchawek, szczególnie przy odbiorze silnych sygnałów, moc wzmacniacza m.cz. US1 zapewnia dostateczną siłę głosu. Zmniejszenie poziomu szumów zapewnia włączony na wyjściu głośnikowym US1 filtr dolnoprzepustowy R8, C16 skutecznie ograniczający pasmo powyżej 3 kHz. Dodanie układu US2 i brak układu automatycznej regulacji wzmocnienia powoduje, że przy silnych sygnałach odczuwa się przesterowanie toru m.cz.

Gdyby jednak ktoś chciał zmniejszać czułość odbiornika na wejściu antenowym, jest możliwość zastosowania tłumika antenowego z dwoma rezystorami R12/R13 (–10 dB/–20 dB).

W pozycji środkowej przełącznika sygnał nie jest zmniejszany (tłumienie 0 dB). Tłumik został potraktowany jako opcja, bo duże tłumienie będzie potrzebne sporadycznie, szczególnie w przypadku bardzo silnego sygnału pochodzącego od sąsiada krótkofalowca.

Montaż i uruchomienie

Odbiornik z założenia miał być urządzeniem przenośnym i stąd pomysł, aby zasilanie pochodziło z dwóch akumulatorów Li-Ion 3,7 V połączonych w szereg, umieszczonych wewnątrz obudowy. Nie przewidziano zasilania z sieci (brak zewnętrznego gniazda zasilania), także z tego powodu, że najlepsze efekty daje właśnie zasilanie z akumulatorów, jeżeli chodzi o czystość sygnału zasilającego. Ponadto większość impulsowych zasilaczy sieciowych wprowadza w mniejszym lub większym stopniu przydźwięk sieciowy.

Pewną niedogodnością zasilania z dwóch akumulatorów jest konieczność wyjęcia ich z obudowy i naładowania po rozładowaniu. Warto wiedzieć, że odbiornik pracuje także z jednego akumulatora 3,7 V, ale w węższym zakresie strojenia i z mniejszą siłą głosu.

Cały układ łącznie z akumulatorami został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 3**. Montaż należy rozpocząć od elementów RLC, następnie zamontować złącza, a na końcu akumulatory, po upewnieniu się, że nie ma zwarcia w obwodzie zasilania.

Podczas montażu układu US2 może zajść konieczność niewielkiej modyfikacji na płytce. Przy użyciu TDA7052 (bez literki A) należy w miejsce kondensatora C18 wstawić zworę z drutu, tak żeby nóżka 2 była połączona galwanicznie z suwakiem potencjometru siły głosu R9. Trzeba też pamiętać, szczególnie przy montażu obudowy metalowej, aby styk masy gniazda głośnikowego (1GŁ) nie był wykorzystany. Żadne z wyjść US2 nie może być uziemione, bo prowadzi to (podobnie jak brak zwory na wejściu TDA7052) do nieuchronnego uszkodzenia układu.

Uzwojenia elementów L1...L5 zostały nawinięte na toroidalnych rdzeniach ferrytowych FT37-2 koloru czerwonego o wymiarach 9,53×5,21×3,25 mm i AL=4 drutem nawojowym w emalii DNE 0,3. Uzwojenia wtórne można nawinąć krosówką telefoniczną, co będzie lepiej wyróżniało końce uzwojeń (przydatne przy montażu). Orientacyjne liczby zwojów są podane w wykazie elementów. Warto na początku nawinąć więcej o 2...3 zwoje L3 i L5 (spowoduje obniżenie częstotliwości), bo łatwiej jest odwinąć nadwyżkę drutu, niż wydłużać w przypadku wyższej częstotliwości pracy generatora. Jeżeli zdecydujemy się na użycie elektronicznej skali, to posłuży nam ona także podczas uruchamiania odbiornika. Po skorygowaniu częstotliwości VFO trymerami oraz dołączeniu

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: 10 kΩ/B potencjometr obrotowy
R2: 2 kΩ/B potencjometr obrotowy
R3, R4, R7: 47 kΩ
R5, R6, R11: 1 kΩ
R8, R12: 10Ω
R9: 10 kΩ/A potencjometr obrotowy
R10: 330 kΩ
R13: 2,2 Ω

Kondensatory:
C1, C9, C17, C18: 100 nF
C2: 370 pF
C3, C4, C6: 100 pF
C5, C22: 1 nF
C6', C7: 30 pF trymer
C11, C13, C14, C19: 47 nF
C10, C12, C20: 100 µF/16 V
C16: 4,7 µF/16 V
C21: 33 pF

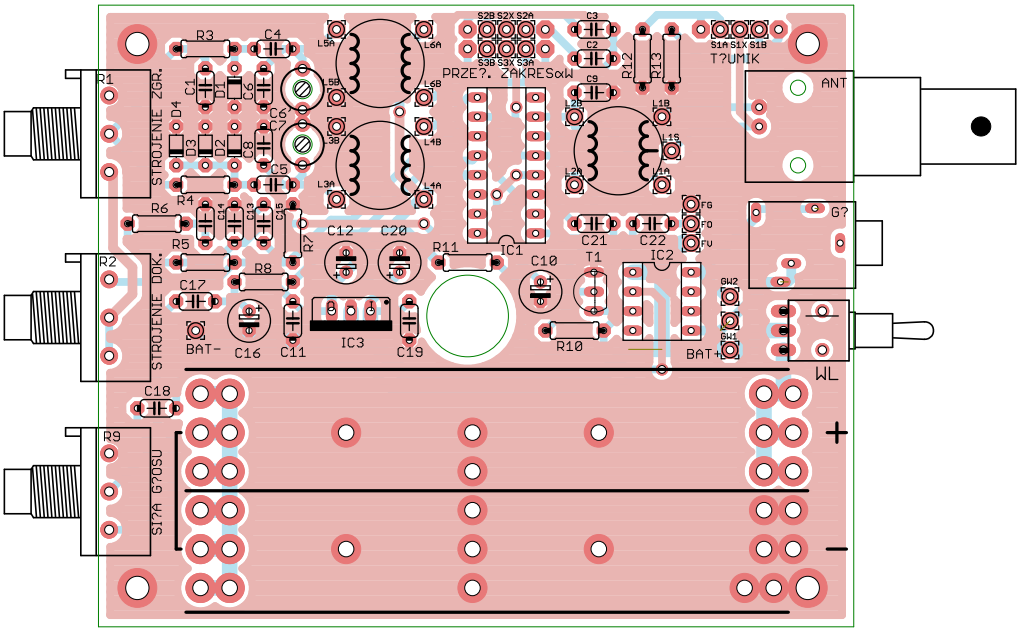
Półprzewodniki:
T1: BC547
US1: TDA 1083 (TA7613AP, A223D, 174XA10)
US2: TDA7052A (TDA7052 po zwarciu kondensatora C18)
US3: 7805
D1...D4: BB105

Pozostałe:
L1: 35 zwojów DNE 0,3 (odczep na 5. zwoju od masy) na rdzeniu Amidon T37-2
L2: 5 zwojów DNE 0,3 na L1
L3: 50 zwojów DNE 0,3 na rdzeniu Amidon T37-2
L4: 7 zwojów DNE 0,3 na L3
L5: 30 zwojów DNE 0,3 na rdzeniu Amidon T37-2
L6: 5 zwojów DNE 0,3 na L5
Pz: przełącznik suwakowy podwójny, 2 pozycyjny np. SS22G08, SUW2P2
W: wyłącznik zasilania
Ant: gniazdo BNC do druku
GŁ: gniazdo słuchawkowe stereo do druku
Podstawki: DIP8, DIP16
Obudowa KM35N (ew. Z3A)

eprasa.pl 2b951cc363

anteny i głośnika (słuchawek) odbiornik jest gotowy do pracy.

Wymiary płytki (82×99 mm) wraz ze środkowym otworem są dopasowane do plastikowej obudowy KM35N. Niestety, koszyczek z dwoma akumulatorkami typu 18650/3,7 V nie mieści się w pozycji poziomej, pomiędzy środkowym słupkiem montażowym a boczną ścianką obudowy. Także próba wstawienia na PCB blaszek stykowych akumulatorów Li-ion nie okazała się dobrym rozwiązaniem. W rozwiązaniu prototypowym zostały przylutowane odcinkami przewodów o średnicy 1 mm dwa akumulatory typu 18650/3,7 V, wyjęte ze starej baterii od laptopa. Z reguły z uszkodzonej baterii udaje się odzyskać co najmniej jedno zupełnie sprawne ogniwo. Baterie te mają zgrzane blaszki połączeniowe, co ułatwia dolutowanie przewodów montażowych. Samodzielne dolutowywanie przewodów do akumulatorów typu 18650/3,7 V jest trudne i niebezpieczne.

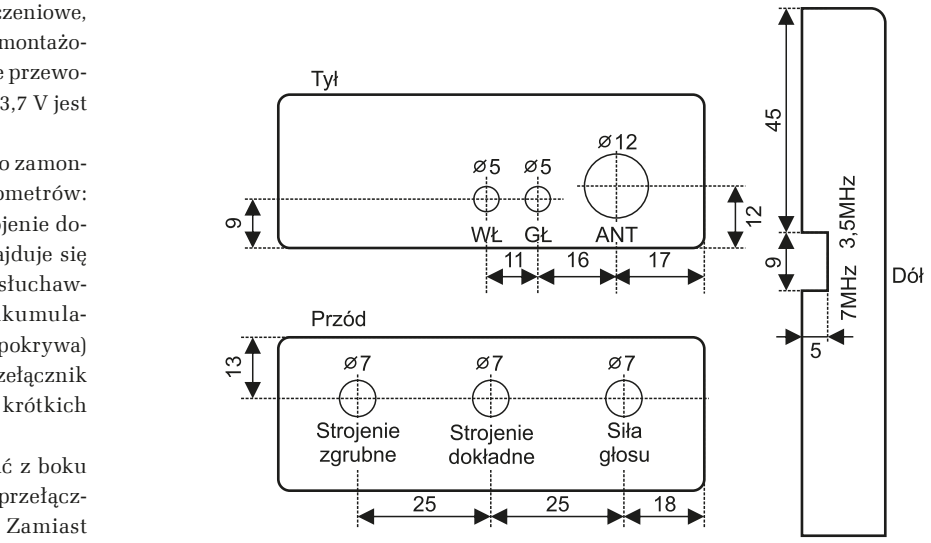


Rysunek 3. Schemat płytki PCB odbiornika

Płytka PCB jest przystosowana do zamontowania z przodu trzech potencjometrów: R1 – strojenie zgrubne, R2 – dostrojenie dokładne, R9 – siła głosu. Z tyłu znajduje się gniazdo antenowe BNC, gniazdo słuchawkowe GŁ i wyłącznik zasilania akumulatora. W lewej bocznej ściance (dolna pokrywa) znajduje się podwójny suwakowy przełącznik zakresów 3,5/7 MHz, dołączany na krótkich odcinkach drutu.

Opcjonalnie można zainstalować z boku także tłumik w postaci potrójnego przełącznika suwakowego np. SUW3P2-3. Zamiast przełącznika, z zerem pośrodku (ON-OFF-ON) i dwoma rezystorami, można użyć na wejściu antenowym potencjometru np. 1 kΩ/B i wejście sygnału RX-a pobierać z suwaka (problemem może okazać się znalezienie miejsca w obudowie na zamontowanie potencjometru).

Skala cyfrowa w opisywanym odbiorniku została potraktowana jak opcja (potrzebna głównie podczas strojenia). Dostępny F-meter AVT2885 (AVT2885 V2) nie mieści się na przedniej ściance typowej obudowy KM35N, ale są inne, większe obudowy. Na przykład obudowa Z3A ma w podstawie takie same wymiary i otwory jak KM35, ale jest dwukrotnie wyższa, co umożliwia zamontowanie z przodu skali oraz w pionie koszyczka z akumulatorami. Jest też szansa na umieszczenie pod górną pokrywą także małego głośnika wewnętrznego. Zastosowane gniazdko słuchawkowe daje możliwość odłączenia



Rysunek 4. Orientacyjne wymiary pomocne podczas wykonywania otworów w obudowie KM35N

Fotografia 1. Wygląd zmontowanego urządzenia umieszczonego w obudowie

eprasa.pl 2b951cc363

głośnika wewnętrznego po włożeniu wtyku słuchawkowego stereo zasilającego słuchawki lub głośnik zewnętrzny.

Na **rysunku 4** są podane orientacyjne wymiary potrzebne podczas wykonywania otworów w obudowie KM35N. Warto najpierw wykonać otwory mniejsze (wiertłem o mniejszej średnicy), a potem skorygować wymiary iglakiem. Ta sama uwaga dotyczy przełącznika zakresów, którego otwory powinny być indywidualnie dopasowane w zależności od użytego modelu. Od sztywności konstrukcji i montażu zależy także stabilność VFO.

Dla Czytelników zupełnie nieobeznanych z nasłuchem pasm amatorskich warto przypomnieć, że najlepiej jest uruchamiać RX w porze dobrej aktywności, np. podczas zawodów krajowych w paśmie 80 m (aktualny kalendarz zawodów jest publikowany co dwa miesiące w „Świecie Radio" w dziale Zawody). Jako anteny można użyć dipola 2×19,5 m zasilanego kablem koncentrycznym lub innej anteny wielopasmowej np. typu W3DZZ, G5RV. Ważne jest, w jakich godzinach słuchamy. Trzeba pamiętać, że pasmo amatorskie 80 m nadaje się do radiowych łączności krajowych (bliskie odległości) w ciągu dnia. Jednak najkorzystniejsze warunki do prowadzenia nasłuchów panują we wczesnych godzinach porannych, w ciągu dnia występują dość silne zakłócenia. Ponownie swobodne prowadzenie nasłuchów jest możliwe we wczesnych godzinach wieczornych do późnych nocnych. W godzinach nocnych pasmo to „otwiera się" i jest możliwe prowadzenie nasłuchów krajów europejskich, a nawet stacji z innych kontynentów (DX).

Warunki propagacyjne, także na innych pasmach, są zmienne również w zależności od pory roku. W okresie letnim zakłócenia, szumy, zaniki sygnałów występują wcześnie rano i zanikają po południu, jednak nie dzieje się tak codziennie o jednakowych porach i godzinach. Są dni, że dane pasmo otwiera się wcześniej i prowadzenie nasłuchów jest możliwe przez dłuższy czas. To właśnie także urok radioamatorstwa polegający na tym, że nie wszystko można przewidzieć – podobnie jest z pogodą.

Andrzej Janeczek SP5AHT
sp5aht@swiatradio.com.pl

Pamięci mojej żony, śp. Wiesi SP5BZX, która cały czas służyła mi pomocą w moich dokonaniach autorskich.

REKLAMA

Jak odblokować i pobrać multimedialne dodatki?

Kupiłeś magazyn Digital Camera Polska, Elektronika Praktyczna, Estrada i Studio, Gitarzysta lub Perkusista w Ulubionym Kiosku lub masz prenumeratę któregoś tytułu? Multimedialne dodatki będą odblokowane automatycznie!

Zakupiłeś te czasopisma u zewnętrznego dystrybutora? Odblokuj bibliotekę multimediów samodzielnie – szczegóły znajdziesz w magazynie.

Zarejestruj się lub zaloguj

W panelu klienta przejdź do zakładki Biblioteka Mediów

Pobierz multimedia lub odblokuj ich dostęp

ZALOGUJ SIĘ

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

eprasa.pl 2b951cc363

AVT sklep

Podstawowe parametry:

- regulacja mocy i czasu oświetlenia LED UV,
- prezentowanie parametrów pracy i ustawień na wyświetlaczu TFT 1,44",
- wykrywanie momentu umieszczenia dłoni w strefie naświetlania i automatyczne uruchomienie procesu,
- zasilanie 24 V DC, min. 1,5 A.

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

AVT5838	Latarka UV na USB (EP 1/2021)
AVT5797	Czerwona latarka LED (EP 8/2020)
AVT791	Błyskacz – sygnalizator optyczny (EdW 11/2016)
AVT1676	Latarka do namiotu (EP 5/2012)
AVT790	Mrygałka LED – energooszczędny sygnalizator optyczny (EdW 8/2016)
AVT2682	Sterownik żarówki UV (EdW 10/2003)

* 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.

CLEDUV – lampa UV do manicure

Moja żona zawodowo zajmuje się stylizacją paznokci, przez co miałem styczność z różnymi lampami UV służącymi do utwardzania lakierów. Jednym z najważniejszych parametrów takich lamp jest ich moc. Im większa moc, tym lampa lepiej oraz szybciej utwardza lakier. Niektóre lampy mają nawet możliwość regulacji mocy, lecz w większości przypadków do wyboru są tylko dwa poziomy: 50% oraz 100% mocy. Lampa, którą skonstruowałem dla żony, ma możliwość ustawienia mocy w zakresie od 0% do 100%. Ponadto urządzenie ma kilka innych przydatnych funkcji i jest wyposażone w wyświetlacz, który sprawia, że jego obsługa jest łatwa i intuicyjna.

Poza mocą lampy UV, ważnym parametrem jest też liczba zaprogramowanych czasów świecenia. Fabryczne lampy mają do każdego przycisku odgórnie zaprogramowany czas. Zwykle dostępne są czasy: 15 s, 30 s, 60 s, 90 s, 120 s. W tworzonej przeze mnie lampie napisałem program w taki sposób, że użytkownik ma możliwość zaprogramowania 5 różnych czasów do 3 różnych przycisków.

Inną powszechną cechą fabrycznych lamp jest zwykły wyświetlacz segmentowy, za pomocą którego można odczytać czas pozostały do zakończenia naświetlania, przy czym tańsze modele urządzeń w ogóle nie mają takiego wyświetlacza. W opracowanym przeze mnie rozwiązaniu zdecydowałem się zastosować niewielki kolorowy wyświetlacz o rozdzielczości 128×128 pikseli i przekątnej 1,44". Jest on wyposażony w kontroler ST7735 i 27-wyprowadzeniowe złącze taśmowe, które można lutować. Postanowiłem, że jednym z przycisków będzie można obracać wyświetlaną treść, dzięki temu obraz na wyświetlaczu może być wyświetlany w kierunku klienta lub osoby wykonującej zabieg.

W większości gotowych lamp UV znajduje się wbudowany czujnik włożenia dłoni, który powoduje uruchomienie odliczania czasu (z reguły 30 s). Także w moim projekcie postanowiłem zaimplementować taki czujnik, lecz czas działania wyzwalany tym zdarzeniem można dowolnie ustawić i zapamiętać.

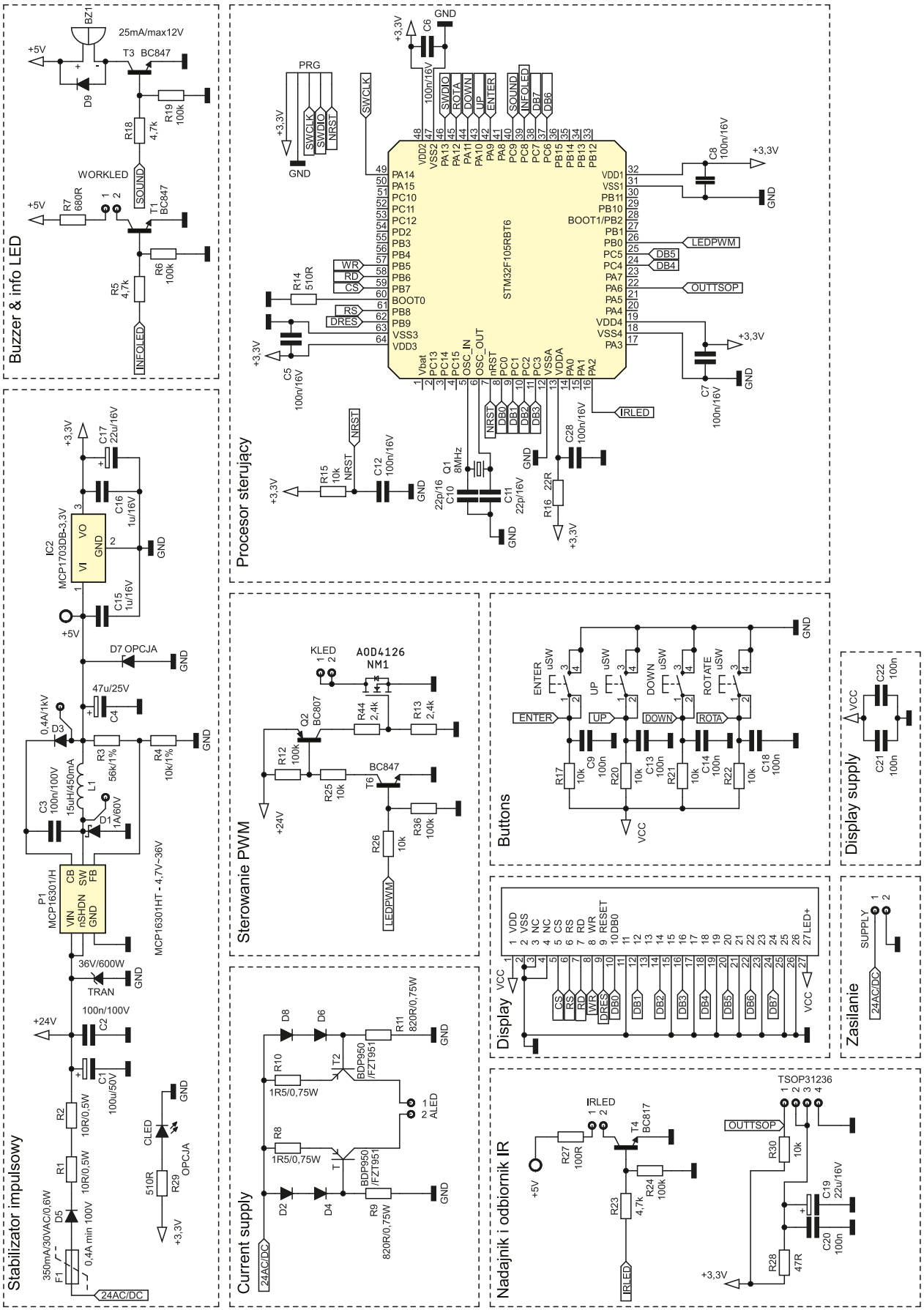
Innymi cechami, które mogą wyróżnić lampę spośród gotowych produktów na rynku, jest wbudowany sygnalizator dźwiękowy oraz sygnalizacyjna dioda LED z tyłu lampy. Sygnał dźwiękowy informuje, że czasomierz odmierzył czas do zera i można wyjąć dłoń z lampy. Tę funkcje można też wyłączyć w menu użytkownika. Sygnalizacyjna dioda LED natomiast sygnalizuje stan pracy lampy, gaśnie, gdy diody LED UV przestają świecić. Jest to przydatna funkcja, ponieważ osoba wykonująca usługę stylizacji paznokci często umieszcza lampę tyłem do siebie i nie widzi, że czas dobiegł końca, a lampa przestała już świecić.

Budowa i działanie

Główną część lampy stanowi płytka PCB, do której dołączone są dwie gałęzie, połączonych szeregowo po 7 diod Power LED UV, o prądzie znamionowym 700 mA. Schemat elektronicznego sterownika lampy został pokazany na **rysunku 1**. Pierwszym blokiem jest stabilizator impulsowy. Lampę należy zasilać zewnętrznym zasilaczem 24 V DC, o wydajności prądowej min. 1,5 A. Prąd z zasilacza zewnętrznego trafia na bezpiecznik resetowalny F1 i diodę prostowniczą D5,

eprasa.pl 2b951cc363

zabezpieczającą przed podaniem napięcia zasilania o odwróconej polaryzacji. Rezystor R2 wraz z kondensatorami C1, C2 stanowią filtr dolnoprzepustowy. Dioda transil TRAN zabezpiecza stabilizator przed ewentualnymi przepięciami. Układ P1 typu MCP16301/H działa jako przetwornica obniżająca Buck. Współpracuje z zewnętrznymi komponentami dyskretnymi: dławikiem L1, kondensatorami C1, C4, oraz diodą Schottky'ego D1. Rezystory R3 i R4 stanowią dzielnik rezystancyjny, który umożliwia pomiar napięcia



Rysunek 1. Schemat elektryczny

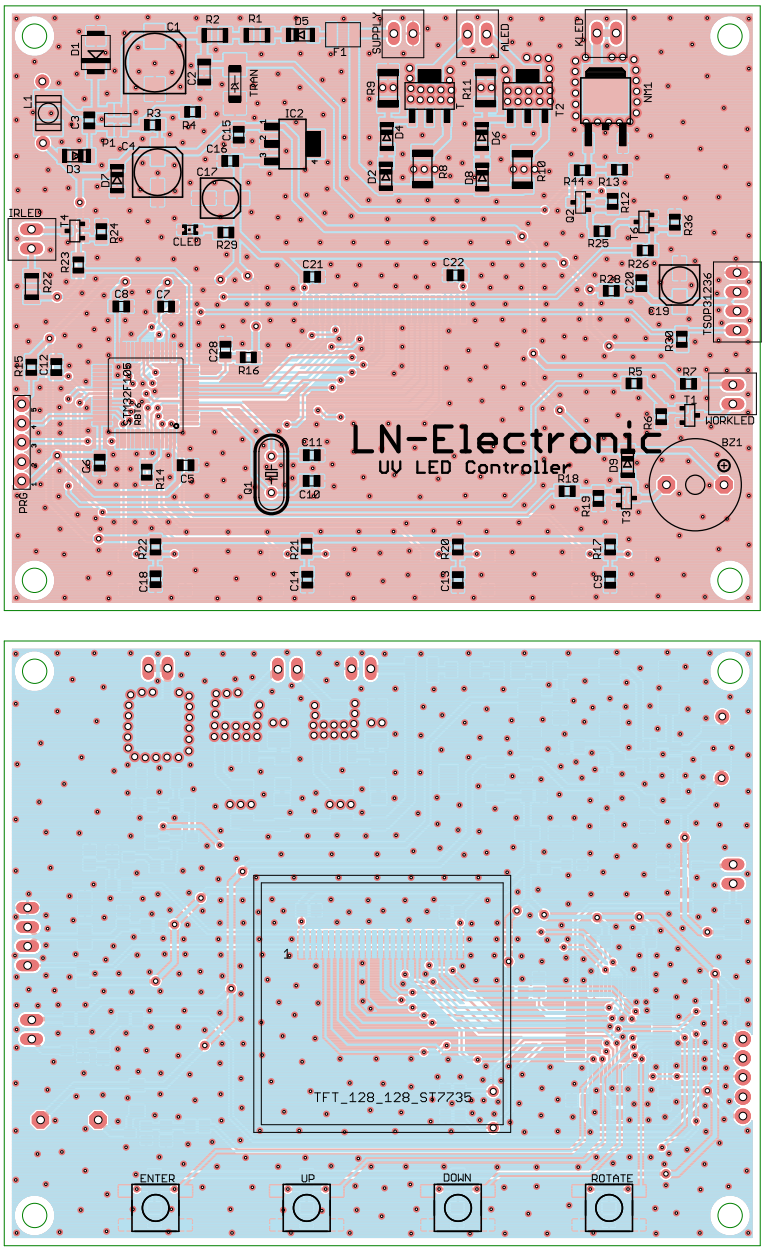
eprasa.pl 2b951cc363

wyjściowego i porównanie go z napięciem referencyjnym przetwornicy.

Dioda Zenera D7 została dodana jako dodatkowe zabezpieczenie układu przed pojawieniem się zbyt wysokiego napięcia. Z napięcia 5 V dostępnego na wyjściu przetwornicy jest wytwarzane napięcie 3,3 V za pomocą regulatora IC2, które zasila wyświetlacz oraz mikrokontroler. Układ typu MCP1703-3.3V jest regulatorem LDO z wbudowanym zabezpieczeniem przeciwko zwarciu. Do poprawnej pracy wymaga tylko kondensatorów filtrujących C16 oraz C17.

Mikrokontroler sterujący to układ STM32F105RBT6 w obudowie LQFP64. Ma dołączony zewnętrzny rezonator kwarcowy 8 MHz wraz z niezbędnymi kondensatorami C10, C11, w celu dokładnego odmierzania czasu. Rezystor R16 oraz kondensator C28 realizują filtr dolnoprzepustowy do zasilania analogowych peryferiów mikrokontrolera. Kondensatory C5, C6, C7 i C8 odsprzęgają porty zasilające mikrokontrolera, dlatego są umieszczone możliwie blisko nich. Rezystor R14 zapewnia prawidłowe bootowanie mikrokontrolera, rezystor R15 oraz kondensator C12 zapewniają dodatkowo prawidłowe zerowanie procesora po podaniu napięcia zasilania. Złącze typu goldpin PRG służy do zaprogramowania procesora oraz debugowania poprzez interfejs SWD.

Przyciski ENTER, UP, DOWN, ROTATE są zwykłymi przyciskami typu microswitch. Są dodatkowo podciągnięte do dodatniego napięcia zasilania procesora za pomocą rezystorów R17, R20, R21, R22, a wraz z kondensatorami C9, C13, C14, C18 eliminują skutki drgania styków. Złącze display służy do przylutowaniu wyświetlacza na PCB. Kondensatory C21 oraz C22 to kondensatory filtrujące znajdujące się w pobliżu zasilania wyświetlacza.



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

Tranzystory T6 oraz Q2 wraz z rezystorami R25, R26, R36, R12, R13, R44 służą do sterowania tranzystorem mosfet z kanałem typu N (NM1 – AOD4126) za pomocą sygnału PWM. Sygnał PWM służy do regulacji mocy lampy. Układ zapewnia wysterowanie tranzystora napięciem U_{GS} >10 V w celu zapewnienia jak najmniejszej rezystancji R_{DSon} oraz jak najskuteczniejszego wyeliminowania mocy strat związanej z przełączaniem tranzystora. Tranzystory T, T2, rezystory R8, R9, R10, R11 wraz z diodami D2, D4, D6, D8, tworzą dwa źródła prądowe, do których należy przyłączyć dwie gałęzie diod LED UV. Zmieniając wartości R8, R10, możemy zmienić prąd płynący przez te diody.

Tranzystor T4 wraz z rezystorami R23, R24, R27 stanowią układ, który ma za zadanie wysterowanie diody IR odpowiednim prądem. Nadajnik podczerwieni, z odbiornikiem typu TSOP31236 realizują układ wykrywający, w którym momencie dłoń zostanie włożona do lampy – sygnał podczerwieni przestaje docierać do odbiornika podczerwieni. Dzięki temu procesor od razu załącza diody LED UV. Rezystor R28 z kondensatorami C20 oraz C19 stanowią filtr zasilania odbiornika podczerwieni. Natomiast rezystor R30 wymusza stan wysoki na wyjściu odbiornika. Tranzystor T1 wraz z rezystorami R5, R6, R7 stanowi układ, który steruje informacyjną diodą LED, natomiast tranzystor T3 razem z rezystorami R18, R19 stanowią układ, który steruje sygnalizatorem dźwiękowym z wbudowanym generatorem (BZ1). Dioda CLED informuje o pojawieniu się napięcia 3,3 V.

Montaż i uruchomienie

Schemat zaprojektowanej płytki PCB został pokazany na **rysunku 2**. Wszystkie elementy układu znajdują się na stronie TOP, natomiast wyświetlacz wraz z przyciskami umieszczono na stronie BOTTOM. W pobliżu elementów, na których rozprasza się dużo mocy, znajduje się mnóstwo przelotek ułatwiających rozpraszanie ciepła, dodatkowo na obu stronach płytki PCB jest tzw. wylewka masy. W rogach płytki znajdują się otwory montażowe na śrubki 3 mm.

Montaż należy rozpocząć od przylutowania elementów odpowiedzialnych za zasilanie, czyli całego bloku przetwornicy oraz stabilizatora LDO. Następnie należy podłączyć zasilanie o napięciu 24 V do układu i sprawdzić poprawność napięć 5 V oraz 3,3 V. Po tych czynnościach można przystąpić do przylutowania mikrokontrolera. Jest on w obudowie LQFP, dlatego do tej czynności najlepiej użyć grotu typu minifala. Następnie można przystąpić do przylutowania pozostałych elementów SMD.

Przed przylutowaniem elementów przewlekanych należy przylutować wyświetlacz (taśma 27-wyprowadzeniowa). Teraz należy

eprasa.pl 2b951cc363

Fotografia 1. Strona TOP zmontowanej płytki PCB

Fotografia 2. Strona BOTTOM zmontowanej płytki PCB

zaprogramować mikrokontroler za pomocą programatora ST-Link V2 oraz programu STM32 ST-LINK Utility. Po tym zabiegu na wyświetlaczu musi się wyświetlić menu użytkownika. Jeśli wszystko zadziałało, można przykleić wyświetlacz do płytki PCB. Zmontowana płytka PCB została pokazana na **fotografiach 1** i **2**.

Następną czynnością jest podłączenie wszystkich elementów zewnętrznych tzn. diod LED UV, diody IR, odbiornika IR oraz diody sygnalizacyjnej. Anody dwóch gałęzi diod LED należy podłączyć do złącza ALED, natomiast katody dwóch gałęzi podłączyć wspólnie do złącza KLED. Sygnalizacyjną diodę zewnętrzną trzeba podłączyć do złącza WORKLED. Diodę podczerwieni należy podłączyć do złącza IRLED, a odbiornik podczerwieni do złącza TSOP31236. Po podłączeniu elementów zewnętrznych należy podłączyć zasilanie i sprawdzić, czy wszystko działa prawidłowo. Jeżeli tak, to można przystąpić do zamontowania wszystkich elementów w obudowie.

Obudowa

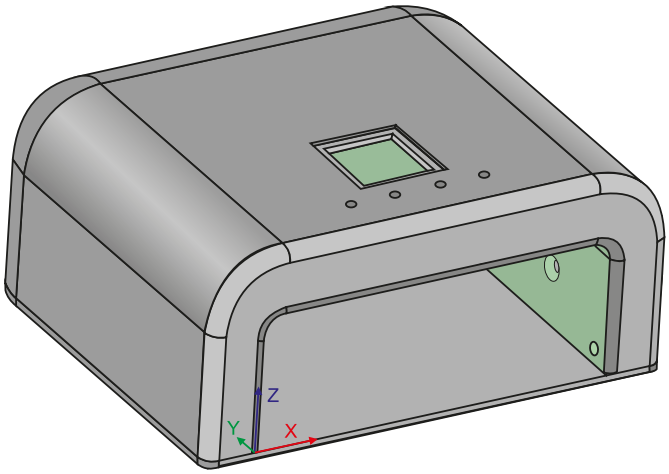
Obudowa do urządzenia została wykonana w technice druku 3D, jej projekt jest pokazany na **rysunkach 3** i **4**. Składa się z trzech elementów: podstawki, części wewnętrznej oraz zewnętrznej. Część wewnętrzna lampy oraz podstawka zostały wydrukowane osobno, aby ograniczyć zużycie filamentu oraz czasu wydruku (nie trzeba wtedy stosować dodatkowych podpór). Elementy te po wydrukowaniu należy ze sobą złączyć (specjalne wypusty w części wewnętrznej oraz otwory w podstawce) i skleić. Do otworów w części wewnętrznej obudowy należy przykleić diody Power LED UV przymocowane do aluminiowych radiatorów. Do części zewnętrznej obudowy należy wepchnąć diodę sygnalizacyjną o średnicy 5 mm oraz zmontować sprawdzoną płytkę PCB za pomocą śrubek 3 mm. Zewnętrzna część obudowy ma zagłębienie wokół wyświetlacza służące do przyklejenia zewnętrznej płytki z pleksi o grubości 1,5 mm. Część zewnętrzną wraz z podstawą obudowy należy skręcić za pomocą śrubek 3 mm. Na **fotografiach 3** i **4** zostały pokazane zmontowane obie części obudowy.

Obsługa

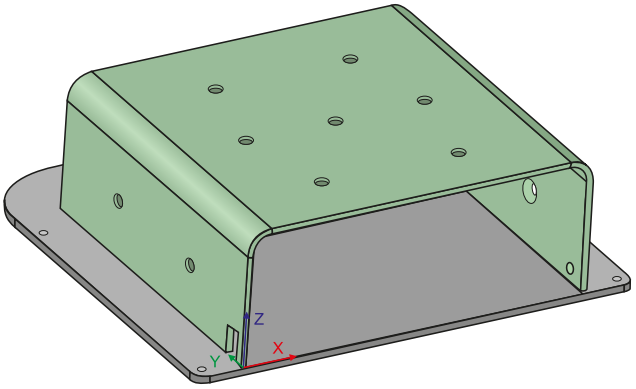
Po uruchomieniu urządzenia na wyświetlaczu pojawia się menu użytkownika, w którym do wyboru mamy takie opcje: PRACA, CZASY, MOC, DŹWIĘK, ZAPISZ (**fotografia 5**). Przyciskami UP, DOWN poruszamy się po menu, aby wejść do danej funkcji, naciskamy ENTER. Aby wyjść i powrócić do menu należy przytrzymać przez około 2 s przycisk ENTER, a następnie go zwolnić.

Po wejściu do funkcji PRACA na wyświetlaczu ukazuje się pozostały czas do wyłączenia świecenia (**fotografia 6**). W tym trybie, naciskając krótko ENTER, uruchamiamy pierwszy zaprogramowany czas, natomiast naciskając krótko przyciski UP, DOWN uruchamiamy kolejno zaprogramowane czasy, drugi oraz trzeci. Aby uruchomić zaprogramowany czas czwarty oraz piąty, należy przytrzymać przez około 2 s przycisk UP lub DOWN. Aby wyjść z trybu pracy, należy przytrzymać przez około 2 s wciśnięty przycisk ENTER, a następnie go puścić.

Po wybraniu funkcji CZASY możemy zaprogramować czasy przypisane do poszczególnych przycisków (**fotografia 7**). Należy zaznaczyć dany czas (przyciski UP, DOWN), który chcemy zmienić, a następnie nacisnąć ENTER. Wybrany czas zacznie migać. Naciskając i przytrzymując przyciski UP oraz DOWN możemy zmienić wartość

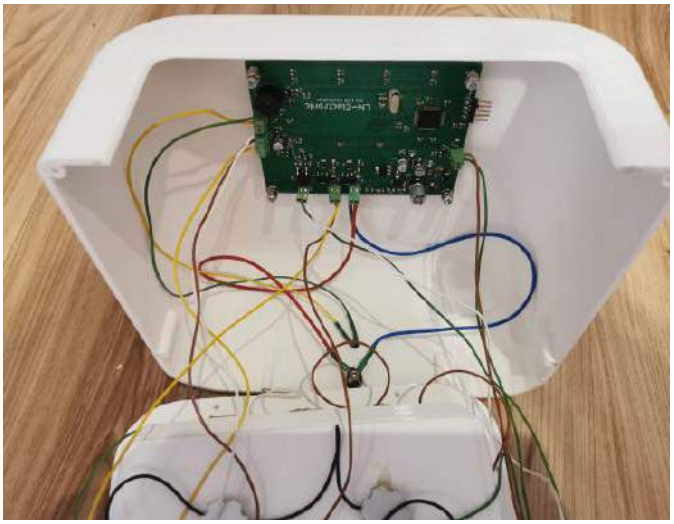


Rysunek 3. Projekt górnej części obudowy

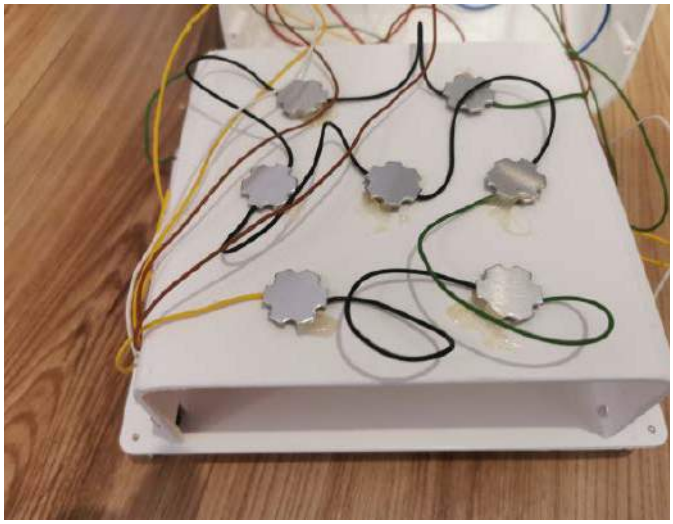


Rysunek 4. Projekt dolnej części obudowy

eprasa.pl 2b951cc363



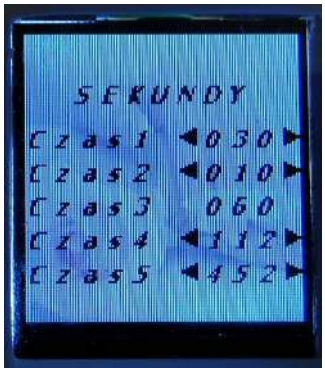
Fotografia 3. Zmontowana górna część obudowy



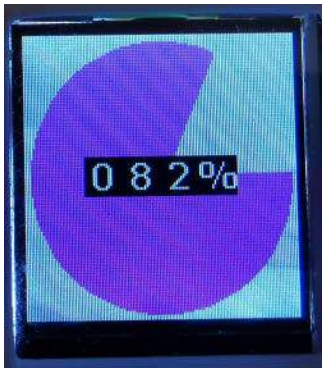
Fotografia 4. Zmontowana podstawka z wewnętrzną częścią obudowy

Fotografia 5. Główne menu użytkownika

Fotografia 6. Uruchomiony tryb pracy



Fotografia 7. Podmenu CZASY



Fotografia 8. Podmenu MOC

Fotografia 9. Podmenu DŹWIĘK

danego czasu. Po wprowadzeniu zmiany czasu, w celu zatwierdzenia, należy nacisnąć ENTER. Aby wyjść z podmenu CZASY, należy przytrzymać przycisk ENTER przez około 2 s a następnie go zwolnić. Ustawienie „Czas1" jest czasem, który może być aktywowany poprzez naciśniecie przycisku ENTER, ale także jest aktywowany automatycznie po włożeniu dłoni do lampy.

Funkcja MOC, za pomocą przycisków UP oraz DOWN, pozwala regulować maksymalną moc lampy wyrażoną w procentach (**fotografia 8**). Aby wyjść z menu głównego, należy przytrzymać przycisk ENTER przez około 2 s a następnie go zwolnić.

W podmenu DŹWIĘK mamy możliwość załączenia lub wyłączenia sygnalizacji dźwiękowej po zakończeniu odliczania czasu (**fotografia 9**). Zmiany ustawienia dokonujemy przyciskiem UP lub DOWN, a wychodzimy tak, jak w pozostałych przypadkach.

Wybierając funkcję ZAPISZ, uruchamiamy zapisanie w pamięci nieulotnej urządzenia wszystkich wprowadzonych ustawień. Jednorazowe naciśnięcie przycisku ROTATE powoduje obrócenie wyświetlanego obrazu o 90°. Działające urządzenie można zobaczyć na filmie pod adresem: https://bit.ly/3CceB2a.

Krzysztof Miękus
lordwest1989@tlen.pl

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, o ile nie zaznaczono inaczej)
R1, R2: 10 Ω, 0,5 W SMD1206
R3: 56 kΩ, 1%
R4, R15, R17, R20...R22, R25, R26, R30: 10 kΩ, 1%
R5, R18, R23: 4,7 kΩ
R6, R12, R19, R24, R36: 100 kΩ
R7: 680 Ω
R8, R10: 1,5 Ω, min. 0,75 W, SMD2010
R9, R11: 820 Ω, min. 0,75 W, SMD2010
R13, R44: 2,4 kΩ
R14, R29: 510 Ω
R16: 22 Ω
R27: 100 Ω
R28: 47 Ω

Kondensatory:
C1: 100 µF/50 V
C2: 100 nF SMD1206
C3, C5...C9, C12...C14, C18, C20...C22, C28: 100 nF SMD0805
C4: 47 µF/25 V
C10, C11: 22 pF SMD0805
C15, C16: 1 µF SMD0805
C17, C19: 22 µF/16 V

Półprzewodniki:
D1: Schottky'ego 1 A, 60 V, SMB
D2...D4, D6, D8, D9: 1N4148 SMD
D5: 1N4007 SMD
D7: dioda Zenera 5,6 V SM
T, T2: BDP950 (SOT223)
T1, T3, T6: BC847 (SOT23)
T4: BC817 (SOT23)
Q2: BC807 (SOT23)
NM1: tranzystor MOSFET N AOD4126
IC1: MCP1703-3.3 (SOT223)
P1: MCP16301/H
U3: STM32F105RBT6 (LQFP64)
TRAN: transil 36 V/600 W SMD
TSOP31236: odbiornik podczerwieni TSOP31236
U4: wyświetlacz TFT 128×128 z kontrolerem ST7735 i 27-wyprowadzeniowym złączem taśmowym

Pozostałe:
BZ1: buzzer z generatorem 25 mA/12 V
F1: bezpiecznik resetowalny 350 mA/30 VAC/0,6 W
L1: dławik 15 µH/450 mA
Q1: rezonator kwarcowy 8 MHz SMD
SUPPLY, ALED, IRLED, KLED, WORKLED: złącze ARK-2.54
DOWN, UP, ENTER, ROTATE: microswitch SMD
PRG: szpilki goldpin 1×5

eprasa.pl 2b951cc363

AVT sklep

Podstawowe parametry:

- poszerza możliwości niemal każdego miernika częstotliwości/czasu, dopasowując parametry mierzonych sygnałów do wejść miernika,
- zawiera wzmacniacze sygnału cyfrowego, sygnału HF oraz sygnału VHF oraz multiplekser pozwalający na wygodne przełączanie pomiędzy nimi,
- zawiera łatwo dostępne elementy i daje możliwość dokonania różnych modyfikacji, zarówno sprzętowych, jak i programowych.

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

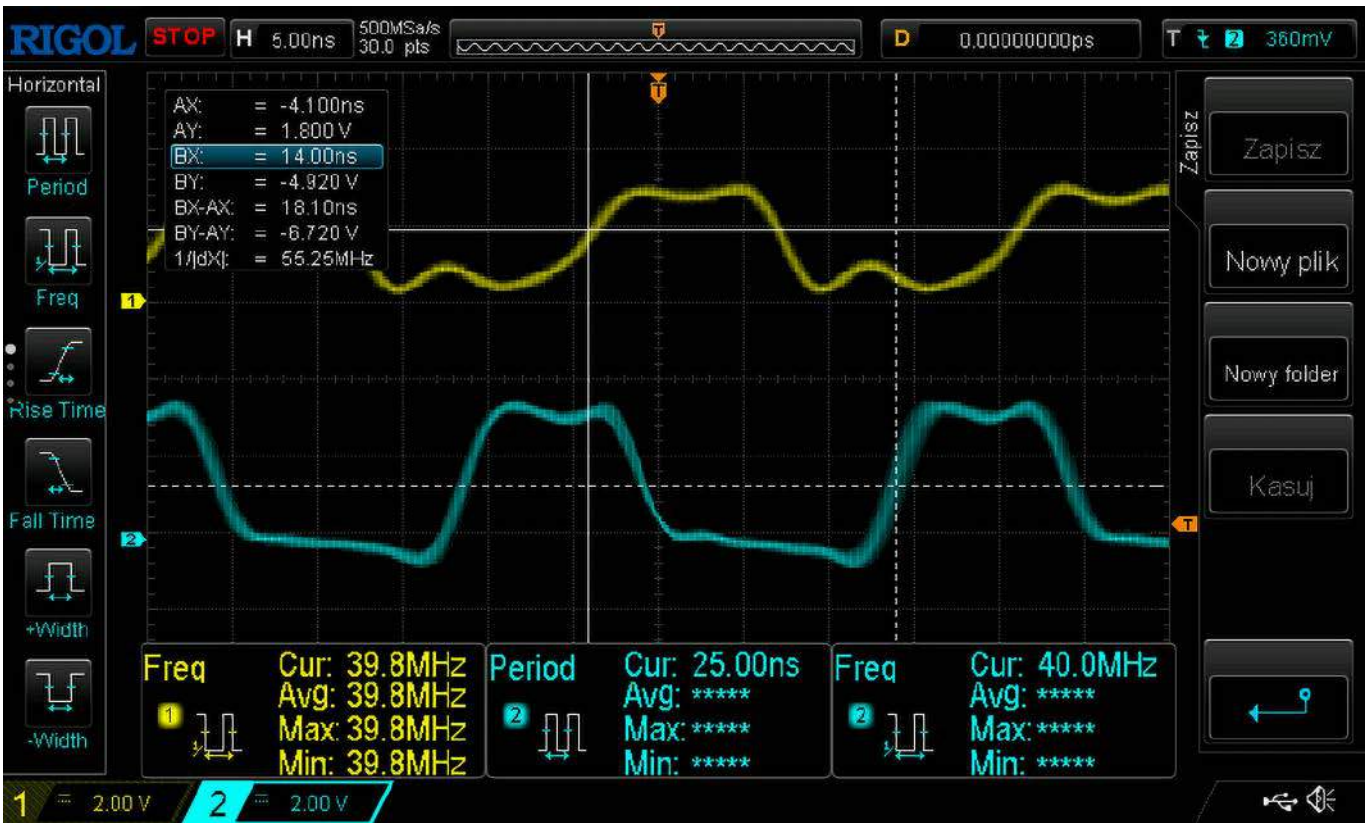
----	Wzmacniacze wejściowe do częstościomierza (EP 9/2021)
AVT3275	F-meter – modułowy licznik częstotliwości i czasu (EdW 9/2020)
AVT5755	F-meter – licznik częstotliwości i czasu (EP 5/2020)
AVT2885	Miernik częstotliwości – f-meter (EdW 11/2008)
AVT2831	Mikroprocesorowy miernik częstotliwości 4 MHz – 150 MHz (EdW 7/2007)
AVT2764	Częstościomierz & generator na PC (EdW 9/2005)

* 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.



Wzmacniacze wejściowe do częstościomierza (3)

Rozszerzenie możliwości AVT3275

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

W ostatniej części artykułu wyjaśnimy kilka istotnych kwestii dotyczących działania całego urządzenia oraz omówimy działanie programu sterującego i obsługę za pomocą komend przesyłanych poprzez program typu terminal.

Pomiary próbne

Sygnał o częstotliwości 40 MHz posłużył do sprawdzenia opóźnienia wnoszonego przez komparator, bramki i płytkę multipleksera dla wykonania z układami 74LVC. Kanał numer jeden został pokazany na rysunku tytułowym do artykułu (kolor żółty), to przebieg wejściowy, drugi (kolor lazurowy) wyjście 1:1 na płytce multipleksera (złącze J4 na AVT3277/0). Maksymalna częstotliwość, jaką udało się zmierzyć, to 111 MHz. Trzeba mieć świadomość, że maksymalna częstotliwość pracy układów LVC jest niższa i zależy od konkretnego egzemplarza układu. Pomiar 120 MHz był niemożliwy, miernik wskazał połowę częstotliwości, co wynika z oscylogramu z **rysunku 12** (kolory sygnałów takie, jak na poprzednim rysunku). Film

eprasa.pl 2b951cc363

Rysunek 12. Oscylogram podczas pomiaru częstotliwości 120 MHz, którego efektem było niewłaściwe wskazanie

prezentujący pomiary można zobaczyć na: https://bit.ly/3Eeyt5h.

Tryb *dual* i *single mode*

Licznik częstotliwości ma dwa wejścia pomiarowe. Oprogramowanie w wersji V2.0 może pracować w dwóch trybach: dual (double), gdzie każde z wejść jest niezależne oraz single, w którym wejście B (pin 3 JP1) podłączone jest do wyjścia 1:4 (złącze JP8 AVT3277/0). Tryb double pozwala na pomiar częstotliwości do 42 MHz na obu wejściach, tryb single do teoretycznie 168 MHz na wejściu A (F-meter może korzystać z dzielnika U5 na AVT3277/0), o ile zastosowano odpowiednio szybkie układy. Wyboru trybu dokonuje się w menu dostępnym po naciśnięciu przycisku MENU (**fotografia 9**) i przytrzymaniu przez ponad 2 sekundy, przycisku enkodera. Opcję single/double wybiera się, kręcąc enkoderem. Wyjście w menu następuje po kolejnym naciśnięciu przycisku MENU. Menu będzie dostępne, tylko gdy płytka multipleksera AVT3277/0 jest podłączona i gdy działa komunikacja.

W trybie single mode możliwy jest pomiar częstotliwości większych niż 42 MHz. Wynika to z faktu, że logika programu w pewnych sytuacjach używa sygnału podzielonego przez dwa czy cztery. Niestety, im wyższa częstotliwość, tym mniejsze prawdopodobieństwo, że dzielnik nie zostanie przyłączony lub będzie to trwało długo i tak 50 MHz jest mierzone w kilka sekund, ale już 60 MHz w kilkanaście, a nawet kilkadziesiąt. Udało się zmierzyć 75 MHz, ale na włączenie dzielnika trzeba było czekać kilka minut. Dlatego, aby mierzyć większe częstotliwości, należy użyć trybu single mode i preskalera AVT3277/3 lub poczekać na zakończenie prac nad AVT3278, który będzie mierzył częstotliwości do 240 MHz.

TCXO AVT3276

Oprogramowanie AVT3275 w wersji 2.0 do komunikacji z TXCO używa interfejsu I²C, a nie UART, jak to było w wersji 1.xx. Dzięki temu UART może być zastosowany do innych celów, na przykład do komunikacji z modułem Bluetooth. Dodatkową funkcją AVT3276 jest generowanie wzorcowych częstotliwości wyprowadzonych na złącze J16. W wersji 1.xx programu były one ustalone na 1 MHz (pin 3 J16), 8 MHz (pin 4) i 16 MHz (pin 5). Wersja 2 pozwala na generowanie dowolnej częstotliwości, możliwej do uzyskania na timerze 16-bitowym. Maksymalna możliwa do uzyskania częstotliwość wynosi 40 MHz, minimalna około 0,02 Hz. Poza częstotliwością, możliwa jest regulacja wypełnienia sygnału. Program AVT3275 w wersji 2.0 pozwala ustawić dziewięć zdefiniowanych częstotliwości na jednym wyjściu. Są to 1, 2, 4, 5, 8, 10, 16, 20 i 40 MHz. Wypełnienie wynosi 50%, poza 16 MHz, którego wypełnienie wynosi 60%.

Wyboru częstotliwości dokonujemy w menu numer 11 – **fotografia 10**. Nie pojawi się ono, jeśli nie będzie modułu TCXO połączonego przez I²C. Częstotliwość wybiera się, naciskając przycisk enkodera. Wybrana częstotliwość pojawia się na wyprowadzeniu 3 złącza J16. Poza predefiniowanymi częstotliwościami można wybrać inną, a także ustawić w niej współczynnik wypełnienia. Możliwe jest to, gdy zmieniając przyciskiem zdefiniowane częstotliwości, zobaczymy ekran, na którym widać dodatkowe parametry: PSC, AAR, CCx i Duty. Domyślnie ustawione jest 500 kHz z wypełnieniem 50%. PSC, AAR i CCx to nazwy rejestrów timera STM32. Do TCXO AVT3276 wartości PSC i AAR są wysyłane po zmniejszeniu o jeden. Dzięki temu to, co widać na wyświetlaczu, jest pokazane w bardziej naturalny sposób.

Aby zmodyfikować ustawienia, należy nacisnąć przycisk SET. Modyfikowany parametr zacznie migać. Każde kolejne naciśnięcie SET powoduje przejście do kolejnego parametru. Enkoderem modyfikujemy wartość rejestru. Ustawienia zapisywane są w pamięci EEPROM. Zmiana AAR powoduje ustawienie CCx na połowę (bez reszty z dzielenia) wartości rejestru AAR (o ile jest to możliwe wypełnienie 50%).

Zakres częstotliwości jest bardzo szeroki i rozciąga się od poniżej 0,02 Hz do 40 MHz. Rozdzielczość regulacji wypełnienia, zależnie od ustawienia rejestru AAR, rozciąga się od 0,0015% do 50% dla najwyższej częstotliwości. Trzeba pamiętać, że wiele takich samych częstotliwości można uzyskać dla różnych ustawień preskalera. Przykładowo, sygnał 1 MHz uzyskamy dla PSC=80, AAR=1, jak i dla PSC=1, AAR=80, zgodnie ze wzorem:

$$Fout=80e6/PSC/AAR$$

Dla bezpieczeństwa warto sygnał wychodzący z TXCO zbuforować. W prototypie do tego celu zastosowano płytkę AVT3277/2, używając tylko układu U1 oraz kondensatorów filtrujących zasilanie. Wadą tego rozwiązania jest negowanie sygnału, co może być niewygodne, gdy używa się wypełnienia przebiegu innego niż 50%. W takim przypadku lepiej sprawdzi się płytka AVT3277/1, gdzie bufory można połączyć tak, aby sygnał nie był negowany. Jeśli pożądane byłoby generowanie sygnału na więcej niż jednym wyjściu TCXO, proszę Czytelników o e-maile.

Obsługa programowa

Gdy płytki pracują z zestawem AVT3275 (wymagany soft V2.0 lub nowszy), to użytkownik o nic się nie martwi, podłącza płytkę wejść lub płytki i multiplekser do częstościomierza, i cała konfiguracja odbywa się automatycznie, bez względu na to, czy płytka wzmacniacza jest podłączona do multipleksera AVT3277/0, czy płytki zasilacza AVT3277-ZAS. Inaczej jest w przypadku podłączenia płytki z własnym mikrokontrolerem. W takiej sytuacji trzeba samemu zapewnić odpowiednie sterowanie. Nie jest to możliwe bez znajomości protokołu komunikacyjnego.

Protokół jest ogólnie dostępny i dosyć prosty. Komunikacja z płytką wejść odbywa się

Fotografia 9. Wybór trybu w menu dostępnym po naciśnięciu przycisku MENU

Fotografia 10. Wybór częstotliwości w menu numer 11

eprasa.pl 2b951cc363

przy taktowaniu I²C do 100 kHz. Adres płytki wzmacniacza wejściowego 0x40 (zapis 0x80, odczyt 0x81). Układ udostępnia rejestry, które zostały zdefiniowane na **listingu 1**. Funkcję poszczególnych rejestrów i ich adresy zostały zestawione w **tabeli 1**. Szczegółowy opis znaczenia rejestrów wygląda następująco:

- **OUT** – w czasie zapisu do tego rejestru: bit 0. – steruje czerwoną (niebieską) diodą na płytce wzmacniacza wejściowego AVT3277/1 i 3277/2; bit 1. – zieloną (bursztynową); bit 3. – multiplekserem analogowym U4 na płytce AVT3277/2 wybierającym tryb pracy AUTO/NAMUAL poziomu wyzwalania; bit 4. – uaktywnia przerwania od przycisku. Przerwanie jest kasowane automatycznie po odczycie rejestru. Bity 2. i 5. – nie są używane, należy ustawić je na wartość 0; bit 6. – załącza przekaźnik A; bit 7. – przekaźnik B, oczywiście o ile znajduje się on na płytce. W przypadku płytki preskalera AVT3277/3 funkcje rejestru są nieco inne. Bity 0. i 1. – bez zmian, ale diodą D4 „ON" sterujemy bitem 3.; bity 6. i 7. – ustawiają stopień podziału preskalera zgodnie z **tabelą 2**. Odczyt rejestru zwraca ostatnio zapisaną wartość.
- **PWM_H** – starszy bajt PWM, z którego generowane jest napięcie polaryzujące wejście bramki (AVT3277/1) lub ustalające napięcie komparatora (AVT3277/2). Odczyt rejestru zwraca ostatnio zapisaną wartość.
- **PWM_L** – młodszy bajt PWM, istotne są cztery starsze bity, młodsze należy ustawić na 0. Odczyt rejestru zwraca ostatnio zapisaną wartość.
- **TYP** – tylko do odczytu, zwraca typ karty, możliwe wartości: 0x00 – AVT3277/3, 0x40 – AVT3277/1, 0xC0 – AVT3277/2.
- **VER** – tylko do odczytu, wersja programu. Jedności zakodowane w starszym półbajcie, dziesiąte części w młodszym. Wersja 2.0 zwraca *0x20*.
- **INT** – tylko do odczytu, ustawiony bit 4. sygnalizuje przerwanie od przycisku, bit 0 restart płytki. Rejestr jest kasowany automatycznie po odczycie.
- **ADC_H** – tylko do odczytu, osiem starszych bitów wartości przetwornika ADC.
- **ADC_L & KEY** – tylko do odczytu, cztery młodsze bity ADC na bitach 4...7; bit 0. – zwraca fizyczny stan przycisku na płytce; bit 1. – zawiera wartość po odfiltrowaniu (likwidacja drżenia styków); bit 3. – sygnalizuje zmianę stanu przycisku od ostatniego odczytu rejestru; bit 4. – zawiera wartość, która spowodowała zmianę. Operacja *& 0x0C* na rejestrze zwróci *0x0C*, gdy przycisk został naciśnięty i *0x04* po jego zwolnieniu. Dzięki bitom 3. i 4. nie trzeba bardzo często odczytywać płytki, aby stwierdzić nawet krótkotrwałe naciśnięcie przycisku.
- **ID0 i ID1** – do przyszłych zastosowań.
- **DT0 i DT1** – tylko do odczytu, data i czas kompilacji. Bity 4...7 – zawierają miesiąc; bity 0...3. – wartość bitów określa numer dnia, bit 0. dnia znajduje się w bicie 7. rejestru DT0. Na bitach 3...6. zapisana jest godzina kompilacji w formacie 24H, 0...2. zawierają bity minuty, co oznacza dokładność ośmiu minut. Ten trochę zawiły opis wyjaśnia funkcja rozkodowująca dane, pokazana na **listingu 2**.
- **PEC** – tylko do odczytu, suma kontrolna CRC8. Sposób liczenia sumy kontrolnej został pokazany na **listingu 3**.

Przykładowe dane zarejestrowane analizatorem LS2016 podczas odczytu i zapisu płytki AVT3277 zostały zamieszczone w materiałach dodatkowych. W pliku *odczyt-zapis AVT3277 (1-3).kvdat* znajdują się dane

Listing 1. Adres płytki wzmacniacza wejściowego to 0x40 (zapis 0x80, odczyt 0x81), układ udostępnia rejestry zdefiniowane poniższym kodem

```
enum {
AVT3277rej_OUT, AVT3277rej_PWM_H, AVT3277rej_PWM_L,
AVT3277rej_TYP, AVT3277rej_VER, AVT3277rej_INT,
AVT3277rej_ADC_H, AVT3277rej_ADC_L_KEY, AVT3277rej_ID0,
AVT3277rej_ID1, AVT3277rej_DT0, AVT3277rej_DT1,
AVT3277rej_PEC, AVT3277rej_END };
```

Tabela 1. Funkcje poszczególnych rejestrów i ich adresy oraz wyjaśnienia dla płytki wzmacniacza wejściowego

Adres	Nazwa	Funkcja przy zapisie	Funkcja przy odczycie
0	OUT	sterowanie wyjściami	poprzednio zapisana wartość
1	PWM_H	starsze 8-bit PWM	poprzednio zapisana wartość
2	PWM_L	młodsze 8-bit PWM	poprzednio zapisana wartość
3	TYP karty		rodzaj karty
4	VERsja progr		wersja programu
5	INT		źródło przerwania
6	ADC_H		starsze 8-bit ADC
7	ADC_L & KEY		młodsze 4-bit ADC i stan przycisku
8	ID0		do przyszłych zastosowań
9	ID1		do przyszłych zastosowań
10	DT0		data kompilacji programu
11	DT1		czas kompilacji programu
12	PEC		suma kontrolna CRC8

Tabela 2. Stopień podziału preskalera ustawiany w rejestrze OUT

Bit 7.	Bit 6.	Podział częstotliwości
0	0	80/256
0	1	40/128
1	0	20/64
1	1	10

Listing 2. Funkcja rozkodowująca dane w rejestrach DT0 i DT1

```
// Miesiąc
uint8_t MM = AVT3277rej_DT1 >> 4;
// Dzień
uint8_t DD = ( AVT3277rej_DT1 & 15)
    << 1 | dane[ AVT3277rej_DT0 ] >> 7;
// Godzina
uint8_t gg = ( AVT3277rej_DT0 >> 3 ) & 0x1f;
// Minuta
uint8_t mm = ( AVT3277rej_DT0 & 7) << 3;
```

Listing 3. Sposób liczenia sumy kontrolnej w rejestrze PEC

```
crcPEC = 0;
for (uint16_t x = 0; x < AVT3277rej_END - 1; x++)
    crcPEC = _crc8( dane[ x ] );
if ( crcPEC != dane[AVT3277rej_CRC] ) {
    // blad CRC
}

uint8_t crcPEC;
uint8_t _crc8(uint8_t data) {
    uint8_t i = 8;
    crcPEC ^= data;
    while (i--)
        crcPEC = crcPEC & 0x80 ?
        (crcPEC << 1) ^ 7 : crcPEC << 1;
    return crcPEC;
}
```

Listing 4. Ustawianie multipleksera PCA9544

```
SubBus = 3;
SubBus |= 0b100;
HAL_I2C_Master_Transmit(&hi2c1, PCA9544_4MUX_7 << 1, &SubBus, 1, 2);
```


eprasa.pl 2b951cc363

Listing 5. Konfigurowanie układu PCA9554

```
uint8_t dane[2] = {
    0x03,       // Konfiguracja
    0x00};  // Wszystkie porty wyjściami
HAL_I2C_Master_Transmit(
&hi2c1, AdrI2c_Ext8[0] << 1, dane, 2, 2);
```

Listing 6. Fragment programu odpowiedzialny za wysyłanie ustawień wejść, podzielnika i stanu diody D1

```
dane[0] = 0x01; // Rejestr OUT
uint8_t config = 0;
switch ( cfg.aktywneWejscie ) {
    case 0: config = 1; break; // wejście A
    case 1: config = 2; break; // wejście B
    case 2: config = 4; break; // wejście C
    case 3: config = 8; break; // wejście D
}
if ( (readTimSys()% 1000) < 500 )
    config |= 0x10; // Dioda CFG
config |= 0x80; // 1/1
//config |= 0x40; // 1/2
//config |= 0x20; // 1/4
dane[1] = config ^ 255; // Wartość
HAL_I2C_Master_Transmit(
&hi2c1, AdrI2c_Ext8[0] << 1, dane, 2, 2);
```

rejestratora, które można odczytać bezpłatnym programem dostępnym na stronie producenta analizatora LA2016.

Komunikacja z płytką multipleksera AVT3277/0 jest znacznie prostsza, bo wystarczy zapoznać się z notami katalogowymi zastosowanych w niej układów. Aby ułatwić zadanie, pokażę fragmenty listingów AVT3275. Na wstępie należy zaznaczyć, że adres układu PCA9544 na płytce pierwszego multipleksera to 0x77 (wszystkie piny JP1 i JP2 rozwarte, zapis 0xEE, odczyt 0xEF), dla drugiego zarezerwowano adres 0x75 (zwarte piny 3–4 JP2). Adres układu PCA9554 0x27 (zapis 0x4E, odczyt 0x4F), PCA9554A – 0x3F. Ze względu na dwie wersje układu PCA9554 (z sufiksem A i bez), program w AVT3275 obsługuje oba adresy.

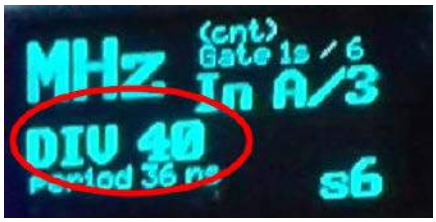
Zanim nastąpi komunikacja z układem U4 PCA9554, należy odpowiednio ustawić multiplekser U6 PCA9544. Aby to zrobić, należy wysłać dwa bajty, pierwszy z adresem układu do zapisu, drugi z numerem wybranego wyjścia. W AVT3275 realizuje to fragment programu z **listingu 4**. Po przyłączeniu multiplekserem układu PCA9554 do magistrali I²C AVT3275 wysyłana jest do niego konfiguracja – numer wybranego wyjścia. W AVT3275 realizuje to fragment programu pokazany na **listingu 5**. Wysyłanie konfiguracji przy każdej transmisji ma tę zaletę, że w przypadku chwilowego odłączenia zasilania układu nie trzeba resetować AVT3275, co byłoby konieczne, gdyby układ był konfigurowany tylko raz po resecie. Po skonfigurowaniu wysyłane jest ustawienie wejść, podzielnik i stan diody D1. Ze względu na logikę ujemną bramek 3-stanowych oraz włączenie diody anodą do plusa, dane przed wysłaniem są negowane – **listing 6**. Struktura *cfg* w polu *aktywneWejscie* zawiera numer wejścia (zakres 0...3). Następnie jest ustawiany, lub nie, bit 4. sterujący diodą D1. Warunek `if ( (readTimSys()% 1000) < 500 )` powoduje, że dioda D1 miga w czasie poprawnej pracy programu. Bity 5...7. decydują o ustawieniu podzielnika przez dwa, cztery lub pracę bez niego. Trzeba pamiętać, by ustawić jeden z bitów 5...7., tak samo jak jeden z 0...3., w przeciwnym razie kilka wyjść bramek 3-stanowych będzie połączonych razem, co doprowadzi do zwarć.

Nie trzeba się martwić o zwarcia po włączeniu zasilania, kiedy to układ nie jest skonfigurowany. W takiej sytuacji wszystkie wyprowadzenia PCA9554 są ustawione jako wejścia z podciąganiem, co wymusza na nich poziom wysoki (czyli nieaktywny) bramek 3-stanowych układów U1 i U3. Nie ma też niebezpieczeństwa uaktywnienia kilku bramek w czasie pomiędzy skonfigurowaniem układu a wysłaniem danej do rejestru. Wynika to z faktu, że po resecie rejestr wyjściowy zawiera wartość 0xFF.

Odbiegając od zasadniczego tematu, zachęcam do kupowania oryginalnego analizatora LA2016 lub lepszego z tej rodziny. Koszt LA2016 to około 400 zł, jest droższy od klona SaleAE8, ale możliwości nieporównywalnie lepsze (wbudowany bufor) i jest to oryginał, a nie podróbka. Porównując cenę LA2016 do oryginału SaleAE16, jest on dużo tańszy, a możliwości ma o wiele większe niż SaleAE.

Do AVT3275 można podłączyć płytkę izolowanego interfejsu USB z układem FT201 przykładowo AVT3293. Nie jest ważne, gdzie zostanie przyłączona, czy do I²C na płytce zasilacza AVT3277-ZAS, czy multipleksera AVT3277/0, a nawet bezpośrednio do I²C na AVT3275. Ważne, aby na tej samej magistrali nie znajdował się układ pracujący z taktowaniem I²C mniejszym niż 400 kHz. Można więc podłączyć FT201 do niewykorzystanego portu na zasilaczu (trzeba pamiętać o rezystorach podciągających 10 kΩ) albo na płytce AVT3277/0. W prototypie płytka jest podłączona do multipleksera o adresie 0x76 (płytka zasilacza) magistrala 0 (złącze J6 przeznaczone domyślnie dla pojedynczej płytki wzmacniacza wejściowego). Na razie nie ma aplikacji przeznaczonej dla AVT3275 i na USB wysyłane są te same informacje, co na UART, ale tylko w czasie pracy pętli głównej – nie są wysyłane informacje diagnostyczne po resecie. W razie zainteresowania inną funkcjonalnością USB proszę o e-maile. Należy też pamiętać, że funkcje obsługi interfejsu USB nie są jeszcze dopracowane i w razie problemów z komunikacją po I²C w pierwszej kolejności należy odłączyć płytkę z układem FT201.

Fotografia 11. Wygląd napisu informującego o aktywnym wejściu



Fotografia 12. Naciskając przycisk enkodera w czasie wyświetlania pomiaru częstotliwości, można zmienić domyślny podzielnik preskalera

Obsługa AVT3275, zmiany

Przycisk na płytce wejściowej AVT3277/1–3 pozwala przyłączyć ją do AVT3275, jeśli była odłączona, co jest sygnalizowane świeceniem dwukolorowej diody na AVT3277/1–2 lub diody D4 na AVT3277/3. Kolejne naciśnięcie przycisku na aktywnej płytce przełącza tryb pracy pomiędzy AC a DC (nie dotyczy AVT3277/3).

REKLAMA

eprasa.pl 2b951cc363

Praca z AVT3277 zmienia wygląd napisu informującego o aktywnym wejściu, zamiast „Input A" zobaczymy treść taką, jak na **fotografii 11**, gdzie cyfra oznacza numer płytki wejściowej.

Ekrany pomiaru czasu są nieaktywne, gdy włączona jest płytka preskalera lub podzielnik na płytce AVT3277/0. Ekran jest wtedy wyświetlany w szarym kolorze, a na wyświetlaczu LED znak minus.

Diody LED D6 i D7 na płytce preskalera AVT3277/3 sygnalizują stopień podziału. Gdy żadna nie świeci: 80 dla MC12080 lub 256 dla MC12079 i µPB1507, zielona (D7) 40 lub 128, czerwona (D6) 20 lub 64, obie 10.

Naciskając przycisk enkodera w czasie wyświetlania pomiaru częstotliwości (ekran 0), można zmienić domyślny podzielnik preskalera (**fotografia 12**). Ustawienie to jest zawsze przywracane po zmianie wejścia pomiarowego.

Rozdzielczość wyliczanego okresu sygnału została zwiększona tysiąckrotnie. Wiązało się to ze zmianą typu niektórych zmiennych z *float* na *double*.

W trybie single mode sygnalizowany jest brak połączenia J8 AVT3277/0 z J1 pin3 AVT3275 za pomocą migającej ramki, jak na **fotografii 13**. Czasem komunikat ten pojawia się, gdy algorytm automatycznej zmiany preskalera próbuje dobrać odpowiedni podzielnik.

Utrata komunikacji z płytkami AVT3277 jest sygnalizowana miganiem nazwy i numeru wejścia. Brak komunikacji I²C AVT3277/1-3 sygnalizuje szybkim (2,5 Hz) miganiem diody CFG oraz niebieskiej (czerwonej) na panelu przednim.

Dodano ekran wyświetlający prędkość obrotową. W związku z tym numeracja ekranów od piątego zwiększyła się o jeden. Naciskając przycisk enkodera, można skonfigurować liczbę impulsów na obrót w zakresie 1...12. Ustawienie to jest zapisywane w pamięci nieulotnej.

Dodano uśrednianie pomiaru. Liczbę pomiarów do uśrednienia zmieniamy przyciskiem SET w czasie wyświetlania ekranu pomiaru częstotliwości (ekran numer 0). Aktywna funkcja jest sygnalizowana napisem „AVG" w prawym górnym rogu wyświetlacza. Ustawienie nie jest zapamiętywane w pamięci EEPROM, ponadto opcja uśredniania jest wyłączana po zmianie ekranu lub wejścia pomiarowego. Po włączeniu uśredniania (działa jak filtr dolnoprzepustowy) trzeba być świadomym tego, że wiarogodny wynik pomiaru wymaga zebrania wszystkich próbek. Ustawienie 20 próbek oznacza, że wynik jest wiarygodny po 20 sekundach gdy pomiar dokonywany jest z bramkowaniem 1 sekundy. Ma to duże znaczenie, gdy ustawiamy częstotliwość generatora. Zmiany jego częstotliwości będą widoczne dopiero po zebraniu wszystkich próbek, a przed ich zebraniem wynik będzie podążał do nowo ustawionej częstotliwości. W takiej sytuacji można zmniejszyć liczbę próbek lub czas bramkowania.

Fotografia 13. Sygnalizowanie braku połączenia

Tabela 3. Zestawienie funkcji enkodera i klawiatury, zależnie od wyświetlanego ekranu

Klawisz	Wyświetlany ekran (numer)	Realizowana funkcja
SW*	Input A (0)	Zmiana preskalera AVT3277/3
	Rpm A (5)	Zmiana liczby impulsów na obrót
	Input B (10)	Reset/Latch pomiaru, gdy wejście B pracuje w trybie licznika
	TXCO (11)	Zmiana treści wyświetlacza głównego pomiędzy odchyłką w ppm, licznikiem a czasem UTC
	Fout (12)	Zmiana częstotliwości wyjściowej TCXO
	CfgInput**	Przełączanie pomiędzy modyfikowanymi parametrami
SCREEN	Ekrany 0 i 10	Przełączanie pomiędzy wyświetlaniem pomiaru z InputA a InputB. Klawisz nieaktywny w trybie *sigle mode*
„000"	Ekrany 0...11	Wybór sposobu wygaszania zer nieznaczących po prawej stronie przecinka
SET	Ekrany 0...8	Zmiana liczby próbek branych do uśredniania wyniku, zero – uśrednianie wyłączone
	Fout (12)	Przełączanie pomiędzy ustawianiem, PSC, AAR, Ccx, gdy wybrana Fout użytkownika
	Input B (10)	Przełączanie pomiędzy funkcją licznika częstotliwości a licznika impulsów
REL+	Ekran 0, 6, 10	Pomiar relatywny z dodawaniem częstotliwości
REL-	Ekran 0, 6, 10	Pomiar relatywny z odejmowaniem częstotliwości
GATE	Wszystkie	Zmiana czasu bramkowania
HOLD	Wszystkie	Zatrzymanie pomiaru
MENU	Wszystkie	Wejście/wyjście do menu konfiguracji AVT3277 (menu CfgInput**)

(x) – numer ekranu wyświetlany przez chwilę w prawym górnym rogu po jego zmianie
* – przycisk enkodera
** – menu dostępne, tylko gdy przyłączone są płytki wzmacniaczy wejściowych za pośrednictwem AVT3277/0 lub AVT3277-ZAS.

Prędkość, z jaką obracany jest enkoder, jest rozpoznawana. Powolne kręcenie zmienia wartości o jeden, szybsze o 50 lub 100, bardzo szybkie o 100 lub 1000, zależnie od tego, czy jest to zmiana wartości poziomu wyzwalania, czy częstotliwości TCXO. Dzięki temu zmiana wartości o kilkadziesiąt tysięcy trwa kilka sekund, a nie minut. Dla ułatwienia obsługi, w przypadku zmiany ekranu lub parametru typu *on/off*, funkcja rozpoznawania prędkości jest wyłączona i zmiana parametru następuje zawsze z krokiem 1.

Zestawienie funkcji enkodera i klawiatury, zależnie od wyświetlanego ekranu, zostało pokazane w **tabeli 3**.

Uwagi końcowe

W materiałach dodatkowych do artykułu znajduje się program dla Arduino demonstrujący komunikację z płytkami AVT3277/0–3. Nie ma konieczności montowania układu PCA9544 na płytce zasilacza, o ile nie będzie podłączony TCXO AVT3276 lub pojedyncza płytka wzmacniacza AVT3277. Automatyka miernika radzi sobie do pewnej granicy. Zależnie od kształtu i wypełnienia sygnału granica może być różna. W prototypie, w trybie dual input (bez połączenia J8 AVT3277/0 z J1 pin 3) było to poniżej 40 MHz (32 MHz dobrze, 40 już nie).

W ręcznym ustawieniu poziomu wyzwalania pomocny może być podgląd sygnału. Umożliwia to wyjście MON dostępne na każdym module lub wyjście 1:1 na multiplekserze. Stosunkowo duża pojemność wejściowa płytek wzmacniaczy (10 µF+100 nF+100 pF) powoduje jej długie ładowanie (rezystor 1 MΩ) po zmianie napięcia wyzwalania na płytce AVT3177/1. Zmniejszenie pojemności

Listing 7. Fragment kodu programu znajdujący się w pętli głównej programu

```
HAL_GPIO_WritePin( TEST_TIME_GPIO_Port, TEST_TIME_Pin, GPIO_PIN_RESET );
__WFI();
HAL_GPIO_WritePin( TEST_TIME_GPIO_Port, TEST_TIME_Pin, GPIO_PIN_SET );
```


eprasa.pl 2b951cc363

zmniejszy ten czas, ale ograniczy pasmo od dołu dla przebiegów zmiennych.

Aby pokryć cały zakres częstotliwości do 2,8 GHz, trzeba użyć dwóch płytek preskalerów. Jedna, z MC12080 dla zakresu 100 MHz...1,4 GHz, druga 250 MHz...2,8 GHz. Ponadto płytki AVT3277/1–3 muszą mieć układy LVC, AC lub ABT, ponieważ HC pracują do około 50 MHz i powstałby zakres 50...100 MHz, którego AVT3275 nie potrafiłby zmierzyć.

W pętli głównej programu znajduje się kod pokazany na **listingu 7**, który pozwala mierzyć czas wykonania pętli głównej programu. Pomijając długotrwałe obliczenia przed wysłaniem danych na wyświetlacz OLED (trwających poniżej 7 ms oraz odczyt płytek AVT3277 trwający poniżej 10 ms i kilku innych kilku milisekundowych operacji), pętla główna wykonuje się w dwie do trzech mikrosekund, następnie przez blisko milisekundę CPU jest uśpiony. W czasie komunikacji po I^2C pętla główna jest wykonywana dzięki zastosowaniu systemu DMA.

Budowa opisywanych wzmacniaczy wejściowych okazała się dużym wyzwaniem. Nawet przy 150 MHz to, co na schemacie jest proste, w rzeczywistym układzie już takie proste nie jest. Aby zrealizować projekt perfekcyjnie, trzeba się naprawdę dużo napracować. Brak kompletu układów ABT uniemożliwił testy całości przy 200 MHz. W przypadku AVT3275 nie stanowi to większego problemu, bo maksymalna częstotliwość, jaką może zmierzyć STM32F401, to 42 MHz. Uwzględniając dzielnik przez cztery na płytce multipleksera, można mierzyć maksymalnie częstotliwość 160 MHz, ale dzielnik nie pozwala na pomiar czasów impulsów. Do czasu zakończenia konstrukcji zapowiadanego AVT3278 (kanał YouTube https://bit.ly/3CcqyFh) z pewnością uda się przetestować szybsze wzmacniacze wejściowe.

Zbadano dolną częstotliwość pracy preskalera MC12080. Według danych katalogowych wynosi ona 100 MHz, w prototypie udało się uzyskać 80 MHz. Próba pomiaru 70 MHz skończyła się niepowodzeniem, miernik pokazywał 80 MHz, chwilami 76 a nawet ponad 100 MHz. Próby przeprowadzono z wykorzystaniem płytki NUCLEO-H743ZI2 w roli generatora, dlatego nie zbadano, jaki poziom sygnału jest wymagany do poprawnej pracy preskalera.

Modułowa budowa miernika pozwala niewielkim kosztem dokonać modernizacji urządzenia. Pierwsza modyfikacja, jak przychodzi do głowy, to płytki wzmacniaczy wejściowych z pomiarem poziomu sygnału. Warto byłoby wyposażyć płytkę preskalera w przedwzmacniacz, na przykład tani i łatwo dostępny BGA427H6327XTSA1 oraz przełącznik impedancji 50/75 Ω, a może też 120 Ω.

Używając kaskady preskalerów HMC432 i MC12079/μPB1507, można byłoby mierzyć sygnały do 8 GHz. Jeśli Czytelnicy będą zainteresowani rozbudową, co zostanie poparte e-mailami, to powstaną odpowiednie modyfikacje, zarówno sprzętowe, jak i programowe. Ze względu na to, że zdobycie preskalerów nie zawsze jest łatwym zadaniem, podaję linki do sklepów. Najtaniej, w cenie 5 zł brutto, można nabyć szybki (3 GHz) μPB1507, niestety jego minimalna częstotliwości pracy to 500 MHz – https://bit.ly/3pv0dyv.

Układ MC12079 jest dostępny na: https://bit.ly/2XEatZN w cenie 7,44 zł i tu https://bit.ly/3Ca80VT za 12 zł.

MC12080 można nabyć na: https://bit.ly/3vCYsAx za 24 zł netto.

Czytelnicy mogą samodzielnie zbudować płytki wzmacniaczy wejściowych, korzystając z gotowego oprogramowania dla AVT3277 lub napisać je samodzielnie, opierając się o opisie protokołu z artykułu. AVT3275 w żaden sposób nie autoryzuje płytek, ale nie można wykluczyć błędnego działania własnoręcznie pisanego oprogramowania z nowszymi wersjami AVT3275, dlatego najlepiej w tej sprawie kontaktować się e-mailowo.

W przypadku zgłaszania błędów w programie, do e-maila należy dołączyć jak najwięcej informacji. Takich jak fotografie wyświetlacza, ekrany terminalu z informacjami diagnostycznymi, oscylogramy czy dane z analizatora logicznego w postaci zrzutu ekranowego i danych zapisanych przez analizator. Do wgrania nowszej wersji programu wymagany jest programator ST-Link i darmowy program ST-Link Utility.

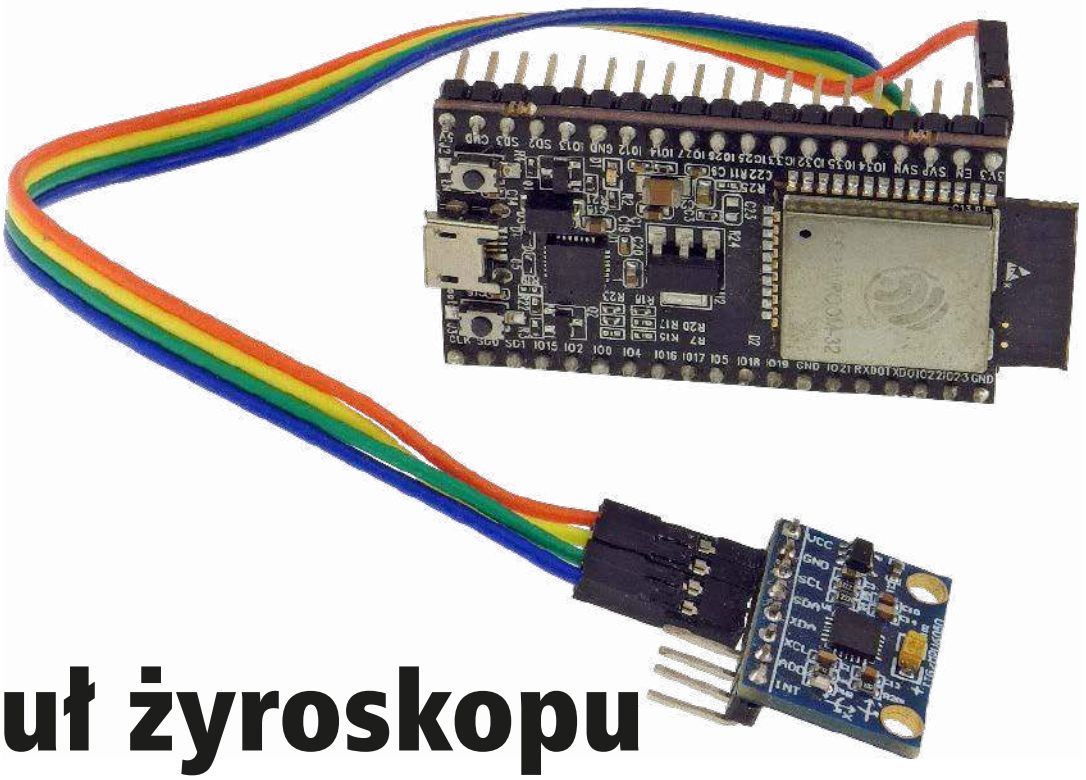
Większość prac nad AVT3277 zajęła modyfikacja softu AVT3275 – kod programu zwiększył się z 85 kB do 110 kB. Czas pracy nad całym projektem to ok. 315 godzin, ale należy do niego dodać wcześniejsze konstrukcje częstościomierzy. Nie ma już możliwości oszacowania czasu, jaki w zeszłym milenium pochłonął pierwowzór miernika na układach TTL serii standardowej, który zawierał 37 układów scalonych. Obecna konstrukcja z STM32 pozwoliła zbudować miernik tani, ale o dużych możliwościach, o jakich 20 lat temu nie można było nawet pomarzyć, bo cena miernika byłaby odstraszająca, a tu mamy konstrukcję składająca się z sześciu (4×STM32G030 na płytkach wejść, 2×STM32F401 w AVT3275 i 3276) za rozsądne pieniądze. Powstał duży system, ale nie pobił rekordu ustanowionego ponad 15 lat temu, gdzie w jednym urządzeniu pracowało 9 mikrokontrolerów 8051.

Prace na kolejną wersją miernika (AVT3278) trwają. Jest już gotowy panel czołowy https://bit.ly/3pyH4Mm. Jak na razie nie wiadomo, czy sercem miernika będzie STM32H743Zi, czy FPGA z rodziny MAX10, w której zostanie zaimplementowany rdzeń procesora 32-bit NIOS-II.

Jeśli Czytelnicy są zainteresowani kodem źródłowymi lub fragmentami, proszę o e-maile. Oprogramowanie AVT3275, 76 i 77 jest ciągle rozwijane. W sprawie nowych wersji programu, propozycji zmian, proszę pisać e-maile.

SaS
sas@elportal.pl

eprasa.pl 2b951cc363



Moduł żyroskopu i akcelerometru MPU-6050

Czy odgadniecie, co łączy działanie programów sterujących takimi urządzeniami jak dron, ramię robota czy satelita na orbicie okołoziemskiej? Są to ciągłe obliczenia określające aktualne położenie sterowanego obiektu. Do kontroli położenia wykorzystuje się pomiary z żyroskopów i akcelerometrów, działających na podobnych zasadach jak miniaturowy moduł MPU-6050.

Budowa modułu

Na płytce modułu znajduje się układ scalony MPU6050 oraz układ stabilizatora LDO pozwalający rozszerzyć dopuszczalne napięcie zasilania do zakresu 3,3...5 V. Dodatkowo na płytce zamontowano oporniki podciągające linie magistrali I²C do napięcia zasilającego oraz opornik ustawiający na wyprowadzeniu wyboru adresu AD0 poziom niski. Wszystkie sygnały są dostępne na 8-stykowym gnieździe. Na **rysunku 1** został pokazany wygląd płytki modułu i rozmieszczenie kluczowych elementów. Oznaczenia i funkcje poszczególnych wyprowadzeń są następujące:

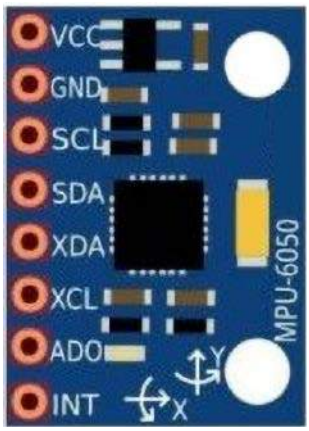
- VCC – plus zasilania 3,3...5 V,
- GND – masa zasilania,
- SCL – linia zegarowa magistrali I²C podciągnięta do VCC,
- SDA – linia danych magistrali I²C podciągnięta do VCC,
- XDA – linia danych dodatkowej niezależnej magistrali I²C,
- XCL – linia zegara dodatkowej niezależnej magistrali I²C,
- ADO – wejście wyboru adresu, na który będzie reagował moduł w obrębie głównej magistrali I²C (dla poziomu niskiego będzie to adres 0x68, dla poziomu wysokiego (3,3 V) 0x69. Linia jest podciągana do poziomu niskiego poprzez opornik na płytce modułu),
- INT – wyjście przerwania, może być zaprogramowana do wystawiania stanu niskiego w przypadku wystąpienia zdarzenia np. przekroczenia poziomu przyśpieszenia.

Podstawowe parametry modułu MPU-6050:
- żyroskop – pomiar w 3 osiach X, Y, Z z wybieranym zakresem: ±250, ±500, ±1000, ±2000° /s i rozdzielczością 16 bitów,
- akcelerometr – pomiar w 3 osiach X, Y, Z z wybieranym zakresem ±2, ±4, ±8, ±16 g i rozdzielczością 16 bitów
- pomiar wewnętrznej temperatury układu MPU6050,
- interfejs I²C z możliwością wyboru jednego z dwu adresów w obrębie magistrali,
- zasilanie: 3,3/5 V,
- pobór prądu do 5 mA w czasie normalnej pracy,
- wymiary bez złącza: 20×15×3 mm (zależnie od wykonania),
- mocowanie – otwory 2×2,5 mm (zależnie od wykonania).

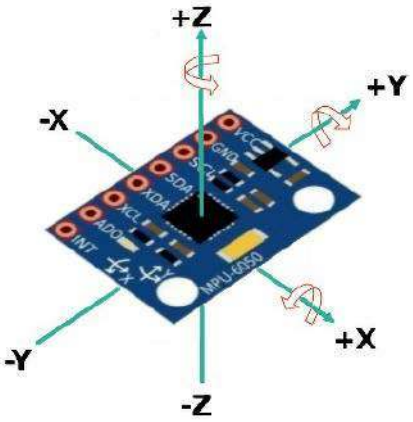
Działanie modułu

Zamontowany na płytce modułu układ scalony MPU6050 zawiera struktury MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) pełniące funkcję półprzewodnikowych żyroskopów i akcelerometrów. Czujniki układu odgrywające rolę akcelerometrów mierzą w 3 osiach wartość przyśpieszenia, a czujniki żyroskopów mierzą rotację. Na **rysunku 2** zielonymi liniami zaznaczono orientację poszczególnych osi względem płytki. W takim położeniu jak na rysunku 2, gdy moduł pozostaje w bezruchu, akcelerometr osi Z powinien zmierzyć wartość około 9,81 m/s² co odpowiada średniemu przyśpieszeniu ziemskiemu, natomiast akcelerometry osi X i Y powinny podawać wartości bliskie 0 m/s². Odwrócenie płytki „do góry nogami" skutkuje odczytem wartości ujemnej – 9,81 m/s² zmierzonej w osi Z. Każde przesunięcie płytki np. w kierunku +X spowoduje pomiar w tej osi chwilowego przyśpieszenia o wartości dodatniej, proporcjonalnego do prędkości ruchu płytki. Z kolei w czasie obracania płytki wokół zaznaczonych osi żyroskopy

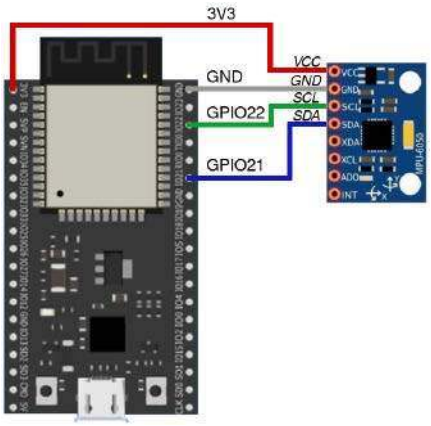
eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 1. Rozmieszczenie elementów na module



Rysunek 2. Położenie osi pomiarowych względem płytki



Rysunek 3. Połączenia modułu z ESP32

zmierzą ten obrót w jednostkach stopni kątowych na sekundę.

Uzyskiwane w czasie pomiarów sygnały analogowe akcelerometrów i żyroskopów są poddawane obróbce w wewnętrznych przetwornikach ADC i jako wartości cyfrowe są dostępne do odczytu z rejestrów układu MPU6050.

Podłączenie modułu

Komunikacja z modułem MPU-6050 odbywa się poprzez główną magistralę I²C, za pośrednictwem której zewnętrzny sterownik uzyskuje dostęp do rejestrów układu MPU6050. Zapis do rejestrów pozwala sterować pracą i np. wybudzać z trybu uśpienia, zmieniać czułość akcelerometrów i ustawiać zakres pomiarowy żyroskopów. Z kolei wyniki pomiarów są dostępne w trybie odczytu z rejestrów danych.

Na **rysunku 3** pokazano podłączenie modułu MPU-6050 do sterownika, którym jest płytka z modułem ESP32. Linie SCL, SDA modułu MPU-6050 należy połączyć z portami GPIO22, GPIO21 płytki, które są sprzętowymi wyprowadzeniami magistrali I²C procesora ESP32. Jeżeli moduł chcemy podłączyć do innej płytki, np. Arduino, należy jego linie SCL i SDA połączyć z właściwymi wyprowadzeniami interfejsu I²C. W **tabeli 1** zestawiono konfiguracje podłączeń dla kilku typów płytek.

Oprogramowanie

Do odczytu danych z modułu i przekształcenia ich w użyteczne informacje o kątach przechyłu płytki można posłużyć się już istniejącymi bibliotekami. Do najwszechstronniejszych należą biblioteki autorstwa Jeffa Rowberga. Pozwalają one na uzyskiwanie danych w różnych formatach, a także na użycie wewnętrznego cyfrowego procesora ruchu (DMP). Jest to umieszczony w układzie MPU6050 specjalizowany mikroprocesor mogący przejąć wiele obliczeń na danych z żyroskopów i akcelerometrów, które normalnie musi wykonać oprogramowanie użytkownika. Biblioteka Rowberga dostępna jest dla różnych typów mikrokontrolerów.

Dla układu MPU6050 istnieją także inne pakiety oprogramowania. Pracując w środowisku Arduino, można posłużyć się biblioteką MPU6050_tockn, która jest bardzo prosta w użyciu. Za pomocą tego oprogramowania można odczytywać surowe dane z akcelerometrów i żyroskopów, wartości przyśpieszeń i rotacji, a także kąty przechyłu dla 3 osi. Bibliotekę można zainstalować w środowisku Arduino poprzez menedżer bibliotek, a jej źródła dostępne są w [1].

Na **listingu 1** zademonstrowano, w jaki sposób można użyć biblioteki MPU6050_tockn do odczytu danych z modułu MPU-6050. Komunikacja z modułem odbywa się za pośrednictwem magistrali I²C, odczytane dane przesyłane są na port szeregowy płytki Arduino i mogą być podglądane monitorem portu. Po włączeniu zasilania inicjowany jest port szeregowy, następnie obsługa magistrali I²C *Wire.begin()* i układu MPU6050 *mpu6050.begin()*. Potem w linii *mpu6050.calcGyroOffsets(true)* zostaje wywołana procedura kalibracji, podczas której przez 3 sekundy moduł powinien pozostać nieruchomy. W pętli *loop()* rozkaz *mpu6050.update()* powoduje odczyt i odświeżenie danych z akcelerometrów i żyroskopów używanych do obliczeń aktualnych kątów przechyleń w osiach X, Y, Z. Obliczone wartości kątów są wysyłane portem szeregowym. Wynik podawany jest w stopniach w zakresie ±180°.

Ciekawy przykład wizualizacji działania modułu z elementami grafiki 3D można znaleźć w [2], a jego wersję z użyciem biblioteki MPU6050_tockn w [3]. Wizualizacja pracuje jako serwer WWW zainstalowany na płytce ESP32 połączonej z modułem w konfiguracji takiej jak na rysunku 3. Zrzut ekranu z działającą aplikacją pokazano na **rysunku 4**.

Listingu 1. Program pokazujący, jak użyć biblioteki MPU6050_tockn do odczytu danych z modułu MPU-6050

```
#include <MPU6050_tockn.h>
#include <Wire.h>

MPU6050 mpu6050(Wire);

void setup() {
  //Serial.begin(9600);
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin();
  mpu6050.begin();
  mpu6050.calcGyroOffsets(true);
}

void loop() {
  mpu6050.update();
  Serial.print("angleX : ");
  Serial.print(mpu6050.getAngleX());
  Serial.print("\tangleY : ");
  Serial.print(mpu6050.getAngleY());
  Serial.print("\tangleZ : ");
  Serial.println(mpu6050.getAngleZ());
}
```

Rysunek 4. Zrzut ekranu programu z wizualizacją położenia modułu

Tabela 1. Konfiguracje podłączeń modułu dla kilku typów płytek

MPU-6050	ESP32	ESP8266	Arduino Uno	Arduino Nano	Arduino Mega	Arduino Mikro
SCL	GPIO22	GPIO5	A5	A5	21	3
SDA	GPIO21	GPIO4	A4	A4	20	2

Ryszard Szymaniak
biuro@ars.info.pl

Odnośniki:
[1] Źródła biblioteki MPU6050_tockn: https://bit.ly/3CfONCo
[2] Wizualizacja: https://bit.ly/3m4KxQt
[3] Wizualizacja z biblioteką MPU6050_tockn: https://bit.ly/3jw5UZn
[4] Opis MPU6050: https://bit.ly/2Zd8YSS

eprasa.pl 2b951cc363

W ofercie AVT*

AVT5902

Podstawowe parametry:

- bazuje na specjalizowanym układzie MAX6817,
- wyjście układu aktywowanie jest po ustabilizowaniu się stanu wejścia na czas dłuższy niż 40 ms,
- aplikacja jest niewiarygodnie prosta i zajmuje niewiele przestrzeni,
- wymaga zasilania z zakresu 2,7...5,5 V, pobór prądu w spoczynku nie przekracza 6 µA.

* 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

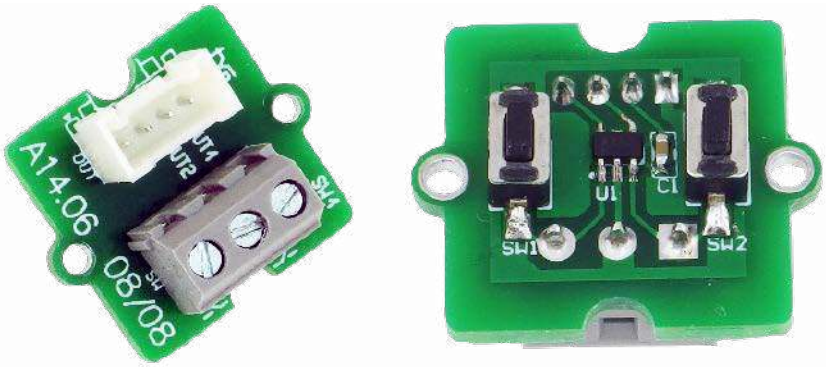
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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.

Debouncer – dwukanałowy eliminator drgań styków

Minimoduł umożliwia realizację interfejsu styków mechanicznych, eliminując konieczność programowego eliminowania drgań styków oraz zabezpieczając wejście współpracującego układu przed skutkami wyładowań ESD.



Moduł bazuje na układzie MAX6817, którego budowa wewnętrzna została pokazana na **rysunku 1**. Dzięki zastosowaniu specjalizowanego rozwiązania aplikacja jest niewiarygodnie prosta i składa się, dodatkowo, z kondensatora odsprzęgającego zasilanie. Prostota okupiona jest niestety nieco wyższą ceną w porównaniu do kilkunastu elementów niezbędnych dla realizacji dyskretnej. Jednak gdy zależy nam na ograniczeniu zajmowanego miejsca i niezawodnym działaniu – wybór rozwiązania jest jednoznaczny.

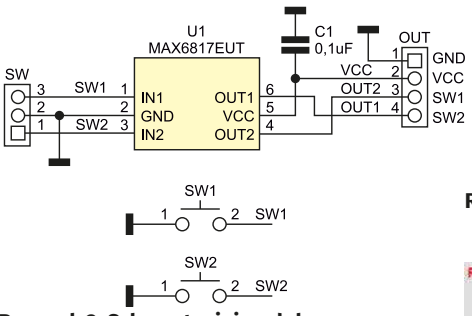
Budowa i działanie

Schemat minimodułu został pokazany na **rysunku 2**. Elementy stykowe powinny być podłączone do wejść IN1 oraz IN2 i masy układu. Opcjonalnie płytka umożliwia wlutowanie typowych mikroprzełączników TACT 6×3 mm. Wyjście układu aktywowane jest po ustabilizowaniu się stanu wejścia na czas dłuższy niż 40 ms. Odfiltrowane sygnały OUT1, OUT2 wyprowadzone są wraz z zasilaniem na złącze standardu Grove. Układ wymaga zasilania z zakresu 2,7...5,5 V. Pobór prądu w spoczynku przy zasilaniu 5,5 V nie przekracza 6 µA, przy obu wejściach zwartych do masy jest mniejszy od 180 µA. Przy niższych napięciach jest odpowiednio mniejszy.

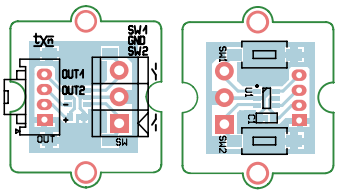
Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowano na miniaturowej płytce dwustronnej zgodnej ze standardem Grove, której schemat został pokazany na **rysunku 3**. Układ nie wymaga uruchamiania, po podłączeniu zasilania i elementów stykowych jest gotowy do pracy. Przykładowy oscylogram pokazujący skuteczność układu został pokazany na **rysunku 4.** Jeżeli wszytko działa poprawnie, moduł można zastosować we własnych aplikacjach.

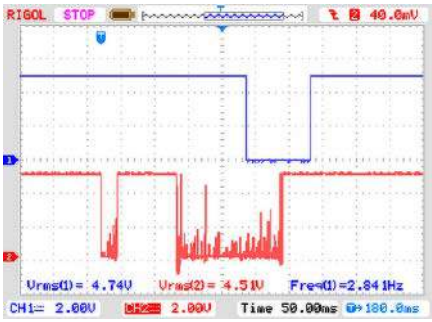
Adam Tatuś, EP



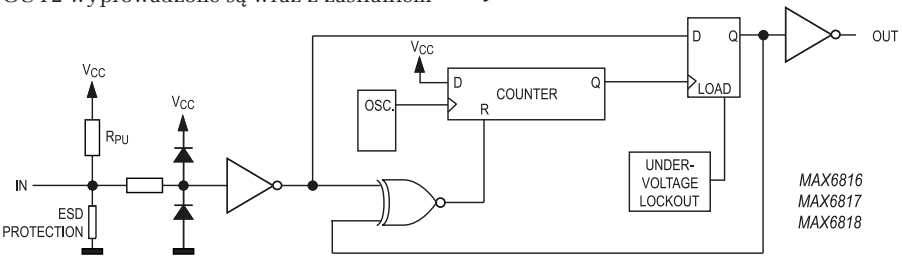
Rysunek 2. Schemat minimodułu



Rysunek 3. Schemat płytki PCB



Rysunek 4. Oscylogramy z testów eliminatora drgań styków



Rysunek 1. Budowa wewnętrzna układu MAX6817

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):

Kondensatory:
C1: 0,1 µF SMD0603

Półprzewodniki:
U1: MAX6817EUT (SOT-23-6)

Pozostałe:
SW: złącze śrubowe DG381-3.5-3
SW1, SW2: mikroprzełączniki 6×3 (opcja)

eprasa.pl 2b951cc363

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT5901

Podstawowe parametry:

- zastosowano pamięć FRAM typu FM24LC16B o pojemności 2 kB,
- zawiera zegar RTC z kalendarzem typu DS1338 z dołączoną baterią podtrzymującą jego zasilanie,
- komunikacja odbywa się poprzez magistralę I²C doprowadzoną do złącza zgodnego ze standardem Grove.

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

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

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

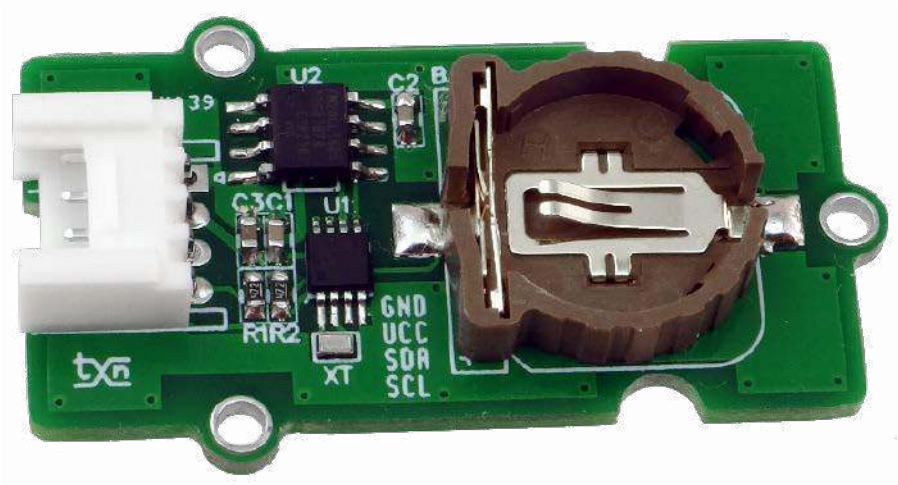
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

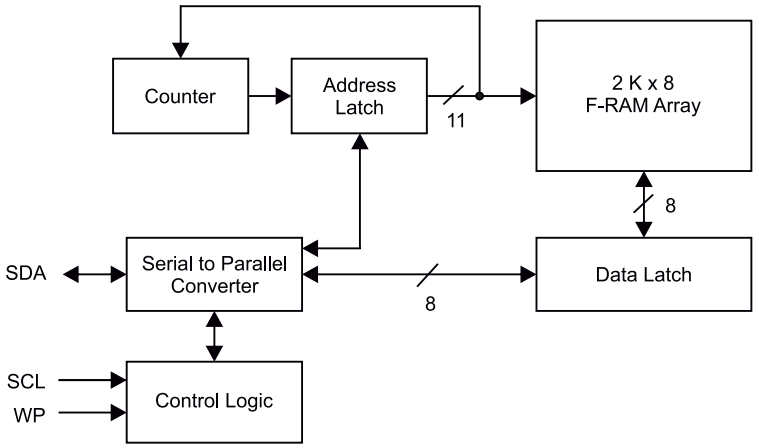
W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt Via e-mail: kity@avt.pl.

Moduł z zegarem RTC i pamięcią FRAM po I²C

Pamięć FRAM jest ciekawą alternatywą dla nieulotnych pamięci EEPROM. Charakteryzuje się niewielkim poborem mocy, identycznym czasem trwania operacji zapisu i odczytu oraz dużą liczbą cykli zapisu. Obok pamięci, na tej samej płytce został umieszczony układ zegara RTC z kalendarzem i podtrzymaniem zasilania z niewielkiej baterii. Całość jest doskonałym uzupełnieniem dla Raspberry Pi, Arduino, STM32 i nie tylko.



W module zastosowano pamięć FRAM typu FM24LC16B firmy Cypress/Infineon, której blokowy schemat wewnętrzny został pokazany na **rysunku 1**. Charakteryzuje się ona małym poborem prądu – 100 µA oraz wysoką liczbą cykli zapisu – 10^{14}. Będzie przydatna w aplikacjach zapisujących większą ilość danych (konfigurację) np. podczas zaniku zasilania, gdy czas zapisu jest krytyczny dla aplikacji lub gdy chcemy zapisywać dane często, a zależy nam na długiej trwałości układu pamięci nieulotnej.

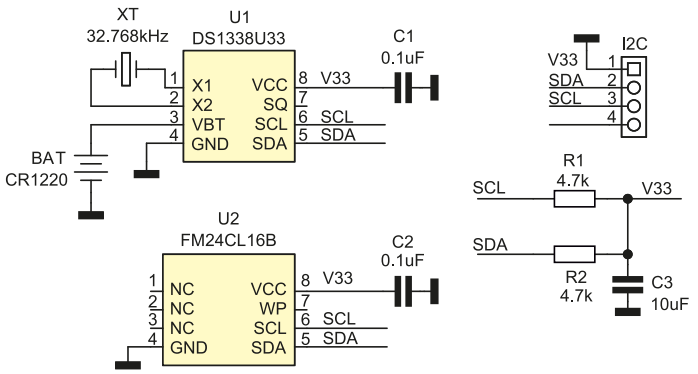


Rysunek 1. Schemat wewnętrzny pamięci FRAM (za notą Cypress/Infineon)

Budowa i działanie

Schemat minimodułu został pokazany na **rysunku 2**. Układ U1 to zegar RTC typu DS1338 z dołączoną baterią podtrzymującą jego zasilanie – BAT, typu CR1220. Oprócz funkcji zegara czasu rzeczywistego realizuje też kalendarz i dodatkowo daje do dyspozycji 56 bajtów pamięci RAM. Współpracuje z miniaturowym rezonatorem kwarcowym 32,768 kHz i zawiera zintegrowany układ klucza zasilania bateryjnego.

Układ U2 zawiera 2 kB pamięci FRAM. Komunikacja odbywa się poprzez magistralę I²C doprowadzoną do złącza zgodnego ze standardem Grove, co ułatwia połączenie z różnymi systemami uruchomieniowymi. Rezystory R1, R2 zapewniają właściwą polaryzację magistrali.



Rysunek 2. Schemat modułu I2C_RTC_FRAM

eprasa.pl 2b951cc363

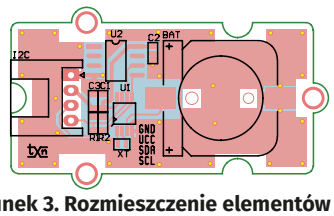
WYKAZ ELEMENTÓW, które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory:
R1, R2: 4,7 kΩ SMD0603

Kondensatory:
C1, C2: 0,1 µF SMD603
C3: 10 µF SMD0603

Półprzewodniki:
U1: DS1338U33 (MSOP8)
U2: FM24CL16B (SO8)

Pozostałe:
XT: rezonator kwarcowy 32,768 kHz
BAT: podstawka KEYS1056 + bateria CR1220



Rysunek 3. Rozmieszczenie elementów

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowano na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 3**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga opisu. Dla szybkiego sprawdzenia działania moduł można podłączyć do magistrali I²C komputerka Raspberry Pi.

Posługując się biblioteką i2ctools, sprawdzamy obecność układów na magistrali (**rysunek 4**), za pomocą polecenia:

```
i2cdetect -y 1
```

Pod adresem 0x68 znajduje się układ RTC DS1338, znaczenie poszczególnych rejestrów pokazuje fragment dokumentacji układu – **rysunek 5**. Wpisując polecenie:

```
i2cset/i2cget
```

uzyskamy efekt kasowania liczników sekund, natomiast:

```
i2cset -y 1 0x68 0x00 0x00
```

spowoduje uruchomienie oscylatora, z kolei polecenie:

```
i2cget -y 1 0x68 0x00
```

pozwala na odczyt liczników sekund. Powtórzenie odczytu powinno skutkować aktualizacją stanu licznika sekund.

Skuteczniejszą metodą korzystania z RTC w przypadku Raspberry Pi jest użycie zgodnego z DS1307 drivera systemowego. Wymaga to wprowadzenia konfiguracji w pliku */boot/config.txt:*

```
dtoverlay=i2c-rtc,ds1307
```

Po restarcie i ustawieniu aktualnej daty poleceniem:

```
date -d "2021-07-02 09:58:15"
```

można ją zapisać do RTC poleceniem:

```
sudo hwclock -w
```

i odczytać poprzez:

```
sudo hwclock -r
```

Sprawdzenie pamięci FRAM jest także możliwe przy użyciu poleceń *i2cset/get*. W celu zapisu bloku z adresu 0x50, w komórce 0x00, wartości 0xA0, wykonujemy polecenie:

```
i2cset -y 1 0x50 0x00 0xA0
```

Weryfikacja zapisu następuje poleceniem:

```
i2cget -y 1 0x50 0x00
```

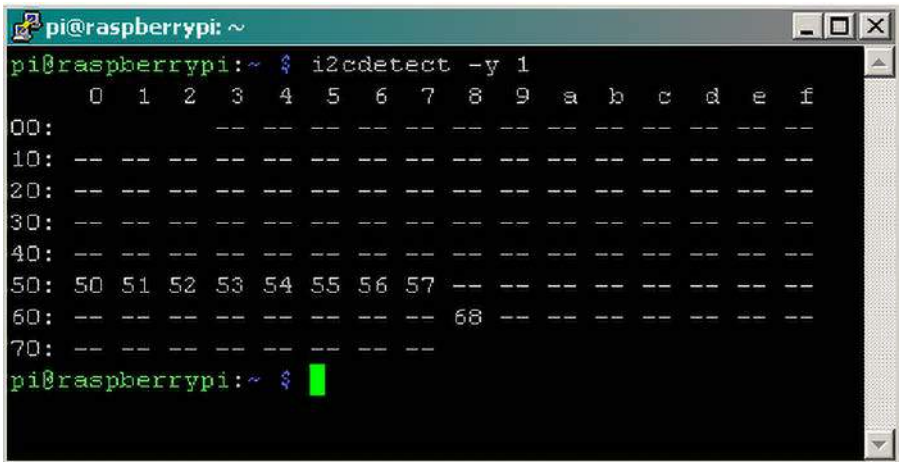
W efekcie powinna zostać odczytana wartość *0xA0*.

Polecenie odczytu bloku to:

```
i2cdump -y 1 0x50
```

W podobny sposób odczytujemy i zapisujemy pozostałe banki pamięci. Jeżeli wszystko działa poprawnie, można moduł zastosować we własnej aplikacji.

Adam Tatuś, EP



Rysunek 4. Detekcja układów modułu

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00H	CH	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01H	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02H	0	12/$\overline{24}$	$\overline{AM}$/PM 20 Hour	10 Hour	Hour				Hours	1–12 +AM/PM 00–23
03H	0	0	0	0	0	Day			Day	1–7
04H	0	0	10 Date		Date				Date	01–31
05H	0	0	0	10 Month	Month				Month	01–12
06H	10 Year				Year				Year	00–99
07H	OUT	0	OSF	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	
08H–3FH									RAM 56 x 8	00H–FFH

Rysunek 5. Funkcje rejestrów układu DS1338

REKLAMA

eprasa.pl 2b951cc363

AVT sklep

Podstawowe parametry:

- regulowane wzmocnienie sygnału z miniaturowego mikrofonu elektretowego
- wyjście różnicowe (XLR)
- zasilanie typu Phantom o napięciu 48 V
- pobór prądu ok. 8 mA

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

AVT5864	Cyfrowy stereofoniczny mikrofon z procesorem DSP (EP 5/2021)
AVT5758	Wielokanałowy mikrofon cyfrowy (EP 7/2020)
----	Przedwzmacniacz mikrofonowy z procesorem DSP typu ADAU1772 (EP 2/2019)
AVT1968	Miniaturowy przedwzmacniacz mikrofonowy z układem SSM2167 (EP 9/2017)
AVT5559	Przedwzmacniacz mikrofonowy o wysokiej jakości (EP 11/2016)
AVT1837	Przedwzmacniacz do mikrofonu piezoelektrycznego (EP 12/2014)
AVT1760	MicroMic – przedwzmacniacz mikrofonowy (EP 8/2013)
AVT1721	Miniaturowy wzmacniacz mikrofonowy (EP 1/2013)
AVT2728	Wzmacniacz mikrofonowy (EdW 7/2004)
AVT575	Wzmacniacz mikrofonowy (EP 5/2004)
AVT2703	Ultraniskoszumny wzmacniacz mikrofonowy do komputera (EdW 1/2004)
AVT2392	Wzmacniacz mikrofonowy SMD (EdW 2/2000)
AVT2326	Wzmacniacz mikrofonowy (EdW 2/1999)
-	Przedwzmacniacz mikrofonowy (EP 7/1998)
AVT2017	Niskoszumny przedwzmacniacz mikrofonowy (EdW 10/1996)
AVT1033	Przedwzmacniacz mikrofonowy (EP 2/1995)

W ofercie AVT*

AVT5898

* 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.

Przedwzmacniacz mikrofonowy z zasilaniem Phantom 48 V

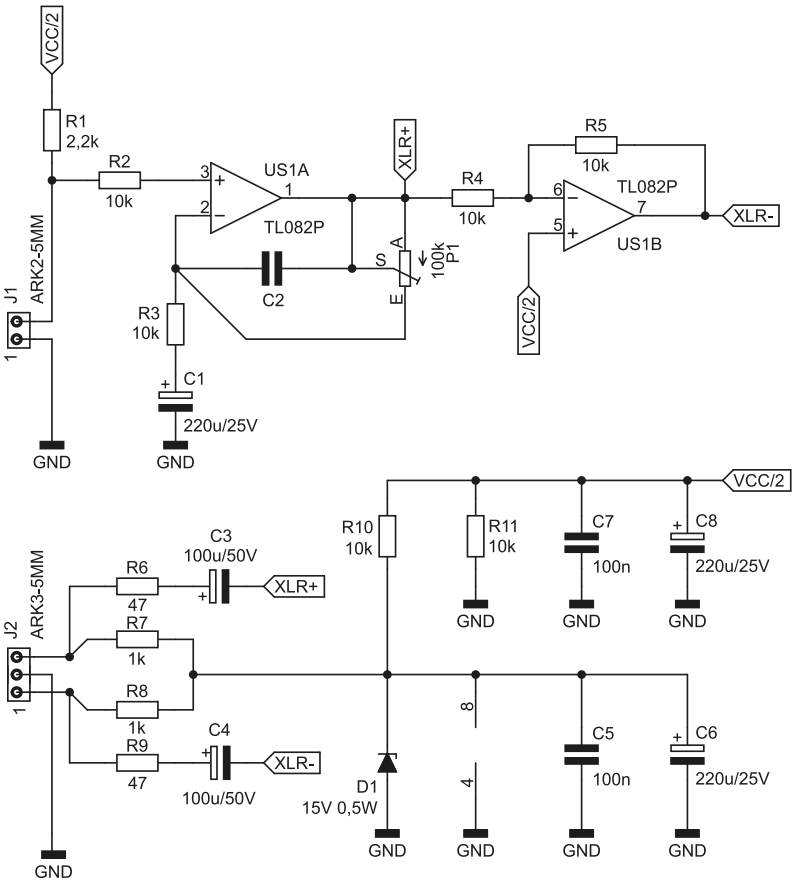
Zasilanie typu Phantom zmniejsza liczbę plączących się po studiu przewodów oraz likwiduje problem wymiany baterii lub ładowania akumulatorów. Nie każdy mikrofon może być zasilany w ten sposób, a te dostępne na rynku są zazwyczaj dosyć drogie. Opisany układ działa w ten sam sposób, ale kosztuje zdecydowanie mniej, więc można go używać np. do testów sprzętu.

Mikrofony dynamiczne ze złączem XLR i zasilaniem Phantom są bardzo kosztowne, a nie zawsze potrzebujemy tak profesjonalnego przetwornika. Na przykład do testów systemu lub zlokalizowania miejsca uszkodzenia wystarczy inne, prostsze rozwiązanie – np. takie jak zaprezentowany układ. Jednocześnie niska cena takiego przedwzmacniacza powoduje, że nie szkoda zabrać go ze sobą w teren.

W zasilaniu tego typu mamy w przewodach sygnałowych dwie składowe: zmienną (różnicową), która niesie informację analogową audio oraz drugą składową stałą – napięcie dołączone przez dwa rezystory. Układ znajdujący się na drugim końcu kabla XLR może z niego skorzystać, o ile pobiera prąd o natężeniu kilku miliamperów.

Budowa i działanie

Schemat ideowy przedwzmacniacza mikrofonowego został pokazany na **rysunku 1**. Mikrofon elektretowy, z którego sygnał chcemy wzmacniać, należy podłączyć do zacisków złącza J1. Jedna jego okładka jest połączona z masą układu, a druga została spolaryzowana napięciem około 7,5 V przez rezystor R1. Tyle wynosi potencjał sztucznej masy, czyli gałęzi wprowadzonej dla zachowania symetrycznego zasilania



Rysunek 1. Schemat ideowy układu

eprasa.pl 2b951cc363

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: (metalizowane THT 1% o mocy 0,6 W)
R1: 2,2 kΩ (opis w tekście)
R2...R5, R10, R11: 10 kΩ
R6, R9: 47 Ω
R7, R8: 1 kΩ
P1: 100 k Ω montażowy leżący

Kondensatory:
C1, C6, C8: 220 µF 25 V raster 2,54 mm
C2: nie montować (opis w tekście)
C3, C4: 100 µF 50 V raster 3,5 mm
C5, C7: 100 nF MKT raster 5 mm

Półprzewodniki:
D1: Zenera 15 V 0,5 W
US1: TL082P DIP8

Pozostałe:
J1: ARK2/500
J2: ARK3/500
Mikrofon elektretowy np. KPCM28B

układu wzmacniacza operacyjnego. Jest nim układ typu TL082 – z kilku powodów. Pierwszym jest niski pobór prądu, co ma znaczenie w tej aplikacji, zasilanej niejako w sposób pasożytniczy. Drugi powód to szerokie pasmo przenoszenia i wysoka wartość parametru slew-rate, co bardzo przydaje się w przetwarzaniu sygnałów audio. Istotnym kryterium podczas wyboru była również cena takiego wzmacniacza, którą można nazwać co najmniej przystępną.

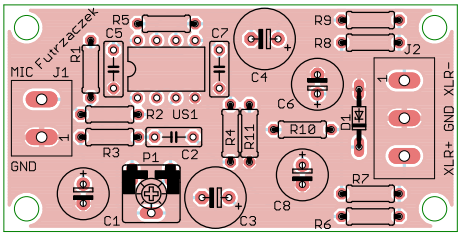
Stopień wejściowy w układzie TL08x jest zbudowany z tranzystorów JFET, co daje mu olbrzymią impedancję wejściową. To akurat nie jest w tym zastosowaniu niezbędne, chociaż eliminuje problem z kompensacją wejściowych prądów polaryzacji. Rezystor R2 ogranicza ewentualny prąd, jaki płynąłby przez bramkę tranzystora obsługującego wejście nieodwracające. Mogłoby ono być wywołane, na przykład, zakłóceniami elektromagnetycznymi.

Pierwszy stopień jest wzmacniaczem nieodwracającym o regulowanym wzmocnieniu: od 1 V/V (0 dB) do 11 V/V (20,8 dB). Kondensator C1 sprzęga do masy dolny koniec rezystora R3 dla składowej zmiennej, jednocześnie pozwalając utrzymać na wyjściu dowolną wartość składowej stałej. W ten sposób wzmacniacz US1A dla składowej stałej zachowuje się jak wtórnik napięciowy, niezależnie od wzmocnienia składowej zmiennej, ustawionego potencjometrem P1. Kondensator C2 może zawęzić pasmo przenoszenia układu, zmniejszając poziom szumów.

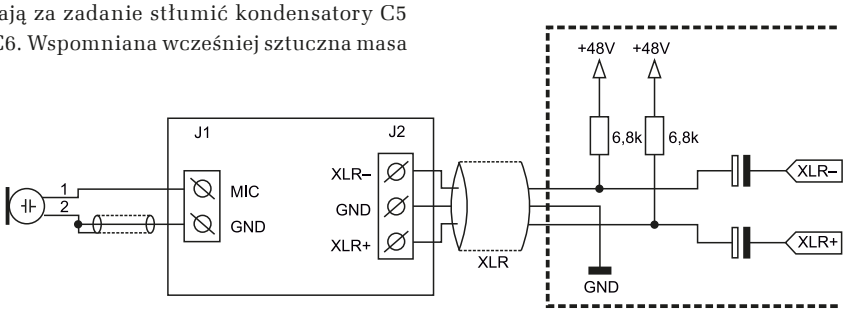
Układ US1B pełni funkcję wzmacniacza odwracającego o wzmocnieniu –1 V/V. Jego zadaniem jest wytworzenie składowej o przeciwnej polaryzacji, ale tej samej amplitudzie, co jest niezbędne do prawidłowej transmisji sygnału różnicowego. Ważne jest, aby rezystory R4 i R5 miały możliwie zbliżoną rezystancję.

Składowa zmienna jest dołączona do kabla XLR poprzez kondensatory C3 i C4, które separują składową stałą. Rezystory R6 i R9 realizują dopasowanie impedancji do wartości 100 Ω, co ma znaczenie przy znacznych długościach.

Dioda Zenera D1 stabilizuje napięcie zasilające wzmacniacz operacyjny. Jest ona polaryzowana przez rezystory R7 i R8, które dodatkowo zmniejszają jej wpływ bardzo niskiej impedancji wewnętrznej (niemal zerowej) na tłumienie składowej zmiennej. W urządzeniu zasilającym napięcie 48 V jest podawane przez rezystory o wartości 6,8 kΩ. Nieprzyjemną właściwością wszystkich diod Zenera jest skłonność do wytwarzania szumu śrutowego, który mają za zadanie stłumić kondensatory C5 i C6. Wspomniana wcześniej sztuczna masa tworzona przez dzielnik rezystancyjny, składający się z rezystorów R10 i R11.



Rysunek 2. Schemat płytki PCB



Rysunek 3. Schemat ideowo-blokowy sposobu podłączenia układu

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 60×30 mm. Jej schemat został pokazany na **rysunku 2**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazło się miejsce dla otworów montażowych, każdy o średnicy 3,2 mm. Montaż płytki proponuję przeprowadzić w sposób typowy, czyli poczynając od elementów najniższych do najwyższych. Pod układ scalony US1 proponuję zastosować podstawkę, aby łatwo można było go wymienić w razie awarii. Najlepiej, aby wszystkie rezystory w tym układzie były wysokiej jakości, niskoszumne i o tolerancji 1% lub lepszej, choć najbardziej krytyczne są wspomniane wcześniej R4 i R5.

Układ jest przystosowany do zasilania poprzez przewody sygnałowe XLR. Schemat ideowo-blokowy podłączenia tej płytki do mikrofonu oraz zasilacza prezentuje **rysunek 3**. Prawa część tego schematu, oddzielona przerywaną linią, jest zaimplementowana w wielu mikserach, więc nie musimy jej budować. Powoduje separację składowej zmiennej. Umieściłem te elementy na rysunku dla zobrazowania, w jaki sposób odbywa się zasilanie tego modułu. Ekran mikrofonu i ewentualnego przewodu pomiędzy nim a płytką należy połączyć z zaciskiem GND złącza J1.

Prawidłowo zmontowany układ jest od razu gotowy do działania. Po podłączeniu według schematu z rysunku 3 bez wysterowania pobiera prąd o natężeniu około 8 mA. Potencjometrem P1 można ustawić wzmocnienie, polecam zacząć od środkowej pozycji. Skręcając go w prawo, uzyskujemy mniejsze wzmocnienie. Rezystor R1 można dobrać w zależności od typu mikrofonu – 2,2 kΩ odpowiada użytemu KPCM28B.

Kondensator C2 nie został użyty w układzie prototypowym, ponieważ nie było takiej potrzeby – szumy generowane przez układ były niezauważalnie małe. Gdyby jednak okazało się przydatne zawężenie pasma szumowego układu, można to uczynić właśnie poprzez wlutowanie C2. Proponuję zacząć od niewielkiej pojemności, np. 47 pF. Taka wartość nie będzie miała słyszalnego wpływu na pasmo przenoszenia przedwzmacniacza, a zredukuje wartość skuteczną napięcia szumów.

Michał Kurzela, EP

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

eprasa.pl 2b951cc363

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT5897

Podstawowe parametry:

- współpracuje z dwoma typowymi miniaturowymi serwomechanizmami,
- dwa dodatkowe wyjścia są zabezpieczone wbudowanymi diodami, co upraszcza podłączenie, np. przekaźników elektromagnetycznych,
- zastosowano przetwornicę podwyższająco-obniżającą, która pracuje poprawnie w zakresie napięcia 3,6...9 V.

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

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

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

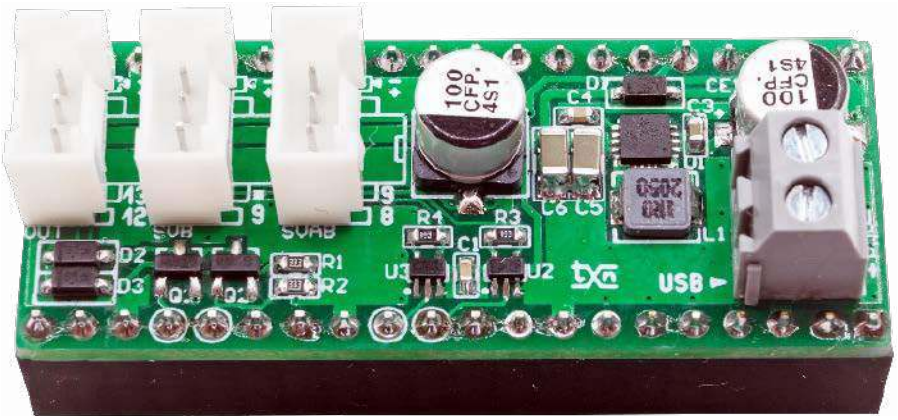
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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

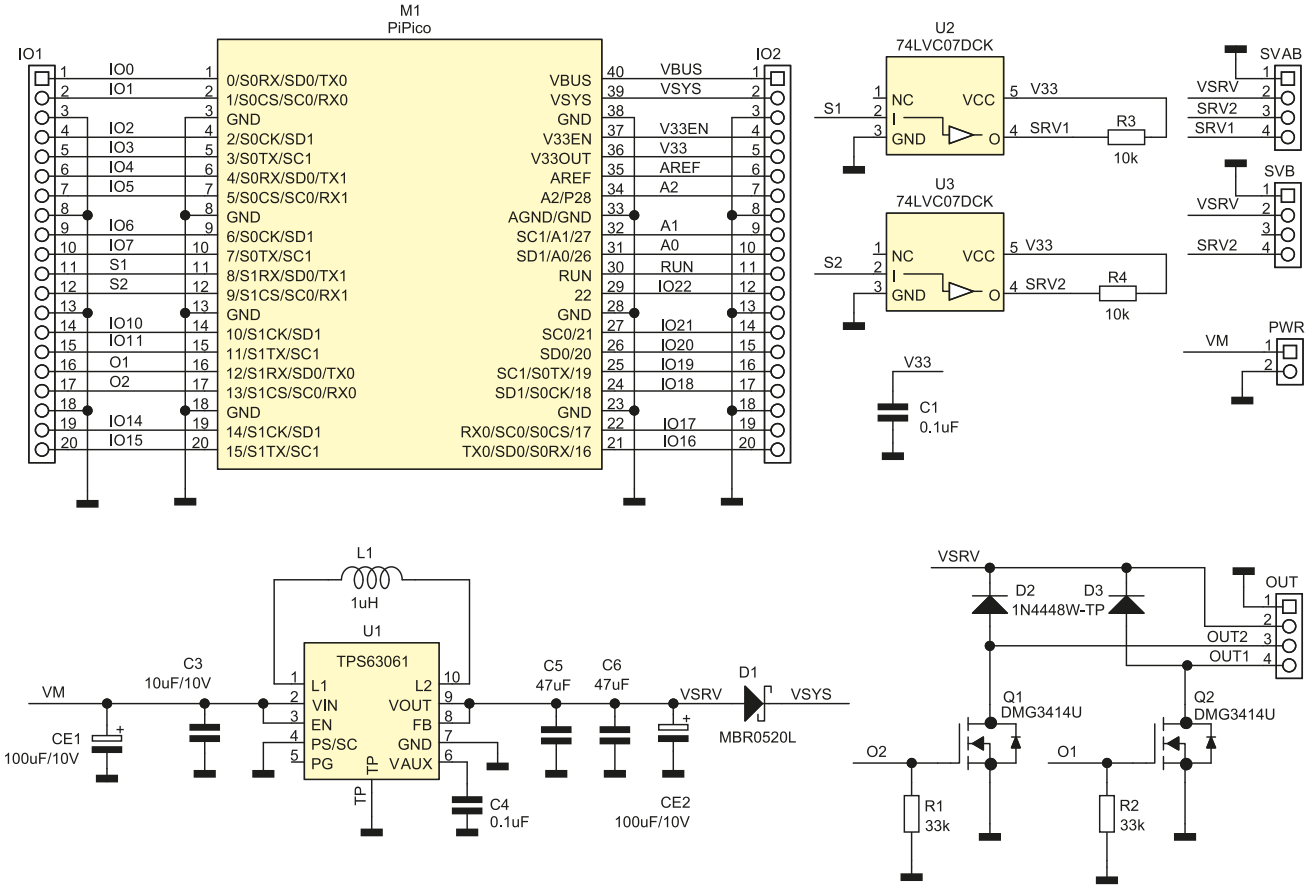
W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt Via e-mail: kity@avt.pl.

Sterownik mikroserwomechanizmów do Pi Pico

Zaprezentowany moduł to nakładka na Raspberry Pi Pico zawierająca tory sterujące dla dwóch mikroserwomechanizmów oraz dwa dodatkowe wyjścia mocy typu OD. Będzie przydatna w aplikacjach z zakresu robotyki i automatyki.



Moduł współpracuje z dwoma typowymi miniaturowymi serwomechanizmami podłączanymi do złączy SVAB, SVB, w standardzie Grove. Na złącze SVAB wyprowadzone są oba sygnały sterujące, co umożliwia



Rysunek 1. Schemat ideowy modułu

eprasa.pl 2b951cc363

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

Rezystory:
R1, R2: 33 kΩ SMD0603
R3, R4: 10 kΩ SMD0603

Kondensatory:
C1, C4: 0,1 µF SMD0603
C3: 10 µF/10 V
C5, C6: 47 µF SMD1206
CE1, CE2: 100 µF/10 V kondensator elektrolityczny miniaturowy SMD

Półprzewodniki:
D1: MBR0520L (SOD123)
D2, D3: 1N4448W-TP (SOD123)
Q1, Q2: tranzystor MOSFET DMG3414U (SOT-23)
U1: TPS63061DSC (WSON10)
U2, U3: 74LVC07DCK (SC70-5)

Pozostałe:
L1: 1 µH dławik HPI0420-1R0
IO1, IO2: listwa żeńska 20 PIN, 2,54 mm lub listwa przelotowa GPIO Pico
PWR: złącze DG 3,5 mm, 2 piny

wykorzystanie sygnałów PWM nie tylko do sterowania serwomechanizmami. Na wyjście OUT wyprowadzone są buforowane sygnały 12 i 13 płytki Pi Pico. Wyjścia są zabezpieczone wbudowanymi diodami, co upraszcza podłączenie przekaźników elektromagnetycznych lub cewek niewielkich elektromagnesów.

Budowa i działanie

Schemat modułu został pokazany na **rysunku 1**.

Serwomechanizmy zasilane są napięciem 5 V z wbudowanej przetwornicy. Sygnały PWM z wyprowadzeń 8 i 9 płytki Pi Pico są buforowane oraz wykonywana jest konwersja poziomów logicznych z 3,3 V do 5 V w układach U2, U3. Zastosowana przetwornica podwyższająco-obniżająca U1 typu TPS63061 jest zasilana z napięcia VM. Dostarcza ona napięcia VSRV = 5 V do zasilania serwomechanizmów i obciążeń podłączonych do wyjść OUT oraz napięcia VSYS o wartości ok. 4,8 V do zasilania płytki Pi Pico. Dioda D1 zapobiega przepływowi prądu wstecznego, gdy moduł zasilany jest także z USB np. podczas uruchamiania. Przetwornica pracuje poprawnie w zakresie napięcia VM = 3,6...9 V, obciążalność sumaryczna napięcia VSRV nie powinna przekraczać 800 mA.

Montaż i uruchomienie

Moduł zmontowano na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach zgodnych z Raspberry Pi Pico. Jej schemat został pokazany na **rysunku 2**. Montaż jest typowy, należy tylko zwrócić uwagę na przylutowanie padu termicznego układu U1, dla zapewnienia prawidłowego odprowadzania ciepła.

Zmontowany moduł nie wymaga uruchamiania. Sterowanie serwomechanizmami odbywa się poprzez konfigurację wyprowadzeń GPIO w tryb PWM. Szybkiego sprawdzenia modułu, po podłączeniu silników i zasilania, można dokonać, korzystając z IDE Thonny i micropythona oraz terminalu szeregowego. Na początek musimy wykonać import bibliotek Pin, PWM, sleep:

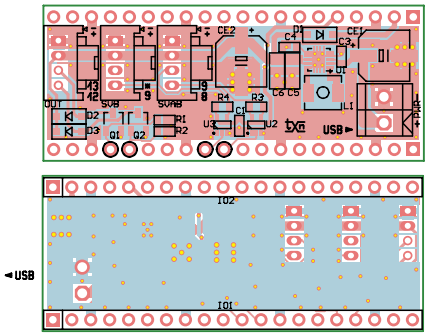
```
from machine import Pin, PWM
from time import sleep
```

Następnie definiujemy wyjścia sterujące:

```
OUT1 = Pin(12, Pin.OUT)
OUT2 = Pin(13, Pin.OUT)
pwm1 = PWM(Pin(8))
pwm2 = PWM(Pin(9))
pwm1.freq(50)
pwm2.freq(50)
```

Teraz możemy sterować stanem wyjść OUT, np.:

```
OUT1.value(0)
OUT1.value(1)
```



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

```
OUT2.value(0)
OUT2.value(1)
```

Ustawienie serwo zmieniamy, ustawiając odpowiednio wypełnienie sygnału PWM, np.:

```
pwm1.duty_u16(2000)
pwm1.duty_u16(2500)
pwm1.duty_u16(2000)

pwm2.duty_u16(2000)
pwm2.duty_u16(2500)
pwm2.duty_u16(2000)
```

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

Adam Tatuś, EP

AVT sklep

W ofercie AVT*
AVT5899

Podstawowe parametry:

- cykliczne załączanie i wyłączanie podłączonego obciążenia,
- regulowane oddzielnie czasy zamknięcia i otwarcia styków, w przedziale 1...36 min z krokiem 1 min,
- wejście wymuszające załączenie styków na zadany czas,
- płytka przystosowana do obudowy na szynę DIN Z101,
- zasilanie napięciem 230 V AC,
- pobór mocy poniżej 1 W.

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

AVT5730 Uniwersalny układ czasowy 230 V (EP 11/2019)
AVT5704 Programowany układ czasowy 230 V (EP 8/2019)
AVT5666 Programowany, 16-kanałowy sterownik 230 V (EP 3/2019)
AVT1998 Karta przekaźników programowana sekwencjami (EP 8/2018)
AVT5588 Sterownik-timer z 8 przekaźnikami (EP 6/2017)
AVT5561 Efektowny sterownik oświetlenia (EP 12/2016)
AVT1916 Konfigurowalny przełącznik 4-kanałowy (EP 8/2016)
AVT1890 Moduł przekaźników z USB (EP 6/2016)
AVT1881 Programowany sterownik LED (EP 8/2015)
AVT5487 PWMLEDz: 10-kanałowy sterownik taśm LED z interfejsem Modbus lub SPPoB (EP 1/2015)
AVT5467 Programowany timer (EP 9/2014)
AVT1820 Programowany przekaźnik czasowy (EP 8/2014)
AVT5410 Time-ek – sterownik czasowy (EP 10/2013)
AVT5368 Programowalny moduł przekaźników (EP 11/2012)
AVT1679 Moduł wykonawczy z triakami (EP 6/2012)
AVT1656 Uniwersalny moduł wykonawczy (EP 12/2011)
AVT1545 Programowany sterownik świateł (EP 10/2009)

* Uwaga! Elektroniczne zestawy do samodzielnego montażu. Wymagana umiejętność lutowania! Podstawową wersją zestawu jest wersja [B] nazywana potocznie KIT-em (z ang. zestaw). Zestaw w wersji [B] zawiera elementy elektroniczne (w tym [UK] – jeśli występuje w projekcie), które należy samodzielnie 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.

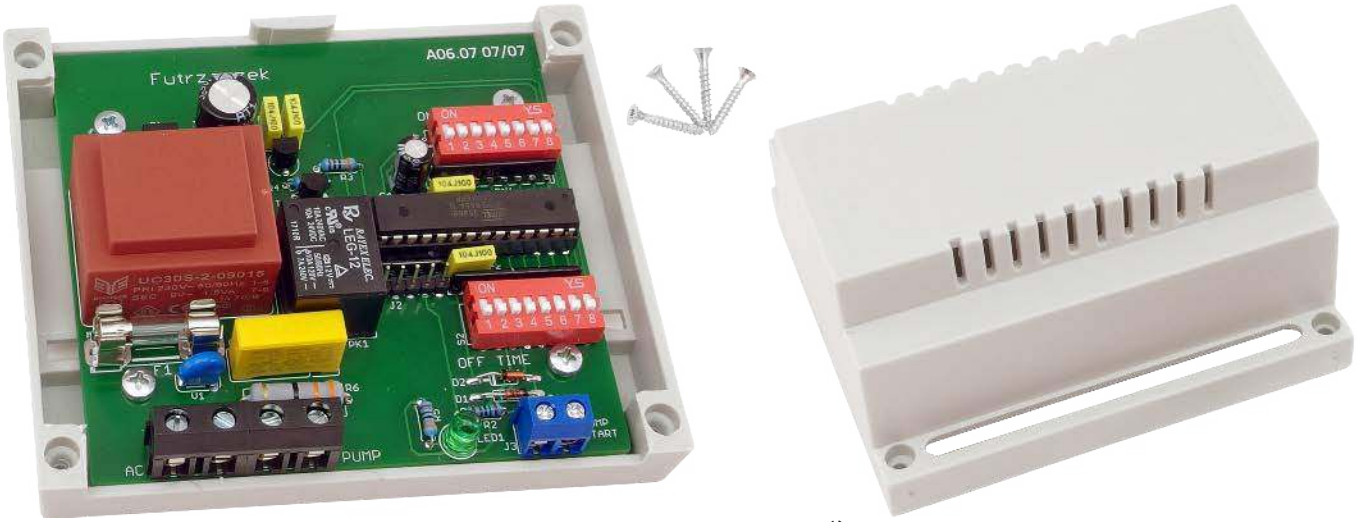
W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt Via e-mail: kity@avt.pl.

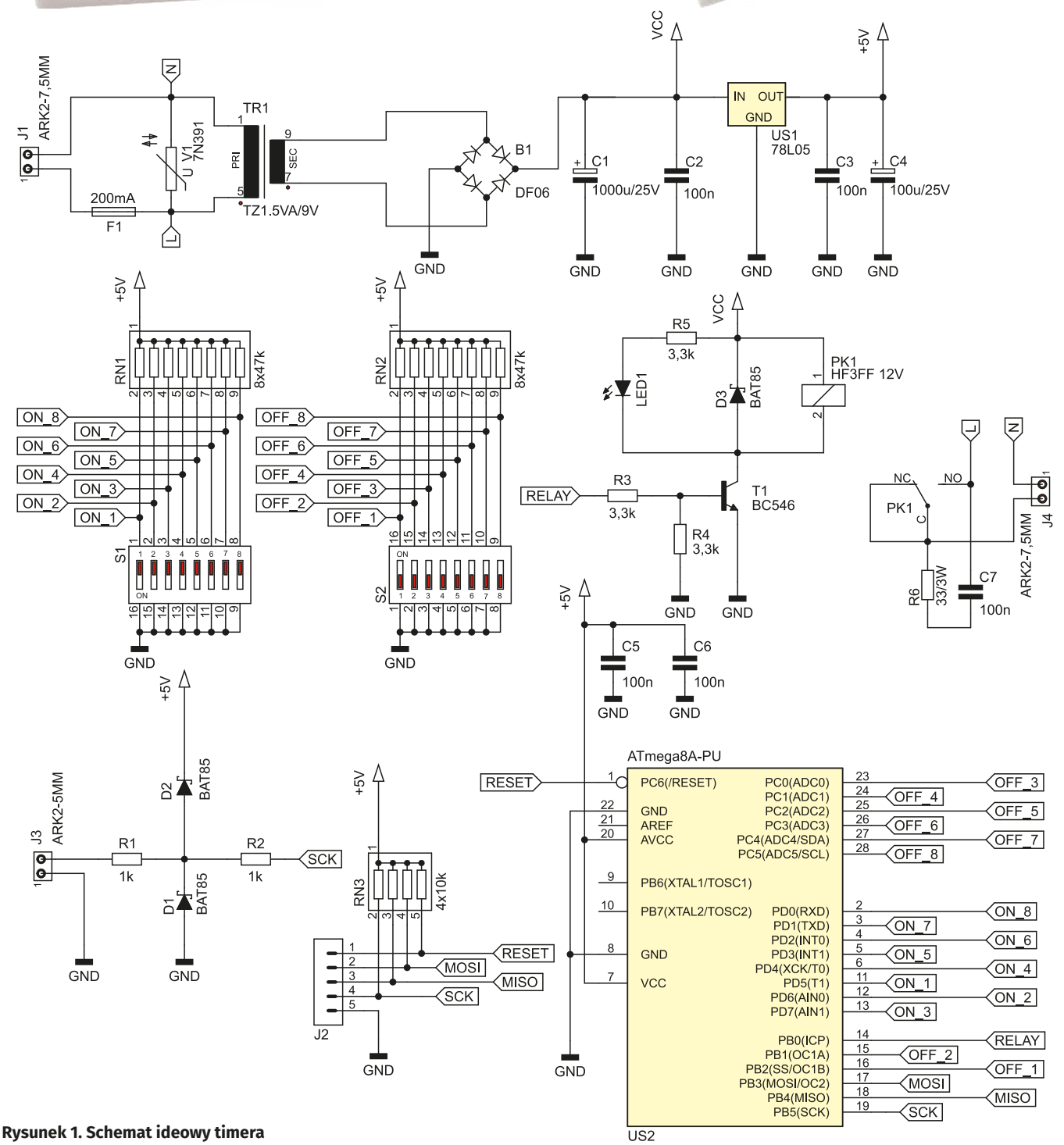
Timer do pompy obiegowej

Ciepła woda użytkowa (CWU) wymaga mieszania przy użyciu pompy obiegowej, aby miała wysoką temperaturę przy punktach jej poboru. Załączenie tej pompy na stałe powoduje duże straty ciepła oraz energii elektrycznej, dlatego ekonomiczniejszym rozwiązaniem jest jej praca cykliczna. Zaprezentowany układ realizuje właśnie taką funkcjonalność. Może on również służyć jako zwykły układ astabilny o regulowanym czasie załączenia i przerwy.

Cykliczne przerywacze wykonane z użyciem specjalizowanych układów czasowych, takich jak znany NE555, mają z reguły mało wygodny sposób ustawiania zadanego czasu załączenia oraz przerwy. Dodatkowo sporą wadą jest uzależnienie regulacji jednego czasu (przerwy) od drugiego (załączenia), co dodatkowo utrudnia uzyskanie pożądanych

eprasa.pl 2b951cc363





Rysunek 1. Schemat ideowy timera

eprasa.pl 2b951cc363

interwałów. Jeśli przekaźnik ma się przełączać co kilka sekund – można poświęcić dwie minuty na regulację układu, która wymaga jednoczesnej regulacji dwóch potencjometrów. Problem staje się dotkliwy, kiedy okres działania przekaźnika ma wynosić kilkanaście minut lub więcej. Wtedy każdorazowa zmiana ustawienia potencjometrów wymaga odczekania wielu długich minut, aby przekonać się, czy uzyskaliśmy pożądany rezultat. Dodatkowo układ typu NE555 ma ograniczenie dotyczące wypełnienia sygnału w trybie astabilnym: nie może być mniejsze niż 50%.

Zaprezentowany projekt oferuje nowoczesny, a zarazem prosty sposób rozwiązania omówionego problemu. Wystarczy ustawić przełącznikami czas załączenia i wyłączenia przekaźnika. Czas odczytujemy z opisów na przełącznikach, dla wygody całość została wyskalowana w minutach. Wystarczy więc kilka sekund spędzonych na przestawieniu odpowiednich suwaków, aby uzyskać układ, który z całkiem wysoką dokładnością będzie odliczał dokładnie takie interwały czasowe, jakich żądamy. I to wszystko bez ograniczeń dotyczących wypełnienia oraz bez wydłużenia czasu trwania pierwszego impulsu.

Urządzenie może znaleźć zastosowanie nie tylko do sterowania pompą obiegową CWU. Wiele innych urządzeń może działać w sposób cykliczny, a ich praca będzie bardziej efektywna przy takim sterowaniu. Przykładem może być wentylator mieszający powietrze w pomieszczeniu w czasie lata – ciągły nawiew może spowodować bolesne dolegliwości kostno-stawowe. Odpowiednie sterowanie takim wentylatorem pozwoli zmniejszyć intensywność nawiewu.

Budowa

Schemat ideowy timera do pompy obiegowej ciepłej wody użytkowej został pokazany na **rysunku 1**. Na płytce jest wbudowany prosty zasilacz transformatorowy, którego zadaniem jest dostarczanie dwóch napięć stałych: stabilizowanego 5 V dla mikrokontrolera i około 15 V do zasilania cewki przekaźnika i diody LED sygnalizującej jego działanie. Od strony uzwojenia pierwotnego transformator jest zabezpieczony przed nadmiernym wzrostem napięcia zasilającego (np. wskutek wyładowania atmosferycznego lub nieprawidłowego podłączenia faz w sieci) przez warystor V1 i bezpiecznik F1. Otwarcie warystora spowoduje przepalenie bezpiecznika i permanentne odłączenie układu. Zadaniem bezpiecznika jest również ochrona otoczenia przed powstaniem pożaru, który mógłby być wywołany przez zwarcie w uzwojeniu transformatora albo w układzie zasilanej pompy.

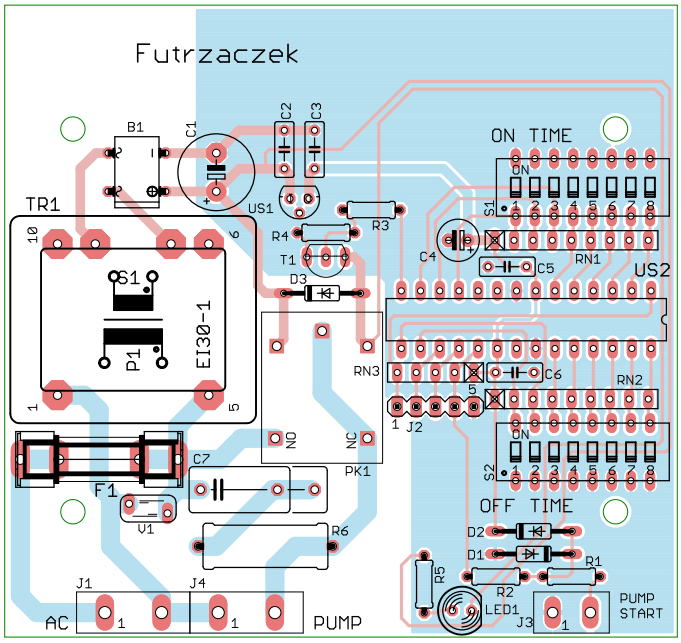
Głównym układem zarządzającym pracą timera jest dobrze znany mikrokontroler typu ATmega8A w obudowie przystosowanej do montażu przewlekanego. Jego rdzeń jest taktowany wewnętrznym oscylatorem RC o częstotliwości 1 MHz – zastosowanie urządzenia nie wymusza wysokiej dokładności taktowania, nawet kilkuprocentowe rozbieżności w czasie załączenia i wyłączenia przekaźnika nie spowodują niczego złego.

Programowanie pamięci Flash oraz bitów zabezpieczających mikrokontroler można przeprowadzić na dwa sposoby. Pierwszym jest wyjęcie układu z podstawki znajdującej się na płytce drukowanej i umieszczenie go w podstawce programatora. Drugi wariant polega na użyciu złącza J2, na które zostały wyprowadzone linie służące do programowania w systemie (ISP). Aby nie gromadziły się na nich ładunki elektrostatyczne, podciągnięto je do dodatniej linii zasilania przez rezystory umieszczone w drabince rezystorowej RN3.

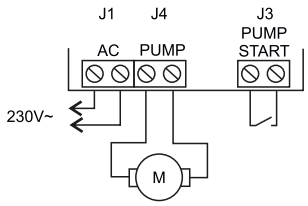
Ustawianie interwałów czasowych odbywa się poprzez zwieranie odpowiednich sekcji przełączników typu DIP-switch. Wewnętrzne rezystory podciągające mikrokontrolera mogą okazać się niewystarczające w mocno zakłóconym środowisku, dlatego zostały zrównoleglone przez zewnętrzne, znajdujące się w drabinkach RN1 i RN2. Zadaniem mikrokontrolera jest jedynie odczyt poziomów logicznych wszystkich szesnastu wejść i przeliczenie tego na odpowiedni czas.

Wejściem przycisku aktywującego przekaźnik są zaciski złącza J3. Diody D1 i D2 ograniczają wartość szczytową ewentualnych zakłóceń, które mogłyby się zaindukować w długich przewodach. Rezystor R1 ogranicza prąd tych diod, a rezystor R2 dodatkowo redukuje prąd diod zabezpieczających wbudowanych w strukturę mikrokontrolera.

Wyjściem układu jest złącze J4, na którym pojawia się napięcie sieciowe w momencie zwarcia styków przekaźnika PK1. Równolegle do jego cewki dodano również diodę zabezpieczającą D3, która chroni tranzystor T1 przed uszkodzeniem w momencie jego zatykania. Dioda LED1 sygnalizuje działanie przekaźnika. Jest zasilana wprost z mostka prostowniczego B1, aby nie obciążać niepotrzebnie stabilizatora US1. Elementy R6 i C7 ograniczają emisję zakłóceń elektromagnetycznych, które powstają wskutek iskrzenia przełączających się styków przekaźnika.



Rysunek 2. Schemat płytki PCB



Rysunek 3. Schemat podłączenia płytki do zasilania, pompy i dodatkowego przycisku

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 88×83,6 mm. Jej schemat został pokazany na **rysunku 2**. Kształt płytki, rozmieszczenie złączy i innych elementów oraz otworów montażowych zostało dostosowane do obudowy Z101 firmy Kradex. Płytka nadaje się do tego, aby czterema niewielkimi wkrętami przykręcić ją do spodniej części tej obudowy bez jakichkolwiek modyfikacji.

Montaż płytki proponuję przeprowadzić w typowy sposób, tj. poczynając od elementów najniższych po najwyższe. Pod mikrokontroler radzę zastosować podstawkę, aby łatwo dało się go wymienić w razie awarii. Złącza śrubowe radzę dosunąć możliwe w głąb płytki, aby ich wystające krawędzie nie utrudniały późniejszego złożenia obudowy. Po zmontowaniu płytkę należy podłączyć zgodnie ze schematem na **rysunku 3**. Bezpiecznik F1 zabezpiecza również obwód wyjściowy, więc należy użyć innego, jeżeli silnik pompy ma wyższą moc. Użyty w prototypie bezpiecznik zwłoczny 200 mA wystarcza do zabezpieczenia pompy o mocy około 30 W.

Włącznik monostabilny, podłączony do zacisków złącza J3, nie jest obowiązkowy, ale umożliwi włączanie pompy na żądanie. Przewody prowadzące do niego mogą być

eprasa.pl 2b951cc363

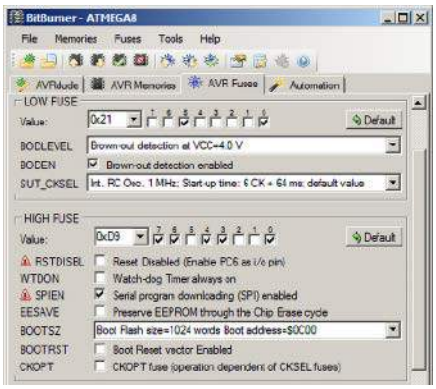
WYKAZ ELEMENTÓW, które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory: (THT o mocy 0,25 W jeżeli nie wskazano inaczej)
R1, R2: 1 kΩ
R3...R5: 3,3 kΩ
R6: 33 Ω 3 W
RN1, RN2: 8×47 kΩ SIL9
RN3: 4×10 kΩ SIL5

Kondensatory:
C1: 1000 µF 25 V
C2, C3, C5, C6: 100 nF
C4: 100 µF 25 V
C7: 100 nF 310 VAC X2 (15 mm)

Półprzewodniki:
B1: DF06
D1...D3: BAT85
LED1: zielona 5 mm
T1: BC546 lub podobny
US1: 78L05 (TO92)
US2: ATmega8A-PU (DIP28)

Pozostałe:
F1: bezpiecznik zwłoczny 200 mA 5×20 mm (opis w tekście)
J1, J4: XY705V-2P
J2: goldpin 5 pin męski 2,54 mm THT
J3: ARK2/500
PK1: JQC3FF/121ZS
S1, S2: DIP-switch 8 sekcji poziomy 2,54 mm
TR1: transformator zalewany do druku 1,5 VA, 9 V
V1: warystor 7N391
Jedna podstawka DIP28
Blaszki bezpiecznikowe 5×20 mm do druku np. GN BEZP DRUK



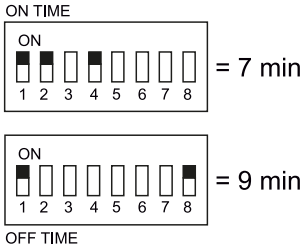
Rysunek 4. Szczegóły ustawienia bitów zabezpieczających

bardzo długie. Świecenie diody LED będzie widoczne przez szczelinę w obudowie, choć można ją też wyprowadzić na przewodach. Na etapie uruchamiania jest konieczne zaprogramowanie pamięci Flash mikrokontrolera dostarczonym wsadem oraz zmiana jego bitów zabezpieczających na nowe wartości:

```
Low Fuse = 0x21
High Fuse = 0xD9
```

Szczegóły są widoczne na **rysunku 4**, który pokazuje wygląd okna konfiguracji bitów programu BitBurner. W ten sposób zostanie uruchomiony Brown-Out Detector, który wyzeruje mikrokontroler, jeżeli jego napięcie zasilające spadnie poniżej 4 V. To znacznie zmniejsza ryzyko nieprawidłowego uruchomienia się układu.

Ostatnią czynnością uruchomieniową jest ustawienie prawidłowego czasu działania i przerwy. Odbywa się to poprzez przesuwanie suwaków w odpowiednich sekcjach przełączników typu DIP-switch. Załączenie sekcji oznaczonej daną liczbą oznacza zwiększenie danego czasu o wskazaną na nim liczbę minut. Szczegółowo objaśnia to **rysunek 5**. Jeżeli wszystkie sekcje są wyłączone, pompa nie załącza się w ogóle. Tak samo w sytuacji, gdy jest ustawiony czas wyłączenia (OFF), a nie ma zadanego czasu załączenia (ON). Z kolei wyłączenie wszystkich sekcji przełącznika OFF przy pozostawieniu jakiejkolwiek sekcji



Rysunek 5. Objaśnienie sposobu ustawiania czasu załączenia i wyłączenia

przełącznika ON sprawi, że pompa będzie trwale włączona. Można tę właściwość wykorzystać do testowania urządzenia.

Po włączeniu zasilania, układ zawsze zaczyna pracę od załączenia przekaźnika na ustalony czas, a dopiero potem jest on wyłączany. Wciśnięcie i zwolnienie zewnętrznego przycisku powoduje załączenie pompy na zadany czas (jeżeli akurat jest ona wyłączona) lub podtrzymanie jej działania, jeżeli w danym momencie pracuje.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA

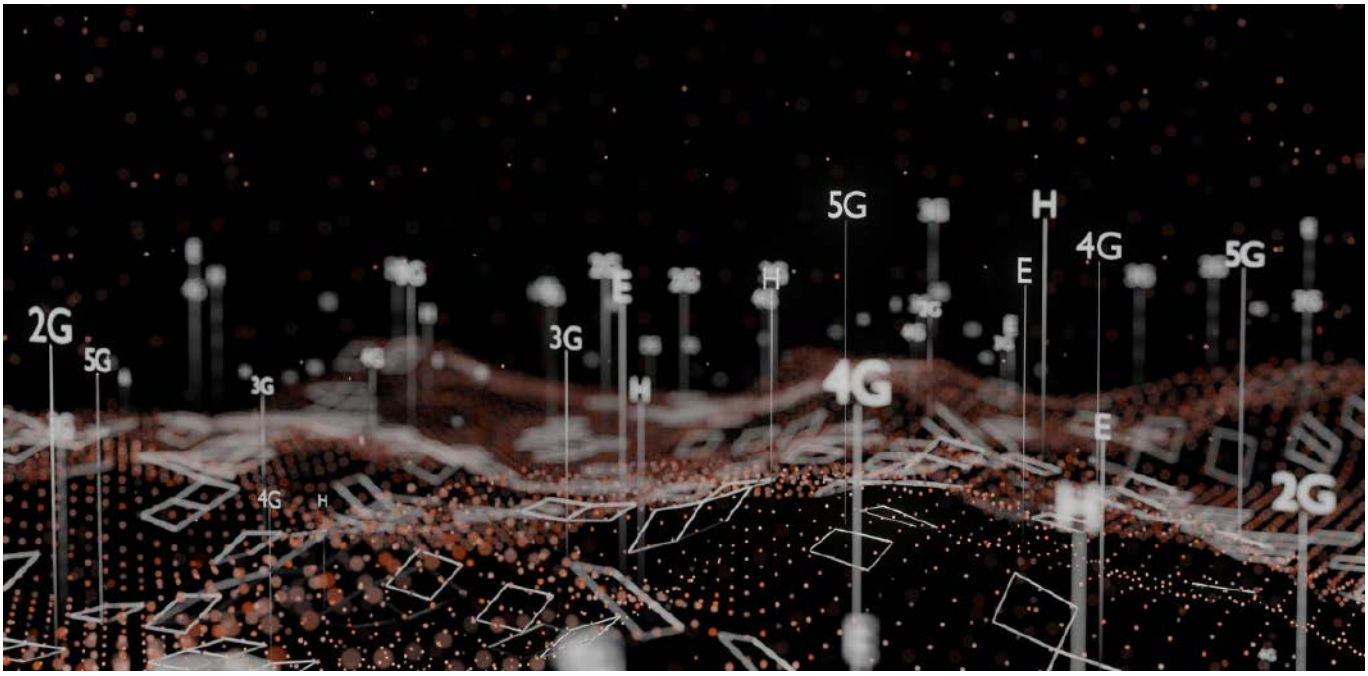
KOMPUTERY RASPBERRY PI
I MODUŁY ARDUINO

ARDUINO

AVT SPV Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Sklep stacjonarny czynny jest od poniedziałku do piątku w godzinach: 8.00–16.00, tel. 22 257 84 66
e-mail: handlowy@avt.pl, tel. 22 257 84 51 (w godzinach: 9.00–15.00)

http://sklep.avt.pl

eprasa.pl 2b951cc363



Sieci komórkowe w systemach embedded

Zdolność urządzeń do komunikacji bezprzewodowej staje się nie tylko wyznacznikiem ich nowoczesności i innowacyjności, ale wręcz decyduje o przydatności i potencjalnych zastosowaniach. Doskonale potwierdza to branża IoT, której rozwój jest ściśle skorelowany z rozwojem technologii bezprzewodowych. Jak można się domyślać – nie ma jednego uniwersalnego rozwiązania. Ale komunikacja za pośrednictwem sieci telefonii komórkowej jest w pewnym sensie rozwiązaniem wyjątkowym – jest stosowana w takich aplikacjach, w których inne standardy, z różnych powodów się nie sprawdziły.

W erze Internetu Rzeczy komunikacja bezprzewodowa jest podstawą większości nowoczesnych urządzeń elektronicznych, zarówno przemysłowych, jak i konsumenckich. Co ciekawe, w przeciwieństwie do branży komputerowej czy elektroniki konsumenckiej, w przeważającej części typowych rozwiązań IoT nie są wymagane duże szybkości przesyłania danych. Zdecydowanie ważniejsze cechy to: niski pobór energii, znaczny zasięg, poprawność i bezpieczeństwo danych oraz łatwość implementacji w systemie o ograniczonych zasobach. Czy sieci przeznaczone do telefonii komórkowej nadają się do takich zastosowań? Odpowiedź brzmi – tak. Dlatego scharakteryzujemy dostępne standardy i wyjaśnimy najważniejsze pojęcia z tej dziedziny.

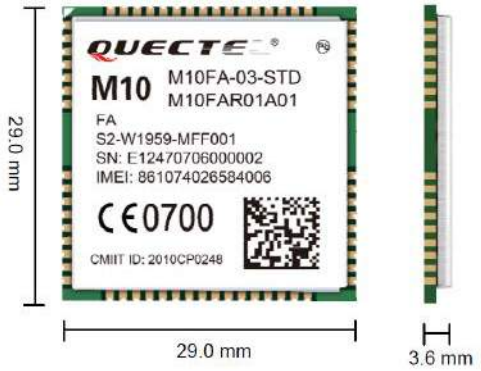
Kolejne generacje

Podstawowy podział technologii stosowanych do przesyłu danych w sieciach komórkowych opiera się na generacjach. Obecnie w Polsce funkcjonują jednocześnie sieci 2G, 3G, 4G i 5G, przy czym sieci drugiej i trzeciej generacji są stopniowo wycofywane. Sama idea generacji sieci komórkowych nie odnosi się dokładnie do technik stosowanych do przesyłu danych. Kolejne oznaczenia określają jedynie parametry użytkowe tych sieci. Parametry te można uzyskać za pomocą różnych standardów komunikacji, w efekcie czego w różnych rejonach świata wybrano różne standardy jako podstawowe metody komunikacji w sieciach komórkowych. Różnice obejmują też pasma częstotliwości, w których prowadzona jest komunikacja w poszczególnych rejonach świata. Dlatego, pomimo że standard LTE zdominował komunikację sieci czwartej generacji na całym świecie, w poszczególnych regionach stosowane są różne częstotliwości pracy. Oznacza to, że aby zapewnić pełną przenośność projektowanego sprzętu, trzeba skorzystać z wielopasmowych modułów sieci komórkowych.

Problemem jest też nadużywanie oznaczeń w celu wypromowania swoich produktów. Zdarzało się, że hasłem 4G określano sieci, które wcale nie spełniały wymogów 4G, ale był to sposób na przyciągnięcie klientów. Teraz zaczynamy obserwować podobny trend w odniesieniu do hasła 5G.

Rysunek 1. Różne formaty kart SIM, od najstarszego po lewej, do najnowszego, w postaci układu scalonego SMD montowanego bezpośrednio na płytce PCB urządzenia

eprasa.pl 2b951cc363



General Features

Quad-band	850/900/1800/1900MHz
GPRS Multi-slot Class	12, 1~12 configurable
GPRS Mobile Station	Class B
Compliant to GSM Phase 2/2+	Class 4 (2W @ 850/ 900 MHz) Class 1 (1W @ 1800/1900MHz)
Supply Voltage Range	3.3~4.6V 4.0V nominal
Low Power Consumption	1.3mA @ DRX=5 1.2mA @ DRX=9
Operation Temperature	-40 °C to +85 °C
Dimensions	29.0 × 29.0 × 3.6mm
Weight	Approx. 6.0g
Mux Driver	GSM 07.10
Control via AT commands	GSM 07.07 ,07.05 and other enhanced AT Commands

Rysunek 2. 4-zakresowy moduł do komunikacji w sieciach 2G to bardzo korzystne ekonomicznie rozwiązanie

2G

Skrót GSM oznacza *Global System for Mobile Communications* i początkowo był określeniem sieci 2G. Wraz z rozwojem technologii i wprowadzeniem kolejnych generacji, termin GSM nabrał bardziej ogólnego charakteru i dziś często jest stosowany w odniesieniu do wszystkich dostępnych standardów sieci komórkowych. Określenie 2G oznacza sieć drugiej generacji, a w istocie odnosi się do pierwszej na świecie w pełni cyfrowej sieci telefonii komórkowej.

Istnieje pięć głównych pasm częstotliwości używanych w tym standardzie: GSM 400, GSM 850, GSM 900, GSM-1800 (DCS) i GSM 1900 (PCS) oraz dodatkowo pasma GSM 850 i GSM 1900, które są stosowane w większości państw Ameryki Północnej i Południowej. W przeważającej części świata standard GSM działa w pasmach 900 i 1800.

Przełomową właściwością standardu 2G była możliwość transmisji danych. Pierwsza specyfikacja – CSD (*Circuit Switched Data*), oferowała szybkość transmisji na poziomie niecałych 10 kb/s. Następnie wprowadzono technikę HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*), która umożliwiała transfer z prędkością niecałych 60 kb/s. Istotną zmianę wprowadziła technika GPRS (*General Packet Radio Service*). Oferowała prędkość transmisji na poziomie 30...80 kb/s (teoretycznie nawet 114 kb/p) i umożliwia korzystanie z Internetu lub z transmisji strumieniowej audio/wideo. Komunikacja w tym standardzie bazuje na pakietach, co oznacza, że dane są dzielone na małe bloki i przesyłane różnymi kanałami. Użytkownik płaci w niej za faktycznie wysłaną lub odebraną liczbę bajtów, a nie za czas, w którym połączenie było aktywne. GPRS nazywane jest często technologią 2.5G. Rozszerzeniem dla technologii GPRS jest EDGE (*Enhanced Data GSM Evolution*, ale używa się też terminu EGPRS – *Enhanced GPRS*). Został w niej poprawiony interfejs radiowy, dzięki czemu uzyskano polepszenie przepływności, w większości obecnych systemów wynosi ok. 300 kb/s oraz ma możliwość dynamicznej zmiany szybkości nadawania pakietów w zależności od warunków transmisji. Obecnie GPRS jest uważany za technikę przestarzałą, jednak ciągle funkcjonuje w sieciach GSM ze względu na kompatybilność z wieloma urządzeniami oraz sieciami, których ze względów ekonomicznych nie rozwijano.

Jeśli potrzebujemy korzystnego ekonomicznie rozwiązania, a liczba przesyłanych danych nie będzie duża, możemy sięgnąć po modem 2G. Sieć ta jest dosyć powszechnie dostępna nawet w słabo zurbanizowanych regionach świata. Co ciekawe, jest wycofywana wolniej niż 3G, gdyż wcześnie wprowadzone technologie czwartej generacji są pod niemal każdym względem lepsze niż 3G. Natomiast jeśli zależy nam przede wszystkim na małej przepustowości na dużą odległość przy jak najmniejszych kosztach, to 2G wypada lepiej niż 3G i konkurencją dla drugiej generacji mogą być dopiero nowsze standardy 4G, takie jak Kat M i NB-IoT. Producenci modułów rozumieją tę sytuację i co jakiś czas wprowadzają nowe produkty, które wciąż pracują w 2G, ale korzystają z nowych rdzeni, technologii wytwarzania i technik oszczędzania energii. Dzięki temu sięgnięcie po moduły do sieci komórkowych drugiej generacji wcale nie musi sprawiać, że tworzony projekt już na starcie będzie przestarzały.

3G

Sieć 3. generacji, w odróżnieniu od poprzedniego systemu, w którym dominującą usługą miała być usługa głosowa, od samego rozpoczęcia projektowania jest ukierunkowana zarówno na świadczenie usług telefonicznych, jak i transmisję danych. Obejmowała dwa dodatkowe pasma częstotliwości 2100 MHz i 2600 MHz i bardzo dużą ilość technologii. W Europie podstawowym standardem stał się UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Początkowo dopuszczał transfer danych na poziomie ok. 130 kb/s. Nieco później wartość tę zwiększono do ok. 400 kb/s.

Rozwinięciem standardu UMTS jest HSDPA (*High-Speed Download Packet Access*), który dodawał dodatkowy kanał warstwy transportowej, obsługiwany przez trzy nowe kanały w warstwie fizycznej. Ich działanie polega na informowaniu sieci z niewielkim wyprzedzeniem na temat zapotrzebowania na pasmo do przesyłu pakietów w najbliższym czasie. Węzeł sieci komórkowej, do której podłączone jest dane urządzenie, przypisuje następnie odpowiedni kanał do transmisji, co pozwala na zwiększenie jej szybkości w stosunku do klasycznego UMTS. Technologia HSDPA implementuje też automatyczny system ponawiania żądań, szybkie harmonogramowanie pakietów oraz adaptacyjne modulowanie i kodowanie. Ważny jest też fakt, że HSPDA występuje w wielu wariantach, określanych mianem kategorii i wprowadzanych grupami w kolejnych odsłonach standardu UMTS. Poszczególne kategorie różnią się sposobem zastosowanej modulacji (16QAM, QPSK, 64QAM), liczbą obsługiwanych jednocześnie strumieni, kodowaniem itd. Wskutek tego uzyskuje się różną przepustowość maksymalną w kierunku do użytkownika.

Wśród kategorii HSDPA najbardziej efektywną pod względem wykorzystania dostępnego pasma przy zastosowaniu jednego strumienia i jednej nośnej jest wprowadzona w UMTS Release 7 kategoria 14. Umożliwia ona transmisję z przepustowością do 21,1 Mb/s. Wyższe kategorie wymagają już użycia dwóch lub czterech strumieni oraz/lub agregacji komunikacji na dwóch, trzech, czterech, sześciu lub nawet ośmiu nośnych. 11. odsłona UMTS teoretycznie pozwala już na uzyskanie transmisji w kierunku do użytkownika z szybkością nawet 337,5 Mb/s (kategorie 36. i 38.). Trzeba jednak zaznaczyć, że są to wartości czysto teoretyczne, które nie uwzględniają narzutów związanych z nagłówkami pakietów i zakładają idealne warunki radiowe. W rzeczywistych warunkach uzyskiwane szybkości są zdecydowanie niższe, przede wszystkim ze względu na odległość pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem i ze względu na innych użytkowników, znajdujących się w tej samej komórce.

Niedługo po pierwszym HSDPA opracowano usprawnienie – HSUPA (*High-Speed Uplink Packet Access*), noszące też nazwę EUL (*Enhanced*

eprasa.pl 2b951cc363

Wyjaśnienie najważniejszych skrótów zagadnień dotyczących sieci telefonii komórkowych

3GPP – *3rd Generation Partnership Project* – organizacja pracująca nad technologiami komunikacji radiowej

5G NR – *New Radio* – nazwa technologii sieci piątej generacji

Beamforming – technologia pozwalająca kierować sygnał dokładnie w kierunku urządzenia odbiorczego i tym samym poprawiać stabilność połączenia

CDMA2000 (IMT-CDMA) – *Multi-Carrier Code Division Multiple Access* – stosowany w USA standard telefonii komórkowej trzeciej generacji

DC-HSDPA – *Dual-Carrier High-Speed Downlink Packet Access* – szybsza technika zwiększająca przesył danych w kierunku do urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

DC-HSPA – *Dual-Carrier High-Speed Packet Access* – szybsza technika zwiększająca przesył danych, w sieciach komórkowych, łącząca techniki HSDPA i HSUPA DC-HSUPA – Dual-Carrier High-Speed Uplink

Packet Access – szybsza technika zwiększająca przesył danych w kierunku od urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

EC-GSM-IoT – *Extended Coverage GSM Internet of Things* – standard bazujący na eGPRS, pozwalający na komunikację bardzo dużej liczby urządzeń, korzystających z małej przepustowości

EDGE – *Enhanced Data Rates for GSM Evolution* – technika zwiększenia szybkości transmisji w sieciach drugiej generacji

eSIM – *electronic Subscriber Identity Module* – karta SIM w postaci układu scalonego do wlutowania na płytkę drukowaną

E-UTRA – *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access lub Evolved Universal Terrestrial Radio Access* – interfejs radiowy w technologii

L Band – pasmo niskich częstotliwości, nawet 300 MHz, które pozwalają na zwiększenie zasięgu

LTE EUTRAN – *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network lub Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* – architektura sieci

LTEGPRS – *General Packet Radio Service* – technika pakietowego przesyłania danych w sieciach GS

GSA – *Global Mobile Suppliers Association* – organizacja monitorująca rozwój sieci komórkowych

GSM – *Global System for Mobile Communications* – europejski standard komunikacji komórkowej drugiej generacji

HSDPA – *High-Speed Downlink Packet Access* – technika zwiększająca przesył danych w kierunku do urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

HSPA – *High-Speed Packet Access* – technika zwiększająca przesył danych, w sieciach komórkowych, łącząca techniki HSDPA i HSUPA

HSUPA – *High-Speed Uplink Packet Access* – technika zwiększająca przesył danych w kierunku od urządzenia klienckiego, w sieciach komórkowych

ISM – *Industrial, Scientific, Medical* – nielicencjonowane pasmo radiowe

LTE – *Long Term Evolution* – standard telefonii komórkowej niemal czwartej generacji

Massive MIMO – wieloelementowe anteny 5G stosowane w celu równoczesnego wysyłania i odbierania większej ilości danych

MEC – *Multi-Access Edge Computing* – bazująca na chmurze usługa obliczeniowa, działająca na krawędzi sieci

MIMO – *Multiple Input, Multiple Output* – technika odbierania i nadawania fal radiowych za pomocą wielu anten

NB-IoT – *Narrow Band IoT* – komunikacja komórkowa z wykorzystaniem fal w wąskim paśmie radiowym

OFDM – *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing* – metoda kodowania danych na wielu częstotliwościach nośnych

SC-FDMA – *Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access* – metoda wielodostępu, będąca rozbudowaną wersją metody OFDM

SIM – *Subscriber Identity Module* – karta pozwalająca zidentyfikować abonenta

UMTS – *Universal Mobile Telecommunications System* – popularny standard telefonii komórkowej trzeciej generacji

URLLC – *Ultra Reliable Low Latency Communications* – system łączności o wysokiej niezawodności i małych opóźnieniach przeznaczony dla sieci 5G

Uplink). Jego celem było przyspieszenie transmisji w kierunku od użytkownika do sieci komórkowej. HSUPA zostało włączone do standardu UMTS w jego 6. odsłonie i również występuje w różnych kategoriach – początkowo o przepustowości do 5,76 Mb/s (kategoria 6.). Zasada działania usprawnienia HSUPA jest podobna do HSDPA – też opiera się przede wszystkim na harmonogramowaniu przesyłu pakietów, z tym że w przypadku HSUPA, urządzenie klienckie zgłasza zapotrzebowanie na przesył pakietów, a kontroler sieci przydziela odpowiednie zasoby do transmisji lub nie. Kolejne kategorie HSUPA były wprowadzane przez organizację 3GPP w kolejnych odsłonach standardu UMTS, wraz z nowymi kategoriami HSDPA. W UMTS Release 11 wprowadzono m.in. 12. kategorię HSUPA, która teoretycznie pozwala na transfer z szybkością do 34,5 Mb/s. Kategorie od 8. wzwyż zostały ponadto zaprojektowane tak, by skrócić opóźnienia w komunikacji.

Warto zauważyć, że w nazewnictwie używanym przez producentów podzespołów do komunikacji w sieciach komórkowych są też określenia HSPA i HSPA+. Pierwsze z nich obejmuje przypadek, gdy urządzenie lub sieć obsługuje HSDPA i HSUPA, choć nie definiuje ono, które kategorie muszą być obsługiwane. Przyjmuje się jednak, że mianem HSPA można już określać system obsługujący technologie HSDPA i HSUPA, wprowadzone w 6. odsłonie standardu UMTS. Natomiast nazwa HSPA+ (oficjalnie *Evolved HSPA*) przysługuje urządzeniom obsługującym kategorie HSDPA i HSUPA, wprowadzone w UMTS Release 7 i/lub UMTS Release 8. Można też się spotkać z nazwą *Dual-carrier HSPA*, która obejmuje zastosowanie wprowadzonych w 9. odsłonie UMTS-u standardów DC-HSDPA i DC-HSUPA. Od wersji UMTS Release 11 pojawia się natomiast nazwa MC-HSPA, która obejmuje zastosowanie więcej niż dwóch nośnych do zwiększenia transmisji w sieciach komórkowych. HSPA+ zakłada również możliwość użycia uproszczonej architektury sieci po stronie operatora, w której kontrolery sieci komórkowej bezpośrednio korzystają z protokołu IP. Zmniejsza to koszt wdrożenia i obsługi takiej sieci. Duży wzrost szybkości oferowany przez techniki HSPA+ sprawił, że niektórzy operatorzy zaczęli stosować miano 4G do promowania tego typu sieci komórkowych. Jednakże standard UMTS, nawet ze swoimi najnowszymi usprawnieniami, nie jest prawowitym standardem czwartej generacji.

W opinii wielu ekspertów zajmujących się rynkiem telekomunikacyjnym sieć 3G nie była do końca sukcesem – nie była tak wydajna, jak przewidywano, a dodatkowo infrastruktura była kosztowna w instalacji i utrzymaniu. Dlatego też następna generacja przyszła o wiele szybciej, niż pierwotnie zakładano. Obecnie operatorzy sieci komórkowych rezygnują z technologii 3G i wielu z nich już rozpoczęło działania w tym kierunku. Zwolnione pasma częstotliwości są zajmowane przez sieci nowych generacji – 4G i 5G.

4G

Sieć komórkowa 4. generacji została pierwszy raz użyta komercyjnie już w 2009 roku w Skandynawii. Dawała możliwość przesyłu danych o prędkościach często nieosiągalnych dla stacjonarnych łączy internetowych – w teorii nawet do ok. 300 Mb/s, w praktyce osiągane wartości zależą od wielu czynników i zazwyczaj są niższe. W kontekście sieci 4G obowiązkowo znajduje się LTE (*Long Term Evolution*) – jest to nazwa standardu przesyłu danych, z których korzystają sieci 4G i jest aktualnie powszechnie stosowany na całym świecie.

LTE funkcjonuje w różnych pasmach radiowych. Lista używanych pasm w poszczególnych regionach świata została zebrana w **tabeli 1**. Fale o niższych częstotliwościach rozprzestrzeniają się łatwiej i mają większy zasięg. Częstotliwość 800 MHz stosowana w 4G LTE jest tzw. częstotliwością pokryciową – zapewnia dobry zasięg na mniej zaludnionych i słabiej zurbanizowanych terenach. W miastach z kolei zapewnia lepszy zasięg w budynkach. Wyższe częstotliwości (są to najczęściej 1800 MHz, 2100 MHz i 2600 MHz) to tzw. częstotliwości pojemnościowe – sprawdzają się dobrze w miejscach,

eprasa.pl 2b951cc363

DELOCK®

we move the world

Dookólne anteny 5G

Delock oferuje szeroki wybór anten zapewniających optymalny odbiór, zarówno w pomieszczeniach, jak i na zewnątrz. Sprawdź całą ofertę.

Nr. ART. 12590 Antena umożliwia używanie różnych pasm 5G i LTE w pomieszczeniach i na zewnątrz. 5G zapewnia większą przepustowość i niskie opóźnienia.

Nr. ART. 12626 Antena 5G i LTE umożliwia używanie różnych pasm 5G LTE w pomieszczeniach. W pełni kompatybilna z GSM, UMTS, 5G LTE, ZigBee, Z-Wave, NB-IoT, WLAN 2,4 GHz, Bluetooth, ISM, DECT oraz LoRa.

Nr. ART. 12631 Antena przeznaczona jest do zastosowań na zewnątrz. Posiada szeroki zakres pasm częstotliwości. Siła anteny 2,14 - 2,93 dBi

Nr. ART. 12633 Antena ze złączem SMA męski, wielokierunkowa na przegubie.

Nr. ART. 12634 Antena umożliwia używanie różnych pasm 5G LTE w pomieszczeniach. Jest ona w pełni kompatybilna z GSM, UMTS, 5G LTE, ZigBee, Z-Wave, NB-IoT, WLAN 2,4 GHz, Bluetooth, ISM, DECT oraz LoRa.

Nr. ART. 12638 Antena 5G o zakresie częstotliwości: 3,4 - 3,8 GHz i złączu SMA. Siła anteny 5 dBi.

Nr. ART. 12706 Antena kompatybilna z MHF®. Siła anteny 0 - 4 dBi. Zakres częstotliwości: 700 - 6000 MHz

www.delock.com

eprasa.pl 2b951cc363

Premium IT Accessory

Feature	Implementation
Power supply	Single supply voltage 3.4~4.2V, Recommend supp
Power saving	Current in sleep mode : <5mA
Radio frequency bands	Please refer to the table 1
Transmitting power	GSM/GPRS power class: --GSM850: 4 (2W) --EGSM900: 4 (2W) --DCS1800: 1 (1W) --PCS1900: 1 (1W) EDGE power class: --GSM850: E2 (0.5W) --EGSM900: E2 (0.5W) --DCS1800: E1 (0.4W) --PCS1900: E1 (0.4W) UMTS power class: --WCDMA :3 (0.25W) LTE power class: 3 (0.25W)
Data Transmission Throughput	GPRS multi-slot class 12 EDGE multi-slot class 12 UMTS R99 speed: 384 kbps DL/UL HSPA+: 5.76 Mbps(UL), 42 Mbps(DL) HSDPA/HSUPA: 2.2 Mbps(UL), 2.8 Mbps(DL) LTE CAT 1: 10 Mbps(DL) 5 Mbps(UL) LTE-FDD CAT4 : 150 Mbps (DL) , 50 Mbps (UL) LTE-TDD CAT4 : 130 Mbps (DL) , 35 Mbps (UL)

Rysunek 3. Wielofunkcyjny i wielozakresowy moduł do komunikacji w sieciach 2G, 3G i 4G daje wiele możliwości, przy umiarkowanej cenie jednostkowej

w których z połączenia z siecią korzysta bardzo wiele urządzeń, np. w dużych miastach.

Teoretyczna szybkość transmisji, możliwa do osiągnięcia w standardzie LTE, zależy od kategorii sprzętu, z którego się korzysta. W pierwotnej wersji standardu zdefiniowano 5 kategorii o przepustowości od 10,3 Mb/s do 299,6 Mb/s w kierunku do użytkownika i o przepustowości od 5,2 Mb/s do 75,4 Mb/s w przeciwną stronę. Wybierając moduł lub modem do sieci komórkowej LTE, należy przede wszystkim zwrócić uwagę na obsługiwane przez niego kategorie. Ma

Tabela 1. Pasma radiowe stosowane w LTE w różnych regionach świata

Region Świata	[MHz]
Europa	450, 700, 800, 900, 1500, 1800, 2100, 2300, 2600, 3500, 3700
Ameryka Północna	600, 700, 750, 800 850, 1900, 2100, 2300, 2500, 2600
Ameryka Łacińska	750, 850, 900, 1700, 1800, 1900, 2100, 2600
Azja	450, 700, 800, 850, 900, 1500, 1800, 1900, 2100, 2300, 2500, 2600, 3500
Afryka	700, 800, 850, 900, 1800, 2100, 2500, 2600
Australia i Oceania	700, 800, 850, 1800, 2100, 2300, 2600

Tabela 2. Maksymalne prędkości transmisji danych w różnych standardach sieci telefonii komórkowych

Technologia transmisji danych	Pobieranie (download)	Wysyłanie (upload)
GPRS (2G)	53,6 kb/s	26,8 kb/s
EDGE (2G)	236,8 kb/s	120 kb/s
UMTS (3G)	384 kb/s	128 kb/s
HSDPA (3G)	14,4 Mb/s	-
HSUPA (3G)	-	5,76 Mb/s
HSPA (3G)	14,4 Mb/s	5,76 Mb/s
HSPA+ (3G)	28,8 Mb/s	5,76 Mb/s
HSPA+DC (3G)	56 Mb/s	22 Mb/s
CDMA	3,1 Mb/s	1,8 Mb/s
LTE (4G)	150 Mb/s	50 Mb/s
LTE Advanced (4G)	498 Mb/s	50 Mb/s
5G	20 Gb/s	10 Gb/s

to o tyle duże znaczenie, że po stronie operatora może leżeć decyzja, że dana (stara) kategoria urządzenia nie będzie dopuszczana do sieci ze względu na zbyt niską efektywność wykorzystania pasma radiowego.

Warto też rozumieć, skąd wynikają różnice pomiędzy szybkościami uzyskiwanymi w poszczególnych kategoriach LTE oraz na czym polega odmienność tej sieci od UMTS. Warstwa radiowa interfejsu sieci LTE nosi miano E-UTRA (*Evolved UMTS Terrestrial Radio Access* lub *Evolved Universal Terrestrial Radio Access*). Natomiast nadajniki/odbiorniki i urządzenia klienckie korzystające z E-UTRA tworzą sieć nazywaną EUTRAN (ostatnia literka pochodzi od słowa *Network*). W sieci tej komunikacja odbywa się w pasmach o szerokości 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 15 MHz lub 20 MHz. Przykładowo, niemal 300-megabitowa szybkość transmisji może być teoretycznie uzyskana przy zastosowaniu 20-megahercowego pasma i czterotorowej transmisji, która wymaga czterech anten odbiorczych w urządzeniu klienckim. W odróżnieniu od standardu UMTS, LTE posługuje się wielodostępem OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) w kierunku do użytkownika i SC-FDMA (*Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access*) w kierunku przeciwnym. Użycie dwóch różnych sposobów wielodostępu modulacji jest uzasadnione tym, że pierwszy z nich narzuca zbyt duże wymagania odnośnie do liniowości zastosowanych wzmacniaczy radiowych, co pociąga za sobą zwiększone zużycie energii. Ponieważ urządzenia klienckie są zazwyczaj przenośne, a więc zasilane bateryjnie, w celu nadawania korzystają z bardziej energooszczędnej metody.

Twórcy LTE postarali się też skrócić opóźnienia w komunikacji w sieciach komórkowych. W tym celu uproszczono strukturę sieci i zoptymalizowano ją pod kątem przesyłu danych pakietowych, a nie pod kątem komutacji polegającej na nawiązywaniu i utrzymywaniu połączeń. Odpowiedniki stacji bazowych, występujące w UMTS i nazywane nodeB, zostały zastąpione jednostkami enodeB, które stanowią zintegrowany nodeB z kontrolerem sieci. Zmniejsza to koszt instalacji stacji oraz skraca opóźnienia. Co więcej, jednostka enodeB komunikuje się z otoczeniem bezpośrednio z użyciem protokołu IP, co również upraszcza jej wdrożenie i obsługę. Sieć LTE została też usprawniona względem UMTS, pod kątem obsługi komunikacji z urządzeniami szybko się poruszającymi oraz w celu obsługi bardzo małych komórek sieciowych, choćby o średnicy około 100 m. Oczywiście, zapewniono mechanizmy przekazywania połączeń pomiędzy sieciami LTE i starszych generacji, zwiększono pojemność pojedynczych komórek oraz zoptymalizowano je dla rozmiarów o promieniu 5 km.

O aplikacjach typu IoT pomyślano w 8. wersji specyfikacji, tworząc kategorię 1. Niestety, nie spełnia ona wymagań wielu projektów IoT, oferując niepotrzebnie dużą przepustowość, przy jednoczesnym wcale nie tak małym poborze mocy. Dlatego w wydaniu 12. specyfikacji wprowadzono kategorię 0, która cechowała się już 10-krotnie mniejszą

eprasa.pl 2b951cc363

Tabela 3. Parametry kategorii LTE dostosowanych do potrzeb Internetu Rzeczy

Parametr/ Kategoria LTE	LTE Cat. 1	LTE Cat. 0	LTE Cat. M1	LTE Cat. M2	LTE Cat. NB1	LTE Cat. NB2	EC-GSM-IoT
Wydanie 3GPP	8	12	13	14	13	14	13
Maksymalna przepustowość do urządzenia	10 Mb/s	1 Mb/s	1 Mb/s	4 Mb/s	680 kb/s	2536 kb/s	474 kb/s (EDGE) 2 Mb/s (EGPRS2B)
Maksymalna przepustowość z urządzenia	5 Mb/s	1 Mb/s	1 Mb/s	6 Mb/s	1000 kb/s	2536 kb/s	474 kb/s (EDGE) 2 Mb/s (EGPRS2B)
Opóźnienia	50...100 ms	b.d.	10...15 ms	b.d.	1,6...10 s	b.d.	700 ms...2 s
Liczba anten	2	1	1	b.d.	1	b.d.	1...2
Dopuszczalny tryb duplex	full-duplex	full lub half-duplex	full lub half-duplex	b.d.	half-duplex	b.d.	half-duplex
Pasmo transmisji	1,4...20 MHz	1,4...20 MHz	1,4 MHz	b.d.	180 kHz	b.d.	200 kHz
Liczba strumieni danych	2 (MIMO)	1 (SISO)	1 (SISO)	b.d.	1 (SISO)	b.d.	1–2
Moc transmisji, używana przez urządzenie	23 dBm	23 dBm	20/23 dBm	b.d.	20/23 dBm	b.d.	23/33 dBm

przepustowością do urządzenia, równą przepustowości w kierunku do stacji bazowej i wynoszącą 1 Mb/s. Ale największe zmiany pojawiły się w wydaniu 13., w którym dodano kategorie M1 i NB-IoT1 oraz EC-GSM-IoT. Natomiast w kolejnym, 14. już wydaniu, dodano jeszcze kategorię M2 i NB-IoT2. LTE pokrywa ogromną część obszaru wielu państw, ale poszczególne kategorie LTE bardzo się od siebie różnią. Dlatego przed wyborem modułu/modemu do pracy w tym systemie należy upewnić się, że sieć obsługuje wymagane kategorie.

5G

Piąta generacja sieci komórkowych wyróżnia się przede wszystkim oczekiwaną przepustowością, liczbą jednocześnie obsługiwanych użytkowników w małej przestrzeni i niezawodnością. Zgodnie ze specyfikacją (IMT-2020) opublikowaną przez Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (ITU) jej charakterystyka prezentuje się następująco:

- prędkość transferu – do 20 Gb/s pobieranie i do 10 Gb/s wysyłanie,
- opóźnienie (latencja) – maksymalnie 4 ms, ale możliwe nawet 1 ms,
- obciążenie – nawet 1 milion urządzeń na 1 mln/km^2,
- niezawodność – utrzymywanie połączenia w trakcie przemieszczania się z prędkością do 500 km/h.

Teoretyczna prędkość transferu danych jest imponująca, ale w praktycznych testach pierwszych działających sieci 5G uzyskiwany transfer jest na poziomie 400...500 Mb/s. Istotny wpływ na jakość 5G mają zastosowania rozwiązania technologiczne, ze szczególnym uwzględnieniem dwóch:

- kształtowanie wiązki (*beamforming*) – pozwala kierować sygnał dokładnie w kierunku urządzenia odbiorczego i tym samym poprawiać stabilność połączenia,
- massive MIMO (*Multiple Input, Multiple Output*) – polega na użyciu wielu anten (w stacji bazowej) i wielu odbiorników (w urządzeniu docelowym) w celu zapewnienia większej wydajności.

Przed nową technologią, określaną mianem 5G NR (*New Radio*), postawiono bardzo ambitne cele. Podstawowym jest prędkość transmisji do 20 Gb/s oraz tysiąckrotny wzrost pojemności sieci. Co więcej, technologia ta musi również zapewnić wsparcie dla nowych usług, w tym tych już znanych pod wspólną nazwą IoT oraz krytycznej czasowo komunikacji maszyna-maszyna i człowiek-maszyna, zapewniając przy tym jak najkrótszy czas latencji i jak najwyższy poziom niezawodności. To wszystko jest bazą do rozwoju nowych technologii monitorowania urządzeń, ich zdalnej kontroli oraz nowych usług transportowych, a także Przemysłu 4.0.

Główne spektrum częstotliwości radiowych wykorzystywanych w sieciach 5G mieści się w zakresie od 3,3 GHz do 4,9 GHz. Niższe częstotliwości,

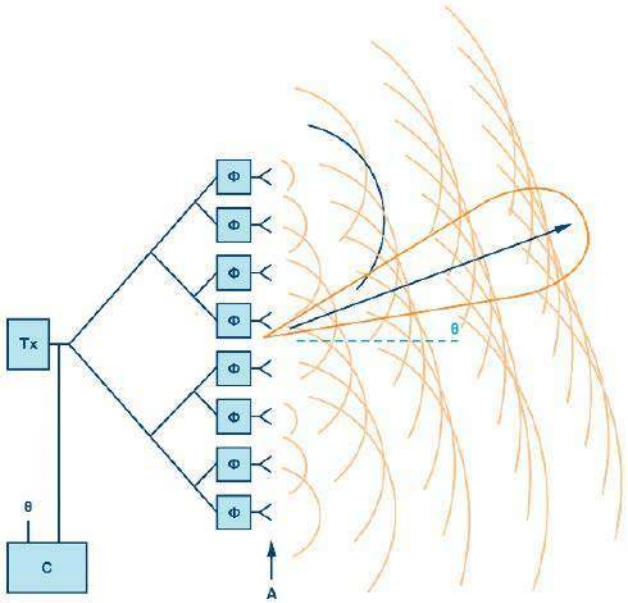
- Modem SIMCom 5G SIM8202G-M2 z układem Qualcomm SDX55
- Pasmo częstotliwości:
  - 5G NR Sub-6G N1/N3/N28/N40/N41/N77/N78/N79
  - LTE-FDD B1/B2/B3/B4/B5/B7/B8/B12/B13/B14/B17/B18/B19/B20/B25/B26/B28/B29/B30/B66/B71
  - LTE-TDD B34/B38/B39/B40/B41/B42/B48
  - WCDMA B1/B3/B5/B8
  - GNSS GPS, GLONASS, Beidou, Galileo i QZSS
- Szybkość transmisji danych:
  - Sub-6G 4 Gb/s (pobieranie) i 500 Mb/s (wysyłanie)
  - LTE 2 Gb/s (pobieranie) i 200 Mb/s (wysyłanie)
  - HSPA 42 Mb/s (pobieranie) i 5,76 Mb/s (wysyłanie)
- Systemy operacyjne Windows, Linux, Android
- Protokoły komunikacyjne TCP/IP/IPV4/IPV6/Multi-PDP/FTP/FTPS/HTTP/HTTPS/MQTTS/DNS/SSL3.0

Rysunek 4. Moduł do komunikacji w sieciach 5G umożliwia uzyskanie dużych transferów oraz obsługuje wiele protokołów sieciowych, jednak są to stosunkowo kosztowne komponenty

leżące poniżej 1 GHz, m.in. 700 MHz, która dziś jest wykorzystywana przez cyfrową telewizję naziemną, pozostawiono dla urządzeń mających zapewnić pokrycie obszaru oraz penetrowanie pomieszczeń. Pasma o częstotliwościach z zakresu od 24 GHz do 28 GHz oraz 39 GHz, ze względu na bardzo dużą przepustowość są używane przez lokalne hot spoty oraz aplikacje zapewniające łączność na zewnątrz i wewnątrz pomieszczeń. Interfejs radiowy sieci 5G opracowano w taki sposób, aby zapewniał maksymalną elastyczność, pozwalając na łączne użycie fal z różnych zakresów częstotliwości. Stosowane są także techniki MIMO i Massive MIMO, które pozwalają na odpowiednie kształtowanie charakterystyki promieniowania i dzięki temu pokrycia obszaru, a także skierowania wiązki radiowej w kierunku przeciwnym do użytkownika. Dzięki antenom MIMO będzie też możliwe współistnienie na tym samym obszarze technologii LTE i 5G. Ma znaczenie szczególnie na początku, gdy sieci 5G są wdrażane w oparciu na warstwie kontrolnej, pracującą na sieciach czwartej generacji. Co ciekawe, technologię 5G opracowywano z myślą

eprasa.pl 2b951cc363

o działaniu w bardzo dużym zakresie częstotliwości radiowych, tj. od 400 MHz nawet do 90 GHz. Wynika to z konieczności zapewnienia ogromnej pojemności i przepustowości sieci.

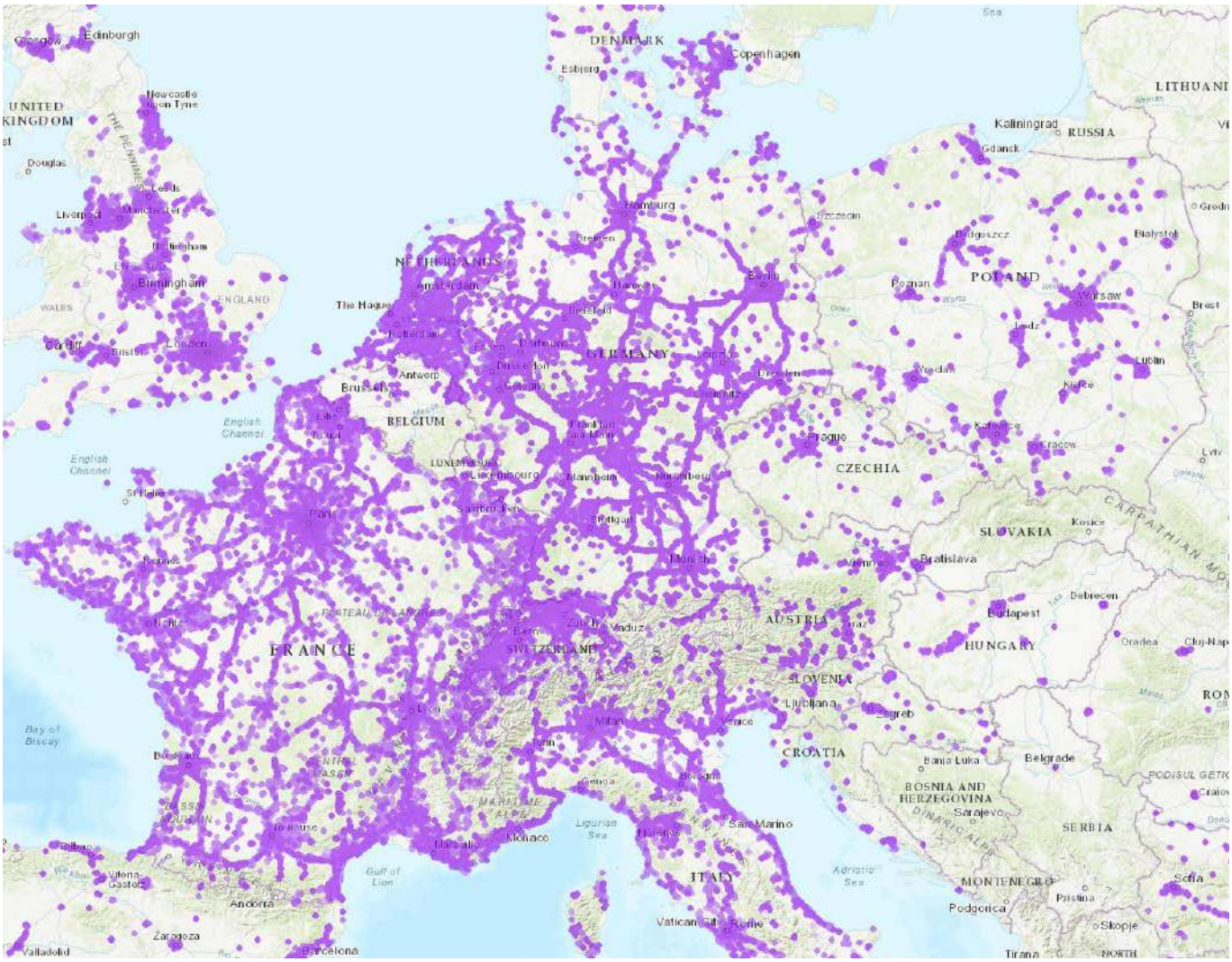


Rysunek 5. Sposób działania technologii beamforming. Dzięki zastosowaniu niewielkiego opóźnienia transmisji sygnału w kolejnych antenach matrycy zjawisko interferencji przyczynia się do powstania silnego, ukierunkowanego toru rozprzestrzeniania fali radiowej

Sieci LTE wspierają schematy modulacji QPSK, 16QAM, 64QAM i 256QAM, natomiast sieci 5G dodatkowo pracują z modulacją n/2-BPSK. Można się spodziewać, że w przyszłości do standardu 5G dojdzie jeszcze wsparcie modulacji 1024 QAM. W 5G inaczej zbudowane są też ramki transmisyjne. Przygotowano je m.in. pod kątem minimalizacji opóźnień i w celu uzyskiwania szybkiego potwierdzania. Docelowy czas latencji dla sieci 5G ma wynosić około 1 ms. By było to możliwe, niezbędne staje się stosowanie technologii MEC (*Multi-Access Edge Computing*), polegającej na przesunięciu wykonywanych obliczeń z centrum sieci do jej krawędzi, bliżej odbiorcy usług. Korzystając z MEC, zamiast przesyłać wszystkie dane do analizy do punktu centralnego, urządzenia znajdujące się na krawędzi sieci analizują, przetwarzają i zapamiętują dane. Wymagania dotyczące bardzo krótkiego czasu latencji są zwykle łączone z wymaganiami odnośnie do niezawodności w wypadku nowych aplikacji, takich jak na przykład sterowanie robotami lub pojazdami autonomicznymi.

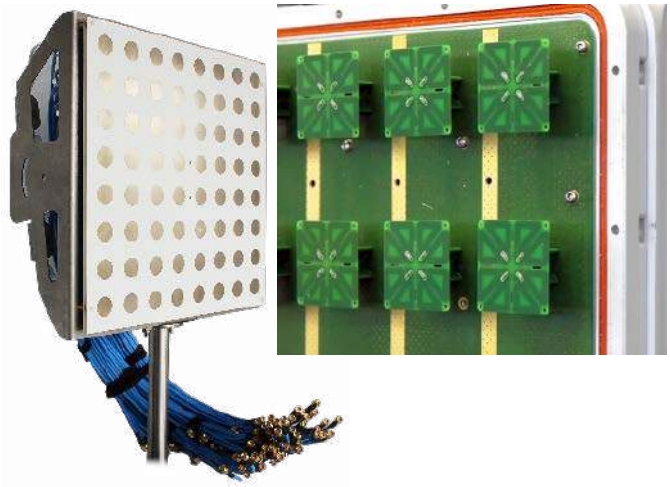
Jest wiele potencjalnych korzyści, jakie może przynieść nowy standard. Najważniejsze to:

- **Internet Rzeczy** – będący podstawą rozwiązań smart home, Przemysłu 4.0 czy koncepcji inteligentnego miasta. IoT jest jednym z najważniejszych zastosowań sieci 5G, dzięki bezproblemowej i szybkiej łączności pomiędzy wieloma urządzeniami;
- **Motoryzacja i transport** – 5G może mieć również olbrzymi wpływ na motoryzację i transport. Nowoczesne auta będą mogły wymieniać dane pomiędzy sobą oraz z obiektami infrastruktury miejskiej. Umożliwi to ostrzeganie o zagrożeniach czy informowanie o korkach itp. Nowa technologia umożliwi także rozwój pojazdów autonomicznych.



Rysunek 6. Mapa zasięgu sieci 5G w Europie. W Polsce nowa technologia jest dostępna praktycznie tylko w dużych miastach

eprasa.pl 2b951cc363



Fotografia 1. Przykładowa konstrukcja anteny wieloelementowej typu Massive MIMO. Wewnątrz znajduje się matryca małych anten

- **Rozrywka** – sieć 5G pozwoli na lepszy poziom rozrywki na co dzień. Potencjalne korzyści to transmisje na żywo czy streaming wideo z serwisów VOD w dużej rozdzielczości, a także bezproblemowa obsługa gadżetów rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej.
- **Zamiast Wi-Fi** – w nowym standardzie dostrzegana jest przyszłość w postaci budynków bez routerów czy punktów dostępu sieci bezprzewodowych. Technologia jest na tyle zaawansowana, że w wielu sytuacjach może zastępować nawet Wi-Fi. To oznacza większy komfort i oszczędność.

Podsumowanie

Chociaż dużo mówi się o 5G w miarę rozwoju sieci w różnych regionach i przez różnych dostawców, to komunikacja komórkowa 4G będzie nadal dominowała w najbliższej przyszłości. W związku z tym projektanci rozwiązań IoT muszą być pragmatyczni w wyborze standardu komunikacji. Wykracza to poza wybór modułu RF i obejmuje staranne rozważenie ekosystemu, który jest potrzebny, aby finalne rozwiązanie było praktyczne. Krytyczne elementy ekosystemu obejmują infrastrukturę komórkową, a nawet plany taryfowe i systemy rozliczeniowe potrzebne do zapewnienia pełnego zasięgu sieci komórkowej na potrzeby korzystania z Internetu Rzeczy. Mimo dużego postępu standardy sieci i sprzętu 5G nie są jeszcze w pełni sfinalizowane. A gdy już do tego dojdzie, zbudowanie i wdrożenie znormalizowanych sieci 5G zajmie kilka lat. Tymczasem sieci 4G LTE działają od dawna i są w stanie zapewnić wydajność i zasięg wymagany przez większość aplikacji IoT. Szacuje się, że sieci 4G LTE stanowią około 40% obecnego światowego rynku komórkowego, podczas gdy starsze sieci 2G i 3G stanowią po około 30% rynku. Przewidywania odnośnie do 5G są takie, że do 2025 nie przekroczy 15% rynku. Mając to na uwadze, projektanci systemów IoT powinni wykorzystać istniejącą infrastrukturę komórkową i dostosować się do 4G LTE i wcześniejszych standardów. Są one nie tylko obecne, ale nawet ewoluują, aby sprostać potrzebom IoT.

Dostępne dzisiaj moduły komunikacyjne do sieci komórkowych pozwalają na wykorzystanie niemal wszystkich dobrodziejstw, jakie niesie ze sobą rozwój nowoczesnych sieci telefonii komórkowej. I choć wspierają połączenia głosowe, to obecnie funkcja ta jest relatywnie najrzadziej używana w urządzeniach spoza segmentu telefonów komórkowych. Do celów transmisji danych sterujących, pomiarowych czy kontrolnych znacznie bardziej przydatna jest możliwość wysyłania i odbierania wiadomości SMS oraz nawiązywania połączeń internetowych. W tym ostatnim przypadku do wyboru są praktycznie wszystkie najważniejsze protokoły i tryby pracy – w tym wysyłanie zapytań HTTP, niskopoziomowe połączenia TCP i UDP, a także obsługa transferu plików do/z serwerów FTP. Co ciekawe, większość modułów jest obsługiwana poprzez komendy AT, czyli prosty w implementacji protokół tekstowy.

Damian Sosnowski, EP

REKLAMA

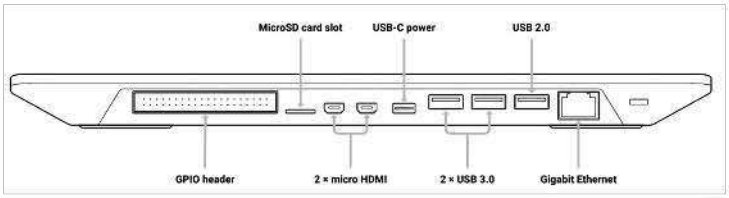
Raspberry Pi 400

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

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

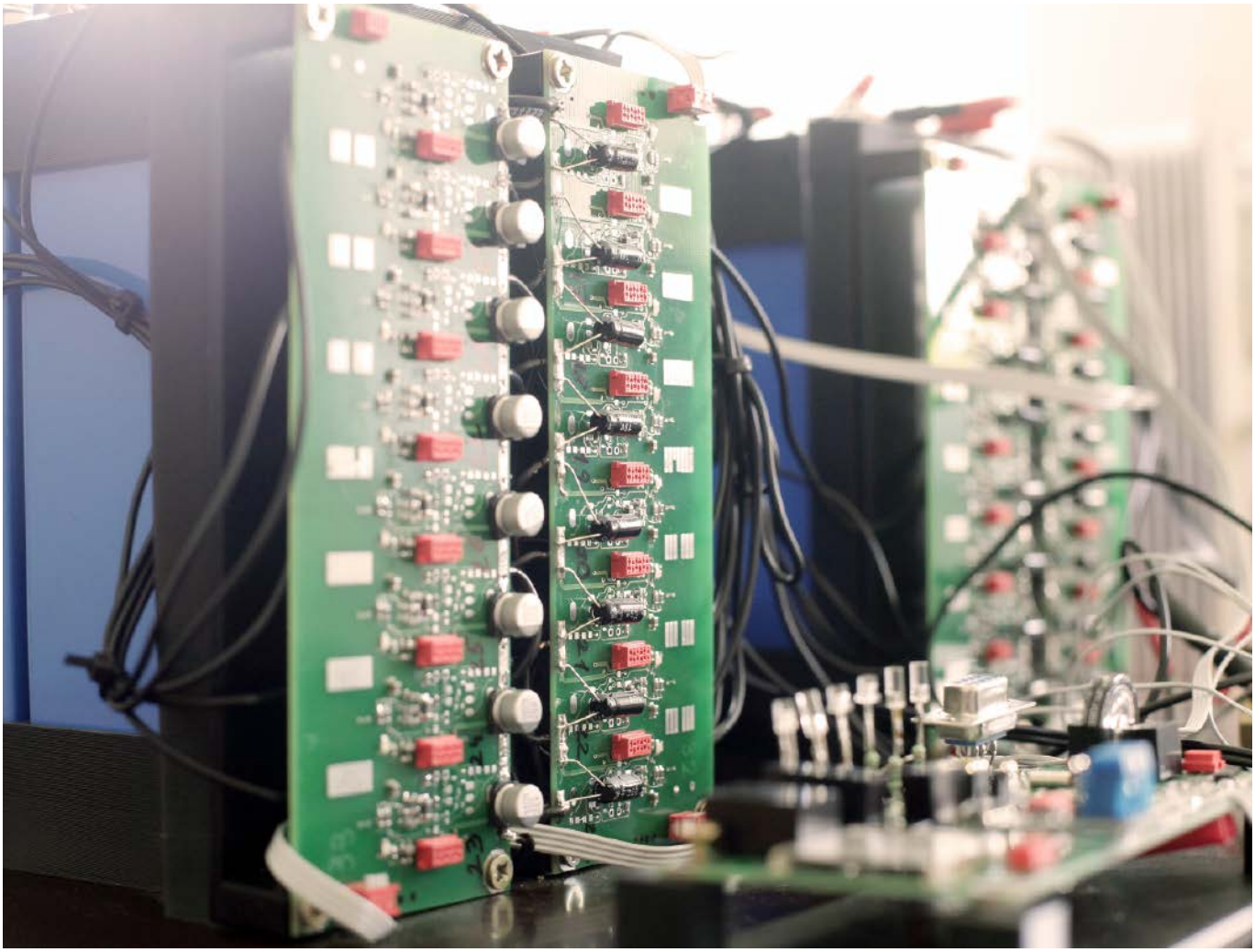
RASP0015
530zł

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



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

eprasa.pl 2b951cc363



BDMS – modułowy system BMS

Układy BMS (Battery Management System) stosowane są w akumulatorach litowo-jonowych przede wszystkim w celu zabezpieczania ogniw przed przeładowaniem oraz głębokim rozładowaniem, a także w celu automatycznego nadzorowania procesów ładowania i rozładowywania akumulatorów. W poniższym artykule opisana została rozwojowa wersja układu BMS opracowywana przez firmę Intellectronic Solutions Sp. z o.o. Wersja ta nazwana została modułowym systemem zarządzania magazynami energii i jest określana angielskim skrótem BDMS – Brick Dynamic Management System.

Więcej informacji:
Intellectronic Solutions sp. z. o.o.
37-124 Kraczkowa, Kraczkowa 1647
tel. +48 695 904 655
info@intellectronic.eu, www.intellectronic.eu

W dzisiejszych czasach coraz częściej spotykamy się ze stosowaniem akumulatorów litowo-jonowych. W mniejszych urządzeniach często używane są ogniwa NMC (*Nickiel-Manganese-Cobalt)*, w większych urządzeniach coraz częściej znajdują zastosowanie akumulatory bazujace na ogniwach $LiFePO_4$ – tzw. ogniwa litowo-żelazowo-fosforanowe. Samochody elektryczne, wózki widłowe, przyczepy kempingowe, campery, jachty, wózki inwalidzkie, magazyny energii przy instalacjach OZE – coraz częściej wyposażone są w akumulatory litowo-żelazowo-fosforanowe od dostawców takich jak np. firma Kon-TEC będąca jednym z liderów segmentu akumulatorów $LiFePO_4$ na krajowym rynku.

Wszystkie akumulatory litowo-jonowe są wyposażone w układ BMS, który je zabezpiecza i kontroluje proces ładowania i rozładowywania. Oprócz funkcji zabezpieczających układ BMS zapewnia równomierny stopień naładowania poszczególnych ogniw, co prowadzi do zbalansowania całego akumulatora. W momencie użytkowania

eprasa.pl 2b951cc363

Fotografia 1. Układ BDMS zamontowany do akumulatora

magazynu energii oraz jego rozładowywania BMS zapewnia równomierne rozładowanie, a także zabezpiecza akumulator przed głębokim rozładowaniem (co prowadziłoby do drastycznego skrócenia czasu życia akumulatora litowo-jonowego). Wszystkie te funkcje powodują wydłużenie czasu życia akumulatora litowo-jonowego oraz efektywniejsze wykorzystanie jej całkowitej pojemności. Układ BMS najczęściej jest wykonany w formie płytki PCB z zamieszczonymi na niej elementami elektronicznymi. Układ taki jest umieszczany wewnątrz baterii litowo-jonowej, najczęściej w pozycji nad ogniwami oraz jest połączony okablowaniem z każdym ogniwem wewnątrz akumulatora.

Modułowy układ BDMS, który niedługo wejdzie do oferty firmy Intellectronic Solutions Sp. z o.o., odróżnia się od układów standardowych takimi cechami jak modułowość, uniwersalność oraz skalowalność. Modułowość systemu BDMS polega na tym, że w jego skład wchodzą trzy podstawowe moduły: Master, Slave oraz Gateway.

- **Moduł Master** jest jednostką zarządzającą całym magazynem energii. Ma on układ pomiaru wartości prądu płynącego główną szyną zasilającą, układ pomiaru napięcia akumulatora, interfejs komunikacyjny Modbus RTU do celów konfiguracji i diagnostyki oraz konfigurowalne wyjścia typu open-collector, umożliwiające sterowanie zewnętrznymi urządzeniami współpracującymi z magazynem energii. Komunikacja z pozostałymi modułami jest zrealizowana za pomocą optycznie separowanej magistrali komunikacyjnej.
- **Moduł Slave** jest modułem zarządzającym pojedynczym ogniwem. Podlega kontroli ze strony modułu Master, jednocześnie samodzielnie pełni funkcje zabezpieczające ogniwo przed awariami. Moduł Slave wyposażony jest w układ pomiaru napięcia i temperatury ogniwa oraz układ balansowania aktywnego.
- **Moduł Gateway** pełni funkcję pośrednika pomiędzy magazynem energii a światem zewnętrznym, przekazując szereg danych diagnostycznych oraz funkcjonalnych do systemu nadrzędnego (systemy zarządzania flotą/sterujące/monitorujące/SCADA). W zależności od potrzeby użytkownika moduł Gateway udostępnia interfejsy komunikacyjne np. Modbus RTU (RS232/485), CAN, itd.

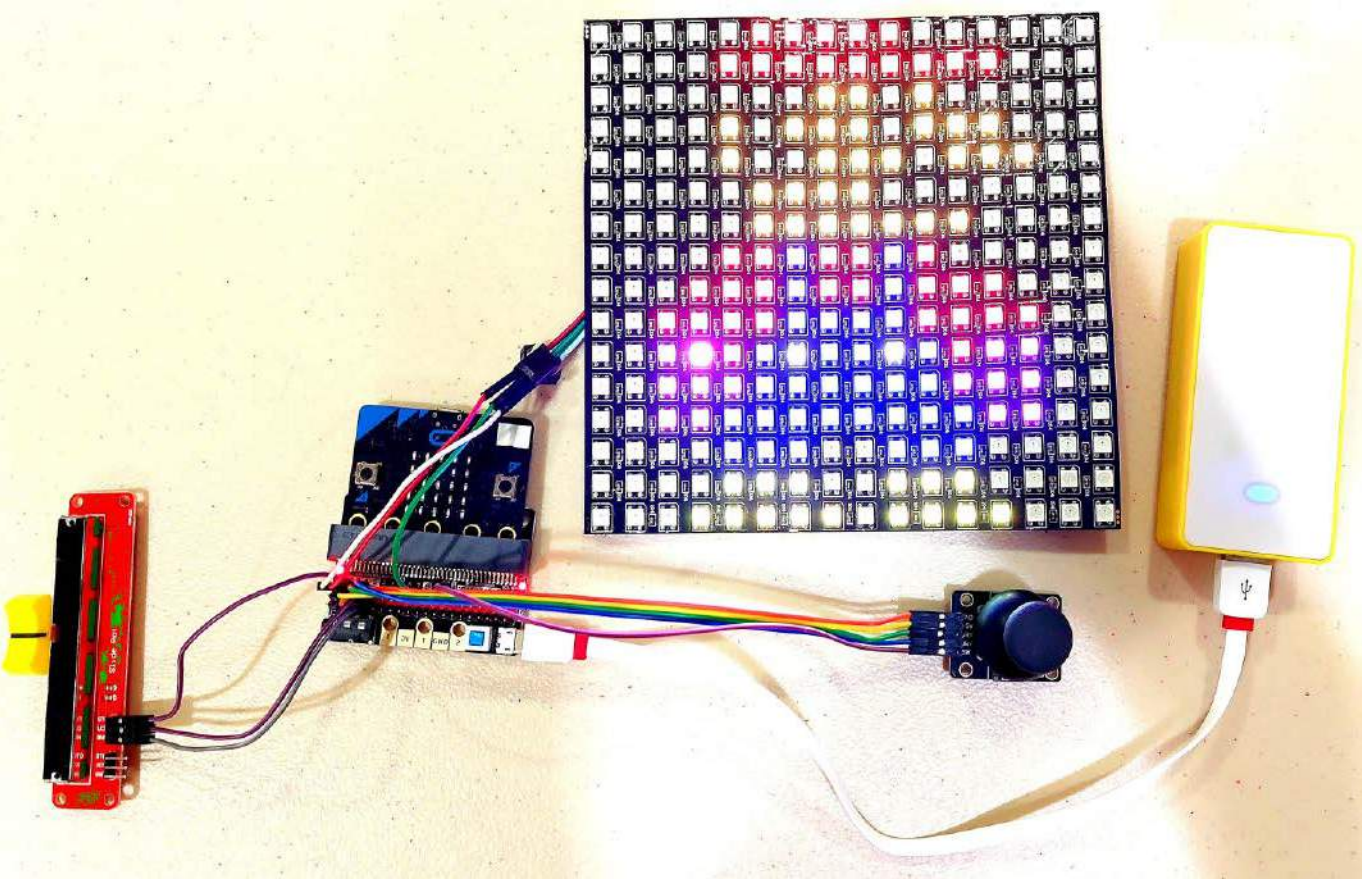
Dzięki układowi BDMS użytkownik może zbudować magazyn energii odpowiadający jego potrzebom. Do poszczególnych zastosowań można dobrać odpowiednie wersje wymiennych układów pomiarowych (różne zakresy prądów oraz napięć) i modułów komunikacyjnych Gateway (różne interfejsy komunikacyjne). Można również dobrać właściwą liczbę modułów Slave, zależną od docelowych parametrów (prąd obciążenia/napięcie znamionowe) akumulatora. Co ważne – tak zaprojektowany system może być również skalowany w przyszłości.

Zastosowanie modułowego układu BDMS obniża koszt projektowania układów z akumulatorami litowo-jonowmi, jak również samych akumulatorów. Układ ten jest przeznaczony dla producentów akumulatorów litowo-jonowych, projektantów systemów magazynowania energii oraz urządzeń czy pojazdów wykorzystujących akumulatory, takich jak samochody elektryczne, zabudowy specjalistyczne, elektryczne wózki widłowe, wózki inwalidzkie, campery, łodzie czy jachty.

Co bardzo istotne – do oferowanego przez Intellectronic Solutions Sp. z o.o. układu BDMS można dobrać zarówno moduły Slave aktywne, jak też pasywne. W przypadku systemu balansowania pasywnego, jeżeli układ stwierdzi maksymalne naładowanie jednego z ogniw, to rozprasza w postaci ciepła ewentualny ładunek nadmiarowy, który miałby trafić do takiego ogniwa. W przypadku systemu balansowania aktywnego, układ „przenosi" nadmiarowy ładunek na wspólną szynę, co pozwala na transportowanie ładunku z ogniw naładowanych bardziej do tych naładowanych mniej oraz szybszy proces balansowania ogniwa. Opcja możliwości doboru typu balansowania jest bardzo istotna z punktu widzenia potencjalnego użytkownika. W zależności od rzeczywistych potrzeb producent może wybrać tańsze moduły Slave wyposażone jedynie w funkcję balansowania pasywnego. W przypadku bardziej zaawansowanych realizacji może się jednak zdecydować na nieco droższe moduły Slave wyposażone w możliwość balansowania aktywnego.

Intellectronic Solutions

eprasa.pl 2b951cc363



LED-owy wyświetlacz macierzowy

We wrześniowym wydaniu „Elektroniki Praktycznej" (EP 9/21) prezentowaliśmy elektroniczny znikopis, zbudowany na bazie modułu Arduino. Projekt ten był inspiracją do opracowania zaprezentowanego teraz urządzenia – kolejnego znikopisu, ale tym razem sterowanego za pomocą modułu micro:bit.

We wstępie do opisu swojego urządzenia na portalu Instructables autor zaznacza, co było źródłem jego inspiracji. „Podoba mi się ten pomysł, że zastosowanie matrycy RGB LED, jako urządzenia wyświetlającego, pozwala nam szkicować obrazy w jasnych kolorach. Zamiast używać płytki Arduino, zdecydowałem się na użycie micro:bit jako kontrolera i Microsoft Makecode jako platformy programistycznej" – sumuje podstawowe założenia swojego projektu.

Moduł micro:bit to uniwersalna płytka z mikrokontrolerem, która jest wyposażona w 19 pinów GPIO, w tym piny analogowe i cyfrowe oraz interfejsy takie jak SPI i I²C. Geneza powstania tego modułu jest bardzo ciekawa i warto o niej wspomnieć. Płytka ta powstała w Wielkiej Brytanii z inicjatywy stacji radiowej BBC. Została ona stworzona z myślą o edukacji, co nie znaczy, że nadaje się tylko do takich zastosowań. W dalszej części artykułu zobaczymy, jak szerokie możliwości ma ta płytka.

W zaprezentowanej konstrukcji do micro:bit podłączono macierz diod LED RGB (w postaci modułów WS2812B), joystick i potencjometr. Moduł micro:bit odczytuje sygnał z joysticka i steruje ruchami kursora (góra, dół, lewo i prawo). Możliwe jest nawigowanie kursorem do dowolnych punktów na panelu LED RGB o wymiarach 16×16. Płytka micro:bit może również odczytywać wartość analogową z potencjometru, aby określić, jaki ma być kolor kursora. W tym programie dostępnych jest 9 predefiniowanych kolorów (czerwony, pomarańczowy, żółty, zielony, niebieski, indygo, fioletowy, fioletowy i biały).

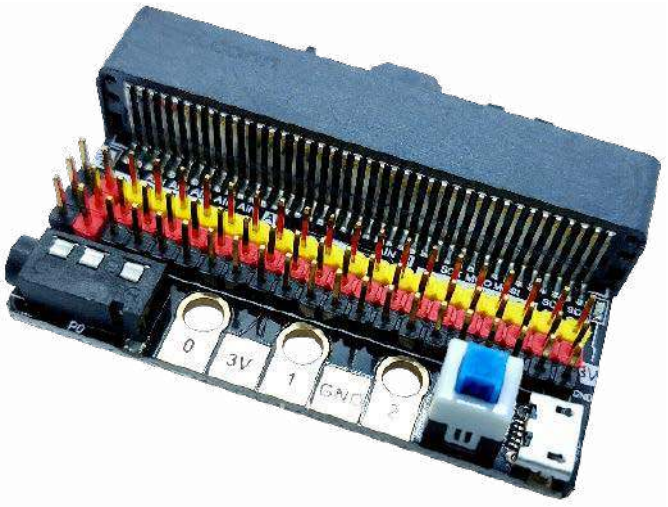
Aby narysować kropkę z wybranym kolorem, wystarczy nacisnąć przycisk joysticka. Aby skasować kropkę (co spowoduje wyłączanie danej diody LED), należy nacisnąć przycisk A na samym module micro:bit. Projekt ten dodaje też funkcję ukrywania kursora, gdy system jest bezczynny dłużej niż 10 sekund. Kursor pojawi się, gdy użytkownik przesunie kursor lub zmieni jego kolor. „Projekt ten zapewni dobre wyzwanie dla początkujących lub mniej doświadczonych użytkowników; co więcej, pomoże Ci odkryć potencjał programowania micro:bit i blokowego w bardziej złożonych projektach" – zachęca do powielania konstrukcji autor.

Potrzebne elementy

Do zestawienia systemu potrzebne będą następujące komponenty:

- moduł micro:bit w wersji 1.x lub 2.x,
- płytka rozszerzeń IObit dla micro:bit,

eprasa.pl 2b951cc363

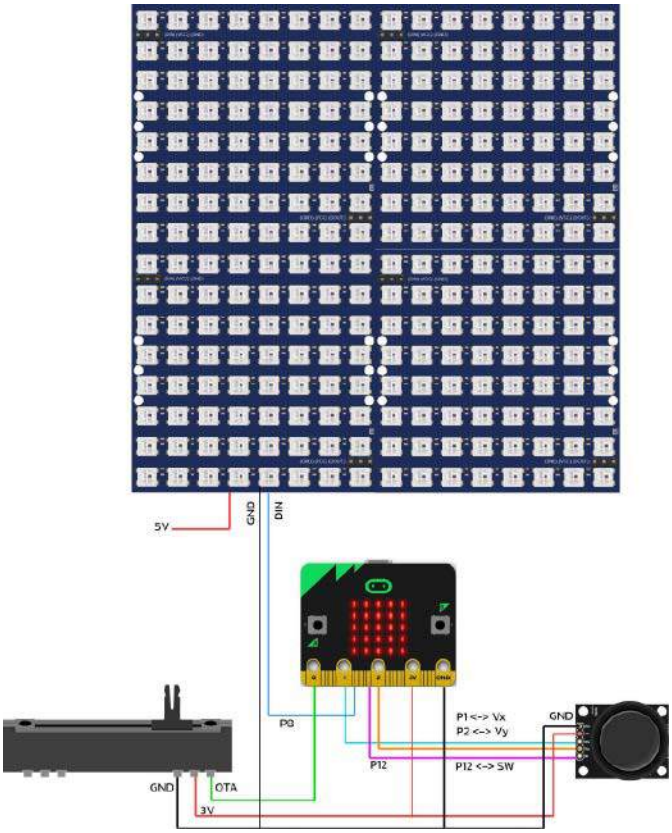


Fotografia 1. Moduł rozszerzeń IObit

- moduł joysticka (np. do modułów Arduino),
- potencjometr 10 kΩ,
- macierz 16×16 z diodami WS2812B,
- kable połączeniowe: żeński-żeński, 20 cm, osiem sztuk; żeński-męski, 20 cm osiem sztuk,
- kabel USB oraz ładowarka lub powerbank USB do zasilenia systemu.

Połączenia elektryczne

Chociaż micro:bit ma 3 duże piny wyjściowe (P0, P1 i P2), które można podłączyć do innych urządzeń za pomocą np. zacisku krokodylkowego, to w tym projekcie potrzebne jest więcej niż 3 piny. Dlatego autor zastosował kartę rozszerzeń dla micro:bit, aby zapewnić dostęp do wszystkich pozostałych pinów. Na rynku dostępne są różne opcje kart rozszerzeń, warunki, jakie muszą być spełnione dla tego projektu, obejmują:



Rysunek 1. Schemat połączenia elementów projektu

- zapewnienie zasilania 5 V dla macierzy LED RGB,
- możliwość zasilania przez kabel USB,
- wbudowany wyłącznik,
- dostęp do wszystkich pinów na micro:bit, włącznie z wyjściami 3 V i GND (sygnał SVG lub VCC-GND),
- niski koszt,
- niewielki rozmiar.

Ze wszystkich płytek rozszerzających, które spełniają wymienione kryteria, autor wybrał płytkę IObit (**fotografia 1**) ze względu na jej niewielkie wymiary oraz niski koszt – około 6,5 dolara (w Polsce dostępna za około 32 zł). Na **rysunku 1** pokazano diagram połączeń poszczególnych elementów systemu. W dalszej części tekstu przyjrzymy się bliżej poszczególnym modułom.

Płytka rozszerzeń

Płytka IObit ma dwie grupy pinów wyjściowych:

- trzy czerwone piny po lewej stronie dostarczają napięcia 5 V, jakie jest potrzebne do zasilania macierzy RGB LED. Czarne piny to masa;
- trzy rzędy pinów (żółte, czerwone i czarne) – żółte dołączone są do GPIO modułu micro:bit, a czerwone i czarne to, odpowiednio, zasilanie 3,3 V oraz masa.

By zasilać moduł micro:bit poprzez płytkę rozszerzeń, wystarczy dołączyć do niej kabel USB z źródłem zasilania (ładowarką lub powerbankiem) i nacisnąć przycisk zasilania na płytce.

Macierz LED

Z tyłu panelu LED znajdują się 3 grupy złączy. Przewody po prawej stronie mają wejście DIN do podłączenia do pinu 8 modułu micro:bit. Należy również doprowadzić zasilanie – 5 V i GND, do karty rozszerzeń IObit. Aby je połączyć, należy użyć przewodów połączeniowych żeński-męskich.

Diody WS2812 i inne podobne moduły RGB integrują w sobie trzy diody elektroluminescencyjne (czerwoną, zieloną i niebieską) oraz moduł sterujący – generator trzech przebiegów PWM, sprzęgnięty z rejestrem przesuwnym, podłączonym do pojedynczego wejścia cyfrowego. Wyjście przepełnienia rejestru podłączone jest do wyjścia diody. Co daje taka konstrukcja? Pozwala na szeregowe łączenie ze sobą modułów RGB i sterowanie nimi za pomocą tylko jednego wyjścia cyfrowego z mikrokontrolera. Dzięki temu jednym pinem układu wysterować można bardzo dużą liczbę diod RGB w systemie. Zasada działania jest bardzo prosta – mikrokontroler wystawia na pinie sterującym dane szeregowo, a moduł RGB je odbiera. Pojedyncza dioda wymaga 24 bitów (3×8 bitów, po 8 na każdy kolor), a „nadmiar" bitów rejestr przesuwa dalej, do kolejnych diod poprzez wyjście Data Out. W macierzy LED wszystkie 256 diody są połączone szeregowo.

Potencjometr

Pin OTA to wyjście z potencjometru. Został podłączony w sposób taki, jak pokazano na schemacie – działa jak dzielnik napięcia. Skrajne piny podłączone są do zasilania i masy (3 V i GND), a środkowy podaje napięcie proporcjonalne do pozycji suwaka. Wyjście z dzielnika napięcia (potencjometru) należy podłączyć do wejścia analogowego w micro:bit, aby umożliwić układowi odczyt pozycji. W przypadku omawianego modułu jest to pin 0. Oczywiście trzeba pamiętać o podłączeniu linii masy i zasilania, aby dzielnik mógł poprawnie działać

Joystick

Joystick składa się z trzech głównych elementów:

- dwóch potencjometrów, które wykorzystywane są do wykrywania/pomiaru wychylenia w osiach X oraz Y. Są one, analogicznie jak potencjometr powyżej, podłączone jako dzielniki napięcia, dzięki czemu potencjometr podaje dwa sygnały analogowe – VX oraz VY, proporcjonalne do położenia joysticka w obu osiach;
- pojedynczego przycisku, który zwiera związane z nim wyjście (SW) do masy, gdy naciśnie się joystick centralnie.

eprasa.pl 2b951cc363

Do podłączenia tego modułu do micro:bit potrzebne jest pięć przewodów żeński-żeński, którymi podłączamy do płytki rozszerzeń micro:bit sygnały w następujący sposób:

- sygnały pozycji VX i VY do wejść analogowych – pinów 1 oraz 2,
- SW do wejścia cyfrowego – pinu 12,
- zasilanie joysticka podłączamy do wyjścia 3 V z płytki rozszerzeń. Nie należy podłączać go do 5 V – można w ten sposób uszkodzić mikrokontroler,
- GND do masy systemu na płytce.

Dodatkowe uwagi

Pin zasilający 5 V na module rozszerzeń micro:bit zostanie użyty do zasilenia diod macierzy RGB LED – wymagają one takiego napięcia do działania. Do pinu zasilana na joysticku i innych elementach nie podłączamy napięcia 5 V, pomimo że na module może widnieć taki napis – dzielnik napięcia podłączony pomiędzy 5 V a masę może dać na wyjściu nawet do 5 V, co znacznie przekracza maksymalne dopuszczalne napięcie wejściowe ADC w micro:bit, które równe jest 3,6 V.

Oprogramowanie

Aby stworzyć pokazany na **rysunku 2** program, należy odwiedzić witrynę Microsoft Makecode dla micro:bit (https://makecode.microbit.org/). Jest to sieciowe środowisko programistyczne, które zawiera graficzny język programowania, przeznaczony do nauki algorytmów. Może on być uruchamiany na wielu platformach sprzętowych, a jedną z nich jest moduł micro:bit. Po wejściu na stronę należy kliknąć w przycisk nowego projektu „New Project". Zostaniemy poproszeni o podanie nazwy projektu. Po wprowadzeniu nazwy, pod jaką zapisywany jest projekt, można przejść do tworzenia samej aplikacji.

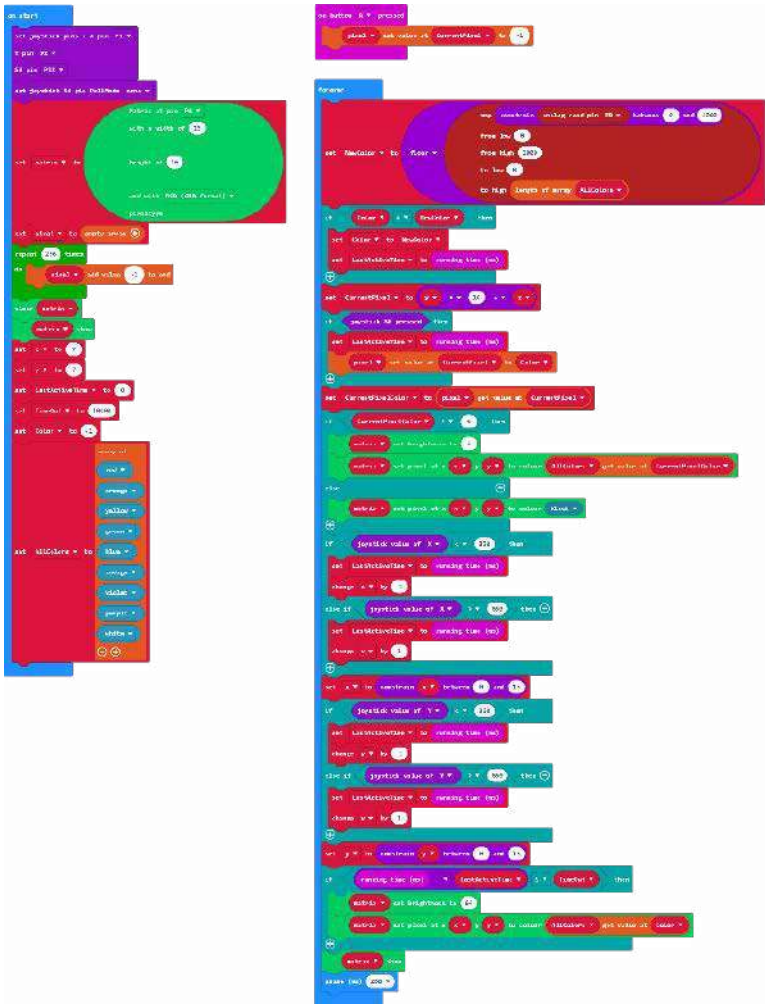
Pierwszą rzeczą, którą trzeba zrobić, jest zainstalowanie rozszerzenia dla modułów joysticka i macierzy RGB LED. Najpierw klikamy w przycisk zaawansowanych ustawień – Advanced, aby wyświetlić więcej poleceń, a następnie klikamy w menu rozszerzeń – Extension. W oknie, które wtedy się pojawi, należy wprowadzić adres URL rozszerzeń. Są one zlokalizowane w repozytoriach na GitHubie, w związku z tym wprowadzamy każdy z podanych powyżej adresów i zatwierdzamy, a następnie powtarzamy czynność, aż do zainstalowania wszystkich wymaganych modułów:

- https://github.com/liouj/pxt-joystick – dla joysticka
- https://github.com/Shorts1999/pxt-smartmatrix – dla macierzy RGB LED

Teraz rozszerzenia są zainstalowane i można korzystać z oferowanych przez nie poleceń.

Program został utworzony w graficznym języku programowania w środowisku Makecode. Graficzny oznacza, że zamiast klasycznego tekstowego zapisu programu, jest on reprezentowany w postaci graficznej. Przykładem graficznego zapisu programu jest znany szeroko schemat blokowy. Makecode reprezentuje hybrydowe podejście – sekwencyjnie ułożone bloki reprezentują różne struktury, ale w ich wnętrzu w dużej mierze znajduje się tekst, który może być zrozumiały dla każdego, kto umie programować w dowolnym języku wysokiego poziomu.

Jak widać na rysunku 2, kod podzielony jest na trzy niezależne części. Po lewej stronie znajduje się blok opisany jako *on start*, natomiast po prawej stronie większy z bloków to *forever*. To konstrukcja znana każdemu użytkownikowi środowiska Arduino, gdzie domyślnie IDE generuje dwa podobne bloki kodu – funkcje *setup()* oraz *loop()*. W obu przypadkach jedna z nich (*on start*/*setup*) wykonywana jest jednokrotnie, po uruchomieniu się mikrokontrolera, a druga pracuje w nieskończonej pętli. Trzeci, mniejszy blok, jaki widoczny jest w tym programie, to przerwanie – funkcja ta uruchomi się, gdy spełniony zostanie zapisany tam warunek – naciśnięty zostanie przycisk A.



Rysunek 2. Graficzny kod programu sterującego znikopisem

Funkcja *on start* zawiera w sobie wszystkie konieczne konfiguracje mikrokontrolera. Po uruchomieniu inicjalizuje ona funkcję do obsługi joysticka, definiując piny, gdzie dołączono linie X, Y oraz SW, a następnie inicjalizuje macierz LED. Funkcji podać należy pin wejściowy, wielkość macierzy oraz format zapisu koloru (RGB). Następnie definiowana jest macierz pixel dla pikseli wyświetlacza – inicjalizowana jest ona wartościami –1 w każdej komórce 256 razy, a następnie jest czyszczona (to po to, aby zdefiniować jej wielkość).

Następnie ustawiana jest pozycja kursora oraz definiowany jest wektor kolorów do wyboru. Po zakończeniu działania tej funkcji program przechodzi do nieskończonej pętli.

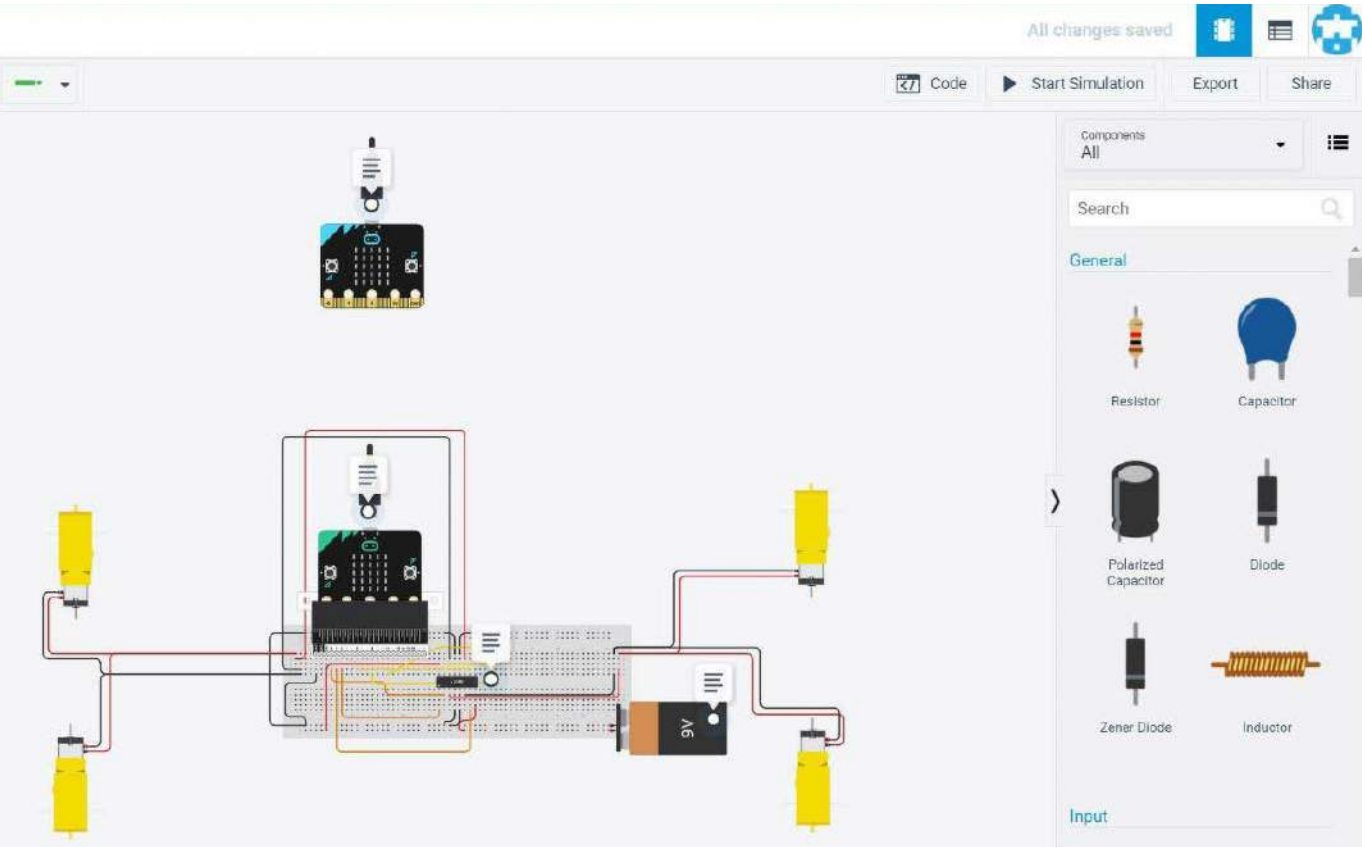
Funkcja *forever* jest nieskończoną pętlą – po dojściu do końca rozpoczyna się ona ponownie. W funkcji tej program monitoruje wartości pochodzące z przetwornika analogowo-cyfrowego, który monitoruje napięcia z joysticka. Jeśli kod zwrócony przez ADC jest poniżej 330 lub powyżej 660 (ADC jest 10-bitowy, co oznacza, że zakres od 0 V do 3 V pokrywają 1024 kody), to, odpowiednio, pozycja w danej osi jest dekrementowana lub inkrementowana o jeden. Dodatkowo, jeśli przycisk SW zostanie wciśnięty, to system ustawia piksel w odpowiednim kolorze, zgodnie z wybranymi ustawieniami.

Naciśnięcie przycisku A powoduje skasowanie obecnego piksela, w jego pozycji w macierzy ustawiana jest wartość –1, co oznacza, że jest on zupełnie zgaszony. Wartość ta zostanie przesłana z macierzy pixel do wyświetlacza matrycowego RGB LED przy najbliższej iteracji pętli forever – detekcja naciśnięcia przycisku A jest asynchroniczna – funkcja, która obsługuje kasowanie pikseli, uruchamiana jest natychmiastowo po wykryciu przyciśnięcia A.

Nikodem Czechowski, EP

Strona źródłowa projektu: https://bit.ly/3lXE4XE

eprasa.pl 2b951cc363



Kontrolowany gestami samochodzik z modułem micro:bit

Interfejsy kontrolujące pojazdy mogą być różne – klasycznym interfejsem do sterowania samochodem jest kierownica i pedały, natomiast w systemach zdalnego sterowania dla pojazdów bezzałogowych regularnie stosowane są dźwignie. Zaprezentowany projekt pokazuje unikalne podejście – kontrolowanie prostego zdalnie sterowanego pojazdu odbywa się za pomocą sterowania gestami.

Sterowanie gestami ma wiele zalet w szerokim zakresie aplikacji. W przypadku systemów sterowania gesty mogą być bardzo intuicyjne, co pozwala przyspieszyć naukę sterowania. Dodatkową zaletą tego rodzaju sterowania jest fakt, że pozwala zwolnić ręce kierującego. Nie musi on trzymać dłoni na kontrolerze, co pozwala mu na szybsze reagowanie na bodźce z otoczenia lub po prostu robienie czegoś innego w tym samym czasie. Nawet jeśli jest to zabawka, to demonstruje ciekawą koncepcję sterowania.

Zaprezentowany system do zdalnego sterowania pojazdu kołowego został zbudowany na bazie dwóch modułów micro:bit. Jeden jest odpowiedzialny za kontrolę silników w pojeździe, a drugi jest kontrolerem zdalnego sterowania, który odczytuje gesty użytkownika. Konstrukcja została opracowana, jak pisze autor – Anas Osama z Egiptu, na konkurs na portalu Instructables.com. Celem konkursu jest popularyzacja projektów zawierających moduł BBC micro:bit, dlatego moduł ten pełni zasadniczą funkcję w projekcie. Dodatkowo, jak pisze sam autor, jest to ciekawa odskocznia od Arduino, które wiele razy stosował w swoich projektach.

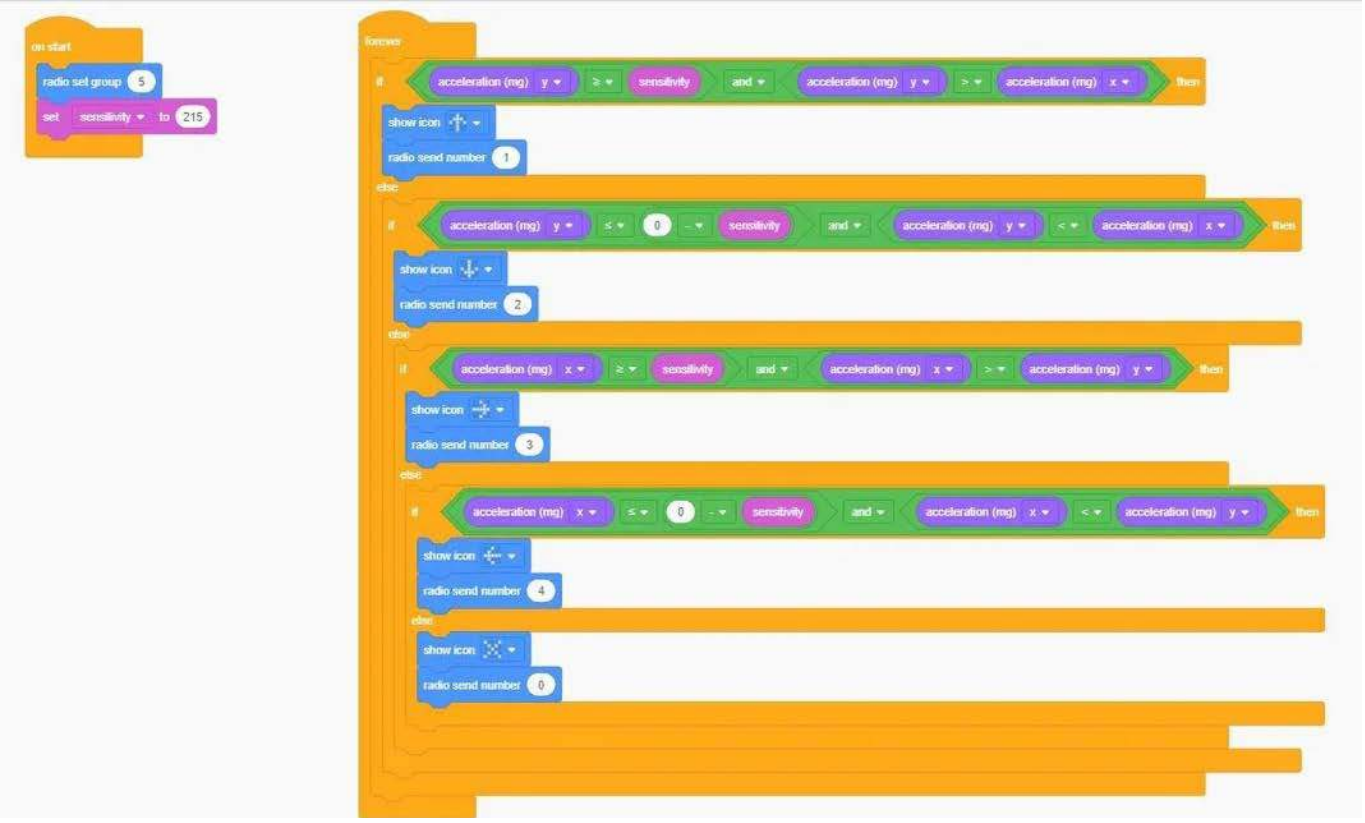
Potrzebne elementy

Do budowy kontrolera odczytującego gesty potrzebny będzie jedynie sam moduł BBC micro:bit wraz z zasilaniem dla niego. Zasilanie może pochodzić np. z powerbanku poprzez złącze USB na samym module.

Do budowy samochodziku potrzebnych będzie więcej komponentów, kluczowe z nich to:

- moduł BBC micro:bit,
- płytka wyprowadzeń dla micro:bit, która umożliwia podłączenie większej liczby linii do modułu,
- mostek H z driverem mocy dla silników,
- bateria 9 V,
- silniki zintegrowane z przekładniami i kołami – taki element istotnie upraszcza mechaniczną konstrukcję systemu.

eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 1. Kod programu pilota w formie graficznej

Kontroler

Ten moduł jest odpowiedzialny za rozpoznawanie gestów. Do ich wykrywania wykorzystywany jest wbudowany akcelerometr. Kod programu zaprezentowany jest na dwa sposoby – w postaci graficznej, przygotowanej przy użyciu Microsoft MakeCode (**rysunek 1**) oraz w postaci skryptu, napisanego w Pythonie (**listing 1**). Niezależnie od sposobu zapisu program działa tak samo.

Po uruchomieniu system konfiguruje komunikację radiową do pracy w grupie piątej oraz ustawia stałą sensitivity jako 215. Stała ta definiuje poziom czułości kontrolera – jeśli nie odpowiada naszym potrzebom, możemy ją zmienić i dopasować do własnych potrzeb. Dalsza część programu składa się z jednej nieskończonej pętli, w której znajdują się instrukcje warunkowe. Za ich pomocą sprawdzane jest pochylenie modułu poprzez porównanie wartości przyspieszenia we wszystkich kierunkach. Kierunek, w którym jest największe przyspieszenie, jest kierunkiem, w którym poruszać będzie się auto (o ile rejestrowane przyspieszenie będzie większe niż czułość zdefiniowana stałą sensitivity).

Listing 1. Skrypt Pythona, obsługujący kontroler

```
sensitivity = 215 # Stała, która odpowiada za poziom czułości kontrolera.
radio.set_group(5)

# W pętli program sprawdza akcelerometr i monitoruje kierunek pochylenia kontrolera.
def on_forever():
  if input.acceleration(Dimension.Y) >= sensitivity and
  input.acceleration(Dimension.Y) > input.acceleration(Dimension.X):
    # Kontroler pochylony w przód
    basic.show_arrow(ArrowNames.North)
    radio.send_number(1) # Rusz auto do przodu
  else:
    if input.acceleration(Dimension.Y) <= 0 - sensitivity and
    input.acceleration(Dimension.Y) < input.acceleration(Dimension.X):
    # Kontroler pochylony do tyłu.
      basic.show_arrow(ArrowNames.South)
      radio.send_number(2) # Rusz auto do tyłu.
    else:
      if input.acceleration(Dimension.X) >= sensitivity and
      input.acceleration(Dimension.X) > input.acceleration(Dimension.Y):
      # Kontroler pochylony w prawo.
        basic.show_arrow(ArrowNames.East)
        radio.send_number(3) # Skręć w prawo.
      else:
        if input.acceleration(Dimension.X) <= 0 - sensitivity and
        input.acceleration(Dimension.X) < input.acceleration(Dimension.Y):
        # Kontroler pochylony w lewo.
          basic.show_arrow(ArrowNames.West)
          radio.send_number(4) # Skręć w lewo.
        else: # Brak wykrytego pochylenia.
          basic.show_icon(IconNames.No)
          radio.send_number(0) # Zatrzymaj auto.
basic.forever(on_forever)
```

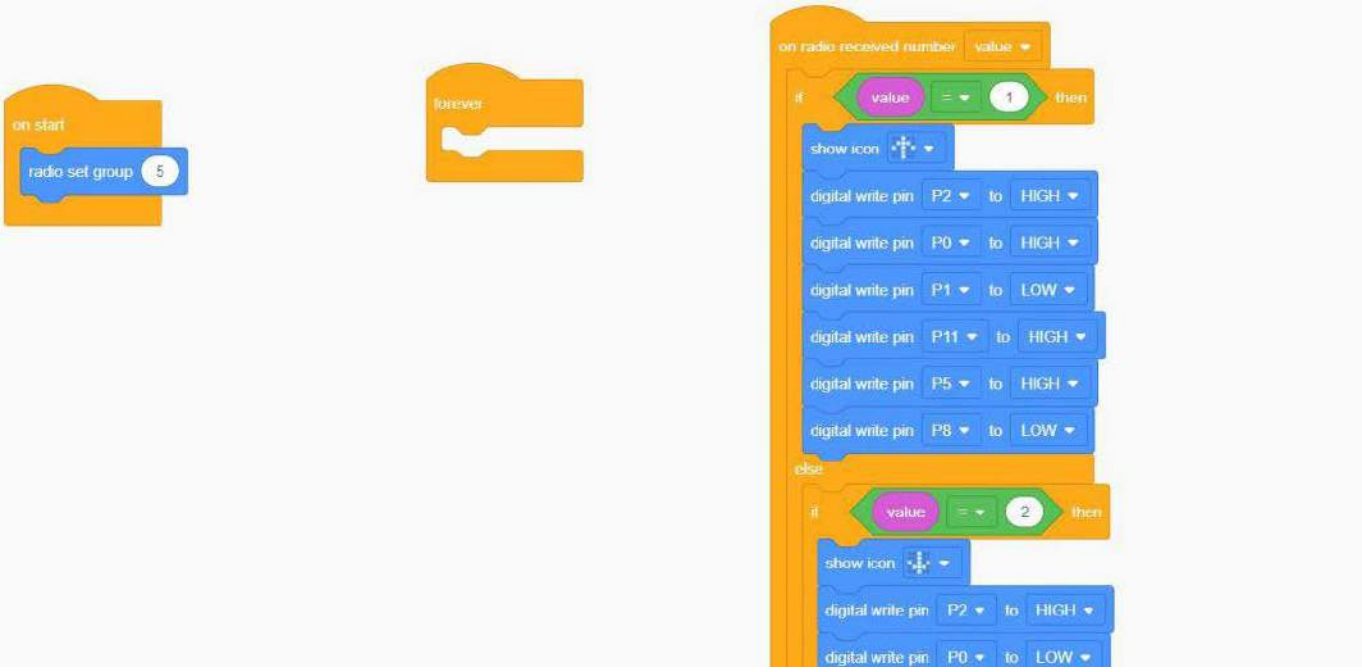
Skąd bierze się przyspieszenie, mierzone przez akcelerometr, skoro jest on nieruchomy? Rejestrowane przyspieszenie to rzut przyspieszenia ziemskiego na osie X i Y (w płaszczyźnie Ziemi) akcelerometru. Jeśli kontroler znajduje się idealnie pionowo, to przyspieszenie ziemskie oddziałuje idealnie w osi Z akcelerometru. Im bardziej jest przechylany, tym bardziej przyspieszenie ziemskie oddziałuje na oś w kierunku której przechylany jest moduł, do momentu, gdy oś X lub Y znajdzie się w miejscu, gdzie początkowo znajdowała się oś Z i mierzyć będzie pełne przyspieszenie ziemskie. Taki system pozwala na wykrywanie położenia płytki względem ziemskiego pola grawitacyjnego, a w konsekwencji względem powierzchni Ziemi. Tego rodzaju algorytm używany jest np. w smartfonach do wykrywania przekręcenia telefonu, aby obrócić ekran, gdy przekręcamy urządzenie.

Sterownik pojazdu

Drugi moduł BBC micro:bit służy do sterowania silnikami, zgodnie z odbieranymi przez połączenie radiowe komunikatami, wysyłanymi z kontrolera. Moduł ten można, podobnie jak mikrokontroler w kontrolerze, oprogramować na dwa sposoby – graficznym kodem utworzonym w MS MakeCode (**rysunek 2**) lub skryptem w Pythonie (**listing 2**).

W konfiguracyjnej części kodu – tej, która uruchamiana jest jednorazowo po uruchomieniu mikrokontrolera, konfigurowane jest połączenie radiowe ponownie na kanał 5., aby nawiązać komunikację z kontrolerem. W tym miejscu inicjalizowana jest także zmienna globalna *Value*,

eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 2. Kod programu kontrolera w formie graficznej

Listing 2. Skrypt Pythona, obsługujący sterownik pojazdu

```
 # Zmienna do przechowywania wartości odebranej przez radio
value = 0
radio.set_group(5)

# Nieskończna pętla jest pusta – nie jest potrzebna
# wszystko realizuje przerwanie radia
def on_forever():
  pass
basic.forever(on_forever)

# Funkcja przerwania, uruchamiana po
# odebraniu informacji przez radio
def on_radio_received_number(arg0):
  global Value
  Value = arg0
  # Ruch do przodu
  if Value == 1:
    basic.show_arrow(ArrowNames.North)
    pins.digital_write_pin(DigitalPin.P2, 1)
    pins.digital_write_pin(DigitalPin.P0, 1)
    pins.digital_write_pin(DigitalPin.P1, 0)
    pins.digital_write_pin(DigitalPin.P11, 1)
    pins.digital_write_pin(DigitalPin.P5, 1)
    pins.digital_write_pin(DigitalPin.P8, 0)
  else:
    # Ruch do tyłu
    if Value == 2:
      basic.show_arrow(ArrowNames.South)
      pins.digital_write_pin(DigitalPin.P2, 1)
      pins.digital_write_pin(DigitalPin.P0, 0)
      pins.digital_write_pin(DigitalPin.P1, 1)
      pins.digital_write_pin(DigitalPin.P11, 1)
      pins.digital_write_pin(DigitalPin.P5, 0)
      pins.digital_write_pin(DigitalPin.P8, 1)
    else:
      # Skręt w prawo
      if Value == 3:
        basic.show_arrow(ArrowNames.East)
        pins.digital_write_pin(DigitalPin.P2, 1)
        pins.digital_write_pin(DigitalPin.P0, 0)
        pins.digital_write_pin(DigitalPin.P1, 1)
        pins.digital_write_pin(DigitalPin.P11, 1)
        pins.digital_write_pin(DigitalPin.P5, 1)
        pins.digital_write_pin(DigitalPin.P8, 0)
      else:
    # Skręt w lewo
        if Value == 4:
          basic.show_arrow(ArrowNames.West)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P2, 1)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P0, 1)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P1, 0)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P11, 1)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P5, 0)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P8, 1)
        else:
      # Zatrzymanie pojazdu
          basic.show_icon(IconNames.No)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P2, 0)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P0, 0)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P1, 0)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P11, 0)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P5, 0)
          pins.digital_write_pin(DigitalPin.P8, 0)

    radio.on_received_number(on_radio_received_number)
```

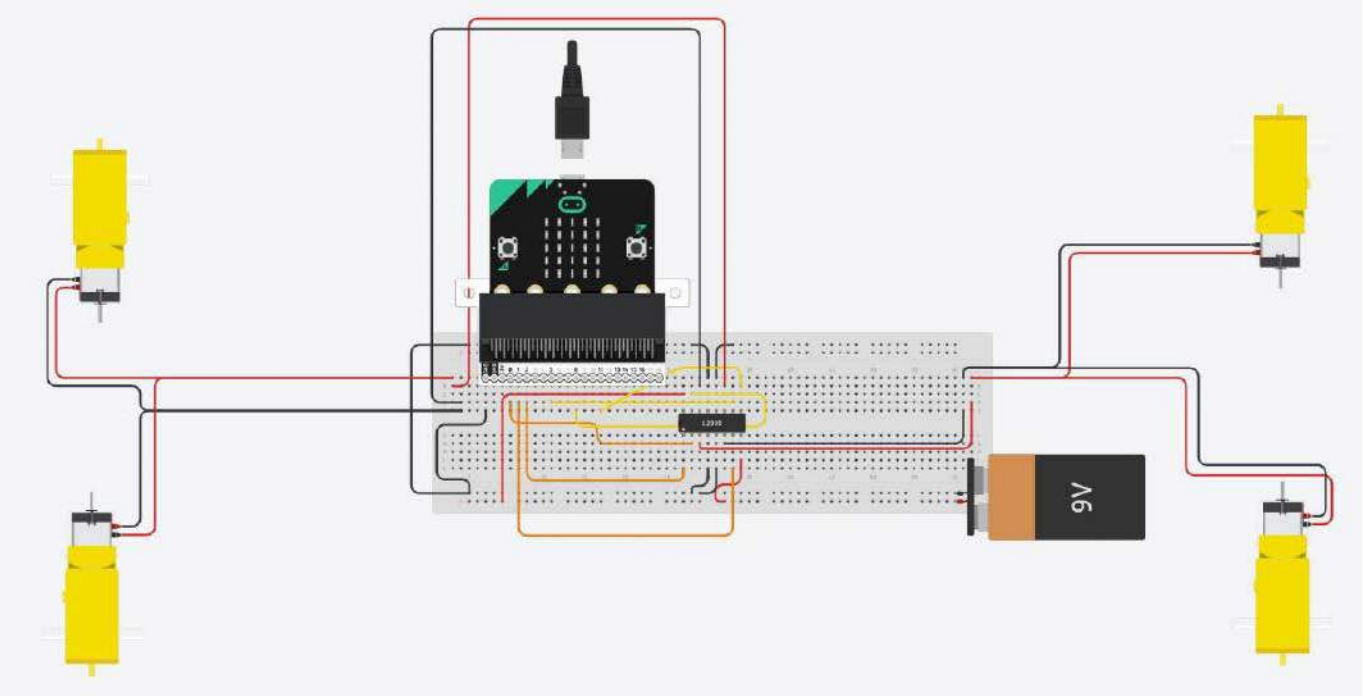
która służy do przechowywania wartości kodu odebranego przez radio. Główna, nieskończona pętla programu jest pusta, a działanie programu skupia się w przerwaniu z odbiornika radiowego, które obsługiwane jest funkcją *on_radio_received_number*, która dołączona jest do modułu radiowego poprzez metodę:

radio.on_received_number(on_radio_received_number). Funkcja obsługująca przerwanie otrzymuje pojedynczy argument – wartość kodu, przekazana przez moduł radiowy (*arg0*). Parametr ten przepisywany jest do zmiennej *Value*. Następnie w zależności od wartości zmiennej *Value* układ realizuje odpowiedni manewr: jeśli *Value* równe jest 1, pojazd jedzie do przodu; jeśli równe 2, pojazd jedzie do tyłu; jeśli 3 lub 4, samochód skręca, odpowiednio, w prawo lub w lewo. Przy otrzymaniu dowolnego innego kodu auto zatrzymuje się.

Kontrola silników krokowych jest bardzo prosta. Auto ma dwa zestawy silników, podłączone do dwóch mostków H, pozwalające na obracanie się w obu kierunkach. Silniki zasilane są z zewnętrznego źródła

REKLAMA

eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 3. Schemat połączeń w sterowniku pojazdu

zasilania, gdyż potrzebują wyższego napięcia niż moduł micro:bit. W tym celu zastosowano baterię 9 V. Silniki podłączone są tak, jak na **rysunku 3**, w tym przypadku pokazano połączenia na płytce stykowej, ale nie powinno być to problemem w zrozumieniu schematu. Płytka BBC micro:bit dołączona jest poprzez moduł rozszerzeń do płytki stykowej. Sam moduł micro:bit nie ma takiej możliwości z uwagi na nietypowe wyprowadzenia w postaci złącza krawędziowego. Do wyprowadzeń cyfrowych podłączony jest mostek H zintegrowany z kontrolerem w sposób opisany w **tabeli 1**.

REKLAMA

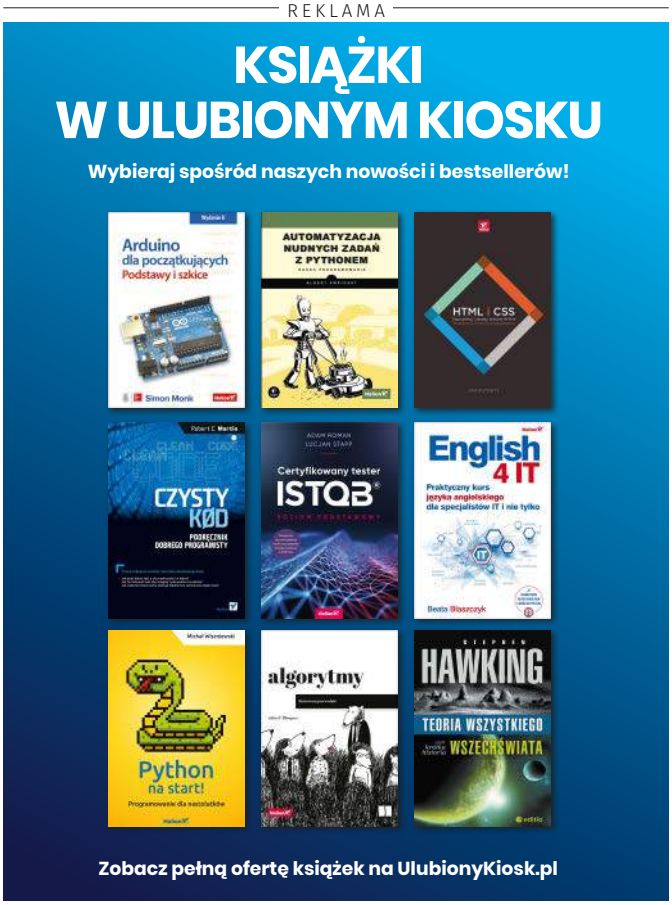


Tabela 1. Połączenia wyprowadzeń modułu micro:bit i układu z mostkami H

GPIO modułu Micro:bit	Funkcja kontrolera z mostkami H
Pin 2	Sygnał Enable prawych silników/kontrola prędkości
Pin 0	Prawe silniki do przodu
Pin 1	Prawe silniki do tyłu
Pin 11	Sygnał Enable lewych silników/kontrola prędkości
Pin 5	Lewe silniki do przodu
Pin 8	Lewe silniki do tyłu

Podsumowanie

Po załadowaniu programu do każdego z modułów (kontrolera i sterownika pojazdu) przez USB system jest gotowy do działania. Przechylanie pilota w odpowiednim kierunku spowoduje, że auto będzie podążało w danym kierunku. Trzymanie kontrolera prosto, bez pochylania go w którymś kierunku, powoduje, że auto się zatrzymuje. Jeśli sterowanie autem reaguje zbyt nagle na przechylenia pilota, konieczna może być redukcja czułości systemu poprzez zwiększenie stałej *sensitivity*. Należy dopasować ją do własnych wymagań, a następnie przekompilować i wgrać ponownie kod do pilota. Nie ma potrzeby aktualizowania oprogramowania kontrolera przy takiej zmianie.

Interfejs tego rodzaju może być implementowany w szerokiej gamie urządzeń – nie tylko zdalnie sterowanych zabawkach. Sterowanie za pomocą gestów, jak zaprezentowano powyżej, może być zaimplementowane np. w specjalnych rękawiczkach, które pozwalają na kontrolę systemu – przy jednoczesnym zachowaniu możliwości poruszania dłonią. Taki interfejs jest bardzo naturalny dla człowieka – sterowany pojazd podąża bezpośrednio za ruchami dłonią. Dodatkowo można w systemie zaimplementować np. sterowanie prędkością silników na podstawie kąta pochylenia sensora, a także zastosować szereg bardziej zaawansowanych algorytmów, redukujących wpływ szumu pomiarowego itp. na działanie układu.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła projektu:
https://bit.ly/3GgJuoQ
https://bit.ly/30XRP0r
https://bit.ly/3Ca3eYH

eprasa.pl 2b951cc363

Siłomierz na bazie Arduino

Układ pomiarowy zaprezentowany w tym artykule jest częścią projektu inżynierskiego, którego celem było opracowanie nowego, zrównoważonego materiału do druku 3D na dużą skalę. Podczas badań nad tym nowym materiałem studenci opracowali urządzenie do pomiaru siły, potrzebnej do wytłoczenia materiału za pomocą miniaturowego modelu wytłaczarki.

Siłomierz to urządzenie przeznaczone do pomiaru siły. Klasyczne rozwiązania – tzw. niutonomierze, zawierają sprężynę, którą można rozciągać (lub ściskać, zależnie od konstrukcji urządzenia), aby zmierzyć siłę. Jest to jednak w pełni mechaniczny system i ciężko jest zdigitalizować ten pomiar, aby np. zautomatyzować system pomiarowy. Dlatego też stosuje się nowoczesne siłomierze, bazujące na przetwornikach siły zwanych tensometrami. W artykule opiszemy konstrukcję prostego elektronicznego układu do pomiaru siły oraz omówimy, jakie trudności napotkano w trakcie jego uruchamiania. Dodatkowo wyjaśnimy podstawy działania tensometrów i sposoby ich zastosowania we własnych projektach.

Potrzebne elementy

Lista potrzebnych materiałów i elementów wygląda następująco:

- tworzywo PLA do drukowania 3D części mechanicznych oraz oczywiście drukarka 3D,
- sensor tensometryczny do jednoosiowego pomiaru siły o czułości (wadze maksymalnej) dobranej do aplikacji – w tym przypadku 200 kg,
- wzmacniacz dla tensometru – moduł zawierający układ HX711,
- moduł Arduino – autor zastosował Arduino UNO, jednak każdy podobny moduł z mikrokontrolerem będzie odpowiedni do tej aplikacji,
- przewody połączeniowe,
- pręt gwintowany M4 (4 mm) o długości 70 mm.

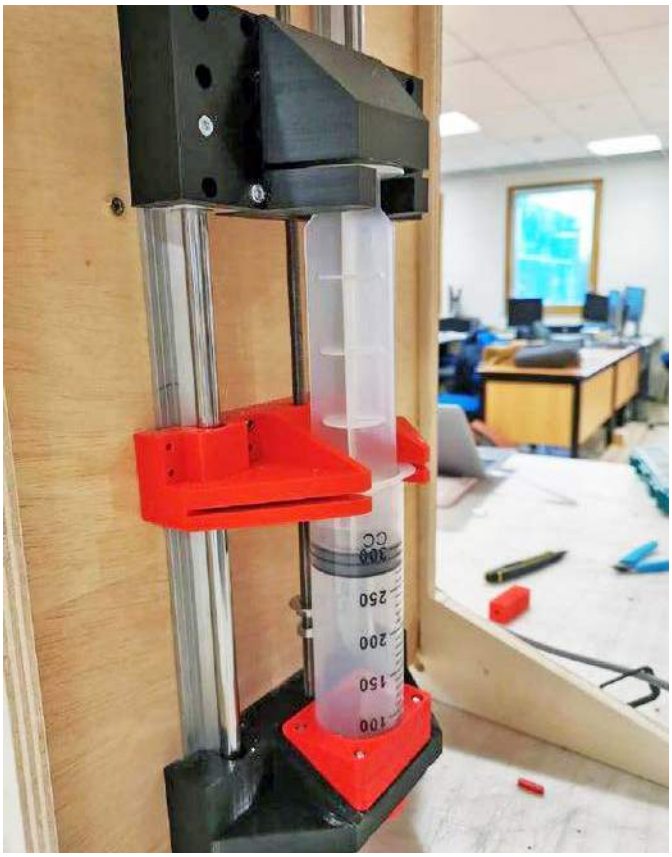
Projekt mechaniczny

W artykule nie będziemy zagłębiać się w szczegóły działania samego ekstrudera, omówimy jego konstrukcję tylko na tyle, aby zrozumieć, jak i gdzie umieszczono czujnik tensometryczny do pomiaru siły nacisku. Zasadniczo urządzenie ma za zadanie wycisnąć specjalną pastę za pomocą niestandardowej strzykawki. Materiał jest przepychany przez strzykawkę dzięki tłokowi dopasowanemu do jej średnicy. Wytłaczarka została pokazana na **fotografii 1**. Łatwo zrozumieć, że cała siła potrzebna do wytłoczenia materiału przechodzi przez tłoczek strzykawki. Dlatego projektując ten system, jego autorzy zdecydowali się na zbudowanie niestandardowego tłoka, który będzie zawierał w sobie sensor do pomiaru siły nacisku. W ten sposób będą mogli mierzyć i monitorować siłę nacisku ekstrudera, potrzebną do wyciśnięcia materiału z głowicy.

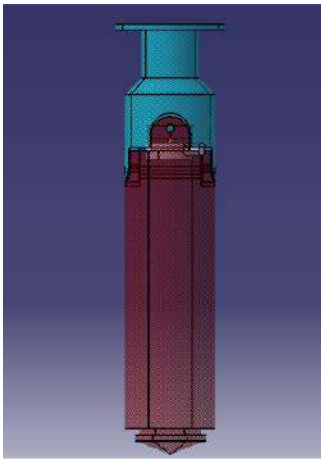
Po wstępnym opracowaniu koncepcji model całego systemu powstał w CATIA V5, ale podobne zadanie można zrealizować w dowolnym innym oprogramowaniu CAD 3D. Zostały przygotowane modele 3D

eprasa.pl 2b951cc363

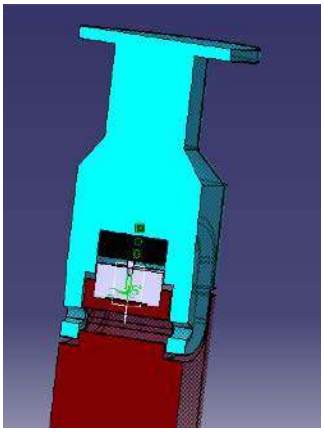
niestandardowego tłoka, takie jak pokazano na **rysunku 1**. Tłok składa się z 2 różnych części, a między nimi włożony jest sensor do pomiaru nacisku. Tensometr pokazano na **fotografii 2**. Model 3D przekroju tłoka ze zintegrowanym sensorem nacisku pokazano na **rysunku 2**.



Fotografia 1. Strzykawka ekstrudera w specjalnie zaprojektowanym uchwycie



Rysunek 1. Projekt tłoka do ekstrudera



Rysunek 2. Projekt tłoka strzykawki zintegrowanego z tensometrem

Fotografia 2. Zastosowany sensor tensometryczny

Dwie części tłoka są połączone ze sobą za pomocą pręta gwintowanego o średnicy 4 mm, który mieści się w otworach obu elementów i przechodzi przez środek tensometru. Pomiędzy tymi dwoma elementami zachowano odrobinę luzu, dzięki luźnemu spasowaniu otworów dwie części mogą się trochę poruszać po przyłożeniu do nich siły. Pomaga to w pomiarze siły i ułatwia wejście tłoka do strzykawki.

Jak łatwo zauważyć – na **fotografii 2**, na górze sensora znajduje się mały wypustek. To właśnie w tej części tensometru jest czuły na nacisk element, który mierzy siłę. W przypadku tego układu górna część tłoka będzie się o niego opierać. Problem w tym, że ten tłok będzie drukowany w PLA i sekcja przycisku jest naprawdę mała. Stąd ograniczenie co do projektu tego elementu systemu. W rzeczywistości siła jest tam tak duża, że podczas pierwszych testów urządzenia autorzy zaobserwowali, że trwale odkształcił się wydruk z PLA. Osiągnęliśmy granicę elastyczności naszego PLA.

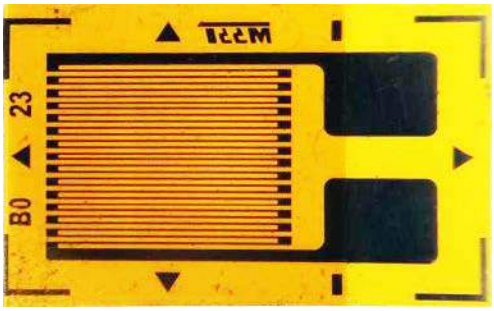
Na **fotografii 3** widać na górze nowy element, a poniżej uszkodzoną część. Aby rozwiązać ten problem, w tym miejscu zainstalowano mały stalowy element, przejmujący na siebie nacisk. Ta część jest na tyle wytrzymała, że nie zostanie odkształcona przez nacisk sensora. Można zobaczyć ją na przekroju z rysunku 2.

Modele STL wszystkich elementów można pobrać ze strony projektu, aby samodzielnie wydrukować wszystkie te elementy.

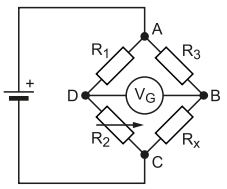
Podstawy zastosowania tensometru

Co tak naprawdę oznacza pomiar siły? W rzeczywistości nie można tej wartości zmierzyć bezpośrednio systemem elektronicznym, gdyż jest to wartość nieelektryczna. Jedną rzeczą, którą można zamiast tego zrobić, jest zmierzenie napięcia za pomocą sensora nacisku. Jest to urządzenie, które zazwyczaj zawiera w swojej strukturze 4 tensometry w konfiguracji mostka Wheatstone'a.

Fotografia 3. Wygląd nowego elementu (na górze) i uszkodzonego (na dole)



Fotografia 4. Wygląd typowego tensometru foliowego



Rysunek 3. Mostek Wheatstone'a

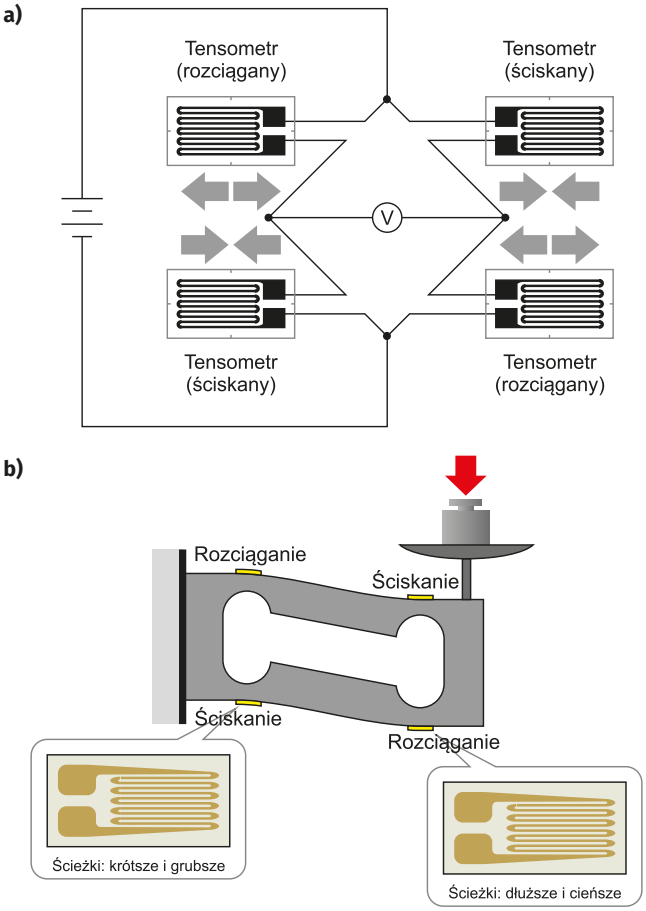
eprasa.pl 2b951cc363

Tensometr to opornik, którego rezystancja jest proporcjonalna do jego odkształcenia. W dużym uproszczeniu, tensometr można wyobrazić sobie jako długą ścieżkę, której rezystancja zmienia się, ponieważ ścieżka ta jest rozciągana i zmienia się jej geometria. Jeśli taki tensometr zainstalowany jest np. na kawałku stali o znanej geometrii i właściwościach fizycznych, to monitorując odkształcenie sensora (i w związku z tym także podłoża), można wyznaczyć naprężenie tego kawałka stali, a znając jej własności, takie jak moduł Younga, można wyznaczyć siłę, która wywołała to naprężenie. Na **fotografii 4** pokazano przykładowy tensometr w postaci folii do naklejenia na dowolnym podłożu.

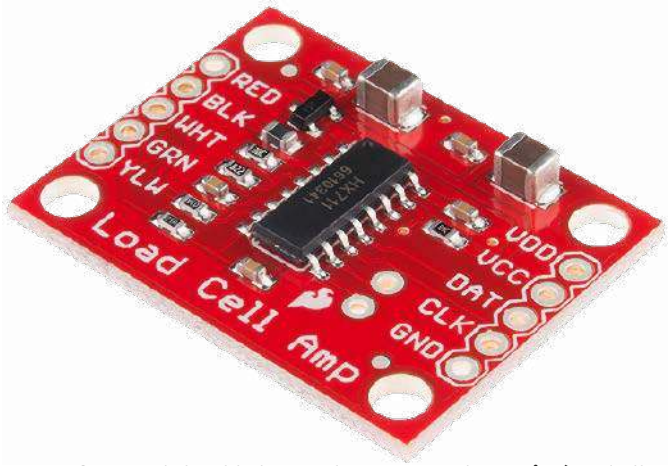
Pomiar z użyciem tensometru to po prostu pomiar rezystancji. Może się wydawać, że nie ma nic prostszego w realizacji – wystarczy doprowadzić stały prąd i mierzyć spadek napięcia. Niestety, jak wiele rzeczy w elektronice analogowej, wymaga to precyzyjnego pomiaru niewielkich sygnałów, podatnych na zakłócenia, o niewielkim zakresie dynamiki – rezystancja zmienia się w bardzo małym zakresie i wymaga wysokiej rozdzielczości przetwornika ADC. Dodatkowo, należy pamiętać, że na rezystancję tego elementu mają wpływ także inne parametry otoczenia, w szczególności temperatura. Aby uniknąć opisanych powyżej problemów, stosuje się specjalny układ pomiarowy, nazywany mostkiem Wheatstone'a. Są to cztery oporniki połączone w sposób pokazany na **rysunku 3**. Jeśli do punktów A i C podłączymy napięcie V, to różnica potencjałów (napięcie) pomiędzy punktami B i D będzie wynosiła:

$$V_{BD} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_x}{R_3 + R_x} \right) \cdot V$$

Dzięki temu można w łatwy sposób wyliczyć wartość nieznanej rezystancji R_x. Jednak takie rozwiązanie nie kompensuje wpływu temperatury na rezystancję oporników. Aby uniknąć tego problemu, a jednocześnie zwiększyć odpowiedź mostka na zmianę naprężenia, w sensorze stosuje się układ pokazany na schemacie z **rysunku 4a**. W takim wariancie mostka Wheatstone'a stosuje się cztery zmienne oporniki (w tym przypadku tensometry) rozmieszczone po przekątnej w taki sposób, że dwa z nich są ściskane, a dwa rozciągane. Działanie tego rodzaju sensora pokazuje **rysunek 4b**. Dzięki temu, że tensometry umieszczone są parami po przekątnej, zmiana napięcia niezbalansowania mostka w funkcji naprężenia jest (w przybliżeniu) czterokrotnie większa. Z drugiej strony, jako że wszystkie tensometry znajdują się na tym samym metalowym elemencie, różnice temperatur pomiędzy nimi są w zasadzie zerowe. Ponieważ mają tę samą temperaturę, zmiana ich rezystancji w funkcji temperatury nie wpływa w żaden sposób na napięcie niezbalansowania.



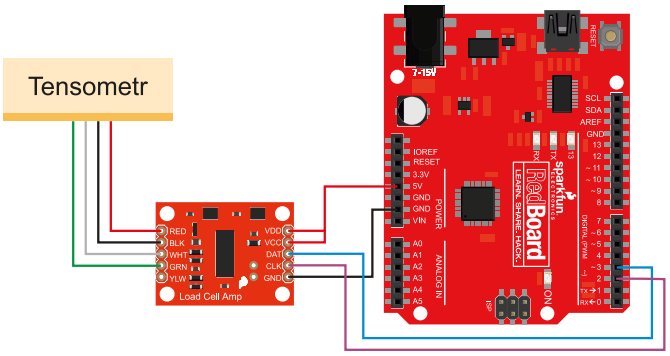
Rysunek 4. Wariant mostka Wheatstone'a z tensometrami, stosowanymi do pomiaru siły: a) schemat elektryczny, b) fizyczna implementacja w układzie pomiarowym



Fotografia 5. Moduł z układem scalonym HX711 do pomiarów z belką tensometryczną

Do pomiaru napięcia niezbalansowania konieczny jest różnicowy pomiar napięcia w punktach B oraz D (rysunek 3). Używa się do tego wzmacniaczy pomiarowych lub układów wzmacniaczy różnicowych / operacyjnych. Następnie, jako że projektujemy układ cyfrowy, wartość ta musi być zdigitalizowana za pomocą przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC). Zintegrowany moduł dla belki tensometrycznej – HX711 integruje te wszystkie funkcje w sobie. Ten pojedynczy układ scalony zawiera cały niezbędny front-end analogowy (stabilizator napięcia wzbudzenia mostka oraz wzmacniacz sygnału niezbalansowania) oraz przetwornik analogowo-cyfrowy. Z tego też powodu znalazł on swoje miejsce w tym urządzeniu. Znacznie ułatwia zaprojektowanie całego toru pomiarowego, szczególnie że jest dostępny w postaci gotowego do podłączenia modułu, jak pokazano na **fotografii 5**.

Układ HX711 podłączony jest do tensometru oraz modułu Arduino, tak jak pokazuje schemat na **rysunku 5**. Układ do komunikacji z procesorem potrzebuje zaledwie dwóch linii – CLK (zegar) oraz DOUT (szeregowe wyjście danych). W Arduino IDE dostępna jest biblioteka, która obsługuje kompleksowo ten kontroler.



Rysunek 5. Schemat połączenia tensometru, modułu z układem HX711 i płytki z mikrokontrolerem

eprasa.pl 2b951cc363

Zapisywanie danych pomiarowych

Na **listingu 1** zaprezentowano kod programu dla modułu Arduino, który obsługuje tensometr, podłączony przez kontroler HX711. Dane dotyczące siły nacisku, mierzonej przez układ, są przesyłane do komputera poprzez port szeregowy (emulowany port szeregowy na USB – wirtualny port COM), jaki zaimplementowany jest w module Arduino. Obsługa układu HX711 jest bardzo prosta. Wszystko realizują funkcje biblioteki, dzięki czemu użytkownik nie musi wgłębiać się w niuanse działania tego układu. Sensor inicjalizowany jest w momencie utworzenia obiektu *HX711 loadCell* i zainicjalizowania komunikacji (rozpoczęcia pomiarów) za pomocą metody *loadCell.begin(DOUT, CLK)*.

Listing 1. Kod programu dla modułu Arduino, który obsługuje tensometr, podłączony przez kontroler HX711

```
#include <HX711.h>

int letter;
// Współczynnik kalibracyjny belko tensometrycznej
#define calibrationFactor 640
#define DOUT  3
#define CLK  2
HX711 loadCell;
bool firstMeasure = true;
bool ongoingDataAcquisition = false;
unsigned long currentTime = 0;
unsigned long t0 = 0;
unsigned long previousDataAcqTime = 0;


void startOrStopDataAcquisition(String t_command) {
  if (t_command == "on") {
    ongoingDataAcquisition = true;
  }
  else if (t_command == "off") {
    ongoingDataAcquisition = false;
    firstMeasure = true;
  }
}

void makeAMeasure() {
  if (firstMeasure == true) {
    t0 = millis(); // Definiuje czas pierwszego pomiaru
    Serial.println("Starting load cell
    data acquisition. Force unit is Newton.
    Time unit is second");
    Serial.print("time");
    Serial.print(";");
    Serial.print("Extrusion Force");
    Serial.print(";");
    Serial.println();
    Serial.print((currentTime - t0) * 0.001, 2);
    Serial.print(";");
    Serial.print(loadCell.get_units(), 1);
    Serial.print(";");
    Serial.println();
    firstMeasure = false;
  }
  else {
    if (currentTime - previousDataAcqTime > 10) {
      previousDataAcqTime = currentTime;
      Serial.print((currentTime - t0) * 0.001, 2);
      Serial.print(";");
      Serial.print((loadCell.get_units())/(1.4595*0.9827) +
        0.6944/0.9827 + 12.885/0.9827, 1);
      Serial.print(";");
      Serial.println();
    }
  }
}

String readSerialMonitor(int t_letter) {
  String command;
  // Sprawdza czy dostępne są dane
  while (Serial.available() > 0)
  {
    t_letter = Serial.read();
    command += char(t_letter);
    delay(1);
  }
  return command;
}

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  loadCell.begin(DOUT, CLK);
  // Wartość kalibracyjna
  loadCell.set_scale(calibrationFactor);
  // Tarowannie - przy uruchomieniu
  // nie powinno być obciażenia
  loadCell.tare();
}

void loop() {
  currentTime = millis();
  // Odczyt z portu szeregowego
  String command = readSerialMonitor(letter);
  startOrStopDataAcquisition(command);
  if (ongoingDataAcquisition) {
    makeAMeasure();
  }
}
```

Układ i biblioteka wspierają kompletne charakteryzowanie wyjścia, jego kalibrację, a nawet tarowanie.

Na koniec pozostaje do pokonania ostatnie wyzwanie: jak przechowywać dane, które zostały zmierzone przez system? W najprostszym podejściu można odczytać pomiary na monitorze szeregowym w Arduino IDE, ale w takiej sytuacji nie ma możliwości ich magazynowania. Oczywiście, można zebrane wartości kopiować i wklejać np. w notatniku czy Excelu, ale nie jest to satysfakcjonujące rozwiązanie, jak wskazuje autor projektu. Konieczna była implementacja wyższego poziomu automatyki. Autor proponuje dwa potencjalne rozwiązania:

- zapis danych na karcie SD za pomocą rozbudowanego programu Arduino,
- nagrywanie danych na komputerze połączonym z Arduino za pomocą zewnętrznego fragmentu kodu napisanego na przykład w Pythonie, uruchamianym na komputerze PC.

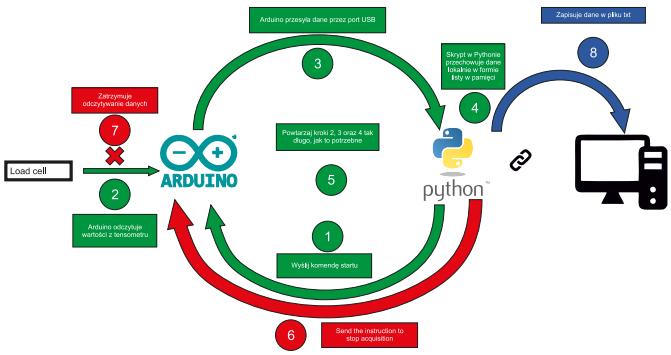
Decyzja padła na rozwiązanie drugie, ponieważ autor nie ma problemu z programowaniem w Pythonie, a ponadto takie rozwiązanie pozwala w łatwy sposób stworzyć interfejs graficzny do rejestracji danych. Zastosowano pakiet *pyserial*, który umożliwia użytkownikowi wysyłanie i odczytywanie informacji przez port USB komputera, który funkcjonuje jako wirtualny port szeregowy (port COM). W szkicu Arduino za wysyłanie danych do komputera odpowiada metoda portu szeregowego *Serial.print()* za pomocą, której w funkcji *makeAMeasure()* wysyłane są skonwertowane do odpowiednich jednostek dane pomiarowe. Arduino ma także możliwość odczytywania danych z portu szeregowego za pomocą funkcji *readSerialMonitor()*, która odczytuje znaki z portu szeregowego tak długo, jak są dostępne (tj. warunek *Serial.available() > 0* jest spełniony). W zależności od wysłanej komendy system zaczyna i przestaje mierzyć i przesyłać dane dotyczące nacisku.

GUI datalogera

Na **rysunku 6** pokazano schematycznie algorytm pracy systemu logowania danych. System działa w ośmiu krokach:

1. Wysłanie instrukcji startu do modułu Arduino – pomiar rozpoczyna się.
2. Arduino odczytuje wartość z tensometru (rozpoczęcie pomiaru).
3. Arduino wysyła dane przez port szeregowy.
4. Skrypt na komputerze PC odczytuje wartość z portu szeregowego i zapisuje ją w pamięci.
5. Kroki 2, 3 oraz 4 powtarzane są wielokrotnie.
6. Wysyłana jest instrukcja zatrzymania.
7. Arduino zatrzymuje odczyt wartości z sensora.
8. Skrypt w Pythonie zapisuje zebrane dane w pliku tekstowym na komputerze PC.

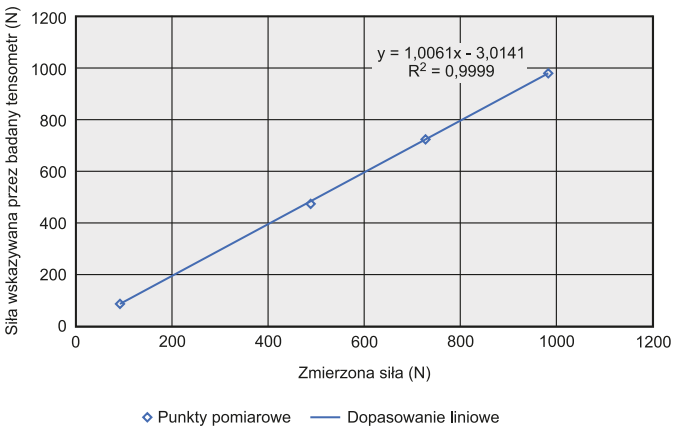
Dla rejestratora opracowano graficzny interfejs użytkownika (GUI). Pozwala to na wygodną obsługę całego systemu z poziomu komputera PC. Za obsługę okienkowego GUI odpowiedziany jest skrypt napisany w Pythonie, który używa funkcji z biblioteki tkinter. Jest to interfejs



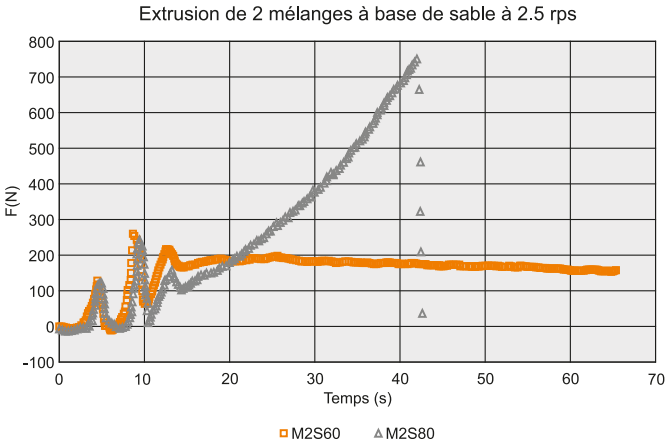
Rysunek 6. Schemat działania skryptu do odbierania danych na komputerze PC

eprasa.pl 2b951cc363

Fotografia 6. Układ do kalibracji – prasa mechaniczna z tłokiem umieszczonym w stanowisku pomiarowym



Rysunek 7. Zależność siły rzeczywistej od zmierzonej przez tensometr wraz z danymi kalibracyjnymi i dopasowaną prostą



Rysunek 8. Zrzut ekranu z wykresem ilustrującym pomiar

do korzystania z Tk – jest to wolna, otwarta, wielosystemowa biblioteka widżetów do budowy graficznego interfejsu użytkownika. Powstała 30 lat temu i początkowo wykorzystywana była jako pakiet do języka skryptowego Tcl, jednak obecnie doczekała się dowiązań do wielu innych języków programowania, w tym także Pythona. Tkinter wydaje się idealnie dostosowany do tego, co trzeba było zrobić, aby stworzyć GUI siłomierza.

Skrypt składa się z dwóch części – pliku *GUI_acquisition.py* oraz *rx_threading.py*. Pierwszy z nich zawiera GUI programu i całą jego logikę, natomiast w drugim zawarto interfejs dla portu szeregowego, opracowany tak, aby działał w innym wątku, niż GUI. Dzięki temu program może sprawnie i płynnie funkcjonować, niezależnie od ilości przyjmowanych w danym momencie danych na porcie szeregowym. Skrypty napisane w Pythonie można znaleźć na stronie z projektem. Aby skorzystać z GUI, wystarczy uruchomić skrypt Pythona (*GUI_acquisition.py*), podłączyć Arduino (z wgranym odpowiednim szkicem) do komputera i uruchomić Arduino. Następnie należy wybrać odpowiedni port COM (ten, do którego podłączono Arduino) i dostosować prędkość transmisji do ustawionej w szkicu Arduino. I gotowe, wystarczy nacisnąć „rozpocznij akwizycję".

Kalibracja tensometru

Przed zastosowaniem systemu konieczna jest jego kalibracja. W ten sposób zbierane dane będzie można łatwo przeliczyć na fizyczne, rzeczywiste jednostki. W tym celu pomocne będą ustawienia, skrypt i tutorial dostarczany przez SparkFun. Jednak autor wykorzystał fakt, że na uczelni ma dostęp do precyzyjnej prasy mechanicznej, którą można wywierać dokładnie i precyzyjne konfigurowany nacisk. Prasa taka również ma wbudowany i już skalibrowany siłomierz. Na **fotografii 6** pokazano proces kalibracji, a na **rysunku 7** jego wynik – zależność pomiędzy odczytaną z tensometru siłą a rzeczywistą siłą nacisku. Jak widać, zależność ta jest liniowa, więc łatwo można dopasować do tych danych prostą i używać jej do przeliczania zmierzonych wartości z wykorzystaniem prostego wzoru, pokazanego na rysunku.

Podsumowanie i przykładowe zastosowanie

Tłok zawierający sensor umieszczony został w strzykawce. Końcówka tłoka wykonana jest z gumowego tworzywa, zapewniającego wodoszczelność. Ale oznacza to, że gumowa część ociera się o ściankę strzykawki i pojawia się siła tarcia. Ta dodatkowa siła składa się na całkowitą wartość, którą mierzymy podczas badania siły potrzebnej do wytłoczenia materiału ze strzykawki – ekstrudera. Autorzy konstrukcji zastosowali siłomierz do optymalizacji działania ekstrudera – przesuwali tłok w pustej strzykawce dla różnych prędkości wytłaczania i udało im się uzyskać wartość siły tarcia dla każdej prędkości wytłaczania. Potem odejmowali tę wartość od siły, którą zmierzyli podczas wytłaczania, aby uzyskać jedynie siłę wytłaczania. Na **rysunku 8** znajduje się zrzut ekranu z wykresem ilustrującym pomiar, który został wykonany. Pokazuje on siłę nacisku w funkcji czasu podczas wytłaczania materiału z ekstrudera napędzanego stabilnie obracającym się prętem gwintowanym (2 obroty na sekundę).

Nie jest to oczywiście jedyne zastosowanie siłomierza. Tego rodzaju układ można zastosować w szerokiej gamie systemów, które muszą mierzyć siłę, nacisk, ciężar itp. Tylko wyobraźnia ogranicza konstruktorów przy aplikacji tego rodzaju sensora.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła

- https://bit.ly/3Gv0CqG
- https://bit.ly/3vNZtG5
- https://bit.ly/2XQlxDn
- https://bit.ly/2XPHD8W
- https://bit.ly/3CpP2Ld

eprasa.pl 2b951cc363

Optymalizacja poziomu EMI

Położenie indukcyjności na płytce drukowanej

Zakłócenia elektromagnetyczne (EMI) są ogromnym wyzwaniem przy projektowaniu urządzeń elektronicznych. Obecnie większość urządzeń elektronicznych zawiera zasilacze impulsowe, jest wyposażona w procesory pracujące przy wysokich częstotliwościach, systemy radiowe do komunikacji bezprzewodowej itd. Wszystkie te elementy emitują promieniowanie elektromagnetyczne (intencjonalnie bądź nie).

Problemy z zakresu kompatybilności elektromagnetycznej stale nękają projektantów płytek drukowanych. Inżynierowie elektronicy, projektujący tego rodzaju systemy, muszą zawsze monitorować poziom emitowanych zakłóceń oraz odporność systemu na oddziaływania tego typu. Niestety, nawet małe niedopatrzenia mogą powodować problemy elektromagnetyczne, które są obecnie jeszcze bardziej powszechne niż kiedykolwiek, ponieważ płytki drukowane kurczą się, a urządzenia wymagają coraz wyższych prędkości działania, oszczędniejszych przetwornic itd.

Dwie podstawowe kwestie w zakresie tych zagadnień to kompatybilność elektromagnetyczna i generowane zakłócenia elektromagnetyczne. Zagadnienia kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) obejmują generowanie, propagację i odbiór energii promieniowania elektromagnetycznej przez omawiane urządzenie. Zazwyczaj wynika to z jego kiepskiego projektu i może powodować niestabilne lub niepoprawne działanie urządzenia. EMI, czyli emisje elektromagnetyczne lub zakłócenia elektromagnetyczne, odnoszą się do emitowania przez urządzenia zakłóceń, które mogłyby być szkodliwe dla innych urządzeń w otoczeniu. W poniższym artykule kwestie związane z projektowaniem PCB i umieszczaniem na nich indukcyjności rozpatrywać będziemy pod kątem minimalizacji generowania zakłóceń elektromagnetycznych przez projektowane urządzenie, gdyż to na ogół jest największym problemem.

Zakłócenia elektromagnetyczne

Prąd zmienny płynący przez dowolny przewodnik generuje promieniowanie elektromagnetyczne. Każda ścieżka na płytce drukowanej jest, w zasadzie, anteną. Oczywiście, na ogół sprawność emisji takiej

eprasa.pl 2b951cc363

anteny jest niewielka, wręcz zerowa. Jednakże, jeśli nie zachowa się odpowiednich zasad projektowania systemu, sprawność ta może wzrosnąć na tyle, że poziom emisji projektowanego systemu przekroczy dopuszczalne granice. Promieniowanie elektromagnetyczne generowane przez urządzenia elektroniczne nie może przekraczać pewnych, opisanych w normach branżowych poziomów. Dlatego też kluczowe jest takie projektowanie systemów elektronicznych, aby minimalizować poziom wytwarzanych EMI. Inaczej może nie być możliwe np. wprowadzenie danego systemu na rynek.

Mechanizm generowania zakłóceń elektromagnetycznych jest bardzo prosty i wynika bezpośrednio z podstawowych praw elektromagnetyzmu, w szczególności z prawa Ampère'a, które wiąże ze sobą indukcję magnetyczną wokół przewodnika z płynącym prądem z jego natężeniem. Zmienny przepływ prądu powoduje powstanie zmiennego pola magnetycznego, które emitowane jest dalej w eter w postaci właśnie zakłóceń. Zakłócenia elektromagnetyczne rozpatruje się w pasmie od 10 (lub 15, zależnie od normy) kHz do 1000 MHz.

W ogólności poziom zakłóceń elektromagnetycznych zależny jest od płynącego ścieżką prądu. Jest także, pośrednio, zależny od częstotliwości – z czego wynika sprawność ścieżki jako anteny. Na ogół sprawność anteny rośnie wraz ze zbliżaniem się jej długości do długości fali sygnału. W przypadku miedzianych ścieżek na laminacie FR4 długość fali przy 10 MHz wynosi od 14 m do 15 m, ale przy 1 GHz już od 137 mm do 154 mm. Dokładna wartość zależna jest m.in. od stałej dielektrycznej laminatu płytki drukowanej i geometrii ścieżki. W dużym uproszczeniu mówiąc, zakłócenia elektromagnetyczne są proporcjonalne do prędkości zmian prądu w czasie, czyli pochodnej di/dt. Im wyższa jest wartość różniczki z prądu dla danego sygnału/danej ścieżki, tym wyższego poziomu EMI możemy się spodziewać.

Normy

Spełnienie wymagań dotyczących poziomu emisji elektromagnetycznej przez urządzenie jest jednym z wymagań do nadania urządzeniu znaku CE, który jest potrzebny, aby wprowadzić system do sprzedaży na terenie Unii Europejskiej. Wymagania dotyczące poziomu generowanych EMI zapisane są w normach branżowych. W ogólności na terenie Unii Europejskiej o kwestiach tych traktuje dyrektywa EMC – dyrektywa kompatybilności elektromagnetycznej 2014/30/UE (poprzednio obowiązywały dyrektywy: 2004/108/WE oraz 89/336/EWG). Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady Europy o numerze 2014/30/UE z 26.02.2014 roku dotyczy m.in. harmonizacji ustawodawstwa krajowego w kontekście kompatybilności elektromagnetycznej.

Szczegóły techniczne, dotyczące dopuszczalnych poziomów zakłóceń elektromagnetycznych, regulują normy branżowe, zapisane w normach serii EN 61000, EN 55022, EN 55024. W przypadku urządzeń konsumenckich, w większości przypadków kluczowymi dla nas będą normy dostępne w Polsce jako PN EN 61000-3-x, opisujące wartości poziomów dopuszczalnych emitowanych zakłóceń dla różnych klas systemów (głównie podzielonych zgodnie z poborem prądu z sieci), a także normy szczegółowe, np. PN EN IEC 55011 dla urządzeń przemysłowych, naukowych i medycznych, PN-EN IEC 55015 dla systemów oświetleniowych itp.

Fotografia 2. Analizator widma to wyspecjalizowany przyrząd pomiarowy umożliwiający pomiar EMI

Pomiary zgodności urządzeń z normami realizuje się na sposób opisany w normach z rodziny PN EN 61000-4-x. Typowo pomiar EMI prowadzi się za pomocą specjalnego dookólnego detektora (**fotografia 1**) podłączonego do analizatora spektralnego (**fotografia 2**). Testowane urządzenie umieszcza się w specjalnym, ekranującym namiocie, w którym umieszczony jest także detektor. Przykład takiego namiotu pokazano na **fotografii 3**. Warto zwrócić uwagę na lśniącą tkaninę namiotu – ma ona wplecione drobne, przewodzące druciki, co czyni z niej klatkę Faradaya. Jest ona zamykana na magnesy, które sprawiają, że nie pozostaje – nawet na wejściu – nieekranowana przestrzeń, którą zakłócenia z zewnątrz mogłyby dostawać się do środka.

Projektowanie płytek drukowanych

Jednym z kluczowych czynników, wpływających na poziom wypromieniowanych przez system elektronicznych zakłóceń elektromagnetycznych, jest projekt płytki drukowanej. Projektując system elektroniczny, nie mamy wpływu na pewne czynniki – częstotliwość pracy zegarów procesora, częstotliwość kluczowania przetwornicy, natężenie prądu płynącego ścieżkami itp. Wszystkie pozostałe

Fotografia 1. Detektor jest jednym z dwóch głównych elementów systemu do pomiaru EMI

Fotografia 3. Pomiary EMI wykonywane są wewnątrz namiotu ekranującego, który został zrobiony z płótna przewodzącego prąd elektryczny

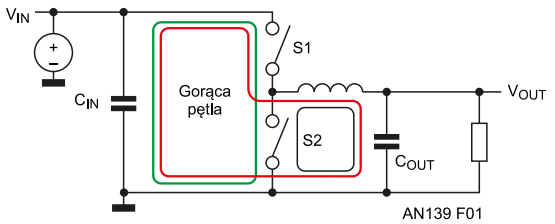
eprasa.pl 2b951cc363

aspekty projektu leżą w rękach inżyniera, projektującego system. W pierwszej kolejności może on dobrać elementy elektroniczne (szczególnie elementy pasywne) tak, aby zoptymalizować system pod kątem EMI – ograniczyć liczbę generowanych wyższych harmonicznych, ewentualnie nawet zmniejszyć prędkości narastania zboczy kluczowych sygnałów, szczególnie tych o wysokim prądzie.

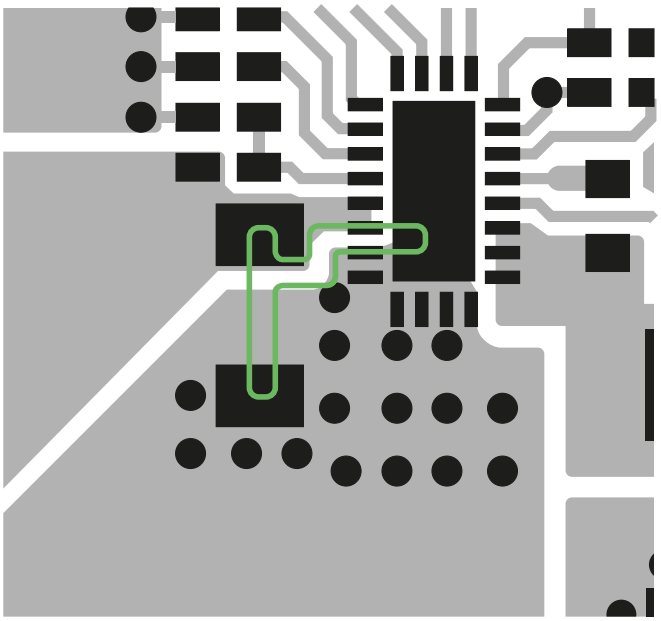
Finalnie należy zaprojektować płytkę zgodnie z zasadami, pozwalającymi minimalizować emisję zakłóceń. Wspomniano powyżej, że na poziom zakłóceń wpływ ma m.in. długość ścieżek. Ale których ścieżek? I jak najlepiej jest je zminimalizować? Jest to wybitnie zależne od konkretnego projektu i danej aplikacji. Zagadnienie to jest zbyt szerokie, aby je wyczerpująco omówić w ramach jednego artykułu. Dlatego skupimy się na tym, jak optymalizować projekty zawierające przetwornice impulsowe, a w szczególności gdzie lokalizować na płytce drukowanej jeden z głównych elementów odpowiedzialnych za EMI – cewkę przetwornicy. Indukcyjność jest głównym elementem odpowiedzialnym za EMI, gdyż jej fizyczna zasada działania opiera się właśnie na magazynowaniu energii w polu magnetycznym uzwojenia.

Gorące pętle

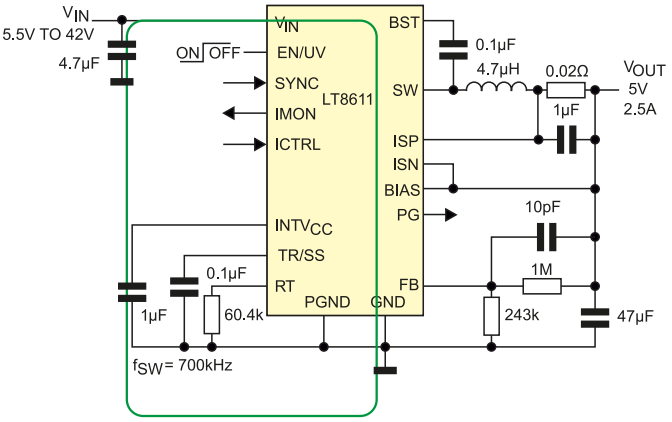
Aby zoptymalizować projekt, należy zlokalizować miejsce, które emituje najwięcej zakłóceń elektromagnetycznych. W przypadku topologii przetwornic nieizolowanych jedną z najbardziej podstawowych jest regulator typu Buck. Promieniowanie EMI generowane jest przez pętle ze ścieżek z sygnałami o wysokim di/dt. Przewód zasilający czy przewód prowadzący dalej do obciążenia nie powinny mieć dużej zawartości prądu przemiennego. Można więc skupić analizę na sekcji układu od kondensatora wejściowego (C_{IN}), który powinien dostarczać wszystkie istotne prądy przemienne do przetwornicy, do kondensatora wyjściowego (C_{OUT}), gdzie kończą się wszelkie prądy przemienne.



Rysunek 1. Schemat ideowy przetwornicy typu Buck z zaznaczonymi gorącymi pętlami o wysokim di/dt (linie: czerwona, niebieska i zielona)



Rysunek 2. Fragment płytki drukowanej z przetwornicą impulsową LT8611 o architekturze Buck



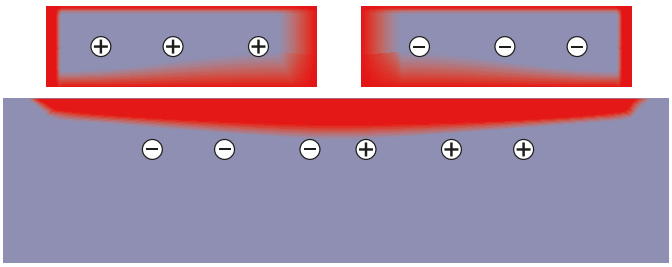
Rysunek 3. Schemat przetwornicy impulsowej bazującej na LT8611

Na **rysunku 1** został pokazany schemat typowej przetwornicy Buck. Podczas cyklu pracy, gdy klucz S1 jest zamknięty, a S2 otwarty, prąd przemienny płynie godnie z czerwoną pętlą. Podczas drugiej części cyklu pracy, podczas gdy klucz S1 jest rozwarty, a S2 zamknięty, prąd przemienny podąża z kolei niebieską pętlą, również pokazaną na schemacie. Oba przebiegi prądu mają kształt trapezu. Nie jest teraz oczywiste, która pętla wytwarza najwyższy poziom zakłóceń elektromagnetycznych. Jest nią pętla… zielona, którą pokazano na rysunku 1. Wynika to z faktu, że w tej pętli płynie w pełni kluczowany prąd – przełączany od zera do prądu szczytowego układu i z powrotem do zera. I tak w każdym cyklu. Zielona pętla jest tzw. pętlą gorącą, ponieważ ma najwyższą energię AC oraz, co za tym idzie, EMI.

Aby zredukować poziom EMI i poprawić funkcjonowanie układu, należy maksymalnie zredukować efekt promieniowania z zielonej pętli. Gdybyśmy mogli zredukować obszar płytki drukowanej, zajmowanej przez zieloną pętlę do zera i dodatkowo kupić idealny kondensator wejściowy o zerowej impedancji, problem zostałby rozwiązany. Ale jesteśmy ograniczeni do realnego świata i rzeczywistych rozwiązań. Dlatego też trzeba sięgnąć po pewne optymalne kompromisy.

Przyjrzyjmy się schematowi przetwornicy typu Buck bazującej na scalonym kontrolerze LT8611 (**rysunek 2**). Układ LT8611 ma oba klucze zintegrowane wewnątrz, więc w systemie musimy zajmować się tylko podłączeniem kondensatora wejściowego w możliwie najlepszy sposób. Jak widać na schemacie na **rysunku 3**, gorąca pętla nie jest wcale łatwa do określenia w realnym układzie. Zielona linia na rysunku 2 to gorąca pętla na górnej warstwie PCB. Prąd przemienny przepływa przez kondensator wejściowy i przełączniki w układzie. Rysunek 2 pokazuje fragment płytki demonstracyjnej DC1750A dla układu LT8611. Gęstość prądu w przekroju ścieżek gorącej pętli będzie wyglądać tak, jak pokazano na **rysunku 4**.

Jak bardzo pętla zwierająca na drugiej stronie PCB lub wylewka masy pod gorącą pętlą redukuje poziom EMI? Inżynierowie z Linear Technologies (obecnie Analog Devices) sprawdzili to, żebyśmy my nie musieli. Indukcyjność testowej pętli o wymiarach 10×10 cm na jednowarstwowej płytce drukowanej wynosi 187 nH i spada do 13 nH, jeżeli pod nią – w odległości zaledwie 0,13 mm – umieści się wylewkę masy. Nie zawsze jednak jest taka możliwość, więc warto znać inne



Rysunek 4. Przekrój przez ścieżki gorącej pętli przetwornicy wraz ze wskazanymi punktami koncentracji ładunków

eprasa.pl 2b951cc363

Tabela 1. Indukcyjność pętli ścieżek na PCB

Opis	Indukcyjność	Odległość pomiędzy warstwami
Pętla na płytce jednowarstwowej	187 nH	–
Zwierająca pętla na warstwie wewnętrznej PCB	141 nH	–
Wylewka na drugiej stronie płytki dwuwarstwowej	42 nH	1,5 mm
Cienka płytka drukowana 1	23 nH	0,5 mm
Cienka płytka drukowana 2	21 nH	0,27 mm
Pętla oddzielona od wylewki typową kartą papieru	13 nH	0,12 mm

opcje. W **tabeli 1** podsumowano dostępne rozwiązania oraz wypadkowe parametry powstałych pętli.

Kluczowym elementem, jaki znajduje się w przetwornicy impulsowej, jest cewka. Jej lokalizacja wpływa często na wielkość i kształt gorącej pętli przetwornicy, ale czy tylko..?

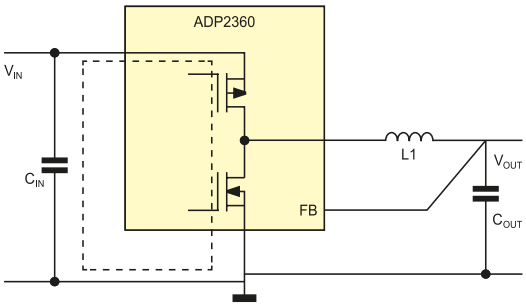
Położenie indukcyjności

Położenie cewki, a nawet jej orientacja na płytce drukowanej mogą mieć istotne znaczenie dla poziomu EMI, jaki będzie emitowany z płytki drukowanej. Nawet w przypadku, gdy cewka nie jest częścią gorącej pętli przetwornicy. Na **rysunku 5** został pokazany stabilizator impulsowy typu step-down, w którym krytyczna gorąca pętla jest pokazana jako linia przerywana. Widać, że cewka L1 nie jest częścią gorącej pętli. Można więc założyć, że umieszczenie tej cewki nie jest krytyczne. Jest to prawidłowe założenie, ale trzeba dopilnować, aby cewka indukcyjna znajdowała się poza gorącą pętlą, dokładne jej umieszczenie jest drugorzędne. Mimo to należy przestrzegać kilku zasad.

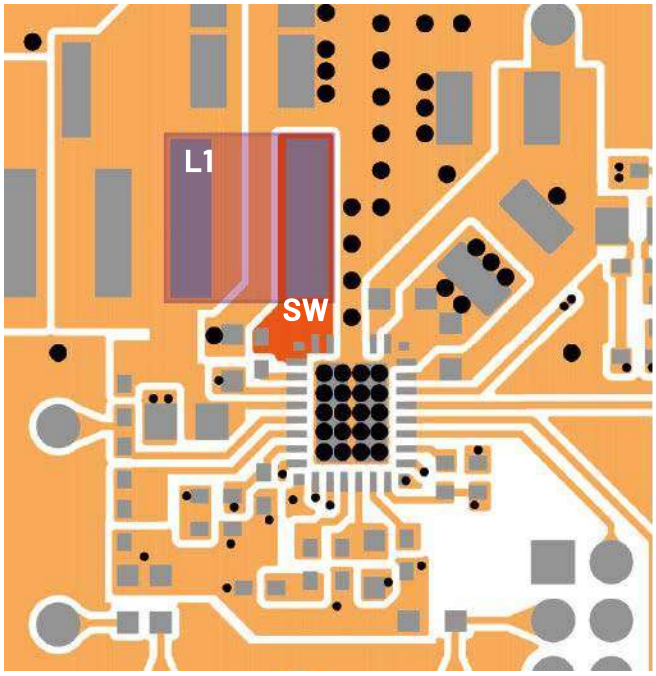
Po pierwsze, żadne wrażliwe ścieżki sterowania nie powinny być prowadzone pod cewką indukcyjną – ani bezpośrednio na powierzchni PCB, ani poniżej, w warstwach wewnętrznych lub na tylnej stronie PCB. Ze względu na przepływ prądu przez uzwojenie cewka wytwarza pole magnetyczne, które może wpływać na inne sygnały. Na odrobinę odstępstwa od tej zasady pozwalają ekranowane cewki – niektóre indukcyjności, mają wbudowany ekran, który nie pozwala na sprzęganie pola magnetycznego z otaczającymi ścieżkami. Jednak mimo to lepiej trzymać wrażliwe obwody z daleka od tych elementów.

W stabilizatorze impulsowym jedną z krytycznych ścieżek sygnałowych jest ścieżka sprzężenia zwrotnego, która łączy napięcie wyjściowe z układem scalonym stabilizatora lub z dzielnikiem napięcia. Należy zadbać o to, aby ścieżka ta była, z jednej strony, możliwie krótka, a z drugiej strony, poprowadzona z daleka od zakłóceń, takich jak pole magnetyczne cewki.

Może się wydawać, że więcej z cewką nie można zrobić, że dalsza optymalizacja nie jest możliwa. Otóż okazuje się, że można zadbać jeszcze o jeden czynnik – orientację elementu. W teorii cewka jest elementem symetrycznym i bipolarnym. Nie jest ważne, w którą



Rysunek 5. Gorąca pętla przetwornicy ADP2360



Rysunek 6. Ścieżka pomiędzy wyprowadzeniem SW a uzwojeniem cewki oznaczona na PCB zestawu uruchomieniowego DC3008 dla układu LT8386

stronę jest zamontowana, w obie strony wszak działa tak samo. Oprócz gorącej pętli, ścieżką, która jest odpowiedzialna za dużą część EMI, jest sygnał pomiędzy wyprowadzeniem nazywanym (najczęściej) SW oraz indukcyjnością. Ścieżka od wyprowadzenia SW może działać jak antena, przesyłając szum generowany przez szybkie przełączanie kluczy dużej mocy. Jest to główne źródło emisji dla większości regulatorów przełączających, które mają już zoptymalizowaną gorącą pętlę.

Ilość miedzi w górnej warstwie ścieżki SW z pewnością powinna być zminimalizowana, aby ograniczyć rozmiar tej anteny. Dzięki monolitycznemu stabilizatorowi (klucz mocy zintegrowany jest w układzie scalonym) ścieżka SW biegnie od układu scalonego do cewki indukcyjnej, zajmując niewiele miejsca na PCB. Przy zastosowaniu zwykłego kontrolera sygnał SW może być niezależny od kluczy mocy, które będą znajdowały się daleko od samego układu scalonego kontrolera. Sygnał ten połączony jest z jedną stroną cewki indukcyjnej w topologiach przetwornic Buck oraz Boost. Ze względu na sporą liczbę niezależnych parametrów układu, na jakie to wpływa, rozmieszczenie ścieżki sygnału SW na poszczególnych warstwach, jak i w płaszczyźnie płytki drukowanej, jest kwestią doświadczenia projektanta. Kluczową zasadą co do prowadzenia tej ścieżki jest jednak zachowanie możliwie małej długości (**rysunek 6**).

Oczywiście sygnał SW rozciąga się również pionowo (w osi Z), gdy brane są pod uwagę piny i doprowadzenia cewki indukcyjnej. Pionowa orientacja zacisków cewki indukcyjnej może zwiększyć efekt antenowy sygnału SW i zwiększyć poziom emisji. Ponadto wewnętrzne uzwojenia induktora mogą nie być symetryczne. Nawet jeśli symetryczne piny cewki indukcyjnej sugerują symetryczną konstrukcję ukrytą w obudowie, to wskaźnik polaryzacji na górze elementu mówi co innego. Na **rysunku 7** pokazano wewnętrzną strukturę uzwojenia

Rysunek 7. Cewka mocy firmy Coilcraft wraz ze szkicem budowy wewnętrznej. Biała belka na obudowie cewki wskazuje, gdzie znajduje się krótsze doprowadzenie cewki

eprasa.pl 2b951cc363

cewek serii XAL firmy Coilcraft. Uzwojenie z płaskiego drutu zaczyna się na dole komponentu i kończy na górze, więc jeden pin ma znacznie krótsze doprowadzenie do cewki niż drugi – różnica dotyczy głównie osi Z.

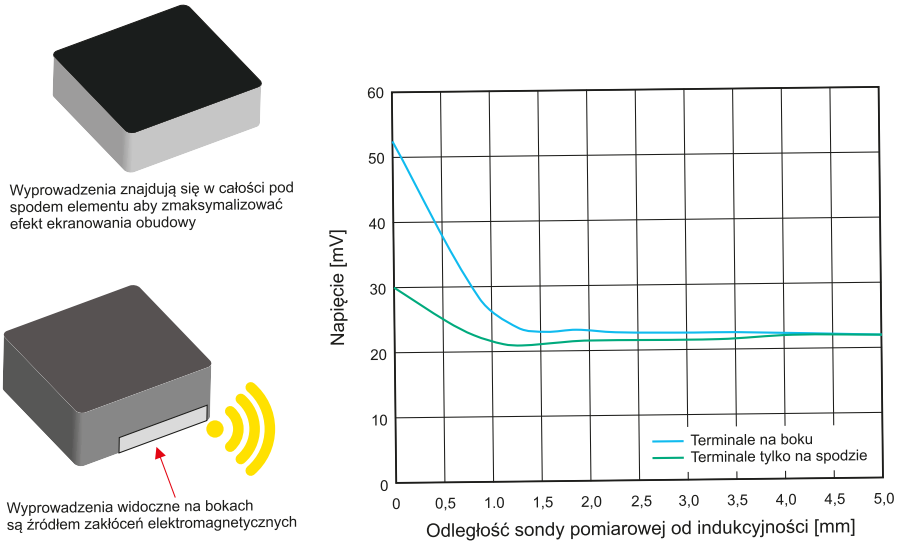
Co więcej, cewka indukcyjna z odsłoniętym polem sygnału SW z boku może działać gorzej niż taka, która jest w pełni ekranowana, także w płaszczyźnie pionowej, jak pokazano na **rysunku 8**. Projektanci płytki powinni wybrać cewki z jak najmniejszą liczbą pionowych i odsłoniętych zacisków, aby zmniejszyć poziom EMI, ale co z orientacją dwóch pinów cewki i jej wpływem na emisje? Inżynierowie z Analog Devices przeprowadzili prosty, ale szalenie ciekawy eksperyment.

Niska emisja testowanej płytki jest zasługą parametrów emisyjnych układów scalonych oraz ich implementacji wraz z innymi elementami. Nawet w przypadku monolitycznego, scalonego kontrolera przetwornicy o niskiej emisji należy zwrócić uwagę na układ, biorąc pod uwagę rozmieszczenie i montaż elementów o krytycznym znaczeniu. Aby udowodnić tę hipotezę, inżynierowie z Analog Devices zbadali wpływ orientacji cewki indukcyjnej L1 obwodu demonstracyjnego LT8386 (schemat pokazany na **rysunku 9**). W tym przypadku producent cewki, firma Coilcraft, oznaczyła krótsze wyprowadzenie cewek serii XAL6060 białą linią na górnej płaszczyźnie komponentu. Standardowe testy emisji i emisji promieniowanej przeprowadzone w komorze EMI pokazują, że kierunek umieszczenia tego induktora (**fotografia 4**) ma decydujący wpływ na widmo i natężenie promieniowania elektromagnetycznego.

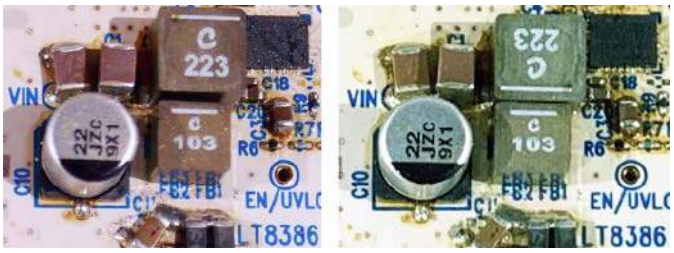
Na **rysunkach 10...12** pokazano, że na emisję płytki demonstracyjnej ma bezpośredni wpływ orientacja cewki L1. Nie wykonywano żadnych innych zmian komponentów. Dotyczy to w szczególności zakłóceń o niskiej częstotliwości – od 150 kHz do 150 MHz i zakłóceń przewodzonych w pasmie FM – od 70 MHz do 108 MHz. Natężenie jest niższe dla cewki zamontowanej w orientacji 1, co jest zgodne z przewidywaniami. Jest to orientacja, w której na wyprowadzeniu SW umieszczone jest krótsze doprowadzenie cewki. Nie można zignorować różnicy wynoszącej od 17 dBµV/m do 20 dBµV/m.

Oczywiście nie wszystkie cewki indukcyjne są wytwarzane jednakowo. Kierunek nawijania, kształt końcówek, kształt ich połączeń, a nawet materiał rdzenia mogą się różnić. Siła pola magnetycznego i pola elektrycznego zmienia się wraz z różnymi materiałami rdzenia i różnicami konstrukcyjnymi – może to odgrywać rolę w charakterze emisji i powodować różnice w zakresie EMI między cewkami indukcyjnymi. Jednak zaprezentowany przypadek ujawnia pewien obszar, który można wykorzystać na naszą korzyść do redukcji EMI w układzie.

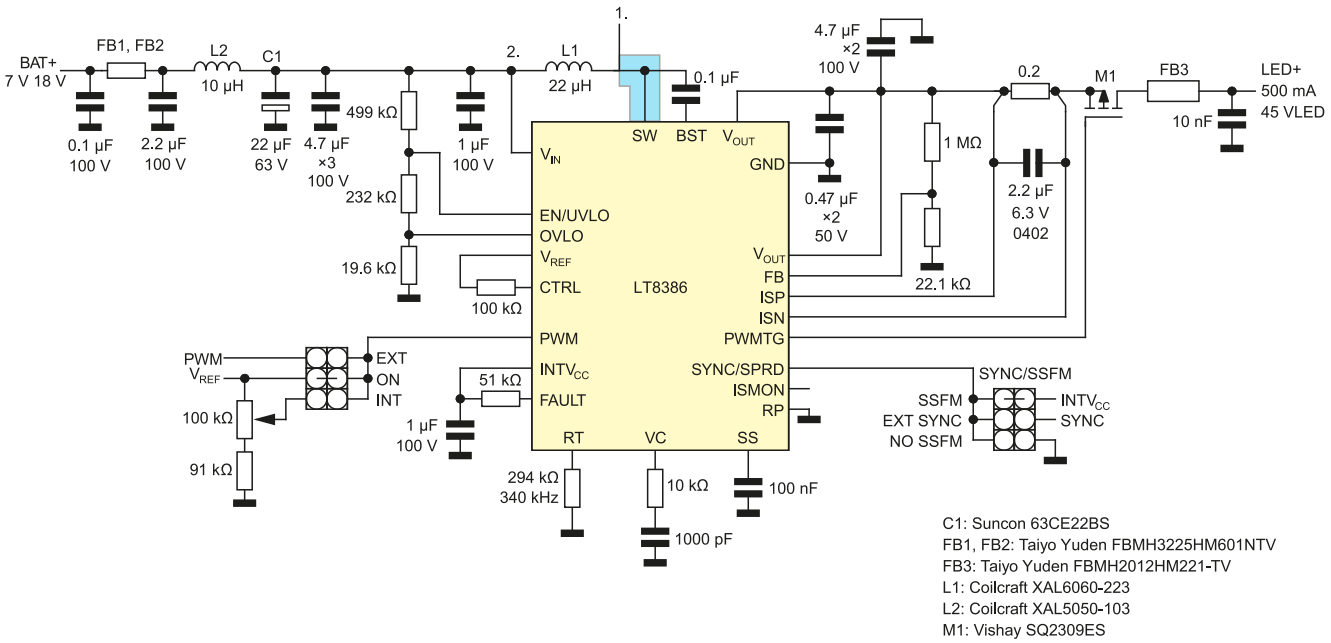
Co jednak można zrobić, jeżeli zastosowana przez nas cewka nie ma czytelnego oznaczenia polaryzacji? Orientację cewki można łatwo określić, jeśli producent tego elementu wskazuje różnicę w rozmiarze wewnętrznego zacisku za pomocą znaku lub kropki na oznaczeniach. Jeśli taka cewka zostanie wybrana do projektu, dobrze jest wskazać ten



Rysunek 8. Wpływ wyeksponowanego padu na boku cewki na poziom EMI

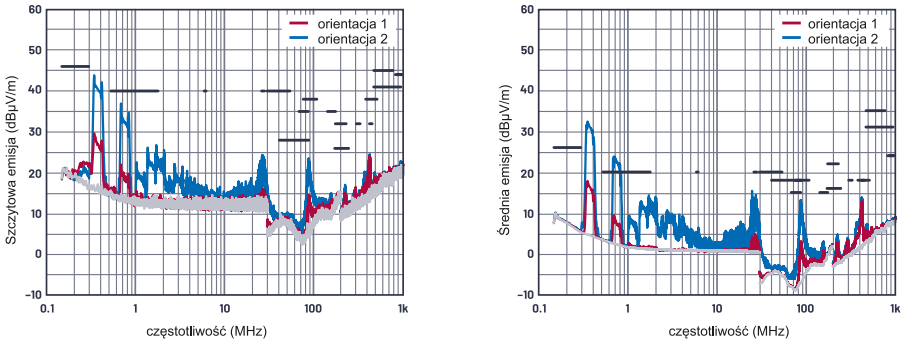


Fotografia 4. Dwie testowane orientacje cewki L1 na płytce demonstracyjnej przetwornicy

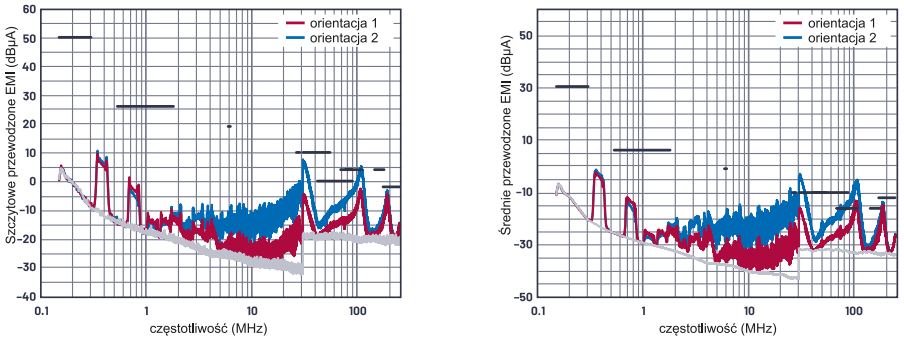


Rysunek 9. Schemat układu demonstracyjnego przetwornicy bazującej na LT8386

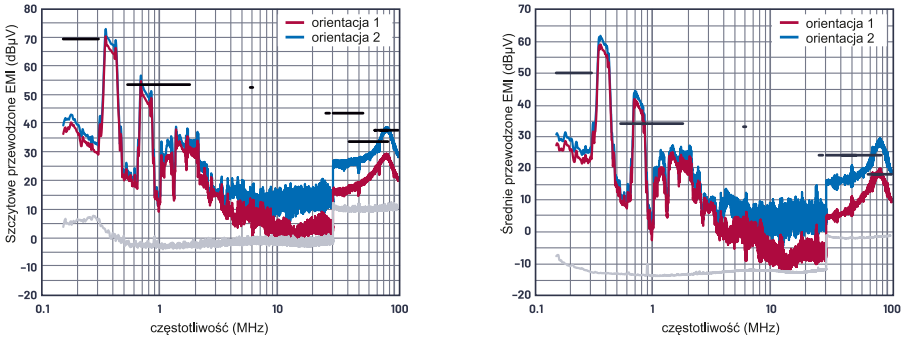
eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 10. Emisje promieniowania pokazują, że orientacja cewki ma znaczący wpływ na wyniki. Dzięki krótkiemu terminalowi podłączonemu do węzła SW (czerwona linia) EMI ulegają redukcji



Rysunek 11. Emisje przewodzone mierzone metodą sondy prądowej wykazują poprawę (>3 MHz) przy podłączonym krótszym doprowadzeniu cewki (czerwona linia) w porównaniu z alternatywną polaryzacją



Rysunek 12. Emisje przewodzone mierzone metodą napięciową wykazują poprawę powyżej (>3 MHz) przy podłączonym krótszym pinie cewki (czerwona linia) w porównaniu z alternatywną polaryzacją

znak na opisie PCB, schemacie montażu, a nawet na schemacie. Niestety, niektóre cewki nie mają wskaźnika polaryzacji. Struktura uzwojenia wewnątrz może być zbliżona do symetrycznej lub może występować znaczna różnica. Nie ma w tym złych intencji – producenci mogą nie zdawać sobie sprawy z wpływu kierunku montażu. Niezależnie od tego warto sprawdzić EMI w obu orientacjach cewki.

Podsumowanie

Projekt ścieżek na PCB, jak i orientacja montażu cewki indukcyjnej w układach impulsowych mają istotne znaczenie. Podczas pomiaru emisji należy zwrócić uwagę zarówno na ścieżki z sygnałami o wysokim di/dt, jak i na orientację cewki indukcyjnej. Finalnie należy również zadbać o rzeczy takie, jak powtarzalność montażu samych cewek i ich budowę.

Opisany powyżej sposób może być relatywnie prostym i niedrogim rozwiązaniem dla zoptymalizowania projektu systemu tak, żeby zredukować poziom zakłóceń elektromagnetycznych generowanych przez elektronikę w czasie pracy. Jest to konieczne, aby spełnić wymagania norm, potrzebnych do wprowadzenia urządzenia na rynek i jego bezpiecznej eksploatacji.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła:

- https://bit.ly/3vH2NCw
- Ch. Kueck, „Power Supply Layout and EMI", Linear Technology Application Note 139, October 2021
- https://bit.ly/3b65kNu
- D.J. Helfritch „Electromagnetic interference shielding by cold spray particle deposition", w: V.K. Champagne (red.) „The Cold Spray Materials Deposition Process: Fundamentals and Applications", Woodhead Publishing 2007

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

ELPORTAL.pl

www.elportal.pl

eprasa.pl 2b951cc363

Transformatory i elementy indukcyjne

Elementy indukcyjne są jedną z najbardziej niedocenianych grup podzespołów elektronicznych. Złożoność zjawisk elektromagnetycznych powoduje, że wielu elektroników odnosi się do nich z pewnym dystansem. Dodatkowo, rozwój elektroniki cyfrowej spowodował, że udział elementów indukcyjnych w torach sygnałowych istotnie zmalał. Jednak w miejsce niegdyś spotykanych aplikacji cewek, transformatorów i anten ferrytowych, weszły całkowicie nowe, niezwykle istotne zastosowania. W artykule omówimy funkcje i zastosowanie elementów indukcyjnych w nowoczesnej elektronice oraz wyjaśnimy ich budowę i najważniejsze parametry.

Elementy indukcyjne są jedną z podstawowych i zarazem najbardziej zróżnicowanych grup komponentów biernych. Choć statystycznie ich udział w wykazach elementów nowoczesnych urządzeń elektronicznych jest znacznie mniejszy niż w przypadku kondensatorów i rezystorów, to w żadnym wypadku nie należy bagatelizować cewek, dławików czy transformatorów. Ich brak lub niewłaściwy dobór może stać się źródłem złożonych problemów – począwszy od niestabilności pracy układów cyfrowych i analogowych, poprzez obniżoną wydajność obwodów zasilania, aż po negatywne werdykty badań, wydane przez laboratoria EMC w procesie certyfikacji urządzeń wprowadzanych na rynek.

Główne obszary zastosowań elementów indukcyjnych

Zanim przejdziemy do opisu poszczególnych zagadnień technicznych dotyczących elementów indukcyjnych, spróbujmy wymienić najważniejsze obszary zastosowań tych komponentów.

1. **Filtracja i odsprzęganie zasilania** – proporcjonalny (w pewnym zakresie) wzrost impedancji elementów indukcyjnych wraz ze wzrostem częstotliwości pozwala efektywnie separować źródła szerokopasmowych zakłóceń (np. zasilacze impulsowe) od obwodów podatnych na szybkozmienne wahania napięcia zasilania. Szeregowe dławiki włączone na liniach zasilania umożliwiają sprawne tłumienie fluktuacji, często przy niemal pomijalnych stratach energetycznych w zakresie napięć (prądów) DC. Warto dodać, że konieczność tłumienia zakłóceń dotyczy nie tylko wyjść zasilania (np. punktu podłączenia układu obciążenia do zasilacza), ale także wejść – na producentach urządzeń sieciowych spoczywa bowiem normatywny obowiązek redukcji zakłóceń przewodzonych, wprowadzanych przez odbiornik do sieci energetycznej.
2. **Filtracja EMI sygnałów analogowych i cyfrowych** – elementy indukcyjne świetnie nadają się do filtracji wysokoczęstotliwościowych zakłóceń w obwodach sygnałowych. Dotyczy to zarówno układów analogowych, jak i cyfrowych – w tym nawet szybkich interfejsów komputerowych (np. USB). Rodzaj i topologia połączeń zastosowanych elementów zależy nie tylko od pasma i rodzaju sygnałów, ale także od typu tłumionych zakłóceń (współbieżnych lub różnicowych). Nie sposób nie wspomnieć także o specyficznym zakresie zastosowań, jakim są filtry wyjściowe wzmacniaczy audio, pracujących w klasie D. Okazuje się bowiem, że pomimo użycia nowoczesnych układów z wyjściami binarnymi, nadal w większości przypadków konieczne jest zastosowanie konwencjonalnych filtrów redukujących szerokopasmowe zakłócenia EMI, generowane przez tego typu końcówki mocy (na marginesie warto dodać, że istnieje dość obszerna grupa wzmacniaczy klasy D, które – teoretycznie – mogą pracować bez dodatkowych filtrów pasywnych).
3. **Przetwornice AC/DC i DC/DC** – przeważająca większość przetwornic impulsowych korzysta ze zdolności dławików do magazynowania energii w postaci pola magnetycznego i ponownego oddawania jej do obwodu w formie energii elektrycznej. Choć istnieją przetwornice pozbawione elementów indukcyjnych (tzw. pompy ładunkowe, ang. *charge pump*), to ich zastosowania są mocno ograniczone, szczególnie z uwagi na małą wydajność prądową. Powszechnie używaną metodą zmniejszenia wymiarów (a zatem także i kosztów) dławików w przetwornicach DC/DC jest wykorzystanie układów kluczowania o wysokiej częstotliwości (od kilkuset kiloherców do pojedynczych megaherców).
4. **Separacja galwaniczna** – zastosowanie transformatora, będącego w istocie dwiema cewkami na wspólnym magnetowodzie, pozwala na wprowadzenie do obwodu niezbędnej – głównie z uwagi na wymogi bezpieczeństwa – separacji galwanicznej pomiędzy siecią energetyczną a obwodami wtórnymi. Choć klasyczne zasilacze transformatorowe mają istotne wady – do których należą spore rozmiary i masa – to ich całkowite wyeliminowanie na rzecz nowocześniejszych i bardziej efektywnych zasilaczy impulsowych okazuje się jak na razie niemożliwe. Wiedzą o tym doskonale m.in. twórcy systemów audio, którzy nadal chętnie wykorzystują spore transformatory (zwykłe lub toroidalne) do budowy niskoszumowych zasilaczy dla wzmacniaczy, amplitunerów i innych układów audio. Do elementów niezbędnych do zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa elektrycznego operatorów i innych użytkowników urządzeń elektronicznych należy zaliczyć także transformatory bezpieczeństwa.
5. **Przetwarzanie napięć i pomiary prądów przemiennych** – transformatory są też chętnie stosowane w układach wymagających bezpośredniego przetwarzania napięć/prądów pomiędzy dwoma obwodami. Przykładem mogą być generatory wysokiego napięcia, których praktyczna realizacja bez użycia transformatorów o odpowiednio dużej przekładni wymagałaby zastosowania (stosunkowo mało efektywnych) powielaczy pojemnościowych bądź innych, bardziej „egzotycznych" rozwiązań. Innym przykładem użycia elementów indukcyjnych są przekładniki prądowe, umożliwiające dość prosty i – co chyba najważniejsze – nieinwazyjny oraz bezpieczny pomiar nawet sporych natężeń prądu, zwłaszcza w zastosowaniach energoelektronicznych. Osobną kategorię stanowią autotransformatory, pełniące funkcję swego rodzaju „dzielników napięcia", wykorzystywanych do płynnej regulacji napięć sieciowych.
6. **Układy dopasowania w torach RF** – pomimo sporego stopnia integracji współczesnych front-endów radiowych (RF), zastosowanie układów LC okazuje się nieodzowne w większości transceiverów radiowych. Wystarczy spojrzeć na dowolny schemat

eprasa.pl 2b951cc363

aplikacyjny mikrokontrolerów „radiowych" lub nadajników/odbiorników ISM, by przekonać się, że układy symetryzatorów (*balun*) oraz pozostałe obwody peryferyjne nie mogą obejść się bez (niewielkich) indukcyjności.

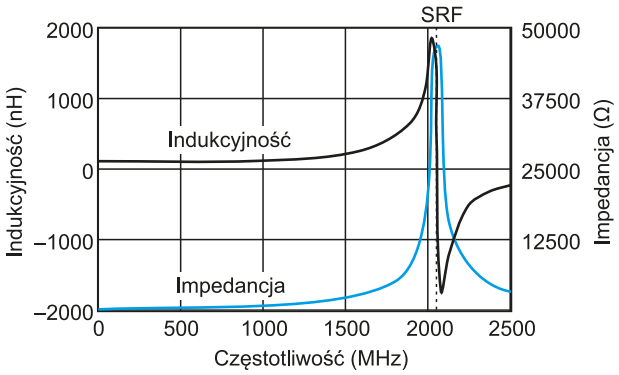
7. **Anteny RFID i cewki zasilania indukcyjnego** – istotną grupą elementów indukcyjnych (co ciekawe – często produkowanych w postaci ścieżek na PCB docelowego urządzenia) są anteny RFID/NFC. Pełnią one jednocześnie funkcję anteny nadawczo-odbiorczej oraz cewki, stanowiącej element toru zasilania indukcyjnego (w przypadku tagów, czyli transponderów niewyposażonych w wewnętrzne źródło energii). Osobną kategorię stanowią (pozornie zbliżone do ww. anten pod względem konstrukcji i wymiarów) cewki, przeznaczone do realizacji układów zasilania, a raczej – ładowania indukcyjnego. Bezdotykowy przekaz energii w postaci szybkozmiennego pola magnetycznego jest dziś szczególnie obiecującą aplikacją podstawowych zasad elektromagnetyzmu w urządzeniach mobilnych, medycznych i wielu innych.
8. **Czujniki indukcyjne** – niewielkie cewki są stosowane w układach rezonansowych, współpracujących z detektorami zbliżeniowymi, przyciskami indukcyjnymi, czy też… wykrywaczami metalu. W każdym z wymienionych przypadków cewka jest używana do detekcji niewielkich zmian indukcyjności, spowodowanych obecnością (w jej pobliżu) materiału o określonych właściwościach magnetycznych. Zakres zastosowań komponentów indukcyjnych rozciąga się zatem od precyzyjnych czujników stosowanych w automatyce przemysłowej aż po innowacyjne interfejsy użytkownika, całkowicie niepodatne na zakłócenia spowodowane wilgocią (co stanowi główną bolączkę niemal wszystkich klawiatur i ekranów pojemnościowych).
9. **Front-endy sieci Ethernet** – specjalna grupa transformatorów, zdolnych do pracy z sygnałami o wysokiej częstotliwości, jest stosowana w obwodach wejściowych interfejsów Ethernet. Co ważne, oprócz separacji galwanicznej i dostosowania sygnałów generowanych przez układy cyfrowe do wymogów linii przesyłowej (skrętki), coraz więcej front-endów ethernetowych jest zdolnych także do przekazu energii elektrycznej, służącej do zasilania zdalnych urządzeń sieciowych (tzw. PoE – *Power-over-Ethernet*).
10. **Zwrotnice audio** – specjalne rodzaje cewek stosuje się w zwrotnicach audio, będących niezbędnymi elementami wielotorowych kolumn głośnikowych i służących do rozdzielania sygnału wyjściowego wzmacniacza na poszczególne pasma częstotliwościowe, obsługiwane przez głośniki nisko-, średnio- i wysokotonowe.

Warto zauważyć, że w żadnym wypadku nie należy traktować tej listy jako wyczerpującego podsumowania zastosowań elementów indukcyjnych – kolejne przykłady można bowiem mnożyć, analizując konkretne obszary aplikacji. W artykule przyjrzymy się zatem wybranym, naszym zdaniem – najbardziej reprezentatywnym przykładom użycia cewek i transformatorów w nowoczesnych urządzeniach elektronicznych, zwrócimy też uwagę na praktyczne aspekty aplikacyjne i niektóre pułapki, w jakie najczęściej wpadają projektanci.

Podstawowe parametry dławików – L, R_{DC}, I_R, I_{SAT}, Q, f_R

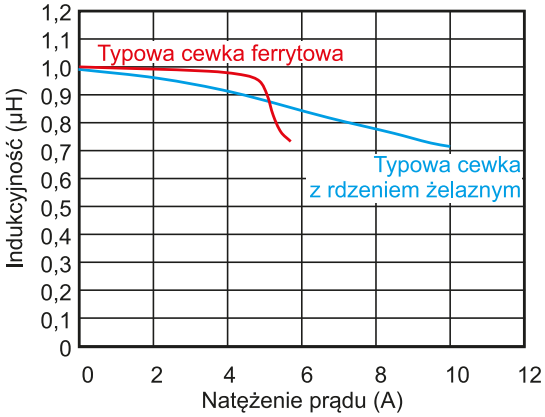
- **Indukcyjność L [H]** – w przypadku elementów indukcyjnych główny parametr jest (w zdecydowanej większości przypadków) określony ze znacznie szerszą tolerancją, niż ma to miejsce w przypadku rezystorów, a nawet wielu mniejszych kondensatorów. Trudno znaleźć dławiki o tolerancji lepszej niż 1%, choć należy uczciwie przyznać, że dziś rzadko istnieje konieczność stosowania elementów o tak wysokiej dokładności. Dławiki 1-procentowe (np. seria LQW2UASxxxF marki Murata – **fotografia 1**) spotykamy głównie w zakresie najmniejszych indukcyjności (rzędu mikro- i nanohenrów), a jednym z najważniejszych obszarów ich zastosowań są wszelkiej maści układy radiowe. Warto jednak pamiętać, że indukcyjność nie jest parametrem stałym, gdyż zależy nie tylko od temperatury, ale także od szeregu innych czynników, w tym częstotliwości (**rysunek 1**) – w miarę zbliżania się do częstotliwości rezonansowej indukcyjność rośnie, a po jej przekroczeniu element indukcyjny zaczyna mieć charakter… pojemnościowy.

Fotografia 1. Dławik RF z serii LQW2U marki Murata



Rysunek 1. Zależność indukcyjności i impedancji od częstotliwości dla przykładowego dławika RF

- **Rezystancja stałoprądowa R_{DC} [Ω]** – wartość rezystancji, zmierzona dla prądu stałego, tj. z pomięciem reaktancji (zależnej od częstotliwości). R_{DC} jest bezpośrednio odpowiedzialna za straty energii w układach zasilania, np. w dławikach szeregowych, służących do filtrowania linii zasilających, bierze też istotny udział w ograniczaniu sprawności przetwornic DC/DC.
- **Prąd maksymalny I_R [A]** – maksymalna dopuszczalna wartość prądu stałego, podawana zwykle dla określonego wzrostu temperatury uzwojenia (np. o 40°C względem temperatury otoczenia) i wynikająca z rezystancji stałoprądowej R_{DC} oraz konstrukcji dławika, od której zależy wypadkowa zdolność rozpraszania ciepła.
- **Prąd nasycenia I_{SAT} [A]** – bardzo ważnym parametrem cewek jest – szczególnie w aplikacjach układów zasilania – prąd nasycenia (saturacji). W przypadku dławików mocy (o wysokiej wartości I_R) można dojść do sytuacji, w której przekroczenie pewnej wartości prądu powoduje osiągnięcie tak silnego strumienia magnetycznego w otoczeniu uzwojenia, że cewka nie jest już w stanie proporcjonalnie zareagować na dalsze zwiększanie natężenia prądu. Co ciekawe, o ile w przypadku dławików z klasycznymi rdzeniami ferrytowymi zjawisko to następuje dość gwałtownie (w szerokim zakresie natężeń indukcyjność pozostaje jednak względnie stała), o tyle cewki wykonane na bazie magnetowodów żelaznych oraz



Rysunek 2. Zależność indukcyjności od natężenia prądu dla cewek z rdzeniem ferrytowym i żelaznym

eprasa.pl 2b951cc363

kompozytowych wykazują liniowy spadek indukcyjności praktycznie od początku zakresu pracy (**rysunek 2**).

- **Dobroć Q** – dobroć elementu indukcyjnego jest ilorazem jego reaktancji indukcyjnej oraz rezystancji szeregowej (1), co oznacza, że w każdym przypadku należy podawać jej wartość dla danej częstotliwości (lub zakresu pasma):

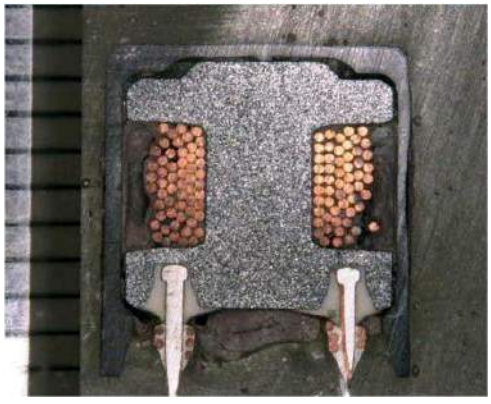
$$Q = \frac{2\pi fL}{R} \quad (1).$$

Wysoka dobroć nie tylko pozytywnie wpływa na sprawność układów dużej mocy, ale także poprawia działanie filtrów sygnałowych, pozwalając uzyskać lepszą kontrolę nad kształtem charakterystyki częstotliwościowej. Warto zwrócić uwagę na fakt, że na rezystancję R składa się nie tylko wspomniana wcześniej R_{DC}, ale także wszelkie efekty fizyczne zależne od częstotliwości, które zwiększają straty energii – przykładem może być efekt naskórkowości, straty w rdzeniu, czy też prądy wirowe.

- **Częstotliwość rezonansu własnego f_R (in. SRF) [Hz]** – pasożytnicza pojemność, w połączeniu z indukcyjnością, tworzy obwód LC o określonej częstotliwości rezonansowej. Przy wyborze dławika należy zatem tak dobrać jego rodzaj i indukcyjność, by nawet w najbardziej niekorzystnych warunkach pracy uniknąć wprowadzania elementu indukcyjnego w samorzutne drgania, gdyż w zdecydowanej większości przypadków taka cewka... przeszkodzi, zamiast pomóc w prawidłowej pracy projektowanego układu (np. zwiększy poziom zakłóceń RFI, zdestabilizuje układ wzmacniacza czy też wprowadzi efekt „dzwonienia" w rejonie ostrych zboczy sygnałowych). Nie należy przy tym zapominać o wyższych harmonicznych sygnałów, z którymi pracuje dane urządzenie.

Fotografia 2. Przekrój podłużny dławika osiowego

Fotografia 3. Przykładowe dławiki radialne THT



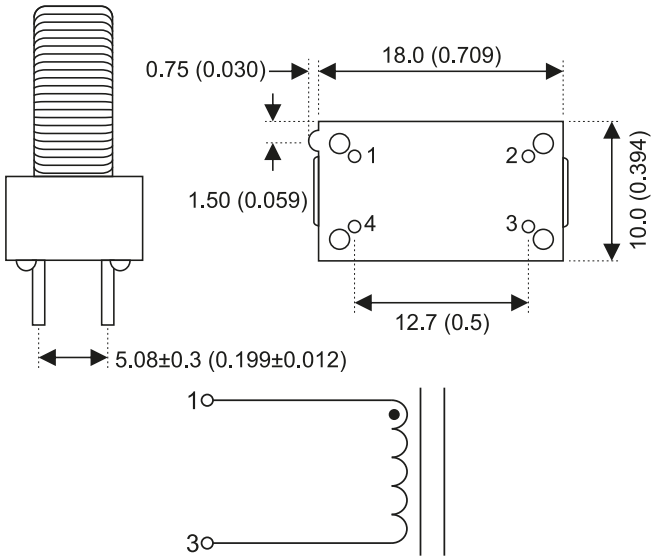
Fotografia 4. Przekrój dławika radialnego

Obudowy dławików

Zgrubny i oczywisty podział prostych, pojedynczych (jednouzwojeniowych) dławików na elementy przewlekane i przeznaczone do montażu powierzchniowego niewiele wnosi, gdyż rozrzut stosowanych w praktyce odmian tych elementów jest – jak przystało na komponenty pasywne – naprawdę spory. Wśród elementów THT najpopularniejsze są dławiki małej i średniej mocy, produkowane w obudowach osiowych (o kształcie i rozmiarach porównywalnych z konwencjonalnymi rezystorami – **fotografia 2**) i radialnych (**fotografie 3** i **4**), a także cewki dużej mocy, nawijane na niewielkich rdzeniach pierścieniowych, w wersji z podstawką izolacyjną lub z końcówkami uzwojenia lutowanymi bezpośrednio w otworach płytki drukowanej. Warto zwrócić uwagę na fakt, że w niemal identycznych obudowach mogą występować zarówno dławiki pojedyncze, jak i pary uzwojeń (np. tzw. dławiki sygnału współbieżnego) – przed zastosowaniem lub wymianą dławika należy się zatem upewnić co do rzeczywistego układu połączeń. Przykład pojedynczego dławika, łudząco podobnego do miniaturowego transformatora, został pokazany na **fotografii 5** i **rysunku 3**. Schemat ujawnia fakt, że dwa spośród czterech wyprowadzeń pozostają niepodłączone i stanowią jedynie dodatkową stabilizację montażową. W przypadku dławików (szczególnie z wyprowadzeniami radialnymi) wyposażonych w tworzywowe lub epoksydowe podstawy warto pamiętać, że wielokrotne przelutowywanie lub wykonywanie montażu w zbyt wysokiej temperaturze może łatwo uszkodzić stosunkowo delikatne otoczenie pinów lutowniczych, powodując ich obluzowanie i nieodwracalne uszkodzenie.

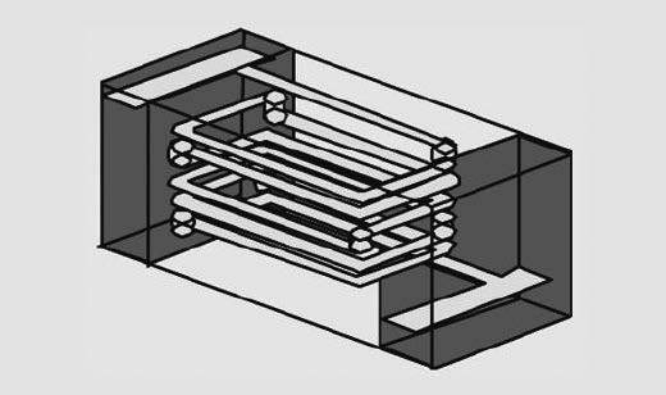
Fotografia 5. Dławik z serii 3200 marki Murata

W świecie dławików SMD zróżnicowanie form konstrukcyjnych jest znacznie większe – tutaj także małe cewki występują w obudowach o rozmiarach podstawy zgodnych ze standardami panującymi wśród rezystorów i kondensatorów (np. 0402, 0603 czy 0805). W takich przypadkach mamy zwykle do czynienia z wielowarstwowymi dławikami ceramicznymi (**rysunek 4**) lub miniaturowymi cewkami z klasycznym uzwojeniem (**fotografia 6**), choć w zakresie bardzo niskich indukcyjności można także spotkać tzw. dławiki cienkowarstwowe, w których całość uzwojenia jest wykonana w postaci planarnej spirali, naniesionej



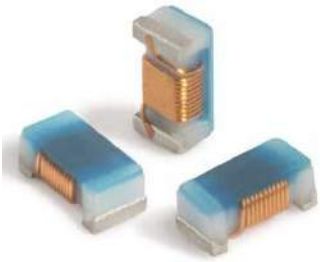
Rysunek 3. Rzeczywisty układ połączeń dławika z serii 3200 marki Murata

eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 4. Struktura dławika wielowarstwowego

na ceramiczne podłoże (**fotografia 7**). Ostatnia z wymienionych grup elementów indukcyjnych jest przeznaczona do pracy w systemach RF, oferuje bowiem szerokie pasmo częstotliwości roboczych (rezonans własny na poziomie rzędu nawet kilkudziesięciu GHz). Należy pamiętać, że elementy indukcyjne w obudowach o rozmiarze 1206 lub większym zwykle są nieco wyższe niż np. kondensatory o analogicznym footprincie – choć w wielu układach nie będzie to stanowiło przeszkody, to w przypadku niewielkich, niskoprofilowych urządzeń (np. ubieralnych) może się okazać pewnym wyzwaniem. Przykład został pokazany na **fotografii 8** – dławik marki Murata z serii LQW31HN osiąga wysokość nawet do 2,0 mm przy układzie padów zaczerpniętym ze standardu calowego 1206.



Fotografia 6. Przykładowe dławiki nawijane w obudowach 0402 – seria 0402CT marki Coilcraft

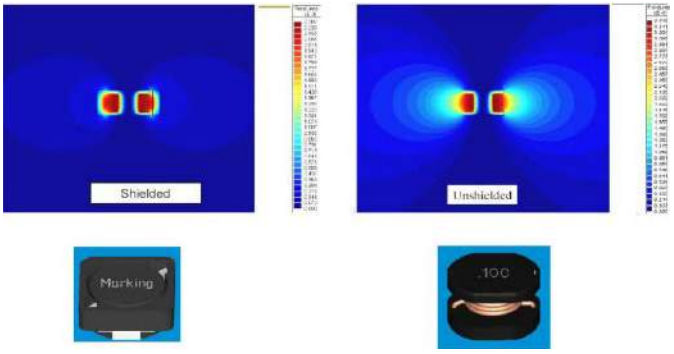
Dławiki ekranowane vs nieekranowane

Warto zauważyć, że bardzo istotny udział w rynku dławików mocy do montażu SMT mają obecnie cewki w wersjach z częściowym lub pełnym ekranowaniem. Podstawowym celem i największą zaletą dławików ekranowanych jest znaczna redukcja natężenia generowanych zakłóceń elektromagnetycznych – w stosunku do dławików nieekranowych oraz z ekranem niepełnym (**rysunek 5**). Spadek poziomu RFI ma znaczenie nie tylko dla poprawy warunków pracy elementów i obwodów znajdujących się wokół samego dławika, ale także bezpośrednio przekłada się na wyniki badań emisji elektromagnetycznej urządzeń (**rysunek 6**), a to może nie tylko zaoszczędzić sporo stresu producentowi, ale także zmniejszyć koszty oraz skrócić czas komercjalizacji projektu.

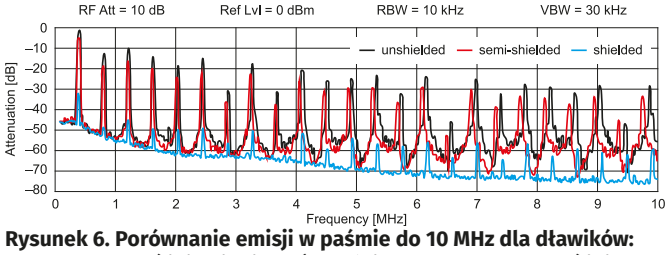
Dławiki z ekranowaniem niepełnym (**rysunek 7**) są natomiast swego rodzaju kompromisem pomiędzy poziomem zakłóceń, emitowanych przez cewkę, a kosztami, wprowadzanymi przez nią do wykazu elementów (BOM) projektu. Elementy ekranowane nie są bowiem pozbawione pewnych wad, z których – oprócz wyraźnie wyższej ceny – warto wymienić znacząco gorszą charakterystykę indukcyjności

Fotografia 7. Subminiaturowy dławik cienkowarstwowy w rozmiarze 0201

Fotografia 8. Dławik z serii Murata LQW31HN o rozmiarze 1206 i wysokości do 2,0 mm

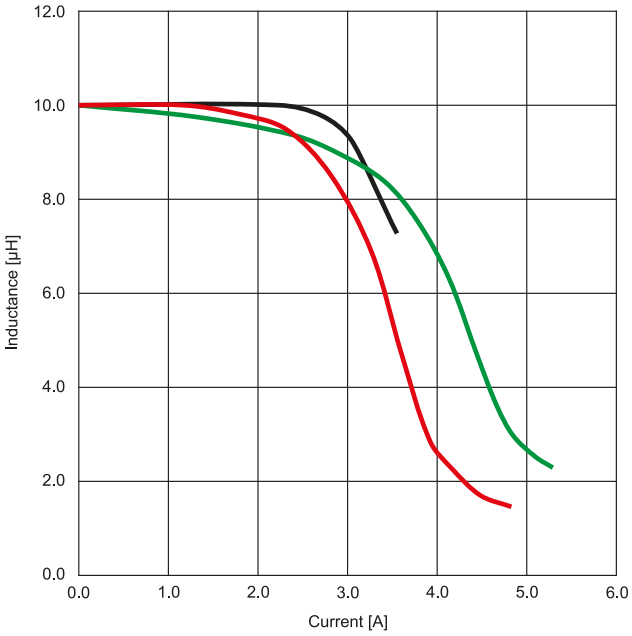


Rysunek 5. Natężenie pola elektromagnetycznego wokół analogicznych modeli dławików z ekranowaniem (po lewej) oraz bez ekranu (po prawej)



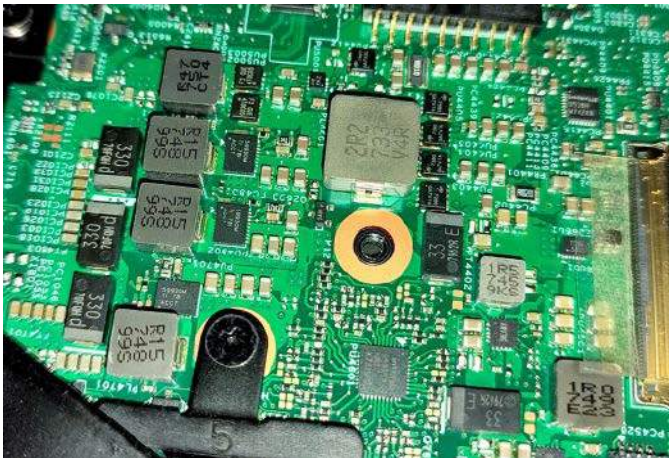
Rysunek 6. Porównanie emisji w paśmie do 10 MHz dla dławików: ekranowanego (linia niebieska), częściowo ekranowanego (linia czerwona) oraz pozbawionego ekranowania (linia czarna)

Rysunek 7. Przykładowa rodzina dławików z ekranowaniem częściowym marki Bourns



Rysunek 8. Porównanie charakterystyk saturacji dławików SMD: nieekranowanego (linia czarna), częściowo ekranowanego (linia zielona) oraz w pełni ekranowanego (linia czerwona)

eprasa.pl 2b951cc363



Fotografia 9. Sekcja zasilania laptopa marki Dell – widoczne są liczne (7 szt.) dławiki z pełnym ekranowaniem, współpracujące z przetwornicami DC/DC

w funkcji natężenia prądu. Na **rysunku 8** zestawiono wykresy saturacji dla trzech różnych dławików firmy Würth Elektronik – z przedstawionych danych jasno wynika, że im „dokładniej" ekranowany jest dławik, tym szybciej spada jego indukcyjność w funkcji natężenia prądu. Można więc przyjąć następujące, zgrubne reguły doboru dławików SMD:

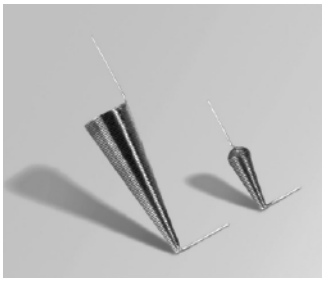
- **dławiki ekranowane** najlepiej jest stosować w układach impulsowych, w szczególności w przetwornicach DC/DC; stanowią one swoiste „must have" w układach o dużej skali upakowania elementów (z uwagi na redukcję zakłóceń przenoszonych na okoliczne komponenty), stąd szerokie rozpowszechnienie takich podzespołów w sekcjach zasilania urządzeń komputerowych (**fotografia 9**);
- **dławiki nieekranowane** lepiej sprawdzają się w układach pracujących z niższymi częstotliwościami, a nade wszystko – nienarażonymi na głęboko modulowane przebiegi prądu. W aplikacjach analogowych i cyfrowych dobrym przykładem zastosowania cewek nieekranowanych będą filtry linii zasilania DC – np. w obwodach zasilania analogowego (AVCC) mikrokontrolerów. Dodatkową zaletą będą w takich przypadkach także mniejsze wymiary komponentów nieekranowanych w porównaniu z dławikami częściowo lub całkowicie ekranowanymi;
- **dławiki z częściowym ekranowaniem** stanowią kompromis pomiędzy obydwiema ww. grupami, i to zarówno pod względem emisji zakłóceń, jak i ceny oraz charakterystyki nasycenia rdzenia.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że – z uwagi na niskie pasmo częstotliwości i znacznie większe prądy robocze, filtry sieciowe korzystają zwykle albo z przewlekanych, walcowych dławików nieekranowanych, albo z cewek z rdzeniem toroidalnym. Co ciekawe, cewki o takiej konstrukcji sprawdzają się doskonale też w dużych przetwornicach impulsowych, gdyż pomimo braku ekranowania znaczna część strumienia magnetycznego i tak zamyka się wewnątrz rdzenia.

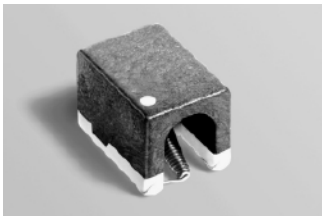
Dławiki do zastosowań RF – baluny (symetryzatory)

Z oczywistych przyczyn, we współczesnych układach radiowych (np. modułach Wi-Fi, Bluetooth, nadajnikach/odbiornikach ISM, a także układach mikrofalowych) stosowane są głównie niewielkie dławiki RF w wersji SMD. Elementy te stanowią swego rodzaju odrębną kategorię, są bowiem silnie zoptymalizowane pod kątem zapewnienia możliwie najlepszych parametrów, wymaganych w urządzeniach RF (w tym bardzo wysokiej dobroci). Oprócz wspomnianych wcześniej dławików cienkowarstwowych lub wielowarstwowych, w układach w.cz. mogą być stosowane także niektóre dławiki nawijane – przykładowo firma Coilcraft oferuje rodzinę cewek SMD o nazwie 026011C; przy rozmiarze obudowy 0201 i zakresie indukcyjności od 0,75 nH do 75 nH elementy te oferują częstotliwość rezonansu własnego równą nawet 34 GHz (!), nadają się zatem do pracy w paśmie mikrofalowym X (ok. 7...11 GHz), a nawet wyżej.

Interesującą grupę elementów indukcyjnych stanowią szerokopasmowe dławiki stożkowe. Zgodnie z nazwą uzwojenie nie ma w tym przypadku kształtu walca, ale... stożka (**fotografia 10**) – taka nietypowa konstrukcja umożliwia pracę w paśmie do nawet 40 GHz, zaś głównym zastosowaniem tych elementów są układy zwane *bias tee* – umożliwiające przesył prądu stałego do zasilania zdalnych układów po przewodzie koncentrycznym, współdzielonym z sygnałem mikrofalowym. Marka Coilcraft zadbała zresztą nawet o wersję cewek stożkowych, przeznaczoną do montażu powierzchniowego (**fotografia 11**).

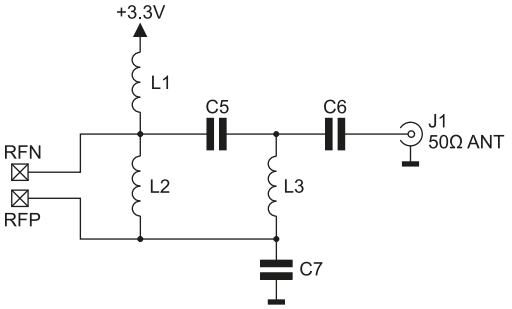


Fotografia 10. Szerokopasmowe cewki stożkowe do montażu ręcznego marki Coilcraft



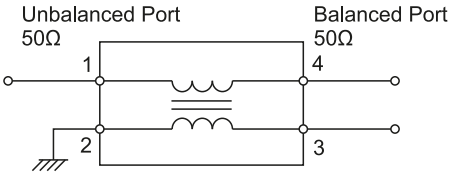
Fotografia 11. Cewka stożkowa do montażu SMT

Jednymi z najczęściej stosowanych elementów indukcyjnych w konstrukcjach telekomunikacyjnych są obecnie symetryzatory (ang. *balun*). Zadaniem symetryzatora jest dopasowanie impedancji i rodzaju wejść/wyjść dwóch różnych obwodów lub elementów urządzenia – przykładem mogą być popularne transceivery na pasmo ISM, wyposażone w zbalansowane linie do podłączenia anteny. Aby móc przyłączyć antenę (np. mikropaskową antenę pętlową) do wyjścia nadajnika (lub wejścia odbiornika), należy „zmienić" charakter interfejsu ze zbalansowanej pary pinów na pojedyncze (niezbalansowane) wejście/wyjście o zadanej impedancji, dopasowanej do impedancji anteny (np. 50 Ω). Symetryzator można wykonać z kilku elementów dyskretnych – przykład został pokazany na **rysunku 9**. Jednak zwykle znacznie bardziej opłacalne z projektowego punktu widzenia okaże się zastosowanie gotowego baluna w postaci miniaturowego transformatora (**rysunek 10**). Co ważne, współczesne symetryzatory dostępne są w miniaturowych wykonaniach SMD, stąd doskonale wpasowują się



Freq.	L1	L2	L3	C5	C6	C7
868 MHz	390 nH	33 nH	47 nH	2.7 pF	68 pF	5.1 pF
433 MHz	100 nH	8.2 nH	22 nH	1.2 pF	27 pF	2.7 pF
915 MHz	100 nH	8.2 nH	22 nH	1.2 pF	27 pF	2.7 pF

Rysunek 9. Przykład symetryzatora antenowego złożonego z elementów dyskretnych, współpracującego z transceiverem ISM MRF49XA firmy Microchip



Rysunek 10. Schemat aplikacyjny zintegrowanego symetryzatora

eprasa.pl 2b951cc363

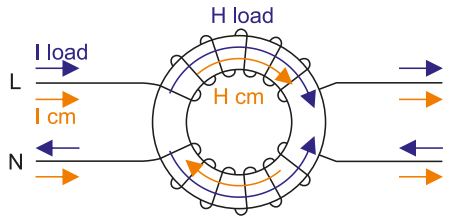
w trend kompaktowych urządzeń IoT – przykładowy balun marki TDK o wymiarach zaledwie 2×1,2×1,2 mm został pokazany na **fotografii 12**.

Fotografia 12. Przykładowy symetryzator do montażu SMT – ATB2012-75011-T marki TDK

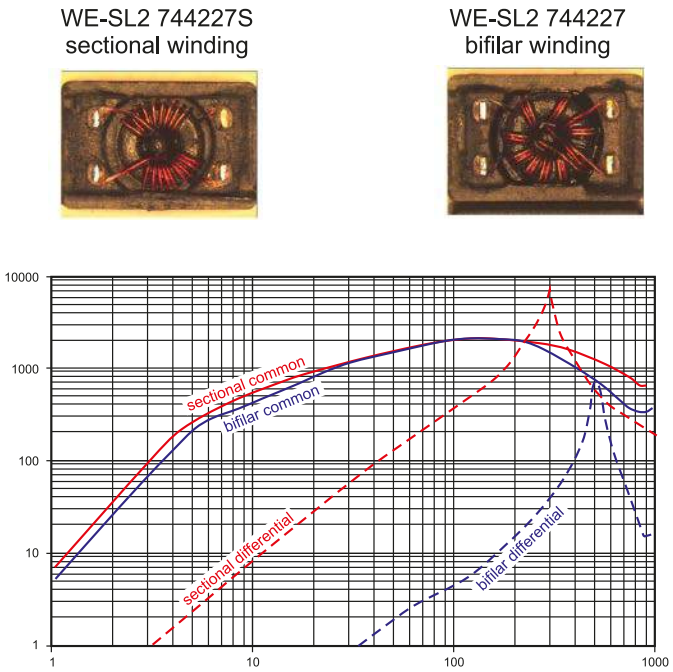
Dławiki do tłumienia sygnału współbieżnego

W wielu aplikacjach konieczne okazuje się tłumienie zakłóceń, pojawiających się jednocześnie na dwóch liniach zasilania bądź liniach sygnałowych – dobrą ilustracją dla tego typu rozwiązania mogą być zasilacze sieciowe (szczególnie impulsowe) czy też pary różnicowe interfejsów cyfrowych (np. USB, DVI, HDMI, itd). Tłumienie takich zakłóceń określa się filtracją w trybie współbieżnym (ang. *common mode*, CM), dla odróżnienia od filtracji poszczególnych linii (tryb różnicowy). W przypadku szybkich linii danych istotne okazuje się zapewnienie możliwie efektywnego tłumienia sygnału współbieżnego przy niemal pomijalnym wpływie filtra CM na integralność sygnałową, w tym przede wszystkim na impedancję charakterystyczną, opóźnienia (hazardy czasowe) pomiędzy liniami czy też wprowadzaną do układu pasożytniczą pojemność.

Doskonałym i zarazem bardzo prostym (pod względem konstrukcyjnym) rozwiązaniem problemu zakłóceń współbieżnych jest zastosowanie dławików CM, zwanych zwykle *common mode chokes*. Zasada ich działania opiera się na „selektywnym" tłumieniu tylko tych sygnałów, które pojawiają się jednocześnie na obu liniach wejściowych



Rysunek 11. Schematyczne przedstawienie zasady działania dławika trybu wspólnego dla sygnałów różnicowych (ILOAD) i wspólnych (ICM)



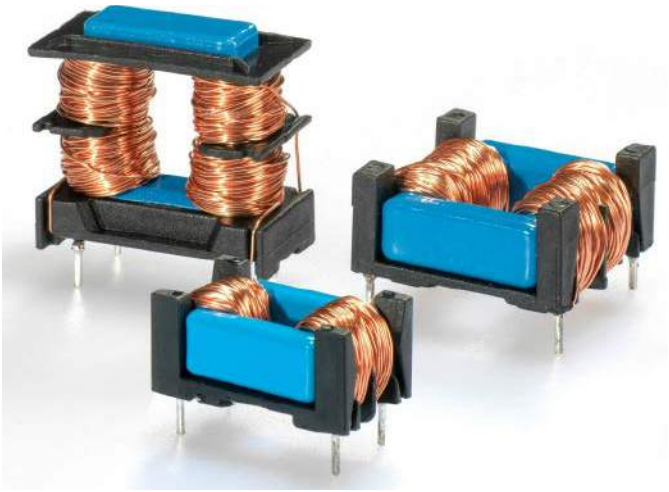
Rysunek 12. Porównanie charakterystyk tłumienia sygnałów różnicowych i wspólnych w dławikach CM z uzwojeniem sekcyjnym i bifilarnym

dławika i jednocześnie przepuszczaniu (w możliwie niezmienionej postaci) sygnału wprowadzanego na jedno z uzwojeń dławika oraz odpowiadającego mu prądu powrotnego, płynącego przez drugie uzwojenie. Na **rysunku 11** zaprezentowano schematycznie budowę dławika CM wraz z ostrzałkowaniem prądów trybu wspólnego, czyli zakłóceń (I_{CM}) i różnicowego, czyli prądu obciążenia (I_{LOAD}). Wektory pola (H_{LOAD}) generowanego przez prąd I_{LOAD} w obu uzwojeniach dławika znoszą się w magnetowodzie, co powoduje, że indukcyjność elementu, mówiąc w dużym przybliżeniu, „nie jest widziana" przez ów sygnał. Z drugiej strony, pola (H_{CM}) generowane przez prąd I_{CM} mają kierunek zgodny, co powoduje dodatkowe wzmocnienie efektu działania dławika na tłumienie niepożądanych sygnałów.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że dławiki CM występują w dwóch zasadniczych konfiguracjach, zależnych od sposobu nawinięcia uzwojeń na rdzeń. W przypadku, gdy obydwa uzwojenia są nawinięte jako dwie osobne, w pełni rozdzielne sekcje (tj. po przeciwnych stronach rdzenia), mamy do czynienia z tzw. *sectional winding*. Inną możliwością jest zastosowanie topologii bifilarnej, w której poszczególne druty nawojowe są prowadzone równolegle na całym obwodzie rdzenia (*bifilar winding*). Porównanie obu takich układów zostało pokazane na **rysunku 12**. Co ciekawe, o ile charakterystyki tłumienności w trybie wspólnym są niemal identyczne dla obu tych topologii, znaczne różnice ukazują się w przebiegu charakterystyk dla trybu różnicowego – uzwojenie bifilarne znacznie słabiej tłumi sygnały różnicowe, dzięki czemu w szerokim zakresie praktycznie nie wpływa ono na użyteczne sygnały, filtrowane za pomocą dławika. Z tego też względu dławiki sieciowe trybu wspólnego (**fotografia 13**) wykonywane są zwykle w wersji z uzwojeniami sekcyjnymi, gdyż ten sam element jest w stanie zapewnić efektywne tłumienie zakłóceń współbieżnych i jednocześnie dodatkowo stłumić sygnały różnicowe na liniach zasilania.

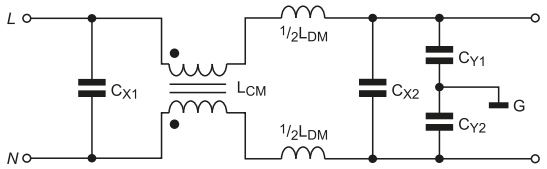
Jakkolwiek dławiki CM stanowią podstawowe wyposażenie filtrów sieciowych EMI, to tłumienie zakłóceń różnicowych jest zwykle i tak realizowane przez dodatkowe dławiki szeregowe. Przykładową topologię filtru LC, złożonego z elementów dyskretnych, pokazano na **rysunku 13**. Producenci szybko dostrzegli jednak podstawową wadę tego typu układów – wymagają one stosowania dwóch, a nawet trzech osobnych elementów indukcyjnych, z których każdy – z uwagi na wymogi dot. minimalnej niezbędnej indukcyjności i sporego prądu

Fotografia 13. Dławiki sieciowe trybu wspólnego marki Coilcraft



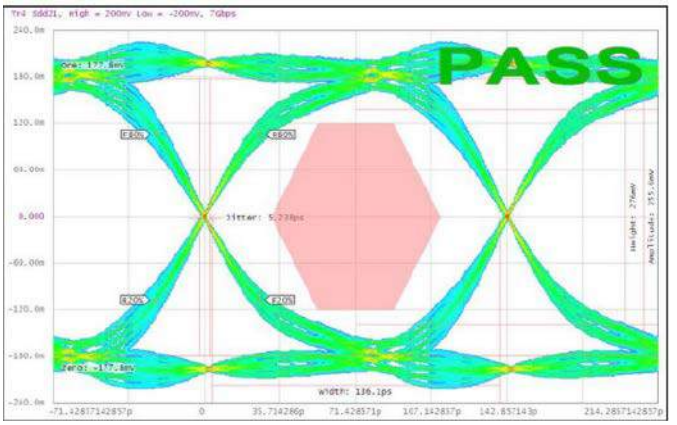
Fotografia 14. Dławiki sieciowe typu dual-mode marki Triad Magnetics

eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 13. Przykładowy filtr LC dla części sieciowej zasilacza

Fotografia 15. Szybkie dławiki CM do interfejsów USB3.X i HDMI 1.4 z serii WE-CNSW HF marki Würth Elektronik



Rysunek 14. Diagram oka dla łącza o przepustowości 7 Gbit, zarejestrowany na linii filtrowanej przez dławik z serii WE-CNSW HF

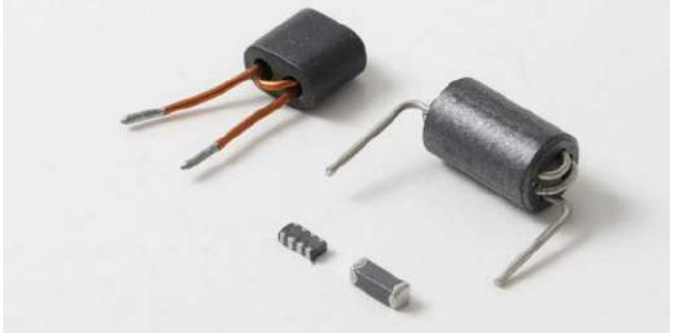
pracy, ma relatywnie spore wymiary. Obserwacja ta doprowadziła do stworzenia dławików hybrydowych, których charakterystyki łączą w sobie zalety filtrów CM i szeregowych filtrów trybu różnicowego – efekt taki jest jednak możliwy do osiągnięcia dopiero poprzez odpowiedni dobór zarówno materiału rdzenia, jak i układu uzwojeń. Przykładowe dławiki marki Triad Magentics, w wersji do montażu pionowego i leżącego, zostały pokazane na **fotografii 14**. Podobne rozwiązania wprowadzili na rynek, pod różnymi nazwami opisowymi, także inni producenci elementów indukcyjnych, w tym marka Coilcraft (*combination line filter chokes*, seria CMF), Murata (*hybrid chokes*, seria PLY17) czy Kemet (*dual mode chokes*, seria SSHB).

W przypadku szybkich interfejsów cyfrowych, np. USB, stosowane są dławiki trybu wspólnego, wykonane w postaci miniaturowych, bifilarnych cewek SMD. Doskonałym przykładem tego typu elementów są serie WE-CNSW oraz WE-CNSW HF (**fotografia 15**) marki Würth Elektronik. Pierwsza z nich obejmuje elementy w rozmiarach 0603, 0805, 1206 oraz 1812, przeznaczone głównie do pracy w interfejsach USB 2.0, IEEE1394, etc., druga zaś zawiera dławiki w obudowach 0504 oraz 0805 i jest w stanie zapewnić doskonałą integralność sygnałową nawet przy prędkości rzędu 7 Gbit – warto spojrzeć na diagram oka dla tego typu przebiegów, zarejestrowany na linii danych podłączonej poprzez dławik WE-CNSW HF (**rysunek 14**).

Koraliki, rdzenie i dławiki ferrytowe

Efektywną metodę filtracji wysokoczęstotliwościowych zakłóceń RFI na liniach wejściowych i wyjściowych urządzeń (zwłaszcza cyfrowych) stanowią wszelkiego rodzaju filtry ferrytowe. Obecnie dostępne

Fotografia 16. Portfolio dostępnych na rynku rdzeni ferrytowych do budowy „szytych na miarę" dławików i transformatorów jest dziś na tyle szerokie, że bez problemu można znaleźć odpowiedni produkt do każdej aplikacji



Fotografia 17. Przykładowe dławiki ferrytowe

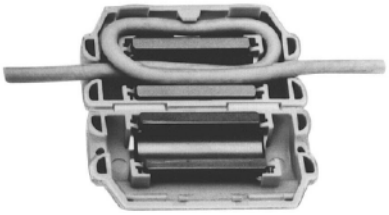
jest szerokie portfolio zarówno rdzeni ferrytowych o różnych rozmiarach (**fotografia 16**), jak i gotowych dławików ferrytowych do montażu przewlekanego lub powierzchniowego (**fotografia 17**). Na uwagę zasługują zwłaszcza miniaturowe macierze (drabinki), złożone z dwóch lub czterech dławików (**fotografia 18**), pozwalające na znaczne uproszczenie montażu sekcji filtrów EMI w urządzeniach wyposażonych w równoległe interfejsy cyfrowe. Niewielkie rdzenie pierścieniowe są chętnie stosowane jako filtry wewnętrznego okablowania urządzeń komputerowych i sprzętu RTV, zaś spłaszczone rdzenie – nasunięte na przewody taśmowe FFC – pozwalają filtrować sygnały przesyłane pomiędzy modułami urządzenia, takimi jak wyświetlacze, zespoły ruchome (np. karetki drukarek i skanerów) itp. Oprócz jednoelementowych rdzeni, dostępne są także znacznie wygodniejsze w montażu rdzenie podzielone, które bez problemu można założyć na wielożyłowe przewody taśmowe, nawet po zarobieniu złączy na ich końcach (**fotografia 19**). W przypadku każdego z wymienionych rodzajów filtrów ferrytowych należy pamiętać, że małe dławiki, z uwagi na niską indukcyjność, nie nadają się do filtracji zakłóceń w paśmie do pojedynczych megaherców, zaś impedancja nominalna jest przez producentów podawana (oprócz pełnej charakterystyki) w uproszczonej formie liczbowej, najczęściej dla standardowej częstotliwości 100 MHz, czasem także dla 25 MHz.

Fotografia 18. Ferrytowe, czterokanałowe „drabinki indukcyjne" marki Vishay o rozmiarach 3,2×1,6×0,9 mm

Fotografia 19. Przykładowy rdzeń dwuczęściowy z metalowymi klipsami montażowymi, przeznaczony do użytku z kablami płaskimi

eprasa.pl 2b951cc363

Fotografia 20. Różne wersje filtrów zatrzaskowych marki TDK



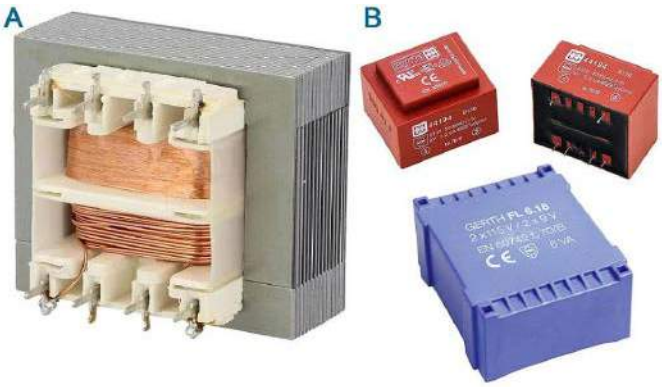
Fotografia 21. Filtr klipsowy umożliwiający wykonanie pętli przewodu

Szeroko rozpowszechnione są także filtry ferrytowe, instalowane w postaci klipsów zaciskanych na zewnętrznej izolacji kabli multimedialnych i komputerowych (USB, HDMI czy DVI – **fotografia 20**) i umożliwiające efektywne tłumienie zakłóceń RFI indukowanych nawet w długich przewodach sygnałowych. Warto dodać, że niektóre wersje umożliwiają dwukrotne przewleczenie cienkiego przewodu przez rdzeń w celu zwiększenia skuteczności filtracji – przykład został pokazany na **fotografii 21**.

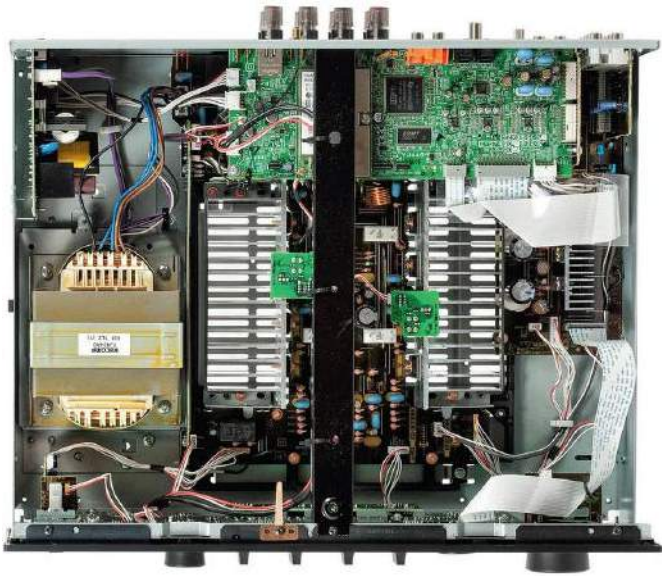
Klasyczne i toroidalne transformatory sieciowe

Transformatory sieciowe stanowią najprostsze i zarazem bardzo bezpieczne rozwiązanie w zakresie konwersji napięcia przemiennego do poziomu bezpiecznego zarówno dla użytkownika, jak i samego urządzenia. Choć w dużej mierze klasyczne zasilacze transformatorowe zostały wyparte przez zapewniające znacznie wyższą sprawność i gęstość mocy zasilacze impulsowe, to nic nie wskazuje na to, by te pierwsze miały w najbliższych latach stracić na swoim rynkowym znaczeniu.

Najprostsze i zarazem najtańsze pozostają transformatory na rdzeniach kształtkowych EI (**fotografia 22**), chętnie stosowane



Fotografia 22. Transformatory na rdzeniach kształtkowych w wersji otwartej (A) zalewanej (B)



Fotografia 23. Wnętrze współczesnego amplitunera marki Yamaha z widocznym zasilaczem na bazie klasycznego transformatora sieciowego

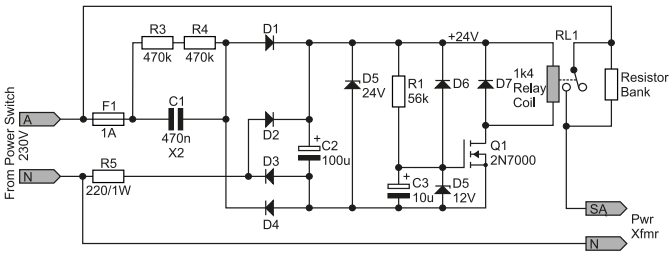
w konwencjonalnych zasilaczach sieciowych (stacjonarnych i wtyczkowych), urządzeniach amatorskich, a nawet… współczesnym sprzęcie audio (**fotografia 23**). Prosta i dość niezawodna konstrukcja, możliwość niemal dowolnego dobierania liczby i parametrów uzwojeń oraz dojrzała i sprawdzona technologia produkcji sprawiają, że transformatory tego typu ma dziś w swoich ofertach większość liczących się producentów elementów indukcyjnych. Pod względem mechanicznym konstruktorzy mają do wyboru zarówno wykonania o budowie otwartej, jak i hermetyczne transformatory zalewane do montażu przewlekanego na płytkach drukowanych, przykręcania do konstrukcji obudowy lub mocowania na szynie DIN, a nawet wersje wyposażone w fabrycznie zamontowany przewód sieciowy. Rodzima firma Indel produkuje nawet transformatory sieciowe z dodatkowym ekranowaniem, przeznaczone do użycia we wzmacniaczach lampowych (z uwagi na obniżoną emisję pola elektromagnetycznego).

Fotografia 24. Przykładowe transformatory toroidalne marki Indel, przedstawione wraz z elementami montażowymi: metalową płytką kształtową oraz przekładką gumową

Od transformatorów z rdzeniem kształtkowym bardziej efektywne są transformatory toroidalne (**fotografia 24**) – chętnie stosowane we wzmacniaczach audio dużej mocy, a także innych urządzeniach, wymagających „cichego" (nie impulsowego) zasilacza o dużej sprawności i stosunkowo małych wymiarach. Sprawna wymiana energii pomiędzy uzwojeniami poprzez rdzeń toroidalny skutkuje małym rozproszeniem magnetycznym, niskim poziomem generowanego szumu akustycznego (w porównaniu do klasycznych transformatorów), a także relatywnie stabilnym napięciem wyjściowym w funkcji prądu obciążenia (innymi słowy, jałowe napięcie uzwojenia wtórnego jest zbliżone do napięcia pod umiarkowanym obciążeniem).

Istotną wadą transformatorów toroidalnych, oprócz wyraźnie wyższej ceny, jest skłonność do generowania impulsów prądu rozruchowego o wysokiej wartości. Zjawisko to jest znacznie silniejsze niż w porównywalnych (pod względem mocy nominalnej) transformatorach klasycznych, przez co niezabezpieczony układ zasilacza może ulec uszkodzeniu, a dodatkowo spowodować krótkotrwały stan zwarcia w zasilającej go instalacji elektrycznej. Rozwiązań problemu

eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 15. Przykładowy układ rozruchowy dla transformatora toroidalnego

rozruchu transformatorów toroidalnych jak zwykle jest kilka, a najprostsze z nich to zastosowanie ograniczników w postaci szeregowych termistorów NTC, np. przeznaczonych do tego celu elementów marki Ametherm o oznaczeniu MS22 12103 (**fotografia 25**). Istnieje także wiele gotowych przykładów projektowych, pozwalających na budowę aktywnych układów typu *soft-start* – schemat jednego z nich został pokazany na **rysunku 15**.

Fotografia 25. Przykładowy termistor NTC, stosowany jako ogranicznik prądu rozruchowego transformatorów toroidalnych

Autotransformatory

W niektórych aplikacjach istnieje potrzeba uzyskania płynnej regulacji napięcia przemiennego bez stosowania kosztownych przekształtników albo generujących dodatkowe zakłócenia układów sterowania fazowego. Najprostszą, ale skuteczną metodą rozwiązania problemu bezstopniowej regulacji napięcia jest zastosowanie autotransformatora (**fotografia 26**). Warto pamiętać, że nazwa może okazać się w przypadku tego urządzenia dość myląca – w przeciwieństwie do typowych transformatorów, zapewniających bezpieczeństwo użytkownika i podłączonych układów poprzez separację galwaniczną uzwojenia wtórnego od sieci, wyjście autotransformatora nie jest w żaden sposób odizolowane od linii fazowej. Od strony mechanicznej autotransformator przypomina nieco potencjometr, z tą jednak różnicą, że ślizgacz przesuwa się po uzwojeniu cewki, nie zaś po ścieżce oporowej.

Fotografia 26. Przykładowy autotransformator w postaci samodzielnego urządzenia z pełnym osprzętem (złącza wyjściowe, wyłącznik zasilania, bezpiecznik, przewód zasilania, wskaźnik napięcia wyjściowego oraz pokrętło regulacyjne)

Transformatory izolacyjne

Omawiając tematykę transformatorów sieciowych, nie sposób nie wspomnieć o specjalnej grupie tych elementów, która w istocie nie pełni funkcji konwerterów napięć – wprowadza jedynie galwaniczną separację pomiędzy zasilanymi urządzeniami (obciążeniem) a siecią energetyczną. Z technicznego punktu widzenia transformatory izolacyjne są „prostymi" transformatorami o przekładni 1:1, wyposażonymi jednak w dodatkowe środki ochronne, zapewniające wyższy poziom bezpieczeństwa elektrycznego, w porównaniu do zwykłych transformatorów. Z tego też względu ich podstawowym zastosowaniem jest zabezpieczenie instalacji i urządzeń medycznych. Dla producentów transformatorów separacyjnych oznacza to, że ich wyroby powinny spełniać wymogi normy 60601-1 – przykład takiego właśnie urządzenia pokazano na **fotografii 27.**

Fotografia 27. Medyczny transformator izolacyjny

Przekładniki prądowe

Osobną grupę elementów indukcyjnych stanowią przekładniki prądowe – pojedyncze uzwojenie, wraz z otoczonym przez rdzeń przekładnika przewodem, tworzy prosty transformator, umożliwiający pomiar wartości prądu przepływającego przez przewód, co ważne, w sposób całkowicie nieinwazyjny (tj. bez jego rozcinania). Przekładniki stanowią doskonałe rozwiązanie, pozwalające na pomiar nawet bardzo wysokich wartości natężenia prądu, stąd tak chętnie stosowane są w przyrządach pomiarowych i wszelkiego rodzaju aplikacjach elektroenergetycznych. Dodatkowe informacje nt. przekładników można znaleźć w artykule pt. „Pomiary natężenia prądu w systemach wbudowanych – praktyczny poradnik" (EP 6/2021).

Transformatory do zastosowań impulsowych

Przetwornice impulsowe – zarówno AC/DC, jak i niektóre topologie DC/DC – korzystają ze specjalnie skonstruowanych transformatorów impulsowych, umożliwiających znaczną redukcję wymiarów i masy układu zasilania poprzez zwiększenie częstotliwości kluczowania do poziomu od kilkudziesięciu kiloherców do nawet pojedynczych megaherców. Producenci transformatorów do zasilaczy impulsowych (SMPS, **fotografia 28**) mierzą się z szeregiem wyzwań, w tym przede wszystkim w zakresie doboru materiału rdzenia o możliwie najniższej stratności, sposobu prowadzenia uzwojeń (w celu zapewnienia odpowiedniej wytrzymałości izolacji i jednocześnie wysokiej sprawności transformatora), a także z zagadnieniami kompatybilności elektroenergetycznej (ekranowanie, minimalizacja strat strumienia magnetycznego wokół transformatora).

Fotografia 28. Transformatory wysokoczęstotliwościowe do przetwornic i zasilaczy impulsowych

eprasa.pl 2b951cc363

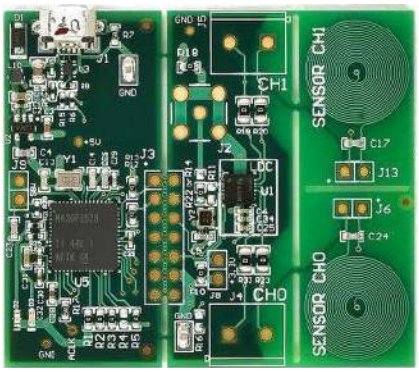
Co ciekawe, najsilniejsza walka na rynku transformatorów wysokiej częstotliwości toczy się obecnie właśnie w zakresie optymalizacji materiału rdzenia. Przykładowo rdzenie proszkowe z rozproszoną szczeliną typu MPP (*Molypermalloy*) oferują niewielką histerezę magnetyczną, małą skłonność do generowania prądów wirowych i wysoką stabilność indukcyjności, z kolei materiał nazywany Kool Mμ H*f* marki Magnetics zapewnia najniższą stratność spośród materiałów oferowanych przez ww. producenta, a zoptymalizowany został do pracy w zakresie 200..500 kHz (choć użyteczne pasmo rozciąga się nawet do 30 MHz). Warto zwrócić uwagę na fakt, że poszczególne spieki różnią się szeregiem dodatkowych parametrów, np. temperaturą Curie czy też odpornością na pracę przy wysokiej składowej stałej pola magnetycznego.

Fotografia 29. Przykładowa antena spiralna PCB, przeznaczona do komunikacji NFC – zestaw ewaluacyjny ANT7-T-ST25DV marki ST Microelectronics

Dławiki i transformatory planarne oraz czujniki indukcyjne

W zakresie (relatywnie) wysokich częstotliwości coraz więcej zastosowań znajdują tzw. cewki i transformatory planarne, wykonywane w postaci elementów dyskretnych bądź… bezpośrednio w mozaice ścieżek płytki drukowanej. Przykładowe zastosowania pojedynczych cewek planarnych to:

- **anteny RFID/NFC** – ze względów ekonomicznych wiele urządzeń oferujących funkcję odczytu/zapisu tagów RFID bądź komunikacji krótkiego zasięgu (NFC) korzysta z anten nadawczo-odbiorczych, realizowanych w postaci spiralnej ścieżki na PCB (**fotografia 29**). Rozwiązanie takie jest niezwykle efektywne, zważywszy na dość wysokie ceny gotowych anten NFC. W porównaniu do nich koszt anteny PCB, równy... cenie dodatkowego obszaru na laminacie płytki, wydaje się niemal pomijalny;
- **cewki do systemów zasilania indukcyjnego** – rosnąca popularność systemów bezprzewodowego ładowania urządzeń mobilnych (np. smartfonów) za pomocą ładowarek indukcyjnych sprawiła, że niektórzy inżynierowie i naukowcy podjęli próby realizacji odpowiednich do tego celu cewek w postaci spiralnych ścieżek PCB. Podstawowa różnica konstrukcyjna pomiędzy nimi a opisanymi wcześniej antenami NFC wynika z minimalnego przekroju poprzecznego (a co za tym idzie – szerokości) ścieżek, niezbędnego do uzyskania odpowiednio niskiej rezystancji. W zależności od zastosowanego układu odbiorczego inna może być także indukcyjność cewki, która pozwoli zoptymalizować proces przekazu energii. Z uwagi na ograniczenia konstrukcyjne większość tego typu aplikacji jest jednak realizowana z użyciem gotowych, dedykowanych cewek niskoprofilowych (najczęściej samoprzylepnych);
- **czujniki zbliżeniowe i przyciski indukcyjne** – cewki planarne sprawdzają się także doskonale we współpracy z precyzyjnymi front-endami do pomiarów indukcyjnych (np. z serii LDC13xx i LDC16xx marki Texas Instruments). Układy takie stosowane są w aplikacjach nowoczesnych interfejsów dotykowych bądź różnego rodzaju czujników (w tym zbliżeniowych), bazujących na subtelnych wahaniach indukcyjności cewki, spowodowanych zbliżaniem lub oddalaniem od niej metalowego elementu (**fotografia 30**).

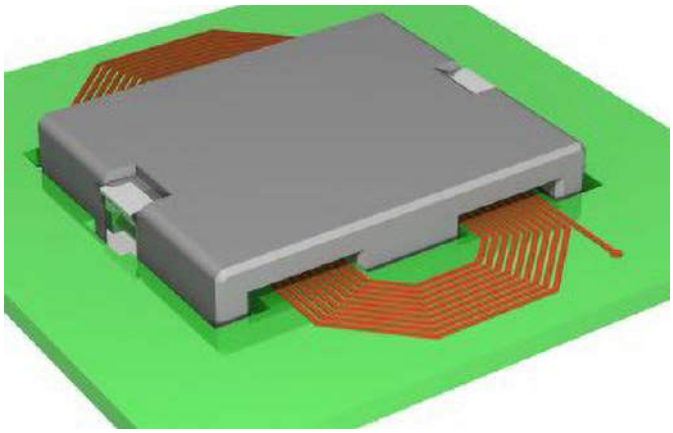


Fotografia 30. Zestaw uruchomieniowy front-endu indukcyjnego LDC1612EVM Texas Instruments (widoczne dwie spiralne cewki PCB, pełniące funkcję sensorów)

Transformatory planarne – realizowane na bazie płytki drukowanej, współpracującej z odpowiednio zamontowanym rdzeniem, bazują na tej samej technologii, zawierają natomiast dwie lub więcej sprzężonych magnetycznie cewek, znajdujących się na kolejnych warstwach PCB (możliwe jest także szeregowe połączenie kilku spiral w celu zwiększenia indukcyjności). Rozwiązanie takie, zaprezentowane schematycznie na **rysunku 16**, jest bardzo nowoczesnym, efektywnym i oszczędnym finansowo sposobem na wykonanie transformatora, należy jednak pamiętać, że sprawdzi się ono jedynie przy bardzo wysokich częstotliwościach kluczowania.

Transformatory Ethernet

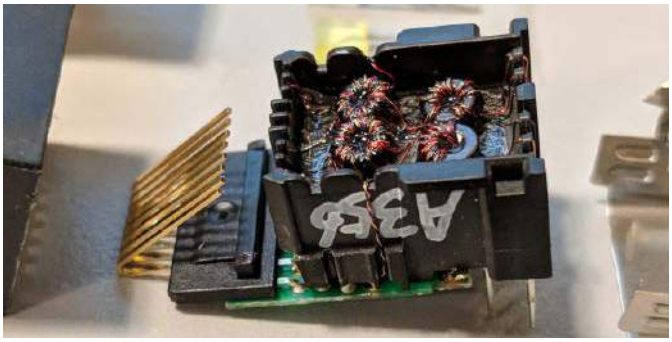
Ostatnią grupą elementów indukcyjnych, na których skupimy się w niniejszym przeglądzie, są transformatory przeznaczone do realizacji



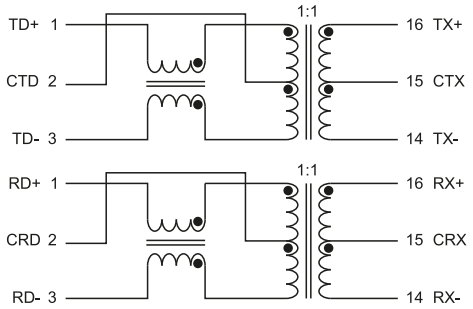
Rysunek 16. Transformator planarny na bazie PCB

Fotografia 31. Zespół transformatorów sygnałowych Ethernet w obudowie SMD (Würth Elektronik)

eprasa.pl 2b951cc363



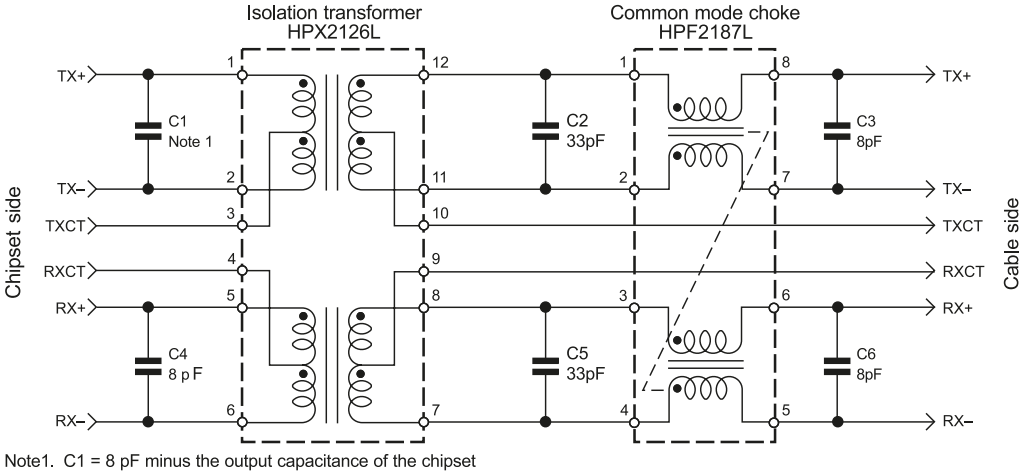
Fotografia 32. Wnętrze gniazda RJ45 ze zintegrowanymi transformatorami sygnałowymi



Rysunek 17. Schemat zespołu transformatorów sygnałowych 7490100110A marki Würth Elektronik. Widoczne dławiki CM (po lewej) oraz transformatory izolacyjne (po prawej)

interfejsów sieci przewodowych (Ethernet). Wymóg stosowania transformatorów na liniach sygnałowych wynika przede wszystkim z konieczności galwanicznego odseparowania linii przesyłowej (skrętki) od poszczególnych urządzeń, co stanowi doskonały sposób na uniknięcie problemów z offsetem poziomów masy pomiędzy sprzętem sieciowym, znajdującym się w różnych, często odległych lokalizacjach. Dodatkową zaletą jest „naturalna" separacja sygnałów użytecznych (różnicowych) od zakłóceń współbieżnych.

Transformatory sygnałowe występują w dwóch głównych formach. Urządzenia sieciowe (np. switche czy routery) często korzystają z osobnych transformatorów, montowanych na płytce drukowanej w bezpośrednim otoczeniu gniazd RJ45 (**fotografia 31**). W przypadku urządzeń wyposażonych w pojedynczy port znacznie częściej można natomiast spotkać gniazda ze zintegrowanym zespołem transformatorów (**fotografia 32**), co znakomicie ułatwia konstrukcję urządzenia i skraca przebieg par różnicowych, prowadzonych pomiędzy gniazdem a układem interfejsowym warstwy fizycznej (PHY). Warto dodać, że projektując urządzenie korzystające z funkcji zasilania za pomocą kabla sieciowego (PoE), należy wybrać odpowiednio do tego celu przystosowane transformatory – firma Coilcraft oferuje dedykowane rozwiązanie w postaci dwóch osobnych elementów: zespołu dławików CM (HPF2187L) oraz transformatora separacyjnego (HPX2126L) – **rysunek 18**.



Rysunek 18. Elementy indukcyjne marki Coilcraft w aplikacji PoE

Podsumowanie

Przygotowany przegląd elementów indukcyjnych ma na celu zaprezentowanie możliwie szerokiego spektrum stosowanych obecnie dławików i transformatorów. Należy przy tym zwrócić uwagę na fakt, że podstawowa idea działania każdego elementu tego typu, wywodząca się ze znanej od niemal 200 lat zwojnicy, została zaadaptowana na dziesiątki różnych sposobów, dzięki czemu komponenty indukcyjne są dziś nieodzowne praktycznie w każdym urządzeniu elektronicznym.

Celowo pominęliśmy niektóre rodzaje elementów indukcyjnych – np. elektromagnesy, cewki przeznaczone do zwrotnic głośnikowych, filtry kubkowe czy też zintegrowane filtry sygnałowe i sieciowe LC – nawet pobieżne omówienie całokształtu współczesnego świata tych komponentów prawdopodobnie nie zmieściłoby się na łamach pojedynczego numeru „Elektroniki Praktycznej". Mamy jednak nadzieję, że zaprezentowane materiały pomogą naszym Czytelnikom w rozpoczęciu samodzielnego zgłębiania tematyki elementów indykcyjnych i nakierują na właściwe rozwiązania w różnego typu projektach.

inż. Przemysław Musz, EP

Chcesz czytać nasze najnowsze artykuły jeszcze przed wydrukowaniem w EP?

Zajrzyj na
www.ep.com.pl/EPwtoku

eprasa.pl 2b951cc363

Dławiki mocy w systemach energoelektronicznych

Elementy magnetyczne wysokich częstotliwości mają coraz większe znaczenie dla rozwoju zintegrowanych systemów energoelektronicznych stosowanych w sektorach przetwarzania i magazynowania energii odnawialnej, w branży automotive, w przemyśle lotniczym czy medycznym. Znajdują one zastosowanie jako elementy filtrów, dławiki mocy w układach beztransformatorowych oraz jako transformatory w układach zapewniających izolację. Najbardziej rozpowszechnioną grupą w układach wysokiej częstotliwości są dławiki mocy.

Więcej informacji:
SMA Magnetics Sp. z o. o.
32-085 Modlniczka, ul. Komandosów 3/1
tel. +48 12 283 09 50, inquiry@sma-magnetics.com
www.sma-magnetics.com

Fotografia 1. Od lewej: dławik DC SMA MAGNETICS, 16 A, 950 µH, 16 kHz, waga 1100 g oraz dławik DC SMA MAGNETICS, 20 A, 45 µH, 96 kHz, waga: 250 g

Dławiki mocy w połączeniu z innymi elementami układu zapewniają wysoką sprawność przy jednoczesnej miniaturyzacji konstrukcji. Właściwy projekt dławika ma kluczowe znaczenie dla parametrów przekształtnika. Złe dopasowanie dławika do aplikacji może prowadzić do przewymiarowania systemu lub podniesienia awaryjności i znaczącego skrócenia czasu jego użytkowania.

Właściwy projekt dławika wymaga zdefiniowania specyficznych wymagań systemowych, takich jak:

- profil pracy (praca ciągła, przerywana lub inne),
- warunki zasilania,
- częstotliwość pracy przekształtnika,
- gabaryty i waga,
- sprawność i warunki chłodzenia.

Istnieje szereg innych kluczowych aspektów, które należy wziąć pod uwagę w procesie projektowania, aby zapewnić wysoką jakość i niezawodność przy jednoczesnym zachowaniu optimum kosztowego. Miniaturyzacja jest wiodącym trendem w obszarze przekształtników energoelektronicznych, ale wymaga zwiększenia częstotliwości przełączania. Skalowanie komponentów magnetycznych, wraz ze wzrostem częstotliwości, nie jest wprost proporcjonalne do zmiany indukcyjności. Dlatego stanowi to duże wyzwanie dla projektanta.

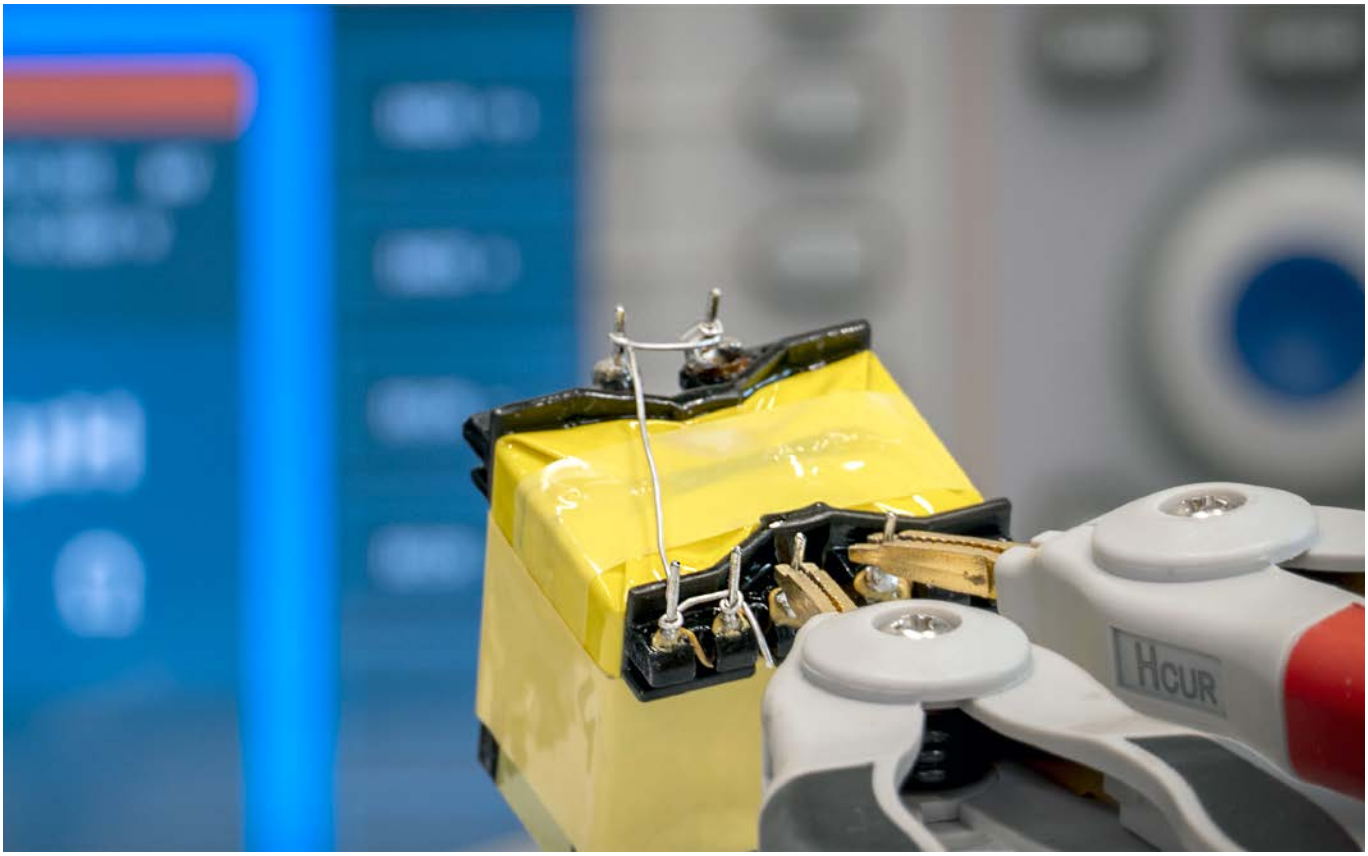
Za nieliniowe skalowanie dławików odpowiedzialne są zjawiska dynamiczne. Ich negatywny wpływ można zredukować poprzez dobór odpowiednich materiałów magnetycznych oraz konfiguracji uzwojenia. Doskonałym przykładem obrazującym skalę postępu w obszarze energoelektroniki jest porównanie kolejnych generacji dławików do przekształtników prądu stałego stosowanych w falownikach PV. Sześciokrotne podniesienie częstotliwości oraz zmniejszenie indukcyjności pozwoliło na znaczącą miniaturyzację dławika, którego waga jest ponad 4 razy mniejsza od poprzedniej generacji (**fotografia 1**).

Nieustanny rozwój i poszukiwanie nowych rozwiązań powodują, że produkty SMA MAGNETICS wpisują się w trendy rozwoju energoelektroniki, oferując innowacyjne rozwiązania pozwalające na miniaturyzację przy zachowaniu optymalnej wydajności systemu.

www.sma-magnetics.com

REKLAMA

eprasa.pl 2b951cc363



Indukcyjność rozproszenia – co warto wiedzieć?

W transformatorze idealnym cała energia jest przenoszona za pomocą strumienia magnetycznego indukowanego w rdzeniu ze strony pierwotnej do strony wtórnej. Wiemy jednak doskonale, że w praktyce występują straty w rdzeniu i uzwojeniach, co ma decydujący wpływ na sprawność układu. W transformatorach impulsowych wielkość strat jest determinowana po części przez strumień magnetyczny, który ulega rozproszeniu. Konsekwencją tego jest indukcyjność rozproszenia, której nadmierna wartość może być powodem występowania przepięć, co z kolei wymaga stosowania dodatkowych elementów eliminujących to zjawisko. Dlatego niezwykle istotną sprawą z punktu widzenia projektanta jest możliwość kontrolowania tego parametru.

Indukcyjność rozproszenia w transformatorze jest wynikiem niedoskonałego sprzężenia magnetycznego pomiędzy uzwojeniami, a jej wartość jest zależna od struktury i układu uzwojeń, liczby zwojów oraz kształtu rdzenia. W praktyce zwykle dążymy do tego, aby wartość tej indukcyjności była możliwie jak najmniejsza, ale warto również wspomnieć o tym, że transformatory, w których pożądane jest duże rozproszenie strumienia magnetycznego. W niektórych rozwiązaniach ważne jest także zachowanie równowagi pomiędzy indukcyjnością rozproszenia a pojemnością pasożytniczą.

Więcej informacji:
AET Sp. z o.o. Sp.k.
63-400 Ostrów Wielkopolski, ul. Wysocka 48
tel. 62-737-49-55, 62-735-60-46, 62-737-49-54
biuro@aet.com.pl, www.aet.com.pl

W jaki sposób możemy ograniczyć wartość indukcyjności rozproszenia?

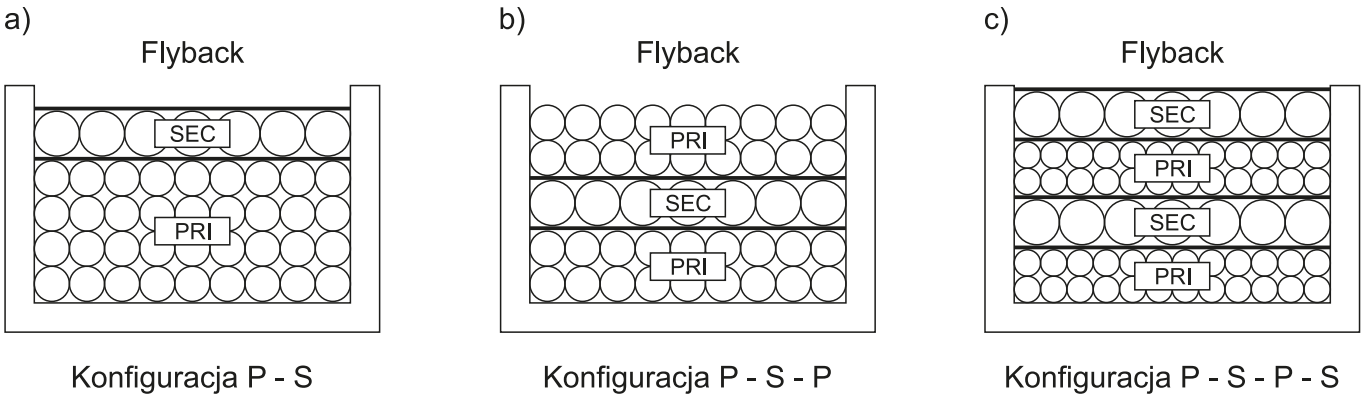
Już na etapie konstrukcji transformatora warto wziąć pod uwagę kilka czynników, które nam w tym pomogą. Przede wszystkim, uzwojenia transformatora nie powinny składać się z nadmiernej liczby warstw, a każda warstwa powinna możliwie najlepiej wypełniać okno karkasu.

Należy jednak liczyć się z tym, iż znaczna redukcja liczby zwojów spowoduje wzrost indukcji w rdzeniu magnetycznym, co prowadzi do wzrostu strat mocy.

Uzwojenia dzielone

W wielu rozwiązaniach konstrukcyjnych możemy zauważyć, że uzwojenia transformatora są dzielone i przeplatane pomiędzy sobą (**rysunek 1**). Taki układ powoduje znacznie lepsze sprzężenie pomiędzy poszczególnymi uzwojeniami i w efekcie prowadzi do znacznego ograniczenia indukcyjności rozproszenia. Jest to szczególnie rekomendowane w sytuacji, gdzie występuje duża przekładnia zwojowa lub zachodzi konieczność nawijania wielu warstw uzwojeń.

eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 1. Różne sposoby rozmieszczenia uzwojeń transformatora – mogą być dzielone i przeplatane pomiędzy sobą

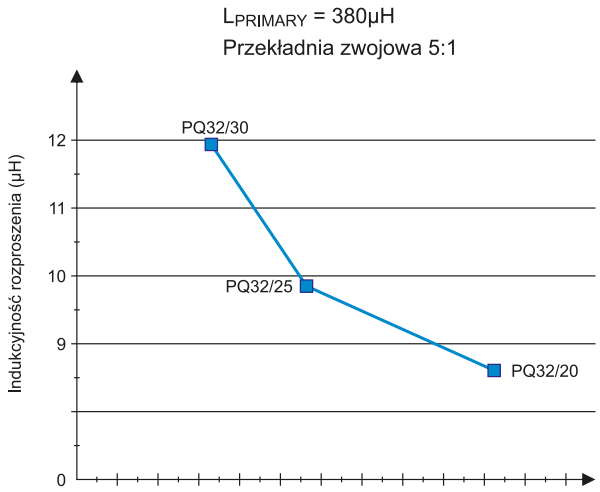
Izolacja międzyuzwojeniowa

Istotnym aspektem jest także izolacja międzyuzwojeniowa. Jej nadmierna ilość powoduje, że uzwojenia oddzielone są od siebie grubą warstwą izolatora, co w efekcie prowadzi do pogorszenia sprzężenia magnetycznego pomiędzy uzwojeniami. Redukcja lub zmiana izolacji może spowodować lepsze przyleganie uzwojeń i zmniejszenie dystansu pomiędzy nimi.

Należy jednak podkreślić, że redukcja nie może odbywać się kosztem warunków bezpieczeństwa transformatora.

Kształt rdzenia

Kolejnym czynnikiem, który wpływa na parametr indukcyjności rozproszenia, jest wybór kształtu i gabarytu rdzenia magnetycznego. Rdzenie ferrytowe, których kolumna środkowa ma przekrój okrągły, będą lepszym wyborem niż rdzenie z kolumną o przekroju prostokątnym czy kwadratowym. Oczywiście porównujemy tutaj rdzenie, których przekroje są identyczne. Również zastosowanie rdzenia magnetycznego o mniejszej wysokości przynosi pozytywne rezultaty, podobnie jak rdzeni o wydłużonych kolumnach. Taka konstrukcja zapewnia zmniejszenie liczby warstw uzwojenia, o czym wspomniano już wcześniej. Różnice zostały pokazane na **rysunku 2**.



Rysunek 2. Zastosowanie rdzenia magnetycznego o niższej wysokości przynosi poprawę parametrów transformatora

Podsumowanie

Łatwo zatem wywnioskować, że kiedy zależy nam na tym, aby uzwojenia były ze sobą dobrze sprzężone, a indukcyjność rozproszenia jak najmniejsza, najlepszym rozwiązaniem będą transformatory planarne. Z jednej strony umożliwia nam to niski profil rdzenia, a z drugiej strony łatwość przeplatania uzwojeń. Z uwagi na fakt, że obliczenia teoretyczne indukcyjności rozproszenia są bardzo kłopotliwe i w rzeczywistości mało precyzyjne, wiedza na temat indukcyjności rozproszenia daje nam wyobrażenie o wydajności transformatora jeszcze przed jego wyprodukowaniem.

Krzysztof Nowicki
dyrektor ds. technicznych
AET Sp. z o.o. Sp.k.

REKLAMA

eprasa.pl 2b951cc363

Idealne dopasowanie wydajności i rozmiaru

Niewielkie silniki DC o dużej mocy mają kluczowe znaczenie dla rozwoju jeszcze bardziej zintegrowanych systemów. Są stosowane w wielu różnych sektorach, od medycznego i laboratoryjnego, poprzez przemysł lotniczy, robotyki, optyki i fotoniki po sektor maszyn i sprzętu przemysłowego. Jednak to dopiero połączenie z innymi komponentami, np. przekładniami, enkoderami i kontrolerami ruchu sprawia, że stają się odpowiednim dla danego zastosowania napędem lub systemem pozycjonowania. Dokonanie właściwego wyboru ma kluczowe znaczenie dla sprawności pracy całego systemu. Wszystkie komponenty muszą być kompatybilne z silnikiem i spełniać związane z nim wymagania. Źle dobrany kontroler może doprowadzić do szybkiego nieodwracalnego uszkodzenia silnika.

Więcej informacji:
FAULHABER Polska Sp. z o.o.
Ul. Górki 7, 60-204 Poznań
tel. +48 61 278 72 53
info@faulhaber.pl, www.faulhaber.com

Przy wyborze kontrolera ruchu odpowiedniego dla danego systemu napędowego trzeba najpierw odpowiedzieć sobie na kilka pytań. Przykładowo, konieczne jest określenie ruchów, jakie będą wykonywane, a także zdefiniowanie wymagań w zakresie sterowania tymi ruchami. Czy napęd będzie pracować w trybie ciągłym, czy też w trybie start-stop? Czy wymagane jest precyzyjne pozycjonowanie? Z jakim obciążeniem będzie pracować napęd? Jakie będą cykle obciążeń? Czy wymagana jest przekładnia? Jaki silnik będzie najlepszy do założonego zastosowania? Kontroler ruchu dobiera się na podstawie odpowiedzi na takie właśnie pytania. I nie jest to proste, ponieważ żaden kontroler ruchu nie jest w stanie współpracować ze wszystkimi typami silników i odwrotnie. Przykładowo silniki miniaturowe DC mają szczególne wymagania ze względu na swoją unikalną konstrukcję.

Ryzyko przegrzewania

Sercem miniaturowych silników DC i mikrosilników FAULHABER jest opatentowane, samonośne, bezrdzeniowe, ukośnie nawijane uzwojenie wirnika z komutacją szczotkową, obracające się wokół magnesu stałego. Ze względu na swój wygląd silniki te są często nazywane kubełkowymi. Ich konstrukcja nie tylko przynosi wiele korzyści praktycznych, ale również wpływa na wybór kontrolera ruchu.

Szczelina powietrzna eliminuje ryzyko powstawania momentu zaczepowego, co umożliwia precyzyjne pozycjonowanie i zapewnia doskonałą kontrolę prędkości. Stosunek obciążenia do prędkości, natężenia do momentu i napięcia do prędkości jest liniowy. A ponieważ uzwojenie zapełnia niemal całą średnicę silnika, gwarantuje on o wiele większą sprawność i wyższy moment niż konwencjonalne silniki o porównywalnej wielkości i masie. Mała bezwładność wirnika przekłada się na wyjątkowo niską elektryczną stałą czasową. Dzięki temu silniki mogą pracować bardzo dynamicznie nawet przy dużym obciążeniu. Powszechnie uznaje się, że w serwonapędach silniki mogą pracować w trybie obciążenia z potrójną stałą wartością momentu, o ile temperatura ich uzwojeń jest monitorowana.

Jednak silniki o średnicy zaledwie 22 mm lub mniejszej nie posiadają wbudowanego czujnika temperatury – po prostu nie ma na niego miejsca. Z tego powodu podłączenie źle dobranego kontrolera może doprowadzić nawet do całkowitego przepalenia uzwojenia, zanim fakt przegrzewania się zostanie w ogóle zauważony.

Problemów tego typu można uniknąć, stosując kontrolery ruchu FAULHABER opracowane specjalnie pod kątem współpracy z silnikami miniaturowymi i mikrosilnikami oraz przetestowane w rzeczywistych warunkach roboczych. Kontrolery te „szacują" temperaturę uzwojenia danego silnika na podstawie modeli o zróżnicowanej złożoności. Pozwala to w pełni wykorzystać cały zakres dynamiki silnika, np. do szybkiego pozycjonowania. Redukują również natężenie prądu, zanim dojdzie do przegrzania uzwojeń. Wymagane parametry są wygodnie przesyłane do kontrolera napędu z poziomu okna dialogowego wyboru silnika w oprogramowaniu FAULHABER Motion Manager.

Dodatkowe informacje o integracji termicznej dla danego zastosowania można wykorzystać w przechowywanych w sterownikach modelach w celu dalszego ich ulepszania. Jak dobrze chłodzony jest silnik? Czy konieczne jest ograniczenie jego wydajności z powodu wysokiej temperatury otoczenia? Czy używane są przekładnia i enkoder? Tego typu dane umożliwiają wykorzystanie pełnej mocy silnika np. w pracujących cyklicznie napędach komory klimatycznej – kontroler śledzi wartości temperatury otoczenia przesyłane przez układ

Fotografia 1. Sercem miniaturowych silników DC i mikrosilników jest opatentowane, samonośne, bezrdzeniowe, ukośnie nawijane uzwojenie wirnika obracające się wokół magnesu stałego

eprasa.pl 2b951cc363

Fotografia 2. Kontrolery ruchu „szacują" temperaturę uzwojenia danego silnika na podstawie modeli o zróżnicowanej złożoności. Wymagane parametry są wygodnie przesyłane do kontrolera napędu z poziomu okna dialogowego wyboru silnika w oprogramowaniu Motion Manager

sterowania komorą klimatyczną i wykorzystuje je w swoich modelach. To samo dotyczy sytuacji, gdy znane są cykle obciążenia. Wówczas silnik może być mniejszy, co jest zaletą zwłaszcza w przypadku urządzeń mobilnych.

Niska elektryczna stała czasowa, która zapewnia większą dynamikę procesów, może powodować dodatkowe straty wynikające z modulacji szerokości impulsów (PWM), co jest dość powszechnym zjawiskiem w kontrolerach napędów. Typowa elektryczna stała czasowa w silnikach bezrdzeniowych FAULHABER wynosi około 10 µs. Przy częstotliwościach PWM poniżej 50 kHz w wielu przypadkach osiągnięcie stałego momentu obrotowego podanego w danych technicznych w wielu przypadkach nie jest możliwe lub prowadzi do przegrzewania się silnika. Z tego powodu przy wyborze kontrolera ruchu niezwykle ważne jest, aby jego częstotliwość PWM była odpowiednio wysoka. W kontrolerach ruchu FAULHABER wynosi ona zazwyczaj od 78 do 100 kHz, zależnie od typu. W zależności od rodzaju modulacji na silnik oddziałuje częstotliwość do 200 kHz, co jest zgodne z wymaganiami mniejszych silników.

Mocne i ekstremalnie zminiaturyzowane

Sprawdzające się od wielu lat kontrolery ruchu z rodziny MC V3.0 nie nadają się do sterowania mikrosilnikami FAULHABER ze względu na swój rozmiar i rozdzielczość wbudowanych układów pomiaru prądu silnika. I tu wkracza nowy model, MC 3001 B/P: to pierwszy kontroler ruchu, który jest idealnie dostosowany do mniejszych serwonapędów zarówno pod kątem wielkości, jak i rozdzielczości pomiaru prądu. Przy maksymalnym napięciu zasilania rzędu 30 V ten kontroler ruchu o wymiarach 16×27×2,6 mm osiąga natężenie stałe wynoszące 1 A i natężenie szczytowe wynoszące 5 A. Przy niższym napięciu zasilania, np. 12 V, umożliwia osiągnięcie stałego natężenia o wartości do 2 A. Jednocześnie cechuje się funkcjonalnością porównywalną do większych modeli z tej samej gamy. Opcje wejść/wyjść i interfejs enkodera są takie same jak w pozostałych produktach z tej rodziny. Kontroler dostępny jest z interfejsami komunikacyjnymi USB, RS232 i CANopen. Istnieje również możliwość doposażenia go w kompaktowy interfejs EtherCAT podłączany do płyty (głównej) klienta.

Kontrolery dostępne są w dwóch wariantach: Model z płaskimi złączami typu płytka-płytka (MC 3001 B) to doskonałe rozwiązanie w przypadku podłączania kilku kontrolerów do jednej karty. Wariant MC 3001 P zawiera złącze wtykowe z obudową 2,54 mm z trzech stron. Dzięki temu kontroler można łatwo zintegrować z posiadanym systemem, np. w wieloosiowym systemem automatyki laboratoryjnej. To naprawdę wydajne kontrolery ruchu nawet do najmniejszych napędów DC firmy FAULHABER, idealnie dopasowane do silników zarówno pod względem wielkości, jak i funkcji.

www.faulhaber.com

REKLAMA

FAULHABER

sps Norymberga, 23.-25.11.2021
Hala 4, stoisko 346

Przekładnie precyzyjne FAULHABER

Rozwiń swoje możliwości

Nowa rodzina przekładni planetarnych FAULHABER GPT. Wrzuć wyższe przełożenie tam, gdzie inni zawodzą.

www.faulhaber.com/GPT/en
FAULHABER Polska sp. z o.o.
info@faulhaber.pl

WE CREATE MOTION

eprasa.pl 2b95tc 363

Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (9)

Wielofunkcyjne front-endy biomedyczne (1)

W ósmej części Poradnika Implementacji zakończyliśmy prezentację front-endów przeznaczonych do realizacji pomiarów poszczególnych parametrów biomedycznych. Postępująca miniaturyzacja urządzeń medycznych i sportowych wymusiła na producentach pójście o krok dalej – dziś wyścig toczy się głównie na polu wielofunkcyjnych AFE, integrujących różnorodne bloki funkcjonalne w zaskakująco kompaktowych obudowach. W tym miesiącu rozpoczynamy ekspresowy przegląd najciekawszych rozwiązań tego typu, obecnych na dynamicznie zmieniającym się rynku półprzewodników.

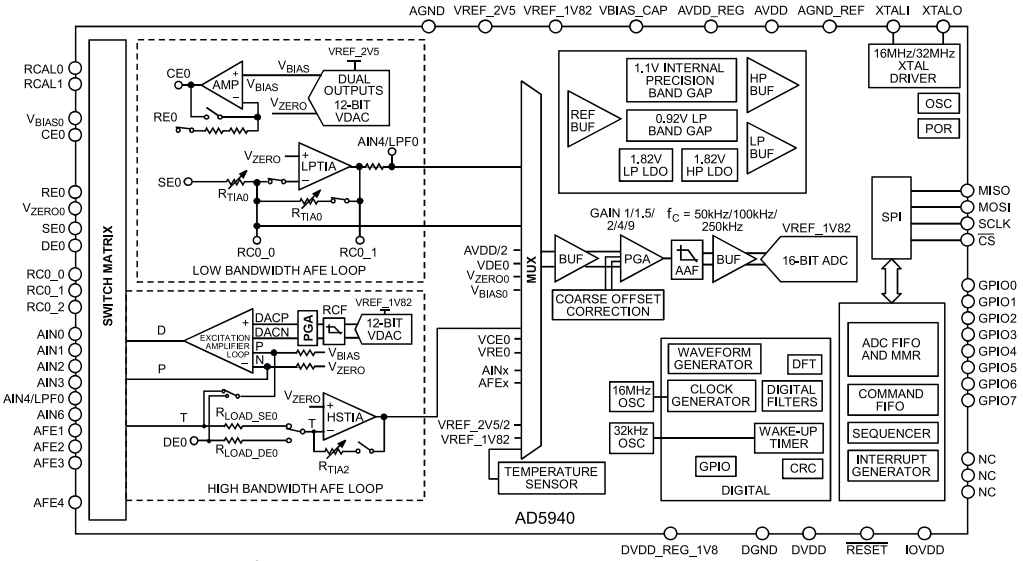
Wszystkie poprzednie odcinki znajdują się pod adresem: **https://ulubionykiosk.pl/media**

AD5940/AD5941

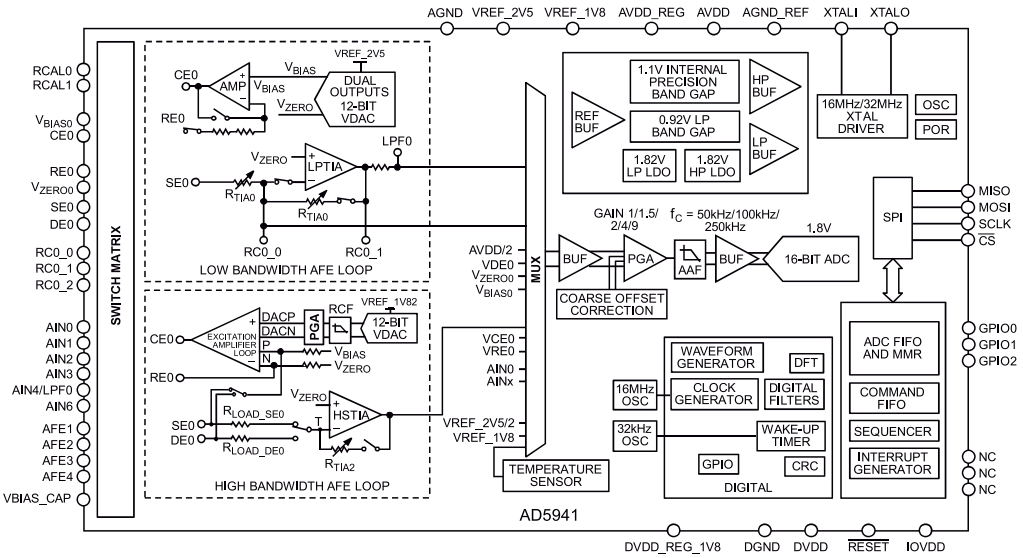
Rozbudowane układy AD5940 i AD5941 firmy Analog Devices są przeznaczone nie tylko do badań impedancyjnych, ale także do współpracy z czujnikami elektrochemicznymi lub innymi źródłami sygnałów prądowych bądź napięciowych. Schematy blokowe obu układów zostały pokazane na **rysunkach 1** i **2**.

Do głównych bloków funkcjonalnych należy w obu przypadkach szybki, 16-bitowy przetwornik ADC o częstotliwości próbkowania 0,8 lub 1,6 MSps, generator przebiegów pobudzających, zespół filtrów cyfrowych, procesor DFT oraz blok wzmacniaczy i przetworników do pomiaru bioimpedancji. Niejako osobnym blokiem jest także zespół potencjostatu, przeznaczony do pomiarów realizowanych w topologiach, które opisaliśmy w siódmej części Poradnika Implementacji (EP 9/2021).

Warto zauważyć, że potężny blok multiplekserów i przełączników analogowych integruje wejścia i wyjścia wszystkich bloków pomiarowych, udostępniając pełny wachlarz możliwości konfiguracyjnych. Nie sposób na łamach jednego artykułu opisać wszystkich proponowanych przez producenta topologii układowych – są to jedne z najbardziej rozbudowanych front-endów na rynku. Skupimy się więc na ogólnym omówieniu budowy i funkcjonalności układów. Część opisana jako *low bandwidth AFE loop* obejmuje wzmacniacz operacyjny, 12-bitowy przetwornik DAC oraz niskomocowy wzmacniacz transimpedancyjny. Blok jest zdolny do pracy z częstotliwościami od 0 do 200 Hz i doskonale nadaje się do energooszczędnych pomiarów elektrochemicznych, wspiera także funkcje pomiaru impedancji. Sekcja *high bandwidth AFE loop*



Rysunek 1. Schemat funkcjonalny front-endu AD5940

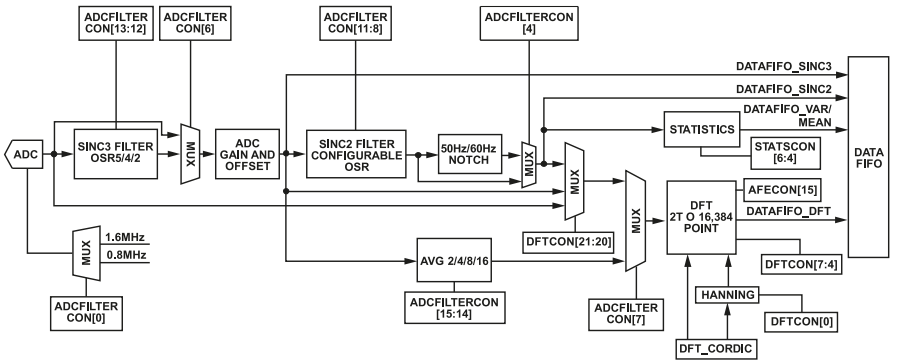


Rysunek 2. Schemat funkcjonalny front-endu AD5941

eprasa.pl 2b951cc363

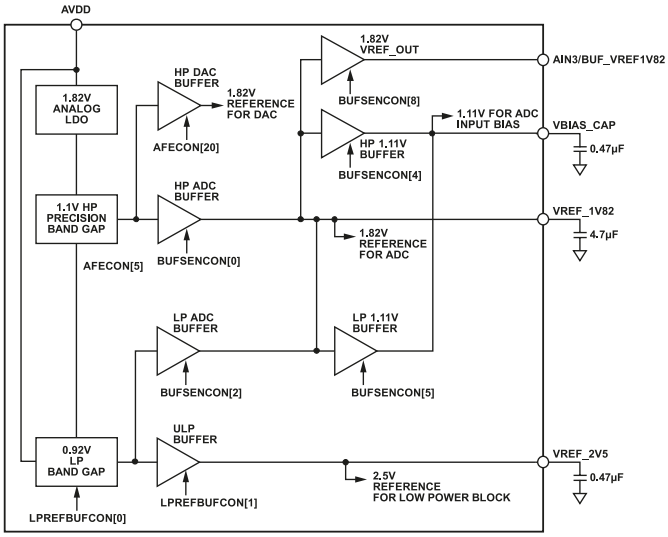
oferuje natomiast możliwość pracy przy nawet 200 kHz i obejmuje kolejny, 12-bitowy DAC, rozbudowany wzmacniacz wyjściowy, a także szybki wzmacniacz transimpedancyjny, umożliwiający pełne wykorzystanie możliwości przetwornika ADC oraz silnika obliczeń fourierowskich.

Sam przetwornik – stanowiący serce całego front-endu – jest wyposażony w blok kondycjonowania sygnałów, złożony z bufora różnicowego, wzmacniacza PGA oraz filtru antyaliasingowego. Jakby tego było mało, na wyjściu przetwornika znalazł się rozbudowany podsystem postprocessingu (**rysunek 3**), który oprócz licznych filtrów SINC, układów korekcji offsetu i wzmocnienia oraz bloku uśredniania próbek, zawiera także… procesor statystyczny, oferujący sprzętowe wsparcie do wyliczania wariancji i wartości średniej oraz wykrywania nieprawidłowych odchyleń statystycznych – detektor anomalii zgłasza przerwanie po wykryciu wyniku pomiaru podejrzanie odstającego od reszty (!). Imponująca jest także długość wbudowanej pamięci FIFO (6 kB – całkiem sporo w porównaniu z większością układów AFE) oraz wektora DFT (od 2 do 16384 punktów!).



Rysunek 3. Zestaw filtrów cyfrowych w bloku postprocessingu układów AD5940/1

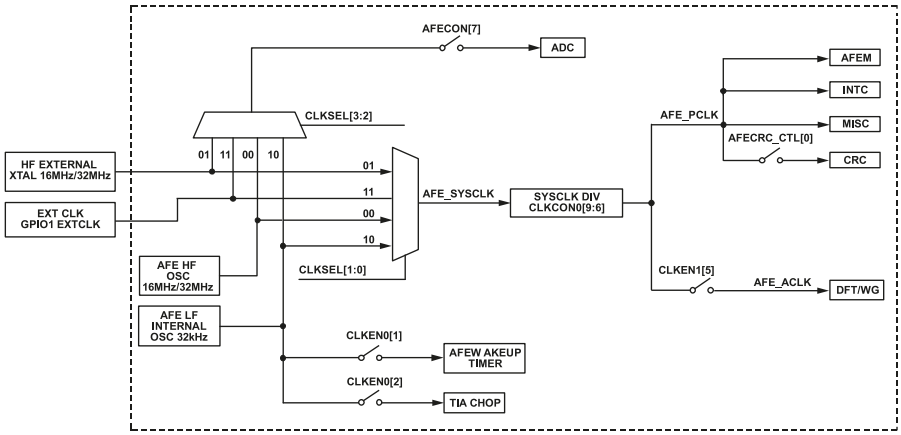
Co ciekawe, front-endy AD5940/1 mają aż dwa wbudowane źródła napięcia odniesienia o wartościach nominalnych 1,1 V (źródło precyzyjne) oraz 0,92 V (źródło o obniżonym poborze mocy), a także LDO o napięciu wyjściowym 1,82 V. Całość uzupełniają liczne, konfigurowalne bufory, zoptymalizowane pod kątem niskiego poboru mocy lub wysokiej wydajności (co oznacza zdolność do pracy przy wysokich częstotliwościach sygnałów). Schemat bloku źródeł napięć odniesienia pokazano na **rysunku 4**. W prezentowanych AFE nie zabrakło też rozbudowanego bloku taktowania, wspierającego zewnętrzne oscylatory kwarcowe o częstotliwości do 32 MHz i wyposażonego we wbudowane generatory 16/32 MHz, 32 kHz oraz zestaw przełączników i preskaler (**rysunek 5**).



Rysunek 4. Blok wbudowanych źródeł napięcia odniesienia układów AD5940/1

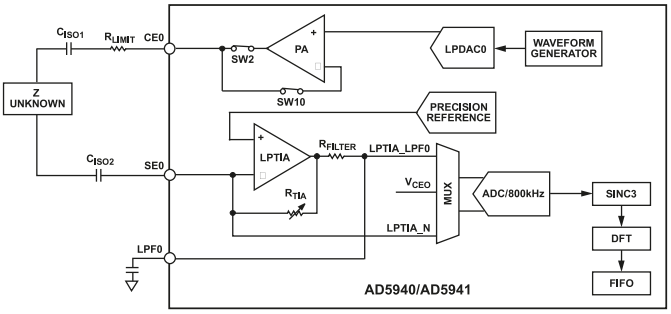
Przykładową aplikację front-endów AD5940/1 pokazano na **rysunku 6**. Układ wykorzystuje bloki niskomocowe do dwuelektrodowego pomiaru aktywności elektrodermalnej (EDA), czyli – prościej rzecz ujmując – zmian impedancji skóry na skutek (głównie) pobudzenia gruczołów potowych.

Na **rysunku 7** został pokazany bardziej rozbudowany układ, służący do czteroelektrodowego pomiaru (bio)impedancji obiektu, podłączonego przez sprzężenie zmiennoprądowe. Konfiguracja tego typu jest bardzo pożądana w niektórych aplikacjach diagnostycznych, przede wszystkim w urządzeniach realizujących równoczesną akwizycję bioimpedancji oraz sygnałów bioelektrycznych, np. EKG. Wykorzystanie bloków wysokoczęstotliwościowych (generatora oraz wzmacniacza transimpedancyjnego HSTIA) pozwala na pracę w górnej części pasma pomiarowego, zaś „wolniejsza" część niskomocowa (przetwornik DAC i wzmacniacz LPTIA, podłączony w roli wtórnika) odpowiada za generowanie napięcia polaryzującego wejście różnicowe AIN2/AIN3.



Rysunek 5. Blok taktowania układów AD5940/1

Rysunek 8 prezentuje rozbudowaną aplikację urządzenia, służącego do pomiaru jednoodprowadzeniowego EKG oraz bioimpedancji i łączącego w sobie układy AD5940, front-end EKG (w tej roli AD8233) oraz niewielką ilość elementów pasywnych. Rezystory oznaczone jako $R_{LIMITECG}$ zapewniają galwaniczne połączenie wejść wzmacniacza bioelektrycznego oraz wyjścia bloku sterowania na prawą nogę (RLD), ograniczając jednocześnie wartość ew. prądów upływu pacjenta. Więcej informacji na temat układów do pomiaru EKG i norm dotyczących urządzeń medycznych można znaleźć w EP 4–6/2021.



Rysunek 6. Prosta aplikacja układu AD5940/1 w urządzeniu do pomiaru aktywności elektrodermalnej EDA (topologia dwuprzewodowa)

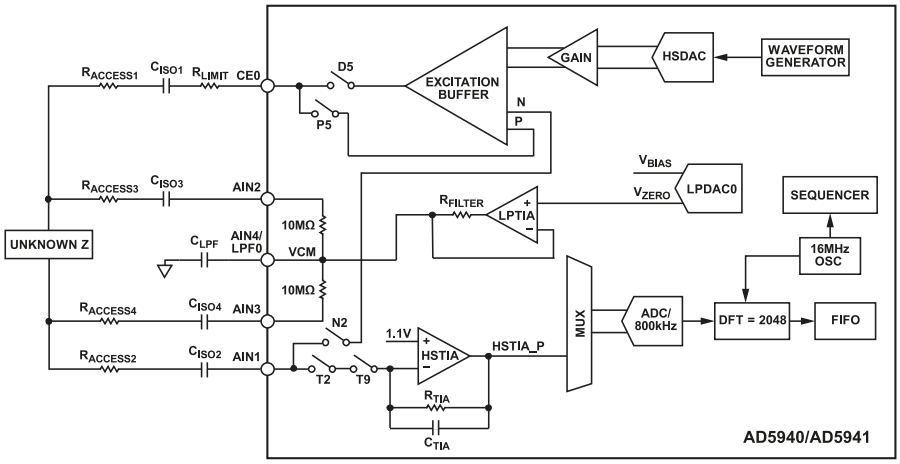
eprasa.pl 2b951cc363

AFE4500

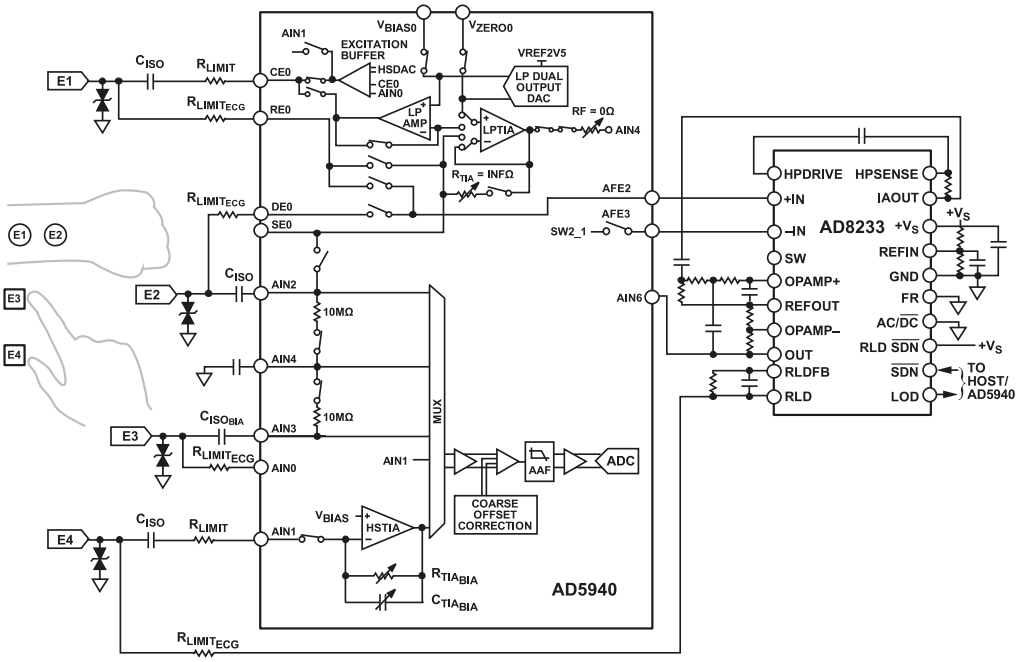
Pokazane wcześniej układy AD5940/1 kładą największy nacisk na pomiary (bio)chemiczne, można więc odnieść wrażenie, że opisane możliwości podłączenia do nich dodatkowych front-endów (np. EKG) lub rozmaitych czujników analogowych stanowią funkcję niejako „doklejoną na siłę" przez producenta w celu zobrazowania elastyczności, jaką dają rozbudowane multipleksery analogowe. Nie należy bagatelizować takich niestandardowych „obejść" układowych – wszak nic nie stoi na przeszkodzie, by wykorzystać wysokiej klasy przetworniki ADC, znajdujące się w strukturze front-endów, także do innych, nieco mniej standardowych celów. Współcześni inżynierowie biomedyczni mają jednak do wyboru także pokaźne portfolio układów, w których znajdują się już kompletne tory pomiarowe biosygnałów elektrycznych i optycznych, a nawet wielkości biochemicznych oraz bioimpedancji.

Przykładem takiego właśnie produktu jest jeden z najnowszych (premiera w lipcu 2021) front-endów medycznych marki Texas Instruments – układ AFE4500 (jego schemat blokowy przedstawiono na **rysunku 9**). Front-end doskonale wpisuje się w nurt ubieralnych urządzeń telemedycznych, który starają się rozwijać (z lepszym lub gorszym skutkiem) liczne firmy z różnych zakątków świata. Strukturę tego mocno rozbudowanego AFE można z grubsza podzielić na cztery główne bloki:

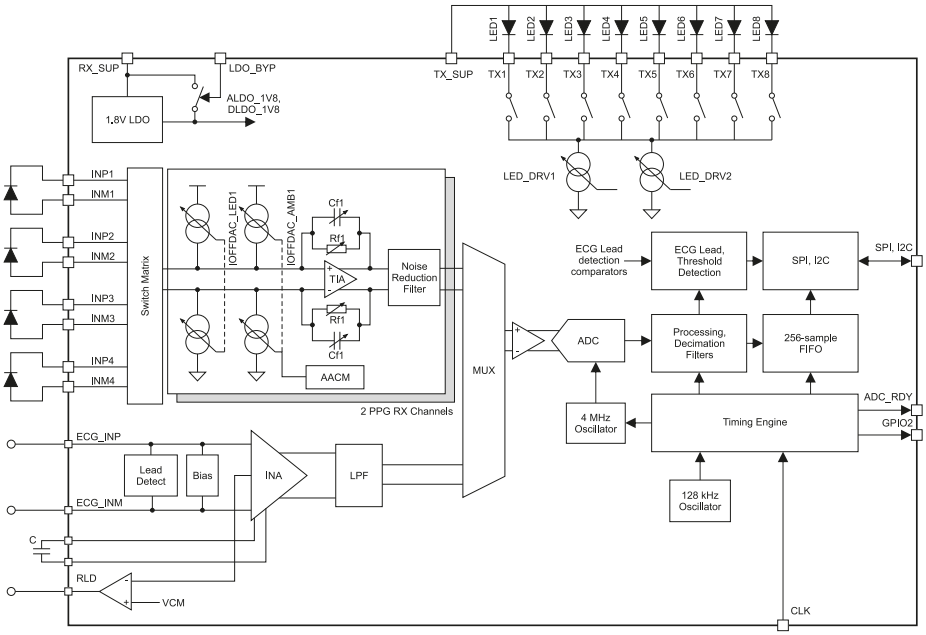
Tor pomiarów optycznych (PPG) – układ zawiera konfigurowalny sterownik diod LED, wykorzystujący blok źródeł prądowych (zakres ustawień od 25 do 250 mA z rozdzielczością 8 bitów) i przełączników, pozwalających na sterowanie maksymalnie ośmioma diodami LED w konfiguracji wspólnej anody. Użytkownik może ustawić czasy włączenia diod w każdej fazie cyklu pracy, a dodatkowo istnieje opcja uruchomienia każdego z kilku sensorów z inną częstotliwością próbkowania. Blok odbiorczy wspiera podłączenie nawet do czterech niezależnych fotodiod, multipleksowanych za pomocą przełącznika analogowego na dwa wspólne tory pomiarowe, z których każdy zawiera przestrajalny, różnicowy wzmacniacz transimpedancyjny (rezystancja sprzężenia zwrotnego w zakresie od 3,7 kΩ do 1000 kΩ), filtr szumu i układ redukcji wpływu oświetlenia zewnętrznego, oparty na 8-bitowym przetworniku



Rysunek 7. Niskomocowa aplikacja AFE do wysokoczęstotliwościowego pomiaru impedancji z izolacją galwaniczną wejścia przez sprzężenie pojemnościowe (AD5940/AD5941) – topologia czteroprzewodowa



Rysunek 8. Przykład wykorzystania jednego z wejść analogowych (AIN6) układu AD5940/1 do współpracy z front-endem EKG (AD8233)

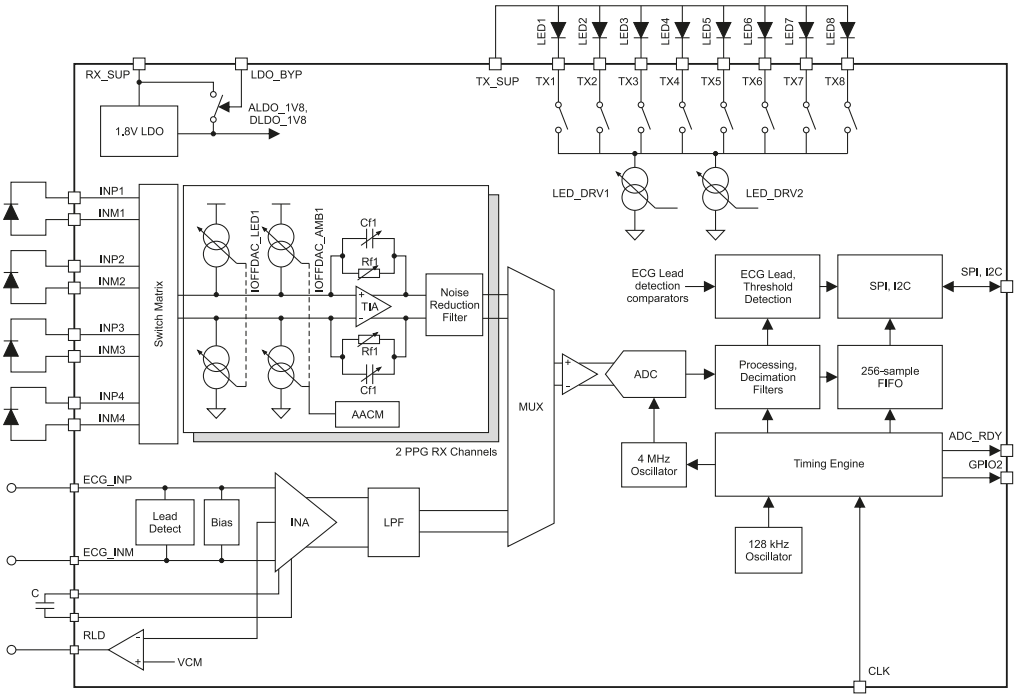


Rysunek 9. Uproszczony schemat blokowy układu AFE4500

eprasa.pl 2b951cc363

DAC z wyjściem prądowym o zakresie 16..256 µA, Układ wspiera tryb niskiego poboru mocy, umożliwiający pracę niewielkich urządzeń akumulatorowych/bateryjnych w trybie ciągłym.

Tor wzmacniacza EKG – układ umożliwia rejestrację jednoodprowadzeniowego (bipolarnego) EKG z osobną elektrodą RLD, przy czym linie sygnałowe EKG są multipleksowane różnicowo na czterech z ośmiu wejść toru bioimpedancyjnego – użytkownik ma także możliwość wyboru linii, wykorzystywanych jako źródło sygnałów dla sumatora wzmacniacza RLD. Co ciekawe, producent zdecydował się zastosować osobne bloki detekcji odłączenia elektrod (lead-off) dla torów EKG (tryby DC lub AC o amplitudzie od 1,6 nA do 100 nA) i bioimpedancji. Za właściwą akwizycję biosygnałów odpowiada wysokiej jakości wzmacniacz pomiarowy o wzmocnieniu 2…21 V/V, współczynniku CMRR powyżej 100 dB, impedancji wejściowej przekraczającej 1 GΩ oraz poziomie szumu odniesionym do wejścia 0,75 µVrms (w paśmie do 150 Hz). Wzmacniacz jest w stanie pracować z offsetem współbieżnym do ±0,3 V i różnicowym do ±0,6 V (jest to zakres wystarczający w większości praktycznych aplikacji EKG, wykorzystujących elektrody żelowe). Usuwanie dryfu izolinii zapewnia układ filtra górnoprzepustowego (współpracującego z zewnętrznym kondensatorem) o częstotliwości progowej 0,4 Hz i funkcją szybkiego powrotu ze stanu nasycenia. Dodatkowo, na wyjściu wzmacniacza pomiarowego znajduje się 300-hercowy filtr dolnoprzepustowy, pełniący funkcję filtru antyaliasingowego.



Rysunek 10. Uproszczony schemat blokowy układu AFE4950

Tor spektroskopu impedancyjnego – blok przeznaczony do realizacji różnorodnych topologii pomiarów impedancji w aplikacjach spektroskopowych (analiza BCA), monitorach aktywności elektrodermalnej (EDA) czy też rejestracji akcji oddechowej na bazie elektrod EKG. Moduł wytwarzający przebieg wyjściowy opiera się na generatorze DDS, taktowanym wbudowaną pętlą PLL i „napędzającym" 7-bitowy przetwornik DAC – zakres częstotliwości roboczych dochodzi do 250 kHz. Układ odbiorczy bazuje na demodulatorze kwadraturowym z osobnymi filtrami LPF dla części rzeczywistej i urojonej, zaś za kondycjonowanie sygnałów odpowiada szybki wzmacniacz pomiarowy, poprzedzony przez rozbudowany multiplekser oraz filtr górnoprzepustowy. Warto dodać, że – z uwagi na „niepełną" topologię pomiarową (pomiar odbywa się przez analizę napięcia, zaś pobudzenie badanego obiektu odbywa się „na ślepo"), front-end wymaga przeprowadzenia stosownej kalibracji (problem ten opisywaliśmy szerzej w 8. odcinku Poradnika Implementacji). W tym przypadku producent przewidział natomiast zastosowanie sprzętowej maszyny stanów w celu automatyzacji procesu kalibracji.

Blok wspólny – wszystkie opisane wyżej bloki funkcjonalne korzystają ze wspólnego, 22-bitowego przetwornika ADC, który – poprzez niezależne bloki decymatorów dla torów PPG, EKG i bioimpedancji – rozdziela próbki na poszczególne strumienie danych. Dodatkowym ułatwieniem dla projektantów jest 256-próbkowa pamięć FIFO, pozwalająca znacząco obniżyć pobór mocy w przypadku urządzeń ubieralnych. Doskonałą informacją będzie też wiadomość, że z front-endem można komunikować się zarówno za pomocą I²C, jak i SPI. Za synchroniczną pracę układu odpowiada wbudowany timer, taktowany wewnętrznym oscylatorem, nie zabrakło też wewnętrznego stabiliztora LDO.

Osoby zainteresowane otrzymaniem dokładnej dokumentacji układu mogą zwrócić się do producenta z prośbą o udostępnienie szczegółowej noty katalogowej – materiały dostępne na stronie Texas Instruments obejmują obecnie jedynie przedstawiony w niniejszym artykule schemat blokowy oraz rysunki techniczne obudowy. Ukrywanie szczegółów technicznych układów scalonych przed publicznym dostępem jest coraz częściej praktykowane, co jednak nie dziwi – rynek front-endów to dynamicznie rozwijająca się gałąź elektroniki, a opracowanie układów o tak wysokim poziomie zaawansowania technicznego jak AFE4500 (opisany powyżej, niezwykle szeroki zakres funkcjonalności, został upakowany w obudowie DSBGA o rozmiarach zaledwie 2×2,5 mm i rastrze 0,4 mm!) stanowi spore przedsięwzięcie tak logistyczne, jak i finansowe.

Układy AFE4950, AFE49I30 i AFE4900

Układ AFE4950 stanowi na pierwszy rzut oka uproszczoną wersję AFE4500, choć w istocie pierwsza wersja dokumentacji ujrzała światło dzienne w czerwcu 2020. Front-end, którego schemat przedstawiono na **rysunku 10**, oferuje nieco inne parametry w poszczególnych torach pomiarowych, nieznacznie większe są też wymiary obudowy (2,6×2,5 mm). Wzmacniacz pomiarowy toru EKG może być przestrajany w zakresie 11 lub 21 V/V, nieco szerszy jest natomiast jego zakres dopuszczalnego napięcia wspólnego (±0,55 V). O ile ogólna konstrukcja toru PPG nie różni się zasadniczo od rozwiązania zastosowanego w AFE4500, to blok bioimpedancyjny okazuje się znacznie mniej rozbudowany – w tym przypadku mamy bowiem do czynienia ze wsparciem prostej topologii 2-elektrodowej. Warto jednak wiedzieć, że zakres pomiaru rozciąga się w tym przypadku aż do 7 MΩ. Układ ma natomiast sprzętowe wejście taktowania (CLK), linię sygnalizującą gotowość przetwornika ADC do odczytu wartości pomiaru (ADC_RDY) oraz dodatkową linię GPIO2. Warto dodać, że w tym przypadku mamy do dyspozycji już nie 22-, ale 24-bitowy przetwornik ADC.

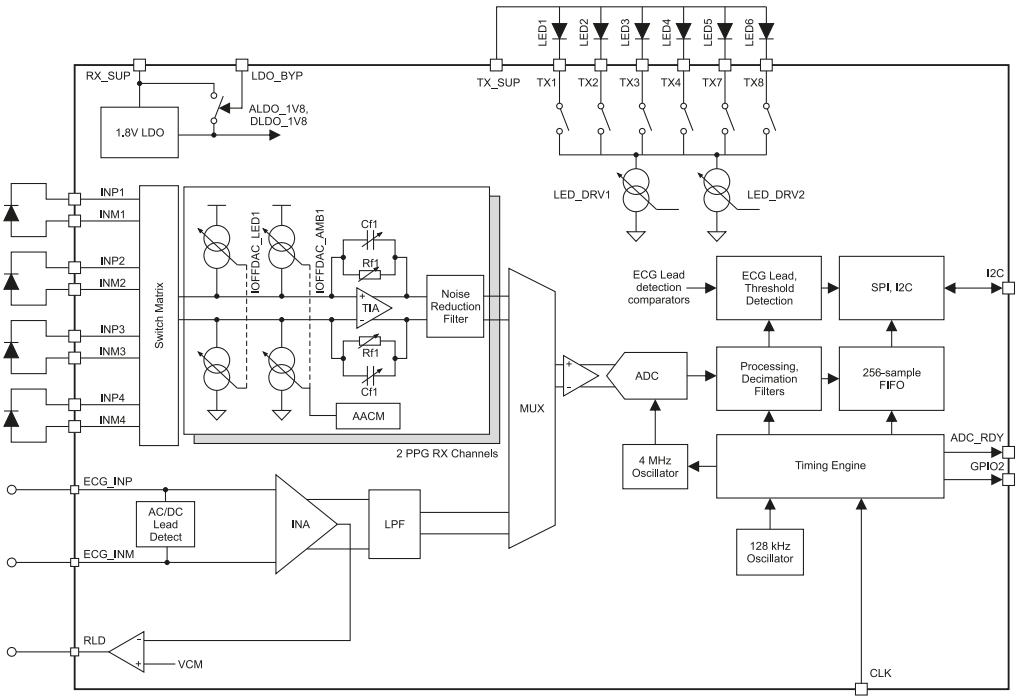
Front-end AFE49I30 stanowi kolejną wariację na temat zintegrowanego układu biomedycznego, znów bardzo zbliżoną konstrukcyjnie do opisanego wcześniej AFE4950 (**rysunek 11**). W tym przypadku producent zredukował liczbę wyjść sterujących diodami LED toru PPG (z 8 do 6), 2-krotnie mniejsza jest także pojemność pamięci FIFO (128 próbek). Spośród wszystkich opisanych układów z tej grupy AFE49I30 oferuje jednak najwyższą maksymalną rozdzielczość czasową pomiaru EKG – aż 4 kSps, w porównaniu do 2 kSps dla AFE4950 i AFE4500. W układzie zabrakło natomiast możliwości pomiaru impedancji.

Układ AFE4900 stanowi najstarszy spośród przedstawionych front-endów, integrujących w sobie tory PPG i EKG (sierpień 2017), można zatem

eprasa.pl 2b951cc363

dopatrywać się w nim cech protoplasty tej podrodziny produktów, która na przestrzeni kolejnych czterech lat uległa znacznej rozbudowie i dywersyfikacji. Schemat układu pokazano na **rysunku 12**. Znane z opisanych wcześniej front-endów rozwiązania to m.in. wielokanałowy sterownik diod LED (w tym przypadku: 4-kanałowy), oraz front-end ze wzmacniaczem TIA i układem redukcji wpływu otoczenia (multiplekser różnicowy dla trzech fotodiod). Podobna jest także topologia głównego bloku peryferyjnego – przetwornik ADC, poprzedzony wspólnym dla wszystkich źródeł sygnału buforem, współpracuje z decymatorem i kolejką FIFO (128 próbek).

Co ciekawe, w momencie wdrażania układu AFE4900 producent stawiał jeszcze na znacznie wyższy zakres wzmocnień wzmacniacza TIA – możliwy do ustawienia zakres rezystancji sprzężenia zwrotnego wynosił tu od 10 kΩ do 2000 kΩ (dla porównania, wszystkie opisane wcześniej układy korzystały z rezystancji od 3,7 kΩ do 1 MΩ). Nietrudno też ustalić przyczyny takiego stanu rzeczy – najprawdopodobniej producent doszedł do (słusznego skądinąd) wniosku, że w wielu praktycznych aplikacjach zbyt wysoka rezystancja sprzężenia TIA powoduje łatwe nasycenie wzmacniacza, co skutkuje uniemożliwieniem prowadzenia pomiarów sygnałów o wyższym poziomie. Przy wysokiej czułości stosowanych obecnie fotodiod oraz po uwzględnieniu bardzo szerokiego zakresu sygnałów (zwłaszcza w przypadku prowadzenia pomiarów PPG/SpO_2 w topologii refleksyjnej, a do takiej przecież zostały przewidziane prezentowane front-endy) rzeczywiste wzmocnienie TIA, konieczne do efektywnego wykorzystania zakresu dynamicznego przetwornika ADC, wymaga znacznie mniejszych wzmocnień, niż miałoby to miejsce w przypadku konwencjonalnych czujników klipsowych, zwłaszcza napalcowych.



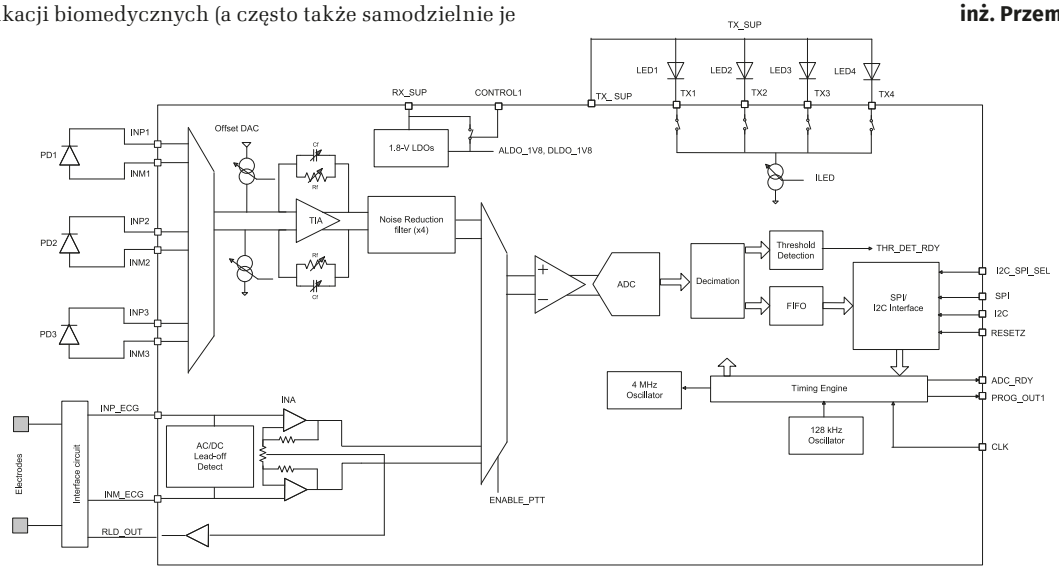
Rysunek 11. Schemat blokowy front-endu AFE49I30

Podsumowanie

Przedstawione rozważania na temat wielofunkcyjnych front-endów biomedycznych jasno pokazują, że rozwój tej grupy układów AFE przebiega wielotorowo i w dużym stopniu nadąża za rynkowymi trendami w obszarze aplikacji biomedycznych (a często także samodzielnie je kształtuje). Pierwotne założenia producentów, w zależności od tego, z jakim feedbackiem projektantów się spotkają, są weryfikowane i wpływają na kształt kolejnych wersji front-endów. Jedno jest pewne – niezaprzeczalny trend miniaturyzacji sprawia, że układy, które jeszcze kilka...kilkanaście lat temu trzeba było budować przynajmniej za pomocą dwóch lub trzech osobnych bloków pomiarowych (czy to na bazie niezależnych front-endów, czy też układów tworzonych od podstaw), dziś przyjmują postać miniaturowych układów, możliwych do umieszczenia nawet w najbardziej kompaktowych urządzeniach ubieralnych. Pojawia się pytanie, jak długo będzie trwał ów technologiczny wyścig – praktyka pokazuje bowiem, że wbrew futurystycznym wizjom inżynierów biomedycznych, większość kolejnych prób wdrożenia różnorodnych urządzeń telemedycznych spala na panewce i to z przyczyn pozostających zupełnie poza zasięgiem wpływu samych projektantów.

W kolejnym odcinku Poradnika Implementacji będziemy kontynuowali prezentację wielofunkcyjnych front-endów medycznych, zaś z początkiem roku 2022 odłożymy na pewien czas tematykę pomiarów biomedycznych, skupiając się na nieco bardziej uniwersalnych rozwiązaniach dla urządzeń przemysłowych, laboratoryjnych i nie tylko.

inż. Przemysław Musz, EP



Rysunek 12. Schemat blokowy front-endu AFE4900

eprasa.pl 2b951cc363

Konwerter poziomów logicznych nieco inaczej

Budowa nowoczesnego systemu elektronicznego wymaga zastosowania wielu różnych układów scalonych oraz innych podzespołów komunikujących się z użyciem cyfrowych magistral. Często zdarza się, że działają one w różnych standardach napięciowych – 5 V i 3,3 V. W jaki sposób można je ze sobą pogodzić?

W artykule biorę na celownik proste magistrale cyfrowe, które tworzą asymetryczne połączenia w obwodach drukowanych i są obsługiwane przez nadajniki typu push-pull. Mowa o prostych interfejsach typu SPI, UART oraz innych, niemających charakterystycznej nazwy, jak interfejs komunikacyjny popularnego sterownika wyświetlacza LCD typu HD44780. Ten ostatni jest najczęściej sterowany przez wyprowadzenia mikrokontrolera, który w swojej strukturze zawiera właśnie wyjścia push-pull.

Praktyczny przykład

Dla lepszego nakreślenia istoty problemu odniosę się do przykładowej aplikacji, z którą spotkał się niejeden projektant elektroniki. Mikrokontroler typu STM32, zasilany napięciem 3,3 V, ma sterować wyświetlaczem LCD ze wspomnianym wcześniej sterownikiem (a raczej jego odpowiednikiem). Szybki rzut oka do noty katalogowej i już widać pierwszy problem: wyświetlacz może być zasilany napięciem 5 V z niewielką tolerancją, a stan wysoki na wejściach rozpoznaje poprawnie dopiero od... 3,5 V. Nawet podnosząc napięcie zasilające mikrokontroler do 3,6 V, co oznaczałoby osiągnięcie granicznych dopuszczalnych parametrów, nie mamy gwarancji poprawnego działania. Jedynym pewnym rozwiązaniem jest zastosowanie konwertera poziomów logicznych. Komunikacja jest jednostronna, więc zadanie nie wydaje się trudne.

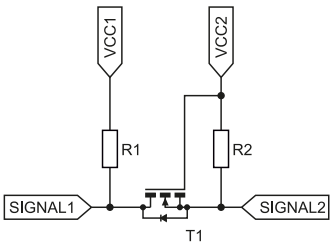
Koszt produkcji urządzenia zawsze jest istotnym parametrem, dlatego trzeba szukać rozwiązań prostych, dostępnych i budżetowych. Specjalizowane układy scalone pełniące funkcję konwerterów zapewniają wprawdzie bardzo dobre parametry czasowe, ale ich cena potrafi nieprzyjemnie zaskoczyć. W produkcji większych serii każda zaoszczędzona kwota daje wymierne korzyści. Dlatego warto mieć na taką okoliczność jakiegoś asa w rękawie.

Proste rozwiązanie – zalety i wady

Bardzo popularnym rodzajem konwertera jest układ z tranzystorem MOSFET z kanałem N oraz dwoma rezystorami. Schemat tego rozwiązania został pokazany na **rysunku 1**. Jego cena z pewnością jest akceptowalna, lecz ma ono pewną wadę: czasy narastania i opadania napięcia nie są jednakowe. Dzieje się tak, ponieważ stan wysoki jest wymuszany przez rezystory, a niski przez układ nadajnika i sam tranzystor. Przy wyższych szybkościach transmisji danych to zjawisko daje znać o sobie, prowadząc do zniekształcenia czasu trwania impulsów. Poza tym kilka takich konwerterów może zająć sporo miejsca na powierzchni płytki drukowanej, zwłaszcza wtedy, kiedy elementy bierne muszą być w obudowach SMD1206.

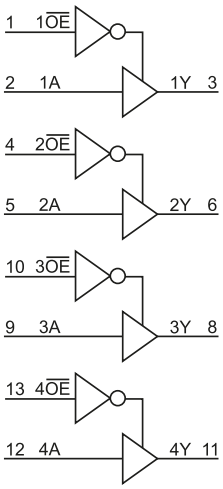
Lepsze rozwiązanie

Czy istnieje rozwiązanie, które łączy zalety specjalizowanych konwerterów i prostego układu z rysunku 1? Okazuje się, że tak. Wystarczy przychylnym okiem spojrzeć na zwykłe układy logiczne z serii AHCT, a dokładniej mam na myśli 74AHCT125. Zawiera cztery niezależne bufory z wejściami aktywującymi. Dokładną konfigurację pokazuje **rysunek 2**. Ze względu na specyfikę tej rodziny może być zasilany napięciem od 4,5 V do 5,5 V.



Rysunek 1. Prosty, dwukierunkowy konwerter poziomów logicznych

Lektura noty katalogowej tego układu daje obiecujące wnioski. Logiczna 1 jest interpretowana już od wartości zaledwie... 2 V (**rysunek 3**). Zatem mikrokontrolery zasilane napięciem 3,3 V bez problemu mogą wysterować wejścia tych buforów. Podobnie jak w nowoczesnych układach CMOS, tak i tutaj mamy do dyspozycji bardzo mały czas propagacji – typowo 3 ns przy pojemności obciążenia 15 pF i w temperaturze 25°C. Wejścia aktywujące (ENA) można na stałe zewrzeć z masą albo użyć do sterowania przepływem danych, na przykład odłączając magistralę SPI od jednego z układów nadrzędnych. Jedynie układ wyprowadzeń nie jest zbyt wygodny (**rysunek 4**), ponieważ wejścia i wyjścia buforów nie zostały ułożone naprzeciw siebie. Za to cena układu jest do zaakceptowania – poniżej 30 gr netto za sztukę w hurcie (wrzesień 2021) za układ 74AHCT125S14-13.



Rysunek 2. Schemat wewnętrzny układu 74AHCT125

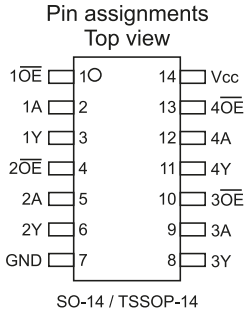
Electrical Characteristics (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameter	Test Conditions	V_{CC}	T_A = -40°C to +85°C		T_A = -40°C to +125°C		Unit
				Min	Max	Min	Max	
V_{IH}	High-Level Input Voltage		4.5V to 5.5V	2.0		2.0		V
V_{IL}	Low-Level Input Voltage		4.5V to 5.5V		0.8		0.8	V

Rysunek 3. Wartości wejściowych napięć poziomów logicznych układu 74AHCT125

Konwersja w drugą stronę

A co z konwersją, kiedy odbiornik informacji jest zasilany napięciem niższym niż nadajnik? W przypadku sygnałów o małej szybkości sprawę może załatwić dzielnik rezystancyjny lub zwykły rezystor ograniczający prąd diod zabezpieczających wbudowanych w wejście odbiornika. Ale nie zawsze takie rozwiązanie będzie odpowiednio szybkie. Można wtedy wspomóc się układem z serii AHC, a dokładniej 74AHC125, który zawiera dokładnie to samo, co omówiony wcześniej 74AHCT125. Możemy do mikrokontrolera zasilanego napięciem 3,3 V podłączyć czujnik pracujący z napięciem 5 V i cieszyć się szybkim transferem danych. 74AHC125 może być zasilany napięciem o wartości od 2 V do 5,5 V, ale wejścia akceptują napięcie 5,5 V nawet wtedy, kiedy jego napięcie zasilania jest znacznie niższe. Szczegóły zostały pokazane na **rysunku 5**. Można więc z niego zrobić szybki konwerter napięcia „w dół", ponieważ typowe opóźnienie między wejściem a wyjściem wynosi 4,4 ns, przy napięciu zasilania od 3 V do 3,6 V, pojemności obciążenia 15 pF i temperaturze 25°C.



Rysunek 4. Układ wyprowadzeń układu 74AHCT125

Podobnie jak w przypadku poprzednika, tak i ten układ ma przystępną cenę. Koszt jednej sztuki (netto) wynosi poniżej 30 gr za układ 74AHC125S14-13 (wrzesień 2021). Oprócz kondensatora odsprzęgającego zasilanie nie wymaga żadnych dodatkowych elementów.

Michał Kurzela, EP

Bibliografia:
[1] https://bit.ly/3bySZS9
[2] https://bit.ly/3CGZM8j

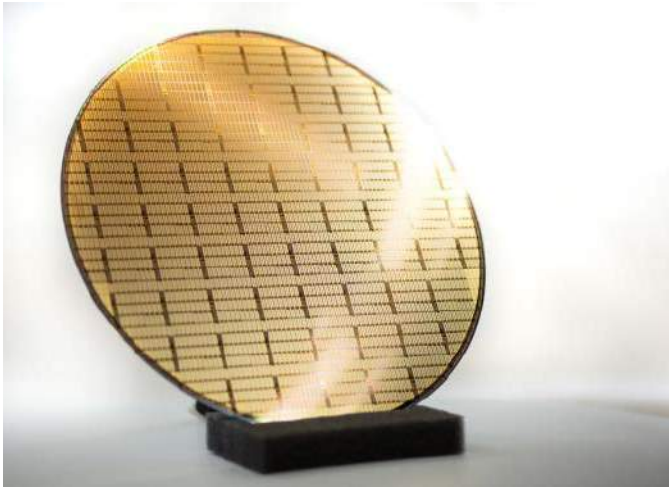
Electrical Characteristics (@T_A = +25°C, unless otherwise specified.)

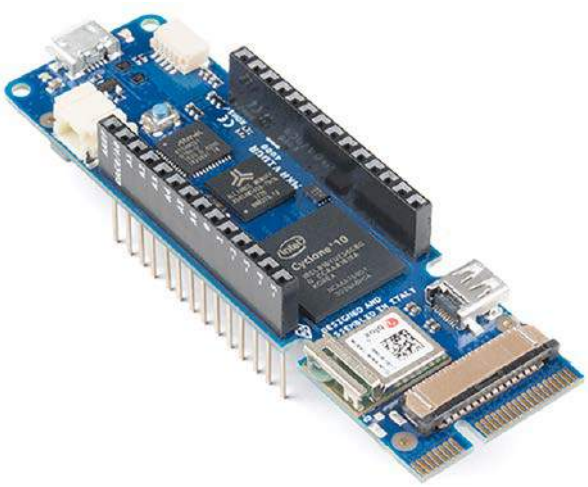
Symbol	Parameter	Test Conditions	V_{CC}	T_A = -40°C to +85°C		T_A = -40°C to +125°C		Unit
				Min	Max	Min	Max	
V_{IH}	High-Level Input Voltage		2.0V	1.5		1.5		V
			3.0V	2.1		2.1		
			5.5V	3.85		3.85		
V_{IL}	Low-Level Input Voltage		2.0V		0.5		0.5	V
			3.0V		0.9		0.9	
			5.5V		1.65		1.65	

Rysunek 5. Wartości wejściowych napięć poziomów logicznych układu 74AHC125

eprasa.pl 2b951cc363

koktajl niusów





Azotkowo-galowe podzespoły mocy drugiej generacji

Infineon Technologies i Panasonic podpisały umowę na opracowanie nowej technologii niezbędnej do produkcji tytułowych podzespołów. Będzie to sukcesor dotychczas stosowanych przez nie rozwiązań dla elementów GaN pierwszej generacji – przede wszystkim CoolGaN oraz X-GaN. Nowa metoda ma w szczególności korzystać z pokrytych warstwą azotku galu wafli krzemowych o średnicy 8 cali, zawierających tranzystory HEMT o małej pojemności i niskiej rezystancji w stanie włączenia. Wpłynie to korzystnie na szybkość przełączania układów mocy i pozwoli osiągnąć napięcie pracy na poziomie 650 V. Ponadto, w przeciwieństwie do obecnych rozwiązań, elementy te będą działały jako normalnie wyłączone. Rozważana jest też możliwość wytwarzania hybrydowych tranzystorów HD-GIT.

Dyrektor oddziału systemów mocy i sensorów firmy Infineon Technologies, Andreas Urschitz, relacjonuje te działania tak: „Oprócz wysokich standardów niezawodności dla pierwszej generacji, następna generacja sprawi, że klienci skorzystają z jeszcze łatwiejszego sterowania przy mniejszych kosztach, szczególnie dzięki zastosowaniu ośmiocalowych wafli". Natomiast dyrektor wykonawczy oddziału inżynierskiego firmy Panasonic, Tetsuzo Ueda, dodał: „Cieszymy się, że możemy rozszerzyć nasze partnerstwo i współpracę z firmą Infineon Technologies w obszarze podzespołów GaN. Dzięki temu układy drugiej generacji, podobnie jak pierwszej, będą wysokiej jakości, przy najnowszych, innowacyjnych osiągnięciach".

Arduino MKR Vidor 4000, czyli mikrokontroler i układ FPGA w jednym

Jest to wyjątkowy zestaw, ponieważ o jego możliwościach stanowią dwa różne rozwiązania. Płytka Arduino MKR Vidor 4000 zawiera:

- mikrokontroler SAMD21G18A firmy Microchip Technology, wyposażony w rdzeń ARM Cortex M0+ o maksymalnej częstotliwości taktowania 48 MHz, który zawiera pamięć SRAM o pojemności 32 kB, pamięć Flash o pojemności 256 kB oraz interfejsy: I^2S, I^2C, SPI, UART i USB 2.0;
- układ FPGA Cyclone 10CL016 firmy Intel zawierający 15408 programowalnych bloków logicznych, 340 wyprowadzeń I/O, pamięć RAM o pojemności 504 kb oraz 56 bloków DSP.

Dodatkowo na płytce znajduje się moduł radiowy NINA W102 firmy u-blox implementujący interfejsy bezprzewodowe: Bluetooth Low Energy 4.2, Bluetooth 4.2+EDR i Wi-Fi 4,2 GHz b/g/n.

Wyprowadzenia cyfrowe na płytce są dołączone do obydwu układów, a wyprowadzenia analogowe trafiają do 20-kanałowego przetwornika analogowo-cyfrowego, który może pracować z rozdzielczościami: 8, 10 i 12 bitów, oraz przetwornika cyfrowo-analogowego o rozdzielczości 10 bitów. Zastosowano trzy wyprowadzenia napięciowe – dwa wyjścia o napięciach 3,3 V i 5 V oraz wejście Vin pozwalające na dołączenie napięcia 5...6 V. Układ FPGA jest wspierany pamięcią SDRAM o pojemności 8 MB oraz pamięcią QSPI Flash o pojemności 2 MB. Do tego układu doprowadzone są złącza: MIPI CSI i MiniPCIe oraz gniazdo MicroHDMI. Natomiast mikrokontroler ma do dyspozycji układ kryptograficzny ATECC608A firmy Microchip, który realizuje wiele zadań związanych z bezpieczeństwem komunikacji.

Programowanie Arduino MKR Vidor 4000 może być wykonywane na dwa sposoby. W przypadku mikrokontrolera należy posłużyć się kablem USB lub złączem ICSP dla zewnętrznych programatorów. Dla układu FPGA wyprowadzono złącze JTAG dla zewnętrznych programatorów zgodnych z USB Blaster. FPGA może być programowany także poprzez mikrokontroler po wgraniu do niego kodu uwzględniającego pliki formatu Tabular Text File (*.ttf*).

Na płytce znajduje się złącze umożliwiające dołączenie akumulatorka Li-Ion lub Li-Poly o napięciu znamionowym 3,7 V i pojemności co najmniej 1024 mAh. Ładowanie kontrolowane jest za pomocą układu BQ24195L firmy Texas Instruments, który może być sterowany zarówno przez mikrokontroler, jak i układ FPGA.

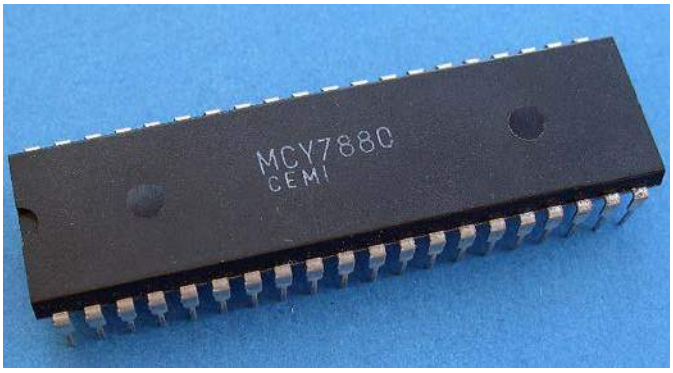
Do budowy oprogramowania służy darmowe środowisko Arduino IDE, wspomagane przez, również darmowe, środowisko Intel Quartus przeznaczone dla układu FPGA. Zestaw może współpracować z usługą Arduino IoT Cloud.

Polska odpowiedź na mikroprocesor Intel 8080

Jest to pokazany na rysunku układ MCY7880 firmy Unitra CEMI. A oto jego specyfikacja:

- długość magistrali danych: 8 bitów,
- technologia wykonania: MOS,
- liczba instrukcji: 78,

eprasa.pl 2b951cc363



- jednostka arytmetyczno-logiczna operująca na liczbach BCD,
- 6 rejestrów ogólnego przeznaczenia,
- wbudowany akumulator i rejestr instrukcji,
- obecność rejestru rozkazów oraz wskaźnika stosu (oba szesnastobitowe),
- wsparcie dla pamięci RAM o pojemności do 64 kB,
- 4 metody adresacji pamięci,
- obsługa DMA,
- wielopoziomowy, wektorowy system przerwań,
- dwufazowy zegar o maksymalnej częstotliwości taktowania 3 MHz,
- napięcia zasilania: –5 V, 5 V, 12 V,
- współpraca z układami TTL.

To naprawdę wspaniała kopia (bardzo wierna). Nieważne, że jest „made in PRL" – ważne, że działa i nawet można ją jeszcze gdzieniegdzie kupić. Ciekawostka jest polecana szczególnie młodym elektronikom, którzy nie znają tamtych czasów – niech wiedzą, że była też polska elektronika. Więcej informacji na temat układu MCY7880 można znaleźć na: http://retrokolekcja.pl/MCY7880.php.

GRA O JUTRO

Uważam, że Bajtek może założyć firmę która powtórzy karierę Apple'a

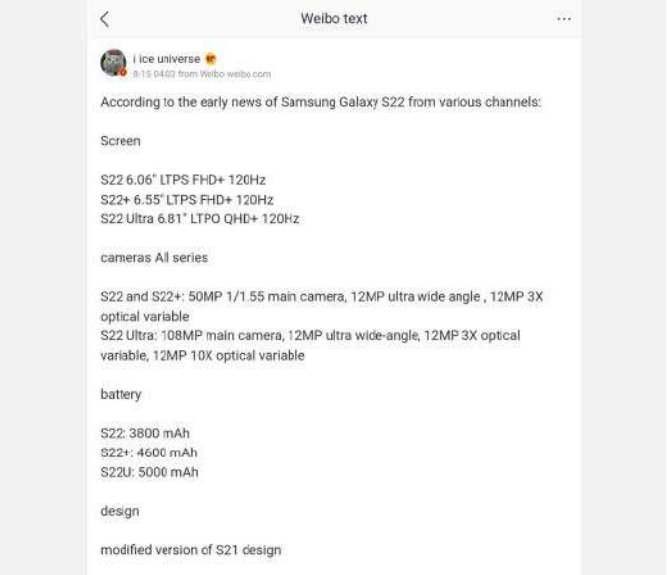
GENERACJA Z KOMPUTERA

Rozmowa z Aleksandrem Kwaśniewskim — ministrem d/s młodzieży

BAJTEK 4/87 3

Kultowe czasopismo komputerowe „Bajtek"

Niemal wszystkie wydania tego czasopisma można już teraz zobaczyć w witrynie *archive.org* i to za darmo. Link do wydań: https://archive.org/details/bajtekmagazine. Pismo było wydawane w latach 1985...1996. Nawet nasz były prezydent Aleksander Kwaśniewski miał okazję pozytywnie się o nim wypowiadać, a nawet stwierdził, że może to być zaczątek polskiego Apple'a. To naprawdę fantastyczna gratka dla miłośników retro, a dla młodzieży ciekawa lekcja historii.


Weibo text

i ice universe

According to the early news of Samsung Galaxy S22 from various channels:

Screen

S22 6.06" LTPS FHD+ 120Hz
S22+ 6.55" LTPS FHD+ 120Hz
S22 Ultra 6.81" LTPO QHD+ 120Hz

cameras All series

S22 and S22+: 50MP 1/1.55 main camera, 12MP ultra wide angle , 12MP 3X optical variable
S22 Ultra: 108MP main camera, 12MP ultra wide-angle, 12MP 3X optical variable, 12MP 10X optical variable

battery

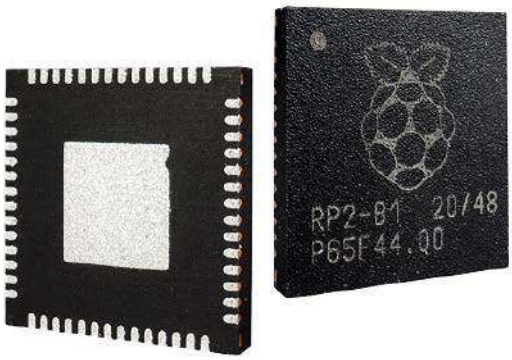
S22: 3800 mAh
S22+: 4600 mAh
S22U: 5000 mAh

design

modified version of S21 design

Przypomnienie o premierze smartfona Samsung Galaxy S22

W lutym 2022 roku (choć mówi się również o styczniu) planowana jest premiera tytułowego modelu. Na rysunku pokazano „przeciek" informacji dotyczący jego specyfikacji, który udostępnił użytkownik Ice Universe z portali: Twitter i Weibo, na którym zawsze można polegać (z góry bardzo mu dziękujemy).



Mikrokontroler RP2040 od Raspberry Pi Foundation – tani, samodzielny układ

Właśnie ten układ znacząco spopularyzował zestaw Raspberry Pi Pico, a teraz jest oferowany jako odrębny element. Jego specyfikacja tylko utwierdza stwierdzenie, że to prosty element o sporych możliwościach. Nie jest to nowa architektura i w odróżnieniu od wielu podobnych układów nie ma zintegrowanej pamięci Flash. Ale zawiera wszystkie niezbędne rozwiązania i interfejsy. Ma przetwornik analogowo-cyfrowy zdolny przetworzyć pół miliona próbek w ciągu sekundy na 4 kanałach. Dostępna jest średniej wielkości pamięć SRAM i dwa bloki PLL, a także kontroler DMA i PHY, z czego ostatni pozwala na sprawną obsługę sieciową. Wreszcie są dwa tryby pracy umożliwiające lepsze zarządzanie RP2040. Wszystko to przy niskim napięciu zasilania i obudowie QFN-56 o kompaktowych rozmiarach. Programowanie – języki: C, C++ i MicroPython, są mile widziane. I jeszcze „obsługa" biblioteki TensorFlow do implementacji uczenia maszynowego. Naprawdę doskonałe zestawienie i kosztuje tylko parę złotych. Więcej informacji można znaleźć na: https://www.raspberrypi.org/products/rp2040/.

Nowy router TP-Link – Archer AX23, w standardzie Wi-Fi 6, z obsługą OneMesh

Firma TP-Link poszerzyła swoje portfolio o nowy model routera w standardzie Wi-Fi 6 – jest to Archer AX23. Urządzenie zostało bardzo

eprasa.pl 2b951cc363

atrakcyjnie wycenione i jest polecane w szczególności tym, którzy potrzebują stabilnych oraz szybkich połączeń dla wielu domowych urządzeń jednocześnie. Wspomniany router wdraża technologię OneMesh, która w inteligentny sposób łączy urządzenia z routerem lub wzmacniaczem sieci bezprzewodowej oferującym najlepszą jakość połączenia. Router pracuje w standardzie 802.11ax (Wi-Fi 6) zapewniającym przepustowość 1201 Mb/s w paśmie 5 GHz i 574 Mb/s w paśmie 2,4 GHz. W modelu tym zastosowano rozwiązania poprawiające zasięg i wydajność funkcjonowania sieci bezprzewodowej. W szczególności mowa tu o technice OFDMA umożliwiającej podłączenie dużej liczby urządzeń przy znacznym zmniejszeniu opóźnień w transmisji. Ponadto funkcja Smart Connect odpowiada za automatyczny wybór mniej obciążonego pasma Wi-Fi dla dołączanych do sieci sprzętów. Wreszcie – funkcja Airtime Fairness, dzięki której starsze urządzenia nie powodują spadku prędkości sieci. Dodatkowo zastosowano mechanizm Target Wake Time, który pozwala na wydłużenie czasu uśpienia urządzeń i pracy z baterii, szczególnie w przypadku urządzeń mobilnych i IoT. Z kolei usprawnienie algorytmu i połączenie technologii transmisji kierunkowej i „mocnych" anten wspieranych przez technologię Beamforming (kształtowanie wiązki do lokalizacji łączących się z routerem urządzeń wraz ze zwiększaniem siły sygnału w ich stronę) umożliwia użytkownikowi utworzenie silnej i niezawodnej sieci bezprzewodowej.

Archer AX23 ma funkcję OneMesh, która inteligentnie łączy urządzenia z routerem bądź wzmacniaczem sieci bezprzewodowej oferującym najlepszą jakość połączenia. Krótko mówiąc – to, co tworzy sieć OneMesh, współpracuje ze sobą, by stanowić jednolitą sieć Wi-Fi. Dla przykładu – gdy następuje przemieszczanie się po domu, telefon lub tablet zawsze połączy się z urządzeniem, które oferuje najlepsze połączenie bez przerywania transferu. Dodatkowo router wyposażony jest w jeden gigabitowy port WAN oraz cztery gigabitowe porty LAN, dzięki którym użytkownik ma do dyspozycji szybkie połączenia przewodowe.

Opisane urządzenie jest wstecznie kompatybilne ze standardami 802.11a/b/g/n. Podobnie jak w przypadku większości sprzętów od TP-Link, konfiguracja Archera AX23 jest niezwykle prosta. Dzięki bezpłatnej aplikacji Tether, dostępnej na urządzenia mobilne z systemem iOS oraz Android, trwa ona zaledwie kilka minut. Router objęty został trzyletnią gwarancją producenta. Jego cena wynosi około 260 zł brutto. Więcej informacji: https://www.tp-link.com/pl/home-networking/wifi-router/archer-ax23/.

Kultowa Nokia 3310

Urządzenie to nie było skomplikowane w budowie. Mowa tu o płycie głównej pierwotnego modelu (nie mylić z jego najnowszymi wersjami), której budowa pozwala łatwo znajdować i naprawiać usterki. Były to np. problemy z dołączaniem się do stacji bazowej lub losowe problemy z oprogramowaniem czy niesłyszenie odbiorcy. Układy scalone i elementy dyskretne można było wymieniać. Wymagało to pewnych umiejętności i doświadczenia, ale dało się wykonać w warunkach domowych. Dokładną budowę płyty głównej można zobaczyć na: http://infoselular.blogspot.com/2007/04/skema-nokia-3310-belakang.html.

Biała, stylowa obudowa dla zestawu Arduino Yún Rev 2

Obudowa CDQ4203 firmy CamdenBoss to wytrzymały produkt o ciekawym wyglądzie. Wprawdzie została ona opracowana dla jednego zestawu, ale nic nie stoi na przeszkodzie, aby zastosować ją do innych rozwiązań. Jest to intuicyjny w obsłudze produkt znoszący trudne warunki, a przy tym estetycznie wygląda. Specyfikacja obudowy CDQ4203 jest następująca:

- rodzaj konstrukcji: dwuczęściowa, rozbieralna, zatrzaskowa (bez śrubek),
- materiał: HIPS (polistyren wysokoudarowy),
- kształt: 2-U,
- kolor: biały,
- grubość ścianek: 3 mm,
- wymiary: 62×73×23 mm,
- zakres temperatury pracy: –10...60°C,
- waga: 40 g,
- inne:
- niebieskawe okienko z mrożonego akrylu w górnej części obudowy,
- szczelina w dolnej części obudowy ułatwiająca montaż zestawu Arduino Yún Rev 2.

Więcej informacji pod adresem: https://www.distrelec.biz/Web/Downloads/_t/ds/Arduino_yun_rev2_case_eng_tds.pdf.

Nowe oznaczenia dla standardu USB

Mowa tu o symbolach graficznych dla najnowszych, certyfikowanych urządzeń, kabli oraz ładowarek. Przygotowała je organizacja USB Implementers Forum (USB-IF) rozwijająca wspomniany standard. Symbole zostały pokazane na rysunku. Dotyczą one (kolejno od góry):

eprasa.pl 2b951cc363

Certified USB Logo Program

For certified solutions based upon the USB4™, USB Type-C® and/or USB Power Delivery Specifications

	Packaging Logo Examples	Cable/Port Logo Examples	Combined USB4™ Data/Watts Logo Examples
Certified USB4™ 40Gbps*	CERTIFIED USB 40Gbps	40Gbps	CERTIFIED USB 40Gbps 240W
Certified USB Type-C® 240W Cable*	CERTIFIED USB 240W	240W**	40Gbps 240W**
Certified USB 240W Charger	CERTIFIED USB CHARGER 240W	N/A	N/A

* Certified logos available for USB Type-C® EDAC Cables and USB4™ 20Gbps solutions.
**Only for use on Certified USB Type-C® Cables.

- urządzeń/rozwiązań zgodnych ze specyfikacją USB4 i kabli o mocy nominalnej 60 W,
- kabli o mocy nominalnej 240 W,
- ładowarek o mocy wyjściowej do 240 W.

Wszystko to w trzech wersjach: do stosowania na obudowach/opakowaniach (pierwsza kolumna), do stosowania na kablach/portach (druga kolumna) i w wersji łączonej (trzecia kolumna). Są to oznaczenia przyznawane jedynie wyrobom oryginalnym, podlegającym certyfikacji przez USB-IF. Więcej informacji na stronie organizacji: https://www.usb.org.

Nowa fabryka Infineon Technologies

Otwarcie odbyło się 17 września br. w godzinach przedpołudniowych, pod hasłem „Ready for Mission Futre". Dokonano tego w austriackim Villach. Jest to nowe miejsce produkcji zaawansowanych układów scalonych z zastosowaniem wafli krzemowych o średnicy 300 mm. Kosztująca blisko 1,6 miliarda euro inwestycja została otwarta przez prezesa firmy Reinharda Plossa, któremu towarzyszyli: szefowa austriackiego oddziału Infineon Technologies Sabina Herlitschka, komisarz UE Thierry Breton i kanclerz Austrii Sebastian Kurz.

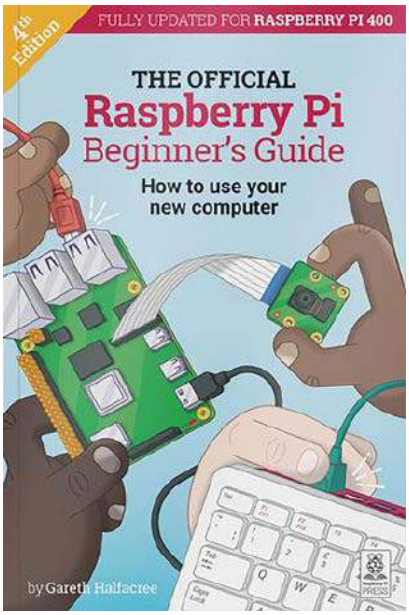
Zdaniem Plossa: „Nowa fabryka jest kamieniem milowym dla Infineon Technologies, a jej otwarcie jest wspaniałą wiadomością dla naszych klientów. Czas na powstanie nowych mocy produkcyjnych w Europie nie mógł być lepszy, biorąc pod uwagę wciąż rosnący popyt na półprzewodniki mocy. Ostatnie kilka miesięcy dobitnie pokazało, jak istotna jest mikroelektronika w każdej dziedzinie życia. Mając na względzie przyspieszone tempo digitalizacji, spodziewamy się, że popyt na półprzewodniki mocy będzie tylko rósł w nadchodzących latach. Dodatkowe moce produkcyjne pomogą nam lepiej obsługiwać naszych klientów na całym świecie, szczególnie długoterminowo".

Nowy zakład firmy został oddany do użytku na początku sierpnia na trzy miesiące przed planowanym terminem zakończenia robót. Jego powierzchnia wynosi 60 tysięcy m². Zwrócono w nim szczególną uwagę na możliwość poprawy bilansu energetycznego – zgodnie z planami spółki, 80 procent zapotrzebowania na ciepło zostanie pokryte dzięki recyklingowi ciepła odpadowego z fabrycznych systemów chłodzenia, co pozwoli uniknąć emisji ok. 20 tys. ton dwutlenku węgla rocznie. Ponadto używany przy produkcji układów wodór będzie wytwarzany na miejscu z odnawialnych źródeł energii, a następnie, po „zużyciu", posłuży do napędzania autobusów miejskich. Słowem „ekoinnowacja".

Wytwarzane w Villach produkty pozwolą zaspokoić wzrastający z roku na rok popyt na półprzewodniki mocy w samochodach elektrycznych, centrach danych i energetyce słonecznej. Prowadzona na miejscu produkcja będzie przy tym stopniowo zwiększana w ciągu najbliższych 4...5 lat. Blisko dwie trzecie załogi jest już zatrudniona. Będzie ją wspierać sztuczna inteligencja, która będzie wspomagała utrzymanie obiektu. Jako ciekawostkę można dodać, że to właśnie w Villach, w miejscowym centrum rozwoju Infineon Technologies opracowano niemal 10 lat temu technologię produkcji półprzewodników mocy na waflach krzemowych o średnicy 300 milimetrów, którą następnie wdrożono w zakładzie produkcyjnym przedsiębiorstwa w Dreźnie.

Jak mówi członek zarządu firmy Jochen Hanebeck: „Infineon Technologies dysponuje obecnie dwoma zakładami produkcji półprzewodników mocy korzystających z wafli o średnicy 300 milimetrów: jednym w Dreźnie, a drugim w Villach. Zakłady te bazują na tych samych standardowych koncepcjach produkcji i cyfryzacji. Dzięki temu możemy sterować produkcją w obu zakładach tak, jakby były jedną fabryką. Zwiększamy produktywność i tworzymy dodatkową elastyczność dla naszych klientów. Dzieje się tak, ponieważ możemy szybko przenosić wielkość produkcji różnych produktów pomiędzy zakładami i w ten sposób jeszcze szybciej reagować na ich potrzeby. Dzięki „megafabryce" Infineon Technologies ustanawia nowy standard w produkcji 300-milimetrowej. Umożliwia to dalszy wzrost wydajności zasobów i energii, jak również optymalizację wpływu na środowisko".

Użyteczny, papierowy samouczek Raspberry Pi



Sprawna obsługa komputerów Raspberry Pi? Z oficjalnym samouczkiem Raspberry Pi Foundation jest to możliwe! Ta licząca 252 strony pozycja pozwala łatwo i sprawnie wejść w świat tytułowej platformy poprzez dwa najpopularniejsze jej modele: Pi 4 oraz Pi 400. Całość ma 8 rozdziałów, w których:

- wyjaśniono, czym jest Raspberry Pi,
- opisano dokładnie komputery,
- pokazano, jak je uruchomić,
- omówiono ich systemy operacyjne,
- zaprezentowano sposób użycia języków programowania: Scratch 3 i Python wraz z kodami ułatwiającymi ich zrozumienie,
- zaprezentowano projekty do wykonania na komputerach Pi 4 i Pi 400, w szczególności te korzystające z modułów: Sense HAT oraz Raspberry Pi Camera Module.

Treść dostępna jest w języku: angielskim, francuskim, hiszpańskim, niemieckim oraz włoskim. Cena to 10 £ (stan na październik 2021 r.). Autorem pozycji jest Gareth Halfacree. Więcej informacji pod adresem: https://bit.ly/390StMp.

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@wat.edu.pl

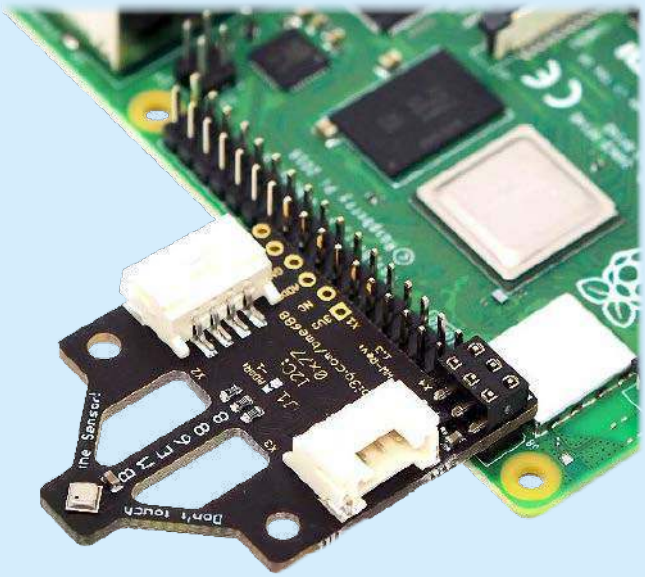
eprasa.pl 2b951cc363

Systemy dla Internetu Rzeczy (54)

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

Bosch BME688 – czujnik gazu ze sztuczną inteligencją

BME688 firmy Bosch to pierwszy czujnik gazu ze sztuczną inteligencją (AI) i zintegrowanymi czujnikami ciśnienia, wilgotności i temperatury, odznaczającymi się wysoką liniowością i dokładnością. Jest umieszczony w solidnej, ale kompaktowej obudowie o wymiarach 3,0×3,0×0,9 mm i został opracowany specjalnie do zastosowań mobilnych i urządzeń do noszenia, w których rozmiar i małe zużycie energii są krytycznymi wymaganiami. Czujnik gazu może wykrywać lotne związki organiczne (VOC), lotne związki siarki (VSC) i inne gazy, takie jak tlenek węgla i wodór w zakresie części na miliard (ppb). Jedną z głównych zalet BME688 jest możliwość bezpośredniego użycia przetworzonych danych pomiarowych z czujników w aplikacjach pracujących w czasie rzeczywistym.



Czujnik jakości powietrza BME688 jest rozszerzeniem możliwości czujnika BME680 (bardzo popularnego w zastosowaniach Internetu Rzeczy) o funkcję skanera gazu [1]. Układ scalony BME688 to kilka bloków w jednej strukturze: czujnik ciśnienia i temperatury (jak w układzie BMP280) z rozszerzeniem o czujnik wilgotności (jak w układzie BME280), czujnik ciśnienia wilgotności (jak w układzie BME380) i z czujnikiem gazu (jak w układzie BME680) oraz dodatkowo funkcja skanera gazu [S35].

Układ jest skonstruowany jako moduł SIP (*System In Package*) z kilkoma strukturami scalonymi CMOS. Układ cyfrowy interfejsu oraz przetwarzania cyfrowego, a także układ analogowo-cyfrowy (wzmacniacze i przetworniki ADC) jest wykonany w postaci struktury typu ASIC [S35]. Czujnik wilgotności względnej jest wykonany w technologii MEMS z zastosowaniem pomiaru zmian pojemności kondensatora z polimerową folią [S32]. Czujnik ciśnienia barometrycznego jest wykonany w technologii MEMS z zastosowaniem pomiaru rezystancji cienkiej membrany. Pomiar temperatury jest wykonywany poprzez pomiar zmian napięcia diody krzemowej. Każda struktura scalona zastosowana w układzie scalonym BM688 zawiera czujnik temperatury.

Czujnik gazu układu BME688 jest wytwarzany w technologii MOX. Pozwala to na uzyskanie bardzo dobrej jakości pomiaru, bardzo krótkiego czasu powtarzania pomiaru i bardzo znaczącej redukcji pobieranej mocy. Gazy, które mogą być wykrywane przez BME688, obejmują (niemal wszystkie) lotne związki organiczne (VOC – *Volatile Organic Compounds*), lotne związki siarki (VSC – *Volatile Sulfur Compounds*) oraz inne gazy jak tlenek węgla (CO) i wodór (H) w zakresie ppb (*part per bililion*). Czujnik był testowany specjalnie z siarkowodorem (H_2S), etanolem (OH), tlenkiem węgla (CO) oraz VOC zawartym w powietrzu wydychanym przez ludzi. Wykrywanie VSC było testowane dla koncentracji H_2S pomiędzy 0,1...0,5 ppm dla temperatury 5...40°C, wilgotności 20...80% przy ciśnieniu atmosferycznym.

Czujnik gazu wykonuje sekwencję pomiarów z różnymi czułościami podczas jednego skanowania gazu. W ten sposób może wygenerować określony „odcisk palca" dla różnych mieszanek gazów. Ponadto można modyfikować i optymalizować profil skanowania we własnej aplikacji za pomocą BME AI-Studio [5].

W standardowej konfiguracji układu obecność VSC jest wykrywana jako wskaźnik m.in. wzrostu bakterii. Skaner gazu można dostosować pod względem czułości, selektywności, szybkości transmisji danych i zużycia energii. Narzędzie BME AI-Studio umożliwia użytkownikom wytrenowanie skanera gazu BME688 pod kątem ich konkretnych zastosowań, takich jak urządzenia domowe, produkty IoT lub Smart Home [5].

Układ BM688 jest zamknięty w metalowej obudowie (LGA8) o rozmiarach 3×3×0,93 mm [3]. Daje to bardzo dobrą odporność na zakłócenia elektromagnetyczne [2]. Czujnik ma w obudowie otwór o średnicy mniejszej niż 1 mm. Następuje dyfuzja gazu do środka i na zewnątrz obudowy, co trwa kilka sekund. Nie ma potrzeby stosowania wymuszonego przepływu gazu. Ze względu na podgrzewanie w czujniku MOX powierzchni roboczej następuje wewnątrz obudowy układu wzrost temperatury oraz spadek wilgotności. Do uzyskania precyzyjnych pomiarów VOC wymagany jest zewnętrzny pomiar temperatury i wilgotności.

Nowy układ scalony wymaga wykonania procedury stabilizacji. Układ musi pracować co najmniej 24 godziny przed rozpoczęciem wykonywania pomiarów. Nie wolno dotykać placem układu

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie **https://ulubionykiosk.pl/media**

eprasa.pl 2b951cc363

scalonego. Tłuszcz ze skóry pozostanie na powierzchni czujnika i upłynie dużo czasu do jego odgazowania. To będzie powodowało generowanie błędnych danych pomiarowych.

Działanie układu BME688

Układ scalony BME688 ma trzy tryby pracy (zasilania): uśpienie (*sleep*), praca pojedyncza (*forced mode*) oraz praca równoległa (*paralel mode*) [2]:

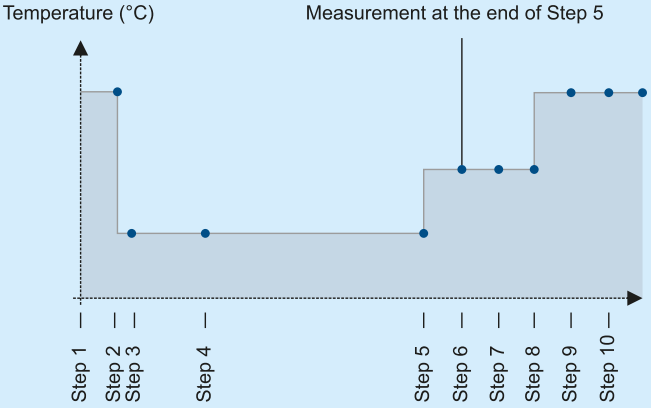
- W trybie uśpienia nie są wykonywane pomiary i układ pobiera minimalną moc;
- W trybie pracy pojedynczej wykonywany jest pojedynczy pomiar w sekwencji (TPHG): temperatura, ciśnienie, wilgotność, rozpoczęcie podgrzewania czujnika gazu, wykonanie pomiaru gazu i zakończenie grzania. Po zakończeniu pomiaru gazu układ automatycznie powraca do stanu uśpienia;
- W trybie pracy równoległej wykonywana jest wielokrotna sekwencja TPHG i układ nie przechodzi do stanu uśpienia.

Tryb pracy jest ustawiany za pomocą bitów *mode* <1:0> rejestru Config (pod adresem 0x75). Wpis 00b oznacza ustawienie trybu uśpienia, 01b pracy pojedynczej, a 10b pracy równoległej. Układ po włączeniu zasilania automatycznie ustawia tryb uśpienia.

Temperatura jest profilowana w dziesięciu krokach (G0...G9) podczas cyklu skanowania. Każdy krok jest określony przez temperaturę mikropłytki (*micro-hotplate*), czas trwania (w jednostkach o czasie 140 ms) oraz wartość prądu grzejnika, np. HP-354. Czas podgrzewania jest liczony od momentu włączenia grzejnika do momentu rozpoczęcia pomiaru rezystancji czujnika gazu. Czas podgrzewania można ustawiać od 1 do 4032 ms. Typowo ustawia się temperaturę pracy czujnika gazu na poziomie pomiędzy 200 a 400°C. Wewnętrzna pętla sterowania grzejnika pracuje z uwzględnieniem zmian rezystancji grzejnika. Program użytkownika musi na podstawie wymaganej temperatury wyliczyć ustawienia rejestrów sterujących. W dokumentacji podane są wzory obliczeniowe oraz wskazane są rejestry z wartościami parametrów do tych obliczeń [2]. Na końcu każdego kroku wykonywane są pomiary i zapamiętywanie wyników. Sekwencja kroków jest określana jako profil grzania (*HP, Heater Profile*). Standardowy profil grzania, przeznaczony do detekcji VSC, został pokazany na **rysunku 1**.

Wypełnienie (*RDC, Duty Cycle*) określa sekwencję liczby wykonywanych cykli skanowania i liczbę cykli uśpienia (*Sleeping*), np. RDC-5-10. Każdy cykl skanowania jest przejściem przez profil grzania. Podczas cyklu uśpienia czujnik przechodzi w stan uśpienia i budzi się co 3 s na 200 ms, aby wykonać pomiar TPH. Standardowy czas cyklu skanowania trwa 54 s, a cyklu uśpienia 108 s [2]. Układ wykonuje pomiary z maksymalną szybkością dla ustawienia RDC-1-0. Wtedy nie są wykonywane żadne cykle uśpienia.

Ustawienia czujnika wymagają określenia wartości pełnej kombinacji HP/RDC. Sposób pracy i odpowiednie wzory obliczeniowe dla pomiaru temperatury, ciśnienia i wilgotności są opisane w literaturze [2].



Rysunek 1. Standardowy profil grzania [5]

Odczyt danych pomiarowych trzeba rozpocząć od odczytu rejestru stanu *Eas_status_0* (0x1D) z polami bitowymi:

- <7> New data – dane nowego pomiaru są zapisane w rejestrach;
- <6> Gas measuring – zmiana stanu na zero sygnalizuje zakończenie pomiaru gazu;
- <5> Measuring – zmiana stanu na zero sygnalizuje zakończenie wszystkich pomiarów;
- <3:0> Gas meas index – numer konfiguracji pracy czujnika gazu.

Następnie trzeba sprawdzić bity stanu *gas_valid_r* oraz *heat_stab_r* w rejestrach *gas_r_lsb[0/1/2]*, aby ustalić, czy dane pomiarowe są poprawne oraz czy grzejnik pracował stabilnie. Następnie odczytane dane z rejestrów danych układu należy przeliczyć z uwzględnieniem danych z rejestrów kalibracyjnych układu.

W przypadku długiej sekwencji pomiarów gazu działanie wewnętrznego grzejnika powoduje wystąpienie stałego podwyższenia mierzonej temperatury oraz obniżonego odczytu wilgotności. Można to zjawisko skompensować poprzez uwzględnienie stałej poprawki lub odczytu tych parametrów z dodatkowych czujników zewnętrznych.

Firmowa biblioteka BSEC udostępnia cztery tryby poboru mocy zasilania czujnika. Określają one szybkość pomiarów oraz średni pobór prądu [2]:

- Tryb skanowania (SC) – pomiary są wykonywane co 10,8 s [3,96 mA];
- Tryb bardzo niskiego poboru mocy (ULP) – pomiary są wykonywane co 300 s [0,09 mA];
- Tryb szybki bardzo niskiego poboru mocy (q-ULP) – pomiary T, P, H są wykonywane co 3 s, a pomiar gazu co 300 s [0,1 mA];
- Tryb niskiego poboru mocy (LP) – pomiary są wykonywane co 3 s [0,9 mA];
- Tryb ciągły (CONT) – pomiary są wykonywane co 1 s (raczej do testowania) [12 mA].

Parametry układu BME688

- Zakres pracy (przy pełnej dokładności):
  - ciśnienie (P): 300...1100 hPa,
  - wilgotność (H): 0…100%,
  - temperatura (T): –40…85°C,
  - jakość powietrza (IAQ) 0…500;
- Zasilanie cyfrowe VDDIO: 1,2...3,6 V (1,6 V typ.);
- Zasilanie analogowe VDD: 1,71...3,6 V (1,8 V typ.);
- Interfejs: I²C i SPI;
- Średni pobór prądu (1 Hz): 2,1 µA (H+T), 3,1 µA (P+T), 3,7 µA (H+P+T), 90 µA (P+H+T+AQ) w trybie ULP, 0,9 mA (P+H+T+AQ) w trybie LP, 3,9 mA (SC);
- Prąd uśpienia/oczekiwania: 0,15/0,29 µA typ.

Czujnik gazu

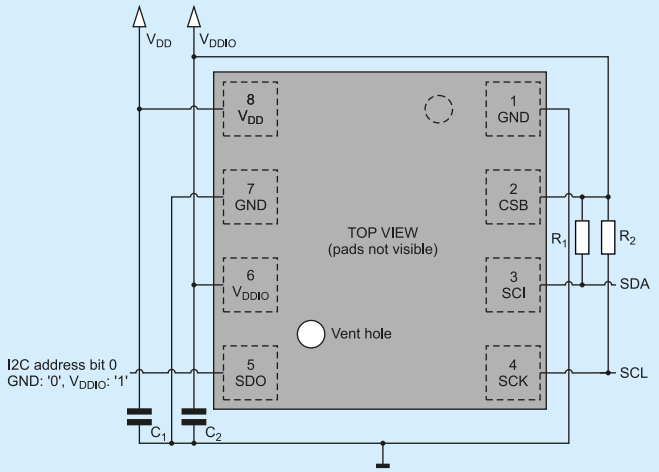
- Metoda pomiarowa: półprzewodnikowy scalony czujnik gazu w technologii MOX;
- Wyjście: rezystancja czujnika do obliczeń IAQ;
- Przetwarzanie danych wyjściowych: bezpośrednie dane wyjściowe o jakości powietrza IAQ;
- Zakres IAQ: 0...500 z rozdzielczością 1 (dokładność 3 max.);
- Czas odpowiedzi (33...63%): 0,75/1,4/92 s (tryb C/LP/ULP) typ.;
- Odchylenie czujnik-czujnik: ±15%;
- Rozdzielczość pomiaru rezystancji: 0,08% typ.;
- Prąd grzejnika praca/max.: 12/17 mA typ.;
- Czas grzania (ustawiany cyfrowo): 1...4032 ms (typowo 20...30 ms);
- Słowo danych: 16 bitów;
- Średni pobór prądu: 3,96 mA (0,18 mAh) (w standardowym trybie skanowania gazu – 5 cykli skanowania, 10 cykli uśpienia).

Czujnik wilgotności

- Czas odpowiedzi: (0...63%): 8 s;
- Tolerancja dokładności: ±3% wilgotności względnej;
- Histereza: ≤1,5% wilgotności względnej.

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 2. Konfiguracja wyprowadzeń podczas pracy w standardzie I²C [2]

Czujnik ciśnienia

- Szum RMS: 0,12 Pa (odpowiada 1,7 cm);
- Błąd czułości: ±0,25% (odpowiada 1 m przy zmianie wysokości 400 m);
- Współczynnik temperaturowy przesunięcia: ±1,3 Pa/K (odpowiada ±10,9 cm przy zmianie temperatury o 1°C).

Rejestry wewnętrzne

Układ zawiera wiele 8-bitowych rejestrów, służących do kalibracji, sterowania, odczytu danych, sprawdzania statusu oraz wiele zarezerwowanych. Dostępna jest przestrzeń adresowa z zakresu 0x00...0xFF. Rejestry mają inny adres przy dostępnie poprzez interfejs I²C oraz SPI:

- Podczas pracy z interfejsem I²C stosowany jest adres 8-bitowy z dostępem do całej przestrzeni adresowej;
- Podczas pracy z interfejsem SPI stosowany jest adres 7-bitowy z dostępem do dwóch stron wybieranych przez ustawienia rejestru *spi_mem_page*. Po włączeniu zasilania wybrana jest strona zerowa (0x80...0xFF). Wpisanie do rejestru *spi_mem_page* wartości 1 powoduje wybranie strony 1 (0x00...0x7F).

Mapa i opis rejestrów są zamieszczone w dokumencie BME688 Datasheet [2]. Mapa nie zawiera wszystkich rejestrów, a opis nie zawiera omówienia niektórych istotnych rejestrów układu.

Interfejs komunikacyjny

Interfejs komunikacyjny układu BME688 ma osobne wyprowadzenie zasilania – VDDIO. Poziom wysoki sygnałów wejściowych interfejsu cyfrowego odnosi się do poziomu napięcia na tym wyprowadzeniu [2]. Układ może pracować w trzech konfiguracjach wyprowadzeń, są to standardy dla: I²C, SPI (4 linie) i SPI (3 linie). Wyprowadzenie SCK pracuje zawsze jako wejście. Wyprowadzenie SDI pracuje jako wejście (SPI 4 linie), wejście/wyjście SPI (3 linie) lub jako linia dwukierunkowa danych (I²C). Wyprowadzenie SDO pracuje jako wyjście (SPI 4 linie) lub jako wejście wyboru adresu (I²C). Wyprowadzenie CSB pracuje zawsze jako wejście. Pełni funkcję wejścia wyboru (*chip select*) dla pracy z interfejsem SPI.

Wybór standardu komunikacyjnego jest wykonywany na podstawie stanu wejścia CSB. Jeśli podczas włączenia zasilania układu wyprowadzenie CSB jest dołączone do napięcia VDDIO, to wybierany jest standard I²C. Poziom niższy niż VDDIO spowoduje trwałą pracę ze standardem SPI. Po podaniu na wejście CSB poziomu niskiego (nawet jeden impuls) aktywowany jest na stałe interfejs SPI. Obsługa interfejsu komunikacyjnego układu BME688 jest bardzo podobna do takiej obsługi dla układu BME680, co zostało opisane dla I²C w artykule [S36] a dla SPI w artykule [37] tej serii.

Interfejs I²C

Układ obsługuje cyfrową komunikację w standardzie I²C jako układ slave. Komunikacja z układem jest wykonywana poprzez odczyt lub wpis do rejestru. Podczas pracy układu BME688 w standardzie I²C do komunikacji używane są trzy wyprowadzenia (**rysunek 2**):

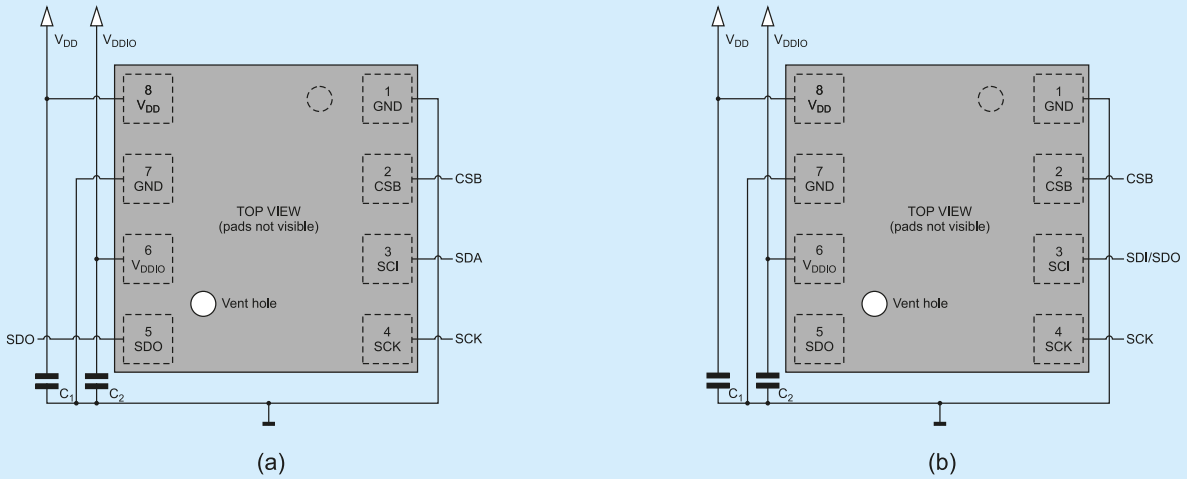
- SCK – jako wejście zegara, linia SCL;
- SDI – jako dwukierunkowa linia danych SDA, musi być zewnętrznie dołączona do napięcia zasilania poprzez rezystor podciągający (min. 4,7 kΩ);
- SDO – jako wejście ustawiające wartość bitu LSB adresu:
  - GND=L, adres 1110110 (0x76),
  - VDDIO=H, adres 1110111 (0x77),
  - jeśli wyprowadzenie SDO pozostanie niepodłączone, to adres jest niezdefiniowany.

Interfejs I²C obsługuje trzy tryby pracy: Standard, Fast oraz High Speed. Maksymalna częstotliwość zegara wynosi 3,4 MHz, gdzie minimalny czas poziomu niskiego wynosi T_{low}=160 ns (dla typowego zasilania VDDIO=1,62 V) [2]. Interfejs I²C używa adresowania 7-bitowego.

Interfejs SPI

Układ BME688 obsługuje komunikację w standardzie SPI w dwóch konfiguracjach wyprowadzeń: SPI (4 linie) lub SPI (3 linie) (**rysunek 3**). Maksymalna częstotliwość zegara wynosi 10 MHz [2]. Interfejs SPI obsługuje dwa tryby pracy:

- „00" – CPOL=CPHA=0,
- „11" – CPOL=CPHA=1.



Rysunek 3. Konfiguracja wyprowadzeń podczas pracy w standardzie: a) SPI 4 linie, b) SPI 3 linie [2]

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 2b951cc363

Automatyczny wybór trybu jest określany poprzez stan wejścia SCK po zboczu opadającym wejścia CSB.

Protokół obsługi obu trybów pracy SPI (4 linie) oraz SPI (3 linie) jest taki sam. Tryb SPI (3 linie) jest wybierany poprzez wpis 1 do rejestru *spi3w_en*. Podczas pracy układu BME688 w standardzie SPI do komunikacji używane są cztery wyprowadzenia:

- CSB – wejście *chip select* (aktywne przy poziomie niskim),
- SCK – wejście zegara,
- SDI – wejściowa linia danych (SPI 4 linie) lub dwukierunkowa linia danych (SPI 3 linie),
- SDO – wyjście danych (SPI 4 linie) lub wysoka impedancja (SPI 3 linie).

Interfejs SPI używa adresowania 7-bitowego i obsługuje dwa rodzaje transferu:

- Odczyt pojedynczego bajtu (bit R/W=0+7b add+8b data);
- Wpis pojedynczy lub wielokrotny bajtów – sekwencja (bit R/W=1+7b add+8b data).

Przestrzeń adresowa jest podzielona na dwie strony. Po włączeniu zasilania rejestr *spi_mem_page* (adr 0x73) jest wyzerowany i wybrana jest strona 0 z adresami rejestrów 0x80...0xFF (po wpisaniu 1 do tego rejestru wybrana jest strona z adresami rejestrów 0x00...0x7F).

Oprogramowanie firmowe dla układu BME688

Oprogramowanie dla układu BME688 jest dostępne ze strony BME688 Software [12]. Składa się ono z trzech elementów:

- BME68x sensor API – pliki języka C do pobierania skompensowanych danych surowych z układu poprzez interfejsy I²C oraz SPI. Jest też wersja dla Arduino;
- BSEC 2.x – biblioteka C (binarna) do obliczania kompletnych danych oraz interpretacji AI;
- BME AI Studio – Aplikacja komputerowa do klasyfikacji AI.

Dobrym sposobem zapoznania się z użytkowaniem oprogramowania firmowego jest obejrzenie firmowej prezentacji Video „How gas sensing gets intelligent with BME688 and BME AI-Studio" [18].

Biblioteka BoschSensortec

Firmowe sterowniki dla układu BME688 są dostępne ze strony BME688 Software [12]. Repozytorium BoschSensortec udostępnia dwa komplety sterowników (Github):

- BME68x-Sensor-API – sterowniki z opisem i przykładami dla układu BME680 oraz BME688 [13];
- BSEC-Arduino-Library – biblioteka do Arduino do integracji biblioteki firmowej BSEC [14];

Pakiet programowy BME68x-Sensor-API zapewnia niskopoziomową komunikację z układem BME688 oraz kalibrację wartości odczytu z sensorów. Uwalnia to użytkownika od konieczności zajmowania się obsługą poszczególnych rejestrów układu scalonego i obsługuje komunikację z układem BME688 w dwóch standardach: I²C oraz SPI. Pobierany z repozytorium plik *BME68x-Sensor-API-master.zip* zawiera trzy pliki źródłowe:

- *bme68x_defs.h* – stałe, makra i deklaracje,
- *bme68x.h* – deklaracje funkcji API,
- *bme68x.c* – definicje funkcji API,
- *REDAME.md* – opis sposobu dołączania sterowników do projektu użytkownika.

Dodatkowo jest udostępniany folder *examples* z plikami C dla pracy pojedynczej (*forced mode*), pracy równoległej (*paralel mode*) oraz sekwencyjnej (*sequential*). Wydaje się, że jest on przeznaczony dla firmowego środowiska COINES.

Biblioteka pomiarowa BSEC 2.0

Biblioteka BSEC 2.x (*Bosch Sensortec Environmental Cluster*) jest przeznaczona do obsługi pracy z czujnikami BME68x. BSEC jest dostarczana jako wstępnie skompilowana biblioteka statyczna, którą można połączyć z kodem mikrokontrolera. Kod z biblioteki jest zamknięty. Bibliotekę można darmowo pobrać w postaci pliku zip ze strony BME688 Software [12]. Wymagana jest rejestracja.

Komunikację oraz kompensację danych zapewnia driver firmowy. Biblioteka zapewnia również dodatkową kompensację pomiarów czujnika gazu z uwzględnieniem wilgotności oraz dryftu. Biblioteka BSEC 2.x pozwala dokonać precyzyjnych obliczeń, np. indeksu jakości powietrza IAQ. Kod jest wykonywany na platformach 8-, 16- i 32-bitowych, w tym AVR, ESP32, ARM, a także Raspberry Pi.

Indeks jakości powietrza IAQ (*Indoor Air Quality*) jest liczbą, która informuje o jakości powietrza we wnętrzach. Obecnie nie ma globalnego standardu definiującego IAQ, nie ma zgodności w zastosowaniu skali, liczby poziomów, nazw ani kolorów. Firma Bosch opracowała indeks IAQ obliczany dla czujników BME68x przez firmową bibliotekę BSEC. Ta klasyfikacja została pokazana w artykule [S36]. Kolorami zaznaczany jest poziom jakości powietrza.

Pobierany plik *bsec_2-0-6-1_generic_release_04302021.zip* zawiera: pliki binarne, dokument „BST-BME688-Integration-Guide-AN008-06" z dokładnym opisem, dokument „BSEC2 Binary Size Information" z listą obsługiwanych mikrokontrolerów i rozmiarami kodu, pliki z danymi konfiguracyjnymi dla różnych ustawień oraz przykładowy kod. Jak zostało opisane powyżej, biblioteka BSEC udostępnia cztery tryby poboru mocy zasilania czujnika. Dla każdego trybu pracy są osobne konfiguracje dla pracy z napięciem zasilania 1,8 V oraz 3,3 V. Dodatkowo do każdej konfiguracji możliwa jest kompensacja długoterminowa z uwzględnieniem okresu 4 lub 28 dni.

Biblioteka BSEC udostępnia kilka istotnych parametrów:

- Surowa wartość rezystancji – wartość pobrana z czujnika gazu;
- Skompensowana wartość rezystancji [Ω] – wartość obliczona z uwzględnieniem temperatury i wilgotności;
- Indeks IAQ (IAQ) – wartości 0...500 (używany jest algorytm automatycznego trymowania);
- Statyczne IAQ (s-IAQ) – bez trymowania;
- Poziom CO_2 (eCO_2) [ppm] – estymowany poziom CO_2 na podstawie poziomu VOC;
- Poziom VOC (b-VOC) [ppm] – estymowany poziom VOC dla powietrza wydychanego (breath);
- Poziom gazu [%] – aktualny poziom rezystancji odniesiony do zapamiętanego najniższego odczytu (0%) oraz najwyższego odczytu (100%).
- Rezultat skanowania gazu – prawdopodobieństwo dla zastosowanych klas. Dla skanowania standardowego dotyczy klas H_2S i pozostałych.

Do pracy biblioteki BSEC potrzebne są firmowe sterowniki dla układu BME688 dostępne ze strony BME688 Software [12].

Oprogramowanie BME AI-Studio

Aplikacja BME AI-Studio firmy Bosch jest przeznaczona do obsługi pracy z czujnikiem BME68x. Aplikację można darmowo pobrać w postaci pliku zip ze strony BME688 Software [12]. Wymagana jest rejestracja. Pobierany plik *bme_ai-studio-1-6-0-win.zip* zawiera dokument

AKTUALNOŚCI

Firma Analog Devices ogłosiła 26 sierpnia 2021 zakończenie przejęcia firmy Maxim Integrated Products. Połączenie jeszcze bardziej wzmacnia pozycję ADI jako firmy produkującej półprzewodniki analogowe z 12-miesięcznymi przychodami przekraczającymi 9 miliardów USD. Po wcześniejszym przejęciu 10 marca 2017 firmy Linear Technology Corporation powstaje wiodąca firma zajmującą się technologią analogową i cyfrową oferującą najbardziej wszechstronny w branży pakiet wysokowydajnych ofert analogowych. Postępująca integracja na rynku produkcji elementów półprzewodnikowych może mieć duży wpływ na zintegrowaną ofertę dla Internetu Rzeczy.

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 2b951cc363

„Release Note” z opisem oraz foldery z aplikacją. Manual „BME AI-Studio Documentation” [5] można pobrać bezpośrednio ze strony BME688 [1]. Do pracy biblioteki BSEC potrzebne są firmowe sterowniki dla układu BME688 dostępne ze strony BME688 Software [12].

Oprogramowanie BME AI-Studio umożliwia konfigurację czujników, analizę i etykietowanie danych, trenowanie i optymalizację rozwiązań specyficznych dla aplikacji. Oprogramowanie jest bardzo przyjazne dla użytkownika i wspiera go obszerną dokumentacją. Wszystkie informacje z czujnika można wykorzystać jako pojedyncze wartości lub połączyć w oprogramowaniu AI w celu rozpoznania określonych warunków lub stanów. W narzędziu programowym BME AI-Studio można zdecydować, czy używać danych z czujnika gazu do swojej aplikacji, czy też brać pod uwagę dane z czujnika ciśnienia, temperatury i wilgotności.

Standardowy profil został opracowany w celu wykrywania VSC. Istnieje kilka innych profili skanowania gazów dostępnych w narzędziu programowym BME AI-Studio, a nawet można skonfigurować swój własny profil. Aktualna wersja narzędzia programowego BME AI-Studio wykorzystuje wstępnie zdefiniowaną architekturę sieci neuronowej w połączeniu z jednym konfigurowalnym optymalizatorem do trenowania (optymalizator ADAM).

Praca z układem BME688

Układ BME688 przechowuje w swoim buforze tylko dane kalibracyjne (fabryczne) oraz profil skanowania i kilka słów surowych danych z ostatniego pomiaru. Mierzone dane muszą być na bieżąco odczytywane przez mikrokontroler (MCU) urządzenia, do którego jest podłączony BME688. W tej konfiguracji jedynym ograniczeniem dla rozmiaru danych pomiarowych jest pamięć urządzenia. Uruchamiając bibliotekę BME688 (BSEC) na MCU, wynikowe dane pomiarowe mogą być bezpośrednio obliczane. Dlatego nie trzeba przechowywać surowych danych, a jedynie wymagane wartości wynikowe.

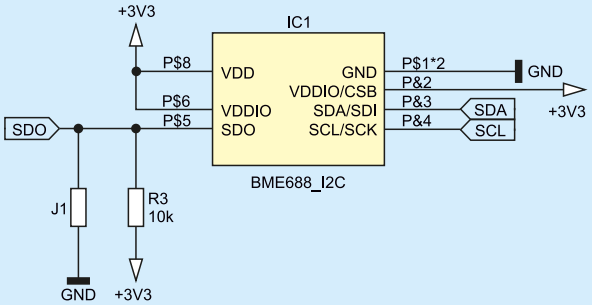
BME AI-Studio wymaga komputera stacjonarnego do analizy danych i uzyskania najlepszego algorytmu. Jednak uruchomienie zdefiniowanego algorytmu wcale nie jest wymagające obliczeniowo. Na przykład ESP8266 lub ESP32 mogą robić wszystko w czasie rzeczywistym. Wymagane dane konfiguracyjne mają tylko kilka kilobajtów i mogą być przesyłane bezprzewodowo w celu aktualizacji działania czujnika. BME AI-Studio może wyeksportować wyszkolony algorytm jako ciąg konfiguracyjny, który można załadować do oprogramowania BSEC 2.0 na dowolnym urządzeniu z dołączonym BME688. Dzięki temu urządzenie może bezpośrednio wyprowadzać obliczone wyniki skanowania BME688.

Standardowy tryb skanowania gazów do wykrywania VSC jest opracowywany na podstawie danych z ogromnej liczby czujników i testów laboratoryjnych z różnymi gazami.

Moduły sprzętowe z układem BME688

Kilka firm oferuje moduły czujnikowe z układem scalonym BME680. Typowo moduły obsługują tylko komunikację standardu I²C i zawierają układ scalony BME680, czasami dodatkowo układy translacji poziomów sygnału cyfrowego i/lub regulator napięcia zasilania. Typowo firmy dostarczają własne wersje oprogramowania do łatwej obsługi układu BME688. Bardziej popularne dostępne moduły:

- Moduł BME688 Breakout Board firmy pi3g zawiera układ BME688 skonfigurowany do pracy z szyną I²C [6]. Moduł jest dokładnie opisany dalej;
- Moduł BME688 firmy Adafruit jest aktualizacją ich modułu BME680, z wymianą tylko układu scalonego [8]. Moduł zawiera układy translacji poziomów sygnału cyfrowego oraz regulator napięcia zasilania 3,3 V. Dostarczany jest w dwóch wersjach wykonania: z pojedynczym złączem grzebieniowym lub dodatkowo z zainstalowanymi dwoma gniazdkami standardu STEMA. Firma udostępnia bibliotekę *CircuitPython driver for BME680 sensor over I²C* dla Rasberry Pi;



Rysunek 4. Podłączenie układu MBE688 zawartego w module BME688 Breakout Board [7]

- Moduł BME688 firmy Piomoroni (PIM675) zawiera układy translacji poziomów sygnału cyfrowego oraz regulator napięcia zasilania 1,8 V [9]. Płytka zawiera złącze grzebieniowe oraz gniazdko standardu STEMA. Firma udostępnia bibliotekę *BME680 Python* dla Rasberry Pi;
- Moduł s-Sense BME688 sensor breakout (ITBP-6003) firmy itbrainpower.net może pracować z zasilaniem 3,3...5 V [10]. Firma udostępnia biblioteki dla Rasberry Pi oraz Arduino.

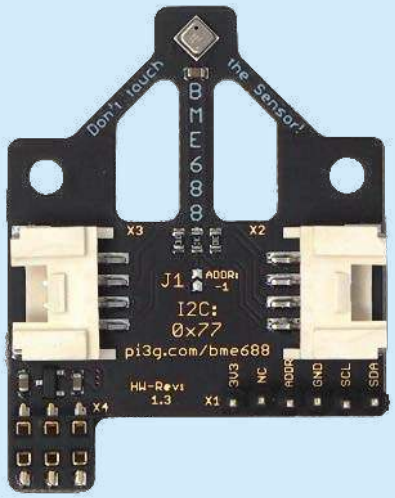
Osobną klasę stanowi zestaw BME688 Gas Sensor Developer Kit firmy pi3g, który zawiera płytkę pośrednią z 8 układami BME688, płytkę Adafruit Huzzah32 – ESP32 z wpisanym oprogramowaniem firmy Bosch oraz kartę SD z plikami konfiguracyjnymi [11]. Układy BME688 zamontowane w zestawie pracują z komunikacją w standardzie SPI [4]. Jest to pierwszy zestaw gotowy do pracy z aplikacją BME AI Studio. Dzięki ośmiu czujnikom BME688 zestaw umożliwia testowanie i gromadzenie danych dla więcej niż jednej konfiguracji pomiarowej w tym samym czasie.

Moduł BME688 Breakout Board firmy pi3g

Moduł ten zawiera układ BME688 skonfigurowany do pracy z szyną I²C (**rysunek 4**). Szyna zasilania 3,3 V jest dołączona do wyprowadzeń zasilania analogowego oraz cyfrowego układu BME688 i ma kondensator 1 μF umieszczony bezpośrednio przy układzie scalonym (niepokazany na schemacie). Moduł pobiera 50 mA (max.) prądu i może być bezpośrednio zasilany z płytki Rasberry Pi (jest zasilany z szyny 5 V).

Wyprowadzenie CSB (*Chip Select*) układu BME688 jest dołączone do VDDIO, co oznacza, że układ może pracować tylko z interfejsem w standardzie I²C. Moduł obsługuje sygnały standardu 3,3 V. Nie można go podłączać do sygnałów 5 V. W takim przypadku potrzebny jest dodatkowy układ konwersji poziomów logicznych.

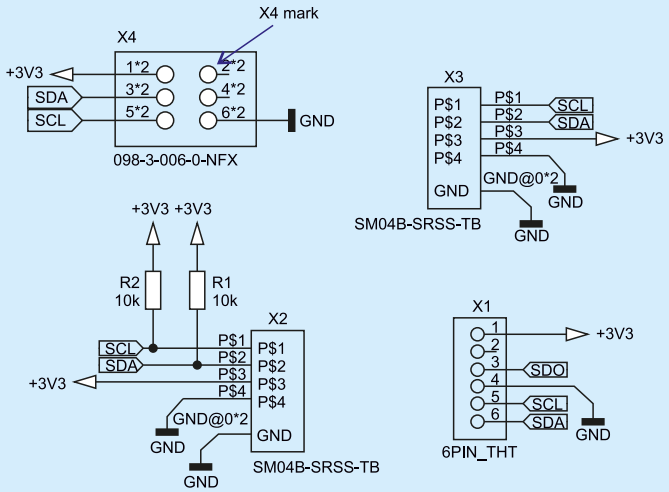
Układ scalony BME688 jest zamontowany daleko od złączy płytki, co pozwala na poprawną pracę czujnika z daleka od źródeł ciepła (**fotografia 1**) [7]. Wejście ustawiania adresu szyny I²C (SDO)



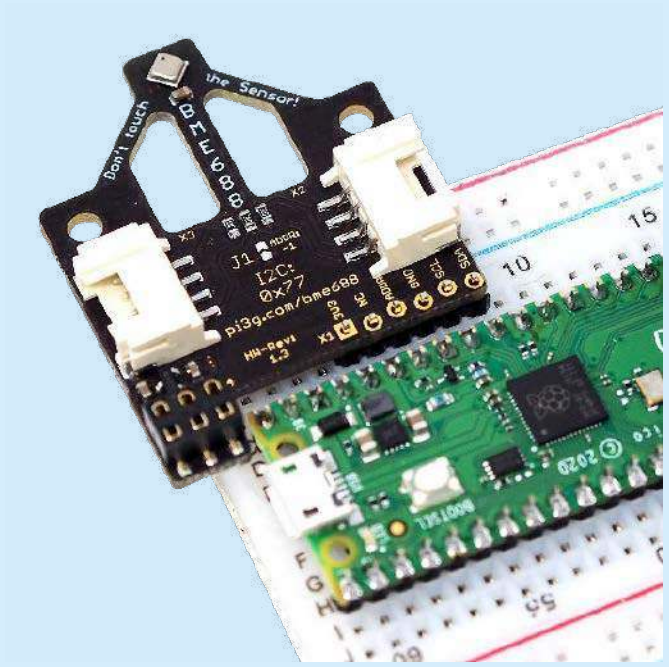
Fotografia 1. Moduł BME688 Breakout Board firmy pi3g [6]

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 5. Złącza modułu BME688 Breakout Board [7]



Fotografia 2. Dołączenie modułu BME688 Breakout Board do płytki Raspberry Pi Pico [6]

układu scalonego jest dołączone poprzez rezystor 10 kΩ do zasilania 3,3 V (adres 0x77). Obok znajduje się zwora J1 w postaci pola lutowniczego, co umożliwia dołączenie wejścia SDO do masy – wtedy dla komunikacji I²C układ ma adres 0x76 (oznaczenie „ADDR: -1”). Obie linie sygnałowe szyny I²C (SCL i SDA) są dołączone do zasilania 3,3 V poprzez rezystory podciągające 10 kΩ.

Na płytce modułu są zamontowane dwa gniazdka JST z wyprowadzonymi sygnałami SCL, SDA oraz masą i zasilaniem (3,3 V) oznaczone jako X2 (**rysunek 5**) oraz X3 (rysunek 5). Na wystającym fragmencie płytki drukowanej jest zamocowane 6-stykowe złącze żeńskie 2,54 mm oznaczone X4. Schemat wyprowadzeń tego złącza został pokazany na rysunku 5. Na odwrotnej stronie płytki znajdują się opisy: 5 V (X4.2), NC (X4.4) i GND (X4.6). Złącze to jest przeznaczone do bezpośredniego nałożenia na początkowe szpilki złącza GPIO płytki Raspberry Pi (jak na fotografii tytułowej) [6]. Raspberry Pi ma dwa wyprowadzenia sygnału I²C na GPIO 2 (SDA) i GPIO 3 (SCL) dla I2C0 (master). Szpilka numer 2 złącza RPI pasuje do X4.2 na płytce BME688 Breakout Board. Niestety, nie jest udostępniony pełny schemat modułu, a na tym udostępnionym są błędy. Na przykład pin X4.1 oznaczony na płytce jako +3V3 nie jest nigdzie dołączony. Za to do pinu X4.2 jest dołączony regulator napięcia 3,3 V dostarczający napięcie zasilania układu BME688.

Przy krawędzi płytki drukowanej modułu znajduje się złącze X1 w postaci złoconych otworów o rastrze 2,54 mm. Otwory są naprzemiennie nieznacznie poprzesuwane względem linii prostej (**fotografia 2**). Można do nich wcisnąć standardowe złącza szpilkowe, które się stabilnie trzymają bez konieczności lutowania (co umożliwia wielokrotną wymianę różnych ich typów). Złącze ma wyprowadzone sygnały SCL, SDA oraz masę i zasilanie (rysunek 5) w sposób kompatybilny ze złączem GPIO płytki Raspberry Pi Pico (**rysunek 7**). Wystarczy wyrównać pozycje 3,3 V na obydwu złączach (fotografia 2).

Oprogramowanie do obsługi modułu BME688 Breakout Board

Biblioteki i aplikacja są przeznaczone do pracy z płytką BME688 Breakout Board firmy pi3g dołączoną do Raspberry Pi (1B...4B) lub Raspberry Pi Pico. Biblioteka *BME68X for C and Python* firmy pi3g obsługuje odczyt danych z układu BME68x z użyciem języka C lub jako rozszerzenie Python 3 [15]. Biblioteka obsługuje też (licencyjną, darmową) bibliotekę BSEC 2.0 firmy Bosch. Umożliwia to obliczanie indeksu IAQ. Rozszerzenie dla Python 3 jest też dostępne jako repozytorium Github [16].

Literatura

Wybrane artykuły kursu „Systemy dla Internetu Rzeczy” w miesięczniku „Elektronika Praktyczna”:

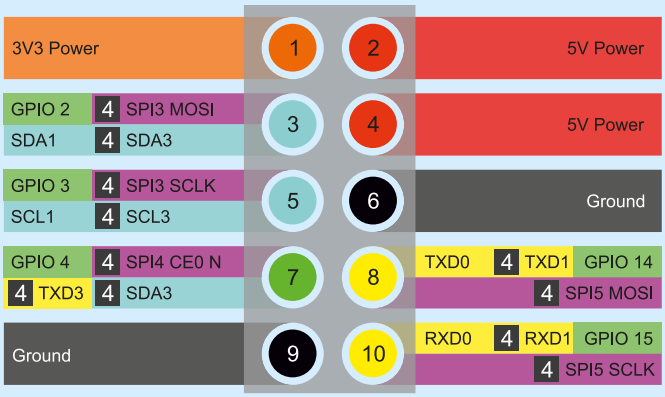
[S32] Scalone czujniki cyfrowe wilgotności i temperatury, EP 12/2019
[S35] Cyfrowe czujniki gazu, EP 3/2020
[S36] Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad z transmisją protokołem I²C, EP 4/2020
[S37] Pomiar jakości powietrza, ciśnienia, wilgotności i temperatury czujnikiem BME680 dołączonym do zestawu startowego CC1352R1 LaunchPad z transmisją protokołem SPI, EP 5/2020

Literatura

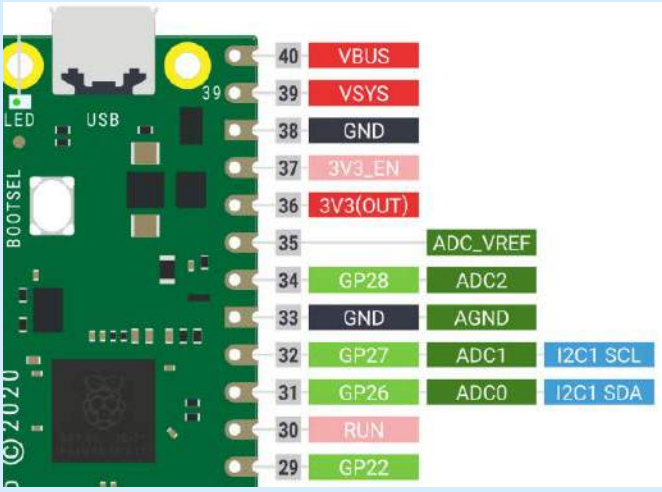
[1] BME688, Environmental sensing with Artificial Intelligence, Bosch Sensortec, https://bit.ly/3qf05lh
[2] BME688, Digital low power gas, pressure, temperature & humidity sensor with AI, Datasheet, Rev1.0, April 2021, BST-BME688-DS000, Bosch Sensortec, https://bit.ly/3vUwmkk
[3] ME688, 4-in-1 environmental sensor unit with AI, Flyer, Ver1.1, 03.2021, BST-BME688-FL000, https://bit.ly/3nxmHME
[4] BME688 Development Kit, Flyer, Ver1.1, 2021, BST-BME688-FL001, https://bit.ly/3bmtVNW
[5] BME AI-Studio Documentation, Manual, Ver1.0, June 2021, BST-BME688-AN001-00, https://bit.ly/3jM1Zb8
[6] ME688 breakout board Bosch air quality sensor, pi3g, https://bit.ly/3CpnghS
[7] PI3G BME688 BREAKOUT BOARD V0.2 (for V1.1), preliminary datasheet, 26.3.2021, pi3g, https://bit.ly/3EoLjOD
[8] Adafruit BME688 – Temperature, Humidity, Pressure and Gas Sensor – STEMMA QT, https://bit.ly/3mmnbGg
[9] BME688 4-in-1 Air Quality Breakout (Gas, Temperature, Pressure, Humidity), Pimoroni, https://bit.ly/3jMxqC9
[10] BME688 breakout, IBRrainpower, https://bit.ly/3EsirVC
[11] Bosch BME688 Gas Sensor Developer Kit, ByeZero, https://bit.ly/3nDfDhR
[12] BME688 Software, Bosch Sensortec, https://bit.ly/3EoM5v1
[13] BME68X Sensor API, Bosch Sensortec's BME680 and BME688 sensor API, https://bit.ly/3CCoZAo
[14] BoschSensortec/BSEC-Arduino-library, https://bit.ly/3ClRrGK
[15] Python Library for BME68x on the Raspberry Pi, includes support for BSEC, https://bit.ly/3CqmS2N
[16] GitHub Repository – BME68X Open Source Python Library, https://bit.ly/3bnw1gs
[17] BME688 AirMeter App: monitor air quality, air pressure, temperature, humidity using the Raspberry Pi, https://bit.ly/3Er0UNH
[18] How gas sensing gets intelligent with BME688 and BME AI-Studio (long Version), 22 mar 2021, https://bit.ly/3CqlMUP
[19] Raspberry Pi GPIO Pinout: What Each Pin Does on Pi 4, Earlier Models, Les Pounder, June 16, 2020, https://bit.ly/3pNBJAI
[20] Raspberry Pi Pico zestaw startowy, Kamami, https://bit.ly/3jNSmsb

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 2b951cc363



Rysunek 6. Wyprowadzenia złącza Raspberry Pi [19]



Rysunek 7. Wyprowadzenia złącza Raspberry Pi Pico [20]

Aplikacja BME688 AirMeter, dla środowiska PiCockpit instalowanego na Raspberry Pi, umożliwia odczyt czujników BME680 i BME688 poprzez łącze I²C [17]. Aplikacja ma trzy różne widoki, co pozwala na wygodną wizualizację danych.

Podsumowanie

Czujnik BME688 został opracowany w celu wykrywania gazów wydychanych przez człowieka. Mierzy stężenie lotnych związków organicznych (VCO), lotnych związków siarki (VSC) i innych rodzajów gazów, takich jak tlenek węgla i wodór, oraz generuje wskaźnik jakości powietrza (IAQ).

Pandemia COVID-19 podkreśliła znaczenie poprawy jakości powietrza w pomieszczeniach. Główną drogą infekcji wirusowej jest wydychany przez człowieka aerozol. Im wyższe jego stężenie, tym wyższe ryzyko i wpływ infekcji. Ze względu na grawitację większe krople zawarte w wydychanym aerozolu opadają stosunkowo szybko. Jednak maleńkie kropelki i cząstki mogą pozostawać zawieszone w powietrzu nawet przez wiele godzin i ulegać znacznemu rozproszeniu. Aby zmniejszyć ryzyko infekcji, niezbędna jest częsta wentylacja. Kolory indeksu IAQ mogą być używane jako prosty mechanizm wyzwalający, aby skutecznie regulować wentylację w pomieszczeniu: pomieszczenie można przewietrzyć, otwierając okna, gdy odbiegają one od zielonego paska.

Obecnie zastosowanie czujnika BME688 nastręcza jednak kłopoty. Do poprawnej pracy modułu BME688 Breakout Board trzeba wygenerować dane konfiguracyjne. Wymaga to użycia aplikacji BME AI-Studio. A aplikacja pracuje obecnie tylko z zestawem BME688 Gas Sensor Developer Kit. Są zapowiedzi, że następna wersja aplikacji będzie już obsługiwać moduł BME688 Breakout Board. Rezultaty praktycznego zastosowania modułów BME688 Breakout Board zostaną opisane w jednym z kolejnych artykułów kursu.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

REKLAMA

Nie przegap interesujących materiałów w siostrzanym czasopiśmie

W listopadowym wydaniu „Elektroniki dla Wszystkich" między innymi:

Miernik wzmacniaczy operacyjnych
Znakomitym, praktycznym uzupełnieniem cyklu Droga do RRIO jest przedstawiony w tym numerze uniwersalny prosty miernik, który pozwala w bardzo łatwy sposób zmierzyć wszystkie kluczowe parametry większości wzmacniaczy operacyjnych.

Inteligentny dom także dla Ciebie! New Kid in Town, czyli odkrywanie „nowego ESP8266"
Mnóstwo urządzeń przeznaczonych do inteligentnego domu wykorzystuje znany ESP8266. Bardzo interesujące jest też inne rozwiązanie, prezentowane w artykule.

Współczesne akumulatory
Wskutek pytań Czytelników powstał obszerny materiał o współczesnych akumulatorach. Omówione będą głównie liczne tajemnice akumulatorów litowych, ale dla pełnego obrazu trzeba też wrócić do akumulatorów zasadowych i kwasowych.

Dokładność modułowych mierników prądu stałego
Niektóre tanie modułowe mierniki napięcia i prądu mają nieoczekiwanie dużą precyzję. Warto się dowiedzieć, z czego ona wynika oraz jak poznać takie najlepsze moduły.

Rezystancja kabli
Zasilacze, stabilizatory, mierniki oraz przystawki do pomiaru prądu mają coraz lepsze parametry, ale mogą one zostać popsute przez nieoczekiwanie dużą rezystancję przewodów i styków.

Ponadto w numerze:
- Filozofia sieci. Protokół TCP
- Czym się różni wróbelek? Czyli o niedoskonałości elementów. Część 9 – Rezystory praktycznie
- Sieci energetyczne dla elektroników
- Szkoła Konstruktorów:
  – Zastosowanie elektroniki do kontroli procesu kompostowania
  – Zbadaj niedoskonałości elementów rezystancyjnych (na przykład różnego rodzaju rezystorów, przewodów, styków)

ELPORTAL.pl

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

Masz może pomysł na ciekawy artykuł lub projekt? Skonstruowałeś urządzenie, które jest godne zaprezentowania szerszej publiczności? Możesz napisać artykuł edukacyjny? Chcesz podzielić się doświadczeniem? W takim razie zapraszamy do współpracy na łamach Elektroniki dla Wszystkich. Kontakt: edw@elportal.pl

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 12/2021

CassetteRXTX – karta przekaźników sterowanych pilotem radiowym

Projekt powstał jako realizacja zdalnego ręcznego sterowania systemem nawadniania w ogródku. Początkowo potrzebne były tylko trzy przekaźniki, ale w trakcie budowy projekt rozbudowano do 7 wyjść, aby mógł być zastosowany także do innych celów. Płytka z przekaźnikami może być zasilana napięciem 24...42 V AC/DC, natomiast pilot należy zasilać z dwóch baterii 1,5 V. Do wyjść przekaźnikowych mogą zostać podłączone napięcia do 230 V AC.

Licznik czasu pracy z wyświetlaczem LCD

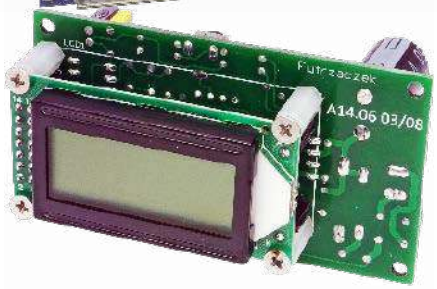
Czas pracy danego urządzenia to istotne kryterium oceny jego stanu technicznego. Okresowy przegląd urządzeń w zakładzie produkcyjnym pozwala na uniknięcie wielu poważnych awarii, których skutki mogłyby spowodować dłuższe zatrzymanie produkcji. Zaprezentowany układ w wygodny sposób wyświetla liczbę przepracowanych godzin, minut i sekund od ostatniej wizyty technika sprawującego nadzór nad jego funkcjonowaniem.

Zegar z kolorowym wyświetlaczem matrycowym

Diody WS2812 zdobyły popularność za sprawą prostego interfejsu, dużych możliwości i niskiej cenie. Prezentowany zegar steruje wyświetlaczem matrycowym zbudowanym z 256 diod LED, co umożliwia wyświetlenie 5...6 znaków o wielkości 5×8 w dowolnym kolorze. Poza wyświetlaniem czasu zegar pokazuje temperaturę oraz ciśnienie. Wbudowany budzik alarmuje nietypowym dźwiękiem.

Clock

Zegar to w portfolio każdego elektronika konstruktora przysłowiowe „must have”. Nie ma w tym nic dziwnego, wszak są to z reguły urządzenia dość proste, lecz dające dużo niekłamanej satysfakcji podczas własnoręcznej implementacji. Tym razem zaprezentujemy zegar rozbudowany o bardzo ciekawą funkcję pokazywania imienin dla bieżącego dnia roku.



Beztransformatorowy impulsowy zasilacz sieciowy

Jako kontroler zasilacza został wybrany układ MP9488 firmy MPS. Jest to uniwersalny sterownik przetwornicy DC/DC ze zintegrowanym kluczem MOSFET, z dopuszczalnym napięciem zasilania 450 V, prądzie przełączania do 0,5 A i wbudowanymi zabezpieczeniami. Zaprezentowany zasilacz beztransformatorowy dostarcza napięcia 12 V przy obciążalności do 200 mA. Odznacza się bardzo szerokim zakresem napięć zasilania, wynoszącym 48...380 VDC lub 90...250 VAC. Umożliwia to zasilanie budowanych układów z wysokonapięciowych źródeł, takich jak instalacje solarne PV, instalacje baterii akumulatorów rowerów lub innych pojazdów elektrycznych oraz sieci energetycznej.

Magiczne oczko z wyświetlaczem OLED

Lampy elektronowe mają swój niezastąpiony urok. W szczególności cieszą się nim lampy wskaźnikowe znane jako „magiczne oczka” – kiedyś używane jako wskaźniki dostrojenia w odbiornikach radiowych, a dziś chętnie stosowane w roli wskaźników wysterowania wzmacniaczy. Ponieważ ich liczba stale maleje, powstał pomysł na zbudowanie nowoczesnego, półprzewodnikowego zamiennika takiej lampy z użyciem wyświetlacza OLED.

a ponadto tematy wiodące EP 12/2021:

- RF HARVESTING – POZYSKIWANIE ENERGII Z FAL ELEKTROMAGNETYCZNYCH
- PRZEKAŹNIKI PÓŁPRZEWODNIKOWE

Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

AET 86, 87
AKSOTRONIK 31
ARMEL 9
BORNICO 7
COMPUTER CONTROLS 15
CONTRANS TI 13
ELMAX 61
FAULHABER 88, 89
FERYSTER 9
GAMMA 9
IMPAKT – DELOCK 49
INTELLECTRONIC SOLUTIONS 54
MICROCHIP 108
PIEKARZ 9
RENEX 9
SMA 85

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

Sekretarz Redakcji:
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
e-mail: prenumerata@avt.pl

Prenumerata w RUCH S.A.
www.prenumerata.ruch.com.pl
lub tel. 801 800 803, 22 717 59 59
e-mail: prenumerata@ruch.com.pl

Wydawnictwo AVT-Korporacja Sp. z o.o. należy do **Izby Wydawców Prasy**

Copyright AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej” mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej” jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”.

eprasa.pl 2b951cc363

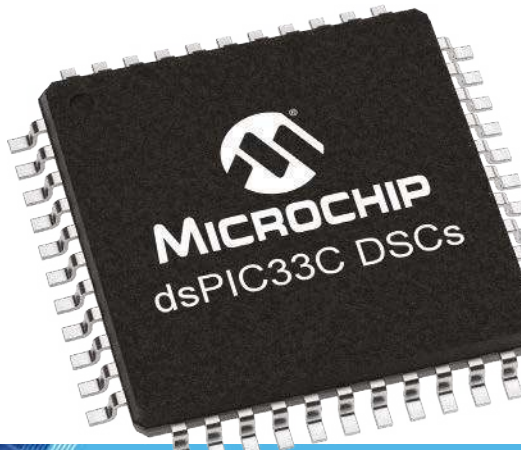
dsPIC33C DSC do wymagających projektów przemysłowych

Wysoka niezawodność i wytrzymałość w trudnym środowisku

Rodzina kontrolerów dsPIC33C zawiera wysokowydajny rdzeń 100 MIPS z jednostką DSP, idealny do implementacji zaawansowanych funkcji matematycznych. Oferuje również bogaty zestaw układów peryferyjnych zaprojektowanych z myślą o potrzebach wymagających aplikacji sterowania przemysłowego i automatyki działającej w czasie rzeczywistym.

Kluczowe cechy

- Temperatura robocza do 150°C zapewnia niezawodne działanie w warunkach ekstremalnych
- Wydajny rdzeń zapewnia deterministyczną odpowiedź w aplikacjach sterowania
- Dostępne do dwóch niezależnych rdzeni z własnymi układami peryferyjnymi, co pozwala na integrację funkcji wysokiego poziomu i upraszcza projektowanie
- Zintegrowane bloki analogowe wysokiego poziomu zapewniają doskonałe kondycjonowanie sygnału i realizację pomiarów oraz zmniejszają całkowity koszt BOM
- Dostępne niezawodne komunikacyjne peryferia, w tym CAN FD, LIN i SENT
- DSC dsPIC33C i układy ATECC608 umożliwiają implementację niezawodnych zabezpieczeń
- Gotowość w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa funkcjonalnego pomaga osiągnąć poziom IEC 61508 SIL 2 i spełnić wymagania klasy B



MICROCHIP

microchip.com/dsPIC33C

Nazwa i logo Microchip oraz logo Microchip są zastrzeżonymi znakami towarowymi firmy Microchip Technology Incorporated w Stanach Zjednoczonych i innych krajach. Wszystkie inne znaki towarowe są własnością ich zarejestrowanych właścicieli. © 2021 Microchip Technology Inc. Wszelkie prawa zastrzeżone.
DS40002347A. MEC2394A-POL-10-21

eprasa.pl 2b951cc363