Wydanie elektroniczne dostępne na www.ulubionykiosk.pl

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

EP.com.pl

● Międzynarodowy magazyn elektroników konstruktorów ● Marzec ● 3/2022 ●

Tylko Prenumeratorzy

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

inspirujące, użyteczne projekty
Stacja pogodowa WS-01 • Wzmacniacz audio dla wymagających • Włącznik LED z płynnym rozjaśnianiem i ściemnianiem • Uniwersalna ładowarka akumulatorów litowych • Interfejs użytkownika z wyświetlaczem OLED dla Pi Pico • Moduł multiIO dla RPI Zero • Płynny regulator prędkości i kierunku obrotów silnika 12 V • Stroboskop cyfrowy LED • Laserowy anemometr • Miniaturowy sensor poziomu CO_2 z alarmem i interfejsem Bluetooth

podzespoły, sprzęt, aplikacje
Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE. Front-endy do zastosowań energetycznych • Przystawki termowizyjne Thermal Expert Q1 • Specyfika wyświetlaczy dla Internetu Rzeczy • Wyjątkowa prędkość i dynamika. Nowy silnik krokowy AM3248 o prędkości 10 000 obr./min. • Automatyczny pomiar temperatury ciała z Planck Vision Systems. Szybkie badanie przesiewowe za pomocą kamer termowizyjnych

tutoriale
Pomiar temperatury na PCB • Elektroniczne sensory temperatury • Budujemy mosty. Mostki wzbudzane napięciem zmiennym • Redukcja zakłóceń wprowadzanych przez przekaźniki • Montaż i demontaż elementów SMD

kursy
Systemy dla Internetu Rzeczy. Układ scalony zarządzania zasilaniem nPM1100

18,90 zł (w tym 8% VAT) • PRICE: 8 EUR
ISSN 1230-3526 Indeks 357677
9 771230 352221 03 >

MONTAŻ I DEMONTAŻ ELEMENTÓW SMD

eprasa.pl 2897393b21

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

na start
do 6* wydań gratis

po 5 latach nieprzerwanej prenumeraty do 12* wydań gratis

* Cena prenumeraty rocznej **na start** wynosi 207,90 zł. Przy zamówieniu prenumeraty dwuletniej za 340,20 zł oszczędność wynosi równowartość sześciu wydań „Elektroniki Praktycznej”.

Przedłużasz prenumeratę? Aby otrzymać zniżkę lojalnościową, przedłuż prenumeratę po zalogowaniu się do swojego panelu na **www.ulubionykiosk.pl**, gdzie znajdziesz atrakcyjną ofertę prenumeraty, która uwzględnia przysługujące Ci zniżki za lojalność. Po 5 latach nieprzerwanej prenumeraty otrzymasz **rabat 50%** na prenumeratę dwuletnią.

Oferta dotyczy prenumeraty drukowanej.

Wszystkie opcje prenumeraty i e-prenumeraty znajdziesz na stronie

www.UlubionyKiosk.pl

prenumerata@avt.pl

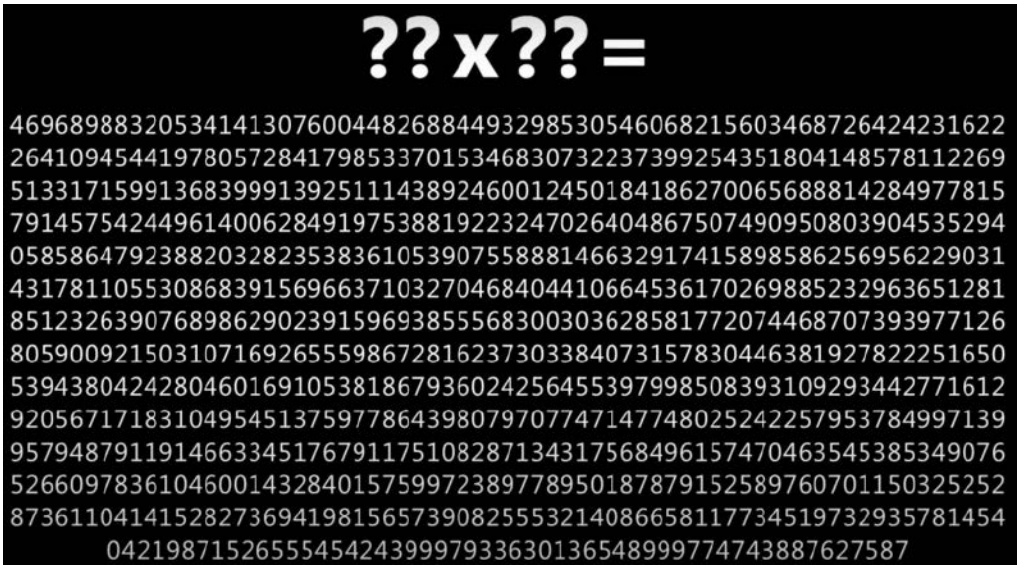
AVT-Korporacja sp. z o.o., ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, konto 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013

eprasa.pl 2897393b21

Technologia i bezpieczeństwo

To, co dzieje się na Ukrainie, jest przerażające. Chociaż w ostatnich miesiącach wiele wskazywało na to, że ta wojna była planowana, to taki scenariusz wydawał się nierealny. Nasza redakcja przyłącza się do zdecydowanego potępiania rosyjskich działań, ale nie chcę teraz kontynuować tej ponurej narracji. Tematykę tego wstępniaka skieruję w stronę pewnej technologii, która wydaje się futurystyczna i w tej chwili również nierealna, ale z pewnością będzie miała wpływ na ataki i bezpieczeństwo, tylko że w świecie cyfrowym.

Komputery kwantowe mają diametralnie zwiększyć możliwości rozwiązywania niektórych najbardziej złożonych problemów obliczeniowych. Klasyczne komputery wykonują obliczenia na danych reprezentowanych przy użyciu różnych kombinacji dwóch wartości binarnych: 0 i 1. Komputery kwantowe reprezentują informacje przy użyciu kubitów – bitów kwantowych, które mogą znajdować się w superpozycji obu stanów – jednocześnie 0 i 1. To umożliwia wykonywanie wielu obliczeń w tym samym czasie, co potencjalnie prowadzi do ogromnego wzrostu mocy obliczeniowej w porównaniu z komputerami klasycznymi. Jednym z zastosowań, w którym komputery kwantowe będą miały szczególnie przełomowe znaczenie, jest faktoryzacja liczb całkowitych, umożliwiająca odszyfrowanie większości powszechnie stosowanych protokołów bezpieczeństwa cybernetycznego, w tym RSA – asymetrycznego algorytmu kryptograficznego używanego do bezpiecznej transmisji danych.


??x?? =
4696898832053414130760044826884493298530546068215603468726424231622
2641094544197805728417985337015346830732237399254351804148578112269
5133171599136839991392511143892460012450184186270065688814284977815
7914575424496140062849197538819223247026404867507490950803904535294
0585864792388203282353836105390755888146632917415898586256956229031
4317811055308683915696637103270468404410664536170269885232963651281
8512326390768986290239159693855568300303628581772074468707393977126
8059009215031071692655598672816237303384073157830446381927822251650
5394380424280460169105381867936024256455397998508393109293442771612
9205671718310495451375977864398079707747147748025242257953784997139
9579487911914663345176791175108287134317568496157470463545385349076
5266097836104600143284015759972389778950187879152589760701150325252
8736110414152827369419815657390825553214086658117734519732935781454
0421987152655545424399979336301365489997747438876275 87

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

Nr 3 (350) • Marzec 2022

68

Miniaturowy sensor poziomu CO_2 z alarmem i interfejsem bluetooth
Pomiar poziomu dwutlenku węgla w powietrzu, wewnątrz pomieszczeń, w których spędzamy dużo czasu, jest bardzo ważny. Wiele badań łączy podwyższony poziom dwutlenku węgla ze zmęczeniem i złym samopoczuciem. Wystarczy wtedy otworzyć okno, aby poczuć się lepiej. Jednak z różnych względów nie zostawimy okna stale otwartego. Sensor CO_2 wskaże właściwy moment i optymalny czas otwarcia okna.

64

Laserowy anemometr
Pomiary parametrów wiatru są istotne w wielu dziedzinach – od marynistyki, przez meteorologię a na modelarstwie skończywszy. Klasyczne układy do pomiaru prędkości i kierunku wiatru bazują na dosyć złożonych układach mechanicznych, które mierzą prędkość obrotową specjalnych wiatraków itd. Zaproponowana konstrukcja jest znacznie prostsza – zastępuje cały układ mechaniczny rurką poruszającą się na wietrze. Dodatkowym plusem tego urządzenia jest fakt, że oferuje nie tylko informacje o kierunku, ale także o prędkości wiatru przy tym samym pomiarze, istotnie upraszczając konstrukcję systemu.

Nie przeocz

Nowe podzespoły 6
Dodaj do obserwowanych 13
Konkurs 63
Koktajl niusów 98

Projekty

Stacja pogodowa WS-01 18
Wzmacniacz audio dla wymagających (1) 23

Miniprojekty

Włącznik LED z płynnym rozjaśnianiem i ściemnianiem 30
Uniwersalna ładowarka akumulatorów litowych 31
Interfejs użytkownika z wyświetlaczem OLED dla Pi Pico 33
Moduł multiIO dla RPI Zero 35
Płynny regulator prędkości i kierunku obrotów silnika 12 V 38
Stroboskop cyfrowy LED 40

Projekty soft

Laserowy anemometr 64
Miniaturowy sensor poziomu CO_2 z alarmem i interfejsem Bluetooth 68

Prezentacje

Specyfika wyświetlaczy dla Internetu Rzeczy 44
Wyjątkowa prędkość i dynamika.
Nowy silnik krokowy AM3248 o prędkości 10 000 obr./min 53
Automatyczny pomiar temperatury ciała z Planck Vision Systems.
Szybkie badanie przesiewowe za pomocą kamer termowizyjnych 54

Temat numeru: Pomiar temperatury i termowizja

Pomiar temperatury na PCB 46
Elektroniczne sensory temperatury 56

Elektronika w praktyce

Montaż i demontaż elementów SMD 72

Notatnik konstruktora

Budujemy mosty (3). Mostki wzbudzane napięciem zmiennym 87
Redukcja zakłóceń wprowadzanych przez przekaźniki 90

Poradnik implementacji

Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (13).
Front-endy do zastosowań energetycznych (1) 92

Kursy

Systemy dla Internetu Rzeczy (58).
Układ scalony zarządzania zasilaniem nPM1100 103

Prenumerata 2
Od wydawcy 3
Hity następnego numeru 111

Dodatkowe materiały do artykułów znajdziesz na https://ulubionykiosk.pl/media
eprasa.pl 2897393b21
Szczegóły na stronie 89

Otwórz drzwi do świata IoT

Wi-Fi® i Open Source Linux®

Uaktywnij Wi-Fi w dowolnym linuksowym MPU dzięki gotowym certyfikowanym modułom Wi-Fi firmy Microchip z obsługą sterowników Mainline Linux. Oferujemy gotowe do użycia sterowniki Linux dla kontrolerów Wi-Fi Link ATWILC1000 (tylko Wi-Fi) i ATWILC3000 (Wi-Fi + BLE 5). Skróć czas projektowania dzięki naszym bogatym zasobom na Github (https://github.com/linux4sam), takim jak drivery, jądro, obrazy demonstracyjne (z dołączonym driverem) i przewodnikiem „Getting Started". Dostarczamy obrazy dla hostów MPU na ATSAMA5D2 i ATSAMA5D4 lub możesz wykorzystać MPU innych dostawców za pośrednictwem głównego jądra Linux.

Get started today with the ATWILC1000-SD evaluation kit.

- Wi-Fi IoT link controller module connects to Microchip AVR® MCUs, MPUs and other processors
- SPI and SDIO host interfaces optimized for Linux
- Supports Personal & Enterprise IEEE 802.11 WEP, WPA, WPA2 Security

Aby uzyskać więcej informacji, odwiedź stronę z www.microchip.com/wifi-for-linux.

MICROCHIP

microchip.com/wifi-for-linux

Nazwa i logo Microchip, logo Microchip i AVR są zastrzeżonymi znakami towarowymi firmy Microchip Technology Incorporated w USA i innych krajach. Wszystkie inne znaki towarowe są własnością ich zarejestrowanych właścicieli. © 2022 Microchip Technology Inc. Wszelkie prawa zastrzeżone. DS70005483A. MEC2401A-POL-01-22

eprasa.pl 2897393b21

nowe podzespoły

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

Miniaturowy siłownik haptyczny do ekranów dotykowych i joysticków

Do oferty komponentów elektromechanicznych firmy Vishay wchodzi miniaturowy siłownik haptyczny IHPT-1411AF-AB0 do ekranów dotykowych, przełączników i joysticków. Jest on zamykany w małogabarytowej, dwuczęściowej obudowie o wymiarach 36×35×14 mm, który może nadać obciążeniu o masie 0,5 kg przyspieszenie do 6 g przy impulsie sterującym 12 V/5 ms. Jest przystosowany do pracy w temperaturze otoczenia do +105°C. Charakteryzuje się rezystancją cewki 0,95 Ω, indukcyjnością 1,8 mH i wytrzymałością dielektryczną między cewką i rdzeniem równą 150 VDC.

IHPT-1411AF-AB0 to urządzenie elektromagnetyczne, które przekształca energię elektryczną w impuls mechaniczny lub wibracje w celu zapewnienia interakcji dotykowej. Wytwarzane impulsy mogą być regulowane poprzez zmianę amplitudy i współczynnika wypełnienia sygnału pobudzającego. Wewnętrzna cewka wytwarza pole magnetyczne, które powoduje przyciąganie ruchomego elementu rdzenia. Po wyłączeniu zasilania element ten powraca do swojego pierwotnego położenia wskutek działania sprężyny. Czas reakcji można regulować w celu uzyskania różnych efektów dotykowych.

www.vishay.com

Przekaźnik SPST-NO do aplikacji o prądzie rozruchowym do 255 A

Firma Omron zaprojektowała nowy, niskoprofilowy przekaźnik elektromechaniczny o konfiguracji SPST-NO, stanowiący rozszerzenie rodziny G5RL, przeznaczony do zastosowań w aplikacjach o dużym prądzie rozruchowym. Model G5RL-K-EL może współpracować z obciążeniami o charakterze rezystancyjnym i pojemnościowym, zapewniając odporność na krótkie impulsy prądowe do 255 A. Charakteryzuje się dopuszczalnym ciągłym prądem przewodzenia równym 16 A przy wymiarach jedynie 29,0×15,7×12,7 mm. Może znaleźć zastosowanie m.in. w instalacjach oświetleniowych, systemach automatyki budynków oraz wszędzie tam, gdzie występuje duża zmienność poboru prądu przez obciążenie. Spełnia wymogi normy branżowej IEC60669-1 w zakresie parametrów łączników prądu przemiennego oraz IEC60335-1 w zakresie bezpieczeństwa użytkowania. Jest produkowany w wersjach na napięcie znamionowe cewki 5, 12 i 24 VDC.

http://components.omron.eu

Układy zarządzania akumulatorami do wieloogniwowych systemów wysokonapięciowych

Do oferty firmy Renesas wchodzą dwa nowe układy zarządzania akumulatorami – RAA489206 i RAA489204, zaprojektowane do zastosowań w aplikacjach wieloogniwowych, w tym skuterach elektrycznych, elektronarzędziach i systemach gromadzenia energii. Zapewniają one szybkie balansowanie źródeł w zakresie natężenia prądu do 200 mA, niezbędne podczas szybkiego ładowania dużych pakietów akumulatorowych przy tolerancji hot-plug do 62 V.

RAA489206 został zaprojektowany do zastosowań w wysokonapięciowych aplikacjach e-mobility, w których duża liczba ogniw i duże różnice temperatury mogą prowadzić do powstania niezrównoważenia między ogniwami. Realizuje zabezpieczenie high-side i monitorowanie pakietów akumulatorowych wielkości od 4 S do 16 S.

RAA489204 poprawia pracę w konfiguracji łańcuchowej w stosunku do układów poprzedniej generacji dzięki szybszej komunikacji układ-układ i rozszerzonej diagnostyce. Obsługuje większe napięcia i większą liczbę ogniw w zasilaczach UPS, sieciowych systemach zasilania rezerwowego i innych systemach gromadzenia energii.

Ważniejsze cechy RAA489206:

- pomiar napięcia w systemach zawierających do 16 ogniw,
- opcje balansowania wewnętrznego (do 10 mA) i zewnętrznego (do 200 mA),
- zakres napięcia zasilania od 12 V do 55 V przy dokładności pomiarowej ±10 mV,
- redukcja powierzchni płytki PCB do 20 cm² w stosunku do systemów alternatywnych,

eprasa.pl 2897393b21

- pomiar prądu wyjściowego w układzie low-side,
- układ zabezpieczenia akumulatorów przy ładowaniu/rozładowaniu.

Ważniejsze cechy RAA489204:

- zakres napięcia pracy od 10 V do 65 V przy dokładności pomiaru ±10 mV (±190 mV dla pakietu),
- pomiar wszystkich napięć i temperatur oraz diagnostyka 112 ogniw w czasie krótszym od 10 ms,
- balansowanie ogniw za pomocą wewnętrznych i zewnętrznych tranzystorów FET,
- wejścia do współpracy z 6 zewnętrznymi termistorami,
- komunikacja łańcuchowa przy małym poborze prądu (typ. 1 mA przy transmisji przez 10% czasu),
- możliwość łączenia do 30 układów.

www.renesas.com

Ukryty przełącznik pojemnościowy do montażu za powierzchniami nieprzewodzącymi

Ukryty przełącznik pojemnościowy CHS firmy Schurter zapewnia dużą elastyczność przy projektowaniu niestandardowych paneli. Jest przeznaczony do montażu za powierzchniami nieprzewodzącymi, w tym szklanymi o grubości do 2 mm. Jego montaż wymaga jedynie usunięcia powłoki ochronnej i przyklejeniu przełącznika od spodu panelu. CHS został zaprogramowany tak, aby nie aktywował się przypadkowo po kontakcie z rozpyloną lub

płynącą cieczą ani po przypadkowym dotknięciu panelu. Jego czułość może być dostosowywana do wymogów konkretnych wymagań aplikacji, co dotyczy również grubości panelu. Oznacza to, że może być umieszczany za różnego rodzaju materiałami nieprzewodzącymi, np. z pleksi, plastiku, porcelany, ceramiki, marmuru, granitu czy drewna. Pozwala to na zastosowania w architekturze, zabudowie kuchennej, automatach sprzedających i panelach w środowiskach przemysłowych. Nie zawiera otworów, które pozwalałyby na wnikanie cieczy i rozwój drobnoustrojów.

CHS jest oferowany w trzech wariantach: CHS1 w postaci płytki drukowanej ze złączem, CHS2 z obudową, podświetleniem RGB i złączem oraz CHS3 z uszczelnioną obudową, podświetleniem RGB i kablem. Jego wymiary wynoszą 30×30 mm. Przełącznik może pracować w przemysłowym zakresie temperatury otoczenia od –40 do +85°C. Nie zawiera żadnych części ruchomych, które podlegałyby naturalnemu zużyciu. Charakteryzuje się żywotnością powyżej 100 milionów cykli.

www.schurter.com

Układ ładowania akumulatorów niskonapięciowych 2...3 V ze stałym i półpłynnym elektrolitem

Szybki rozwój rynku urządzeń przenośnych spowodował konieczność opracowywania bezpieczniejszych akumulatorów o większej gęstości energii. Pojawiły się nowe konstrukcje akumulatorów ze stałym i półpłynnym elektrolitem, w których używane są różne materiały do produkcji elektrod i terminali. Wiele z nich charakteryzuje się małymi gabarytami i płaską konstrukcją oraz wymaga ładowania niskim napięciem z zakresu 2...3 V. Firma Rohm zaprojektowała pierwszy na rynku układ scalony umożliwiający ładowanie nie tylko akumulatorów litowo-jonowych, ale też nowych typów niskonapięciowych akumulatorów ze stałym i półpłynnym elektrolitem. Układ

REKLAMA

COMPUTER CONTROLS

Autoryzowany dystrybutor Altium w Polsce

Sprawdź nowe plany Subskrypcji Altium

ALTIUM 365

Subskrypcja Altium 365 Standard

Przechowywanie i współdzielenie danych w chmurze dla projektantów PCB, a ponadto m.in.

- Wszystkie aktualizacje oprogramowania Altium Designer
- Dostęp do społeczności AltiumLive, w tym forum dyskusyjnego
- Podstawowy interfejs ECAD/MCAD

Subskrypcja Altium 365 Pro

Kompleksowe zarzadzanie komponentami i danymi projektowymi PCB, a ponadto m.in.

- Wszystkie aktualizacje oprogramowania Altium Designer
- Priorytetowy dostęp do wsparcia technicznego Altium
- Zaawansowany interfejs ECAD/MCAD

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 2897393b21

BD71631QWZ pracuje z wyjściowym napięciem ładowania z szerokiego zakresu od 2,0 do 4,7 V. Umożliwia łatwe programowanie napięcia ładowania za pomocą dzielnika rezystorowego. Jego zaletą jest też bardzo mała powierzchnia i grubość obudowy (2,5×1,8×0,4 mm), pozwalające na zastosowania w słuchawkach dousznych, długopisach elektronicznych, e-papierosach i innych urządzeniach o dużej gęstości upakowania podzespołów.

BD71631 QWZ akceptuje napięcie wejściowe z zakresu od 2,9 do 5,5 V. Nie powoduje rozładowania akumulatora w trybie standby. Pomimo bardzo małych rozmiarów, może pracować z prądem ładowania do 300 mA (dla VIN > 4 V i VIN-VOUT > 1 V). Podobnie jak typowe układy scalone do ładowania akumulatorów, został wyposażony w zestaw obwodów zabezpieczających, w tym timer bezpieczeństwa, zabezpieczenie termiczne układu i akumulatora oraz zabezpieczenie podnapięciowe i nadnapięciowe. Jego zakres dopuszczalnej temperatury pracy rozciąga się od –30 do +105°C. Firma Rohm oferuje też zestaw ewaluacyjny BD71631 QWZ-EVK-001.

www.rohm.com

Przełączniki mechaniczne SPST o żywotności 100 tys. cykli

CUI Devices wprowadza na rynek 8 nowych serii przełączników mechanicznych do elektroniki użytkowej, sprzętu biurowego i zastosowań przemysłowych. Są one produkowane w obudowach o powierzchni 6×6 mm do montażu SMT (serie TS01-TS03) i przewlekanego (TS04-TS08) z różnymi wariantami wyprowadzeń (*gull wing, crimped*) oraz z przyciskami o wysokości od 2,5 do 17 mm.

Są to przełączniki o konfiguracji SPST, zapewniające żywotność wynoszącą w zależności od wersji od 60 tys. do 100 tys. cykli. Mogą pracować w zakresie temperatury otoczenia od –30 do +80°C. Charakteryzują się parametrami znamionowymi 12 V DC/50 mA i siłą nacisku od 100 do 260 g. Niektóre są produkowane w szczelnych obudowach o stopniu ochrony IP67, zapewniających odporność na wilgoć i kurz.

www.cuidevices.com

Polimerowe kondensatory chipowe o dopuszczalnej temperaturze pracy +150°C

Firma AVX dodaje do oferty komponentów z kwalifikacją AEC-Q200 nową serię polimerowych kondensatorów chipowych TCO o zakresie dopuszczalnej temperatury pracy od –55 do +150°C. Zostały one opracowane na bazie sprawdzonych w praktyce kondensatorów wcześniejszej serii TCQ, wprowadzonych do sprzedaży 5 lat wcześniej. Są przeznaczone do pracy w ciężkich warunkach środowiskowych

w aplikacjach motoryzacyjnych i przemysłowych małej i średniej mocy. Przeszły 1000-godzinny test klimatyczny 85°C/85%.

Obecnie na rynku dostępny jest pierwszy kondensator serii TCO (ozn. TCOD106 M050#0150 E) o pojemności 10 µF, tolerancji ±10% i napięciu znamionowym 50 V, zamykany w obudowie rozmiaru D (7,3×4,3×2,9 mm). Charakteryzuje się on maksymalnym prądem upływu (DCL) równym 50 µA i ekwiwalentną rezystancją szeregową (ESR) poniżej 150 mΩ na częstotliwości 100 kHz i w całym zakresie temperatury roboczej. Może wytrzymać 3 cykle lutowania w procesie przepływowym w temperaturze +260°C.

www.avx.com

Tranzystory MOSFET rodziny OptiMOS 6 w nowych wersjach 100-woltowych

Do rodziny tranzystorów MOSFET OptiMOS 6 firmy Infineon wchodzą nowe wersje 100-woltowe, przeznaczone do zastosowań w układach impulsowych dużej częstotliwości. Zapewniają one małe straty przy przewodzeniu i przełączaniu, a równocześnie charakteryzują się szerokim obszarem bezpiecznej pracy. W porównaniu z tranzystorami wcześniejszej generacji OptiMOS 6 oferują mniejszą średnio o 18% rezystancję $R_{DS(on)}$ i mniejszy o 30% współczynnik FOM ($R_{DS(on)}$×Qg).

W przykładowym układzie konwertera DC-DC buck-boost ZVS o napięciu wejściowym –36...–60 V i napięciu wyjściowym 12 V zastosowanie tranzystora OptiMOS 6 o rezystancji równej 2,2 mΩ, zamykanego w obudowie SuperSO8, pozwala zwiększyć o 1% sprawność energetyczną w porównaniu z równoważnym układem z tranzystorem OptiMOS 5 BSC027 N10 NS5 (2,7 mΩ) w całym zakresie obciążeń. Oznacza to straty mocy mniejsze o 7 W i większą o 15% gęstość mocy.

Tranzystory OptiMOS 6 są produkowane w obudowach SuperSO8 (6×5 mm) i PQFN (3,3×3,3 mm).

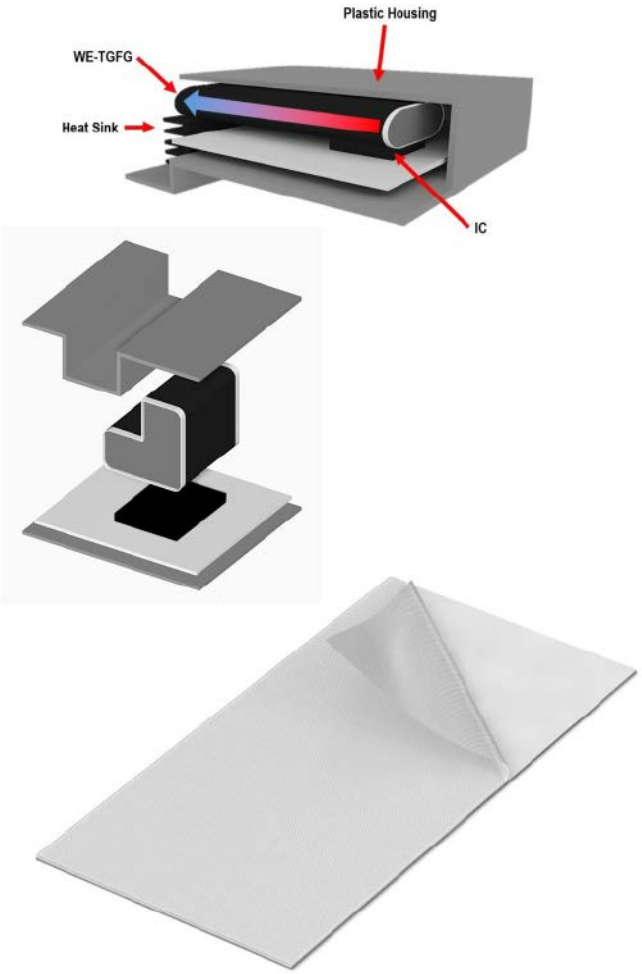
www.infineon.com

Nowe materiały firmy Wurth Elektronik do chłodzenia komponentów elektronicznych

Wurth Elektronik poszerza ofertę materiałów termoprzewodzących o jedno rozszerzenie serii i pięć nowych grup produktów do łączenia komponentów i radiatorów. Znajdują one również zastosowanie do rozpraszania ciepła na większych powierzchniach.

WE-TTT to dwustronna taśma samoprzylepna przewodząca ciepło i zapewniająca izolację elektryczną, mogąca znaleźć zastosowanie do chłodzenia półprzewodników dużej mocy, procesorów graficznych

eprasa.pl 2897393b21



i modułów pamięci. Cząsteczki ceramiczne w kleju zapewniają w jej przypadku przewodność cieplną 1 W/(m·K). Podkładki izolujące WE-TINS przewodzące ciepło realizują interfejs termiczny między tranzystorami i zespołami chłodzącymi przy zapewnieniu izolacji elektrycznej. Mogą być docinane na wymiar i charakteryzują się dużą odpornością na rozdarcie. Arkusze WE-PCM (*Phase Change Material*) stanowią alternatywę dla pasty termicznej. Upłynniają się pod wpływem ciepła, aby idealnie skompensować nierówności na powierzchniach styku.

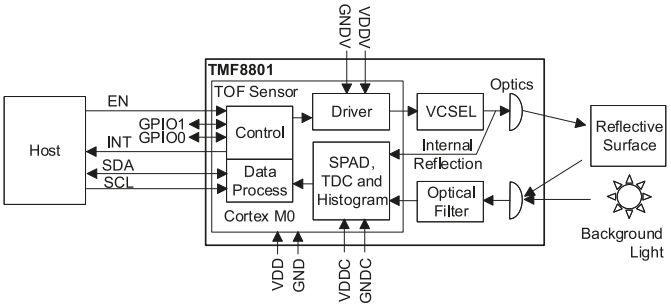
Jeśli chodzi o większe luki, doskonale sprawdzają się podkładki silikonowe WE-TGF. Firma Wurth Elektronik wprowadziła na rynek nowe wersje tych podkładek, które dzięki wprowadzeniu do ich składu ceramiki, zapewniają przewodność cieplną sięgającą 10 W/(m·K). Do skutecznego rozprowadzania ciepła na większych powierzchniach służą arkusze grafitowe WE-TGS, pozwalające na uzyskanie przewodności termicznej aż do 1800 W/(m·K) w poziomie.

Podkładki piankowe WE-TGFG, owinięte arkuszem grafitowym, zapewniają odprowadzanie ciepła tam, gdzie podkładki silikonowe nie spełniają swojego zadania, nie są stabilne wymiarowo lub gdzie wymagane jest docinanie indywidualnych kształtów. Zapewniają one skuteczne odprowadzanie ciepła na boki, dzięki czemu mogą być stosowane jako zamienniki dla miedzianych rurek cieplnych.

www.we-online.com

Czujnik zbliżeniowy z technologią direct Time-of-Flight, niewrażliwy na warunki oświetleniowe

Czujnik zbliżeniowy TMF8801 firmy ams OSRAM, pracujący na zasadzie pomiaru czasu przelotu dToF (*direct Time-of-Flight*), nadaje się idealnie do zastosowań m.in. w aplikacjach rozpoznawania twarzy. Zapewnia niezawodną pracę wewnątrz i na zewnątrz budynków w dowolnych warunkach oświetleniowych, a dzięki wbudowanym algorytmom umożliwia inteligentne rozpoznawanie obecności osób przy małym poborze mocy.



Jego struktura obejmuje emiter podczerwieni VCSEL, zestaw detektorów światła SPAD (*single photon avalanche photodiode*), konwerter *time-to-digital* i mikrokontroler do przetwarzania histogramów. W porównaniu z metodą uśredniania odległości, stosowaną w standardowych czujnikach ToF, metoda bezpośredniego pomiaru czasu dToF zastosowana w TMF8801 zapewnia większą dokładność i umożliwia prowadzenie pomiarów rzeczywistej odległości. Wbudowany filtr światła zapewnia poprawną pracę układu również w bezpośrednim oświetleniu słonecznym. Szeroki zakres dynamiczny oraz szeroki zakres pomiaru od 20 mm do 2500 mm przy częstotliwości próbkowania 30 Hz deklasują inne, dostępne na rynku czujniki ToF.

TMF8801 pracuje w zakresie napięcia zasilania od 2,7 do 3,3 V i w zakresie temperatury otoczenia od –30 do +70°C. Komunikuje się przez interfejs I²C. Jest produkowany w obudowie OLGA o wymiarach 3,6×2,2×1,0 mm.

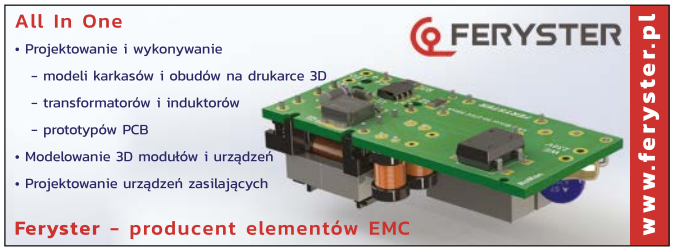
www.ams.com

Kondensatory MML o bardzo dużej gęstości energii na poziomie 400 J/dm³

Kondensatory nowej rodziny MML (*Miniature Micro-Layer*) firmy Exxelia wyróżniają się bardzo dużą gęstością energii (400 J/dm³).

REKLAMA

ZAJRZYJ NA TE STRONY



eprasa.pl 2897393b21

Pozwala to zmniejszyć nawet o połowę ich masę i objętość w porównaniu z innymi kondensatorami foliowymi oraz o 70...90% masę i o 70% objętość w porównaniu z kondensatorami MLCC. Dodatkowo nadają się one do pracy w szerokim zakresie temperatury otoczenia od –55 do +140°C, zapewniają dużą odporność na przepięcia, charakteryzują się dryftem poniżej 5% w całym zakresie temperatury roboczej i mogą być produkowane w wersjach o bardzo małej grubości.

Aplikacje zawierające zespoły kondensatorów MLCC można teraz zastąpić pojedynczym kondensatorem MML o podobnej wielkości, oferującym niezawodność typową dla wersji z dielektrykiem foliowym. Kondensatory MML są obecnie produkowane w wersjach o pojemności 1...1000 µF i napięciu znamionowym 100...1200 V. Ze względu na swoje cechy są szczególnie polecane do zastosowań m.in. w lotnictwie, sprzęcie wiertniczym i defibrylatorach.

www.exxelia.com

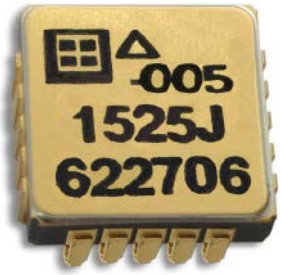
24-wyjściowy kontroler RGB LED do samochodowych systemów oświetleniowych

Najnowszy kontroler RGB LED MLX81118 firmy Melexis zawiera 24 kanały wyjściowe o wydajności prądowej po 60 mA każdy, umożliwiające sterowanie 8 diodami GRB LED w samochodowych systemach oświetleniowych. Ułatwia on projektowanie personalizowanych, animowanych systemów sterowania oświetleniem zewnętrznym i wewnętrznym (np. w elementach wykończenia drzwi lub deskach rozdzielczych). Zapewnia zgodność z wymogami normy niezawodnościowej ISO 26262 (ASIL-B). Komunikuje się z mikrokontrolerem za pomocą interfejsu LIN, zgodnego ze standardami LIN2.x, SAE J2602 i ISO 18987.

MLX81118 akceptuje napięcie zasilania od 3 do 18 V i pobiera w trybie standby typ. 25 µA prądu (maks. 50 µA). Zawiera podwójne wejście zasilania, oddzielne do diod LED i obwodów wewnętrznych, umożliwiające obniżenie sumarycznego poboru mocy. Jest zabezpieczony przed przepięciami do 40 V. Regulacja jasności i barwy odbywa się sygnałem PWM z 16-bitową rozdzielczością. Steruje nią 16-bitowy mikrokontroler RISC Melexis MLX16 FX z 2 kB pamięci RAM i 32 kB pamięci Flash, przechowującej m.in. współczynniki kalibracji diod LED. Realizuje on również funkcje diagnostyczne. Układ nadaje się do pracy w zakresie temperatury otoczenia od –40 do +125°C. Uzyskał kwalifikację AEC-Q100. Jest zamykany w obudowie QFN-32 o powierzchni 5×5 mm.

www.melexis.com

Tani akcelerometr MEMS SMD wysokiej klasy o wariancji Allana od 5 µg



Do oferty akcelerometrów MEMS firmy Silicon Designs wchodzi nowy model 1525, wyróżniający się bardzo dobrą stabilnością. Jest on produkowany w wersjach o zakresie pomiarowym od ±2 do ±50 g i charakteryzuje się wariancją Allana wynoszącą już od ±5 µg (dla zakresu ±2 g). Może pracować w zakresie temperatury otoczenia od –40 do +85°C. Jest niewrażliwy na szybkie zmiany temperatury.

Akcelerometry Low-G 1525 zapewniają dokładne i powtarzalne wyniki pomiaru drgań i przyspieszenia w zakresie małych częstotliwości (w tym sejsmicznych) w aplikacjach komercyjnych i przemysłowych. W porównaniu z odpowiednikami klasy przemysłowej wykazują korzystniejszy stosunek ceny do parametrów. Ich struktura obejmuje element pomiarowy MEMS, różnicowy analogowy stopień wyjściowy, wzmacniacz i czujnik temperatury, zamknięte wewnątrz hermetycznej, ceramicznej obudowy JLCC-20 (8,9×8,9×4,2 mm) z tłumikiem azotowym. Każdy egzemplarz jest oznaczony numerem seryjnym i dostarczany z arkuszem kalibracji.

www.silicondesigns.com

Samochodowy moduł nawigacyjny z jednostką IMU i funkcją Dead Reckoning

Do rodziny modułów nawigacyjnych Teseo firmy STMicroelectronics wchodzi nowy model Teseo-VIC3DA z funkcją nawigacji zliczeniowej (*Dead Reckoning*), zaprojektowany do zastosowań w samochodowych systemach nawigacyjnych i systemach zrządzania flotą pojazdów. Teseo-VIC3DA to tani moduł nawigacyjny wysokiej klasy, którego struktura wewnętrzna obejmuje sprawdzony odbiornik GNSS Teseo III oraz 6-osiowy moduł inercyjny MEMS. Całość uzupełnia oprogramowanie do nawigacji zliczeniowej.

Układ odbiera sygnały z satelitów konstelacji GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou i QZSS, a dzięki wbudowanej jednostce IMU i oprogramowaniu zapewnia dokładne pozycjonowanie również w tunelach, pod konstrukcjami, takimi jak mosty lub wielopoziomowe autostrady, w zadaszonych obszarach, takich jak podziemne parkingi oraz w przestrzeniach pomiędzy wysokimi budynkami.

Teseo-VIC3DA pracuje z napięciem zasilania 3,3 V. Pobiera zaledwie 17 µA prądu w trybie standby. Zawiera precyzyjny oscylator kwarcowy z kompensacją temperatury (TCXO), pozwalający na osiągnięcie dużej dokładności (typ. 1,5 m CEP) i krótkiego czasu TTFF. Oprogramowanie firmware w wewnętrznej pamięci Flash może być aktualizowane

eprasa.pl 2897393b21

za pomocą darmowego narzędzia Teseo-Suite. Zgodność z unijną dyrektywą RED (*Radio Equipment Directive*), odpowiednimi standardami ETSI i wymogami norm bezpieczeństwa EN pozwala na szybkie uzyskanie obowiązkowych zatwierdzeń na poziomie produktów.

Teseo-VIC3DA jest zamykany w obudowie LCC-24 o wymiarach 16,0×12,2×2,42 mm. Jego ceny hurtowe zaczynają się od 12,70 USD przy zamówieniach 1000 sztuk. Producent oferuje moduł ewaluacyjny EVB-VIC3DA zasilany ze złącza USB.

www.st.com

Małostratne superłączowe tranzystory STPOWER MDmesh K6 800 V do układów zasilania

W superłączowych 800-woltowych tranzystorach nowej serii STPOWER MDmesh K6 firmy STMicroelectronics poprawiono kilka kluczowych parametrów, pozwalających zminimalizować straty mocy w systemach zasilania. Są one polecane do zastosowań przede wszystkim w instalacjach oświetleniowych opartych na topologii flyback (sterowniki diod LED i lamp HID), a także zasilaczach sieciowych i układach zasilania wyświetlaczy. Tranzystory te wyróżniają się bardzo małym iloczynem rezystancji $R_{DS(on)}$ i powierzchni struktury półprzewodnikowej, co zapewnia równocześnie dużą gęstość mocy i dużą sprawność energetyczną. W porównaniu z tranzystorami wcześniejszej generacji MDmesh K5 charakteryzują się mniejszym napięciem progowym, co pozwala na stosowanie mniejszego napięcia sterującego i ogranicza straty mocy, zwłaszcza w aplikacjach pozostających przez długi czas w trybie standby. Mały całkowity ładunek bramki (Qg) zapewnia małe straty przy pracy z dużą częstotliwością przełączania. Z kolei wbudowana dioda zabezpieczająca zapewnia dużą odporność na wyładowania elektrostatyczne (HBM Class 2).

Pierwszym tranzystorem nowej serii STPOWER MDmesh K6 jest STP80N240k6, charakteryzujący się rezystancją $R_{DS(on)}$ poniżej 0,22 Ω i ładunkiem Qg równym 25,9 nC. Jest on zamykany obecnie w obudowie TO-220, a w najbliższym czasie ma być też dostępny w wersjach DPAK i TO-220 FP.

www.st.com

Przemysłowe płyty główne od Advantecha – seria AIMB

Płyty główne, takie jak modele AIMB-277 i AIMB-287, są idealnymi rozwiązaniami do aplikacji zawierających mechanizmy *deep learning*, których głównymi zadaniami jest zbieranie, przetwarzanie i możliwie jak najszybsza analiza danych. Mniejszym bratem wymienionych powyżej rozwiązań jest mieszczący się w dłoni AIMB-U233 z tej samej serii. Dzięki swoim kompaktowym rozmiarom i zwiększonej mocy obliczeniowej doskonale nadaje się do zaawansowanych aplikacji dysponujących ograniczoną przestrzenią na instalację tego typu rozwiązań.

AIMB-277 oraz AIMB-287 to przemysłowe płyty główne Mini-ITX z procesorami Intel Core 10. generacji. Wysoce funkcjonalne i wydajne jak na swoje wymiary (170×170 mm), o niskim poborze mocy (poniżej 100 W) są przeznaczone do automatyzacji fabryk oraz zastosowań medycznych i samoobsługowych.

AIMB-U233 to przemysłowa płyta główna UTX z procesorem Intel Core i7-8665 UE 8. generacji. Mierząca zaledwie 112,8×137 mm, łącząca niewielkie rozmiary i wydajność obliczeniową ze znaczną oszczędnością energii, to idealny produkt do zastosowania w rozwiązaniach AI, robotyki i IoT wymagających integracji z infokioskiem.

Wybrane modele przemysłowych płyt głównych z serii AIMB można dostosować do szerokiej gamy aplikacji dzięki ich szczególnym cechom — na przykład AIMB-277 wyróżnia się trzecią generacją PCIe x16 (interfejs *Peripheral Component Interconnect Express* o maksymalnej możliwej, 16-liniowej konfiguracji). Takie rozwiązanie rozszerza możliwości automatyki przemysłowej, wymagającej szybkich modułów I/O lub zaawansowanych aplikacji medycznych, które korzystają z kart graficznych o wysokiej wydajności.

Zarówno AIMB-277, jak i AIMB-287 są zgodne z normą IEC61000-4-2, określającą odporność urządzeń narażonych na wyładowania elektrostatyczne (8 kV w kontakcie i 15 kV w powietrzu). Zapewnia to odpowiednią ochronę dla wrażliwych na tego typu zakłócenia fabrycznych

REKLAMA

HAMMOND

nowy!

1552 - Ręczne obudowy plastikowe

Dowiedz się więcej: https://hammfg.com/1552

Skontaktuj się z nami, aby otrzymać bezpłatną próbkę ewaluacyjną.
eusales@hammfg.com • + 44 1256 812812

eprasa.pl 2897393b21

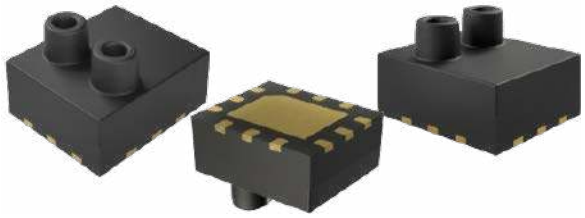
lub szpitalnych rozwiązań. Wymienione modele posiadają również dodatkowo certyfikat IEC 60068-2-27 i są odporne na wstrząsy, przez co nadają się do instalacji w AGV (*Automated Guided Vehicle* – automatyczne pojazdy transportowe), AMR (*Autonomous Mobile Robot* – autonomiczne roboty mobilne) oraz innych projektach związanych z transportem lub nawigacją.

AIMB-277 i AIMB-287 są również wyposażone w TPM 2.0, szyfrujący układ scalony z kluczami kryptograficznymi służącymi uwierzytelnianiu danej platformy. Ta funkcja zapewnia sprzętowe zabezpieczenie i ochronę danych przed atakami cyfrowymi oraz fizycznymi, ich kradzieżą lub utratą, zwiększając tym samym bezpieczeństwo w obszarze cyberprzestrzeni. Z kolei mieszcząca się w dłoni płyta główna AIMB-U233 została opracowana z myślą o potrzebach inteligentnych fabryk i rozwiązaniach typu smart ogólnie. Takie projekty wymagają zwiększonej mocy obliczeniowej i zintegrowanych urządzeń peryferyjnych, mieszczących się w ograniczonej przestrzeni instalacyjnej dla takiego sprzętu.

Płyta główna AIMB-U233 jest wyposażona w interfejs M.2 M-key/B-key/E-key, który w połączeniu z 4-liniowym interfejsem NVMe PCIe zwiększa prędkość odczytu i zapisu pamięci o nawet 400% w porównaniu z tradycyjnym dyskiem SSD SATA 3.0. Spełniając wymagania dotyczące zwiększonej łączności bezprzewodowej, obsługa M.2 E-key oraz M.2 B-key może współdziałać z modułami Wi-Fi/BT i 4G LTE. Dodatkowo wytrzymała konstrukcja tej płyty głównej zapewnia wysoki poziom ochrony przed zakłóceniami EMC.

Wszystkie wymienione warianty serii AIMB zawierają platformę zarządzania WISE-DeviceOn. Pozwala ona uniknąć ewentualnych awarii dzięki monitorowaniu sprzętu, oprogramowania i urządzeń peryferyjnych w czasie rzeczywistym. WISE-DeviceOn pozwala pracownikom na szybką identyfikację, a następnie rozwiązywanie problemów, zmniejszając tym samym nakłady na konserwację i naprawy, przy jednoczesnej maksymalizacji wydajności zarządzania rozwiązaniami IoT. Dzięki WISE-DeviceOn użytkownicy mają również możliwość gromadzenia przydatnych danych oraz podglądu stanu ich odpowiedników centrów operacyjnych. Dzięki temu analiza regionalnych różnic w trendach zakupowych oraz dodawanie informacji o nowych produktach do całych sieci dystrybucji jest łatwe i szybkie.

https://www.unisystem.pl/pl/catalogsearch/result/?q=advantech



Najmniejszy na rynku różnicowy czujnik ciśnienia w obudowie SMD

Firma Sensirion po raz kolejny przełamuje barierę miniaturyzacji czujników ciśnienia. Najnowszy, różnicowy model SDPC3 jest zamykany w obudowie SMD o wymiarach zaledwie 3,5×3,0×2,1 mm, a dodatkowo charakteryzuje się bardzo małym poborem mocy, pozwalającym na zastosowania w urządzeniach przenośnych. Pomimo tak małych gabarytów, oferuje on zaawansowane cechy wcześniejszych wersji. Charakteryzuje się zerowym dryftem i zerowym offsetem. Zawiera w pełni wykalibrowane i skompensowane temperaturowo wyjście cyfrowe I²C. Zapewnia bardzo dużą dokładność i powtarzalność w szerokim zakresie pomiaru, nawet poniżej 1 Pa. Zawiera wbudowane algorytmy uśredniające. Może być używany do pomiaru ciśnienia m.in. powietrza, tlenu i azotu (bez kondensacji).

Pozostałe cechy:

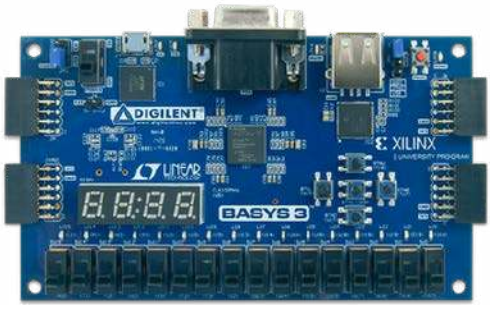
- zakres pomiarowy: ±500 Pa (±2 in. H_2O),
- szybkość próbkowania: do 2 kHz przy 16-bitowej rozdzielczości,
- napięcie zasilania: 1,71...3,6 V.

www.sensirion.com

REKLAMA

Zestawy uruchomieniowe FPGA

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



Kod handlowy: FPGA0001 • Producent: Digilent

Zestaw Basys 3 jest w szczególności polecany hobbystom i organizatorom kursów poświęconych układom programowalnym, oraz uczestnikom tych kursów. Oryginalny Basys 3 to zestaw do projektowania układów/systemów cyfrowych w środowisku Vivado Design Suite, z układem FPGA w wersji 35-T rodziny Artix 7 firmy Xilinx pozwalającym je praktycznie wdrożyć. Zestaw ten to najnowsza odsłona linii produktów Basys powstała specjalnie z myślą o osobach początkujących i studentach kierunków elektronicznych. W ich ręce producent oddaje gotowy do użycia produkt o dużej liczby peryferii zawierający niezbędne obwody. Tym samym nie ma potrzeby dołączania odrębnych komponentów, by stworzyć określone rozwiązanie. Ostatnie może być przy tym proste (np. bramki logiczne) lub bardziej złożone (np. namiastka domu inteligentnego). Zatem to sprzęt do zastosowań domowych oraz profesjonalnych, w tym do układów czasu rzeczywistego (RTOS).

AVT sklep

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 2897393b21

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.

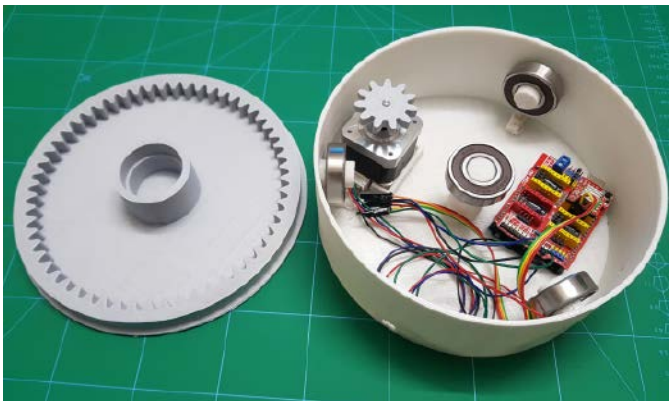
Obrotowa podstawa do prezentacji

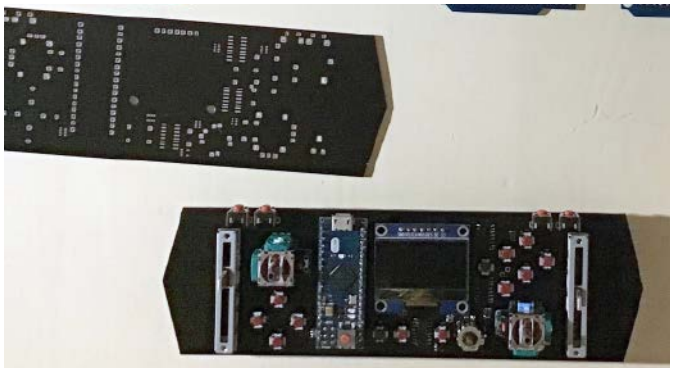
Ta prosta konstrukcja to stół obrotowy, którego można użyć do obracania elementów 3D lub dowolnych innych obiektów, w celu ich lepszej prezentacji. Urządzenie pozwoli lepiej i sprawniej przygotowywać filmy i fotografie różnych elementów czy urządzeń. Projekt jest prosty, a do jego budowy jest potrzebne zaledwie kilka elementów. W pierwszej kolejności należy kilka elementów wydrukować za pomocą drukarki 3D. Pliki STL dostępne są do pobrania na stronie z projektem. Ponadto potrzebne będą:

- silnik krokowy w rozmiarze NEMA 17,
- płytka CNC Shield v3 dla Arduino,
- Arduino Uno,
- sterownik DRV8825,
- zasilacz 6...12 V,
- 7xx łożyska kulkowe.

Potrzebny jest jeszcze komputer PC z zainstalowanym środowiskiem programistycznym Arduino IDE. Szkic programu, który kontroluje silnik krokowy obracający podstawą, załączony jest do opisu projektu na stronie źródłowej.

https://bit.ly/3vu8gyI





XpandShield MK II – (najprawdopodobniej) najbardziej rozbudowany kontroler na świecie

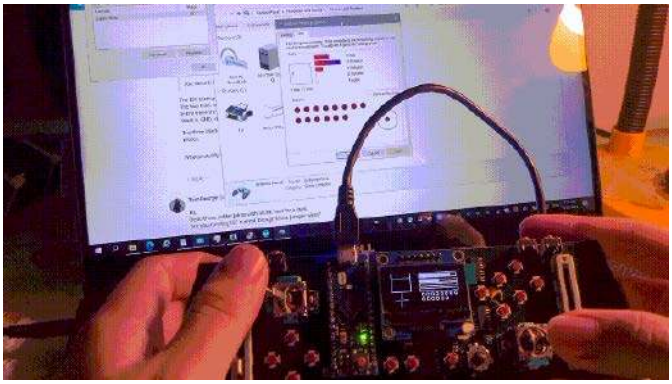
„Wszystko zaczęło się w momencie zakupu gry Kerbal Space Program. To doskonały sposób na marnowanie czasu, ale teraz nadeszła pora, aby zastanowić się, w jaki sposób mogę sprawić, bym się jeszcze bardziej tym cieszył”, opisuje autor. Ten kontroler może się wydawać bardzo skomplikowany, jednak doskonale sprawdza się we wspomnianej grze.

Kontroler musi być wyposażony w wejścia analogowe dla elementów sterujących, przyciski do sterowania innymi elementami, takimi jak podwozie, światła i hamulce. Dodatkowo kontroler musi mieć drążek przepustnicy i drążek VTOL/Trim. Taką właśnie „listę życzeń” przygotował na początku autor. Aby ją zrealizować, w pierwszej kolejności trzeba było skompletować wszystkie elementy mechatroniczne. Prawie wszystkie komponenty sterujące pochodzą z magazynów Alps Alphine. Są to elementy takie jak RS**1 SuperSlide, EVQ11k07k i SKHHLMA010 oraz joystick sterowany kciukiem RKJXV. Jeśli chodzi o kontroler, został wybrany sprawdzony mikrokontroler ATmega32U4 (znany między innymi z Arduino Micro).

REKLAMA

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

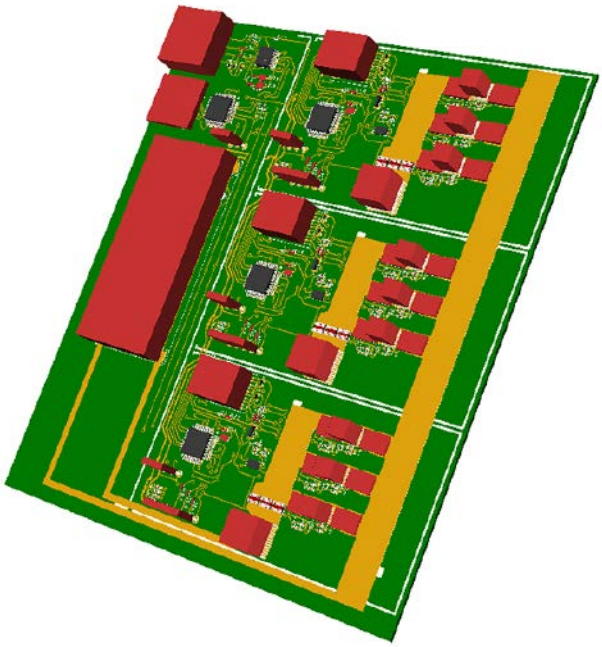
eprasa.pl 2897393b21



Płytka układu została zaprojektowana w KiCadzie. Autor zastosował duże pola wylewek miedzi, aby zminimalizować ilość wytrawianego laminatu. To upraszcza proces produkcji i jest bardziej przyjazne dla środowiska. Montaż układu był dosyć prosty, ponieważ komponenty mają w większości raster 0,1 cala (2,54 mm). Pozostałe elementy to głównie układy scalone w obudowach SOP oraz oporniki i kondensatory w obudowie SMD0603. Wszystko udało się autorowi zlutować dosyć bezproblemowo, poza tą ostatnią pozycją – elementami w obudowie SMD0603, które są bardzo małe.

Ostatnim elementem, jaki należało opracować, było oprogramowanie. Cały system używa prostego mikrokontrolera w module Arduino. Oprogramowanie zostało napisane w Arduino IDE. Skrypt jest do pobrania ze strony projektu.

https://bit.ly/3C8Sf2g



Wieloosiowy, modułowy kontroler silników BLDC

Pomysł na ten projekt zrodził się z chęci opracowania tańszego, wieloosiowego symulatora ruchu. Ostatecznie projekt ewoluował do wieloosiowego kontrolera silników BLDC. W ramach tego systemu autor próbuje zbudować płytkę sterownika ESC bazującą na mikrokontrolerze ATmega, która steruje wieloma bezszczotkowymi silnikami prądu stałego (BLDC). Moduły ESC będą kontrolowane przez moduł master również wyposażony w mikrokontroler ATmega, wymieniający dane przez interfejs I²C. Magistarla I²C będzie również zawierała złącze, umożliwiające podłączenie planowanych w przyszłości płytek wspierających.

Moduły ESC będą realizowały następujące funkcje:

- pomiar prądu,
- sterowanie wektorowe (FOC),
- zliczanie kroków za pomocą czujników wbudowanych w silnik.

Cechy ogólne projektowanego modułu:

- wsparcie dla USB,
- wbudowane gniazdo karty SD,
- możliwość ładowania ustawienia silnika do ESC z karty SD (poprzez I²C),
- ograniczenie mocy/prądu na ESC (poprzez I²C),
- wiele trybów pracy (prosta kontrola prędkości lub kontrola kroków + prędkości) (poprzez I²C).

Omawiana płytka jest przeznaczona do sterowania kilku (celem jest rozszerzenie płyty do ponad 6 ESC) silników BLDC do ogólnego użytku (pierwotnie miał to być wieloosiowy symulator ruchu). Obecnie moduł projektowany jest z myślą o następujących silnikach:

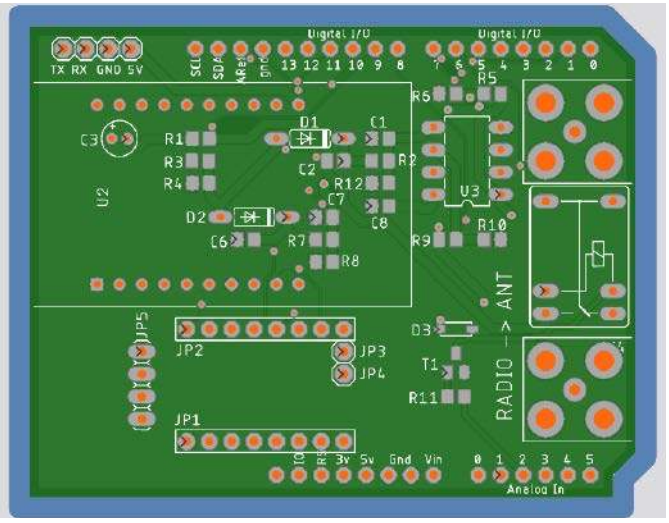
- N5065 bezczujnikowy silnik BLDC,
- 10 S,
- 270 KV,
- 1820 W, do 50 A.

Niektóre z elementów, które będą zastosowane do budowy modułów ESC w projektowanym systemie, to:

- SIR186LDP-T1-RE3 (tranzystory MOSFET, 6 szt. na moduł ESC),
- LF2388BTR (6-kanałowy sterownik tranzystorów MOSFET),
- ATmega168PA-AU (mikrokontroler),
- CRK0612-FZ-R001E (rezystor bocznikowy, 3 szt. na moduł ESC),
- OPA991IDCKR (wzmacniacz operacyjny).

Tranzystory MOSFET są prawdopodobnie przewymiarowane przy założonym ciągłym poborze prądu rzędu 80 A (powinny mieć docelowo około 50% wypełnienia cyklu pracy), ale jeszcze nie podjęto decyzji np. dotyczących chłodzenia. Jest to potencjalne miejsce na optymalizację, ale przy ich cenie – 1,05 dolara za sztukę nie jest to priorytetem. Ponieważ wybrane tranzystory mają dosyć duże wymagania, jeśli chodzi o sterowanie bramki, zastosowano specjalizowany sterownik bramki dla każdego układu. Rezystory bocznikowe służą do pomiaru prądu, przy czym wszystkie trzy równolegle generują około 0,67 W ciepła (oszacowane na maksymalnie do 1 W). Wzmacniacz operacyjny wzmacnia spadek napięcia na opornikach pomiarowych, w celu pomiaru prądu (obecnie napięcie to osiąga 5 V przy 77 A z otaczającymi komponentami).

https://bit.ly/3IxegKG



Autotuner do magnetycznych anten pętlowych

Anteny z pętlą magnetyczną są chętnie stosowane ze względu na niewielkie rozmiary, ale mają swoje ograniczenia, jeśli chodzi o parametry, np. szerokość pasma. Automatyczny tuner może rozwiązać ten problem, przestrajając antenę za każdym razem, gdy zmienia się częstotliwość w radiu. Układ MagLoop Tuner dokładnie tak działa, zawiera zestaw skalibrowanych wartości i oszacowuje położenie zmiennego kondensatora dla każdej zmiany częstotliwości. Układ

eprasa.pl 2897393b21

może być podłączony bezpośrednio do radia przez CAT lub sterowany przez komputer. Został zaprojektowany do zbudowania z gotowych komponentów i tylko odrobiny lutowania.

Konstrukcja składa się z Arduino Uno, płytki prototypowej, TMC2130 i silnika krokowego. Reszta to przewody, złącza i obudowa. Sterownik krokowy TMC2130 obsługuje wykrywanie zablokowania silnika, co pozwala określić skraj zakresu obrotów potencjometru. Alternatywnie mogą być zastosowane bardziej zaawansowane sterowniki silników krokowych, takie jak TMC2209 lub TMC2226. Arduino jest podłączone do radia przez CAT lub sterowane komputerowo (autor chciałby też wykonać urządzenie bazujące na ESP8261 do sterowania przez sieć). Oprogramowanie układowe Arduino stale sprawdza aktualną częstotliwość i jeśli się zmieni, szacuje pozycję silnika krokowego dla uzyskania najlepszego SWR. Żadne przekaźniki nie są zaangażowane, więc nie ma przerw w odbiorze lub transmisji.

Po pierwszym podłączeniu Arduino wydaje silnikowi krokowemu polecenie „powrotu do domu" – aby znaleźć pozycję zerową, obracając w lewo aż do wykrycia zatrzymania. Będzie to pozycja zerowa. Do kalibracji operator używa komputera (przynajmniej w pierwszych wersjach) do wprowadzenia pozycji i mierzy miernikiem SWR aż do znalezienia idealnej pozycji dla początku pasma, a następnie dla końca pasma. Te wartości zostaną zakodowane na sztywno w oprogramowaniu układowym. Po zakończeniu kalibracji zostanie zapisane inne oprogramowanie układowe z zakodowanymi pozycjami dla każdego pasma. Podczas pracy połączony z radiem system odczytuje aktualną częstotliwość, wyszuka ją w zapisanych wartościach, a następnie oszacuje wymaganą pozycję silnika krokowego za pomocą oszacowania liniowego.

https://bit.ly/3szWDEB

Wysokiej jakości mikrofon DIY

Jest to projekt mikrofonu zbudowanego niemal od podstaw. Schematy elektroniki zamieszczone są w Internecie, a dodatkowo proces produkcji udokumentowano filmem na YouTube. Mikrofon bazuje na wkładce JLI2555 – stosowanej w drogich, profesjonalnych mikrofonach (kosztujących ponad 500 dolarów), ale przy zakupie bezpośrednio samej wkładki u producenta zapłacimy za nią 12 dolarów. Następnie do wkładki dokładamy tranzystor, wzmacniający jej sygnał i pozostałe elementy.

Autor w filmie na YouTube pokazuje, w jaki sposób zmontować układ, aby zapewnić sobie optymalny sygnał wyjściowy, izolację od wibracji i ekranowanie. Dzięki temu można zbudować naprawdę wysokiej klasy mikrofon przy bardzo niskim nakładzie środków.

https://bit.ly/3vy17gP

REKLAMA

FAULHABER

"That's one small step for a man, one giant leap for mankind."

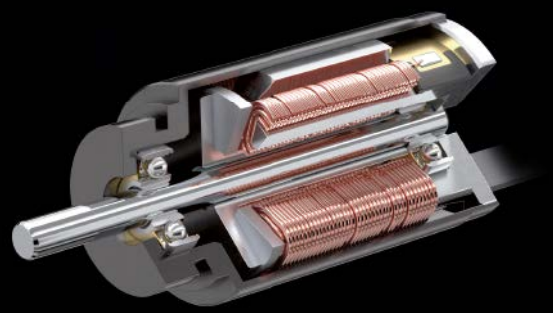
Neil Armstrong, 21th July 1969

Silniki krokowe FAULHABER

One Step ahead

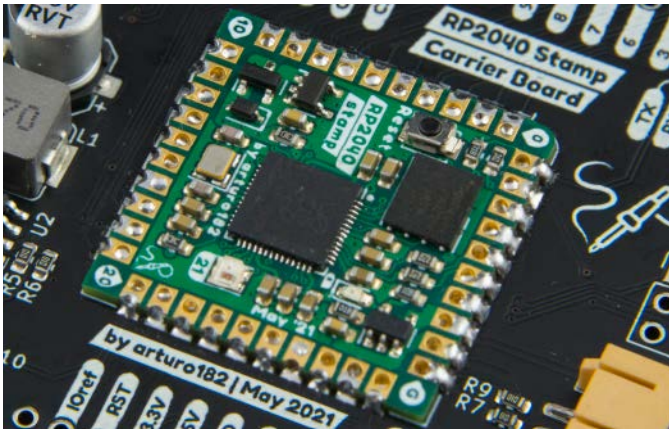
Gdy wymagana jest niezawodność i wytrzymałość, silniki krokowe FAULHABER przybliżą Ci osiągnięcie wyznaczonego celu.

www.faulhaber.com/am3248/en
FAULHABER Polska sp. z o.o.
info@faulhaber.pl



WE CREATE MOTION

eprasa.pl 2897



Moduł z RP2040 w formacie Stamp

Moduł RP2040 Stamp to ręcznie lutowany moduł SMD/THT, który integruje w sobie mikrokontroler Raspberry Pi RP2040 z 8 MB pamięci FLASH, LDO, zarządzanie ładowaniem ogniwa Li-Poly (w tym diodą ładowania), przyciskiem resetowania i wyświetlaczem LED-owym Neopixel. Wyprowadza na zewnątrz wszystkie piny GPIO, a także piny interfejsów USB, SWD, BOOTSEL, RST i napięcia zasilania. Przy wielkości zaledwie 1×1" (25×25 mm), Stamp zawiera w sobie wiele istotnych funkcji:

- 8 MB pamięci FLASH,
- stabilizator 3,3 V LDO o prądzie do 500 mA,
- wyprowadzenie wszystkich 30 linii GPIO mikrokontrolera,
- diodę Neopixel,
- układ zasilania z ogniwa litowo-polimerowego i ładowania tego ogniwa,
- linie portu USB,
- interfejs debuggera SWD,
- przycisk reset,
- oscylator kwarcowy o częstotliwości pracy 12 MHz.

https://bit.ly/3vy7LDU

Płytka deweloperska ATtiny candle

ATtiny Candle to mały zestaw rozwojowy bazujący na mikrokontrolerach ATtiny85 i ATtiny13. Inspiracją dla tego projektu były świece LED-owe z IKEA. Autor zastanawiał się, jak zrobić podobne urządzenie w domu i jak sprawić, aby było lepsze niż oryginalne, oczywiście poza tym, że jest DIY. Do ich wykonania postanowił zastosować układy ATtiny13, które miał u siebie i które wykonają zadanie sterowania adresowalnymi diodami LED. Oczywiście w układzie najlepiej mieć co najmniej kilka diod LED zamiast jednej.

Dodatkowo, jak zauważa autor konstrukcji, fajnie byłoby zasilać system z dowolnego power-banku, co jest praktyczne z kilku względów. Urządzenie wygląda trochę jak świeczka, jeśli zastosuje się cylindryczny power-bank z ogniwami 18650. Dodatkowo, dzięki temu w system nie trzeba wbudowywać ładowarki do akumulatora, gdyż znajduje się ona w power-banku.

Autor zaprojektował też podobną płytkę z mikrokontrolerem ATtiny85 i połączeniem USB, więc będzie ona działała z bootloaderem micronucleos i będzie można ją flashować bez użycia narzędzi (takich jak płyty Digispark). Płytki z ATtiny85 bazują na bootloaderze Micronucleos, który umożliwia komunikację poprzez USB zarówno w celu flashowania, jak i komunikacji z poziomu kodu użytkownika. Jest w pełni kompatybilny z płytą Digispark Digistump i bezproblemowo współpracuje z Digistump Arduino i Digistump Example.

Płyta ATtiny13 wymaga z kolei pisania kodu bare-chip i zewnętrznego programatora. Generalnie pisanie oprogramowania na ten układ jest znacznie bardziej wymagające, ponieważ ma on ułamek zasobów ATtiny85.

https://bit.ly/3HCEuKm

Pπ – otwarty projekt projektora DIY z komputerem Raspberry Pi

Jedną z najgorszych konsekwencji pandemii covid-19 było zamykanie szkół. Indie to jeden z nielicznych krajów, w których szkoły są zamknięte nieprzerwanie od ponad 2 lat. Jakkolwiek uczniowie mają możliwość uczestniczenia w zajęciach online, to dostępność do odpowiedniej technologii wynosi tylko 8...10%. Według szacunków z różnych źródeł około 80...90% uczniów w Indiach nie uczęszczało do żadnej szkoły ani na zajęcia w ciągu ostatnich 2 lat. Czasami prowadzona jest zdalna edukacja za pomocą smartfona pożyczanego od osoby dorosłej i udostępnianego dla 5...6 uczniów, ale taka strategia poważnie wpływa na jakość edukacji.

Potrzebny jest komputer klasy podstawowej, który może być oglądany przez taką samą liczbę uczniów, jaka jest zazwyczaj w zwykłej fizycznej, konwencjonalnej klasie. Nawet jeśli szkoły zostaną ponownie otwarte, to przekształcenie stylu edukacji z książek na niesamowite treści cyfrowe, które wymaga dużego systemu komputerowego, pozwoli na zwiększenie efektywności nauki i jej atrakcyjności.

Pomysłem autora tej konstrukcji było opracowanie najprostszego komputera tej klasy, jaki można sobie wyobrazić. Wyzwanie

eprasa.pl 2897393b21

polega na zaprojektowaniu podstawowego cyfrowego narzędzia edukacyjnego dla klas w środowiskach o niskich zasobach. Niski koszt łatwo uzasadnić, ponieważ urządzenie jest przeznaczone dla ubogich szkół itp. System musi być wytrzymały i przenośny, aby wytrzymać transport i przenoszenie – ten wymóg pojawia się, ponieważ wiele razy nauczyciele muszą również zostać opiekunami sprzętu, nosić go ze sobą do różnych klas i prawdopodobnie transportować do różnych odległych szkół. Jeśli sprzęt jest oddany na odpowiedzialność nauczyciela, w porównaniu z salą komputerową w instytucji, jest on bardziej ostrożny i żaden uczeń nie uszkodzi komponentów komputera. Autor konstrukcji przewozi je na motocyklu pomiędzy szkołami.

Urządzenie, aby zagwarantować dostęp do komputera wielu osobom w tym samym czasie, ma wbudowany projektor. Oprócz tego w środku znajduje się pełnoprawny komputer – smartfon lub podobne urządzenie nie może się równać z pełnoprawnym komputerem pod względem możliwych do uruchamiania programów, realizowania prac plastycznych, programowania itp. Potencjał jest ogromny, gdy komputer jest dostępny w klasie. Do realizacji tego projektu zastosowano komputer jednopłytkowy Raspberry Pi 4 B. System, w obecnej formie, kosztuje około 250 dolarów. Wyprodukowano 3 jednostki, które obecnie przechodzą próby terenowe w lokalnej szkole (The Door Step School w Pune w Indiach), gdzie uczą się dzieci robotników tymczasowych, którzy pracują tutaj w okresie zbiorów trzciny cukrowej.

W kolejnych wersjach konieczne przeróbki obejmują lepsze ułożenie kabli wewnątrz obudowy, gdyż interferencje np. z nieekranowanych kabli HDMI utrudniają pracę Wi-Fi czy myszki bezprzewodowej.

https://bit.ly/3Mckmm9

Panele kokpitu do symulatora do gry Mechwarrior 4

Zainspirowany symulatorem kokpitu dla samolotu A-10 autorstwa Warthog Project autor opracował mały, ale wszechstronny panel kokpitu dla gry Mechwarrior 4. Autor zastosował laserowo wycinany panel przedni z mnóstwem elementów interfejsu zintegrowanych ze starym monitorem komputerowym LCD. Interfejs użytkownika ekranu jest stworzony za pomocą OpenFrameworks i pobiera niezbędne dane z gry poprzez odczytywanie pamięci.

Projekt nie bazuje na niczym konkretnym z uniwersum Battletecha czy gier z serii Mechwarrior. Po prostu podoba się autorowi. Pierwszym krokiem było zaprojektowanie makiety w Photoshopie, jak z grubsza będzie wyglądać kokpit. Autor nie znalazł łatwego sposobu na wydobycie z gry danych potrzebnych do interfejsu. Nie istnieje żaden interfejs oprogramowania, jaki mają niektóre symulatory lotnicze, który pozwala na komunikację z zewnętrznym kokpitem. Dodatkowo Mechwarrior 4 to „koszmar dla modów". Jedynym wyjściem było zastosowanie Cheatengine, aby znaleźć adresy w pamięci, w których przechowywane są zmienne gry. Zajęło to długie tygodnie. Parametry takie jak prędkość czy przegrzanie silnika były stosunkowo łatwe do znalezienia, ale inne rzeczy były koszmarem. Nie wszystkie udało się wydobyć z systemu, a niektórych wciąż brakuje.

Mając wszystkie dostępne adresy pamięci, możliwe było utworzenie szkicu OpenFrameworks, który ma do nich dostęp i wyświetla ich zawartość na niestandardowym interfejsie graficznym. Warto obserwować postępy autora w implementacji tego kokpitu.

https://bit.ly/3C6Wmfj

Przenośny datalogger z Arduino do systemów zasilania

Ten przenośny system został skonstruowany do wyjaśnienia pewnego problemu z reflektorami w samochodzie autora. Rejestrator miał mierzyć napięcie oraz prąd i zapisywać je na karcie SD. Cały układ zamknięty jest w obudowie wykonanej w technologii druku 3D. Do pomiaru prądu i napięcia używany jest układ INA219 podłączony do Arduino Nano, które jest sercem tego systemu. Układ ma trzy złącza, jedno do masy, jedno do źródła (zasilania) i jedno podłączane do obciążenia.

Układ pozwala na pomiar napięcia w zakresie do 30 V oraz prądu do 2 A (płynący maksymalnie przez minutę). System może wykonywać pomiary co 5 ms lub więcej i zasilany jest przez port mini USB. Jeden przełącznik służy do uruchamiania/zatrzymywania rejestracji. Pliki zapisywane są w formacie .csv.

https://bit.ly/3vyIido

REKLAMA

eprasa.pl 2897393b21

Podstawowe parametry:

- mierzy temperaturę, wilgotność względną powietrza oraz ciśnienie atmosferyczne,
- sensorem parametrów środowiskowych jest popularny czujnik BME280,
- pomiary prezentowane są na kolorowym wyświetlaczu o przekątnej 3,2 cala,
- stację należy zasilać wyłącznie z zewnętrznego zasilacza stabilizowanego 18 V.

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

AVT5861	Multisensor THPI – czujnik parametrów otoczenia z interfejsem I²C (EP 5/2021)
AVT5722	microStation – mała stacja pogodowa (EP 10/2019)
AVT5668	Moduł czujnika temperatury, wilgotności, ciśnienia z interfejsem I²C (EP 3/2019)
AVT5654	Amatorska stacja pogodowa (EP 12/2018)
AVT5639	Bezprzewodowy czujnik warunków atmosferycznych (EP 10/2018)
AVT5605	wiStation – domowa stacja pogodowa z prognozą pogody (EP 9/2017)
AVT5566	THPStation – rozbudowany termometr z Wi-Fi (EP 1/2017)
AVT5489	8-kanałowy termometr z alarmem i wyświetlaczem LCD (EP 11/2013)
AVT5328	Miernik wybranych parametrów środowiskowych (EP 2/2012)
AVT961	Domowa stacja pogodowa (EP 12/2006)

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

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

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

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

Stacja pogodowa WS-01

Pomysł na projekt został zainicjowany wtedy, gdy zepsuła się stacja pogodowa, z której dotąd korzystałem. Ponieważ wcześniej już wykonywałem projekt miernika temperatury, ciśnienia oraz wilgotności, postanowiłem zmodyfikować tę konstrukcję, dodając do niej kolorowy wyświetlacz. Ponadto poprzedni projekt był wyposażony w przetwornicę zasilającą, zbudowaną z elementów dyskretnych, co dawało bardzo szeroki zakres napięć zasilających, ale też przekładało się na niski koszt elementów. Postanowiłem zaimplementować to ciekawe rozwiązanie także w nowym projekcie.

Sensorem parametrów środowiskowych jest popularny czujnik BME280 komunikujący się z mikrokontrolerem za pomocą interfejsu I²C. Jest on łatwo dostępny w postaci gotowej płytki PCB z wyprowadzeniami typu goldpin, którą można łatwo zastosować w różnych aplikacjach.

Stacja może być zasilania napięciem z bardzo szerokiego przedziału: 24...230 V AC/DC. Jednak zastosowana przetwornica zasilania nie zapewnia separacji galwanicznej od sieci zasilającej, dlatego ze względów bezpieczeństwa zalecane jest zasilanie urządzenia napięciem o wartości 18 V DC z zewnętrznego zasilacza. W takich warunkach tranzystory kluczujące przetwornicy po prostu pozostają otwarte. Jednak rozwiązanie układowe jest bardzo interesujące i dla jego lepszego zrozumienia opiszę cały układ tak, jakby miał pracować z napięciem 230 V AC. Pozwoli to lepiej zrozumieć działanie układu przetwornicy.

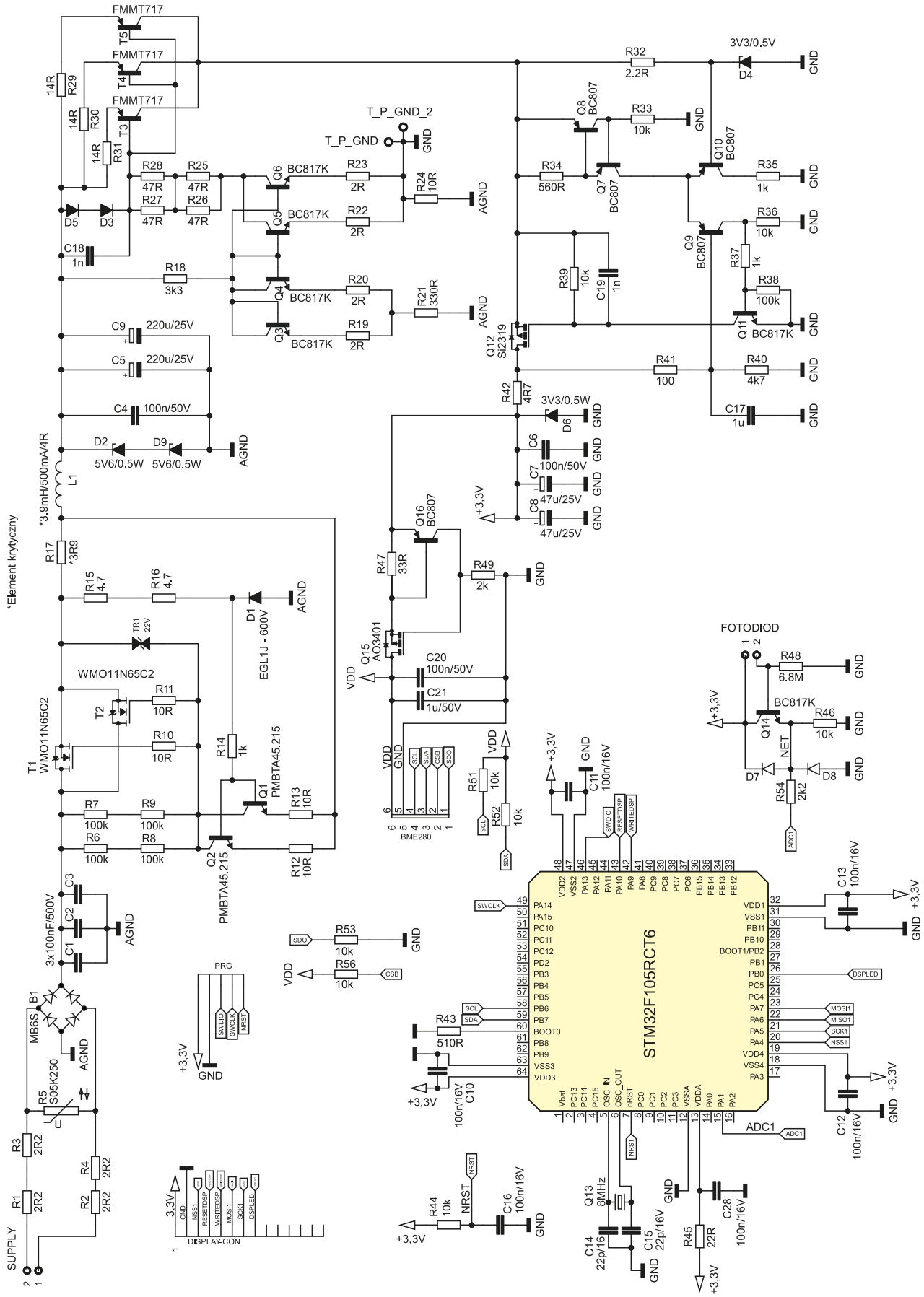
Budowa i działanie

Schemat ideowy stacji pogodowej został pokazany na **rysunku 1**. Zasilanie doprowadzane jest do złącza SUPPLY. Rezystory wejściowe R1, R2, R3, R4 tworzą wraz z kondensatorami C1, C2, C3 filtr wejściowy oraz zabezpieczają stację w przypadku zwarcia któregoś elementu. Za rezystorami został umieszczony warystor R5 zabezpieczający układ przed przepięciami. Mostek MB6S prostuje napięcia zasilające, które trafia do przetwornicy.

W pierwszej chwili tranzystory T1, T2 pozostają otwarte. Prąd płynący do odbiornika po krótkim czasie, zależnym od stałej czasowej t=L/R, osiąga określoną wartość, a wtedy spadek napięcia na rezystorze R17 powoduje wysterowanie tranzystorów Q1 oraz Q2. W tym momencie tranzystory kluczujące T1 i T2 zostaną zatkane. Rezystory R12 i R13 dodatkowo wyrównują prądy płynące przez tranzystory Q1 i Q2. W chwili gwałtownego zatkania

eprasa.pl 2897393b21

tranzystorów T1 i T2 dławik indukuje napięcie o przeciwnej biegunowości, utrzymujące przepływ prądu przez odbiornik oraz obwód złożony z diody D1 i rezystorów R15, R16, R17. Gdy przez wspomniane rezystory przepływa prąd, powoduje powstanie na nich spadku napięcia, który podtrzymuje wysterowanie tranzystorów Q1 oraz Q2. Prąd we wspomnianym obwodzie zmniejsza swoją wartość wykładniczo ze stałą czasową t (stany nieustalone w obwodach elektrycznych). W momencie zmniejszenia tej wartości poniżej progu,



Rysunek 1. Schemat elektroniczny stacji pogodowej

eprasa.pl 2897393b21

który powoduje wysterowanie tranzystorów Q1, Q2, następuje ponowne otwarcie tranzystorów T1, T2.

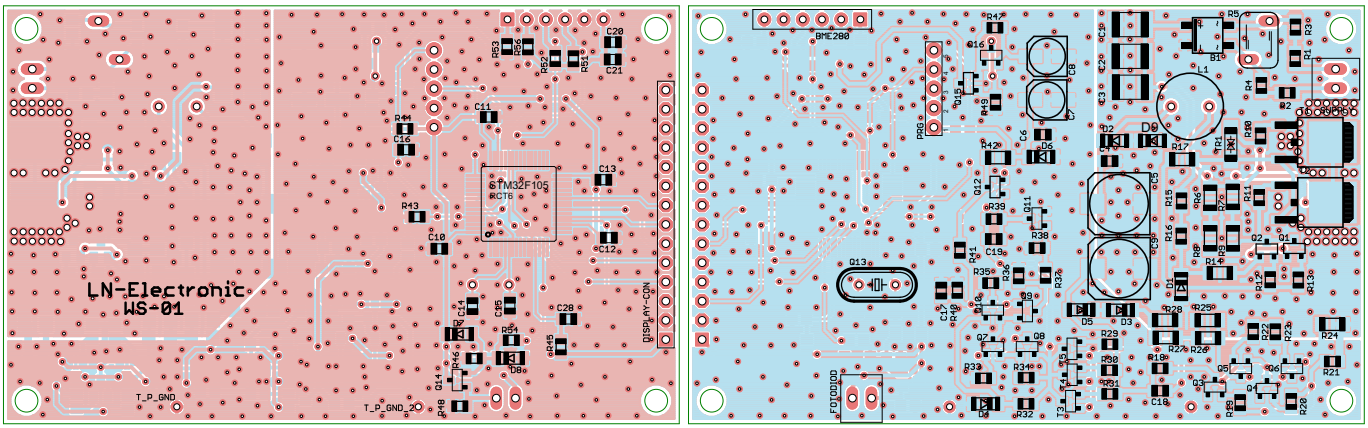
Przetwornica stabilizuje prąd wyjściowy, którego wartość obliczono na około 120 mA. Diody Zenera D2, D9 mają za zadanie stabilizowanie napięcia. Dalsza część układu stanowi zabezpieczenie przed zwarciem oraz przeciążeniem za pomocą źródła prądowego, które tworzą tranzystory T3, T4 i T5. Za pomocą rezystorów R29, R30 i R31 jest ustalany prąd płynący przez tranzystory, który zależy także od spadku napięcia na diodach D3 i D5. Kondensatory C5, C9 filtrują napięcie stabilizowane za pomocą diod Zenera D2, D9. W przypadku braku obciążenia, np. na skutek odłączenia wyświetlacza, przetwornica spowodowałaby przepływ całego prądu przez diody Zenera, co doprowadziłoby do ich uszkodzenia na skutek przegrzania. Dlatego do układu zostało dodane lustro prądowe z tranzystorami NPN, które ma za zadanie dodatkowo obciążyć przetwornicę w przypadku przerwy w obwodzie lub znacznego zmniejszenia obciążenia (taka sytuacja może wystąpić w trakcie normalnej pracy urządzenia). Lustro prądowe zostało tak obliczone, aby w razie konieczności obciążyło przetwornicę prądem około 100 mA.

Lustro prądowe jest tworzone przez tranzystory Q3, Q4, Q5 i Q6 wraz z rezystorami R18...R28. Co prawda w takiej konfiguracji powinno się zastosować tranzystory w układzie monolitycznym, ale ze względu na to, że nie jest wymagana duża dokładność tego obwodu oraz tranzystory muszą zapewniać rozpraszanie odpowiedniej mocy, zastosowano cztery klasyczne tranzystory NPN. Tranzystor Q3 jest połączony równolegle z tranzystorem Q4, natomiast tranzystor Q5 jest połączony równolegle z tranzystorem Q6. Rezystory R19, R20, R22 i R23 mają za zadanie wyrównanie prądów płynących przez tranzystory. Przez gałąź lustra z tranzystorami Q5, Q6 zaczyna płynąć prąd obciążający o wartości powodującej taki spadek napięcia na rezystorze R24, aby zgadzało się drugie prawo Kirchhoffa w obwodzie R21, R20, VBEQ3, VBEQ4, R22, R24. Wartość potrzebnego spadku napięcia na rezystorze R24 jest ustalana za pomocą rezystorów R18, R19, R20, R21. Zmieniając wartość rezystora R21, można zmieniać wartość prądu obciążającego.

Napięcie z zabezpieczającego źródła prądowego jest podawane na dyskretny regulator LDO zbudowany z tranzystorów Q7...Q11, rezystorów R32...R41 oraz diody Zenera D4. Dioda Zenera D4 dostarcza napięcie odniesienia dla stabilizatora LDO. Głównym układem sterującym tranzystorem MOSFET z kanałem P – Q12 jest wzmacniacz różnicowy zbudowany z tranzystorów Q9 i Q10, rezystorów R35 i R36 oraz źródła prądowego z tranzystorami Q7 i Q8. Parametry źródła prądowego są ustalane za pomocą rezystora R34. Za pomocą dzielnika z elementów R40 i R41 jest ustalana wartość napięcia wyjściowego za regulatorem LDO. Kondensatory C6, C7, C8 wraz z rezystorem R42 tworzą filtr dolnoprzepustowy dla napięcia zasilającego mikrokontroler, sensor oraz wyświetlacz.

Czujnik BME280 jest połączony przewodem ze stacją pogodową, dlatego linia zasilająca dla tego czujnika została zabezpieczona przed zwarciem. Układ zabezpieczający tworzą tranzystory Q15 i Q16 oraz rezystory R47, R49. Za pomocą rezystora R47 jest ustalana wartość prądu, przy którym zadziałają zabezpieczenia. Kondensatory C20 i C21 filtrują zasilanie do czujnika.

Mikrokontroler sterujący pracą wyświetlacza oraz komunikujący się z czujnikiem to STM32F105RCT6, taktowany rezonatorem zewnętrznym 8 MHz. Kondensatory C10...C13 filtrują zasilanie procesora. Układ RC zbudowany z rezystora R44 oraz kondensatora C16 zapewnia prawidłowy reset procesora po włączeniu zasilania. Z kolei rezystor R43 zapewnia prawidłowe bootowanie mikrokontrolera po włączeniu zasilania. Złącze PRG służy do zaprogramowania oraz debugowania mikrokontrolera za pomocą interfejsu SWD. Złącze DISPLAY-CON służy do podłączenia wyświetlacza TFT 3,2" z kontrolerem ILI9341. Mikrokontroler komunikuje się z wyświetlaczem za pomocą interfejsu SPI. Rezystory R51 oraz R52 mają za zadanie podciągać linie SDA, SCL interfejsu I²C. Do zacisku FOTO należy podłączyć fotodiodę. Napięcie z anody fotodiody poprzez wtórnik emiterowy Q14 współpracujący z rezystorem R46 jest podawane



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

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

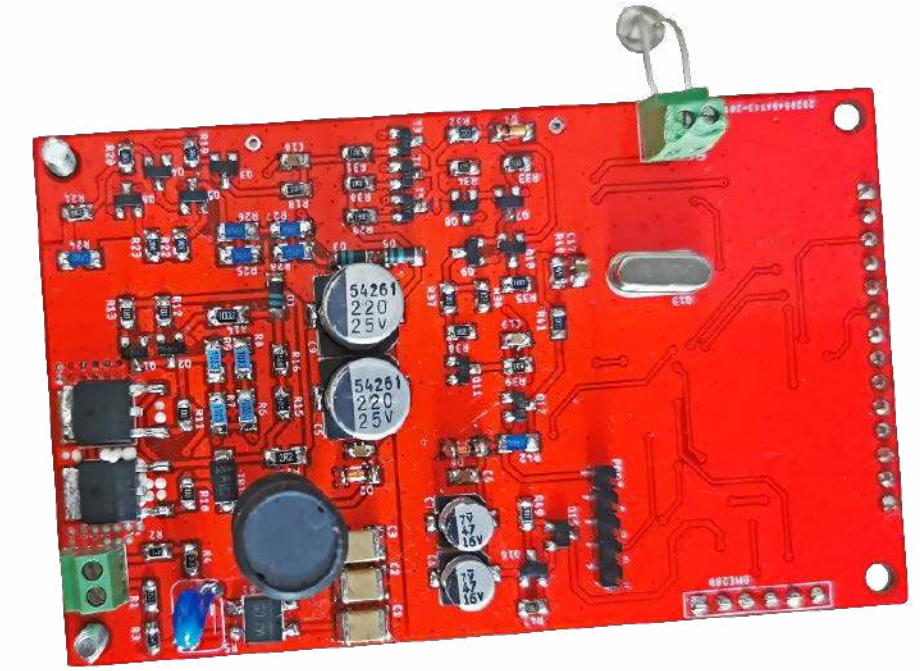
Rezystory:
R1, R2, R3, R4: 2,2 Ω (SMD0805)
R5: S05 kΩ250 kΩ (THT)
R6, R7, R8, R9: 100 kΩ (SMD1206)
R10, R11, R12, R13: 10 Ω (SMD0805)
R14: 1 kΩ (SMD1206)
R15: 4,7 Ω (SMD0805)
R16: 4,7 Ω (SMD0805)
R17: 3,9 Ω (SMD1206)
R18: 3,3 kΩ (SMD0805)
R19, R20, R22, R23: 2 Ω (SMD0805)
R21: 330 Ω (SMD0805)
R24: 10 Ω (SMD1206)
R25, R26, R27, R28, R42: 47 Ω (SMD1206)
R29, R30, R31: 14 Ω (SMD0805)
R32: 2,2 Ω (SMD0805)
R33, R36, R39, R44, R46, R51, R52, R53, R56: 10 kΩ (SMD0805)
R34: 560 Ω (SMD0805)
R35, R37: 1 kΩ (SMD0805)
R38: 100 kΩ (SMD0805)
R40: 4,7 kΩ (SMD0805)
R41: 100 Ω (SMD0805)
R43: 510 Ω (SMD0805)
R45: 22 Ω (SMD0805)
R47: 33 Ω (SMD0805)
R48: 6,8M Ω (SMD0805)
R49: 2 kΩ (SMD0805)
R54: 2,2 kΩ (SMD0805)

Kondensatory:
C1, C2, C3: 100 nF/500 V (SMD1812)
C4, C6, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C28: 100 nF/50 V (SMD0805)
C5, C9: 220 µF/25 V elektrolityczny
C7, C8: 47 µF/25 V elektrolityczny

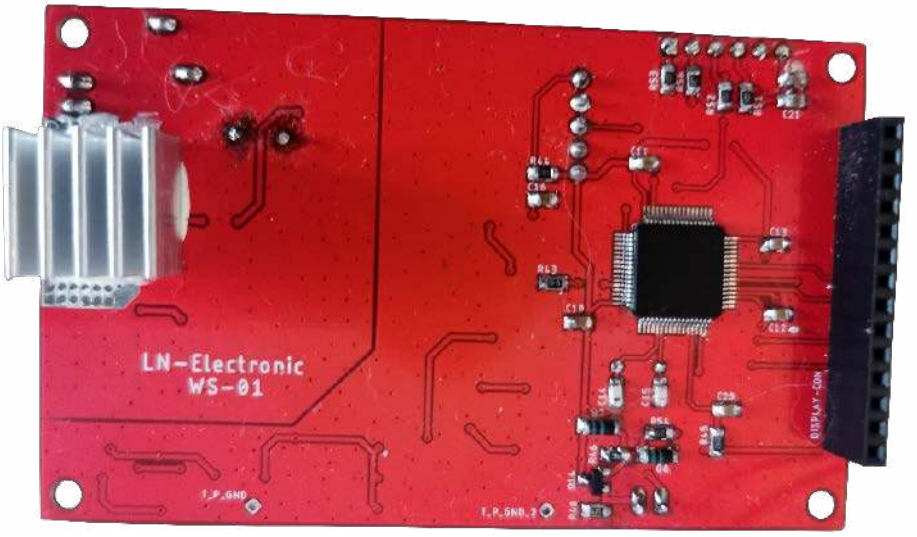
Półprzewodniki:
B1: MB6S (SOIC-4)
TR1: 22 V (DO214AC)
D1: EGL1J-600V (MINIMELF)
D2, D9: 5,6 V/0,5 W (SOD80C)
D3, D5, D7, D8: (MINIMELF)
D4, D6: 3,3 V/0,5 W (SOD80C)
Q1, Q2: PMBTA45,215 (SOT23)
Q12: Si2319 (SOT23)
Q13: 8 MHz (HC49/S)
Q15: AO3401 (SOT23)
Q3, Q4, Q5, Q6, Q11, Q14: BC817K (SOT23)
Q7, Q8, Q9, Q10, Q16: BC807 (SOT23)
T1, T2: WMO11N65C2 (TO252)
T3, T4, T5: FMMT717 (SOT23)
U2: STM32F105RCT6 (LQFP64)

Pozostałe:
BME280: goldpin 6×2,54
DISPLAY-CON: goldpin 14×2,54
FOTODIODA, SUPPLY: ARK254-2
L1: 3,9 mH/500 mA/4 Ω (THT)
PRG: goldpin 5×2,54

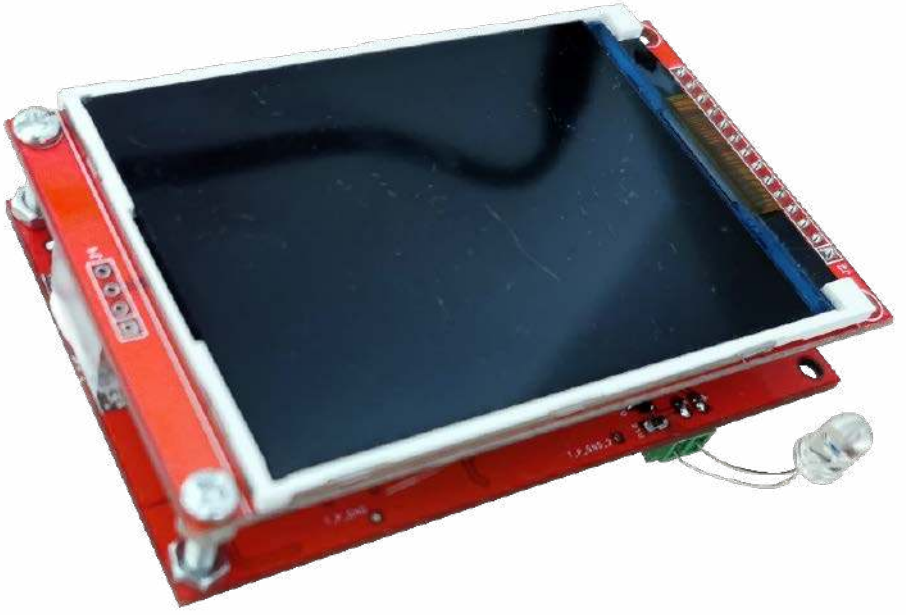
eprasa.pl 2897393b21



Fotografia 1. Wygląd zmontowanej płytki – strona BOTTOM



Fotografia 2. Wygląd zmontowanej płytki – strona TOP



Fotografia 3. Wygląd zmontowanej płytki z wyświetlaczem

na przetwornik ADC mikrokontrolera. Wejście przetwornika mikrokontrolera jest dodatkowo zabezpieczone poprzez diody D7, D8 oraz rezystor R54.

Montaż i uruchomienie

Płytka PCB została zaprojektowana w taki sposób, aby jej wymiar był zgodny z wymiarem płytki wyświetlacza, natomiast otwory montażowe pokrywały się z otworami montażowymi wyświetlacza. Elementy zostały rozmieszczone na obu warstwach płytki. W pobliżu elementów, na których może wydzielać się dużo ciepła, umieszczono dużo przelotek, aby poprawić odprowadzanie ciepła do otoczenia. Na stronie TOP oraz BOTTOM została wylana masa, przy czym masy wyświetlacza, mikrokontrolera, sensora oraz regulatora LDO zostały rozdzielone od masy przetwornicy. Na całej płytce rozmieszczono przelotki, aby wyrównać potencjał pomiędzy masami oraz zapewnić jak najlepsze trasy dla prądów powrotnych. Schemat płytki PCB został pokazany na **rysunku 2**. Wszystkie elementy odpowiedzialne za zasilanie mikrokontrolera, sensora, wyświetlacza zostały umieszczone na stronie TOP, natomiast pozostałe elementy umieszczono na stronie BOTTOM. Dodatkowo na stronie TOP znajduje się obszar niepokryty soldermaską. Do tego obszaru można przykleić niewielki aluminiowy radiator za pomocą kleju termoprzewodzącego.

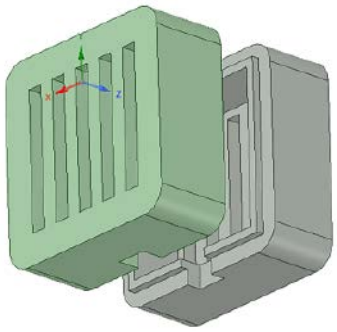
Montaż należy rozpocząć od przylutowania wszystkich elementów SMD oprócz mikrokontrolera. Po tej czynności można przylutować elementy przewlekane. Następnie należy podłączyć napięcie zasilania 18 V do układu i sprawdzić, czy zasilanie sensora, mikrokontrolera oraz wyświetlacza to 3,3 V. Jeżeli wartość napięcia się zgadza, to można przystąpić do wlutowania mikrokontrolera. Po wlutowaniu mikrokontrolera można podłączyć fotodiodę do złącza oraz podłączyć sensor do płytki.

W kolejnym kroku należy podłączyć programator do złącza PRG oraz zaprogramować pamięć FLASH mikrokontrolera. Do tego celu można użyć programatora ST-LINK V2 oraz programu STM32 ST-LINK Utility. Po wgraniu programu należy podłączyć wyświetlacz oraz załączyć zasilanie. Po załączeniu zasilania stacja powinna się uruchomić po czasie około 20 s (tyle trwa cały proces inicjalizacji wraz z czasem potrzebnym na załadowanie grafik na wyświetlacz). Zmontowaną płytkę PCB pokazują **fotografie 1**, **2** i **3**.

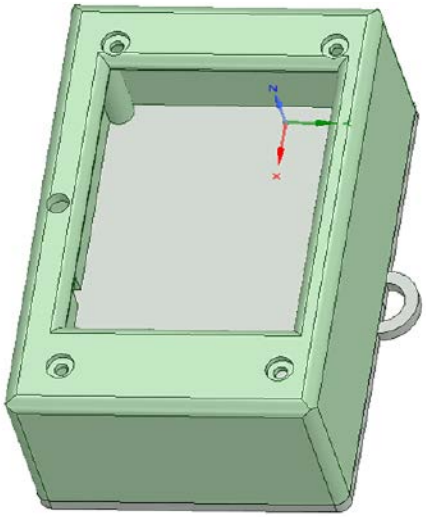
Obudowa

Po zmontowaniu całego układu można przystąpić do umieszczenia go w obudowie. Układ zamontowany w obudowie został pokazany na **fotografiach 4 i 5**. Obudowa do stacji pogodowej została wykonana w technice druku 3D. Poza obudową dla płytki zawierającej mikrokontroler została zaprojektowana dodatkowa obudowa dla czujnika BME280,

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 3. Projekt obudowy czujnika

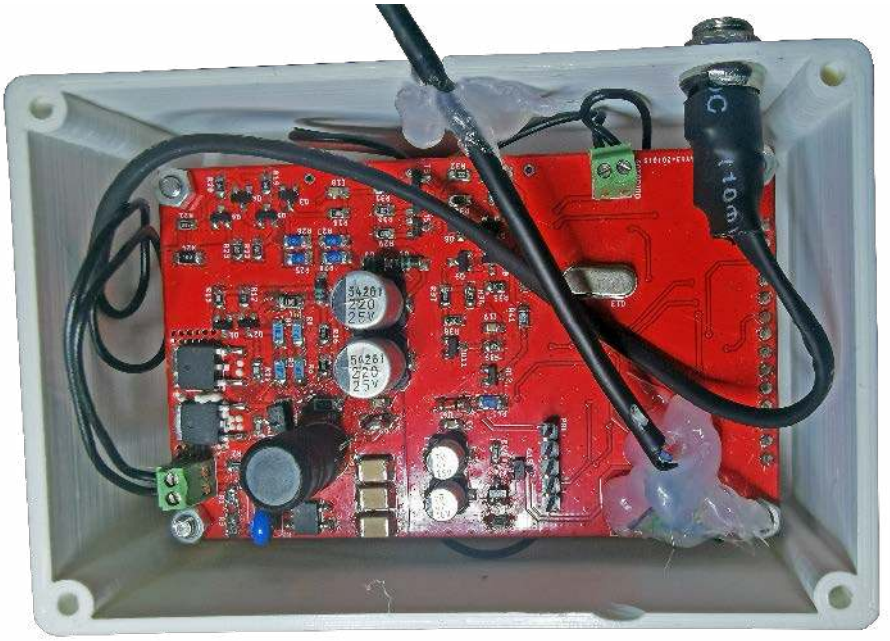


Rysunek 4. Projekt obudowy dla stacji pogodowej WS-01

widoczna na fotografii tytułowej. Składa się ona z dwóch części, w których należy umieścić czujnik, a następnie skleić je ze sobą – **rysunek 3**.

Główna obudowa, która składa się z części frontowej oraz tylnej klapki, została pokazana na **rysunku 4**. Płytki PCB należy przymocować do obudowy za pomocą śrubek oraz nakrętek 3 mm. Część tylną oraz przednią obudowy głównej należy połączyć ze sobą również śrubkami 3 mm.

Krzysztof Miękus
lordwest1989@tlen.pl



Fotografia 4. Wygląd zmontowanej płytki umieszczonej w obudowie

Filmu prezentujący działającą stację: https://bit.ly/3oI5Vfs

Fotografia 5. Wygląd urządzenia oraz czujnika zamkniętych w zaprojektowanych obudowach

REKLAMA

Kursy w Ulubionym Kiosku

IT i Hi-tech • Muzyka i Dźwięk

Pełna oferta na stronie www.ulubionykiosk.pl

eprasa.pl 2897393b21

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT5922

Podstawowe parametry:

- maksymalna moc wyjściowa: około 15 W,
- znamionowa impedancja obciążenia: 8 Ω,
- jeden kanał (monoblok),
- wejście sygnału: asymetryczne,
- wykonany w całości na elementach dyskretnych, bez układów scalonych,
- stopień końcowy pracujący w klasie AB z wysokim prądem spoczynkowym (przeważa praca w klasie A),
- zasilacz transformatorowy ze stabilizacją napięcia,
- chłodzenie wyłącznie pasywne, za pomocą masywnych radiatorów.

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

AVT5836	Cyfrowy wzmacniacz mocy stereo z interfejsem I²S (EP 1/2021)
AVT5756	Cyfrowy wzmacniacz mocy z interfejsem Bluetooth (EP 4/2020)
AVT5717	Opóźniacz dołączenia głośników zasilany 230 V (EP 9/2019)
AVT5669	Wzmacniacz mocy audio 4×48 W/4 Ω (EP 4/2019)
–––	Wzmacniacz z kanałem basowym 2.1 (EP 1/2019)
AVT1982	Uniwersalny, stereofoniczny wzmacniacz mocy 2×10 W/8 V z regulacją barwy dźwięku (EP 2/2018)
AVT1973	Miniaturowy, stereofoniczny wzmacniacz mocy (EP 10/2017)
AVT5602	Stereofoniczny wzmacniacz klasy D o mocy 2×50 W (EP 8/2017)
AVT5547	4-kanałowy wzmacniacz mocy audio (EP 10/2016)
AVT1934	Miniaturowy wzmacniacz mocy 2×1 W/8 Ω (EP 9/2016)
AVT1923	Końcówka o mocy 2×60...100 W (EP 8/2016)
AVT5528	Wzmacniacz audio klasy D o mocy do 2×50 W (EP 2/2016)
AVT5499	Zabezpieczenie głośników i słuchawek do urządzeń audio (EP 4/2015)
AVT1843	PAmp_TDA7388 Wzmacniacz mocy audio 4×20 W/4 Ω (EP 2/2015)
AVT1833	Pamp_LM4766 – wzmacniacz mocy audio 2×20 W/8 Ω (EP 12/2014)
AVT1758	Wzmacniacz z układem TPA3110 (EP 8/2013)
AVT1746	Wzmacniacz o mocy 20 W z układem LM1875 (EP 7/2013)
AVT5345	Wzmacniacz audio o mocy 2×300 W (EP 5/2012)

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

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

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

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

Wzmacniacz audio dla wymagających (1)

W dzisiejszych czasach prym w technice audio wiodą wzmacniacze „cyfrowe", które mogą pochwalić się naprawdę imponującymi parametrami. Pomimo to, duża grupa fanów dobrego brzmienia zdecydowanie wybiera rozwiązania czysto analogowe, zaprojektowane i wykonane w taki sposób, jak odbywało się od kilkudziesięciu lat. Właśnie dla takich osób powstał opisany tu wzmacniacz.

Sprzęt audio wysokiej jakości jest bardzo kosztowny – ceny takich urządzeń zaczynają się od kilkunastu...kilkudziesięciu tysięcy złotych. Zbudowane są z doskonałej jakości elementów osadzonych w prawidłowo zaprojektowanym obwodzie i zamkniętych w solidnej, ułatwiającej eksploatację i cieszącej oko obudowie. Mówiąc krótko – wykonanie bezkompromisowe. Na specjalne życzenie klienta mogą być dodane specjalne detale np. pozłacane gniazda lub elementy obudowy wykonane z drewna egzotycznego.

Zaprezentowany układ ma w sobie coś z takich konstrukcji: został zaprojektowany na bazie sprawdzonych, klasycznych rozwiązań wyłącznie z zastosowaniem elementów dyskretnych. Cechuje się prostotą działania i szerokimi możliwościami modyfikacji. Nie zawiera elementów uważanych za audiofilskie, lecz każdy może we własnym zakresie

eprasa.pl 2897393b21

odpowiednio podrasować tę konstrukcję. Co istotne, dwa moduły na płytach drukowanych – zasilacz i wzmacniacz mocy, zostały osadzone w obudowie, której wykonanie można zlecić. W artykule znajduje się jej szczegółowy projekt. W ten sposób możemy stać się posiadaczami sprzętu audio o wystarczającej, jak na domowe warunki, mocy wyjściowej, którego wygląd na pewno wzbogaci wystrój niejednego salonu albo pokoju odsłuchowego. Brak szumiących wentylatorów i solidna, metalowa obudowa mogą przywodzić na myśl sprzęt produkowany kilka dekad temu.

Tytułowy wzmacniacz jest monoblokiem, czyli ma wejście monofoniczne oraz wyjście w postaci jednej pary zacisków głośnikowych. Chcąc wysterować dwie kolumny w układzie stereofonicznym, potrzebne będą dwa takie. Można też samodzielnie przeprojektować obudowę (użyć większej), aby zmieściły się w niej dwa komplety płytek drukowanych z transformatorami sieciowymi. Możliwości jest naprawdę wiele!

Budowa i działanie

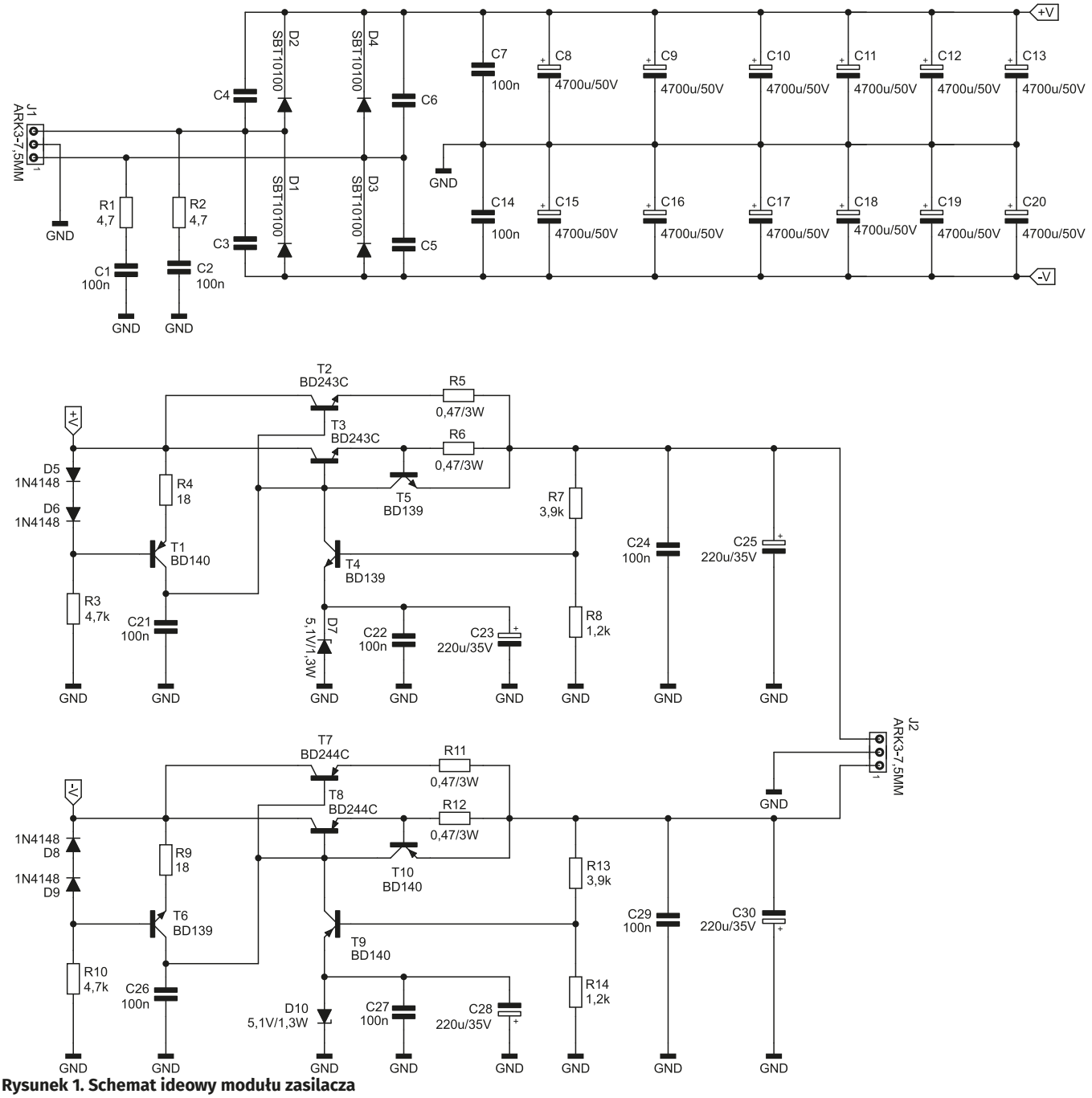
Z uwagi na dużą złożoność projektu omówienie układu zostanie podzielone na trzy bloki:

- zasilacz,
- wzmacniacz,
- konstrukcja łącząca wszystkie komponenty urządzenia, włączając w to elementy związane z obudową.

Zasilacz

Schemat stabilizowanego zasilacza został pokazany na **rysunku 1**. Do zacisków złącza J1 jest podłączone dzielone uzwojenie wtórne transformatora sieciowego o napięciach znamionowych 2×21 V AC. Dodatkowe obwody RC: R1+C1 i R2+C2 – tłumią zakłócenia o wysokiej częstotliwości, które mogłyby się przedostać z sieci przez transformator. Ich wpływ może być słyszalny w postaci cichego syczenia w głośniku o poziomie niezależnym od wysterowania.

Cztery diody prostownicze D1…D4 tworzą mostek Graetza. Wybrano diody Schottky'ego ze względu na niski spadek napięcia w kierunku przewodzenia. Istnieje opinia, że diody Schottky'ego wprowadzają zakłócenia wywołane szybkim przełączaniem. Aby ten proces spowolnić, przewidziano na płytce miejsce dla kondensatorów C3…C6, które powinny mieć po kilka nanofaradów. Jednak w układzie prototypowym nie zaobserwowałem konieczności ich montażu, więc nie zostały ujęte w wykazie elementów.



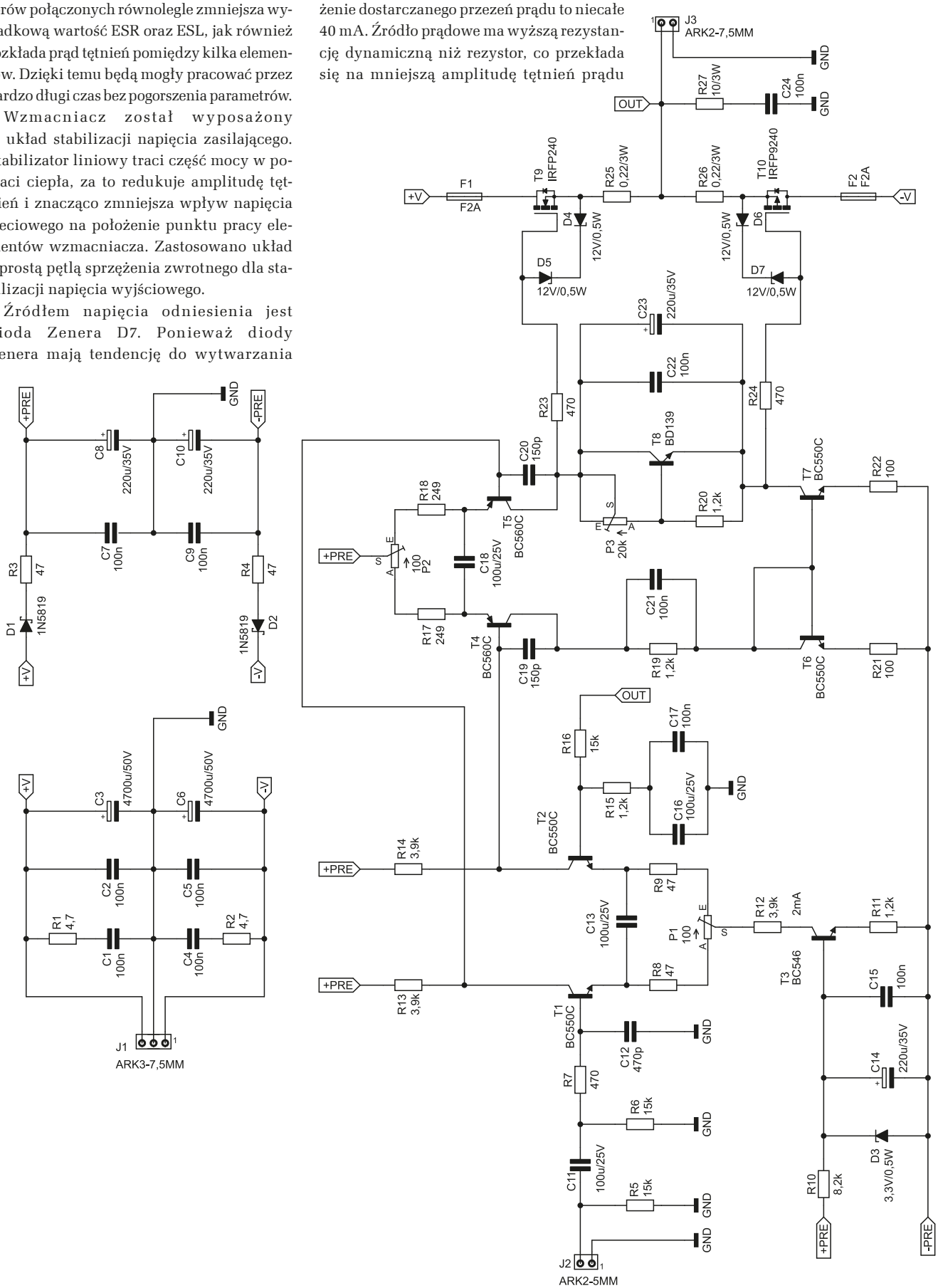
Rysunek 1. Schemat ideowy modułu zasilacza

eprasa.pl 2897393b21

Wyprostowane, jednokierunkowe napięcie jest filtrowane przez potężną baterię dwunastu kondensatorów elektrolitycznych – po sześć na gałąź. Użycie wielu kondensatorów połączonych równolegle zmniejsza wypadkową wartość ESR oraz ESL, jak również rozkłada prąd tętnień pomiędzy kilka elementów. Dzięki temu będą mogły pracować przez bardzo długi czas bez pogorszenia parametrów.

Wzmacniacz został wyposażony w układ stabilizacji napięcia zasilającego. Stabilizator liniowy traci część mocy w postaci ciepła, za to redukuje amplitudę tętnień i znacząco zmniejsza wpływ napięcia sieciowego na położenie punktu pracy elementów wzmacniacza. Zastosowano układ z prostą pętlą sprzężenia zwrotnego dla stabilizacji napięcia wyjściowego.

Źródłem napięcia odniesienia jest dioda Zenera D7. Ponieważ diody Zenera mają tendencję do wytwarzania szerokopasmowego szumu śrutowego, równolegle do niej podłączono kondensatory C22 i C23. Tę diodę polaryzuje źródło prądowe wykonane na tranzystorze T1, a natężenie dostarczanego przezeń prądu to niecałe 40 mA. Źródło prądowe ma wyższą rezystancję dynamiczną niż rezystor, co przekłada się na mniejszą amplitudę tętnień prądu polaryzującego diodę D7. Dwie połączone szeregowo diody półprzewodnikowe, D5 i D6, wymuszają spadek napięcia na złączu baza-emiter tranzystora T1 i na rezystorze R4.



Rysunek 2. Schemat ideowy modułu wzmacniacza

eprasa.pl 2897393b21

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):

Płytka zasilacza

Rezystory: (THT o mocy 0,6 W i tolerancji 1%, jeżeli nie napisano inaczej)
R1, R2: 4,7 Ω
R3, R10: 4,7 kΩ
R4, R9: 18 Ω
R5, R6, R11, R12: 0,47 Ω 3 W
R7, R13: 3,9 kΩ (opis w tekście)
R8, R14: 1,2 kΩ

Kondensatory:
C1, C2, C7, C14, C21, C22, C24, C26, C27, C29: 100 nF/100 V raster 5 mm MKT
C3...C6: nie montować (opis w tekście)
C8...C20: 4700 μF/50 V raster 10 mm, średnica max. 22 mm
C23, C25, C28, C30: 220 μF/35 V raster 3,5 mm średnica 8 mm

Półprzewodniki:
D1...D4: SBT10100
D5, D6, D8, D9: 1N4148
D7, D10: dioda Zenera 5,1 V/1,3 W THT

Pozostałe:
J1, J2: ARK3/750
T1, T9, T10: BD140
T2, T3: BD243C lub odpowiednik
T4...T6: BD139
T7, T8: BD244C lub odpowiednik

Płytka wzmacniacza

Rezystory: (THT o mocy 0,6 W i tolerancji 1%, jeżeli nie napisano inaczej)
R1, R2: 4,7 Ω
R3, R4, R8, R9: 47 Ω
R5, R6, R16: 15 kΩ
R7, R23, R24: 470 Ω
R10: 8,2 kΩ
R11, R15, R19, R20: 1,2 kΩ
R12...R14: 3,9 kΩ
R17, R18: 249 Ω
R21, R22: 100 Ω
R25, R26: 0,22 Ω 3 W
R27: 10 Ω 3 W
P1, P2: 100 Ω montażowy, jednoobrotowy, leżący
P3: 20 kΩ montażowy helitrim 3296W

Kondensatory:
C1, C2, C4, C5, C7, C9, C15, C17, C21, C22, C24: 100 nF/100 V raster 5 mm MKT
C3, C6: 4700 μF/50 V raster 10 mm, średnica max. 22 mm
C8, C10, C14, C23: 220 μF/35 V raster 3,5 mm, średnica 8 mm
C11, C13, C16, C18: 100 μF/25 V raster 3,5 mm, średnica 8 mm bipolarny elektrolityczny np. ECEA1EN101U Panasonic (opis w tekście)
C12: 470 pF 50 V ceramiczny C0G raster 5 mm
C19, C20: 150 pF 50 V ceramiczny C0G raster 5 mm

Półprzewodniki:
D1, D2: 1N5819
D3: dioda Zenera 3,3 V/0,5 W THT
D4...D7: dioda Zenera 12 V/0,5 W THT
T1, T2, T6, T7: BC550C (opis w tekście)
T3: BC546
T4, R5: BC560C
T8: BD139
T9: IRFP240
T10: IRFP9240

Pozostałe:
F1, F2: bezpieczniki szybkie F2A 5×20 mm + blaszki do druku (GN BEZP DRUK)
J1, J3: ARK3/750
J2: ARK2/500

Pozostałe komponenty użyte do budowy wzmacniacza
Obudowa MINI DISSIPANTE 2U – 1MNPDA02/33/300B – panel 10mm – SREBRNY z frezowaniem i płytą montażową
Mini PD 33/250 244×240 mm (opis w tekście)
Transformator 100 VA toroidalny 230 VAC 2×21 V 2×2,38 A (TST100 21V-21V) z mocowaniem
Gniazdo BNC przykręcane do obudowy (GNIAZD BNC4)
Gniazdo RCA przykręcane do obudowy (ACJD-RED)
Zaciski laboratoryjne: czerwony (3250-RT) i czarny (3250-SW)
Gniazdo zasilania IEC z bezpiecznikiem, przykręcane (GN ZAS.6200)
Bezpiecznik zwłoczny T2A 5×20 mm
Oprawka diody LED 5 mm (LED OPRAW 11)
Dioda LED czerwona 5 mm (L-53HD)
Rezystor 6,8 kΩ 0,6 W do diody LED
Przełącznik ON-OFF dźwigniowy (KN3D-101)
Gałka na oś 6 mm (GAŁ RN-113A)
Potencjometr ALPS 2×10 kΩ logarytmiczny RK271
Płytka do podłączenia potencjometru RK271 (opis w tekście)
Przewód ekranowany 1-żyłowy
Przewody 2,5 mm², 1,5 mm² i 0,22 mm² (szczegóły w tekście)
5 podkładek silikonowych TO220
2 podkładki silikonowe TO247
4 tulejki izolacyjne TO220
10 tulejek dystansowych 8 mm, gwint wew/zew, poliamid
4 śrubki M2,5 5 mm (do złącza BNC)
Oczko lutownicze M3
Śrubki M3 i nakrętki
Opaski zaciskowe z tworzywa sztucznego
Klej termoprzewodzący
Pasta termoprzewodząca

Rezystor R4 polaryzuje bazę T1 oraz wspomniane diody.

Równolegle połączone tranzystory T2 i T3 pełnią funkcję elementów wykonawczych, przez które przepływa prąd wyjściowy zasilacza. Rezystory R5 i R6 wyrównują rozpływ prądów między nimi poprzez zmniejszenie wpływu napięcia baza-emiter na natężenie prądu danego tranzystora. W trakcie prawidłowej pracy przez każdy z nich przepływa prąd o natężeniu około 300 mA, co wywołuje spadek napięcia rzędu 150 mV. Tranzystor T5 monitoruje spadek napięcia na jednym z tych rezystorów, ściślej na R6. Jeżeli ten spadek byłby na tyle silny, że otworzyłby złącze baza-emiter tego tranzystora, to zabierze on, przez kolektor do wyjścia zasilacza, część prądu przeznaczonego dla T2 i T3. Prąd wyjściowy zostanie w bardzo prosty sposób zredukowany.

Jeszcze jedną gałęzią, która wchodzi do węzła zasilanego przez kolektor T1, jest kolektor tranzystora T4. Pełni funkcję prostego wzmacniacza błędu. Jego bazę polaryzuje dzielnik składający się z rezystorów R8 i R9. W trakcie prawidłowej pracy na R8 występuje spadek napięcia równy sumie napięć: przewodzącej diody D7 (5,1 V) oraz otwartego złącza baza-emiter tranzystora T4 (0,7 V). Na R7 będzie się odkładało napięcie proporcjonalnie większe, dokładniej 18,9 V. Zatem napięcie wyjściowe układu musi wynosić 5,8 V+18,9 V=24,7 V. Jeżeli miałoby wzrosnąć, prąd kolektora T4 również wzrośnie, przez co zabierze nieco prądu z baz T2 i T3, obniżając napięcie wyjściowe. I w drugą stronę: jego spadek poniżej tej granicy poskutkuje zmniejszeniem napięcia baza-emiter T4, przez co większa część prądu ze źródła prądowego popłynie do baz T2 i T3.

Zaprojektowany w ten sposób zasilacz nie zapewnia rewelacyjnych parametrów (jak na dzisiejsze realia). Współczynnik stabilizacji można byłoby znacznie poprawić, stosując wzmacniacz błędu o wyższym wzmocnieniu, a najlepiej scalony stabilizator. Dalszym etapem byłoby już tylko użycie stabilizatora impulsowego. To prawda, lecz celem tego projektu było zbudowanie w pełni funkcjonalnego wzmacniacza złożonego z prostych elementów dyskretnych, takich jak diody i tranzystory. Obwód stabilizujący napięcie dodatnie został szczegółowo omówiony. Stabilizator napięcia ujemnego ma identyczną topologię, różni się kierunkami prądów i komplementarnymi typami elementów. Zasada działania jest identyczna. Oba napięcia – dodatnie i ujemne – są dostępne na zaciskach złącza J2.

Wzmacniacz

Schemat bloku wzmacniacza został pokazany na **rysunku 2**. Napięcie wyjściowe zasilacza trafia na zaciski złącza J1. Jest ono filtrowane z zakłóceń wysokoczęstotliwościowych, a dodatkowo kondensatory C3 i C6 redukują impedancję wyjściową takiego źródła zasilania. Dla obwodów stopnia wejściowego i stopnia sterującego zastosowano elementy filtrujące. Diody D1 i D2 doładowują kondensatory C7…C10, co zmniejsza wpływ tętnień napięcia na kondensatorach C3 i C6. Rezystory R3 i R4 spowalniają doładowywanie kondensatorów, zmniejszając tętnienia odkładającego się na nich napięcia.

Wejściowy sygnał audio jest podawany na zaciski złącza J2. Rezystor R5 stanowi obciążenie źródła sygnału – zmniejsza impedancję wejściową, co wpływa także na ograniczenie zakłóceń. Stanowi on również element polaryzujący kondensator C11, którego zadaniem jest odcięcie ewentualnej składowej stałej pochodzącej ze źródła sygnału, która zmieniałaby punkt pracy układu wejściowego. Rezystor R6 polaryzuje z kolei drugą elektrodę C11 oraz stanowi drogę dla prądu stałego zasilającego bazę T1. Kondensator C11 jest elektrolitycznym kondensatorem bipolarnym, wobec czego wystąpienie niewielkiej składowej stałej o dowolnej polaryzacji nie uszkodzi go.

Rezystor R7 i kondensator C12 tworzą prosty filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości granicznej około 720 kHz. Tak wysoka wartość nie ma wpływu na charakterystykę amplitudową w paśmie słyszalnym, nie spowalnia również znacząco odpowiedzi impulsowej, lecz za to zawęża pasmo dla szumu i zakłóceń.

Pierwszym stopniem wzmacniającym jest układ różnicowy zrealizowany na tranzystorach T1 i T2. Są to niskoszumowe tranzystory dyskretne. Ewentualną rozbieżność w napięciach baza-emiter można skorygować, regulowując potencjometrem P1. Jego obecność zmniejsza wzmocnienie tego stopnia, wobec czego ich emitery zostały sprzęgnięte (dla składowej zmiennej) za pomocą kondensatora C13. Tranzystor T1 otrzymuje na bazę sygnał audio, zaś T2 – sygnał sprzężenia zwrotnego wraz ze składową stałą, co zostanie wyjaśnione w dalszej części.

Źródło prądowe zasilające emitery pary różnicowej T1+T2 zostało zrealizowane w bardzo prosty sposób – przy użyciu tranzystora T3, którego baza jest polaryzowana stałym napięciem wymuszanym przez diodę Zenera. Spadek napięcia na R11, który wynosi około 2,4 V, wymusza przepływ prądu emitera równy 2 mA. Dioda

eprasa.pl 2897393b21

Zenera jest połączona równolegle z kondensatorami, aby generowany przez nią szum nie powodował fluktuacji prądu emiterów pary różnicowej. Rezystor R10 polaryzuje diodę D3 z potencjału +PRE, a nie z masy, aby spadek napięcia na nim był możliwie największy – wówczas najlepiej odzwierciedla pracę źródła prądowego – oraz aby symetrycznie obciążać, źródło zasilania. Rezystor R12 nie jest, w teorii, potrzebny, lecz zmniejsza wpływ pojemności Cjc tranzystora T3 na pracę układu różnicowego T1+T2.

Obciążeniem kolektorów układu różnicowego T1+T2 są rezystory o jednakowej wartości, R13 i R14. Spadek napięcia na nich wynosi około 1 mA×3,9 kΩ=3,9 V. Wyjście układu różnicowego jest w pełni symetryczne, co ułatwia realizację następnego stopnia układu. Zadbano o niski prąd pracy tranzystorów w pierwszym stopniu układu, ponieważ ma on decydujący wpływ na poziom szumów, a ten z kolei rośnie wraz ze wzrostem natężenia prądu kolektorów.

Spadki napięć na R13 i R14 ustalają prąd emiterów tranzystorów T4 i T5, które również tworzą układ różnicowy. Płynie przez nie niemały prąd, ponieważ w emiterze każdego z tych tranzystorów znajduje się rezystancja 249 Ω+100 Ω/2≈300 Ω. Ich bazy są na potencjale o około 3,9 V niższym od potencjału węzła +PRE, zatem prądy emiterów wynoszą około (3,9 V–0,7 V)/300 Ω≈10,7 mA. Potencjometr P2 pozwala uzyskać symetrię między nimi, ponieważ to również są tranzystory dyskretne. Tak duży prąd tego stopnia ma pozytywny wpływ na szybkość przeładowywania pojemności wejściowych tranzystorów MOSFET.

Kondensatory C19 i C20 zawężają pasmo przenoszenia. Ich wartość została dobrana doświadczalnie, zaś obecność tych elementów jest kluczowa dla stabilnej pracy układu. Zdecydowano się na taki krok zamiast np. spowolnienia przeładowywania pojemności wejściowych tranzystorów MOSFET, ponieważ nie wprowadza on do sygnału zniekształceń. Jak pokażą pomiary, pasmo przenoszenia tego wzmacniacza i parametry jego odpowiedzi czasowej są i tak imponujące jak na relatywnie prosty układ audio.

Obciążeniem kolektorów układu różnicowego T4+T5 jest lustro prądowe. Daje to dwukrotny wzrost wzmocnienia w stosunku do obciążenia rezystancyjnego. Rezystory R21 i R22 wyrównują różnice w napięciach baza-emiter tych tranzystorów. Rezystor R19 zmniejsza straty mocy w tranzystorach i wyrównuje je w stosunku do sąsiedniej gałęzi. Kondensator C21 przyspiesza sterowanie tranzystorem T6 (połączonym w diodę) przez T4.

W sąsiedniej gałęzi, znajdującej się między kolektorami tranzystorów T5 i T7, znajduje się obwód znany jako „mnożnik napięcia baza-emiter". Napięcie na zaciskach rezystora R20 jest równe napięciu baza-emiter tranzystora T8, zaś na potencjometrze P3 jest proporcjonalnie większe, ponieważ prąd płynący przez P3 i R20 jest w przybliżeniu taki sam. To powoduje, że T8 staje się diodą, której napięcie przewodzenia można wyregulować oraz zmienia się ono wraz z temperaturą jego złącza baza-emiter. Przykręcając T8 do radiatora chłodzącego tranzystory mocy można ustabilizować ich punkt pracy. Kondensatory C22 i C23 zmniejszają impedancję tego „mnożnika", czym poprawiają sprzężenie zmiennoprądowe między bramkami tranzystorów mocy. Tranzystor T8 (BD139) jest relatywnie wolny, ale on nie przenosi sygnału – czynią to kondensatory C22 i C23. Natomiast jego obudowa ułatwia przykręcenie go do radiatora chłodzącego tranzystory wyjściowe i to był kluczowy powód wyboru takiego, a nie innego, elementu.

W roli stopnia wyjściowego pracują dwa tranzystory MOSFET o przeciwnych polaryzacjach. Są połączone w układzie wtórnika komplementarnego. Mają zbliżony kształt charakterystyk przejściowych, podobną transkonduktancję w tym samym punkcie pracy i podobne napięcie progowe. Para IRFP240 i IRFP9240 jest często spotykana we wzmacniaczach akustycznych.

Diody Zenera D4 i D5 oraz D6 i D7 zabezpieczają izolator podbramkowy tych tranzystorów przed przebiciem wywołanym chwilowym przekroczeniem dopuszczalnego napięcia bramka-źródło. Rezystory R23 i R24 poprawiają stabilność pracy układu, ponieważ, wraz z pojemnościami wejściowymi tych tranzystorów, tworzą filtry dolnoprzepustowe. Na rezystorach R25 i R26 odkłada się napięcie wywołane przez prąd spoczynkowy, co pozwala wyrównać napięcia bramka-źródło między tymi tranzystorami. Bezpieczniki F1 i F2 tworzą proste zabezpieczenie przeciwprzeciążeniowe dla tranzystorów mocy. Rezystor R27 i kondensator C24 tworzą tzw. obwód Zobla, który wyrównuje impedancję widzianą przez tranzystory wyjściowe w funkcji częstotliwości – kolumny głośnikowe, z racji indukcyjnego charakteru, zwiększają swoją impedancję wraz ze wzrostem częstotliwości.

Ostatnim elementem składowym bloku wzmacniacza jest sprzężenie zwrotne, zarówno dla składowej stałej, jak i zmiennej. Sprzężenie stałoprądowe realizuje rezystor R16, który ma rezystancję zbliżoną do tej, która polaryzuje bazę T1. W ten sposób nie powstaje składowa różnicowa, którą wywołują prądy baz T1 i T2 na rezystancjach je polaryzujących.

Dla składowej zmiennej uaktywnia się dzielnik rezystorowy, składający się z R15 i R16, który ustala finalne wzmocnienie układu dla składowej zmiennej. Na zaciskach kondensatorów C16 i C17 występuje zerowa składowa stała, zatem i w tym miejscu użyto bezbiegunowego kondensatora elektrolitycznego o znacznej pojemności. Dla zmniejszenia jego impedancji w zakresie wysokich częstotliwości połączono go równolegle z kondensatorem foliowym.

Warto zauważyć, że prądy płynące przez elementy tego układu nie zależą od dokładnej wartości napięcia zasilającego. Dzieje się tak dzięki źródłom i lustrom prądowym, a także różnicowemu wzmacniaczowi błędu dla składowej stałej (para różnicowa T1+T2), który ustala zerową składową na wyjściu, biorąc jako referencję potencjał masy. Jedynie prąd rezystora R10 może ulegać wahaniom przy zmianach wartości napięć zasilających, ale ma on drugorzędne znaczenie.

Potencjometr P3 ustala punkt pracy tranzystorów mocy, a dokładniej ich prąd spoczynkowy. Jednak napięcie progowe tranzystorów polowych ulega zmianie wraz z temperaturą, a dokładniej – rośnie, co wymaga zwiększenia napięcia bramka-źródło dla utrzymania tego samego prądu drenu. Dlatego prąd ustalony przy zimnych tranzystorach stanie się znacznie niższy, gdy te się rozgrzeją. Obwód z tranzystorem T8 ma za zadanie częściowo to kompensować, ponieważ napięcie przewodzenia złącza p-n rośnie wraz z temperaturą. Po zwielokrotnieniu,

REKLAMA

eprasa.pl 2897393b21

za pomocą dzielnika P3+R20, napięcie kolektor-emiter T8 również będzie rosło wraz z temperaturą.

Tranzystory polowe wykazują ujemne termiczne sprzężenie zwrotne (prąd drenu spada wraz ze wzrostem temperatury przy stałym napięciu bramka-źródło), a bipolarne dodatnie (prąd kolektora rośnie wraz ze wzrostem temperatury przy stałym napięciu baza-emiter), więc te dwa przeciwstawne efekty powinny się skompensować. Ten mechanizm nie działa idealnie – przeważa ujemne sprzężenie zwrotne pochodzące od tranzystorów MOSFET. Ale, jak pokażą pomiary, będzie to oddziaływanie dostatecznie silne, aby utrzymać punkt pracy w rozsądnych granicach.

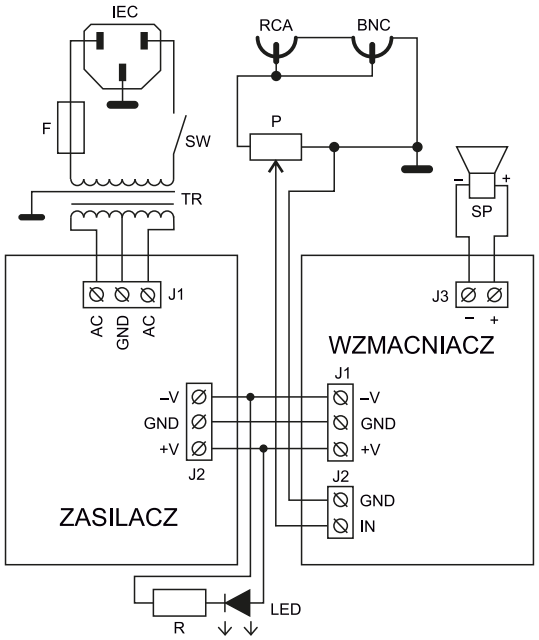
Całe urządzenie

Schemat ideowo-blokowy znajduje się na **rysunku 3**. Ten rysunek przyda się podczas omawiania montażu urządzenia w obudowie. Jako zabezpieczenie toroidalnego transformatora sieciowego TR powinien wystąpić bezpiecznik zwłoczny, w układzie modelowym użyto bezpiecznika T2A. Gniazdo IEC może być zintegrowane z oprawką bezpiecznika.

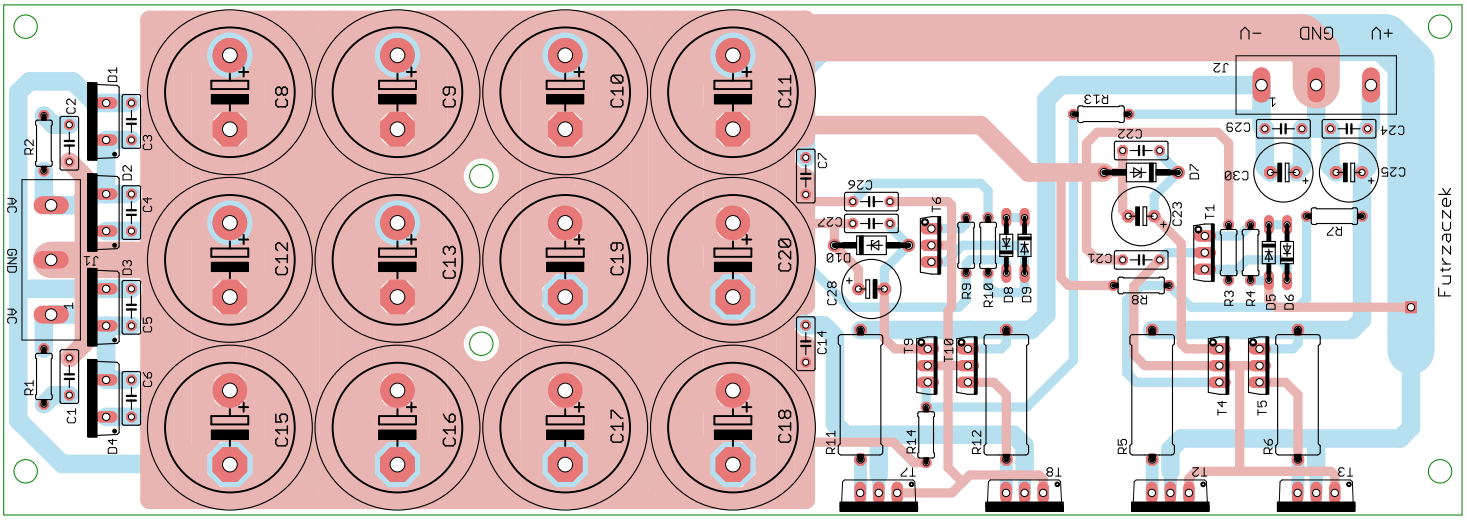
Dwie płytki drukowane – zasilacza i wzmacniacza – powinny być połączone między sobą trzema przewodami o znacznym polu przekroju poprzecznego. Ich rozdzielenie ułatwiło przykręcenie wszystkich tranzystorów wymagających chłodzenia do radiatorów, o czym dalej. Prąd diody LED sygnalizującej załączenie wzmacniacza jest ograniczany przy użyciu rezystora R, a cała ta gałąź pobiera zasilanie spomiędzy zacisków V+ i V– zasilacza dla symetrycznego obciążania go.

Montaż

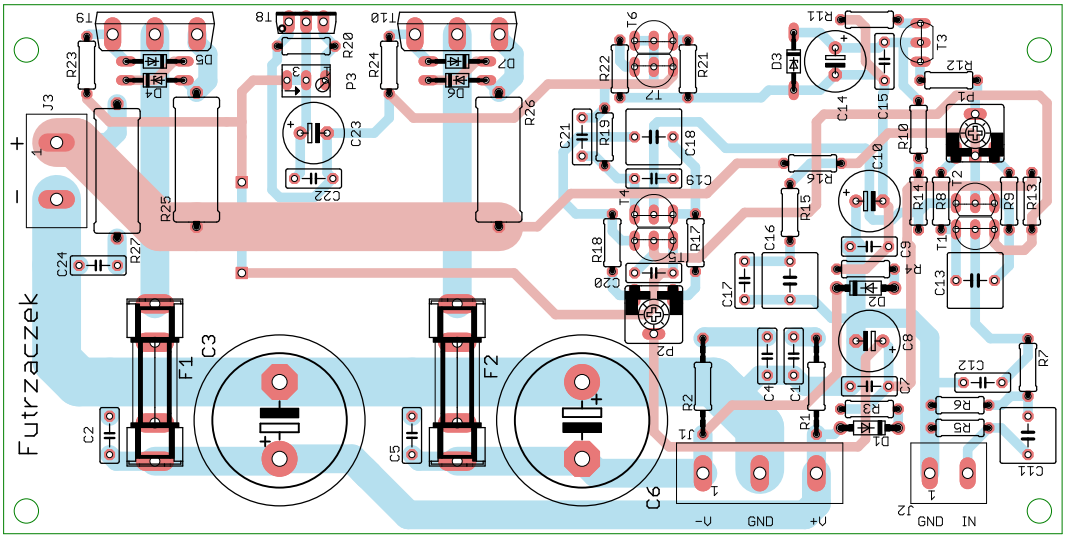
Płytka zasilacza ma wymiary 70×200 mm, natomiast płytka wzmacniacza jest mniejsza – 70×140 mm. Obie płytki drukowane mają dwie warstwy przewodzące. Ich wzór ścieżek oraz schematy montażowe zostały pokazane na **rysunkach 4** i **5**. W odległości 3 mm od krawędzi płytek znalazły się otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm, zaś otwory przy radiatorach są odsunięte od tych krawędzi o 6 mm z uwagi na obecność metalowych elementów konstrukcyjnych



Rysunek 3. Schemat ideowo-blokowy kompletnego urządzenia



Rysunek 4. Schemat płytki PCB modułu zasilacza



Rysunek 5. Schemat płytki PCB modułu wzmacniacza

eprasa.pl 2897393b21

Fotografia 1. Wygląd zmontowanej płytki zasilacza

obudowy. Płytka zasilacza ma dwa dodatkowe otwory znajdujące się pomiędzy kondensatorami elektrolitycznymi, które są stosunkowo ciężkie. Długi laminat mógłby się wyginać, a dodając co najmniej jeden punkt podparcia, można temu zapobiec.

Na obu płytkach znajdują się wyłącznie elementy montowane techniką przewlekaną, więc do ich polutowania wystarczy zwykła lutownica, niezbyt grube spoiwo lutownicze (tinol), kalafonia i trochę cierpliwości. Na tym etapie nie należy montować tranzystorów przykręcanych do radiatorów, czyli:

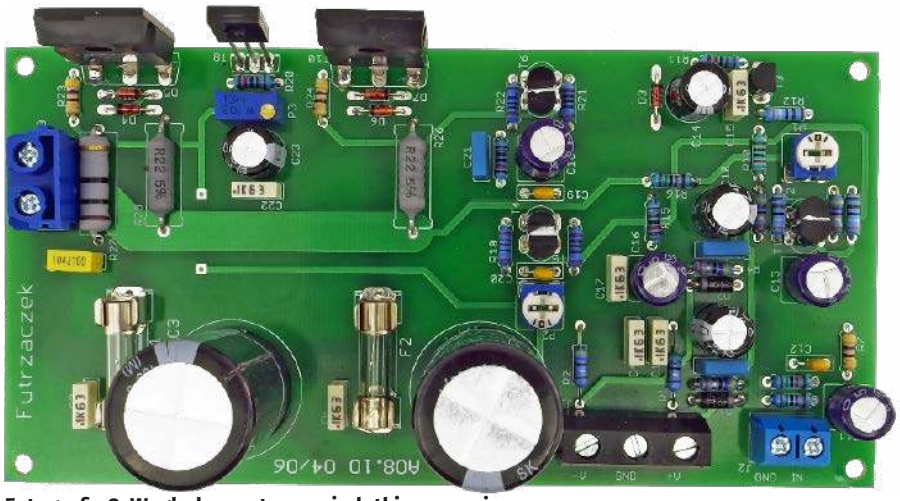
- T2, T3, T7 i T8 na płytce zasilacza,
- T8, T9 i T10 na płytce wzmacniacza.

Szczegółowy widok obu tych płytek po zmontowaniu (już z tranzystorami) został pokazany na **fotografiach 1** i **2**. Tranzystory zostaną przylutowane do płytek po zamontowaniu ich w obudowie, o czym dalej. W ten sposób będzie można idealnie dobrać długość ich wyprowadzeń.

Tranzystory T1 i T2, T4 i T5 oraz T6 i T7 powinny pracować w możliwie zbliżonych warunkach termicznych. Zostały na płytce umiejscowione w taki sposób, aby dało się skleić ze sobą ich płaskie fragmenty obudów. Odrobina kleju termoprzewodzącego, nałożonego na odtłuszczone powierzchnie, oraz ściśnięcie ze sobą szczypcami załatwi sprawę. Na fotografii 2 są widoczne na tranzystorach białe ślady tego kleju, którego nadmiar wyciekł spomiędzy obudów. Można również te tranzystory skleić przed wlutowaniem w płytkę.

Wygląd wewnętrznej konstrukcji wzmacniacza został pokazany na **fotografii 3**. Dokładny opis przygotowania obudowy oraz przebieg procesu uruchamiania wzmacniacza zostanie opisywany w kolejnej części artykułu.

Michał Kurzela, EP



Fotografia 2. Wygląd zmontowanej płytki wzmacniacza

Fotografia 3. Wygląd wewnętrznej konstrukcji wzmacniacza

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

eprasa.pl 2897393b21

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT5921

Podstawowe parametry:

- funkcja płynnego załączania i wyłączania LED z algorytmem gamma,
- sterowanie za pomocą przycisku chwilowego,
- sterownik łańcucha białych diod LED o mocy do 2,4 W (12 V/200 mA),
- możliwe jest dopasowanie do niemal dowolnej diody LED (lub łańcucha diod) w szerokim zakresie napięć zasilania (6...28 V),
- możliwości ustalenia wartości prądu zasilania diod LED,
- cała aplikacja używa zaledwie kilku elementów.

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

AVT5916	Regulator jasności LED sterowany pilotem TV (EP 2/2022)
–––––	Ambient LED controler (EP 1/2022)
AVT5880	Sterownik 12×LED z interfejsem I²C (EP 8/2021)
–––––	Sterownik LED RGB z układem AL1783 sterowany przez I²C (EP 6/2021)
AVT5857	Liniowy sterownik LED 3 W (EP 4/2021)
AVT5839	Minimoduły z driverem I²C do taśm LED RGBW (EP 1/2021)
AVT5815	Sterownik taśmy LED przez DMX (EP 10/2020)
AVT5784	Wolnozmienny sterownik taśmy RGB (EP 8/2020)
AVT1975	Powolny rozjaśniacz do taśm LED 12 V (EP 7/2017)
AVT5561	Efektowny sterownik oświetlenia (EP 12/2016)

* 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

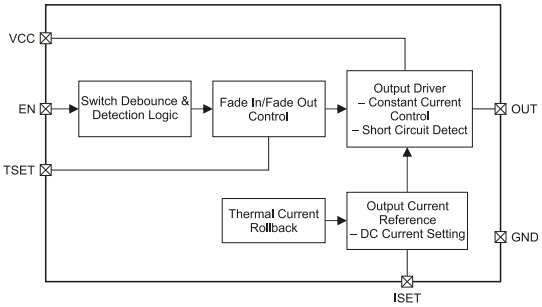
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! – http://sklep.avt.pl.

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

Włącznik LED z płynnym rozjaśnianiem i ściemnianiem

Zaprezentowany układ to sterownik łańcucha białych diod LED, który oprócz stabilizacji i możliwości ustalenia wartości prądu diod, ma funkcję płynnego rozjaśniania i ściemniania (soft-start), a cała aplikacja używa zaledwie kilku elementów.

Sterownik został zbudowany z użyciem układu IS32LT3174 firmy ISSI, którego struktura wewnętrzna została pokazana na **rysunku 1**. Zawiera w sobie programowane źródło prądowe z wartością prądu ustalaną zewnętrznym rezystorem oraz blok płynnego załączania i wyłączania LED z algorytmem gamma, współpracujący z przyciskiem chwilowym. Napięcie zasilania układu powinno mieścić się w zakresie 6...45 V, co ułatwia dopasowanie do niemal dowolnego łańcucha LED.



Rysunek 1. Schemat blokowy układu IS32LT3174 (za notą ISSI)

Budowa i działanie

Schemat ideowy układu został pokazany na **rysunku 2**. Układ zaprojektowany jest do zasilania napięciem 6...28 V i typowego szeregowego łańcucha LED o mocy 2,4 W. Po przeliczeniu mocy strat i ustaleniu prądu może zasilać także inne typy LED, możliwe jest dopasowanie do niemal dowolnej diody LED (lub łańcucha diod) w szerokim zakresie napięć zasilania.

Prąd LED określa wartość rezystora podłączonego do wyprowadzenia ISET według wzoru:

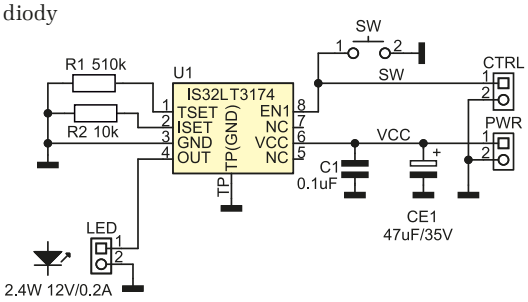
$$I=2000/R1$$

Dopuszczalny zakres wartości rezystancji R1 wynosi 10...100 kΩ. Przycisk SW służy do załączenia lub wyłączenia LED, wbudowany filtr eliminuje skutki drgań styków. Rezystor R2 określa czas rozjaśniania i ściemniania diody. Czas ten jest określany wzorem:

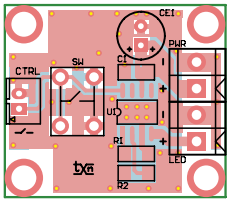
$$t=R2\times 2{,}5\ \mu s$$

Dopuszczalny zakres wartości rezystancji R2 wynosi 100...600 kΩ.

Układ zasilany jest poprzez złącze PWR, dioda podłączona jest do złącza LED. Złącze CTRL umożliwia podłączenie zewnętrznego przycisku, w tym przypadku nie montujemy go na płytce. Wyjście OUT zabezpieczone jest przed zwarciem układem ogranicznika prądu, który w trybie zwarcia stabilizuje prąd na poziomie ok. 260 mA. Należy pamiętać, że układ IS32 LT3174 jest regulatorem liniowym i cała moc strat wynikająca z różnicy zasilania i napięcia LED będzie wytracana w jego strukturze, co w niekorzystnych warunkach może skutkować zadziałaniem wyłącznika termicznego.



Rysunek 2. Schemat ideowy układu



Rysunek 3. Schemat płytki PCB

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat został pokazany na **rysunku 3**. Montaż nie wymaga opisu, należy tylko poprawnie przylutować pad termiczny układu U1 i w zależności od traconej mocy doposażyć układ U1 w niewielki radiator pasujący do obudowy SO8. Pierwsze uruchomienie warto wykonać, zasilając układ z zasilacza laboratoryjnego z ograniczeniem prądu. Po podłączeniu LED należy sprawdzić działanie przycisku i wartości prądu LED.

Adam Tatuś, EP

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

Rezystory: (SMD1206) 1%
R1: 510 kΩ
R2: 10 kΩ

Kondensatory:
C1: 0,1 μF/50 V ceramiczny (SMD1206)
CE1: 47 μF/35 V elektrolityczny (6,3 mm)

Półprzewodniki:
U1: IS32LT3174 (SO8TP)

Pozostałe:
LED, PWR: złącze śrubowe DG381-3.5-2
CTRL: złącze PH 2 piny, 2 mm (opcja)
SW: mikroswitch 6×4,5 mm

eprasa.pl 2897393b21

AVT sklep

Podstawowe parametry:

- umożliwia ładowanie jednego ogniwa LiPo, Li-Ion, $LiFePO_4$,
- możliwość wyboru prądu ładowania: 0,5 A, 1 A lub 2 A,
- bazuje na układzie BQ25300 (przetwornica impulsowa),
- ładowanie z algorytmem CC/CV,
- w pełni autonomiczne urządzenie,
- wszystkie ustawienia konfiguruje się zworkami,
- zasilanie 5 V.

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

AVT5877	Ładowarka bezprzewodowa z układem LTC4124 (EP 8/2021)	AVT1929	Miniaturowa ładowarka akumulatorów Li-Po typu 18650 (EP 8/2016)
AVT5694	Ładowarka akumulatorów 18650 z USB (EP 8/2019)	AVT1911	Litowa dziewiątka (EP 7/2016)
AVT5655	Uniwersalny, rowerowy zasilacz/ładowarka USB (EP 12/2018)	AVT1866	Zabezpieczenie akumulatora Li-Ion lub Li-Po (EP 8/2015)
AVT1943	Miniaturowa ładowarka akumulatorów LiFePo4 zasilana z USB (EP 1/2017)	AVT1803	LiPo_833 – miniaturowa ładowarka Li-Po zasilana z USB (EP 6/2014)
AVT1942	Uniwersalna ładowarka akumulatorów LiFePo4 (EP 1/2017)	AVT1757	Miniaturowa ładowarka akumulatorów Li-Po zasilana z USB (EP 8/2013)

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

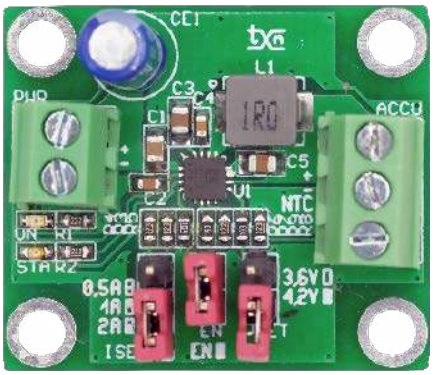
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

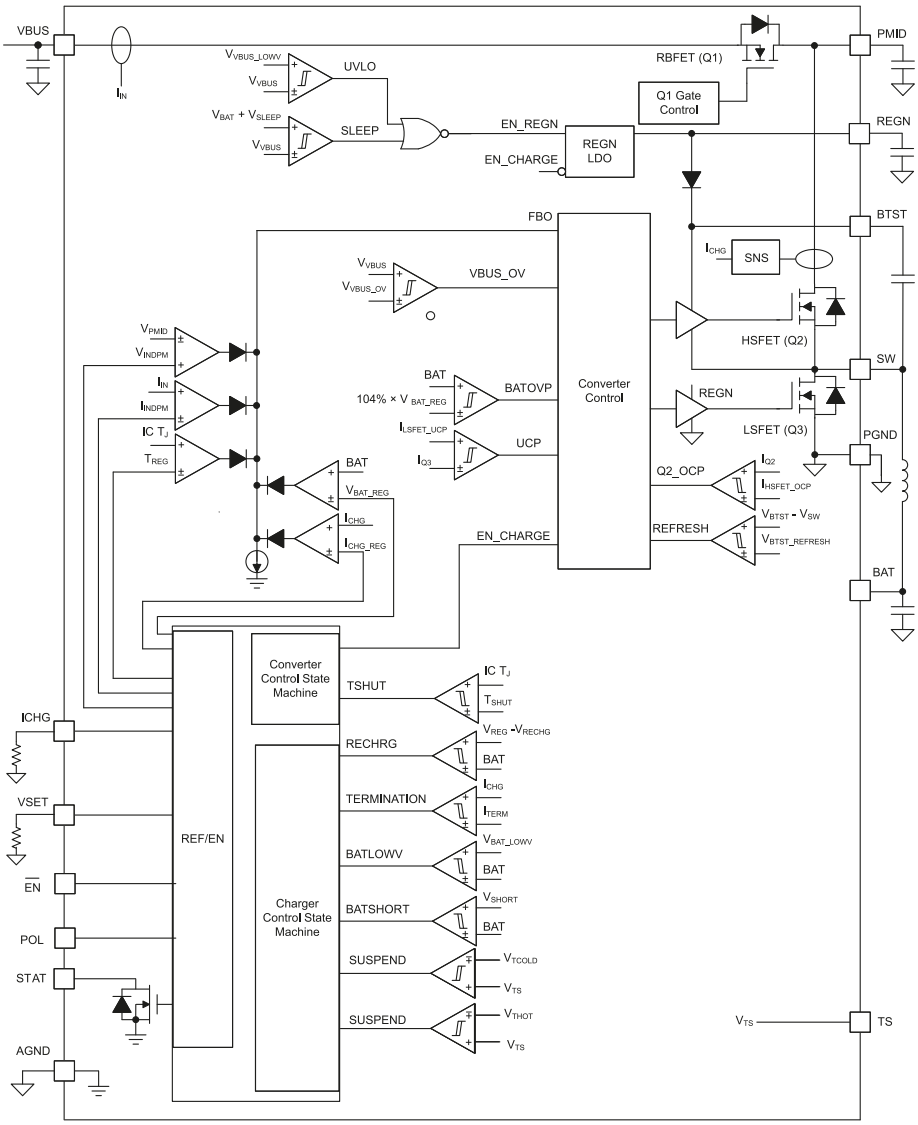
Nie każdy zestaw AVT występuje we wszystkich wersjach! Każda wersja ma załączony ten sam plik pdf! Podczas składania zamówienia upewnij się, którą wersję zamawiasz! – http://sklep.avt.pl.

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

Uniwersalna ładowarka akumulatorów litowych

Akumulatory litowe są dzisiaj powszechnie stosowanym źródłem energii. Opisana ładowarka umożliwia ładowanie akumulatora LiPo, Li-Ion, $LiFePO_4$ zapewniając nadzór nad prawidłowym procesem ładowania. Dzięki zastosowaniu jednego z nowszych kontrolerów ładowania typu BQ25300 firmy Texas Instruments aplikacja składa się zaledwie z kilku elementów.





Rysunek 1. Schemat wewnętrzny układu BQ23500 (za notą TI)

Zaprezentowany w artykule układ uniwersalnej ładowarki impulsowej bazuje na układzie BQ25300 i jest przeznaczony do ładowania jednego ogniwa LiPo, Li-Ion lub $LiFePO_4$ z możliwością wyboru prądu ładowania 0,5 A, 1 A, 2 A, przy zachowaniu wysokiej sprawności działania >85%. Ładowarka jest autonomicznym urządzeniem i do pracy nie wymaga układu nadrzędnego, wszystkie ustawienia konfiguruje się zworkami.

Układ BQ25300 jest sterownikiem obniżającej przetwornicy impulsowej, przystosowanej do ładowania akumulatorów litowych algorytmem CC/CV. Budowa wewnętrzna układu została pokazana na **rysunku 1**. Układ ma wbudowane zabezpieczenia niezbędne do prawidłowego ładowania akumulatora, takie jak tryb wykrywania uszkodzonego akumulatora, tryb ładowania wstępnego z obniżonym prądem, zabezpieczenie przed przeładowaniem, timer bezpieczeństwa oraz zabezpieczenie termiczne akumulatora w postaci termistora NTC.

Budowa i działanie

Schemat ideowy ładowarki został pokazany na **rysunku 1**. Zasilanie 5 V jest doprowadzane poprzez złącze PWR i wymaga źródła o wydajności minimum 2 A. Układ BQ25300 dopuszcza szerszy zakres napięcia zasilania, ale wymaga to odpowiedniej korekty zastosowanych elementów. Dioda ON sygnalizuje obecność zasilania.

Prąd ładowania ustalany jest rezystorem podłączonym do wyprowadzenia ICHG (wyprowadzenie 4 układu U1). W modelu prąd ustalają rezystor R5 oraz przyłączone do niego równolegle za pomocą zwory ISET rezystory R3 lub R4. Ich wypadkowa wartość określa prąd ładowania:

eprasa.pl 2897393b21

UWAGA:

- **Układ zalecany jest do ładowania akumulatorów ze zintegrowanymi modułami zabezpieczeń. Ładowanie akumulatorów bez wbudowanego zabezpieczenia wymaga zwiększonej ostrożności i zachowania zasad bezpiecznej pracy z takimi ogniwami;**
- **Ustawienia zwór ładowarki VSET/ISET muszą być wykonane przed podłączeniem akumulatora, zgodnie z parametrami zalecanymi przez producenta;**
- **Niedopuszczalna jest zmiana położenia zwór ustalających parametry ładowarki VSET/ISET, po podłączeniu akumulatora, przy włączonym zasilaniu ładowarki. Jakakolwiek pomyłka w ustawieniach napięć może zakończyć się przekroczeniem napięcia znamionowego i eksplozją akumulatora;**
- **Wszelkie próby należy przeprowadzić z należytą ostrożnością, gdyż zwarcie akumulatora może być niebezpieczne;**
- **Nie należy pozostawiać ładującego się akumulatora bez nadzoru.**

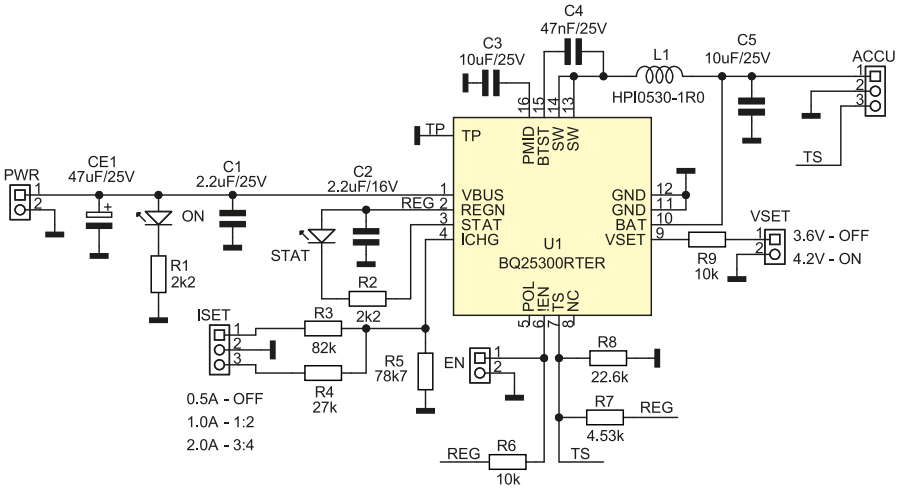
WYKAZ ELEMENTÓW, które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory: (SMD0603) 1%
R1, R2: 2,2 kΩ
R3: 82 kΩ
R4: 27 kΩ
R5: 78,7 kΩ
R6, R9: 10 kΩ
R7: 4,53 kΩ
R8: 22,6 kΩ

Kondensatory:
C1: 2,2 μF/25 V ceramiczny (SMD0805)
CE1: 47 μF/25 V elektrolityczny (6,3 mm)
C2: 2,2 μF/16 V ceramiczny (SMD0603)
C3, C5: 10 μF/25 V ceramiczny (SMD0805)
C4: 47 nF/25 V ceramiczny (SMD0603)

Półprzewodniki:
ON: dioda LED zielona (SMD0603)
STAT: dioda LED czerwona (SMD0603)
U1: BQ25300RTER (WQFN16)

Pozostałe:
L1: dławik 1 μH/7 A PI0530-1R0
ACCU: złącze DG 3 piny 3,5 mm
PWR: złącze DG 2 piny 3,5 mm
EN, VSET: listwa SIP 2 piny 2,54 mm + zwora
ISET: listwa SIP 3 piny 2,54 mm + zwora



Rysunek 2. Schemat ładowarki

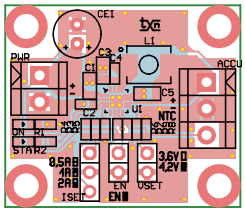
- R5=78,7 kΩ: 0,5 A,
- połączenie równoległe R5||R3: 1 A,
- połączenie równoległe R5||R4: 2 A.

Zwarcie zwory EN aktywuje układ ładowarki. W zależności od typu akumulatora zworą VSET określamy napięcie wyjściowe ładowarki na 3,6 V (zwora rozwarta) dla akumulatora $LiFePO_4$ oraz na 4,2 V (zwora zwarta) dla akumulatorów Li-Ion, LiPo. Dzielnik z elementów R7 i R8 polaryzuje zewnętrzny termistor 10 kΩ NTC podłączony pomiędzy wyprowadzenie 3 złącza ACCU a masę układu na wyprowadzeniu 2.

Ładowany akumulator podłączony jest do wyprowadzeń 1(+), 2(–) złącza ACCU. Dioda STAT sygnalizuje stan procesu ładowania. Ciągłe świecenie diody sygnalizuje proces ładowania, miganie z częstotliwością 1 Hz przekroczenie temperatury pracy układu lub akumulatora, przeładowaną baterię, przekroczenie czasu ładowania przed osiągnięciem naładowania akumulatora lub usterkę ładowarki.

Montaż i uruchomienie

Układ zmontowany jest na niewielkiej dwustronnej płytce drukowanej, której schemat



Rysunek 3. Schemat płytki PCB

został pokazany na **rysunku 3**. Montaż przebiega zgodnie z ogólnymi zasadami i nie wymaga dokładnego opisu. Pierwsze uruchomienie ładowarki należy przeprowadzić z zasilacza laboratoryjnego z ograniczeniem i pomiarem prądu, z pełną kontrolą prądu i końcowego napięcia ładowania. Termistor NTC należy umieścić przy akumulatorze. Należy zadbać o odpowiedni przekrój przewodów połączeniowych oraz ich możliwie niewielką długość.

Po ustawieniu zwór ISET/VSET oraz EN należy sprawdzić zgodność napięć wyjściowych dla wybranego typu akumulatora. Po podłączeniu akumulatora należy skontrolować prąd i napięcie końcowe ładowania, działanie zabezpieczeń termicznych oraz sygnalizację trybów w pełnym cyklu. Jeżeli pomiary przebiegną pomyślnie dla wszystkich ustawień VSET/ISET, ładowarka jest gotowa do pracy.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA

www.ep.com.pl

eprasa.pl 2897393b21

AVT sklep

Podstawowe parametry:

- graficzny wyświetlacz OLED 128×32,
- dodatkowe trzy przyciski i dwie diody LED,
- wyprowadzone interfejsy UART oraz I²C,
- wyprowadzone dwa wejścia przetwornika ADC i wyprowadzenia IO,
- zastosowano miniaturowe złącza JST.

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

----	Zasilacz bezprzerwowy z akumulatorem litowym dla Raspberry Pi Pico (EP 2/2022)
----	Vintage audio DAC na TDA1387 (EP 2/2022)
AVT5914	Zasilacz buforowy dla RPi Zero (EP 1/2022)
AVT5913	Cyfrowy wzmacniacz audio 2×10 W w formacie RPi Zero (EP 1/2022)
AVT5909	Sterownik czterech mikrosilników dla Pi Zero (EP 12/2021)
AVT5896	Karta sieciowa z PoE dla RPi Zero (EP 10/2021)
AVT5890	Interfejs wyświetlacza TFT RGB dla RPi Zero (EP 9/2021)
AVT5882	Podwójny klucz zasilania High Side (EP 8/2021)
----	Zasilacz PoE do Raspberry Pi (EP 7/2021)
----	Cyfrowy wzmacniacz audio w formacie RPi Zero (EP 7/2021)
----	Moduł DSP Audio do Raspberry Pi (EP 6/2021)
AVT5858	Płytka bazowa dla Raspberry Pi Pico (EP 5/2021)
AVT5851	Dwukanałowy port szeregowy dla Raspberry (EP 3/2021)
AVT5847	Interfejs wyświetlacza TFT-RGB dla RPi Zero (EP 3/2021)
----	Sterownik 18 LED dla Pi Zero (EP 2/2021)
AVT5811	Odtwarzacz audio z Raspberry Pi (EP 10–12/2020)
----	Kieszonkowy Linux (EP 9/2020)

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

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

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

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

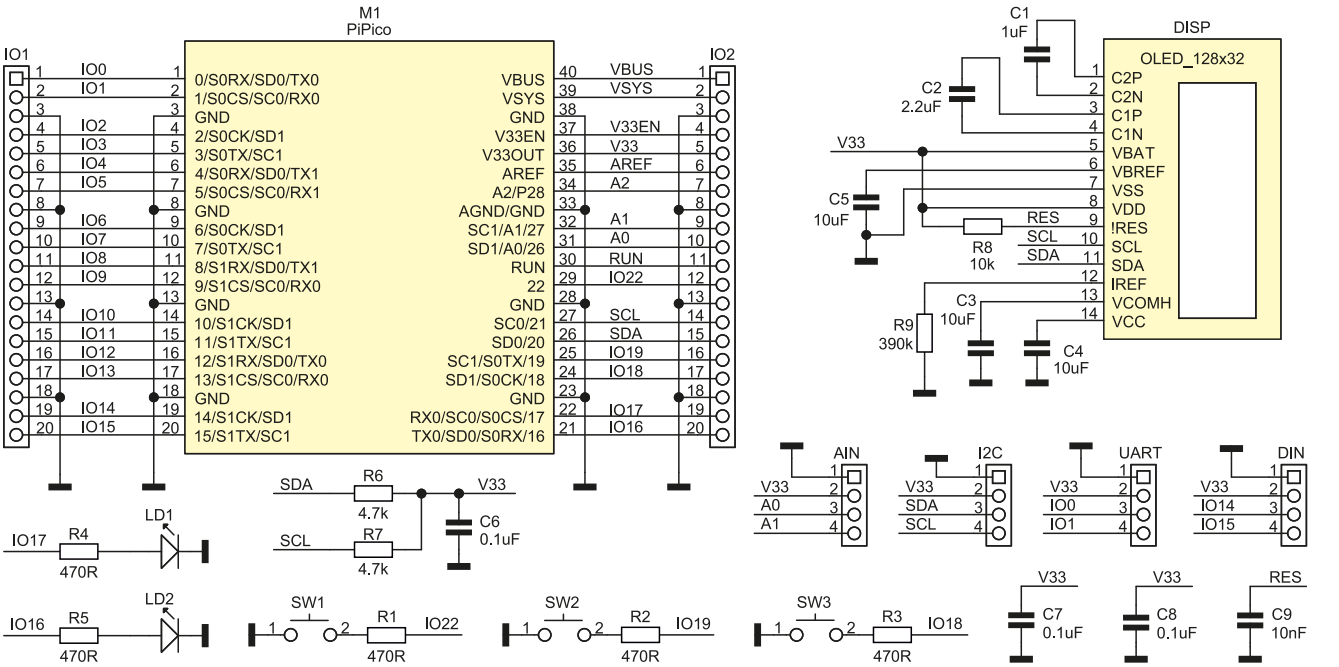
Interfejs użytkownika z wyświetlaczem OLED dla Pi Pico

Zaprezentowany moduł dla Pi Pico rozbudowuje jego funkcjonalność o prosty interfejs użytkownika. Moduł można łatwo dołączyć do płytki bazowej, a dodatkowe złącza ułatwiają podłączenie Pi Pico do układów zewnętrznych.

Budowa i działanie

Schemat ideowy układu został pokazany na **rysunku 1**. Zastosowano typowy wyświetlacz OLED o przekątnej 0,91 cala i rozdzielczości 128×32, ze sterownikiem SSD1306 i połączeniem w postaci taśmy FPC z 14 wyprowadzeniami. W zależności od preferencji kolorystycznych może być zastosowany wyświetlacz REX012832 FYPP3 N0 w kolorze żółtym, REX012832 FSPP3 N0 w kolorze niebieskim lub REX012832 FWPP3 N0 w białym. Modele te mają wiele tanich odpowiedników dostępnych na aukcjach internetowych.

Wyświetlacz połączony jest z procesorem za pomocą interfejsu I²C na wyprowadzeniach 20 i 21 płytki Pi Pico. Aplikacja wyświetlacza jest prosta, napięcie do zasilania matrycy OLED wytwarzane jest przez przetwornicę wbudowaną w kontroler SSD1306, C1 i C2 są elementami pompy ładunkowej, kondensatory C3, C4, C5 odsprzęgają poszczególne napięcia zasilania wyświetlacza. Za globalne ustawienie jasności świecenia odpowiada wartość rezystora R9. Jego wartość należy skorygować zgodnie z notą aplikacyjną samego wyświetlacza, pamiętając, że jasność świecenia ma wpływ na trwałość matrycy OLED. Rezystor R8 i kondensator



Rysunek 1. Schemat ideowy układu

eprasa.pl 2897393b21

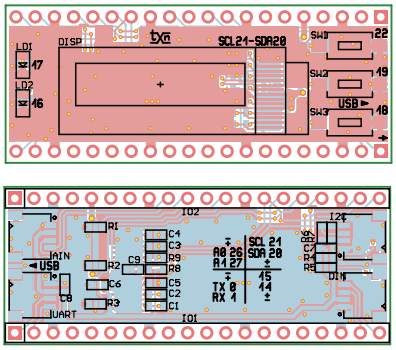
WYKAZ ELEMENTÓW, które możesz zamówić w sklepie AVT na stronie sklep.avt.pl lub bezpośrednio (ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa, tel. 48222578451, e-mail: handlowy@avt.pl):

Rezystory: (SMD0603)
R1, R2, R3, R4, R5: 470 Ω
R6, R7: 4,7 kΩ
R8: 10 kΩ
R9: 390 kΩ %

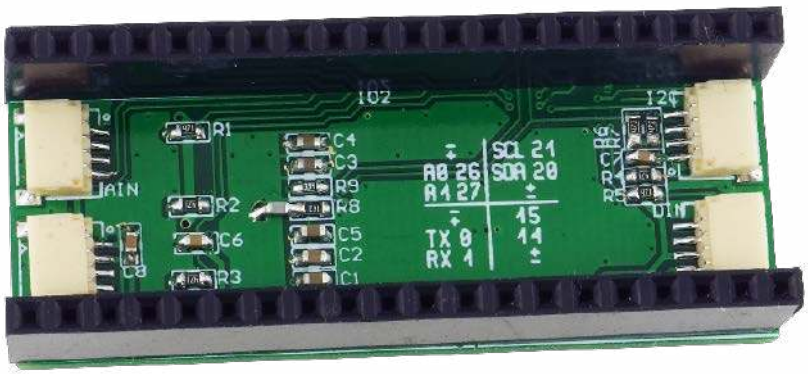
Kondensatory: (SMD0603)
C1: 1 μF/25 V
C2: 2,2 μF/25 V
C3, C4, C5: 10 μF/16 V
C6, C7, C8: 0,1 μF
C9: 10 nF

Półprzewodniki:
LD1, LD2: dioda LED zielona (SMD0805)

Pozostałe:
AIN, DIN, I²C, UART: złącza SM04B
DISP: wyświetlacz OLED 128×32, 0,91", I²C, REX012832FYPP3N
IO1, IO2: złącze żeńskie SIP20 (2,54 mm)
SW1, SW2, SW3: mikroswitch 6×3 mm



Rysunek 2. Schemat płytki drukowanej



Fotografia 1. Zmontowany moduł widziany od strony złączy

C9 zapewniają poprawny restart wyświetlacza po włączeniu zasilania.

Trzy przyciski użytkownika SW1...SW3 są podłączone do wyprowadzeń 18, 19, 22 poprzez szeregowe rezystory zabezpieczające R1...R3. Układ uzupełniają diody świecące LD1, LD2 podłączone do wyprowadzeń 16, 17. Dla ułatwienia zastosowania modułu w prostych aplikacjach na złącza JST (1,00 mm) zgodne z QWIIC wyprowadzono magistralę I²C, port szeregowy UART (IO 0 i 1), dwa wejścia przetwornika AD AIN (A0-26, A1-27) oraz dwa wyprowadzenia cyfrowe DIN (14 i 15). Układ zasilany jest napięciem 3,3 V z Pi Pico.

Montaż i uruchomienie

Schemat dwustronnej płytki drukowanej został pokazany na **rysunku 2**. Montaż przebiega standardowo i nie wymaga dokładnego opisu. Zmontowany moduł został pokazany od strony złączy na **fotografii 1**. Wyświetlacz, po przylutowaniu taśmy FPC, mocowany jest do płytki grubą dwustronną taśmą samoprzylepną.

Po zmontowaniu można rozpocząć tworzenie aplikacji sterującej, np. za pomocą IDE Thonny, instalując na Pi Pico Micropythona dostępnego do pobrania ze strony: https://bit.ly/361iawY.

Po pobraniu najnowszego pliku (w chwili pisania artykułu był to: *rp2-pico-20210618-v1.16.uf2)* odłączamy płytkę Pico od USB, przyciskamy BOOT i podłączamy ponownie kabel USB. Po instalacji sterowników Pico będzie widoczne jako dysk, na który wgrywamy plik z interpreterem. Po restarcie i uruchomieniu środowiska wgrywany plik testowy *hmi.py* (**listing 1**). Efekt działania skryptu został pokazany na fotografii tytułowej.

Pozostałe peryferia można sprawdzić, modyfikując przykłady dołączone do Micropythona, które można znaleźć w materiałach dodatkowych do artykułu. W przypadku sprawdzania interfejsu UART poprzez przejściówki USB/UART możemy napotkać trudności z prawidłowym rozpoznawaniem płytki Pi Pico przez IDE.

Listing 1. Skrypt testowy hmi.py

```
from machine import Pin, I2C
from ssd1306 import SSD1306_I2C
import framebuf

WIDTH  = 128
HEIGHT = 32

i2c = I2C(0, scl=Pin(21), sda=Pin(20), freq=100000)
oled = SSD1306_I2C(WIDTH, HEIGHT, i2c)

oled.text("EP OLED Test",0,0)
oled.text("RaspbPi_Pico_HMI",0,10)
oled.text("01234567890ABCDEF",0,20)

oled.show()
```

Doraźnym rozwiązaniem jest uruchomienie Thonny w pierwszej kolejności, a później programu terminalu szeregowego, choć nie zawsze skutkuje to oczekiwanymi rezultatami. Niestety oprogramowanie jest jeszcze mocno niedopracowane i nie można wybrać portu, na którym domyślnie odbywa się komunikacja z Pi Pico, a konwerter UART wykrywany jako urządzenie *ESP Micropython device* skutecznie blokuje możliwość uruchamiania aplikacji... nie pozostaje wtedy nic innego, jak odłączenie konwertera i restart IDE.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA

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

eprasa.pl 2897393b21

Podstawowe parametry:

- osiem dowolnie konfigurowalnych wyprowadzeń,
- wyprowadzenia mogą działać jako standardowe GPIO lub jako wejścia ADC albo wyjścia DAC,
- ADC oraz DAC o rozdzielczości 12 bitów,
- wbudowanie źródło napięcia odniesienia,
- wyprowadzenia cyfrowe mogą pracować w konfiguracji otwarty dren (OD), przeciwsobnej push-pull (PP) oraz trójstanowej (tristate).

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

----	Zasilacz bezprzerwowy z akumulatorem litowym dla Raspberry Pi Pico (EP 2/2022)
----	Vintage audio DAC na TDA1387 (EP 2/2022)
AVT5914	Zasilacz buforowy dla RPi Zero (EP 1/2022)
AVT5913	Cyfrowy wzmacniacz audio 2×10 W w formacie RPi Zero (EP 1/2022)
AVT5909	Sterownik czterech mikrosilników dla Pi Zero (EP 12/2021)
AVT5896	Karta sieciowa z PoE dla RPi Zero (EP 10/2021)
AVT5882	Podwójny klucz zasilania High Side (EP 8/2021)
----	Zasilacz PoE do Raspberry Pi (EP 7/2021)
----	Moduł DSP Audio do Raspberry Pi (EP 6/2021)
AVT5858	Płytka bazowa dla Raspberry Pi Pico (EP 5/2021)
AVT5847	Interfejs wyświetlacza TFT-RGB dla RPi Zero (EP 3/2021)
----	Sterownik 18 LED dla Pi Zero (EP 2/2021)
AVT5811	Odtwarzacz audio z Raspberry Pi (EP 10–12/2020)
----	Kieszonkowy Linux (EP 9/2020)
AVT5776	Miniaturowa czujka ruchu dla Raspberry Pi, Arduino i nie tylko (EP 6/2020)

* 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

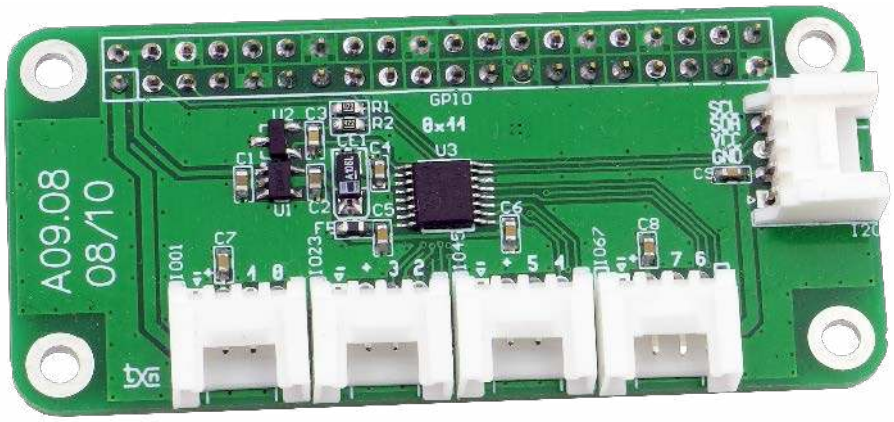
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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.

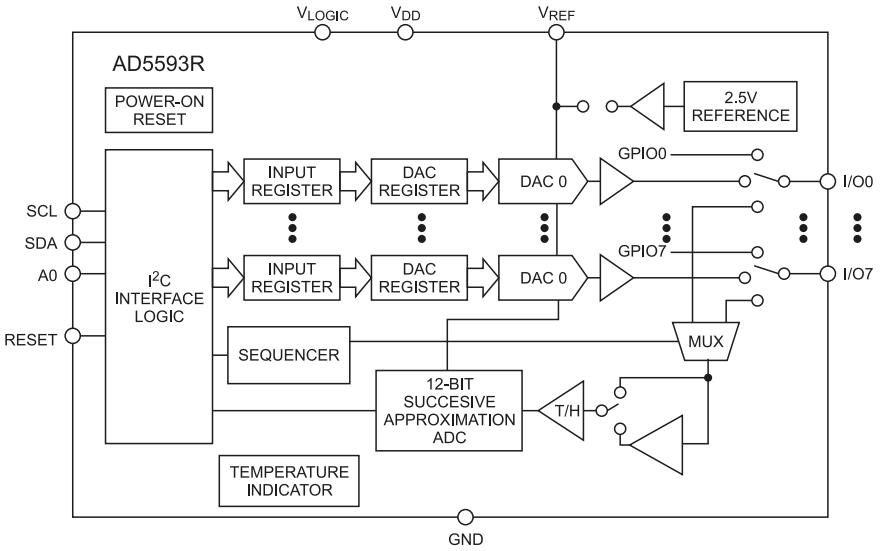
W przypadku braku dostępności na stronie sklepu osoby zainteresowane zakupem płytek drukowanych (PCB) prosimy o kontakt Via e-mail: kity@avt.pl.

Moduł multiIO dla RPI Zero

Moduł rozszerza możliwości komputerka Raspberry Pi Zero o osiem dowolnie konfigurowalnych wyprowadzeń. Mogą działać jako standardowe GPIO lub jako wejścia ADC albo wyjścia DAC. Będzie szczególnie przydatny przy realizacji domowej automatyki oraz aplikacji sterujących zawierających również inne SBC niż RPi.



Moduł bazuje na układzie Analog Devices typu AD5593R, którego struktura wewnętrzna została pokazana na **rysunku 1**. Układ umożliwia tworzenie ośmiokanałowych ekspanderów GPIO realizujących zarówno funkcje cyfrowe, jak i analogowe. Wyprowadzenia cyfrowe mogą pracować w konfiguracji otwarty dren (OD), przeciwsobnej push-pull (PP) oraz trójstanowej (*tristate*). Wyprowadzenia analogowe mogą pełnić funkcję przetwornika ADC/DAC o rozdzielczości 12 bitów. Aplikację układu ułatwia wbudowanie źródło napięcia odniesienia, konfigurowane rezystory *pull-down* oraz programowany zakres napięć ADC/DAC 0...Vref/0...2×Vref. W strukturze dostępny jest też czujnik temperatury.



Rysunek 1. Struktura wewnętrzna układu AD5593R

Budowa i działanie

Schemat ideowy układu został pokazany na **rysunku 2**. Moduł jest zgodny z Raspberry Pi Zero (HAT 40 PIN), zawiera układ U3 typu AD5593R, układ resetu MCP100T (U2) oraz niskoszumowy stabilizator U1 typu ADM7160. Całość zasilana jest napięciem 5 V z RPI. Sygnały GPIO wraz z zasilaniem doprowadzone są do złączy IO01...IO67 zgodnych ze standardem Grove. Złącze I2C umożliwia wyprowadzenie magistrali I²C do innych współpracujących modułów (standard 3,3 V).

Montaż i uruchomienie

Moduł został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej, której schemat pokazuje **rysunek 3**. Sposób montażu jest klasyczny i nie wymaga opisu. Prawidłowo zmontowany nie wymaga uruchomienia.

Dla wstępnego sprawdzenia działania konieczna jest instalacja narzędzi magistrali I²C. Należy wpisać w konsoli następujące polecenia:

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

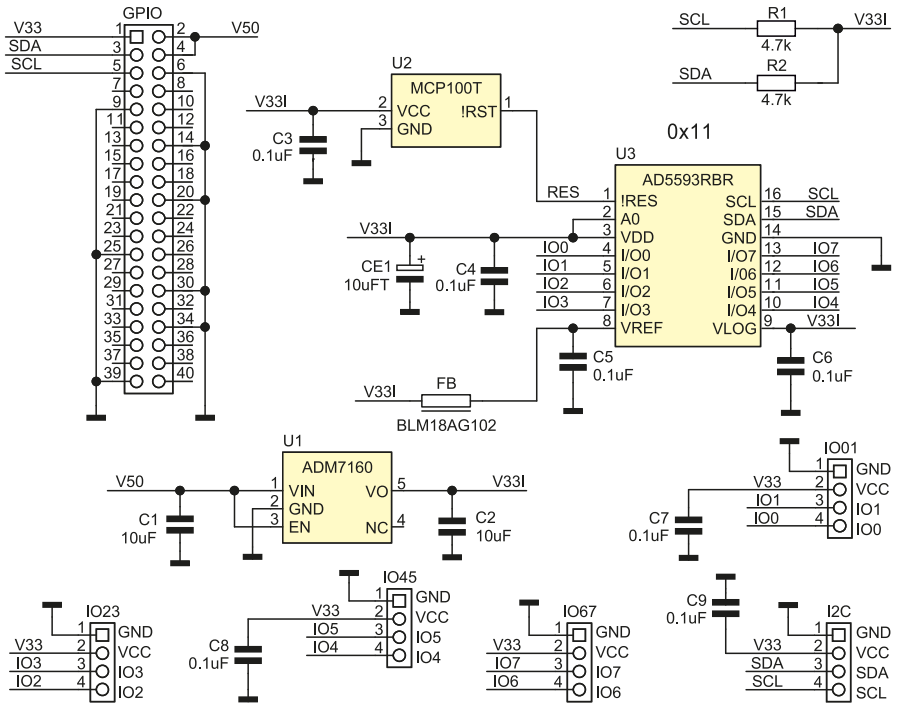
Rezystory:
R1, R2: 4,7 kΩ (SMD0603) 1%

Kondensatory:
C1, C2: 10 µF (SMD0603)
CE1: 10 µF tantalowy (SMD3216)
C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9: 0,1 µF (SMD0603)

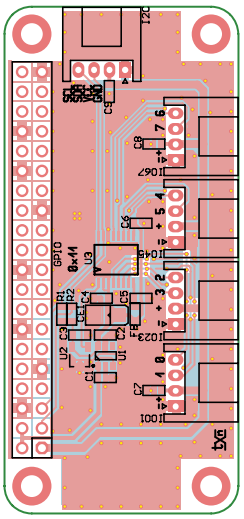
Półprzewodniki:
U1: ADP7160AUJZ (SOT-23-5)
U2: MCP100T (SOT-23)
U3: AD5593RBRUZ (SSOP16)

Pozostałe:
FB: koralik ferrytowy BLM18AG102 (SMD0603)
GPIO: złącze żeńskie IDC 2×20 pinów
I2C, IO01, IO23, IO45, IO67: złącze Grove kątowe 110990037

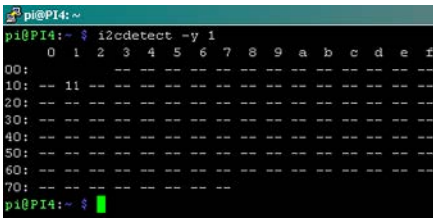
eprasa.pl 2897393b21



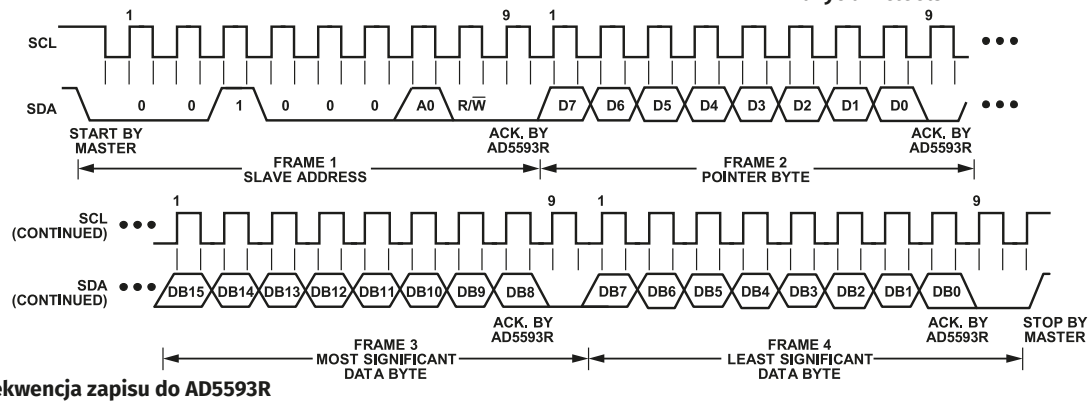
Rysunek 2. Schemat ideowy układu



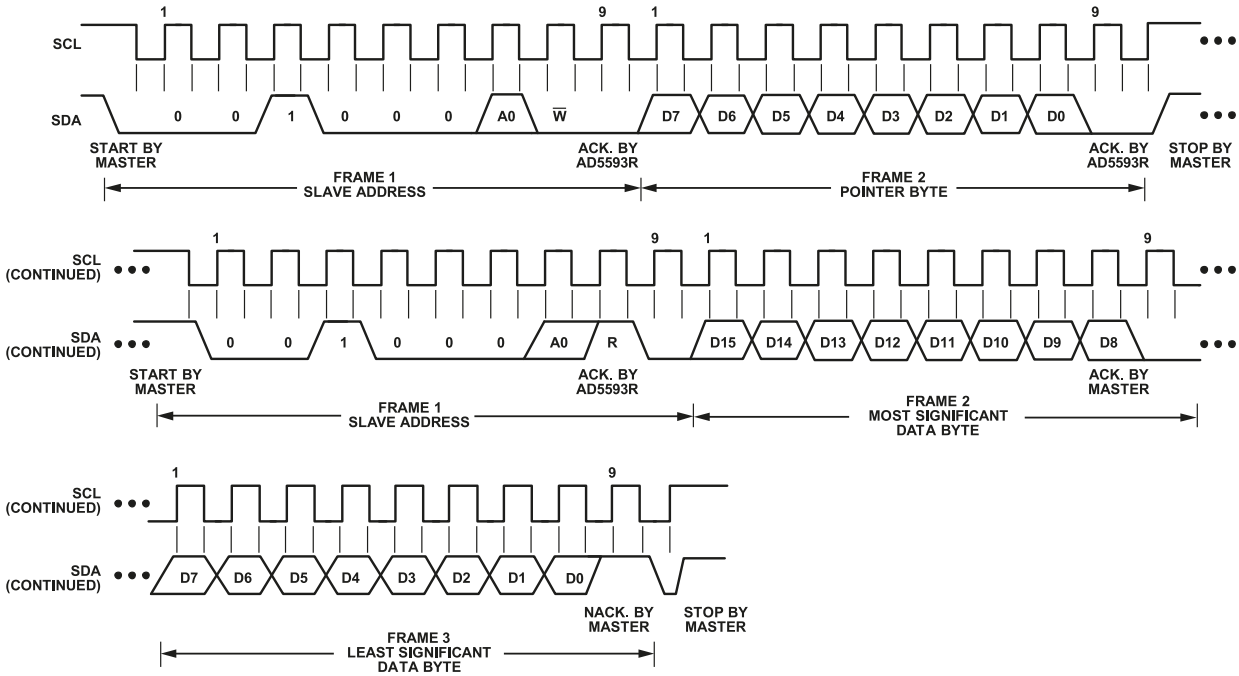
Rysunek 3. Schemat płytki PCB



Rysunek 4. Układ AD5593R wykryty przy użyciu *i2ctools*



Rysunek 5. Sekwencja zapisu do AD5593R



Rysunek 6. Sekwencja odczytu rejestrów AD5593R

eprasa.pl 2897393b21

Tabela 1. Wartości bitów dla wskaźnika danych

D7	D6	D5	D4	Funkcja
0	0	0	0	Tryb konfiguracji
0	0	0	1	Zapis DAC
0	1	0	0	Odczyt ADC
0	1	0	1	Odczyt DAC
0	1	1	0	Odczyt GPIO
0	1	1	1	Odczyt Register

Tabela 2. Mapa rejestrów AD5593R

Pointer Byte	Nazwa rejestru	Funkcja
00000000	NOP	Brak operacji do wykonania
00000010	ADC sequence register	Wybór wejść ADC podlegających konwersji
00000011	General-purpose control register	Rejestr kontrolny dla ADC i DAC
00000100	ADC pin configuration	Określa, które wyprowadzenia działają jako wejścia ADC
00000101	DAC pin configuration	Określa, które wyprowadzenia działają jako wyjścia DAC
00000110	Pull-down configuration	Określa, które wyprowadzenia mają aktywny rezystor pull-down (85 kΩ do GND)
00000111	LDAC mode	Określa działanie wykonywane przy zapisie nowej wartości do DAC
00001000	GPIO write configuration	Określa, które wyprowadzenia działają jako wyjścia GPIO
00001001	GPIO write data	Ustawia stan wyjść GPIO
00001010	GPIO read configuration	Określa, które wyprowadzenia działają jako wejścia GPIO
00001011	Power-down/reference control	Wyłącza DAC oraz źródło napięcia odniesienia
00001100	Open-drain configuration	Konfiguruje wyjścia jako open-drain lub push-pull
00001101	Three-state pins	Określa, które wyprowadzenia działają jako trójstanowe
00001110	Reserved	–
00001111	Software reset	Pozwala wyzerować ustawienia układu

```
sudo apt-get install python-smbus
sudo apt-get install i2c-tools
```

Po instalacji i restarcie RPI należy sprawdzić obecność AD5593R poleceniem:

```
i2cdetect -y 1
```

Efekt powinien być podobny do tego pokazanego na **rysunku 4**. Układ powinien pojawić się pod adresem 0x11.

Wszystkie funkcje AD5593R definiowane są programowo poprzez odpowiedni zapis rejestrów konfiguracyjnych/danych. Zapis do układu wymaga zgodnie z **rysunkiem 5** przesłania 4 bajtów informacji. W zależności od wartości wskaźnika (*Pointer Byte*, drugi wysyłany bajt) możliwe jest zapisywanie do rejestrów danych lub konfiguracji – **tabele 1** i **2**. Sposób odczytu rejestrów AD5593R został pokazany na **rysunku 6**.

Dla sprawdzenia działania modułu skonfigurujemy GPIO0 jako cyfrowe wyjście:

```
i2cset -y 1 0x11 0x0F 0x00 0x00 i
i2cset -y 1 0x11 0x08 0x00 0x01 i
```

Następnie ustawimy wyjście 0 w stan wysoki:

```
i2cset -y 1 0x11 0x09 0x00 0x01 i
```

oraz niski:

```
i2cset -y 1 0x11 0x09 0x00 0x00 i
```

Pozostałe wyprowadzenia GPIO 7...1 skonfigurujemy jako wejścia:

```
i2cset -y 1 0x11 0x0A 0x00 0xxFE i
```

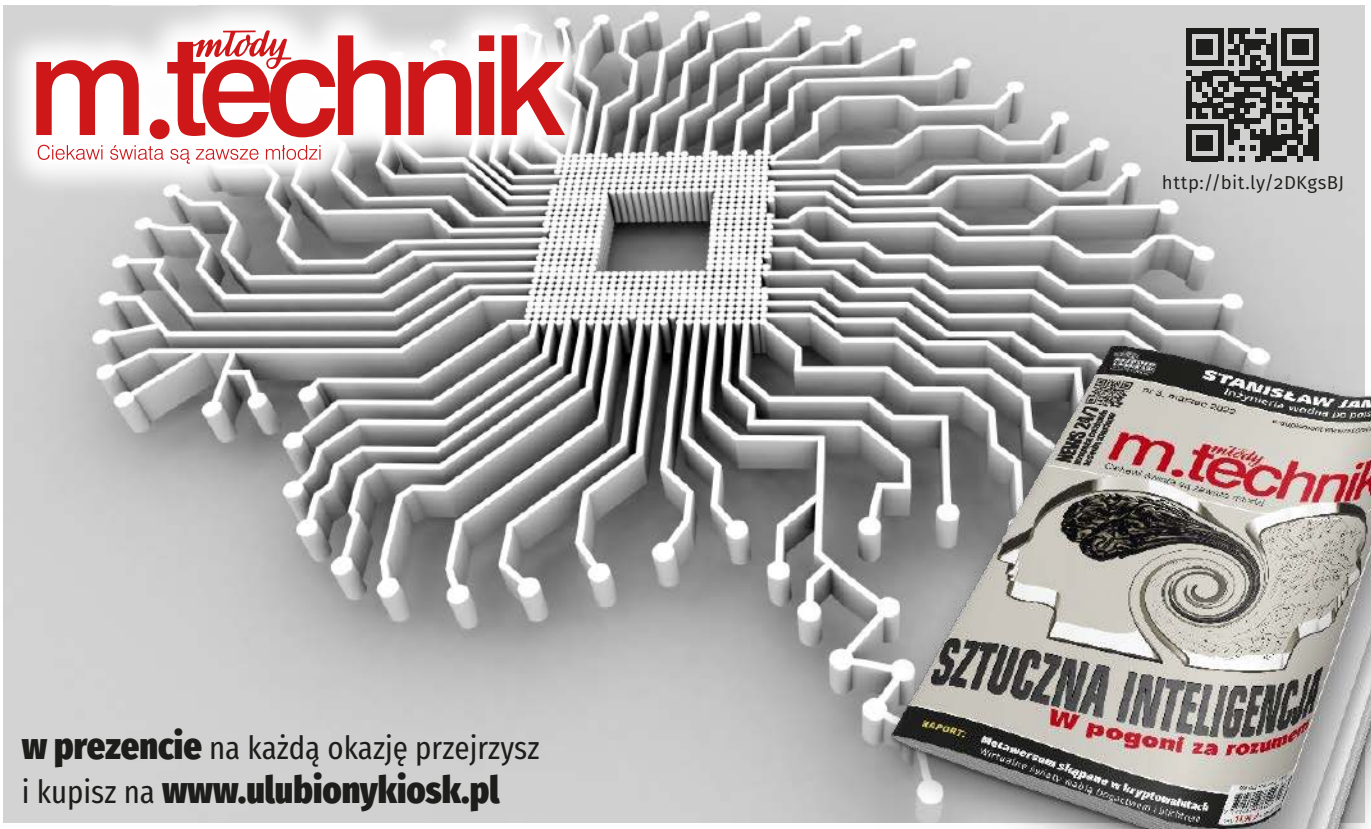
i odczytamy ich stan:

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

Jeżeli wszystko działa prawidłowo, można przejść do tworzenia własnej aplikacji.

Adam Tatuś, EP

REKLAMA



eprasa.pl 2897393b21

AVT sklep

W ofercie AVT*

AVT5923

Podstawowe parametry:

- regulacja poprzez modulację PWM w zakresie od 0 do 100%,
- automatyczna zmiana polaryzacji napięcia wyjściowego,
- obsługa jednym pokrętłem: położenie środkowe wyłącza silnik, skręcenie w bok powoduje ruch w zadanym kierunku,
- częstotliwość sygnału PWM: ok. 600 Hz,
- maksymalny prąd wyjściowy: 4 A,
- zasilanie napięciem stałym z zakresu 9...18 V, typowo 12 V.

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

AVT5879 Monitor pracy wentylatora (EP 8/2021)
Projekt 246 Sterownik wentylatora wyciągu łazienkowego (kuchennego) (EP 10/2019)
AVT5698 Sterownik wentylatorów 12 V dużej mocy (EP 8/2019)
AVT5653 Sterownik mikrowentylatora (EP 11/2018)
––– Uniwersalny driver silnika małej mocy (EP 3/2018)
AVT1981 Sterownik wentylatora z płynną zmianą obrotów (EP 1/2018)
AVT5612 Dwukierunkowy regulator obrotów silnika prądu stałego (EP 12/2017)
AVT5565 Sterownik silnika do napędu (EP 10/2016)
AVT1855 Sterownik wentylatora z czujnikiem wilgotności powietrza (EP 5/2015)
AVT3082 Zasilacz – sterownik miniwiertarki DC (EdW 1/2014)
AVT1724 Uniwersalny sterownik silników DC (EP 2/2013)
AVT1596 Regulator obrotów wentylatora (EP 10/2010)

* 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

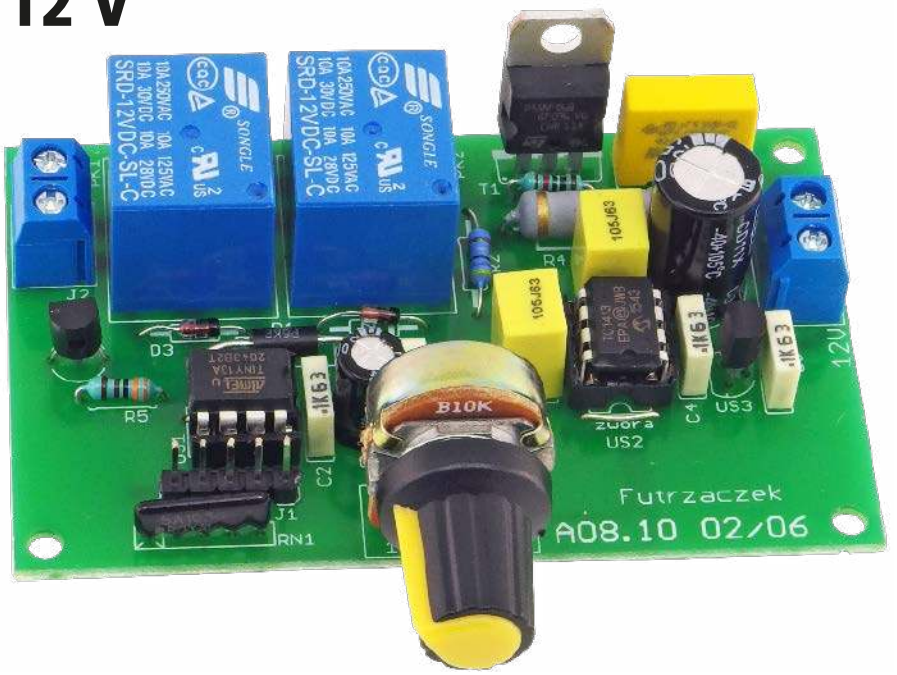
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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.

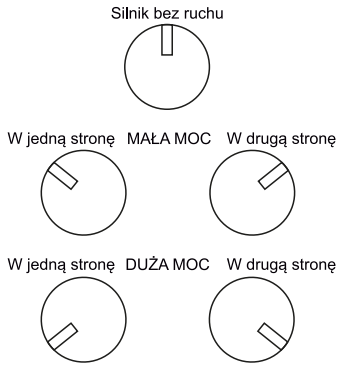
Płynny regulator prędkości i kierunku obrotów silnika 12 V

Regulatory PWM do sterowania prędkością obrotową silników prądu stałego są dostępne w wielu wykonaniach. Część z nich ma wbudowaną możliwość zmiany kierunku obrotów wału silnika, co odbywa się poprzez przełączenie oddzielnego przycisku lub przestawienie dźwigni. Zaprezentowany układ pozwala zmieniać zarówno szybkość obrotową, jak i kierunek obrotów przy użyciu tylko jednego pokrętła.



Obsługa suwnicy, wciągarki, ramienia czy innej maszyny tego typu wymaga od jej operatora precyzyjnego sterowania elementem napędowym w obie strony. Musi mieć możliwość jego przyspieszenia, zwolnienia oraz płynnej zmiany kierunku obrotów silnika, który jest elementem wykonawczym. Dlatego regulator PWM do silników prądu stałego wydaje się idealny.

Ale obsługa maszyny, w której jedno pokrętło służy jako regulator prędkości obrotowej, a drugi podzespół (np. przełącznik) odpowiada za zmianę kierunku obrotów jest niewygodne i nieintuicyjne. Lepiej byłoby mieć tylko jedno pokrętło, które przekręcamy w lewo lub w prawo – im większy kąt obrotu, tym szybciej porusza się nasz mechanizm. Powrót gałki do położenia neutralnego powoduje zatrzymanie silnika.



Rysunek 1. Reakcja układu na kąt obrotu osi potencjometru

Właśnie do realizacji tego typu sterowania służy opisany układ. Operator trzyma w dłoni tylko jeden element, jakim jest pokrętło potencjometru, a elektronika odpowiada za zmianę kierunku obrotów silnika oraz jego przyspieszanie i zwalnianie. Zasadę działania tego układu, a dokładniej sposób reagowania na kąt obrotu osi potencjometru, pokazano na **rysunku 1.**

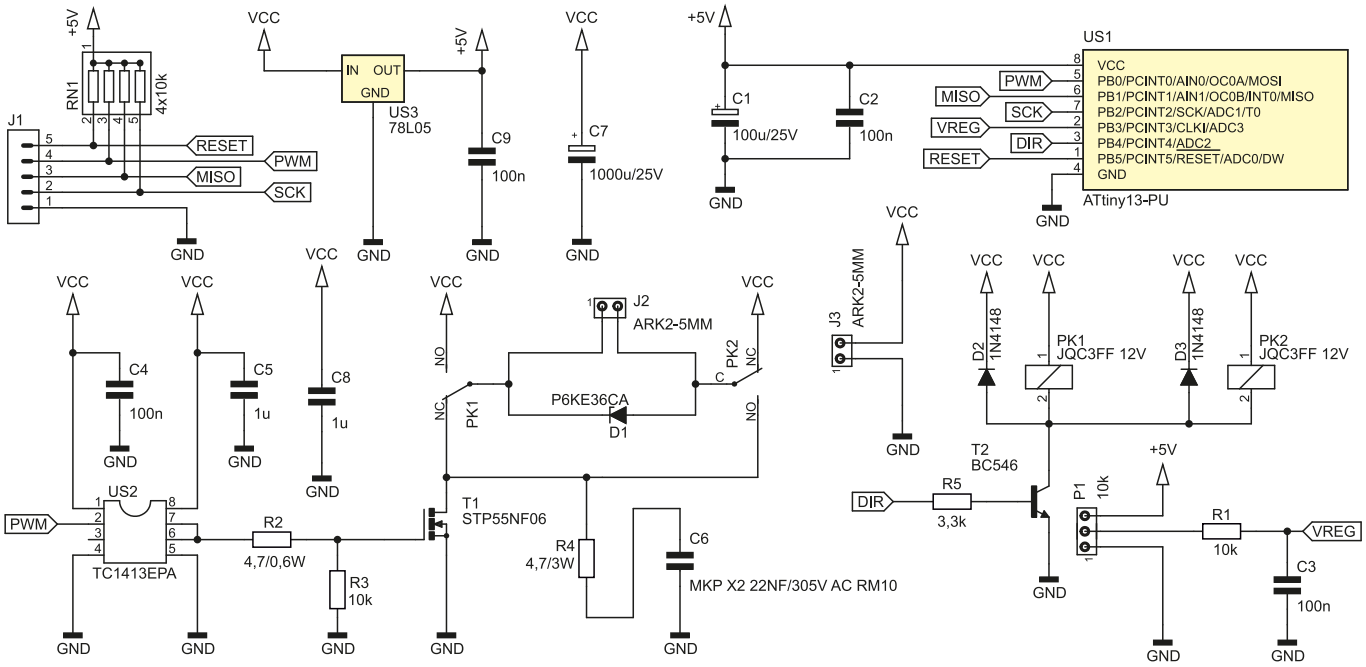
Budowa i działanie

Schemat ideowy regulatora został pokazany na **rysunku 2**. Główną rolę odgrywa w nim mikrokontroler ATtiny13, którego parametry są wystarczające do tego zastosowania. Do zaprogramowania pamięci programu można użyć złącza J1, na które wyprowadzono wszystkie sygnały niezbędne przy programowaniu ISP (In-System Programming). Rezystory drabinki RN1 ustalają potencjały sygnałów w momencie, kiedy nie są używane.

Do odczytu kąta obrotu potencjometru służy przetwornik analogowo-cyfrowy mikrokontrolera, który mierzy pojawiające się na ślizgaczu napięcie. Sam potencjometr został włączony do układu jako dzielnik napięcia zasilającego mikrokontroler, które wynosi około 5 V. Jednak potencjał ślizgacza może ulegać pewnym fluktuacjom względem masy układu, do czego mogą przyczyniać się zarówno zakłócenia elektromagnetyczne, jak i niedoskonałości samego elementu mechanicznego. Z tego powodu między potencjometrem a wejściem przetwornika został włączony bardzo prosty filtr RC, złożony z rezystora R1 i kondensatora C3, który tę niepożądaną składową tłumi.

Regulacja PWM sygnałem wygenerowanym przez mikrokontroler odbywa się poprzez kluczowanie tranzystora MOSFET z kanałem typu N. Do sterowania jego bramką został użyty specjalizowany driver. Rezystor R2 ogranicza prąd bramki w momencie przeładowywania oraz nieco wydłuża ten proces, aby ograniczyć natężenie zakłóceń elektromagnetycznych wywpoływanych przez przełączaną indukcyjność uzwojenia silnika. Temu

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 2. Schemat ideowy płynnego regulatora obrotów

samemu służy gasik, w skład którego wchodzą elementy R4 i C6.

Zmiana kierunku obrotów silnika odbywa się poprzez przełączenie styków przekaźników PK1 i PK2. W położeniu spoczynkowym prawy zacisk złącza J2 ma potencjał dodatni, a lewy zerowy. Przestawienie obu zestyków jednocześnie zamienia biegunowość. To bardzo proste rozwiązanie niweluje konieczność stosowania w układzie pełnego mostka H, który wprowadzałby więcej strat i generował problemy ze sterowaniem wszystkich czterech tranzystorów wchodzących w jego skład. Tutaj pojedynczy tranzystor steruje mocą silnika (od 0 do 100%), a przekaźniki zmieniają kierunek obrotów wału. Dioda D1 ogranicza amplitudę powstających przepięć, aby nie doszło do uszkodzenia tranzystora T1.

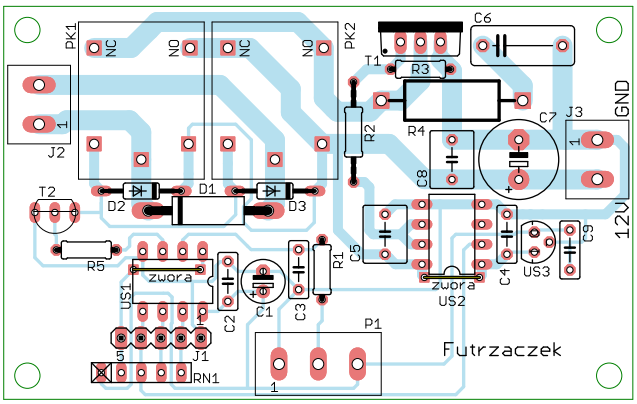
Cewki przekaźników PK1 i PK2 nie wymagają szczególnego sterowania. Wystarczy zwykły klucz na niemal dowolnym tranzystorze bipolarnym jak BC546, aby mikrokontroler mógł je załączać. Diody zabezpieczające, D2 i D3, zostały umieszczone przy każdej cewce przekaźnika, aby długość drogi prądu wynikającego z samoindukcji była możliwie krótka.

Silnik, driver tranzystora MOSFET i cewki przekaźników są zasilane wprost z napięcia zasilającego cały układ, co nakłada na jego wartość pewne ograniczenia – o czym dalej. Z kolei mikrokontroler otrzymuje napięcie stabilizowane przez układ US3. Moc strat w nim wydzielana jest na tyle mała, że użycie w tej roli przetwornicy impulsowej mijałoby się z celem.

Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na jednostronnej płytce drukowanej o wymiarach 80×50 mm. Jej schemat został pokazany na **rysunku 3**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm. Montaż proponuję rozpocząć od dwóch zworek z cienkiego drutu oraz elementów o najmniejszej wysokości obudowy. Pod układy scalone warto zastosować podstawki, zwłaszcza pod mikrokontroler US1, aby łatwiej było go wymienić w razie ewentualnego uszkodzenia. Zmontowana płytka jest widoczna na fotografii tytułowej.

Maksymalny prąd pobierany przez silnik może wynosić około 4 A i to ograniczenie wnika z szerokości ścieżek znajdujących się na powierzchni obwodu drukowanego. Tranzystor T1 ma stosunkowo małą rezystancję otwartego kanału (około 15 mΩ) i większość strat w nim wynika z niezerowego czasu przełączania. Przy przepływie prądu o natężeniu do ok. 2 A nie jest wymagane jego dodatkowe chłodzenie, a dla większych polecam przykręcić go do niewielkiego radiatora. Można też



Rysunek 3. Schemat płytki drukowanej

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

Rezystory:
R1, R3: 10 kΩ 0,25 W
R2: 4,7 Ω 0,6 W
R4: 4,7 Ω 3W
R5: 3,3 kΩ 0,25W
RN1: 4×10 kΩ SIL5
P1: 10 kΩ liniowy, jednoobrotowy, do obudowy (opis w tekście)

Kondensatory:
C1: 100 μF 25 V raster 2,5 mm
C2...C4, C9: 100 nF raster 5 mm MKT
C5, C8: 1 μF raster 5 mm MKT
C6: MKP X2 22NF/305V AC RM10
C7: 1000 μF 25 V raster 5 mm

Półprzewodniki:
D1: P6KE36CA
D2, D3: 1N4148
T1: STP55NF06 (opis w tekście)
T2: BC546 lub podobny
US1: ATtiny13-PU (DIP8)
US2: TC1413EPA (DIP8)
US3: 78L05 (TO92)

Pozostałe:
J1: goldpin 5 pin męski 2,54 mm THT
J2, J3: ARK2/500
PK1, PK2: JQC3FF 12 V SPDT
Dwie podstawki DIP8
Dwie zworki z drutu

eprasa.pl 2897393b21

użyć innego, tańszego tranzystora o tym samym rozstawie wyprowadzeń (np. IRF530), godząc się z koniecznością zapewnienia mu lepszego chłodzenia.

W ramach czynności uruchomieniowych należy ustawić bity zabezpieczające mikrokontrolera ATtiny13 na wartosci: Low Fuse = 0x7A, High Fuse = 0xF9. Spowoduje to wyłączenie wbudowanego dzielnika częstotliwości sygnału zegarowego przez 8 oraz uruchomienie obwodu Brown-Out Detector, który będzie monitorował napięcie zasilające mikrokontroler i wyłączy go, jeżeli napięcie zasilania spadnie poniżej 4,3 V. Szczegóły znajdują się na **rysunku 4**. Trzeba również zaprogramować pamięć Flash dostarczonym wsadem w postaci pliku hex.

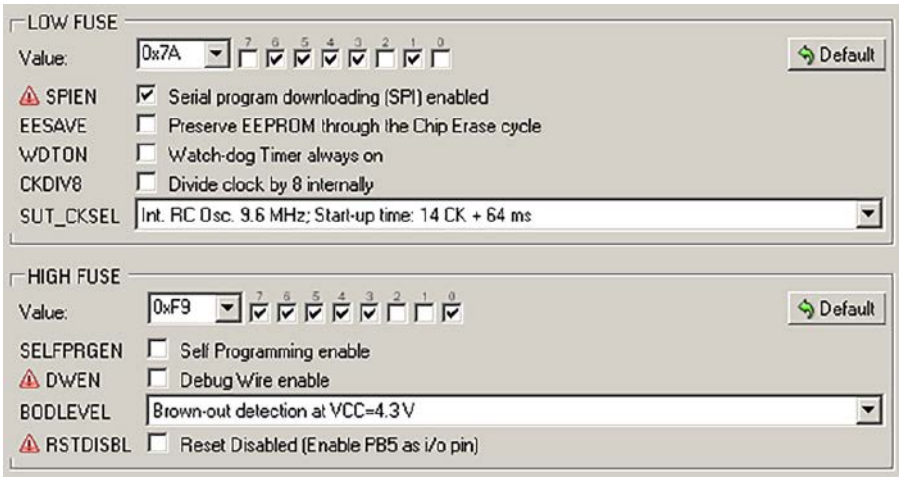
Obie wskazane wyżej czynności można wykonać w dwojaki sposób. Jednym z nich jest włożenie mikrokontrolera w podstawkę programatora, a potem przełożenie do układu. Natomiast drugi wariant polega na podłączeniu programatora typu ISP (np. bardzo popularnego USBASP) do złącza J1, na które zostały wyprowadzone odpowiednie sygnały.

Zasilanie układu wymaga podania napięcia stałego o wartości około 12 V (lub z przedziału 9…18 V). Dolna granica wynika z konieczności prawidłowego sterowania tranzystorem MOSFET. Górny limit napięcia zasilającego układ to efekt troski o izolację podbramkową tego elementu oraz wytrzymałość cewek przekaźników. Tym samym napięciem jest też zasilany sterowany silnik. Pobór prądu przez układ nie przekracza 60 mA przy zasilaniu napięciem 12 V.

Potencjometr P1 nie musi być obrotowy, można z równie dobrym skutkiem użyć suwakowego. Pola lutownicze pod potencjometr zostały tak dobrane, że pasują pod listwę zaciskową ARK3/500, do której można potem wygodnie przykręcić przewody łączące płytkę z potencjometrem, jeżeli ma się on znajdować poza jej obrysem.

Częstotliwość sygnału PWM, który steruje mocą dostarczaną do silnika, wynosi około 600 Hz. Teoretycznie powinna wynosić 586 Hz, lecz dokładna wartość zależy od temperatury i rozrzutów między poszczególnymi egzemplarzami mikrokontrolerów. Z tego powodu może być słyszalne piszczenie uzwojeń silnika w trakcie jego pracy, zwłaszcza z niskim wypełnieniem (przy małej mocy).

Michał Kurzela, EP



Rysunek 4. Okno konfiguracji bitów zabezpieczających programu BitBurner

AVT sklep

Podstawowe parametry:

- cykliczne pulsowanie dołączoną do układu taśmą LED 12 V,
- zakres regulacji częstotliwości od 4,166 Hz (250 rpm) do 25 Hz (2400 rpm),
- jednoczesne wyświetlanie częstotliwości w hercach [Hz] i obrotach na minutę [rpm],
- rozdzielczość regulacji 1 rpm,
- wypełnienie błysków 1%,
- regulacja zgrubna i dokładna przy użyciu dwóch potencjometrów,
- wyświetlacz LCD alfanumeryczny 2×8 znaków z podświetleniem,
- zasilanie 9...16 V, typowo 12 V.

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

AVT2799 Mikroprocesorowy obrotomierz stroboskopowy (EdW 9/2006)

W ofercie AVT*

AVT5924

* 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

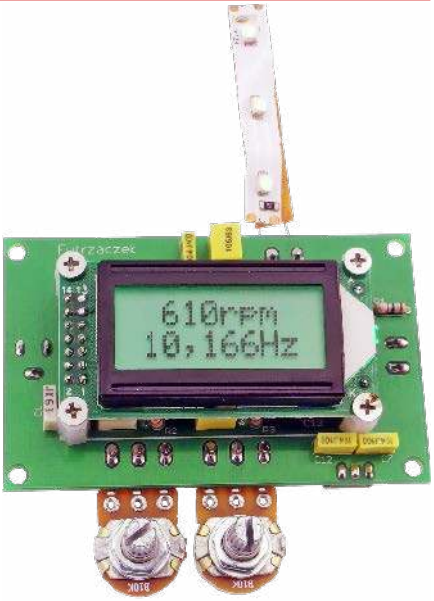
Kity, w których występuje układ scalony wymagający zaprogramowania, mają następujące dodatkowe wersje:
- wersja [A+] – płytka drukowana [A] + zaprogramowany układ [UK] i dokumentacja
- wersja [UK] – zaprogramowany układ

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.

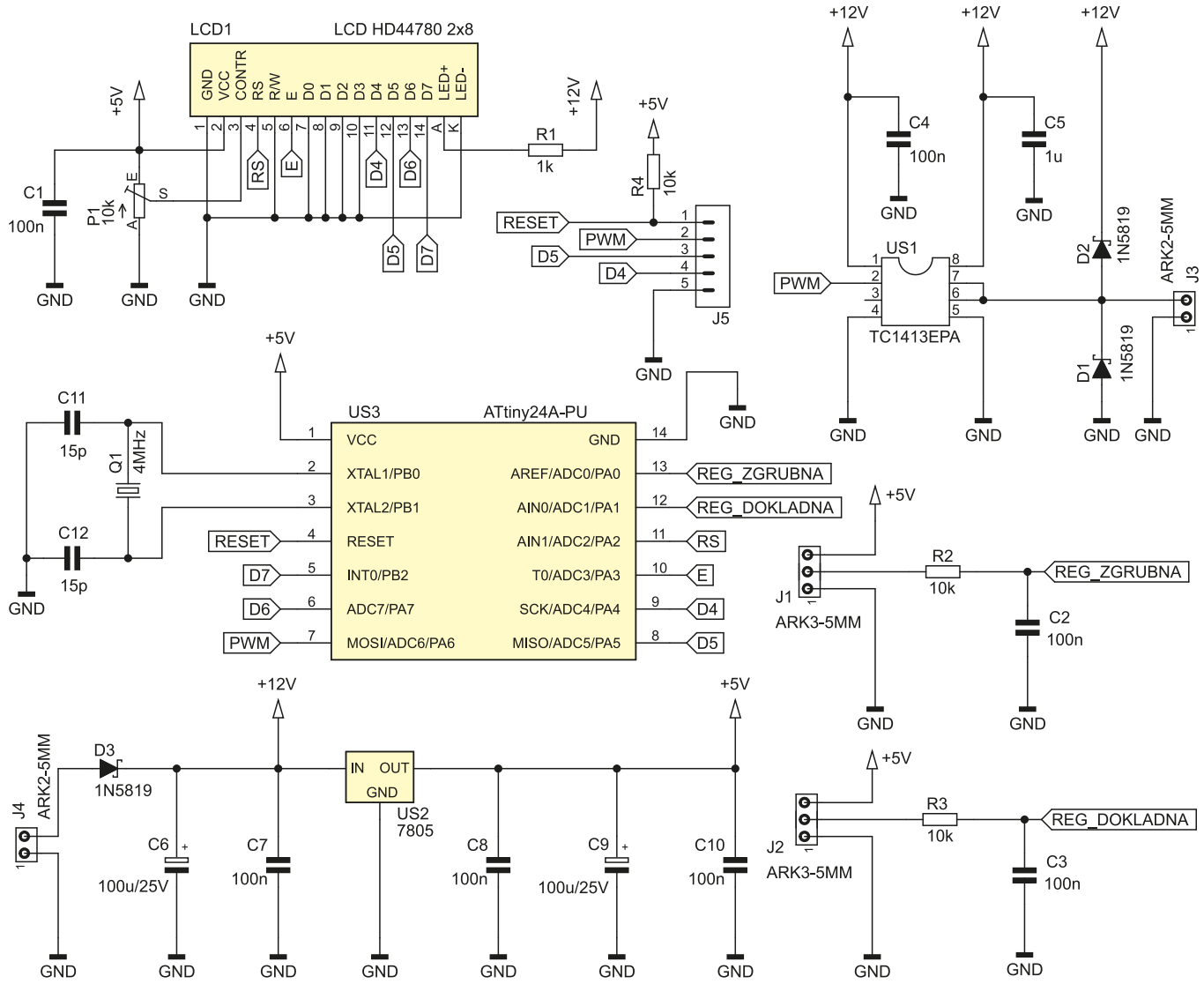
Stroboskop cyfrowy LED

Stroboskopy to układy elektroniczne, które w regularnych odstępach czasu generują krótkie błyski światła. Większość z nich odmierza zadane interwały niezbyt precyzyjnie, ponieważ bazują na prostych generatorach RC. Zaprezentowany układ pozwala na bardzo dokładne ustalenie częstotliwości błysków oraz umożliwia odczyt zadanej wartości.



Do czego taki układ może się przydać? Załóżmy, że mamy w urządzeniu wał napędowy, którego szybkość obrotowa wynosi około 1000 rpm. Musimy poznać dokładną wartość tego parametru, ale nie ma miejsca na zamontowanie jakichkolwiek enkoderów czy innych przetworników umożliwiających pomiar wprost. Jeżeli naniesiemy na nim zwykłą, białą kreskę i będziemy oświetlać go cyklicznie powtarzającymi się impulsami światła, to w momencie zrównania się obu tych częstotliwości uzyskamy wrażenie

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 1. Schemat ideowy stroboskopu cyfrowego

zatrzymania się kreski w miejscu – tak zwany efekt stroboskopowy. Ze skali przyrządu możemy wtedy odczytać szybkość obrotową.

Zaprzęgnięcie do tej roli układu cyfrowego ma dwie zalety. Po pierwsze, umożliwiło łatwe użycie rezonatora kwarcowego jako wzorca częstotliwości, przez co generowane błyski są powtarzane z naprawdę dużą dokładnością. Po drugie, nie potrzeba oscyloskopu ani żadnego zewnętrznego przyrządu do pomiaru tej częstotliwości, ponieważ jest ona wyświetlana wprost na niewielkim, czytelnym ekranie, od razu wyrażona w hercach i obrotach na minutę.

Diody LED mają wiele zalet w odniesieniu do klasycznego palnika. Takie rozwiązanie może być zdecydowanie tańsze. Palniki mają znacznie krótszą żywotność niż diody LED i coraz trudniej je kupić. Możemy znacznie łatwiej regulować jasność diod LED niż palników. Gama dostępnych kolorów, kształtów, mocy i wariantów wykonań też wypada znacznie korzystniej w przypadku półprzewodnikowych źródeł światła. Co równie istotne, diody nie generują szkodliwego promieniowania UV, co palnikom zdarza się nader często, więc bezpośrednia ekspozycja takiego światła na powierzchnię skóry i oczu jest zdecydowanie mniej szkodliwa.

Budowa i działanie

Schemat ideowy stroboskopu cyfrowego został pokazany na **rysunku 1**. Głównym elementem układu jest mikrokontroler typu ATtiny24A (US3). Jego rdzeń jest taktowany sygnałem zegarowym o częstotliwości 4 MHz, którego źródłem jest wbudowany generator z dodatkowym, zewnętrznym rezonatorem kwarcowym. Kondensatory C11 i C12 ułatwiają wzbudzenie drgań rezonatora. Dokładny wzorzec częstotliwości to podstawa dla prawidłowej pracy tego urządzenia.

Czytelny wyświetlacz o organizacji 2 wiersze po 8 znaków wystarcza do tego, aby w pełni wyświetlić zadane wartości. Komunikacja z mikrokontrolerem zachodzi przy użyciu sześciu linii sygnałowych, co jest charakterystyczne dla kontrolera zgodnego z HD44780. Kontrast ustawia się

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):

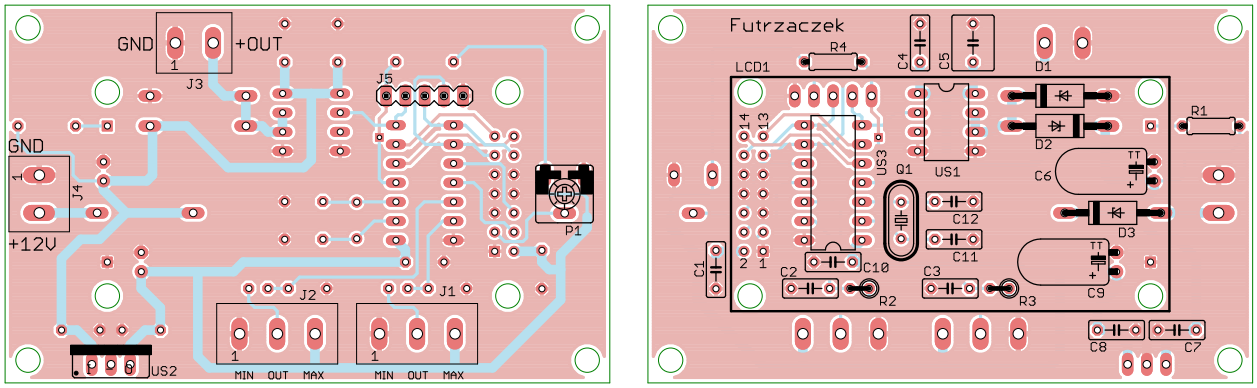
Rezystory: (THT o mocy 0,25 W)
R1: 1 kΩ
R2...R4: 10 kΩ
P1: 10 kΩ montażowy leżący

Kondensatory:
C1...C4, C7, C8, C10: 100 nF raster 5 mm MKT
C5: 1 μF raster 5 mm MKT
C6, C9: 100 μF 25 V raster 2,5 mm
C11, C12: 15 pF raster 5 mm monolityczne

Półprzewodniki:
D1...D3: 1N5819
LCD1: 2×8, zgodny z HD44780
US1: TC1413EPA (DIP8)
US2: 7805 (TO220)
US3: ATtiny24A-PU (DIP14)

Pozostałe:
J1, J2: ARK3/500
J3, J4: ARK2/500
J5: goldpin 5×1, 2,54 mm THT
Q1: 4 MHz niski
Jedna podstawka DIP8
Jedna podstawka DIP14
Dwa potencjometry 10 kΩ jednoobrotowe liniowe
Złącze męskie i żeńskie goldpin 2×7, 2,54 mm
Dwa złącza męskie i żeńskie goldpin 1 pin, 2,54 mm
Cztery tuleje dystansowe, gwint wewnętrzny M3 12 mm poliamid
Osiem śrub M3 6 mm

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 2. Schemat płytki PCB

potencjometrem P1. Natężenie prądu diody podświetlającej ogranicza rezystor R1 – jest ona na tyle jasna, że umożliwia wygodny odczyt, a jednocześnie nie będzie niepotrzebnie drażniła wzroku.

Programowanie mikrokontrolera może się odbyć zarówno po wyjęciu go z układu (w podstawce programatora układów AVR), jak i poprzez złącze J5. Na jego wyprowadzenia są dołączone wszystkie linie mikrokontrolera, które są wymagane przez programator ISP. Niektóre są współdzielone przez wyświetlacz, lecz nie ma to wpływu na proces programowania. Jedno wyprowadzenie jest używane również przez sterownik taśmy LED, więc w trakcie programowania będzie widoczne jej migotanie. Dlatego lepiej odłączyć taśmę na ten czas.

Zadawanie ustawień odbywa się przez obracanie osi potencjometrów podłączonych do złączy J1 i J2. Potencjometry są włączone do układu jako regulowane dzielniki napięcia – uzyskiwane z nich napięcia są cyklicznie mierzone przez mikrokontroler. Aby zmniejszyć wpływ zakłóceń oraz przerw w kontakcie między ślizgaczem a ścieżką oporową, zostały dodane proste filtry dolnoprzepustowe o częstotliwości odcięcia około 160 Hz. Po uwzględnieniu rezystancji wewnętrznej dzielnika oporowego wartość ta będzie jeszcze niższa. Dodatkowo mikrokontroler uśrednia zebrane wyniki, aby finalnie uzyskać stabilne wartości. Potencjometr regulacji dokładnej może regulować w zakresie od 0 do 102 rpm. Z kolei potencjometr regulacji zgrubnej dodaje do liczby wskazywanej na wyświetlaczu wartość z przedziału 0…2048. Ponieważ minimalna częstotliwość błysków wynosi 250 rpm (oba potencjometry skręcone na minimum, w stronę masy), maksimum wynosi 250+102+2048=2400 rpm.

Do sterowania taśmą LED nie został użyty tradycyjny klucz na tranzystorze bipolarnym lub MOSFET, lecz układ półmostkowy. Eksperymenty wykazały, że przy tak niskim wypełnieniu impulsów zasilających diody oraz przy wysokiej częstotliwości ich powtarzania dochodziło do „zlewania się" kolejnych błysków światła. Najprawdopodobniej odpowiedzialna za to jest pojemność dyfuzyjna diod. Przyłożenie napięcia o przeciwnej polaryzacji przyspiesza jej przeładowanie i zanik świecenia. Dlatego w tym układzie znalazł zastosowanie szybki sterownik tranzystorów MOSFET – problem z przeładowywaniem pojemności diod jest podobny do tego, który występuje przy przeładowywaniu pojemności wejściowej bramki tranzystora unipolarnego. Istotną różnicą jest ciągły pobór prądu przez diody, co powoduje wydzielanie ciepła w strukturze tego układu sterującego. To ogranicza dopuszczalną długość łańcucha diod.

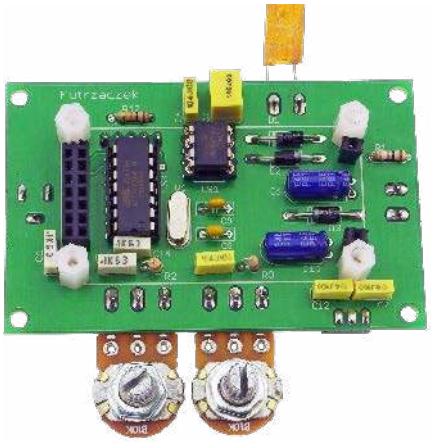
Wyjście układu sterującego jest zabezpieczone diodami D1 i D2, których zadaniem jest obcinanie impulsów napięcia wykraczającego poza zakres jego napięcia zasilania. Takie impulsy mogą powstawać w indukcyjnościach długich przewodów połączeniowych przy przepływie impulsowego prądu o stromych zboczach. Kondensatory C4 i C5 stanowią bufor energii dla US1 i są wymagane do jego prawidłowego działania – zgodnie z zaleceniami producenta tego układu.

Wejściem zasilania układu jest złącze J4. Dioda D3 chroni układ przed uszkodzeniem w razie odwrotnego podłączenia biegunów źródła zasilającego. Stabilizator US2 jest klasycznym stabilizatorem liniowym, ponieważ pobór prądu przez układy cyfrowe zasilane z jego wyjścia jest na tyle niski, że użycie przetwornicy impulsowej mijałoby się z celem. Jednocześnie obudowa typu TO220 zapewnia skuteczne rozpraszanie wydzielanego ciepła i dodatkowy radiator nie jest wymagany.

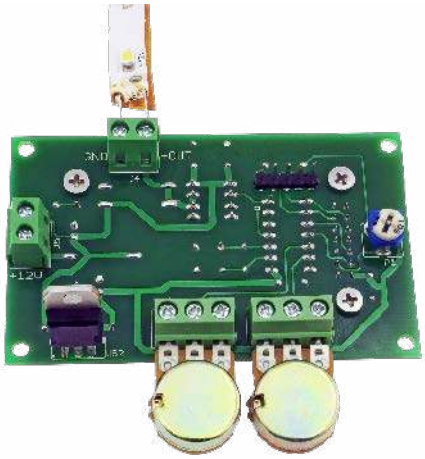
Montaż i uruchomienie

Układ został zmontowany na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 80×50 mm. Jej schemat został pokazany na **rysunku 2**. W odległości 3 mm od krawędzi płytki znalazły się otwory montażowe, każdy o średnicy 3,2 mm. Montaż proponuję rozpocząć od elementów o najmniejszej wysokości obudowy, które będą ukryte pod wyświetlaczem. Należą do nich diody D1…D3, rezonator kwarcowy Q1, podstawki pod układy scalone i inne. Rezystory R2 i R3 montowane są w pionie. Kondensatory C3 i C9 należy wlutować na nieco dłuższych nóżkach, aby dało się je położyć równolegle do powierzchni płytki. Wygląd zmontowanej płytki przed zamontowaniem wyświetlacza można zobaczyć na **fotografii 1**. Po drugiej stronie znajduje się element o większej wysokości obudowy – stabilizator US2, oraz te podzespoły, do których chcemy mieć wygodny dostęp – złącza J1…J5 i potencjometr P1, tak jak pokazano na **fotografii 2**.

Na samym końcu trzeba wlutować złącza do wyświetlacza LCD – jedno sygnałowo-zasilające i dwa do podświetlenia. Polecam zrobić to w tej kolejności:



Fotografia 1. Widok zmontowanego układu od strony wyświetlacza



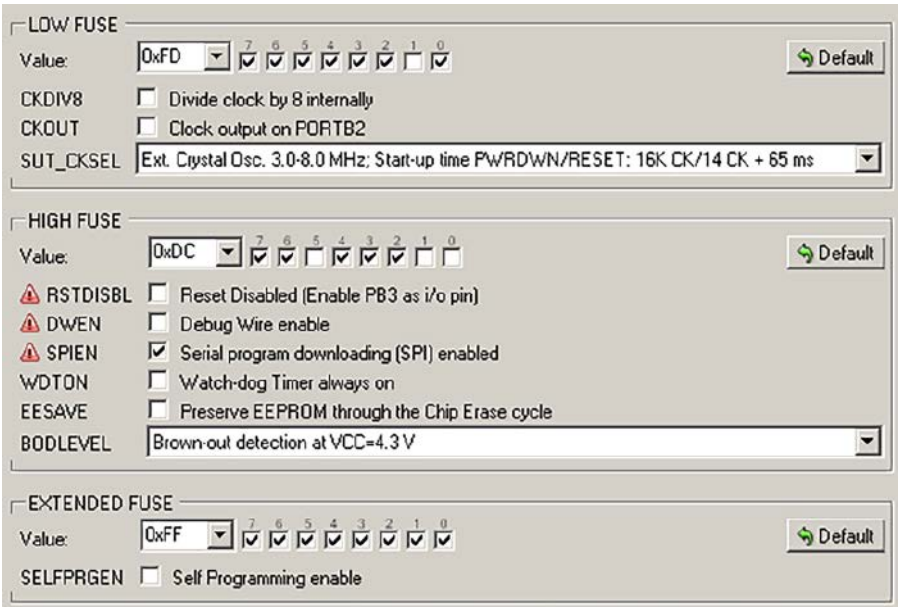
Fotografia 2. Widok zmontowanego układu od strony złączy

eprasa.pl 2897393b21

- przykręcić cztery tuleje dystansowe do płytki tak, aby wystawały po tej stronie, co układy scalone US1 i US3,
- złożyć wszystkie złącza: szpilki umieścić w gniazdach,
- trzymając płytkę poziomo, tulejami dystansowymi do góry, należy włożyć złącza do odpowiadających im otworów, na przykład częścią żeńską do góry,
- nałożyć wyświetlacz na odpowiednie złącza i wyśrodkować, aby jego otwory montażowe pokryły się z tymi, które są w tulejach,
- przytrzymać wyświetlacz palcem i przykręcić go do tulei, wtedy złącza już nie wypadną z płytki,
- przylutować wszystkie złącza do wyświetlacza oraz do płytki stroboskopu cyfrowego.

Do złączy J1 i J2 należy podłączyć potencjometry służące do ustawiania częstotliwości błysków. Można je przykręcić wprost do złączy, jak to uczyniono w układzie modelowym, lub można też dołączyć za pomocą przewodów. Rezystancja ścieżki nie musi wynosić dokładnie 10 kΩ, ponieważ służą jedynie jako dzielniki napięcia. Nawet nie muszą być identyczne. Można przyjąć, że zakres rezystancji 2…100 kΩ jest jak najbardziej optymalny. Wtedy pobór prądu ze stabilizatora nie będzie zbyt wysoki, a jednocześnie rezystancja wewnętrzna takiego dzielnika będzie na tyle niska, że układ będzie miał małą wrażliwość na zakłócenia pochodzące z zewnątrz.

Na etapie uruchamiania konieczne jest zaprogramowanie pamięci programu mikrokontrolera dostarczonym wsadem oraz zmiana jego bitów zabezpieczających na wartości: Low Fuse = 0xFD, High Fuse = 0xDC. Szczegóły zostały pokazane na **rysunku 3** – jest to okno konfiguracji tych bitów w programie BitBurner. W ten sposób zostanie uruchomiony generator dla rezonatora kwarcowego oraz Brown-Out Detector, który wprowadzi mikrokontroler w stan zerowania, jeżeli jego napięcie zasilające spadnie poniżej 4,3 V. To znacznie zmniejsza ryzyko nieprawidłowego uruchomienia układu.



Rysunek 3. Szczegóły ustawienia bitów zabezpieczających

Ostatnią czynnością uruchomieniową jest ustawienie potencjometru P1, który odpowiada za kontrast wyświetlacza. Najlepiej zrobić to w temperaturze zbliżonej do tej, w której układ będzie pracował.

Odpowiednim zasilaniem dla urządzenia będzie napięcie stałe o wartości 12 V, ale dopuszczalny zakres rozciąga się w przedziale 9…16 V. Dolny próg wynika z konieczności zapewnienia prawidłowych warunków pracy stabilizatora US2, zaś górny z wytrzymałości napięciowej układu US1. Pobór prądu przez prototyp wyniósł około 20 mA przy zasilaniu 12 V, bez podłączonej taśmy. Maksymalny pobór prądu przez taśmę LED (podłączoną do złącza J3) nie powinien przekraczać 380 mA. Wynika to z dopuszczalnej mocy strat układu US1 (730 mW) i maksymalnej rezystancji wewnętrznej (5 Ω). Wprawdzie w tej aplikacji diody migają z wypełnieniem jedynie 1%, więc wydzielana w strukturze moc jest znacznie mniejsza niż przy pracy ciągłej, ale warto wziąć margines bezpieczeństwa na wypadek zawieszenia się mikrokontrolera i ciągłego świecenia diod. Gdyby zaszła potrzeba sterowania większą liczbą diod, a jednocześnie godzimy się na możliwość przegrzania układu w razie wystąpienia usterki, to dopuszczalny prąd wyjściowy (w impulsie) nie może przekraczać wartości 3 A dla układu TC1413EPA.

Jak te wartości przekładają się na długość taśmy LED? Jeżeli jej moc wynosi 6 W/m, to przy założeniu proponowanego górnego pułapu poboru prądu (380 mA) dopuszczalna długość podłączonego odcinka wynosi 76 cm. Jeżeli zaś jako ograniczenie przyjmiemy 3 A, to maksymalna długość wynosi aż 6 m.

Obciążeniem wyjścia układu niekoniecznie musi być taśma LED. Może to być również pojedyncza dioda LED dużej mocy z odpowiednim rezystorem ograniczającym jej prąd przewodzenia. Takie punktowe źródło światła może być bardziej zbliżone do tego, które emituje palnik stroboskopowy.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA

Chcesz czytać nasze najnowsze artykuły jeszcze przed wydrukowaniem w EP?

Zajrzyj na

www.ep.com.pl/EPwtoku

eprasa.pl 2897393b21

Specyfika wyświetlaczy dla Internetu Rzeczy

Inteligentne technologie oparte na połączeniu z Internetem ciągle się rozwijają i są coraz częściej obecne w różnych obszarach naszego życia. Na szczególną uwagę zasługują te, które wchodzą ze sobą w interakcje i działają w ramach sieci Internetu Rzeczy (Internet of Things – IoT). W 2021 roku współpracujących ze sobą w ten sposób urządzeń było już na świecie ponad 21 miliardów – ta liczba została przewidziana w prognozach… na rok 2025. Oznacza to, że rynek IoT rośnie w znacznie szybszym tempie, niż zakładano jeszcze stosunkowo niedawno.

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

Z każdym kolejnym rokiem przybywa rozwiązań związanych z Internetem Rzeczy. Pojawiają się one w różnych miejscach i branżach – począwszy od mieszkań o nawet niewielkiej powierzchni, przez przestrzeń biurową i publiczną, sprzęty stosowane w przemyśle oraz medycynie, aż po logistykę, handel czy nawet rolnictwo. Wszystkie aplikacje typu IoT łączą się z Internetem, a zdecydowana większość z nich jest wyposażona w odpowiednie wyświetlacze. Dziś odpowiemy na pytanie, którą technologię należy wybrać, aby zapewnić jak najwyższą jakość finalnego produktu przy równoczesnej optymalizacji kosztów.

Do wyboru...

Na rynku istnieje bardzo duża liczba urządzeń mogących korzystać z różnych rodzajów ekranów. Liczba opcji wyboru potrafi być jednak przytłaczająca. Dobór rozwiązania zależy od środowiska, w którym będzie zamontowany końcowy produkt – temperatur pracy, zużycia energii elektrycznej czy nawet jego wymiarów. Smartwatche, systemy zabezpieczeń, urządzenia AGD, pompy, wózki, pralki przemysłowe czy nawet całe statki i samoloty – praktycznie każda z wymienionych aplikacji daje inne możliwości wykorzystania użytej technologii.

Nie istnieją jednak rozwiązania całkowicie uniwersalne. Niektóre typy wyświetlaczy świetnie sprawdzą się w danych realizacjach i będą oczywistym wyborem – do najpopularniejszych należą moduły LCD TFT, OLED oraz EPD (e-papier). W przypadku innych, bardziej nietypowych implementacji warto będzie skonsultować najpierw dostępne opcje z zespołem specjalistów.

TFT LCD – powszechne i uniwersalne

Technologia LCD TFT ma wiele zalet. Krótki czas reakcji tych wyświetlaczy w połączeniu z tworzeniem ostrych, kolorowych, dynamicznych obrazów sprawia, że są powszechnie stosowane w aplikacjach konsumenckich stawiających przede wszystkim na multimedialność rozwiązań. Dzięki domyślnie wbudowanemu podświetleniu mogą być wykorzystywane w bardziej wymagających aplikacjach, gdzie możliwość montażu dodatkowego źródła światła jest mocno ograniczona. Sprawdzą się również doskonale w bardziej zacienionych miejscach. Wyświetlacze LCD to także jedne z najistotniejszych części w urządzeniach AGD lub systemach inteligentnych domów.

Największą wadą tej technologii jest ilość pobieranej przez nią energii. Ze względu na swoją budowę, panele LCD TFT są najmniej energooszczędnymi rozwiązaniami ze wszystkich przedstawionych – wymagają stałego zasilania lub częstego ładowania urządzenia, z którym są zintegrowane. Zastosowanie takiego wyświetlacza w miejscu o dużym nasłonecznieniu wymaga również montażu mocniejszego podświetlenia, tak aby światło odbite miało mniejszą wartość od światła emitowanego przez ekran. Może to negatywnie wpłynąć na grubość wyświetlacza i zwiększa energochłonność urządzenia, a przez to koszty użytkowania.

OLED – wysoki kontrast, odporność i energooszczędność

Wyświetlacze OLED są coraz częściej wykorzystywane w różnych aplikacjach dzięki swoim zaletom konstrukcyjnym. Cechują się wyższym, niemal nieskończonym kontrastem, krótszym czasem reakcji, pełnymi kątami obserwacji, większą odpornością na skrajne temperatury i mniejszym zużyciem energii niż ich odpowiedniki w innych technologiach – szczególnie w przypadku obrazów z czarnym tłem i jasnymi elementami. W rozwiązaniach OLED-owych każdy pojedynczy piksel to osobne źródło światła, co przekłada się nie tylko na energooszczędność. Poprzez wyłączenie wybranych pikseli uzyskuje się idealną czerń, co jest niemal niemożliwe w przypadku modułów innego typu. Dzięki temu takie wyświetlacze nie potrzebują także dodatkowego podświetlenia. Nie tylko poprawia to ekonomię użytkowania i efektywność, ale i znacząco zmniejsza grubość urządzenia końcowego.

Fotografia 1. Wyświetlacz OLED

Technologia OLED umożliwia również tworzenie elastycznych wyświetlaczy, które łatwiej dopasować do danej obudowy – można je bardzo często znaleźć m.in. w smartfonach i smartwatchach. Tego typu rozwiązania są jednak nadal stosunkowo kosztowne.

E-papier – technologiczna (r)ewolucja

Aplikacje typu IoT nierzadko są zasilane przy użyciu baterii – energooszczędność to często kluczowy aspekt podczas wyboru poszczególnych

eprasa.pl 2897393b21

Fotografia 2. Wyświetlacz EPD

komponentów w niektórych aplikacjach. Bardzo dobrym wyborem, jeśli chodzi o mały pobór prądu, jest technologia e-papierowa (*Electronic Paper Display – EPD*). Pobiera ona niewielką ilość energii tylko w momencie zmiany obrazu, a prezentowane treści potrafią przypominać druk w sposób niemal nie do odróżnienia. E-papier charakteryzuje się także nieograniczonymi kątami obserwacji oraz idealną czytelnością w pełnym słońcu.

To wszystko sprawia, że będzie świetnie działać wszędzie tam, gdzie ważna jest energooszczędność, a odświeżanie treści jest stosunkowo rzadkie – na rynku konsumenckim (e-czytniki, smartwatche), w aplikacjach przemysłowych (e-ceny, e-badge, inteligentne systemy rejestracji czasu pracy), w digital signage (rozkłady jazdy na przystankach autobusowych) czy nawet jako dekoracyjne elementy architektoniczne. W przypadku e-papieru odpowiednie prezentowanie treści w warunkach ograniczonego oświetlenia będzie jednak możliwe tylko przy dostępie do zewnętrznego źródła światła. To atrakcyjna, choć najdroższa z opisywanych technologii.

Nieorganiczne diody i kwantowe kropki

Rozwiązania omówione do tej pory to jednak nie jedyne technologie, które sprawdzą się w wyświetlaczach dla IoT. Nie należy zapominać o stale pojawiających się innowacjach – szczególnie wartymi uwagi są ekrany Micro LED oraz QD-OLED.

Te pierwsze sposobem działania przypominają klasyczne OLED-y. Diody składające się na wyświetlacz świecą samoistnie, a poszczególne z nich mogą być również w razie potrzeby odpowiednio wygaszane. Pozwala to na osiągnięcie prawdziwej czerni oraz bardzo wysokich kontrastów. Matryca Micro LED składa się jednak z dziesiątek milionów mikroskopijnych nieorganicznych diod – kwestia wypaleń jest dzięki temu niemal całkowicie wyeliminowana, co znacznie wydłuża ich cykl życia. Ta technologia pozwala na tworzenie rozwiązań o niestandardowych wymiarach, a obszar wyświetlaczy Micro LED można dzielić na części – ponadto odznaczają się one bardzo wysokim poziomem jasności, nieosiągalnym dla OLED, szerokimi kątami widzenia i wysoką energooszczędnością.

Technologia QD-LED to z kolei skrót od *Quantum Dot-Based Light Emitting Diodes* – panele mają warstwę nanokropek kwantowych. To małe cząstki półprzewodnikowe, które przemieniają światło, pochodzące z niebieskich diod LED podświetlających ekran, w kolorowe. To połączenie pozwala na osiągnięcie wyjątkowej jakości wyświetlanych kolorów i korzystnie wpływa na jasność matrycy.

Pełne wsparcie specjalistów

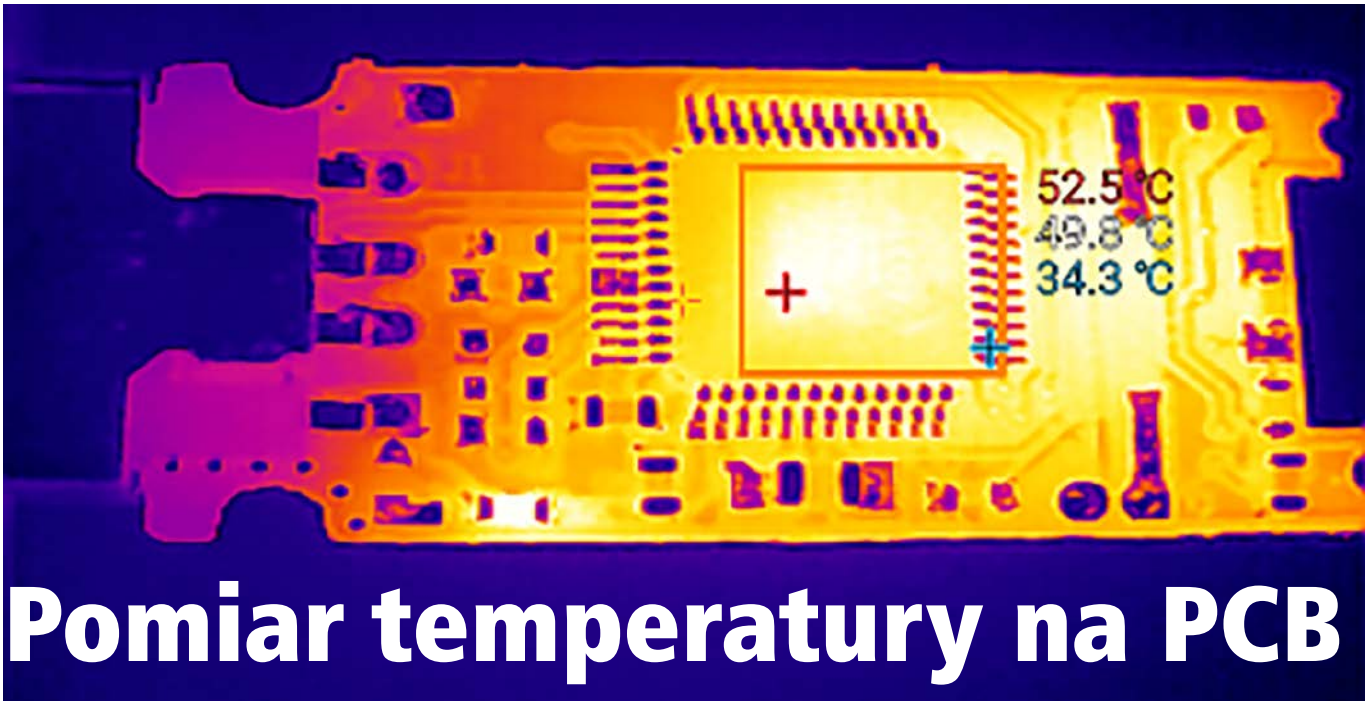
W ofercie Unisystemu znajdują się nie tylko wyświetlacze do aplikacji typu IoT, ale także urządzenia ściśle z nimi współpracujące, m.in. płyty główne oraz całe komputery przemysłowe – szeroki przekrój dostępnych rozwiązań pozwala nam na dobór tych najbardziej optymalnych dla danego klienta. W ramach współpracy z producentem udzielamy merytorycznego wsparcia na każdym etapie projektu, a nasze sugestie zawsze bazują na konkretnej specyfikacji.

Maciej Bonk
Key Account Manager

Fotografia 3. Wyświetlacz microLED

REKLAMA

eprasa.pl 2897393b21

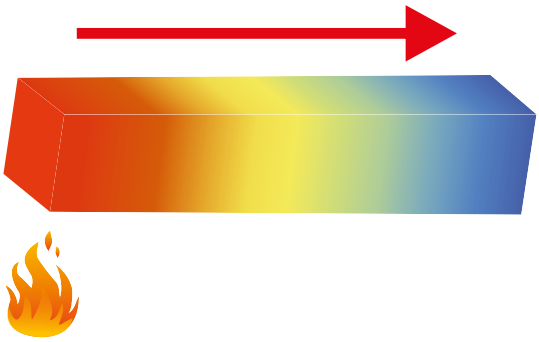


fot. ADIRCAMS Sławomir Mytyk, biuro@termowizja.eu

Pomiar temperatury na PCB

Nowoczesne podzespoły elektroniczne, takie jak procesory, układy GPU czy FPGA, a nawet wysokosprawne stabilizatory napięcia oraz różne elementy bierne wydzielają ciepło podczas pracy. Tymczasem w wielu aplikacjach wymagany jest precyzyjny pomiar temperatury otoczenia, niezależny od stanu urządzenia, a cały obwód musi być zbudowany z elementów SMD gęsto ściśniętych na płytce. Realizacja takiego zadania jest niełatwym wyzwaniem. Z drugiej strony – dokładne kontrolowanie temperatury elementów na płytce drukowanej jest wymagane równie często, zwłaszcza w złożonych systemach. To zadanie jest także trudne do uzyskania. W poniższym artykule dokładnie przeanalizujemy oba przypadki i wybierzemy optymalne rozwiązania.

Każdy system elektroniczny składa się z wielu komponentów umieszczonych na płytce PCB. Ze względu na wzajemny wpływ termiczny komponentów w systemie pomiar temperatury konkretnego elementu, otoczenia PCB czy nawet dokładnego regionu płytki drukowanej, nie należy do łatwych zadań. W wielu systemach, w których konieczny jest pomiar temperatury elementu, temperatura otoczenia może wpływać na wynik i pogarszać dokładność tego pomiaru. Dlatego też trzeba, już na etapie projektowania płytki drukowanej, zastosować szereg zabiegów i rozwiązań, które pozwolą na zmniejszenie przepływu ciepła pomiędzy różnymi sekcjami elementów urządzenia.



Rysunek 1. Schematycznie zobrazowany transfer ciepła w materiale

Projektant systemu musi podjąć pewne decyzje projektowe dotyczące zarówno rodzaju obudowy poszczególnych elementów elektronicznych, jak i układu PCB podczas integracji czujników temperatury. Poniższy artykuł zawiera podstawowe zalecenia dla projektantów systemów i wyjaśnia metody poprawy dokładności pomiaru. Zalecenia te dotyczą zarówno pomiarów temperatury powietrza, jak i pomiaru temperatury elementów na PCB. Artykuł zawiera szczegółowe informacje o technikach dobierania układu, jego orientacji i sprawdzonych metodach montażu na PCB. Poniżej znajduje się także odpowiedni wstęp teoretyczny, który pozwala zrozumieć, jakie zjawiska fizyczne stoją za obserwowanymi w układach elektronicznych zjawiskami.

W jakim celu mierzy się temperaturę PCB

Istnieje wiele powodów, dla których stosuje się pomiar temperatury elementów elektronicznych na płytce drukowanej. Dotyczy to zwłaszcza elementów produkujących dużo ciepła, np. układów scalonych ze stopniami mocy lub o wysokim poziomie integracji. Dzięki precyzyjnemu monitorowaniu temperatury tych elementów zapewnia się im długi czas działania oraz zwiększa niezawodność systemu. Sensory temperatury stosowane są również do sterowania chłodzeniem systemów. Dzięki dobraniu np. prędkości obrotowej wentylatora do temperatury optymalizuje się zużycie energii, poziom generowanego hałasu itp. Finalnie, pomiar temperatury jest także krytyczny dla stabilizowania temperatury czułych obwodów, takich jak oscylatory kwarcowe, źródła napięć odniesienia, rezystory pomiarowe itp. Wszystkie te elementy są podatne na zmiany temperatury. W wielu systemach sztucznie utrzymuje się je w podwyższonej temperaturze. Do stabilizacji tej temperatury używa się precyzyjnych sensorów, gdyż od nich bezpośrednio zależy dokładność całego procesu.

Przewodność cieplna płytki drukowanej

Istnieją trzy metody przepływu ciepła: przewodzenie przez ciała stałe, konwekcja ciepła przez płyny i gazy oraz ciepło przenoszone poprzez promieniowanie. W artykule skupimy się na cieple przewodzonym, gdyż jest to dominujący mechanizm transportu ciepła na płytce PCB i dlatego uwzględnienie tego mechanizmu jest najbardziej istotne dla pomiarów temperatury.

Przewodzenie ciepła definiuje się jako przenoszenie ciepła przez objętość. Ciepło jest przenoszone przez mikroskopijne zderzenia cząstek – im więcej kolizji, tym gorętszy jest obiekt. Przenikanie ciepła ma miejsce, gdy między dwoma obiektami lub między różnymi obszarami

eprasa.pl 2897393b21

tego samego obiektu występuje różnica temperatur. Jego szybkość zależy od geometrii, grubości i materiału obiektu. Ze względu na prawo równowagi ciepło przechodzi z cieplejszego ciała do chłodniejszego, aż cały układ osiągnie końcową równowagę termiczną, tak jak pokazano na **rysunku 1**. Pomiędzy dwoma obiektami o równej temperaturze nie zachodzi transport ciepła. Równanie wymiany ciepła przez przewodzenie pokazano w **równaniu 1**.

$$\frac{Q}{t} = kA \cdot \frac{T_2 - T_1}{d}$$

gdzie:

- Q/t to prędkość przepływu ciepła wyrażona w dżulach na sekundę [J/s];
- k to współczynnik przewodności cieplnej (stała materiałowa) wyrażona w watach na metr-kelwin [W/m×K];
- T_1 oraz T_2 to temperatury punktów, pomiędzy którymi analizowany jest transfer ciepła;
- d to grubość materiału, a ściślej mówiąc, odległość, jaką pokonuje ciepło pomiędzy punktami, pomiędzy którymi analizowany jest transfer ciepła.

Przewodność cieplna k jest miarą zdolności materiału do przewodzenia ciepła. Służy do opisywania, w jaki sposób ciepło przewodzone jest przez dany materiał. Metale są bardzo dobrymi przewodnikami ciepła, podczas gdy dielektryki, takie jak powietrze, wełna, papier czy plastik, przewodzą ciepło znacznie gorzej. Materiały o bardzo niskiej przewodności cieplnej, takie jak styropian, są izolatorami termicznymi i ich przewodność cieplna jest bardzo niska.

Materiały, które są najistotniejsze przy analizie termicznej PCB, to miedź, laminat FR4 i maska lutownicza (soldermaska). Miedź jest doskonałym przewodnikiem ciepła – przewodzi ciepło znacznie szybciej niż laminat i inne elementy omawianego systemu. W **tabeli 1** wymieniono przewodności cieplne występujących w PCB materiałów. Im wyższa jest wartość parametru k, tym materiał efektywniej przenosi ciepło, co skutkuje krótszym czasem reakcji termicznej. W przypadku niskich wartości przewodność cieplną gradient temperatury między źródłem a czujnikiem może być duży i należy go dokładnie uwzględnić podczas rozmieszczania elementów w systemie.

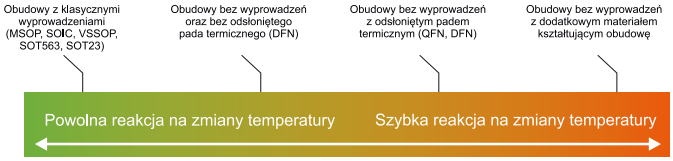
Określenie dominującego mechanizmu przewodzenia ciepła

Czujniki temperatury do montażu powierzchniowego (SMD) mają kilka zalet w porównaniu z czujnikami w obudowach do montażu przewlekanego. Ich główne zalety to mniejszy rozmiar obudowy, zmniejszający pojemność cieplną, możliwość wygodnego umieszczenia na płytce drukowanej i łatwość montażu. Jednak czujniki temperatury tego rodzaju mogą być równocześnie trudne do odizolowania, ponieważ mają tendencję do pomiaru temperatury płytki PCB, a nie temperatury otoczenia. Dlatego należy zastosować specjalne techniki rozmieszczania ich na płytce drukowanej, jeśli celem czujnika jest pomiar temperatury otoczenia, a nie temperatury płytki drukowanej.

Lokalne analogowe lub cyfrowe czujniki temperatury określają temperaturę, mierząc de facto temperaturę własnej struktury sprzętowej. Dlatego ważne jest, aby zrozumieć dominujące ścieżki przewodzenia temperatury między czujnikiem temperatury a obiektami na PCB lub środowiskiem i otoczeniem, którego temperatura ma być określona.

Tabela 1. Przewodność cieplna poszczególnych materiałów stosowanych do produkcji płytek drukowanych

Materiał	Przewodność cieplna (W/(m×K))
Powietrze	0,0275
Maska przeciwlutowa	0,245
Laminat szklano-epoksydowy FR4	0,25
Złoto	314
Miedź	385
Srebro	406



Rysunek 2. Szybkość przepływu ciepła do i z układu scalonego, w zależności od rodzaju zastosowanej obudowy

W opisanym systemie ciepło jest przewodzone przede wszystkim następującymi ścieżkami:

1. Poprzez metalowe elementy mocowania struktury krzemowej. Jeśli są obecne w danym układzie scalonym, są dominującym mechanizmem przewodzenia ciepła pomiędzy płytką drukowaną a strukturą układu scalonego.
2. Poprzez wyprowadzenia i piny układów scalonych. To kolejna, istotna ścieżka przewodzenia ciepła, szczególnie jeśli dany układ nie ma innych metalowych elementów w swojej strukturze.
3. Ostatnią ścieżką przenikania ciepła w układzie scalonym jest pozostała część obudowy. Jednak ze względu na niską przewodność cieplną materiałów używanych do enkapsulacji układów scalonych na ogół przenoszenie ciepła przez samą obudowę jest istotnie wolniejsze niż przenoszenie ciepła przez przewody lub inne metalowe elementy układu.

Wybór rodzaju obudowy określa, jak szybko dany czujnik temperatury będzie reagował na zmiany temperatury. Na rysunku 2 zaprezentowano względne współczynniki odpowiedzi termicznej różnych klas wybranych typów obudów SMD, które są typowo używane do pomiarów temperatury.

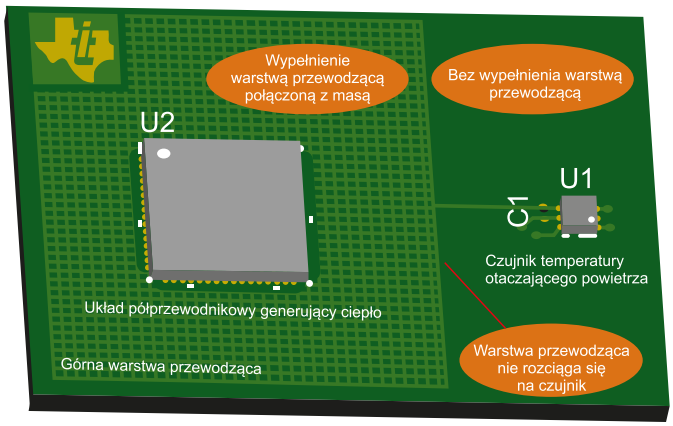
Pomiar temperatury otoczenia urządzenia

W niektórych przypadkach, szczególnie gdy chcemy dokładnie mierzyć temperaturę otoczenia, konieczne jest odizolowanie sensorów od wpływu ciepła płytki drukowanej. W dalszej części artykułu prezentujemy szereg strategii – głównie skupiających się na odpowiednim projekcie płytki drukowanej – pozwalających na zminimalizowanie transportu ciepła z lub do sensora temperatury w płaszczyźnie PCB.

Odpowiedni projekt wylewki masy

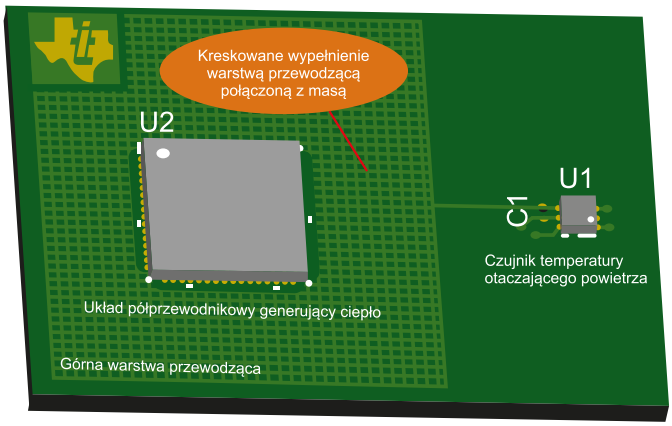
Ze względu na wyższą przewodność cieplną miedzi prowadzenie stałych płaszczyzn masy między układami scalonymi a czujnikiem temperatury spowoduje niepożądane przenoszenie ciepła, które chcemy w tym podejściu zminimalizować. Najlepiej jest w ogóle unikać płaszczyzn miedzi w pobliżu czujnika temperatury, a szczególnie takich, które są połączone z płaszczyznami połączonymi z innymi układami scalonymi, jak pokazano na **rysunku 3**.

Aby uzyskać jeszcze lepsze wyniki, należy utworzyć osobną, małą wylewkę po obu stronach czujnika, tak jak pokazano na **rysunkach 4** i **5**, i dodać kilka przelotek, aby termicznie połączyć ze sobą wylewki znajdujące się na obu stronach płytki drukowanej. Ze względu na niską przewodność

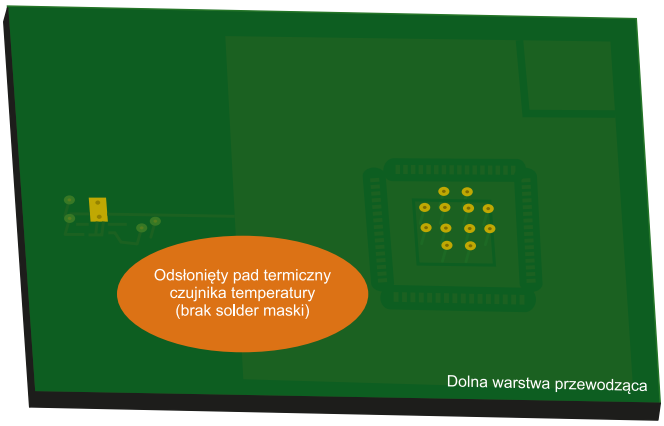


Rysunek 3. Płaszczyzna masy nie sięga do czujnika temperatury (widok z góry)

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 4. Zakreskowana płaszczyzna masy (widok z góry)



Rysunek 5. Odsłonięta płaszczyzna masy (bez soldermaski) pod sensorem (widok z dołu)

cieplną maski lutowniczej w porównaniu z miedzią (tabela 1) zaleca się wykonanie wycięcia maski lutowniczej wokół płaszczyzny miedzi. Dzięki temu czujnik będzie reagował na pomiary temperatury otoczenia znacznie szybciej niż w obwodach, w których płaszczyzna miedzi jest pokryta soldermaską. Należy dodać fizyczną przerwę między płaszczyzną wokół czujnika a wylewkami reszty PCB. Dodatkowo, zakreskowane (niejednolite) płaszczyzny GND w głównej sekcji PCB zmniejszają przepływ ciepła z innych układów scalonych do czujnika (rysunek 4).

Podział sekcji na PCB

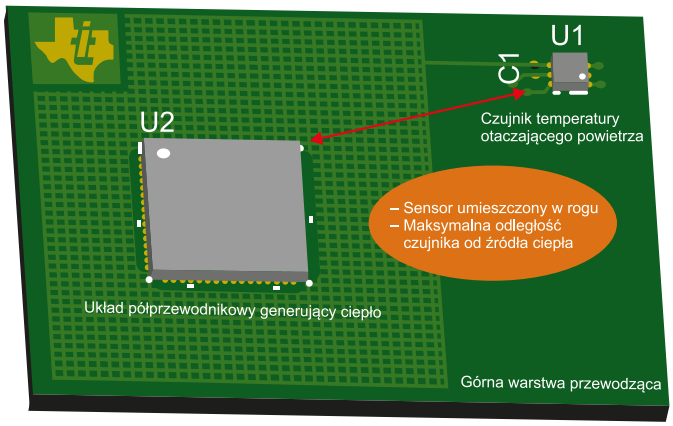
Czujnik temperatury powinien znajdować się w obszarze PCB, który jest jak najdalej od głównego źródła ciepła, generowanego przez inne płytki drukowane, jak pokazano na **rysunku 6**. Takie postępowanie pozwoli na zminimalizowanie wpływu innych elementów na płytce na odczyt temperatury.

Izolująca wyspa

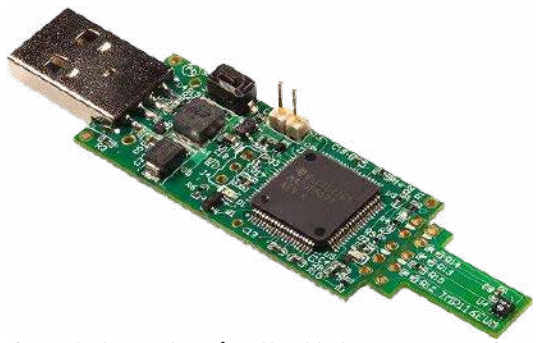
Jeśli to możliwe, częściowe wycięcie laminatu wokół czujnika temperatury tworzy wyspę izolacyjną, która znacznie ogranicza przenoszenie ciepła z głównego źródła ciepła do czujnika. Przenikanie ciepła jest zmniejszone, ponieważ przewodność cieplna powietrza jest znacznie niższa niż przewodność cieplna laminatu FR4. Przykład wyspy izolacyjnej pokazano na **rysunku 7**.

Perforacje

Jako alternatywę dla wyspy izolacyjnej, omówionej powyżej, możliwe jest dodanie perforacji wokół sekcji z czujnikiem temperatury, jak pokazano na **rysunku 8**. Takie postępowanie znacznie minimalizuje przenikanie ciepła przez materiał FR4, a jednocześnie jest znacznie prostsze i tańsze do wykonania w procesie produkcyjnym w porównaniu do frezowanych tworów. Przykładem perforowanej płytki drukowanej jest moduł ewaluacyjny dla układu TMP116, który pokazano na **fotografii 1**.



Rysunek 6. Czujnik umieszczony w rogu płytki drukowanej, z daleka od głównego źródła ciepła



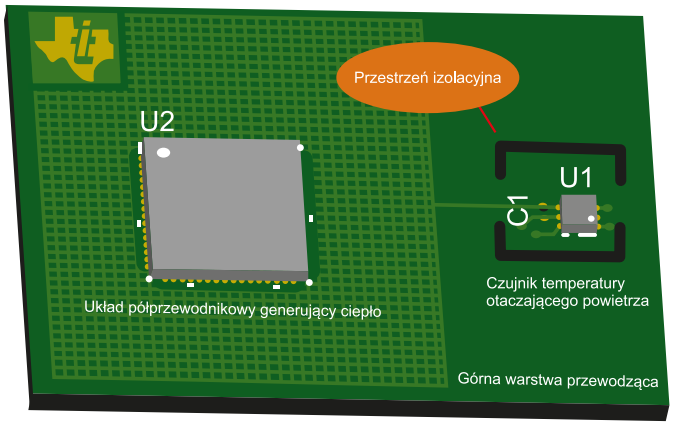
Fotografia 1. Płytka ewaluacyjna dla układu TMP116 z perforacjami na PCB

Złącze krawędziowe

Miniaturowa płytka drukowana, która zawiera tylko czujnik temperatury wraz z kluczowymi dla niego elementami pasywnymi, może być zamontowana za pomocą złącza krawędziowego do głównej płytki drukowanej. Jest to najskuteczniejsza metoda unikania przenoszenia ciepła z głównej płytki drukowanej do sensora temperatury. W idealnym przypadku złącze krawędziowe powinno być zamontowane w miejscu z dala od głównych źródeł ciepła na głównej płytce drukowanej, tak aby promieniowanie cieplne z układów scalonych nie zakłócało odczytu temperatury. Ta technika jest zilustrowana na **rysunku 9**.

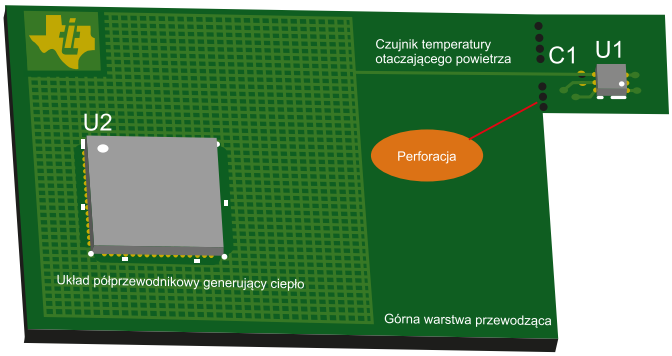
Kontrolowanie bezwładności cieplnej PCB

Pojemność cieplna to zdolność materiału do magazynowania energii w postaci ciepła. Materiał o wysokiej pojemności będzie powoli reagował na wahania temperatury, a materiał o mniejszej pojemności cieplnej będzie reagował szybciej. Aby utrzymać jak najmniejszą masę termiczną płytki drukowanej, zaleca się używanie cienkich

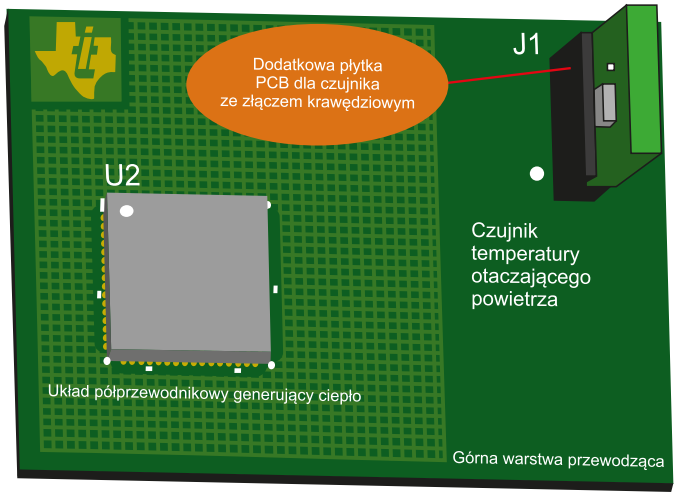


Rysunek 7. Wyspa izolacyjna znacznie zmniejsza transport ciepła z jego źródła do sensora

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 8. Perforacja zmniejszająca przenoszenie ciepła ze źródła ciepła do sensora



Rysunek 9. Dodatkowa płytka drukowana czujnika temperatury ze złączem krawędziowym

płytek (np. o grubości 0,8 mm, zamiast standardowej 1,6 mm FR4) lub nawet umieszczenie czujnika temperatury na elastycznej płytce drukowanej (Flex PXB), jak pokazano na **rysunku 10**. W połączeniu z opisanymi powyżej technikami skupiającymi się na redukowaniu powierzchni wylewki masy, cienka pytka PCB może odpowiadać zmianom temperatury powietrza znacznie szybciej niż typowa płytka drukowana o standardowej grubości i dużo większej masie termicznej.

Pomiar temperatury elementów na płytce drukowanej

W wielu scenariuszach projektanci systemów chcą monitorować temperaturę grzejących się układów scalonych, takich jak mikrokontrolery, procesory graficzne, układy programowalne (FPGA), procesory DSP czy układy ASIC. Pomiar temperatury w czasie rzeczywistym pozwala dynamicznie dostosowywać wydajność chłodzenia lub redukować obciążenie układu, kontrolować prędkość wentylatora w systemie lub inicjować bezpieczne zamknięcie systemu. Korzystanie ze zdalnego czujnika temperatury, takiego jak TMP46xx, TMP43xx lub TMP411, jest preferowaną metodą monitorowania temperatury układów scalonych, o ile nie mają one odpowiedniego, wbudowanego sensora temperatury. Jeśli układ scalony nie zawiera odpowiedniej diody do pomiaru temperatury lub jeśli z jakiegokolwiek innego powodu nie można użyć tego czujnika, można zamiast niego użyć czujnika lokalnego lub diody zewnętrznej. Poniższa sekcja zawiera wytyczne dotyczące sposobów uzyskania najdokładniejszego pomiaru i najszybszej odpowiedzi lokalnego czujnika, który monitoruje temperaturę innego układu scalonego.

REKLAMA

POLECANY PRODUKT

Przystawki termowizyjne Thermal Expert Q1

Niepozornie wyglądająca kamerka, mniejsza od pudełka zapałek, jest podłączana do smartfonów z systemem Android lub urządzeń komputerowych z systemem Windows. Jest doskonałym narzędziem diagnostycznym dla serwisów specjalizujących się w naprawach wszelkiego typu urządzeń elektronicznych.

T.E. Q1 wyposażona jest w matrycę podczerwieni o rozdzielczości 384×288 pikseli w obrazie, o czułości lepszej niż 80 mK, obiektyw o ogniskowej f=6,8 mm, z wbudowaną wkładką germanową. Współpraca on-line z komputerem umożliwia obserwację w czasie rzeczywistym, na dużym ekranie, zmian pola temperatury i pomiar jego wartości jednocześnie w wielu, dowolnie wybranych punktach badanego modułu. Dzięki ręcznej regulacji ostrości można uzyskać wysokiej jakości obrazy termiczne, z rozróżnialnością miniaturowych elementów elektronicznych nie wymagającą stosowania obiektywów typu „makro". Kamerki **T.E. Q1** produkcji południowo-koreańskiej firmy **i3system** są dostępne w ofercie firmy **ADIRCAMS Sławomir Mytyk** od 2016 r. Do chwili obecnej dziesiątki serwisów wyposażyło swój personel w tego typu sprawdzony, wysokiej jakości sprzęt diagnostyczny.

Zestaw Thermal Expert Q1 zawiera:
- moduł nasadki Thermal Expert Q1 z detektorem o matrycy 384×288 pikseli,
- wymienny, podstawowy obiektyw (56,3°×41,8°, f=6,8 mm, f/1,3).

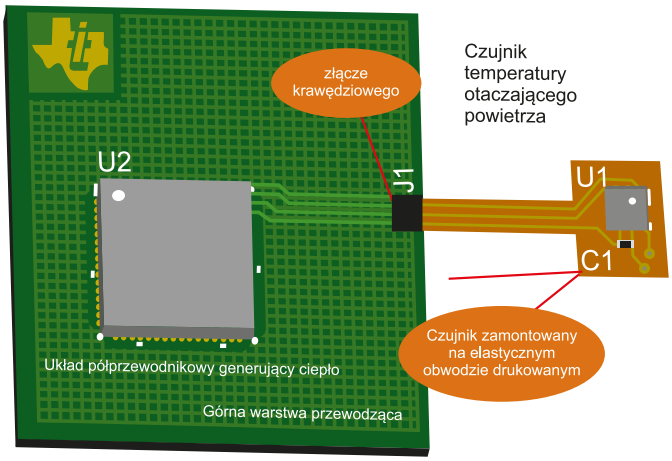
Akcesoria uzupełniające:
- nieodpłatna aplikacja na Android do pobrania z Google sklep – Thermal Expert App,
- program do analizy termicznej on-line na urządzeniach z Windows OS – nieodpłatny, do pobrania ze strony producenta
- uchwyt do mocowania do statywu
- statyw

Podstawowe parametry urządzenia Thermal Expert Q1

Parametr	Wartość
Detektor	detektor mikrobolometryczny (qVGA+ FPA), 384×288 pikseli
Częstotliwość odświeżania obrazu	9 Hz
Zakres pomiarowy	–10 do +150°C
Podstawowy obiektyw	56,3°×41,8°, f=6,8 mm, f/1,3
Rozdzielczość geometryczna IFOV z obiektywem podstawowym	2,56
Czułość termiczna NETD z obiektywem podstawowym	<80 mK
Obiektyw opcjonalny	28,7°×21,7°, f=13 mm, f/1,0
Minimalna odległość wyostrzenia obrazu (katalogowa)	200 mm
Minimalna odległość wyostrzenia obrazu (rzeczywista dla obiektywu podstawowego)	ok. 35 mm

ADIRCAMS Sławomir Mytyk
tel. 501 604 914, e-mail: biuro@termowizja.eu

eprasa.pl 2897393b21



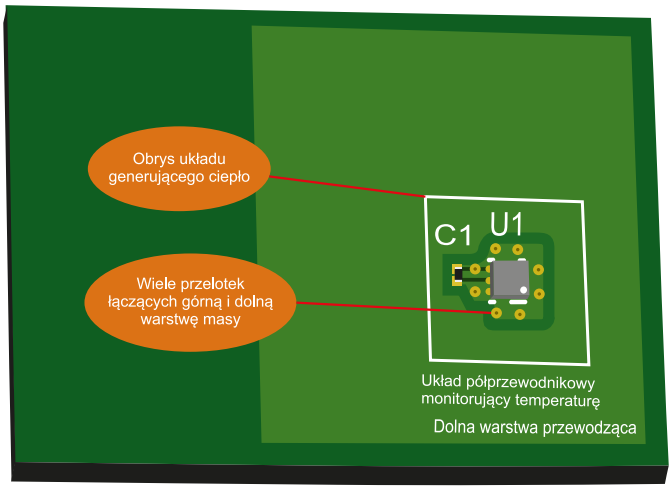
Rysunek 10. Dodatkowa, cienka płytka drukowana czujnika Flex PCB ze złączem krawędziowym

Lokalizacja

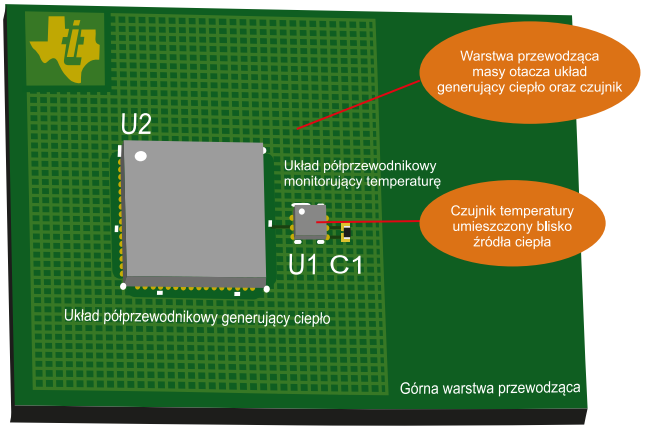
Lokalizacja czujnika powinna być tak dobrana, aby znajdował się on jak najbliżej źródła ciepła, które ma być monitorowane. Należy unikać perforacji lub szczelin w płytce drukowanej między układem scalonym a czujnikiem temperatury, ponieważ zmniejszają one odpowiedź termiczną. Układ może być zamontowany, zasadniczo, na dwa sposoby – pod spodem monitorowanego układu (na drugiej stronie PCB) lub obok układu, tj. po tej samej stronie co on.

Montaż od spodu jest preferowaną metodą montażu. Najlepiej jest zainstalować sensor bezpośrednio pod źródłem ciepła, co zostało pokazane na **rysunku 11**. Jak wyjaśniono wcześniej, przelotki są bardzo skuteczną metodą szybkiego transferu ciepła z jednej strony PCB do drugiej ze względu na lepszą przewodność cieplną miedzianej metalizacji przelotki w porównaniu do laminatu FR4. Dlatego użycie jak największej liczby równoległych przelotek lub zastosowanie wypełnionych przewodzących przelotek do przesyłania ciepła ze źródła ciepła do sensora temperatury po drugiej stronie PCB tworzy szybką równowagę termiczną między tymi dwoma układami scalonymi. Zastosowanie elementów w budowie QFN bądź DFN może jeszcze bardziej przyspieszyć transport ciepła, redukując rezystancję cieplną pomiędzy oboma układami.

Jeżeli umieszczenie czujnika temperatury po przeciwnej stronie źródła ciepła nie jest możliwe lub jest zbyt drogie, należy umieścić go po tej samej stronie, co monitorowany układ, jak najbliżej niego, jak pokazano na **rysunku 12**. Najbardziej efektywny sposób na uzyskanie równowagi termicznej między źródłem ciepła a sensorem temperatury to zastosowanie wspólnej wylewki masy. Zastosowanie nieprzerwanej warstwy metalicznej pomiędzy układami zapewnia dobry transfer ciepła.



Rysunek 11. Czujnik zamontowany po przeciwnej stronie źródła ciepła; duża liczba przelotek zapewnia szybki transfer ciepła

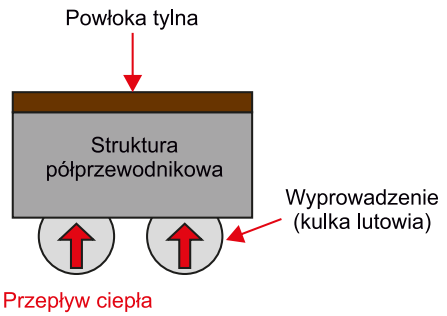


Rysunek 12. Wspólna wylewka masy pomaga w równowadze termicznej elementów

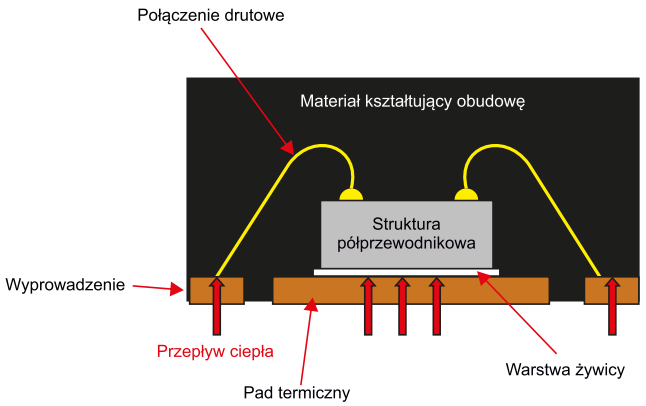
Obudowa układu a przewodność cieplna

Jak pokazano na rysunku 2, różne obudowy charakteryzują się różnym wypadkowym współczynnikiem rezystancji cieplnej. Wynika to m.in. z obecności metalowych ramek wewnątrz układu lub też faktu odsłonięcia struktury półprzewodnikowej i lutowania do niej. Obudowy bez wyprowadzeń i niezalewane w tworzywie, takie jak CSP czy DSBGA, a także obudowy WCSP (integracja na poziomie struktury krzemowej), to elementy BGA z kulkami spoiwa umieszczanymi bezpośrednio na metalizowanych polach na strukturze krzemowej. Ciepło bardzo wydajnie przenika przez kulki i jest bezpośrednio przenoszone do struktury krzemowej, zamiast przenosić się przez piny itp. do struktury układu, jak pokazano na **rysunku 13**. Jest to rodzina obudów o najszybszej reakcji termicznej i najmniejszej pojemności cieplnej, ponieważ struktura krzemowa jest bezpośrednio wystawiona na otoczenie, a układ nie ma żadnych dodatkowych pojemności cieplnych (np. żywicy, w której wykonana byłaby obudowa układu).

Obudowy takie jak QFN czy WSON również nie mają wyprowadzeń, jednakże w ich przypadku ciepło ma dłuższą drogę do pokonania. Obudowy te wyposażone są w metalową ramkę, na której montowana jest struktura krzemowa i która wystawiona jest na zewnątrz obudowy. Zapewnia to dużą powierzchnię do przewodzenia

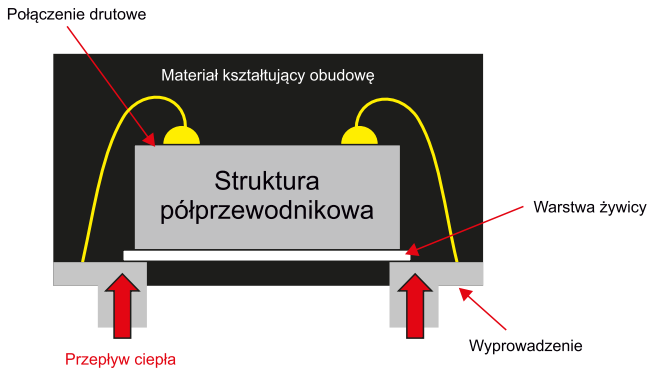


Rysunek 13. Przekrój poprzeczny układu w obudowie WCSP



Rysunek 14. Przekrój poprzeczny układu w obudowie WSON

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 15. Przekrój poprzeczny układu w obudowie DFN

ciepła, zwiększa jednak pojemność cieplną układu. Dodatkowo struktura krzemowa oblana jest żywicą (lub materiałem ceramicznym), który nieznacznie, ale dalej zwiększa pojemność cieplną układu.

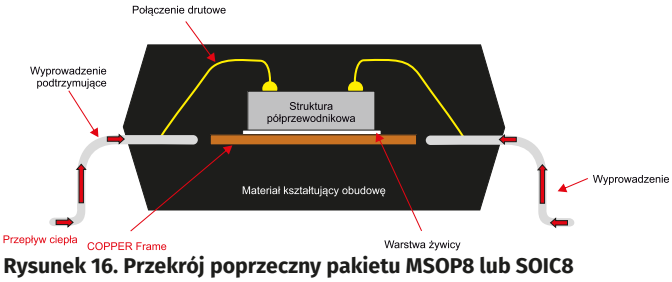
Obudowy tego rodzaju mają dużą odsłoniętą powierzchnię, przez którą ciepło może szybko się przenosić, a pomimo wymienionych powyżej aspektów mają relatywnie małą bezwładność cieplną, w porównaniu do wymienionych dalej obudów. Te rodzaje obudów będą szybko reagować na zmiany temperatury pola, do którego przylutowane jest centralne pole układu (tzw. pad termiczny – *thermalpad*), ponieważ chip znajduje się bezpośrednio na metalu pola lutowniczego (**rysunek 14**).

Kolejna klasa obudów to obudowy bez fizycznych wyprowadzeń, które nie mają metalowej podkładki, do której mocowana jest struktura krzemowa (np. DFN). Przykład takiej obudowy, w przekroju, pokazano na **rysunku 15**. Układy te transportują ciepło jedynie przez wyprowadzenia (pola lutownicze). Mała obudowa tego typu może nadal szybko reagować na zmiany temperatury ze względu na małą pojemność cieplną układu.

Inne obudowy, takie jak SOIC8, MSOP8, SOT563 i SOT23 czy DIP i SIP, przenoszą większość ciepła przez swoje wyprowadzenia. Wyprowadzenia te przekazują od 60% do 70% ciepła ze ścieżek do czujnika temperatury w strukturze krzemowej. Czyni je to relatywnie odizolowanymi od temperatury PCB – dobrze sprawdzą się przy pomiarze temperatury otoczenia, ale nie są rekomendowane do pomiaru temperatury elementów na PCB. Na **rysunku 16** pokazano przekrój poprzeczny przez obudowę tego rodzaju.

Wbudowane sensory

Różne układy elektroniczne mają wbudowane sensory temperatury. Są to najczęściej duże układy, produkujące sporo ciepła, takie jak procesory, SoC, GPU czy układy FPGA. Sensor taki najczęściej jest realizowany jako złącze PN (dioda), będące częścią tranzystora NPN. Niektóre układy scalone (np. FPGA Intel Arria 10) mają, oprócz samego sensora, wbudowany analogowy tor pomiarowy wraz z przetwornikiem analogowo-cyfrowym. Inne mają wyprowadzone tylko linie D+ i D– (odpowiednio, anoda i katoda diody pomiarowej) i wymagają podłączenia zewnętrznych obwodów pomiarowych. Jak więc mierzy się temperaturę diody? Z równania diody (**równanie 2**) można wyznaczyć, że napięcie przewodzenia diody jest wprost proporcjonalne do jej temperatury. Oznaczenia mogą być początkowo mylące, dopóki nie zdamy sobie sprawy z faktu, że dioda ta to tak naprawdę tranzystor ze zwartymi kolektorem i bazą.



Rysunek 16. Przekrój poprzeczny pakietu MSOP8 lub SOIC8

REKLAMA

eprasa.pl 2897393b21

$$V_{BE} = \frac{\eta kT}{q} \cdot \ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right)$$

gdzie:

- V_{BE} to napięcie baza-emiter;
- η to tzw. współczynnik idealności lub współczynnik emisji, zależny od materiału diody. Wynosi 1 dla półprzewodników o skośnej przerwie energetycznej (np. krzem czy german), a 2 dla półprzewodników o przerwie prostej (np. GaAs czy InP). W rzeczywistości współczynnik ten fluktuuje w przedziale od 1 do 2;
- k to stała Boltzmanna;
- T to temperatura bezwzględna układu;
- q to ładunek jednostkowy;
- I_C to prąd kolektora tranzystora;
- I_S to tzw. ciemny prąd nasycenia, czyli prąd upływu złącza PN, gdy to znajduje się w idealnej ciemności.

Pomiar temperatury za pomocą diody sprowadza się do pomiaru spadku napięcia na złączu PN dla ustalonego prądu. Typowo realizuje się to za pomocą przełączania dwóch źródeł prądowych, które są swoją wielokrotnością, co pozwala na wyeliminowanie wpływu efektów związanych z prądem nasycenia itp. Detale tematu pomiaru temperatury za pomocą złącza PN wymykają się ramom tego i tak dosyć obszernego tekstu, więc nie będą one dokładnie omówione. W sieci istnieje dużo źródeł, opisujących, w jaki sposób zbudować front-end analogowy do pomiaru temperatury tego rodzaju diody.

Podsumowanie

W powyższym artykule omówiono podstawy teoretyczne i techniki pomiarowe pozwalające na optymalizację układów pomiaru temperatury układów na PCB, jak i otoczenia. W przypadku pomiarów temperatury powietrza krytyczna jest fizyczna izolacja między czujnikiem a elementami wytwarzającymi ciepło na samej płytce drukowanej. Dodatkowo, istotne jest uwzględnienie ścieżek przewodzących ciepło, takich jak wylewki GND czy zasilania, co odgrywa bardzo ważną rolę w zapewnieniu, żeby pobliskie komponenty nie powodowały fałszywych odczytów temperatury otoczenia. W przeciwieństwie do tego pomiar temperatury struktury krzemowej układów scalonych wymaga starannego rozważenia lokalizacji czujnika i zapewnienia ścieżki o wysokiej przewodności cieplnej pomiędzy monitorowanym układem a sensorem, aby stworzyć szybką równowagę termiczną między nimi.

We współczesnej elektronice temperatura jest bardzo istotnym czynnikiem – wiele elementów elektronicznych pochłania ogromne ilości energii, która musi się gdzieś podziać. Na ogół oznacza to chłodzenie elementów elektronicznych, aby odprowadzić z nich ciepło. Aby układy chłodzenia działały wydajnie, konieczne jest stałe monitorowanie temperatury chłodzonych elementów. Pozwala to na sterowanie systemem chłodzenia w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego, dzięki czemu pracuje on z optymalną mocą. Im układ generuje więcej ciepła, tym mocniej pracuje chłodzenie, a w momentach mniejszego obciążenia moc chłodzenia jest redukowana, aby nie zużywać niepotrzebnie energii.

Tylko dokładny pomiar temperatury pozwala na oszczędne korzystanie z układów chłodzenia, przy jednoczesnym zapewnieniu bezawaryjnej pracy systemu. Przekłada się to na zmniejszenie zapotrzebowania na energię całego systemu elektronicznego.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła

- Ben Kasemsadeh, Aaron Heng, Amit Ashara, „Temperature sensors: PCB guidelines for surface mount devices", Texas Instruments Application Report SNOA967 A, lipiec 2017 (ze zmianami ze stycznia 2019)
- Donal McNamara, „Measuring PCB Temperature", Analog Dialogue 41, styczeń 2007
- Temperature sensors: guidelines for system integration", ST Microelectronics Application note AN5449, kwiecień 2020
- https://bit.ly/368fvSc
- Intel Arria 10 Core Fabric and General Purpose I/Os Handbook", Intel A10 Handbook 683461, styczeń 2022
- David Vaseliou, EmmyDenton, „Optimizing Remote Temperature Sensor Design", Texas Instruments Application Report SBOA173A, styczeń 2017 (ze zmianami z grudnia 2019)
- https://bit.ly/3uYxkgX
- https://bit.ly/3uR6BTy

REKLAMA

KOMPUTERY RASPBERRY PI
I MODUŁY ARDUINO

ARDUINO

AVT sklep

http://sklep.avt.pl

eprasa.pl 2897393b21

Wyjątkowa prędkość i dynamika

Nowy silnik krokowy AM3248 o prędkości 10 000 obr./min

Poprzez swoją prędkość i moment obrotowy nowy silnik krokowy AM3248 firmy FAULHABER podnosi poprzeczkę w zakresie osiągów. Oferowana maksymalna prędkość obrotowa 10 000 obr./min to pięciokrotność możliwości podobnych silników krokowych. Połączenie z przekładnią o przełożeniu 100:1 zapewnia moment obrotowy o wartości 5 Nm. To wszystko przy średnicy zaledwie 32 mm. Dzięki temu silnik jest idealnie dostosowany do szerokiej gamy zastosowań w dziedzinach takich jak przemysł lotniczy, automatyzacja laboratoriów, duże systemy optyczne, produkcja półprzewodników, robotyka i drukowanie 3D.

Wielobiegunowy, dwufazowy silnik krokowy AM3248 wykonuje 48 kroków na obrót i zapewnia bardzo wysoki statyczny moment obrotowy o wartości 85 mNm. Od uruchomienia silnik pracuje z dużą prędkością, a dzięki małej bezwładności może być przeznaczony do zastosowań wymagających błyskawicznego przyspieszenia i szybkich zmian kierunku. Nowa konstrukcja łożyskowania jeszcze bardziej wydłuża już długi okres eksploatacji silnika tego typu. Wydajność, jaką osiąga silnik w swojej klasie w połączeniu z przekładnią 32 GPT, nie ma sobie równych na rynku. Silnik jest kompatybilny z enkoderem magnetycznym IE3.

Więcej informacji:
FAULHABER Polska sp z o.o.
60-204 Poznań, ul. Górki 7
tel. +48 61 278 72 53
info@faulhaber.pl, www.faulhaber.com

Te właściwości i opcje sprawiają, że silnik idealnie nadaje się do różnych wymagających zastosowań. Jednym z nich jest wyrównywanie położenia paneli słonecznych satelitów. Silniki poruszają wysięgnikami tak, aby panele były zawsze skierowane bezpośrednio na słońce. Oprócz precyzyjnej i niezawodnej wieloletniej pracy, silniki muszą również być odporne na ekstremalne temperatury w przestrzeni kosmicznej. W produkcji półprzewodników wymaga się bardzo wysokiej dynamiki i prędkości przy pozycjonowaniu w maszynach o bardzo ograniczonej przestrzeni. Jest to kolejne zastosowanie, w którym niezbędny jest najwyższy poziom precyzji i niezawodności.

„Nasz nowy model silnika krokowego AM3248 spełnia wszystkie te wymagania i idealnie sprawdza się w zastosowaniach, gdzie niezbędna jest wysoka wydajność" – wyjaśnia Thomas Würgler z FAULHABER PRECISTEP. Silniki krokowe FAULHABER produkowane są w szwajcarskim mieście La Chaux-de-Fonds słynącym z produkcji zegarków. „Jesteśmy w stanie dostosować produkt do konkretnych wymagań, nawet w niewielkich cyklach produkcyjnych. Naszym klientom zapewniamy cały pakiet napędowy, w tym doradztwo techniczne i wsparcie z jednego źródła".

eprasa.pl 2897393b21

Automatyczny pomiar temperatury ciała z Planck Vision Systems

Szybkie badanie przesiewowe za pomocą kamer termowizyjnych

W ostatnim czasie chyba każdy z nas doświadczył rutynowego badania, które polegało na szybkim pomiarze temperatury ciała i było wykonywane za pomocą pirometru. Niestety, urządzenia takie nie zawsze odznaczają się właściwą precyzją. Jednak przy założeniu, że do takiego przesiewowego badania używa się odpowiedniego urządzenia, jest to prosty sposób na ograniczenie rozprzestrzeniania się chorób. Dotyczy to nie tylko okresu zagrożenia epidemiologicznego. Podwyższona temperatura ciała jest objawem wielu dolegliwości, nie tylko takich przenoszonych drogą kropelkową.

Więcej informacji:
Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.
93-350 Łódź, ul. Ustronna 41
tel. +48 42 645 55 55
dso@tme.pl, www.tme.eu

Opisana metoda zmniejszania liczby zarażeń w przestrzeni publicznej, transporcie zbiorowym, szkole czy zakładzie pracy wiąże się z pewnym problemem natury logistycznej. Badanie każdej osoby przekraczającej próg biura czy przedszkola za pomocą ręcznego pirometru zajmuje czas i angażuje zasoby ludzkie. Na szczęście istnieją alternatywne i automatyczne metody. **Systemy szybkiego, zbiorowego i dokonywanego na odległość pomiaru temperatury ciała upowszechniły się w ciągu ostatniego roku. Są teraz nie tylko szeroko dostępne i przystępne cenowo, ale również niezwykle proste w implementacji.** Jedne z najdogodniejszych rozwiązań w zakresie systemów wykrywania EBT (*Elevated Body Temperature*) oferuje amerykańska marka Planck Vision Systems, której produkty prezentujemy poniżej.

Kompaktowe systemy pomiaru temperatury

Planck Vision Systems to firma założona w Santa Monica, w Kalifornii, przez grupę inżynierów i badaczy specjalizujących się w technologii termowizyjnej. Ze względu na to, że rozwiązania oferowane przez firmę bazują na kamerach rejestrujących promieniowanie podczerwone, pozwalają monitorować temperaturę obiektów (osób) w stosunkowo szerokim polu widzenia. Dzięki połączeniu czujników z oprogramowaniem służącym analizie obrazów, produkty Planck Vision Systems nie tylko szybko i precyzyjnie określają temperaturę poszczególnych osób znajdujących się w obserwowanej przestrzeni – pozwalają również na dalsze przetwarzanie zarejestrowanych danych.

Kamera ThermaCheck

Kamera PVS-TC160-EU (**fotografia 1**) została opracowana jako stacjonarne i łatwe w użyciu rozwiązanie przeznaczone do biur, hoteli i innych budynków, gdzie wchodzący mijają sekretariat czy okienko informacyjne. Urządzenie umieszczane jest na małym statywie, najlepiej na blacie biurka lub kontuarze, skąd rejestruje temperaturę osób w szerokim polu widzenia (w odległości do 4 metrów). Czujnik składa się z matrycy bolometrycznej o rozdzielczości 160×120 pikseli oraz kamery rejestrującej światło widzialne. Po podłączeniu do komputera (za pomocą USB lub sieci Ethernet) wyposażonego w darmowe oprogramowanie producenta, urządzenie prowadzi stałą obserwację. **Temperatura ciała widocznych osób określana jest w zakresie od 33°C do 40°C z dokładnością 0,3°C.**

W przypadku przekroczenia dopuszczalnej wartości (innymi słowy: jeżeli kamera wykryje obecność osoby z gorączką), aplikacja może: wyświetlić komunikat na ekranie komputera, wyemitować sygnał akustyczny lub nawet wysłać e-mail z informacją. Instalacja oraz

eprasa.pl 2897393b21

Fotografia 1. Niewielka kamera termowizyjna PVS-TC160-EU o dokładności 0,3°C

kalibracja urządzenia jest niezwykle prosta i intuicyjna, a sama obsługa nie wymaga szkolenia. Oprogramowanie (kompatybilne ze wszystkimi opisywanymi tu rozwiązaniami) może współpracować z wieloma kamerami jednocześnie.

ThermaCheck LT

W wielu przypadkach niezastąpionym rozwiązaniem może okazać się kamera przenośna. Dotyczy to zwłaszcza wnętrz, do których prowadzi wiele wejść, jak również przestrzeni aranżowanych tymczasowo (np. koncerty). Kamera ThermaCheck LT (**fotografia 2**) wyposażona jest w 3,5-calowy wyświetlacz, na którym prezentowany jest obraz z matrycy rejestrującej natężenie podczerwieni oraz wynik pomiaru. Podobnie jak w przypadku innych produktów Planck Vision Systems, oprogramowanie automatycznie rozpoznaje poszczególne osoby w polu widzenia (do 1,8 m) i może emitować alarm w przypadku zaobserwowania człowieka o podwyższonej temperaturze ciała. Zainstalowany akumulator pozwala na 4 godziny bezprzewodowej pracy urządzenia. **Należy podkreślić, że odznacza się ono klasą szczelności IP54, może być zatem używane w trudnych warunkach środowiskowych, jak również w plenerze, nawet podczas niesprzyjającej pogody.**

Fotografia 2. Mobilna kamera termowizyjna PVS-TC160-LT wyposażona w wyświetlacz

Fotografia 3. Kamera ThermaCheck Pro typu PVS-TC320-EU, urządzenie może służyć do nocnej obserwacji obiektów

ThermaCheck Pro

W często uczęszczanych ciągach komunikacyjnych – szkołach, dworcach, dużych firmach itd., optymalnym rozwiązaniem będzie kamera termowizyjna ThermaCheck Pro (**fotografia 3**), która została opracowana specjalnie do takich zastosowań. Jest montowana naściennie (podobnie jak rejestratory CCTV). Wyposażono ją w czujnik bolometryczny o wyższej rozdzielczości – 336×256 i większym zasięgu – do 6 m. Ma również 5-watową lampę IR, dzięki czemu może służyć jako element systemu monitoringu. **Dzięki podwyższonej czułości umożliwia pomiar temperatury poszczególnych osób przemieszczających się szybko i w zwartych grupach.** Dzięki pełnej integracji z bezpłatnym oprogramowaniem opracowanym przez Planck Vision Systems po montażu i kalibracji pomiar, obserwacja oraz emisja sygnałów alarmowych odbywają się zupełnie automatycznie, według zaprogramowanych podczas instalacji nastaw.

Akcesoria

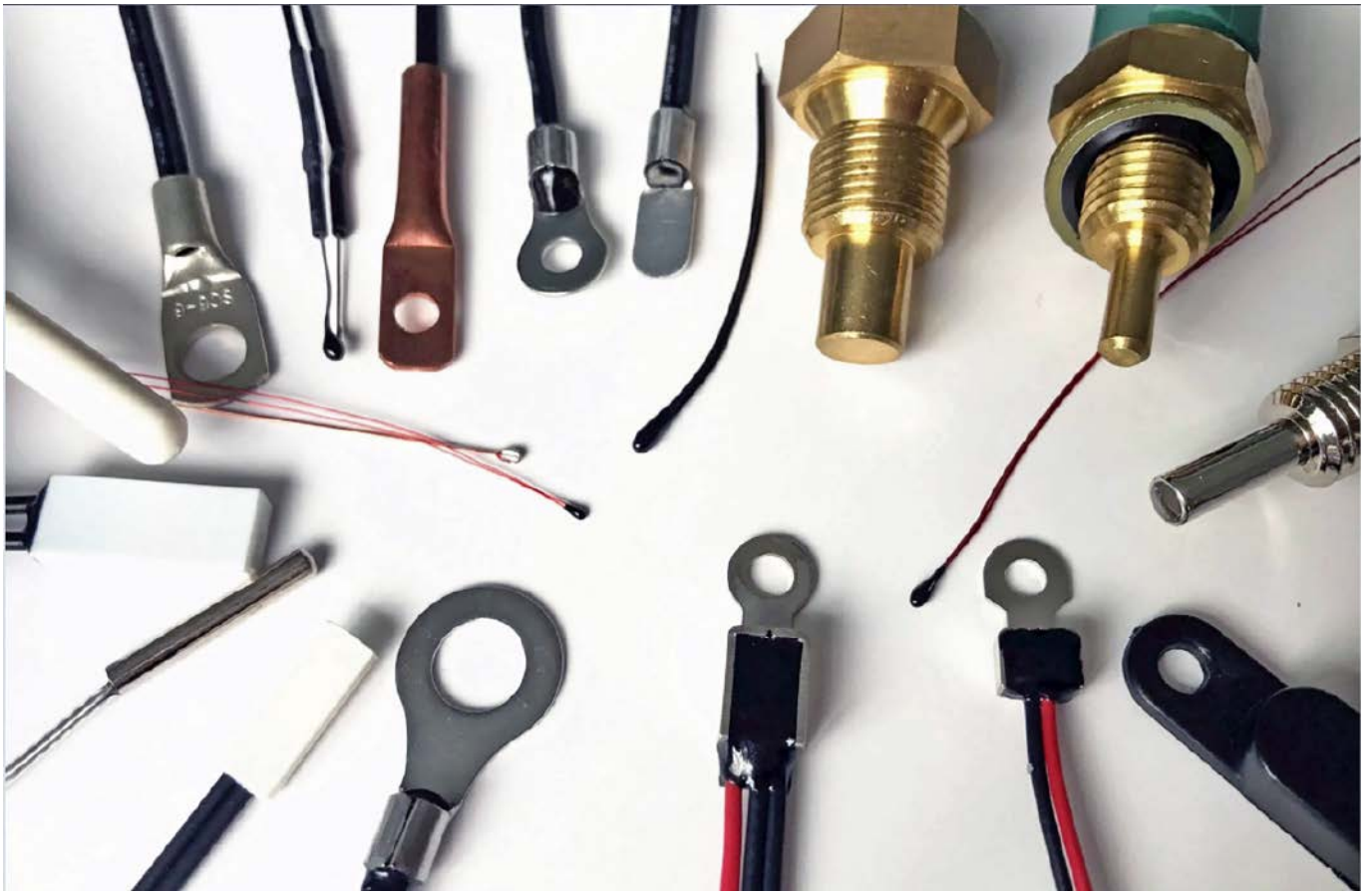
Akcesoria oferowane przez Planck Vision Systems to statywy i uchwyty do wyżej opisanych urządzeń. Należy podkreślić, że stanowią one jedyne opcjonalne wyposażenie kamer producenta. Produkty zostały zaprojektowane tak, aby były w pełni funkcjonalne bez użycia dodatkowych akcesoriów. Statywy do kamer ThermaCheck to lekkie, stabilne, aluminiowe trójnogi mające antypoślizgowe stopy i obrotowe głowice. Dostępne są wersje o wysokości 127 mm oraz w wariancie teleskopowym – rozsuwane od 0,6 m do 1,6 m. Do montażu naściennego (dla modelu ThermaCheck Pro) przygotowano metalowe ramię mocowane do muru, z przegubem umożliwiającym precyzyjne nakierowanie czujnika (**fotografia 4**).

Transfer Multisort Elektronik Sp. z o.o.

Źródło: https://bit.ly/3LsiYLs

Fotografia 4. Uchwyt ścienny PVS-WB320 do montażu kamery ThermaCheck Pro

eprasa.pl 2897393b21



Elektroniczne sensory temperatury

Temperatura jest jedną z podstawowych własności fizycznych. Wszystko, co nas otacza, ma jakąś temperaturę. Jest ona związana z fizycznymi parametrami cząstek, z jakich dane ciało się składa. Mimo to, bezpośredni pomiar tej wartości nie jest możliwy – nasze sensory skazane są na pośredni pomiar temperatury, który polega na obserwowaniu innych, zależnych od niej zjawisk.

Pomiar pośredni wartości fizycznej oznacza, że sensor mierzy inną wartość fizyczną, która jest zależna od tej, która leży w centrum naszego zainteresowania. W przypadku temperatury, czy dokładniej rzecz biorąc, średniej energii kinetycznej cząstek danego materiału, mierzone są różne parametry uzależnione od temperatury.

Temperatura, będąc jedną z zasadniczych własności fizycznych, ma wpływ na niemal wszystkie własności materii. Do pomiaru temperatury jednak najlepiej nadają się takie kombinacje materiałów i ich własności, które mają szczególnie silny, a najlepiej dodatkowo liniowy związek z temperaturą. Podręcznikowym przypadkiem materiału, który silnie reaguje na zmiany temperatury i może być używany w termometrach, jest rtęć. Klasyczny termometr rtęciowy korzysta ze zjawiska rozszerzalności cieplnej tego metalu – im wyższa temperatura, tym ta sama ilość rtęci zajmuje większą objętość, a co za tym idzie słupek w termometrze rośnie wyżej. Niestety słupka rtęci nie da się łatwo podłączyć do układu elektronicznego, więc w urządzeniach elektronicznych trzeba stosować inne sensory.

W artykule przedstawimy różne typy sensorów temperatury, omówimy ich zasadę działania z uwzględnieniem fizycznych zjawisk, jakie za nimi stoją. Porównamy też ich kluczowe zastosowania, aby określić, jakie są idealne warunki aplikacji dla poszczególnych sensorów. Poniższa lista nie jest w żaden sposób wyczerpująca, gdyż liczba technik pomiaru temperatury, które da się zastosować w systemach elektronicznych jest niemal nieskończona.

Rodzaje sensorów temperatury

Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów sensorów temperatury różniących się mechanizmami działania, a co za tym idzie, również parametrami i, w konsekwencji, obszarami aplikacji. Oczywiście, ideałem byłoby posiadanie dokładnego i szybkiego termometru o dowolnym zakresie temperatur… Jak łatwo się domyślić, fizyka zjawisk powiązanych z temperaturą nie pozwala na opracowanie takiego sensora. Dlatego też dobrze jest znać dostępne rozwiązania i wiedzieć, jak dobrać je do konkretnej aplikacji.

Sensory temperatury charakteryzować można dużą liczbą parametrów, jednak dla uproszczenia poniższego zestawienia skupimy się na następujących obszarach:

eprasa.pl 2897393b21

- Dokładność pomiaru, która wynika z samego sensora, ale także koniecznych do jego implementacji układów (np. analogowego toru pomiarowego). Oczywiście, każdy układ pomiarowy można rozbudować do poziomu bardzo zaawansowanego i precyzyjnego systemu, jednak skupimy się na typowych (i ekonomicznie uzasadnionych) implementacjach;
- Zakres temperatur stosowania pojedynczego sensora, tj. pojedynczego elementu, ponieważ w wielu klasach elementów znajdziemy sensory o różnych zakresach, jednak żaden pojedynczy z nich nie pokryje zbyt szerokiego przedziału, zwłaszcza w zakresie i niskich, i wysokich temperatur;
- Szybkość działania, która wynika z szybkości działania samego zjawiska fizycznego, stojącego u podstaw działania sensora, a także m.in. bezwładności termicznej samego układu, wraz z obudową itp.;
- Łatwości implementacji w typowym układzie elektronicznym, np. czy dany sensor wymaga dodatkowych, często skomplikowanych i drogich przetworników;
- Odporności chemicznej i fizycznej sensora – jest ona zależna oczywiście od fizycznej obudowy układu, jednak niektóre rodzaje sensorów są popularniejsze w zastosowaniach przeznaczonych np. do pomiaru temperatury w systemach przemysłowych np. instalacjach chemicznych;
- Koszt, co chyba nie wymaga szerszego komentarza. Uwzględniony zostanie koszt samego sensora oraz koniecznych elementów zewnętrznych, które są wymagane do typowej implementacji.

Termistory RTC i NTC

Rezystancja każdego opornika jest zależna od temperatury, w pewnym stopniu, mówi o tym tak zwany temperaturowy współczynnik rezystancyjny – TWR. Termistor to rodzaj opornika, którego rezystancja jest silnie zależna od temperatury. Elementy tego rodzaju wykonuje się typowo z materiałów półprzewodnikowych (tlenków metali), co sprawia, że rezystancja elementu zmienia się nieliniowo w funkcji temperatury. W przypadku typowych termistorów można założyć, że dla niewielkich zmian temperatury zależność rezystancji można przyjąć jako liniową:

$$R = R_0\left(1+\alpha\left(T-T_0\right)\right)$$

gdzie:
R to rezystancja termistora w temperaturze T,
R_0 to rezystancja w temperaturze T_0,
α to TWR, który charakteryzuje nachylenie krzywej temperatury elementu.

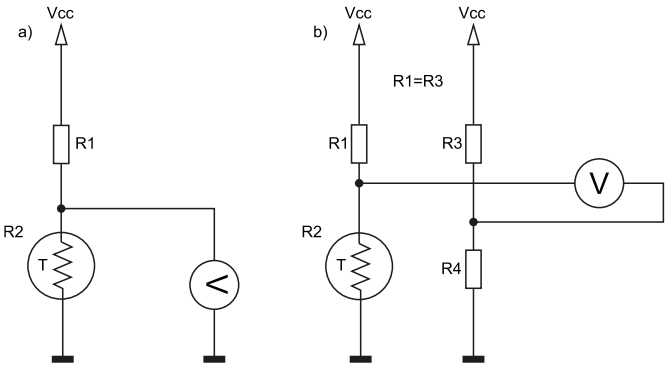
Jednak jeśli mamy do czynienia z szerszym zakresem temperatur, konieczne jest sięgnięcie po bardziej złożone modele – najczęściej model Steinharta–Harta, który pozwala na wyliczenie temperatury z rezystancji termistora za pomocą równania:

$$\frac{1}{T} = a + b\ln R + c\left(\ln R\right)^3$$

gdzie:
a, b i c to parametry danego termistora, które specyfikuje producent,
T to temperatura podawana w kelwinach,
Ro to rezystancja wyrażona w kΩ.

Jeżeli współczynnik uzależniający rezystancję od temperatury jest dodatni, oznacza to, że wraz ze wzrostem temperatury rośnie oporność, a z jej spadkiem odwrotnie – spada. Takie układy nazywa się termistorami PTZ – o pozytywnym współczynniku temperaturowym. Elementy, które zachowują się odwrotnie, mają ujemny współczynnik temperaturowy – są elementami o negatywnym współczynniku temperaturowym – NTC.

Jednym z kluczowych problemów z zastosowaniem termistorów w pomiarach jest tzw. zjawisko samoogrzewania. W czasie pomiaru temperatury przez opornik płynie jakiś prąd, który powoduje wydzielanie się na nim pewnej mocy, równej dokładnie $P=I^2\times R$ [W]. To powoduje, że opornik ten ogrzewa się – jego temperatura rośnie o K×P stopni,



Rysunek 1. Podstawowe układy do pomiaru temperatury z zastosowaniem termistora: a) dzielnik rezystancyjny, b) układ mostkowy

Fotografia 1. Różne wykonania termistorów

gdzie K to rezystancja cieplna opornika. Rezystancja cieplna małych termistorów (na przykładzie układu TMP61) $R_{\theta JA}$ równe jest od 215 do 742 k/W. Aby wpływ samoogrzewania się termistora był pomijalny, jego prąd musi być mały, na poziomie mikroamperów.

Typowe układy pomiarowe z termistorem nie różnią się niczym od typowych układów do pomiaru rezystancji. Najprostszym jest dzielnik rezystancyjny, złożony z termistora i rezystora – napięcie wyjściowe dzielnika zmienia się wraz z rezystancją termistora (**rysunek 1a**). Jest to najtańszy i najprostszy układ, pozwalający na implementację pomiaru temperatury. Jeśli wymagana jest większa dokładność pomiaru, sięgnąć należy po bardziej złożony układ mostkowy wraz ze wzmacniaczem różnicowym (**rysunek 1 b**). Układ tego rodzaju omówiliśmy szerzej w EP 12/2021 i EP 1/2022.

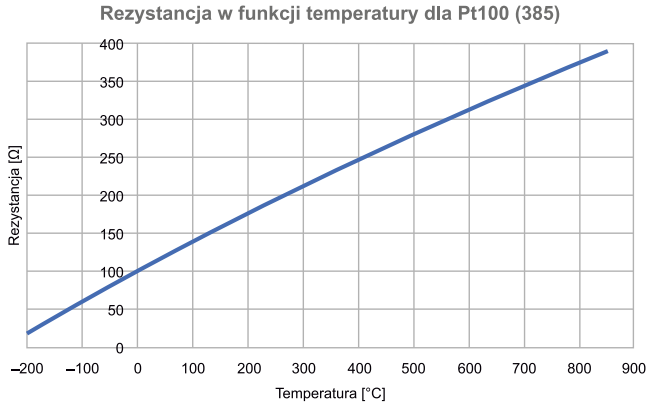
Termistory dostępne są w różnorodnych obudowach (**fotografia 1**), także odpornych na trudne warunki, żrące substancje itp.

Termometry rezystancyjne Pt100, Pt500 i inne

Innym rodzajem sensora temperatury jest termistor bazujący na elemencie platynowym. Z uwagi na to, że medium aktywnym sensora jest platyna, sensory z rodziny Ptxxx mają szereg unikatowych własności, które zostały wyróżnione osobnym rozdziałem artykułu. Temperaturowy współczynnik rezystancyjny platyny wynosi $3{,}9\times10...3\ K^{-1}$ – jest to jeden z najwyższych współczynników α dla metali, co oznacza, że rezystancja sensorów wykonanych z tego metalu zmienia się z dużym nachyleniem – układ jest relatywnie czuły na zmiany temperatury. Dodatkowo, rezystancja w funkcji temperatury sensorów Pt100 jest niemalże liniowa (**rysunek 2**), co niezwykle upraszcza przeliczanie mierzonej wartości na temperaturę.

Platyna to metal szlachetny, który charakteryzuje się bardzo wysoką odpornością chemiczną i stabilnością, dzięki czemu termometry bazujące na termistorach platynowych mogą zapewniać stabilne w czasie pomiary, nawet w niekorzystnym środowisku (np. w obecności środków chemicznych). Dzięki temu sensory platynowe idealnie nadają się do zastosowania w instalacjach przemysłowych (**fotografia 2**). Jednak, jak łatwo się domyślić, platyna jako metal szlachetny jest dosyć drogim

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 2. Zależność rezystancji od temperatury dla sensora PT

Fotografia 2. Przykłady czujników Pt100 i Pt500

materiałem, co oznacza, że termistory Ptxxx, także są dosyć drogimi elementami w porównaniu do typowych elementów NTC i PTC.

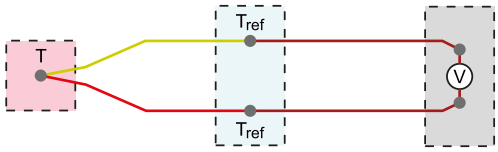
Z uwagi na wysoką temperaturę topnienia i stabilność chemiczną platyny termometry platynowe mogą być stosowane w bardzo szerokim zakresie temperatur. Typowo sensory te stosuje się od temperatury –200°C do 850°C (teoretycznie w obojętnej atmosferze nawet do 1000°C). Pomiar temperatury za pomocą sensora platynowego realizowany jest dokładnie tak samo, jak w przypadku innych termistorów. Z uwagi na relatywnie małe zmiany rezystancji preferowany jest układ mostkowy. Liczba w oznaczeniu termistora mówi o tym, jaką ma on rezystancję w temperaturze 0°C. Współczynnik temperatury podawany jest przez producenta dla każdego rodzaju produkowanego sensora.

Czujniki Ptxxx są dostępne w różnych klasach dokładności. Najpopularniejszymi klasami dokładności są AA, A, B i C, które są zdefiniowane w normie IEC 60751. Określa ona wartości tolerancji sensora – maksymalną odchyłkę od rzeczywistej temperatury. Ponieważ czujników platynowych nie można wyregulować w celu kompensacji błędów, należy kupić czujnik o odpowiedniej dokładności do danej aplikacji. Błędy czujnika można korygować na poziomie toru pomiarowego za pomocą współczynników korekcyjnych, ale nie jest to optymalne rozwiązanie. W **tabeli 1** zawarto tolerancje różnych klas dokładności (zgodnie z IEC 60751:2008).

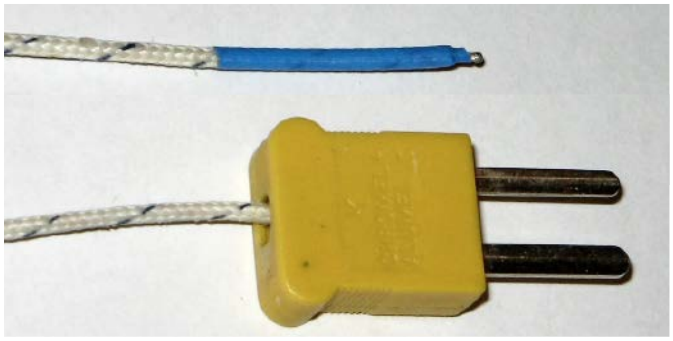
Termopary

Termopara to sensor temperatury, który bazuje na zjawisku Seebecka. Zjawisko to jest jednym ze zjawisk termoelektrycznych, czyli takich, w których dochodzi do bezpośredniej transformacji różnicy potencjałów elektrycznych (napięcia elektrycznego) na różnicę temperatur lub odwrotnie. Bliźniaczym i analogicznym do zjawiska Seebecka jest zjawisko Peltiera.

Efekt Seebecka polega na generacji siły elektromagnetycznej w obwodzie, który składa się z dwóch przewodników lub półprzewodników, gdy ich złącza (punkty styku) znajdują się w różnych temperaturach.



Rysunek 3. Schemat obrazujący zastosowanie typowej termopary w temperaturze T, podłączonej do złącza o temperaturze T_{ref}



Fotografia 3. Wygląd przykładowej termopary (u góry) i typowe złącze termoparowe (poniżej)

Generowana siła elektromotoryczna (obserwowana jako napięcie) jest wprost proporcjonalna do różnicy temperatur – to ważne, gdyż oznacza, że termopara mierzy nie temperaturę bezwzględną, a różnicę temperatur.

Termopara składa się typowo z dwóch metalowych drutów, wykonanych z różnych materiałów (czystych metali i ich stopów, metali szlachetnych i nieszlachetnych), które są na jednym końcu ze sobą stopione. Koniec ten formuje złącze pomiarowe, które należy umieścić w badanej temperaturze. Drugi koniec drutów podłącza się do układu pomiarowego – ich długość jest w zasadzi bez znaczenia, co oznacza, że sensor można umieścić daleko od pozostałej części delikatnej elektroniki. Przykładowa termopara została pokazana na **fotografii 3**, a schemat budowy urządzenia pokazano na **rysunku 3**. Miejsce styku drutów termopary ze złączem w układzie pomiarowym jest drugim złączem obwodu termoelektrycznego, dlatego też konieczne jest poznanie jego temperatury (T_{ref} lub T_{cold}). Kiedyś złącze to utrzymywało się w temperaturze zera stopni Celsjusza, poprzez zanurzenie w wodzie z lodem. Sposób ten jest jednak wybitnie niepraktyczny w czasach rozpowszechnienia scalonych i niedrogich sensorów, które mogą precyzyjnie zmierzyć temperaturę złącza termopary, które historycznie nazywane jest „zimnym końcem". Oprócz temperatury mierzy się także napięcie na termoparze, które generowane jest przez siłę elektromotoryczną, wytwarzaną na „gorącym końcu" termopary.

Napięcie generowane przez SEM na złączu jest zależne od stałych materiałowych i szeregu bardzo zawiłych zjawisk zachodzących w materiałach, stanowczo wychodzących poza zakres tego artykułu. W praktyce określa się tzw. współczynnik Seebecka, wiążący temperaturę z gradientem napięcia, który pozwala na wyprowadzenie tzw. funkcji charakterystycznej E(T), która umożliwia na wyliczenie temperatury gorącego złącza zgodnie z równaniem:

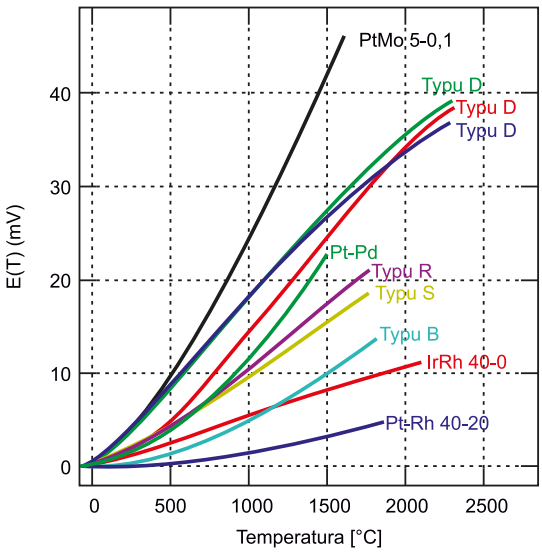
$$V = E(T_{hot}) - E(T_{cold})$$

gdzie:
T_{hot} to mierzona temperatura,
T_{cold} to temperatura zimnego złącza,
V to zmierzone na termoparze napięcie.

Tabela 1. Dokładność różnych klas zgodnie z normą IEC 60751:2008

Klasa dokładności	Tolerancja
AA	± (0,10°C + 0,17% temperatury)
A	± (0,15°C + 0,20% temperatury)
B	± (0,30°C + 0,50% temperatury)
C	± (0,60°C + 1,00% temperatury)

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 4. Charakterystyki najczęściej stosowanych termopar

Funkcja E jest w systemie odczytywana z tablic – analityczne zapisywanie charakterystyk termopar jest zbyt skomplikowane.

Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów termopar, które opisane są w normie PN-EN 60584...1. Poszczególnym termoparom przypisane są tam oznaczenia literowe (takie jak R, J, T czy K). Norma ta definiuje także zakresy temperatur stosowania. Każda z nich ma zakres zastosowania rozciągający się na kilkaset stopni. W ogólności wystarczy kilka rodzajów termopar, aby pokryć zakres od –200°C do 2300°C. Oprócz szerokiego zakresu pomiarowego termopary charakteryzują się niską bezwładnością cieplną, co przekłada się na szybką reakcję na zmiany temperatury otoczenia.

Do pomiaru temperatury za pomocą termopary można zastosować prosty tor analogowy w postaci op-ampa do wzmocnienia niewielkiego napięcia na termoparze oraz np. przetwornika analogowo-cyfrowego. Cała konwersja z napięcia na temperaturę dokonywana jest programowo, co jest znacznie prostsze. Na rynku dostępne są także zintegrowane front-endy dla termopar, które w jednym układzie scalonym integrują tor analogowy, termometr zimnego złącza i przetwornik analogowo-cyfrowy wraz z modułem linearyzacji pomiaru, dzięki czemu wynik działania układu jest już wyskalowany w jednostkach temperatury.

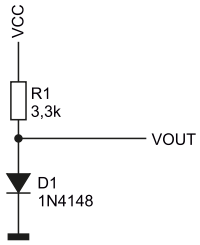
Na **rysunku 4** pokazano charakterystyki niektórych termopar – widoczne są nieznaczne nieliniowości charakterystyk.

Sensory półprzewodnikowe – złącze PN

Własności elektryczne półprzewodników silnie zależą od temperatury. Zależne od nich parametry złącza PN jeszcze silniej związane są z temperaturą. W przypadku zastosowania diody do pomiaru temperatury dokonuje się pomiaru napięcia przewodzenia na złączu PN w kierunku przewodzenia. Zmienia się ono niemal liniowo w funkcji temperatury z nachyleniem około –1...3 mV/°C.

Istnieje kilka fizycznych przyczyn zmiany spadku napięcia na złączu PN. Dominującym efektem jest zwiększanie koncentracji nośników w półprzewodniku – wraz ze zwiększaniem się temperatury materiału coraz więcej elektronów ulega dysasocjacji od ich macierzystych atomów i może pełnić funkcję nośników w materiale. Temperatura ma także wpływ na przerwę energetyczną – im wyższa temperatura półprzewodnika, tym mniejsze jest pasmo energii wzbronionej. Wynika to ze zwiększania się odległości międzyatomowych w strukturze krystalicznej wraz z temperaturą (rozszerzalność cieplna) – im są one dalej od siebie, tym wiązania atomowe są słabsze, a im są one słabsze, tym mniejszy poziom energii potrzebny jest, aby przenieść elektron z poziomu walencyjnego do pasma przewodnictwa.

Pomiar napięcia przewodzenia diody jest relatywnie prosty – wymaga jedynie stabilnego źródła prądowego, które polaryzuje diodę. Prąd płynący przez diodę musi być stabilny, gdyż jego natężenie także ma wpływ na napięcie przewodzenia. Dodatkowo należy zadbać o to, aby prąd ten był na tyle mały, by zminimalizować zjawisko samonagrzewania się diody, analogicznie jak ma to miejsce w przypadku prądu polaryzacji dla termistorów (wcześniejsza część artykułu).



Rysunek 5. Typowy układ do pomiaru temperatury za pomocą dyskretnej diody półprzewodnikowej

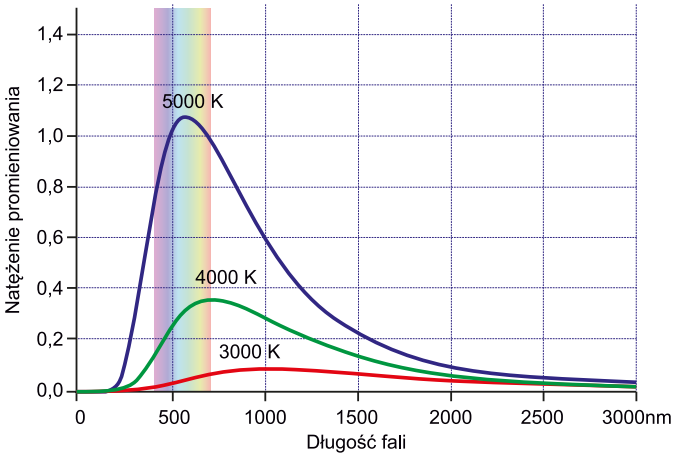
Na **rysunku 5** pokazano typowy układ do pomiaru temperatury za pomocą diody półprzewodnikowej. Jest on jak najbardziej możliwy do praktycznego zastosowania i implementacji w systemie, jednak swoją największą zaletę diody, jako sensory temperatury, pokazują gdzie indziej – jako zintegrowane termometry, które można umieścić wewnątrz układów elektronicznych, takich jak procesory, GPU itp. Dioda PN jest prosta do wytworzenia w strukturze krzemowej takiego układu – jest to część tranzystora, na ogół NPN – układ do pomiaru spadku napięcia włącza się pomiędzy emiter a bazę. Kolektor może być zwarty z bazą, ale nie musi, aby pomiar był prawidłowy. Jak łatwo się domyślić, wytworzenie takiego tranzystora w układzie, w którym znajdują się miliony innych tranzystorów, nie jest zauważalnym kosztem, a daje możliwość pomiaru temperatury struktury krzemowej – rdzenia procesora. Układy do pomiaru temperatury (układ polaryzacji, ADC itp.) mogą również być zintegrowane w układzie lub dodawane zewnętrznie.

Pirometry

Pirometr to, zgodnie z definicją, bezdotykowy przyrząd do pomiaru temperatury. Tak jak w przypadku wszystkich opisanych powyżej sensorów mierzą one tak naprawdę swoją własną temperaturę, tak pirometr naprawdę mierzy temperaturę innego ciała, oczywiście nie bezpośrednio. Dokonuje się tego pośrednio, mierząc widmo (rzadziej) lub natężenie (na ogół) promieniowania podczerwonego, jakie emituje interesujący nas obiekt.

Wszystkie ciała o temperaturze powyżej zera bezwzględnego, emitują promieniowanie elektromagnetyczne. Jest to tak zwane promieniowanie ciała doskonale czarnego. Jego natężenie jest proporcjonalne do temperatury, a widmo przesuwa się wraz z temperaturą w stronę krótszych fal. Dla temperatury pokojowej i trochę wyższych (do około 600°C) widmo to zlokalizowane jest w podczerwieni. Powyżej tej temperatury część zaczyna już zachodzić na promieniowanie z zakresu światła widzialnego – dlatego też rozgrzane przedmioty świecą. Najzimniejsze na czerwono, potem na żółto, a następnie biało. Schematycznie zostało to pokazane na **rysunku 6**.

Pirometry – bezdotykowe termometry IR, mierzą poziom padającego promieniowania podczerwonego, używając do tego szeregu



Rysunek 6. Promieniowanie ciała doskonale czarnego – promieniowanie termiczne

eprasa.pl 2897393b21

Fotografia 4. Sensor pirometryczny firmy Melexis

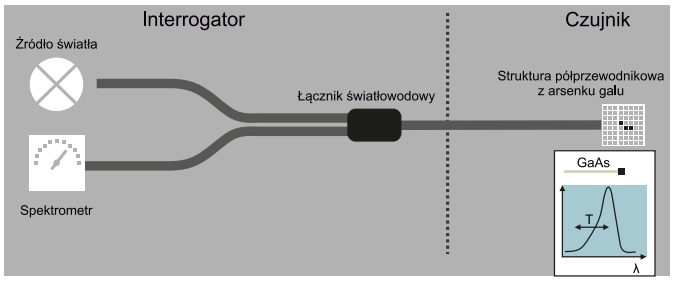
metod. Najpopularniejszą jest zastosowanie termostosu – jest to zespół szeregowo połączonych ze sobą elementów, które mierzą temperaturę stosu, najczęściej płytki ceramicznej lub podobnej, która silnie absorbuje promieniowanie podczerwone. Padające na nią promieniowanie rozgrzewa ją, co można zmierzyć elektrycznie termoelementami, co z kolei pozwala na ocenę natężenia promieniowania podczerwonego. Inne elementy stosowane w termometrach na podczerwień to fotodiody bazujące na innych niż krzem materiałach (InGaAs, HgCdTe itp.), które często stosuje się z filtrem wąskopasmowym, który pozwala na pomiar natężenia w wąskim zakresie spektralnym. Pozwala to na wyliczanie temperatury, szczególnie jeżeli w systemie zastosowano dwie diody z różnymi filtrami (kształt widma jest niezmienny i zależy tylko od temperatury). W sensorach tego typu większość obliczeń realizowana jest w samym układzie, który wyposażony jest typowo w interfejs cyfrowy do komunikacji ze sterownikiem układu.

Implementacja sensorów tego rodzaju jest bardzo prosta – wymagany jest tylko interfejs komunikacyjny (np. SPI czy I²C), który podłączany jest do mikrokontrolera itp. Nie jest wymagana kalibracja ani implementowanie złożonych algorytmów przetwarzania zmierzonych wartości. Zakres pomiarowy tej klasy układów jest bardzo duży, jednak z przyczyn praktycznych większość sensorów ograniczana jest do węższego zakresu. Typowe zakresy temperatur rozpoczynają się od ujemnych temperatur, a kończą na ponad stu lub nawet kilkuset stopni Celsjusza.

Sensory światłowodowe

Kolejną klasą sensorów optycznych są układy, które do pomiaru temperatury używają światłowodów. Oprócz światłowodu sensor taki składa się z kryształu arsenku galu (GaAs). Jest to półprzewodnik, więc reaguje na temperaturę, m.in. zmieniając wartość przerwy energetycznej, co wpływa na jego widmo absorpcji.

W światłowodowym sensorze temperatury (konstrukcję takiego sensora pokazano na **rysunku 7**) płytka wykonana z GaAs umieszczona jest na końcu światłowodu, a na płytce znajduje się zwierciadło. W ten sposób światło wychodzące ze światłowodu przechodzi przez półprzewodnik, odbija się od zwierciadła z powrotem do światłowodu. W ten sposób, za pomocą jednego włókna, można mierzyć absorpcję płytki GaAs, znajdującej się w innym miejscu. Jeśli do światłowodu, przez łącznik „Y", podłączymy źródło światła (do jednej gałęzi) i spektrometr (do drugiej gałęzi), możliwy jest pomiar widma absorpcji GaAs. Jeśli jako źródło światła zastosujemy np. laser lub diodę LED o wąskim pasmie emitowanego światła, które w dodatku ma tak dobraną długość fali, że znajduje się na poruszającej się krawędzi absorpcji (**rysunek 8**), to wystarczy pomiar natężenia światła wychodzącego z drugiej

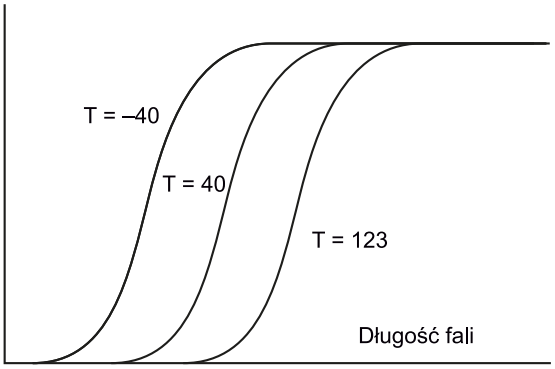


Rysunek 7. Schematycznie pokazany sensor światłowodowy wraz z układem pomiarowym

Tabela 2. Podstawowe parametry obecnie stosowanych technologii pomiaru temperatury

Element	Dokładność	Zakres temperatur	Szybkość	Łatwość implementacji	Odporność chemiczna	Koszt	Uwagi
NTC/PTC	Zależna od toru analogowego	Niewielki (aby zachować liniowość odpowiedzi)	Średnia	Bardzo łatwe w implementacji w układzie	Zależna od obudowy, może być dosyć dobra	Niski	
PT100	Zależna od toru analogowego	Bardzo szeroki	Średnia	Łatwe w implementacji	Wysoka	Wysoki	
Termopary	Wysoka	Szeroki	Szybkie	Skomplikowane w implementacji	Wysoka	Średnie i wysokie, zależy od rodzaju	
Złącze PN		Szeroki	Szybkie	Dosyć łatwe	Średnia	Niski	
Pirometr	Średnia	Średni	Średnia	Bardzo łatwe w implementacji w układzie cyfrowym	Ogromna – pomiar optyczny sprawia, że układ znajduje się poza miejscem pomiaru	Wysoki	
Sensor światłowodowy	Średnia	Szeroki	Szybkie	Wymagany złożony układ pomiarowy	Ekstremalnie wysoka	Wysoki	
MEMS	Bardzo wysoka	Nieznany	Bardzo szybkie	Wymagany złożony układ pomiarowy	Nieznana	Nieznany, najpewniej początkowo wysoki	Przyszłościowa technologia – obecnie na etapie prototypów

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 8. Schematycznie zobrazowane przesuwanie się krawędzi absorpcji w funkcji temperatury

Rysunek 10. Obraz uzyskany bezpośrednio z sensora termowizyjnego

gałęzi, aby określić, w jakim miejscu krzywej jesteśmy, a co za tym – jaka jest temperatura.

Sensory tego rodzaju są dosyć złożone w sterowaniu, gdyż wymagają stabilnego zasilania dla źródła światła, a także pomiaru natężenia przychodzącego światła (np. za pomocą fotodiody) oraz układu optycznego, który pozwala sprząc ze sobą wszystkie te elementy. W zamian za to otrzymujemy precyzyjny sensor temperatury, który może mierzyć temperaturę zdalnie (odległości rzędu dziesiątek metrów nie są problemem dla tego rodzaju pomiarów) w niemalże dowolnych warunkach – światłowód wykonany jest ze szkła, które jest niezwykle odporne chemicznie, podobnie jak GaAs i dielektryczne zwierciadło na końcu. W ten sposób sensor może być stosowany np. w instalacjach próżniowych (z uwagi na niskie gazowanie użytych materiałów), w obecności agresywnych chemikaliów itp. Dodatkowo, z uwagi na fakt, że przez sensor nie płynie prąd, sprawdzi się on w instalacjach zagrożonych wybuchem, a dzięki temu, że w układzie nie ma żadnych metalowych elementów, można stosować go w obecności pól magnetycznych, np. w urządzeniach do rezonansu magnetycznego do obrazowania medycznego.

Sensory tego rodzaju mają bardzo dużą szybkość działania z uwagi na bardzo małą bezwładność cieplną – płytka z GaAs ma bardzo mały rozmiar, a w związku z tym niską pojemność cieplną. Zakres pomiarowy tego rodzaju sensora rozciąga się od –200°C do 300°C, a dokładność jest na poziomie ±0,8°C (±0,2°C przy pomiarach różnicowych).

Sensory MEMS

Mikroelektromechaniczne (MEMS) sensory temperatury, nazywane czasami sensorami termomechanicznymi, to nowa klasa optycznych, światłowodowych czujników do pomiaru temperatury, które wyróżniają się niewielkim rozmiarem i możliwością zdalnego, optycznego pomiaru temperatury. Jest to istotne w wielu sytuacjach, na przykład w przypadku pomiaru temperatury w niedostępnych czy nieprzyjaznych warunkach instalacji przemysłowych, kopalni i innych.

Zasada działania tych elementów bazuje na mikromechanicznej siatce dyfrakcyjnej, która wytworzona jest w sensorze. Wraz ze zmianą temperatury układu MEMS wygina się on, ponieważ wykonany jest z dwóch materiałów o różnych współczynnikach rozszerzalności cieplnej – jedną jest tytan, a drugą parylen (**rysunek 9**). Odczyt temperatury realizowany jest za pomocą lasera i fotodiody, sprzęganych do światłowodu, na którego końcu znajduje się omawiany sensor, podobnie jak dla termometrów światłowodowych.

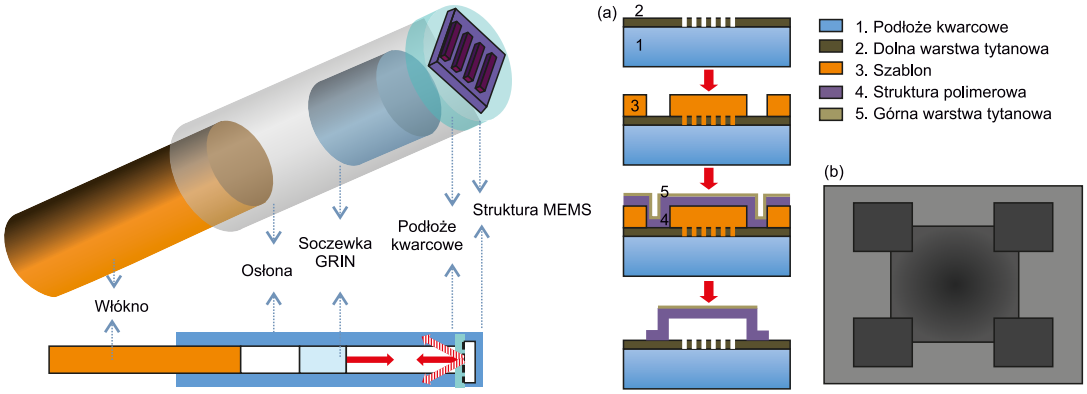
Tego rodzaju sensory nie są jeszcze dostępne w handlu – to jeden z zaproponowanych, eksperymentalnych sensorów nowej generacji. Oferuje on dokładność pomiaru temperatury na poziomie ok. 20 mK z perspektywą dalszej poprawy i czas reakcji na poziomie 2,5 ms. Wymaga jednak zastosowania lasera i dosyć dokładnego fotodetektora.

Termowizja

Pisząc o pomiarach temperatury, nie można nie wspomnieć o termowizji – obrazowaniu termicznym. Na rynku dostępnych jest wiele urządzeń, oferujących taką możliwość. Systemy te działają podobnie jak zwykłe kamery, jednakże czułe są nie na światło widzialne, a na podczerwień w zakresie od 9 μm do 14 μm.

Kamery termowizyjne działają jak macierze pirometrów i charakteryzują się różną rozdzielczością. Przykładowy sensor na podczerwień o rozdzielczości 320×240 został pokazany na **fotografii 5**. Rozdzielczość takich komponentów jest na ogół istotnie mniejsza niż systemów pracujących w świetle widzialnym. Uzyskiwany obraz nie ma barw, wygląda jak na **rysunku 10**. Aby obrazy widziane w takim systemie prezentowały się lepiej, często nakłada się dane z sensora

Fotografia 5. Przykładowy sensor termowizyjny



Rysunek 9. Budowa sensora MEMS

eprasa.pl 2897393b21

Rysunek 11. Efekt działania kamery termowizyjnej: a) uzyskany obraz termowizyjny, z naniesionymi barwami odpowiadającymi odpowiednim kolorom, b) rzeczywisty obraz

termowizyjnego na dane pochodzące z klasycznej kamery. Aby lepiej wizualizować temperatury, używa się różnych skal barwnych – tzw. pseudokoloru, do odzwierciedlenia temperatury w obrazie. Przykładowy obraz z kamery termowizyjnej wyposażonej w takie rozwiązanie pokazano na **rysunku 11**.

Podsumowanie

Sensory temperatury to krytyczny element wielu systemów. Klimatyzatory, automatyka przemysłowa, lutownice, silniki samochodowe… przykłady stosowania układów do pomiaru temperatury można by mnożyć. Każdy z tych systemów ma inne wymagania, dotyczące stosowanego w nim sensora. I między innymi dlatego na rynku dostępny jest tak szeroki wachlarz elementów do pomiaru temperatury.

Układy do pomiaru temperatury cały czas się rozwijają. Można by pomyśleć, że w zakresie termometrów nie można wymyślić niczego nowego, a znane już technologie zostały dopracowane do granic możliwości. Nic bardziej mylnego, co pokazano w powyższym artykule, na przykładzie sensorów MEMS. Cały czas są opracowywane nowe rodzaje układów do pomiaru temperatury, łączące najnowsze zdobycze wielu dziedzin techniki.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła

- https://www.birkmfg.com/
- https://beamex.com/
- Krzysztof Dziarski, „Pomiar temperatury złącza diody półprzewodnikowej na podstawie termogramu", „Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej" 59 (2018)
- https://www.omega.co.uk/
- https://micronor.com/
- Huseyin Ozan Cirkinoglu, Habib Bilgin, Fehmi Civitci, Hamdi Torun, Onur Ferhanoglu, „Fiber Temperature Sensor Utilizing a Thermomechanical MEMS Detector", „Journal of Lightwave Technology" 34 (2015)

REKLAMA

Nie przegap interesujących materiałów w siostrzanym czasopiśmie

EdW możesz zamówić na
www.ulubionykiosk.pl
Do kupienia również w Empikach i wszystkich większych kioskach z prasą.

www.elportal.pl

W marcowym wydaniu „Elektroniki dla Wszystkich" między innymi:

Generator nanosekundowy
Układ elektroniczny jest banalnie prosty. A sygnały prostokątne o zboczach 1-nanosekundowych przydadzą się do wielu różnych celów. Przy okazji ujawniają się zaskakujące fakty o oscyloskopach Rigol.

Transmisja danych w inteligentnym domu. Rozkazy protokołu MODBUS
Ponieważ MODBUS nadal jest bardzo popularnym standardem, także w systemach inteligentnego domu, trzeba dobrze poznać i zrozumieć strukturę jego komunikatów, a wtedy wszystko stanie się jasne i proste.

NanoVNA – wykonaj precyzyjne pomiary
Mały i tani NanoVNA ma ogromny potencjał, jednak uzyskanie prawidłowych i dokładnych wyników zależy od wielu czynników. Trzeba choćby ominąć pułapki związane z pętlą masy.

Przeróbki i ulepszenia modułowych mierników prądu stałego
Moduły fabrycznych woltomierzy zawierające 18-bitowy przetwornik ADC MCP3421 mogą zostać poddane rozmaitym przeróbkom, które dostosują ich parametry do konkretnych, indywidualnych potrzeb.

Ładowarka podtrzymująca do akumulatora 12 V
Akumulatory kwasowe z czasem tracą zgromadzoną w nich energię wskutek samorozładowania. Boleśnie odczuwają to użytkownicy starszych samochodów, które po kilku dniach nie chcą „zapalić". Opisywany układ pozwala na bieżąco doładowywać akumulator.

Ponadto w numerze:
• Frezarka CNC. • Inteligentny dom także dla Ciebie. • Centrum dowodzenia czy hybryda?
• Szkoła Konstruktorów:
– Dowolna przystawka do smartfona
– Zaproponuj sposób realizacji praktycznie użytecznego zasilacza warsztatowego lub laboratoryjnego.

eprasa.pl 2897393b21

Wygraj debugger MPLAB ICD 4 od firmy Microchip

Debugger MPLAB ICD 4 (DV164045) jest łatwy w użyciu i obsługuje wiele mikrokontrolerów PIC i cyfrowych kontrolerów sygnału dsPIC z portfolio firmy Microchip, za pośrednictwem zintegrowanego środowiska programistycznego MPLAB X (IDE). Jest niezastąpionym narzędziem dla konstruktorów, którzy decydują się na migrację pomiędzy różnymi modelami mikrokontrolerów PIC, dla spełnienia wymagań różnorodnych aplikacji.

Nowy MPLAB ICD 4 został wyposażony w szybszy procesor i zwiększoną pamięć RAM, dzięki czemu zapewnia większą prędkość debugowania aplikacji z mikrokontrolerami PIC i cyfrowymi kontrolerami sygnału dsPIC niż poprzednia wersja ICD 3. Znaczącą poprawę szybkości osiągnięto dzięki 32-bitowemu MCU działającemu z częstotliwością 300 MHz. Szybsze przetwarzanie wraz ze zwiększoną pamięcią buforową do 2 MB daje produkt, który jest nawet dwukrotnie szybszy niż jego poprzednik.

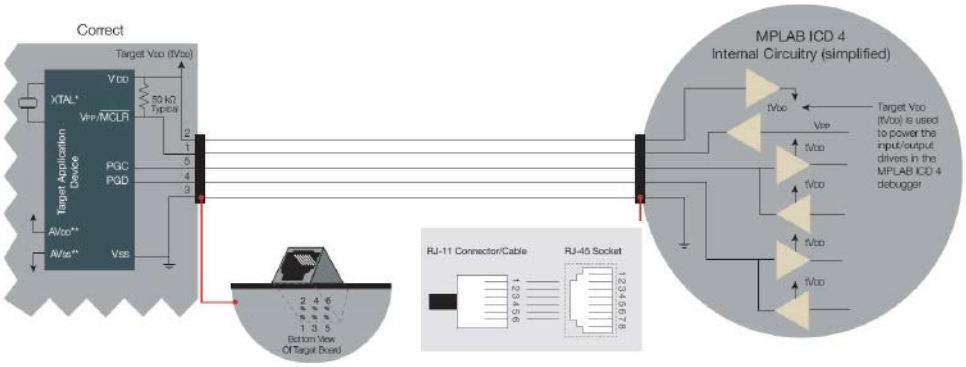
MPLAB ICD 4 zapewnia maksymalną elastyczność dzięki takim rozwiązaniom, jak możliwość wyboru stanu linii interfejsu – pull-up/pull-down oraz programowalna prędkość debugowania. Wprowadza również szerszy zakres napięcia docelowego i opcjonalnie może dostarczyć do 1 A mocy z użyciem zewnętrznego zasilacza.

Debugger łączy się z komputerem PC za pomocą szybkiego interfejsu USB 2.0, a docelowy układ jest podłączony za pomocą złącza debugowania, które jest również kompatybilne z systemami emulatora In-Circuit MPLAB ICD 3 lub MPLAB REAL ICE™. MPLAB ICD 4 współpracuje również z interfejsami JTAG. Jego podstawowe zalety urządzenia to:

- obsługa wielu modeli mikrokontrolerów PIC i DSC dsPIC,
- dwukrotnie szybszy niż ICD 3 – poprawia wydajność debugowania, nie spowalnia układu,
- upraszcza migrację między różnymi mikrokontrolerami PIC,
- bogata dokumentacja, tutoriale i instrukcje udostępnione przez producenta,
- kompatybilny z systemami Windows, Linux oraz Mac OS.

Aby mieć szansę na wygranie debuggera MPLAB ICD 4 lub aby otrzymać kupon rabatowy 15% i bezpłatną wysyłkę, należy wypełnić formularz zgłoszeniowy na stronie: https://bit.ly/3uXPGi8.

Szczegółowe informacje na temat debuggera MPLAB ICD 4 można znaleźć na: https://bit.ly/3sOkUFV, https://bit.ly/3HYI96w, https://bit.ly/3LLtYDV.



eprasa.pl 2897393b21

Laserowy anemometr

Pomiary parametrów wiatru są istotne w wielu dziedzinach – od marynistyki, przez meteorologię a na modelarstwie skończywszy. Klasyczne układy do pomiaru prędkości i kierunku wiatru bazują na dosyć złożonych układach mechanicznych, które mierzą prędkość obrotową specjalnych wiatraków itd. Zaproponowana konstrukcja jest znacznie prostsza – zastępuje cały układ mechaniczny rurką poruszającą się na wietrze. Dodatkowym plusem tego urządzenia jest fakt, że oferuje nie tylko informacje o kierunku, ale także o prędkości wiatru przy tym samym pomiarze, istotnie upraszczając konstrukcję systemu.

W artykule zaprezentujemy opis budowy i omówimy działanie oprogramowania ciekawego rodzaju anemometru, który do działania używa dwóch laserowych dalmierzy typu VL6180X. Zasada działania tego systemu polega na pomiarze zmiany odległości sensorów od poruszającego się na wietrze plastikowego elementu. Dane z dalmierzy są odczytywane z użyciem Arduino a następnie są przekazywane do komputera PC, gdzie oprogramowanie bazujące na Processing3 wyświetla w czasie rzeczywistym kierunek i siłę wiatru.

Ta konstrukcja jest wyjątkowo prosta i tania. Do zbudowania urządzenia wystarczą podstawowe narzędzia, takie jak wiertarka, piła czy pistolet z klejem na gorąco. Same elementy nie są również drogie, w zależności od tego, co mamy ręką, koszt zestawienia takiego anemometru autor wycenia na od 20 do 50 dolarów.

Potrzebne elementy

Do zestawienia anemometru potrzebne są w zasadzie trzy moduły elektroniczne:

- Arduino UNO R3 (lub podobny moduł),
- dwie sztuki laserowego dalmierza VL6180X lub podobnego dalmierza z interfejsem I²C.

Oprócz tego potrzebne będą:

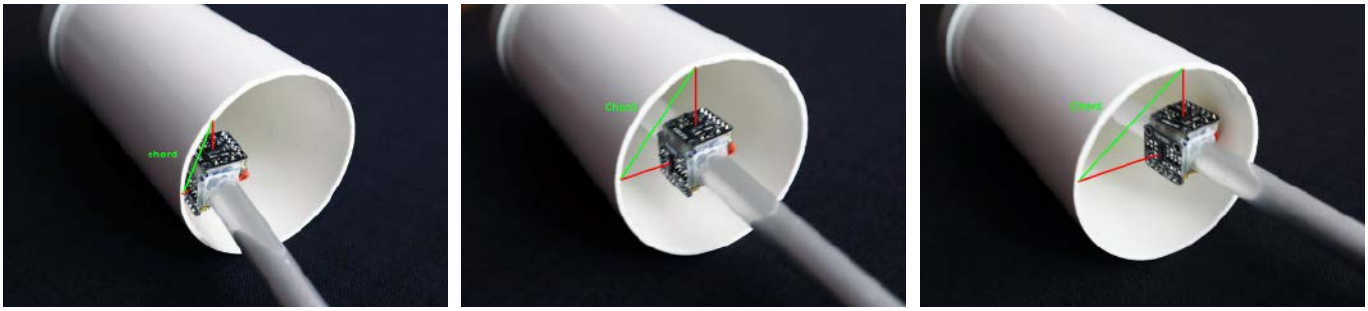
- sekcja (150 mm) plastikowej rury o średnicy wewnętrznej 65 mm,
- zaślepka do tej rury,
- rurka aluminiowa o średnicy 10 mm o długości co najmniej 500 mm,
- fragment sprężynki, pasujący do rurki aluminiowej,
- śrubka i nakrętka M4,
- wkręt samogwintujący,
- przewody do podłączenia sensorów odległości do Arduino (6 fragmentów o długości ok. 500 mm każdy).

Wiele z tych elementów można kreatywnie zastąpić innymi, jakie znajdziemy w naszym warsztacie, co oznacza, że z łatwością można zredukować koszt całego urządzenia do absolutnego minimum.

Zasada działania laserowego anemometru

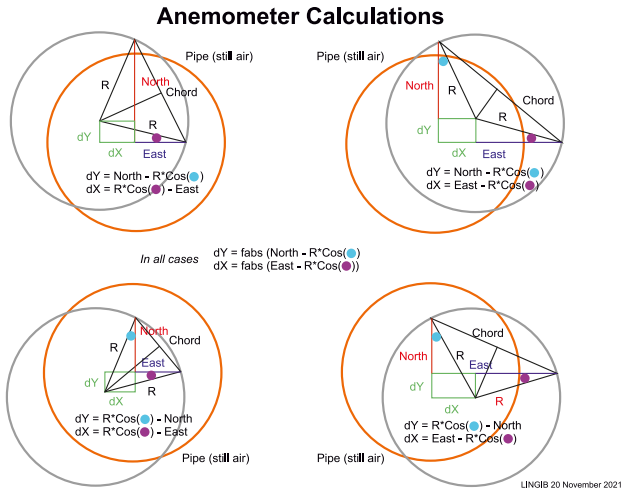
Anemometr składa się z plastikowej rury, zawieszonej w centralnym punkcie, która rusza się wraz podmuchami wiatru. Jej przekrój jest okręgiem. W jego centralnym punkcie zainstalowane są laserowe dalmierze, które mierzą odległości od centralnego punktu okręgu do ścianek. Punkty, w których promienie lasera dotykają ścianek wewnątrz rury, definiują pewną cięciwę tego łuku. Długość tej cięciwy zmienia się, gdy rura zostaje poruszona przez wiatr – cały proces obrazują **fotografie 1a**, **b** i **c**.

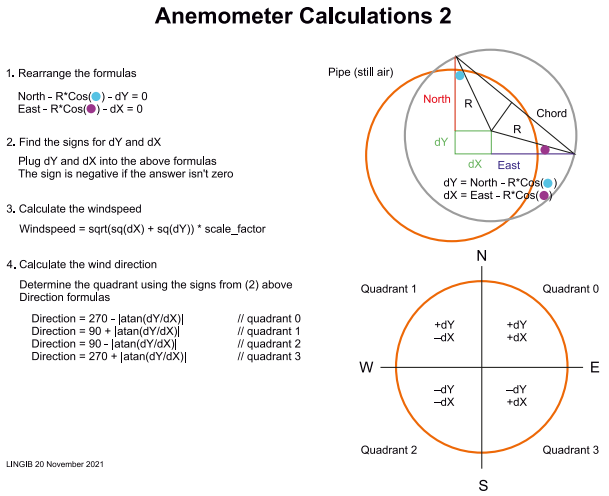
Znając średnicę rury oraz przemieszczenia w osi X i Y (pomiary z dalmierzy), możliwe jest wyznaczenie kierunku i siły wiatru, tak jak pokazano na **rysunku 1**. W pierwszej kolejności wyznaczamy przesunięcie rury w osiach X oraz Y – odpowiednio dX oraz dY. Wartości te opisane są funkcjami:



Fotografia 1. Zmieniająca się długość cięciwy przy zmianach położenia rury mierzącej wiatr

eprasa.pl 2897393b21





Rysunek 1. Algorytm wyznaczania prędkości wiatru

```
dX = |East – R x cos(\beta)|
dY = |North – R x cos(\alfa)|
```

gdzie:
North i East to pomiary z dalekomierzy,
R to promień rury,
\alfa i \beta to kąty pomiędzy promieniami w osiach North i East a cięciwą, jak pokazano na rysunku 1a.

Prędkość wiatru P wyznaczana jest zgodnie ze wzorem:

$$P = \sqrt{(dX^2 + dY^2)} \times S$$

gdzie:
S to współczynnik skali, wyznaczany na etapie kalibracji.

Ustalenie kierunku wiatru w pierwszej kolejności wymaga określenia, w której ćwiartce znajduje się ten kierunek (rysunek 1b). Aby to zrobić, podstawiamy obliczone dX i dY pod równania:

```
North – R x cos (\alfa) – dY = 0
East – R x cos (\alfa) – dX = 0
```

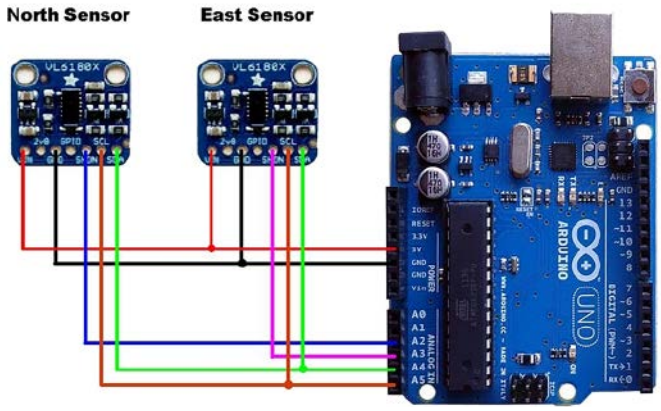
Jeśli którekolwiek z nich nie będzie spełnione, to oznacza, że skojarzony z nim współczynnik dX lub dY jest ujemny. To pozwala nam znaleźć ćwiartkę, w której jest kierunek wiatru i wyliczyć go, jak pokazano na rysunku 2b. Kąt (*Direction*) wyrażony jest w stopniach względem północy, zgodnie z kierunkiem obrotów wskazówek zegarka.

Układ elektroniczny

Układ znajdujący się w anemometrze jest bardzo prosty. Sercem systemu jest moduł Arduino – w tym przypadku jest to Arduino UNO R3. Do niego podłączone są dwa laserowe sensory odległości VL6180X. Schemat układu połączeń został pokazany na **rysunku 2**.

Zasada działania laserowego dalmierza nie jest skomplikowana. Układ mierzy czas przelotu impulsu świetlnego – emituje krótkie impulsy promieniowania podczerwonego, które następnie odbijane lub rozpraszane są na jakiejś przeszkodzie. Odbite/rozproszone światło wraca do układu, zatrzymując licznik. Znając prędkość światła w powietrzu oraz czas jego przelotu, bez problemu można obliczyć drogę, jaką pokonało. Natomiast odległość do przeszkody to połowa drogi zmierzonej przez sensor, ponieważ mierzy on czas przelotu światła od emitera w układzie do przeszkody i z powrotem. Używany sensor ma maksymalny zasięg do 100 mm – jest to wartość gwarantowana przez producenta, dalszy pomiar również jest mozliwy, ale tylko w sprzyjających warunkach.

Sensor VL6180X jest wyposażony w interfejs I²C, który pozwala na łatwe podłączenie go do mikrokontrolera. Z uwagi na fakt, że sensory te nie mają zmienianego adresu I²C, nie mogą być one dołączone do tej samej magistrali I²C mikrokontrolera jednocześnie. Rozwiązaniem tego problemu jest użycie linii *Chip Enable* układu, która włącza i wyłącza jego działanie. Po podciągnięciu jej do zasilania układ się aktywuje, dzięki czemu mikrokontroler może kontrolować, z którym sensorem się w danej chwili komunikuje.



Rysunek 2. Schemat pokazujący połączenia modułu Arduino i sensorów laserowych

Konstrukcja

Mechaniczną konstrukcję anemometru można zestawić w kilku prostych krokach. W pierwszej kolejności należy przygotować sprężynę, odcinając jej jeden koniec tak, aby była zakończona na płasko. Następnie do wnętrza zwiniętej sprężyny wciskamy nakrętkę M4, która pozwoli nam na umocowanie w niej pasującej śruby. Nakrętkę można dodatkowo zamocować w sprężenie za pomocą lutowia lub kleju na gorąco. Drugi koniec sprężyny mocujemy w rurce aluminiowej, dodatkowo ustalając jej pozycję za pomocą wkrętu samogwintującego, wkręconego w niewielki otwór, wykonany na boku rurki aluminiowej (**fotografia 2**). Długość odsłoniętej części sprężyny decyduje o właściwościach tłumienia układu mechanicznego. Jeśli odsłoni się za dużo sprężyny, rura będzie miała tendencję do wpadania w drgania, nawet przy najmniejszym podmuchu wiatru. Jeśli odsłoni się zbyt mało, sensor będzie wymagał dużego przepływu powietrza, zanim się przechyli i wykryje podmuch wiatru.

Kolejnym krokiem jest przygotowanie miejsca dla sensorów odległości. Z fragmentu płaskiego plastiku (może to być stara

Fotografia 2. Montaż sprężyny, do której będzie zawieszona rura

eprasa.pl 2897393b21

karta bankomatowa) wycinamy prostokąt wielkości dwukrotnej wysokości sensora VL6180X. Następnie nacinamy go delikatnie na środku i składamy pod kątem 90°. Tak przygotowany kątownik naklejamy na aluminiowej rurce tak, jak pokazano na **fotografii 3**. Przewody od sensorów wkładamy do wnętrza rurki (na rysunku widoczne są przewody przed przylutowaniem ich do wyprowadzeń sensorów laserowych). Dalmierze muszą być umieszczone na takiej wysokości, aby były zakrywane przez plastikową rurę, która zamontowana zostanie na górze. Na plastikowych elementach można zamontować dalmierze, na przykład za pomocą kleju na gorąco.

Listing 1. Kod programu kontrolującego anemometr

```
#include <Wire.h>
#include <VL6180X.h>
// Osobne obiekty dla każdego z sensorów
VL6180X North;
VL6180X East;
// Adres sensors N
const byte North_address = 0x30;
// Adres sensora E
const byte East_address = 0x31;
 // Pin enable sensora N
const int North_enable = 16;
// Pin enable sensora E
const int East_enable = 17;
// Średnica wewnętrzna rury (mm)
const float Radius = 36;
// Odległość od lini środkowej (mm)
// dla sensora N
const float North_offset = -13.0;
// Odległość od linii środkowej (mm)
//dla sensora E
const float East_offset = -13.0 ;
// Współczynnik skali
const float Scale = 4.0;
float North_reading = 0.0;
float East_reading = 0.0;
float Windspeed = 0.0;
float Direction = 0.0;
// ----- Filtr0 (North)
float Array0[40] = {0};
int Index0 = 0;
float Sum0 = 0.0;
float Average0 = 0.0;
// ----- Filtr1 (East)
float Array1[40] = {0};
int Index1 = 0;
float Sum1 = 0.0;
float Average1 = 0.0;
// ----- Filtr2 (Kierunek)
float Array2[40] = {0};
int Index2 = 0;
float Sum2 = 0.0;
float Average2 = 0.0;
// Prędkość interfejsu szeregowego
const long Baudrate = 115200;
char Char;

//--------------------------------------------------
void setup() {
  // Inicjalizacja komunikacji przez port szeregowy
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin();
  // Konfiguracja linii GPIO
  pinMode(North_enable, OUTPUT);
  pinMode(East_enable, OUTPUT);
  // Wyłączenie sensorów
  digitalWrite(North_enable, LOW);
  digitalWrite(East_enable, LOW);
  // Aktywacjja sensora North
  digitalWrite(North_enable, HIGH);
  delay(50);
  // Konfiguracja sensora
  North.init
  North.configureDefault();
  // Zmiana adresu sensora
  North.setAddress(North_address);
  North.setTimeout(500);
  North.writeReg(
    VL6180X::SYSRANGE__PART_TO_PART_RANGE_OFFSET, 9);
  North.stopContinuous();
  delay(300);
  North.startRangeContinuous(50);
  // Aktywacja sensora East
  digitalWrite(East_enable, HIGH);
  delay(50);
  // Konfiguracja sensora
  East.init();
  East.configureDefault();
  // Zmiana adresu sensora
  East.setAddress(East_address);
  East.setTimeout(500);
  East.writeReg(
    VL6180X::SYSRANGE__PART_TO_PART_RANGE_OFFSET, 22);
  East.stopContinuous();
  delay(300);
  East.startRangeContinuous(50);
  // Połączenie z odbiornikiem danych
  connect_to_display();
}

//--------------------------------------------------
void loop() {
  // Sprawdza, czy są dostępne nowe dane
  if (Serial.available() > 0){
    Char = (char)Serial.read();
    // Jeśli odebrano znak 'S' wysyła dane z pomiarów
    if (Char == 'S'){
      if (!North.timeoutOccurred()) {
        North_reading =
          (float)North.readRangeContinuousMillimeters() -
          North_offset;
        Average0 =
          moving_average(Array0, sizeof(Array0) /
          sizeof(Array0[0]), &Sum0, &Index0, North_reading);
      }
      if (!East.timeoutOccurred()) {
        East_reading =
          (float)East.readRangeContinuousMillimeters() -
          East_offset;
        Average1 =
          moving_average(Array1, sizeof(Array1) /
          sizeof(Array1[0]), &Sum1, &Index1, East_reading);
      }
      calculate_speed_direction(Average0, Average1);
      Average2 =
      moving_average(Array2, sizeof(Array2) /
      sizeof(Array2[0]), &Sum2, &Index2, Direction);
      Serial.print(Windspeed);      // Prędkość wiatru
      Serial.print(',');
      Serial.print(Average2);     // Kierunek wiatru
      Serial.print(',');
      // Zmierzony offset dla sensora N
      // w bezwietrznych warunkach
      Serial.print(Average0 - Radius);
      Serial.print(',');
      // Zmierzony offset dla sensora E
      // w bezwietrznych warunkach
      Serial.println(Average1 - Radius);
    }
  }
}

//--------------------------------------------------
void connect_to_display() {
  // Wysyła znaki 'S', aż odbiornik danych odpowie
  while (Serial.available() <= 0) {
    Serial.println("S");
    delay(100);
  }
}

//--------------------------------------------------
float calculate_speed_direction(float north, float east){
  float N = north;    // north reading (adjusted)
  float E = east;     // east reading (adjusted)
  float C;            // chord formed by laser readings
  float R = Radius;   // pipe radius
  float A1;           // angle between radius and chord
  float A2;           // angle between north and chord
  float A3;           // angle between east and chord;
  float A4; // diference angle between north and radius;
  float A5; // difference angle between east and radius;
  float A6;           // arc-tangent dY/dX
  float dX;           // horizontal offset
  float dY;           // vertical offset
  float D;            // wind direction

  // ----- calculations
  C = sqrt(sq(N) + sq(E));
  A1 = acos(C / (2 * R)) * RAD_TO_DEG;
  A2 = acos(N / C) * RAD_TO_DEG;
  A3 = 90 - A2;
  A4 = A1 - A2;
  A5 = A1 - A3;
  dY = R * fabs(cos(A4 * DEG_TO_RAD)) - N;
  dX = R * fabs(cos(A5 * DEG_TO_RAD)) - E;
  if (fabs(dX) == 0)dX = 0.0001;
  A6 = fabs(atan(dY / dX) * RAD_TO_DEG);

  // ----- Apply signs to dY and dX
  if (fabs(N - R * cos(A4 * DEG_TO_RAD) - dY) > 0.001)
    dY = -dY;
  if (fabs(E - R * cos(A5 * DEG_TO_RAD) - dX) > 0.001)
    dX = -dX;

  // ----- Calculate wind direction
  // quadrant 0
  if ((dX >= 0) && (dY >= 0)) Direction = 270 - A6;
  // quadrant 1
  if ((dX < 0) && (dY >= 0)) Direction =  90 + A6;
  // quadrant 2
  if ((dX < 0) && (dY < 0)) Direction =   90 - A6;
  // quadrant 3
  if ((dX >= 0) && (dY < 0)) Direction =  270 + A6;

  // ----- calculate the windspeed
  Windspeed = sqrt(sq(dX) + sq(dY)) * Scale;
}

//--------------------------------------------------
float moving_average(
  float *array_name, int array_length,
  float *array_sum, int *array_index,
    float new_value) {
    // subtract earliest value; add latest value
    *array_sum =
      *array_sum -
      array_name[*array_index] +
      new_value;
    // store latest value in vacant position
    array_name[*array_index] = new_value;
    // point to next earliest value
    (*array_index)++;
    if (*array_index >= array_length) {
      // wrap around
      *array_index = 0;
  }
  // moving average
  return *array_sum / array_length;
}
```


eprasa.pl 2897393b21

Przez rurkę przeprowadzono 6 przewodów. Można skręcić je w trzy pary – jedna para to zasilanie (VCC i GND), druga para to linie I²C (SDA i SCL), a trzecia to dwie linie Chip Enable do obu sensorów.

Na plastikowej rurce montujemy zaślepkę. Tak powstałą konstrukcję nakładamy na górną stronę aluminiowej rurki (tę ze sprężyną). Przewody wychodzące z układu podłączamy do Arduino zgodnie ze schematem pokazanym na rysunku 2 – układ jest gotowy do działania.

Na czas testów konstrukcję można zamontować np. do nogi stołu, w pionie, jak pokazano na fotografii tytułowej. W docelowym systemie układ należałoby oczywiście zabezpieczyć przed niekorzystnym wpływem czynników otoczenia, głównie wilgoci itp.

Oprogramowanie

W pierwszej kolejności należy przygotować środowisko do uruchomienia oprogramowania, instalując bibliotekę Pololu VL6180X w Arduino IDE. Następnie można otworzyć szkic omawianego systemu, którego treść została pokazana na **listingu 1**. By zainstalować bibliotekę do dalmierza, wystarczy w IDE wybrać menu zarządzania bibliotekami, a następnie dodawanie biblioteki i w proponowanych bibliotekach wyszukać i wskazać interesującą nas bibliotekę VL6180. Po zainstalowaniu biblioteki można załadować do mikrokontrolera kod programu. Można skopiować go do nowego szkicu lub wgrać plik *.ino* pobrany ze strony projektu (link na końcu artykułu).

Na komputerze należy zainstalować oprogramowanie Processing3 (można je pobrać ze strony www.processing.org). Następnie należy pobrać załączony do programu plik *laser_anemometer_display.pde* i jego treść skopiować do nowego szkicu w Processing3 lub wczytać sam plik. Szkic ten posłuży nam do odbierania danych i ich prezentacji na ekranie komputera PC. Ekran prezentujący dane pokazano na rysunku 7.

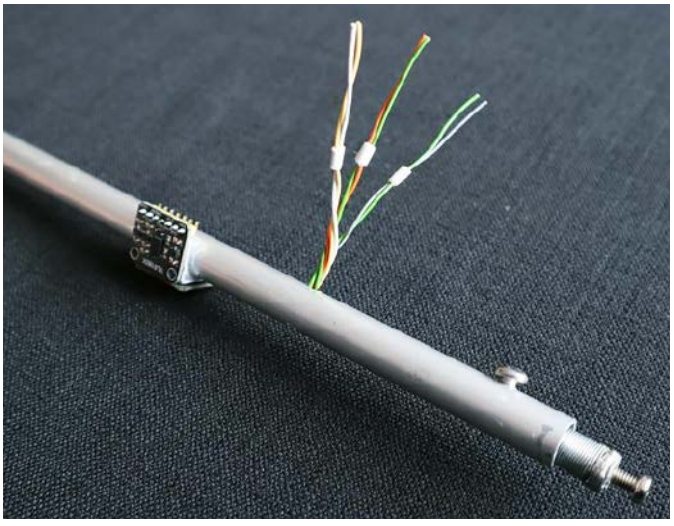
Kalibracja

Przed finalnym uruchomieniem programu należy skalibrować sensory odległości. Czujniki VL6180X są w stanie mierzyć odległości od 1 mm do 100 mm od czujnika. Z karty katalogowej wynika, że odchyłka pomiaru może wynieść do 15 mm bez kalibracji. Aby pomiar był precyzyjny, dalmierze wymagają kalibracji.

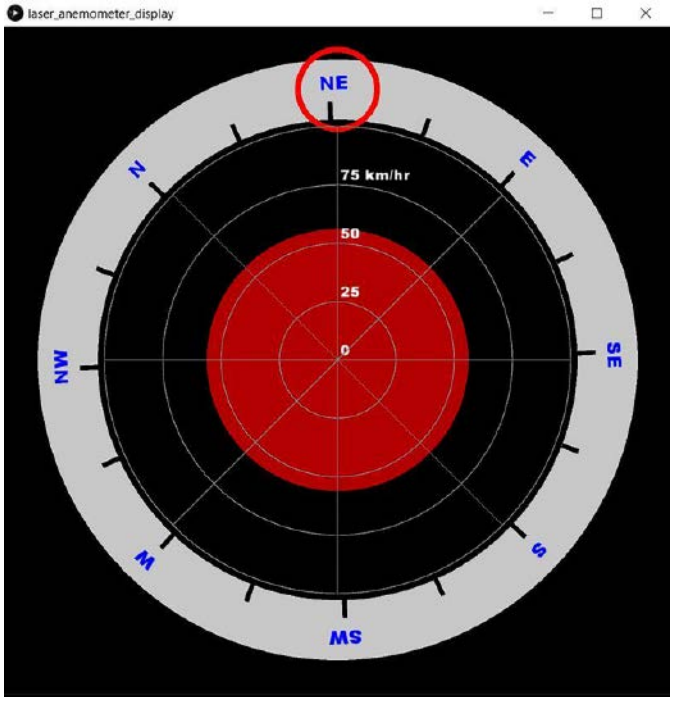
Aby skalibrować sensor, należy zaznaczyć jako komentarz linie odpowiedzialne za komunikację z odbiornikiem danych, a odblokować linię:

```
East.writeReg(VL6180X::SYSRANGE__PART_TO_PART_RANGE_
OFFSET,0);
```

Następnie umieszczamy przed sensorem, w odległości 50 mm, przeszkodę. Może to być kartka papieru lub cokolwiek innego, do czego sensor zmierzy odległość. Odbieramy średnią odległość zmierzoną



Fotografia 3. Montaż sensorów odległości



Rysunek 3. Ekran Processing3 prezentujący dane z anemometru

przez sensor, a następnie wyliczamy offset = 50 – zmierzona wartość. Jeśli sensor nie wykryje nic przed sobą, zwróci wartość 255. Zastępujemy otrzymaną nową wartością offsetu – X, w odpowiedniej linii w kodzie (listing 1).

```
East.writeReg(VL6180X::SYSRANGE__PART_TO_PART_RANGE_
OFFSET, X);
```

Ujemne offsety muszą być wyrażone w postaci liczby zapisanej w postaci kodu uzupełnienia do dwóch. Kalibrację należy oczywiście powtórzyć dla każdego z sensorów (North i East). Po zapisaniu nowego offset można cofnąć zmiany w kodzie wykonane na czas kalibracji oraz skompilować szkic i wgrać do Arduino. Po kalibracji każdy czujnik jest w stanie mierzyć odległości do 1 mm od czoła czujnika.

Następnym krokiem jest konwersja fizycznie zmierzonych odległości na prędkość wiatru. W pierwszej kolejności zerujemy offsety w liniach kodu:

```
const float North_offset = 0.0;
const float East_offset = 0.0;
```

Po ponownym skompilowaniu programu wgrywamy go do Arduino i sprawdzamy w Processing3 offsety. Następnie zmierzone offsety wprowadzamy do szkicu Arduino. Ponownie kompilujemy i wgrywamy kod.

Ostatnim krokiem jest określenie parametru tzw. skali. Pozwala on przeliczyć milimetry przesunięcia plastikowej rury na prędkość wiatru np. w kilometrach na godzinę. Bez tunelu aerodynamicznego, czy też innego anemometru do testów, może nie być to trywialne. Jednak autor proponuje prostą i całkiem dokładną metodę. Należy w bezwietrzny dzień zabrać anemometr na przejażdżkę i notować odchylenia przy różnych prędkościach na drodze. Najlepiej będzie to działało na płaskiej i prostej drodze. Po zebraniu tych danych wyliczenie skali jest już prostą arytmetyką. Finalnie można przyjrzeć się lokalnej prognozie pogody i zanotować prędkości wiatru i porównywać je z dystansami, jakie mierzy nasz dalmierz.

Po skalibrowaniu czujników wystarczy ustawić czujnik North na północ za pomocą kompasu. Należy pamiętać, że prawdziwa północ to nie to samo co północ magnetyczna, ale w przypadku tego rodzaju pomiarów nie jest to tak istotne.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła:
https://www.instructables.com/Laser-Anemometer/
https://processing.org/download

eprasa.pl 2897393b21

Miniaturowy sensor poziomu CO_2 z alarmem i interfejsem Bluetooth

Pomiar poziomu dwutlenku węgla w powietrzu, wewnątrz pomieszczeń, w których spędzamy dużo czasu, jest bardzo ważny. Wiele badań łączy podwyższony poziom dwutlenku węgla ze zmęczeniem i złym samopoczuciem. Wystarczy wtedy otworzyć okno, aby poczuć się lepiej. Jednak z różnych względów nie zostawimy okna stale otwartego. Sensor CO_2 wskaże właściwy moment i optymalny czas otwarcia okna.

Jeśli spędzamy dużo czasu w zamkniętych pomieszczeniach, to z pewnością znamy uczucie zmęczenia, powodowane przez podwyższony poziom dwutlenku węgla. Zwłaszcza obecnie, gdy wiele osób pracuje w domu, jest to częsta sytuacja. Wystarczy tylko otworzyć okno albo po prostu przejść się po mieszkaniu czy wyjść na chwilę na dwór i objawy zmęczenia ustępują. Kiedy jednak wstać od pracy, aby odetchnąć świeżym powietrzem? Istnieje wiele metod – można robić to regularnie, np. co 45...60 minut wstawać od komputera i wietrzyć pokój, można też czekać na pierwsze objawy zmęczenia…

Jednak zdecydowanie najlepszą metodą określania momentu, w którym warto przewietrzyć pomieszczenie, jest zastosowanie sensora dwutlenku węgla. Ten relatywnie nieskomplikowany element mierzy poziom CO_2 w naszym otoczeniu i informuje, gdy przekroczy on ustalony limit, co oznacza konieczność otwarcia okna itp. Autor opisanego projektu doszedł do podobnych wniosków, dlatego postanowił samodzielnie zbudować taki system. Prace rozpoczął od wyszukania odpowiedniego sensora dwutlenku węgla.

Pierwszy wybór padł na sensor Sensirion SCD-41. Jest to bardzo kompaktowy sensor, który realizuje nową metodę pomiaru poziomu CO_2 – z zastosowaniem sensora fotoakustycznego. Na bazie sensora SCD-41 autor skonstruował kompaktowy układ monitorujący poziom dwutlenku węgla. Został on ponadto wyposażony w mały brzęczyk ostrzegający otoczenie, że poziom dwutlenku węgla przekroczył założony próg. Do konfiguracji służy aplikacja mobilna, która pozwala łączyć się z urządzeniem z poziomu telefonu, wyświetlać wykresy poziomu CO_2 w funkcji czasu i przechowywać dane.

Potrzebne elementy

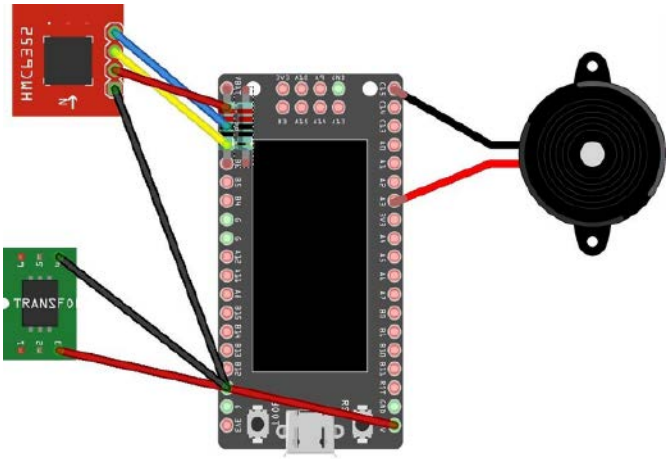
Układ składa się z zaledwie trzech elementów. Całkowity koszt budowy tego systemu to około 50 dolarów. Potrzebne są następujące moduły:

- płytka deweloperska TTGO T-Display z ESP32 i CP2104 z wyświetlaczem LCD 1,14",
- moduł z sensorem SCD-41 lub sam układ, jeśli damy radę wlutować go metodą „na pająka",
- buzzer 3 V, CMI-1295IC-0385 T.

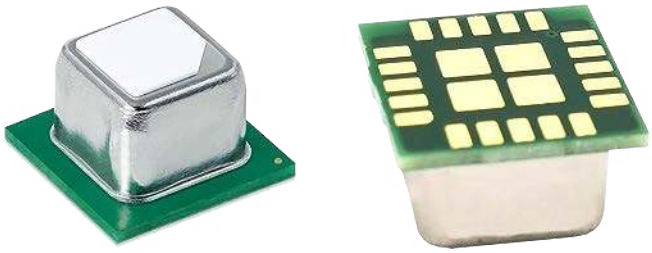
Oprócz samych modułów potrzebne będą przewody, aby je ze sobą połączyć, oraz obudowa. Dodatkowo, potrzebny jest także zasilacz dla gotowego urządzenia. Autor zastosował zasilacz USB i przygotował obudowę specjalnie tak, aby pozwalała na wetknięcie bezpośrednio do gniazda USB w zasilaczu gniazdkowym.

Rysunek 1. Projekt obudowy urządzenia, przeznaczonej do wykonania w technice druku 3D

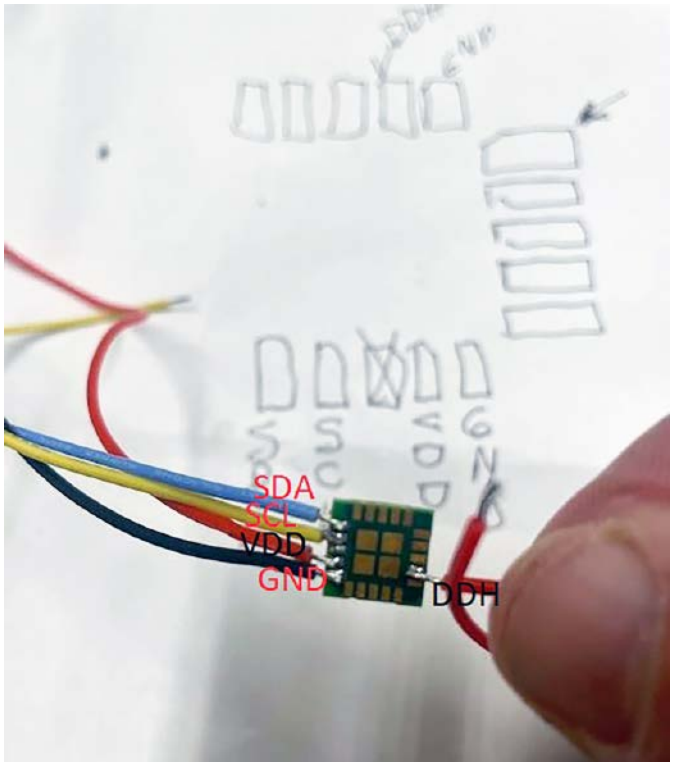
eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 2. Schemat połączeń między elementami systemu



Fotografia 1. Wygląd czujnika SCD-41



Fotografia 2. Sposób przylutowania przewodów do czujnika

Obudowa

Obudowa składa się z trzech elementów – jej projekt został pokazany na **rysunku 1**. Należy je wykonać za pomocą drukarki 3D. Elementy są przeznaczone do druku z PLA i są przygotowane tak, aby dało się je wydrukować bez suportów. Pliki do druku 3D dostępne są na stronie z projektem (link na końcu artykułu).

Schemat elektryczny

Schemat połączenia poszczególnych modułów pokazano na **rysunku 2**. Wszystkie połączenia pomiędzy modułami wykonywane są za pomocą cienkiego drutu, lutowanego do poszczególnych pól. Zdecydowano się na takie podejście, aby zminimalizować objętość układu i umożliwić umieszczenie go w niewielkiej obudowie.

Jedyną trudną częścią budowy układu jest przylutowanie przewodów do małego sensora SCD-41 (**fotografia 1**). Można to zrobić zwykłą lutownicą, bez pomocy mikroskopu – tak jak wykonał to autor (**fotografia 2**). Aby ułatwić sobie zadanie, należy użyć możliwie cienkiego drutu. Element mocujemy w stabilny sposób i zabieramy się do lutowania, mając już pod ręką przygotowane odizolowane kable. Zaczynamy od ustawienia układu w taki sposób, aby wiedzieć, gdzie znajduje się wyprowadzenie numer 1 – jeden z padów ma niewielkie ścięcie, które pozwala to rozpoznać.

Pięć połączeń sygnałowych obejmuje linie VDD, GND, SDA i SCL (wszystkie z jednej strony) oraz DDH naprzeciwko VDD. Wyprowadzenie DDH podciągane jest do zasilania, więc można podłączyć go bezpośrednio do pinu VDD naprzeciwko lub przylutować osobny przewód i podłączyć niezależnie z TTGO.

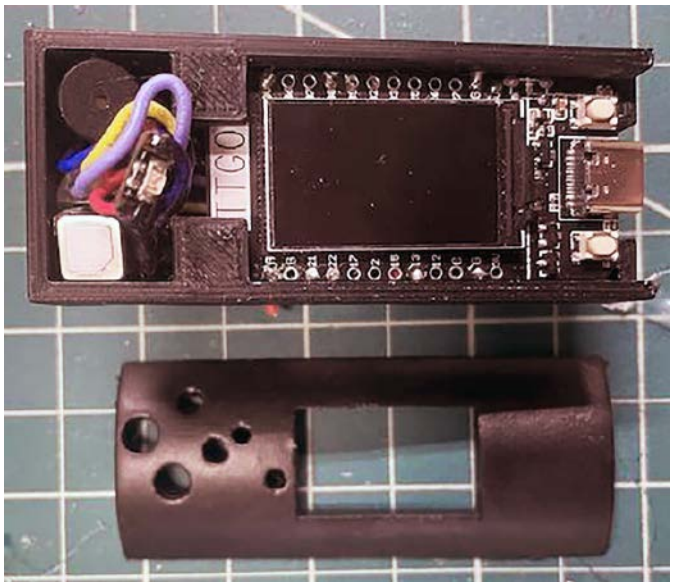
Lutując należy użyć dużej ilości topnika na padach i umieścić na każdym z nich małą kulkę lutowia przed przymocowaniem przewodów. Należy również umieścić małą kulkę lutowia na końcach każdego przewodu, aby umożliwić łatwe połączenie przy minimalnym nagrzaniu. Należy lutować ostrożnie, aby nie uszkodzić delikatnych pól lutowniczych. Po przylutowaniu wszystkich przewodów można zabezpieczyć je np. odrobiną kleju na ciepło. Pozwoli to zapobiec przypadkowemu oderwaniu przewodów czy też uszkodzeniu pól lutowniczych.

Interfejs I^2C dołączany jest do GPIO 21 i 22. Zasilanie i masa są dostarczane przez złącze 3 V na płytce z mikrokontrolerem. Buzzer jest podłączony do GPIO 13 i do masy (GND). Zasilanie płytki jest podłączone do tylnego złącza USB do linii 5 V i GND na płycie. Mała kolorowa dioda LED jest dołączona w złączu zasilania czujnika.

Budowa

Zasilanie urządzenia doprowadzone jest modułu w postaci wtyku USB znajdującego się z tyłu, wydrukowanego w 3D. To bardzo minimalistyczna opcja zasilania, która jest zintegrowana z obudową urządzenia. Pozwala podłączyć układ do portu USB np. w komputerze czy ładowarce w gniazdku.

Drukowany element USB ma dwa cienkie wcięcia, które mieszczą dwa małe paski folii miedzianej. Należy ostrożnie przyciąć miedź, aby dopasować ją do tych wcięć i wkleić je na miejsce. Przewody łączące zasilanie i masę przechodzą z tyłu urządzenia. Używając dużej ilości topnika, aby ułatwić lutowanie, należy podłączyć je do miedzianych pasków. Lutując przewody do taśmy miedzianej, należy zrobić to tak, aby lutowie nie rozciągało się na otwarte obszary, w których



Fotografia 3. Wszystkie elementy urządzenia umieszczone w obudowie, tuż przed jej zamknięciem

eprasa.pl 2897393b21

łączy się USB. Można teraz złożyć ten element w całość i przykleić złącze USB z tyłu urządzenia po przeprowadzeniu przewodów przez otwory.

Moduł TTGO wsuwa się w szczeliny w uchwycie. Zespół czujnika CO_2 i buzzera z przewodami mieszczą się w malutkiej komorze w górnej części urządzenia (**fotografia 3**). Dioda LED znajduje się w pobliżu otworów umożliwiających ruch powietrza.

Finalnie należy upewnić się, że połączenie USB-C dla TTGO jest dostępne do programowania przez otwarte gniazdo. Można sprawdzić, czy urządzenie działa poprawnie, a na koniec przykleić płytę czołową na miejsce. Układ jest teraz gotowy do wgrania oprogramowania układowego.

Oprogramowanie

Oprogramowanie, potrzebne do działania układu, składa się z dwóch elementów – programu dla modułu TTGO oraz aplikacji na telefon, która umożliwia zdalny odczyt i konfigurację systemu.

Programu dla modułu

Większa część skryptu, pokazanego na **listingu 1**, pochodzi bezpośrednio z gotowego oprogramowania Sensiriona, przeznaczonego do obsługi układu SCD-30. Zmieniono delikatnie obsługę sensora, aby działał on z SCD-41. Ponadto autor dodał kilka dodatkowych czcionek. Program nawiązuje łączność poprzez Bluetooth z telefonem i komunikuje się z aplikacją Sensiriona na telefon, która pozwala na sczytywanie danych dotyczących wilgotności, temperatury oraz oczywiście stężenia dwutlenku węgla. Aplikacja na telefonie zajmuje się pozostałymi funkcjonalnościami, takimi jak zapisywanie danych itp.

Pierwsza z funkcji w kodzie – *displayCo2()* – ustawia ekran i czcionki na ekranie oraz wyświetla na nim powitalną wiadomość. W zależności od poziomu CO_2 zmienia się kolor wyświetlanej czcionki. Funkcja *setup()* uruchamia komunikację przez interfejs I^2C i inicjalizuje układ SCD-41. Konfigurowane jest także wyjście cyfrowe do kontroli buzzera, obsługiwane przez funkcję *digitalWrite*.

Funkcja *loop()* cyklicznie odpytuje czujnik o dane, przesyła je do łącza bluetooth, wyświetla je na ekranie TFT i jeśli poziom CO_2 jest wyższy niż 1600, ustawia wyjście w stan wysoki, aby aktywować buzzer podłączony do GPIO 13. Interwał czasowy dla próbkowania można ustawić w oprogramowaniu.

Oprogramowanie na telefonie

Urządzenie jest bardzo łatwe w użyciu. Wystarczy podłączyć je do dowolnego gniazdka USB, a zacznie monitorować pomieszczenie pod kątem nadmiaru CO_2. Aby zbierać dane na temat wilgotności, temperatury lub poziomu dwutlenku węgla,

Listing 1. Kod programu sterującego napisanego w Arduino IDE

```
#include "esp_timer.h"
#include <Wire.h>
#include <TFT_eSPI.h>
#include <SPI.h>
#include "Sensirion_GadgetBle_Lib.h"
const int16_t SCD_ADDRESS = 0x62;
static int64_t lastMmntTime = 0;
static int startCheckingAfterUs = 1900000;

GadgetBle gadgetBle = GadgetBle(GadgetBle::DataType::T_RH_CO2_ALT);

#define SENSIRION_GREEN 0x6E66
#define sw_version "v1.0"
#define GFXFF 1
#define FF99  &SensirionSimple25pt7b
#define FF90  &ArchivoNarrow_Regular10pt7b
#define FF95  &ArchivoNarrow_Regular50pt7b
bool tell = 0;
// Wywołuje bibliotekę wyświetlacza, piny zdefiniowane są w User_Setup.h
TFT_eSPI tft = TFT_eSPI(135, 240);

//-----------------------------------------------
void displayInit() {
  tft.init();
  tft.setRotation(1);
}

//-----------------------------------------------
void displayCo2(uint16_t co2) {
  if (co2 > 9999) {
    co2 = 9999;
  }

  tft.fillScreen(TFT_BLACK);
  uint8_t defaultDatum = tft.getTextDatum();
  tft.setTextSize(1);
  tft.setFreeFont(FF90);
  tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLACK);
  tft.setTextDatum(6); // na dole po lewej
  tft.drawString("CO2", 10, 125);
  tft.setTextDatum(8); // na dole po prawej
  tft.drawString(gadgetBle.getDeviceIdString(), 230, 125);
  // Wypisuje zawartość CO2
  if (co2 >= 1600 ) {
  tft.setTextColor(TFT_RED, TFT_BLACK);
    tell = 1;
  } else if (co2 >= 1000 ) {
    tft.setTextColor(TFT_ORANGE, TFT_BLACK);
    tell = 0;
  } else {
    tft.setTextColor(TFT_GREEN, TFT_BLACK);
    tell = 0;
  }
  tft.setTextDatum(8); // na dole po prawej
  tft.setTextSize(1);
  tft.setFreeFont(FF95);
  tft.drawString(String(co2), 195, 105);
  // dodaje jednostki do stężenia CO2
  tft.setTextSize(1);
  tft.setFreeFont(FF90);
  tft.drawString("ppm", 230, 90);
  tft.setTextDatum(defaultDatum);
}

//-----------------------------------------------
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(100);
  while(!Serial);
  // formatowanie wyjści
  Serial.println("CO2(ppm)\tTemperature(degC)\tRelativeHumidity(percent)");
  // Inicjalizacja biblioteki GadgetBle
  gadgetBle.begin();
  Serial.print("Sensirion GadgetBle Lib initialized with deviceId = ");
  Serial.println(gadgetBle.getDeviceIdString());
  // Inicjalizacja sterownika SCD30
  Wire.begin();
  displayInit();
  Wire.beginTransmission(SCD_ADDRESS);
  Wire.write(0x21);
  Wire.write(0xb1);
  Wire.endTransmission();
  pinMode(13, OUTPUT);
  digitalWrite(13, LOW);
  // Ekran powitalny
  delay(500);
  gadgetBle.writeCO2(55);
  gadgetBle.writeTemperature(55);
  gadgetBle.writeHumidity(55);
  gadgetBle.commit();
}

//-----------------------------------------------
void loop() {
  if (esp_timer_get_time() - lastMmntTime >= startCheckingAfterUs) {
  float co2, temperature, humidity;
  uint8_t data[12], counter;
  // Wysyłanie komendy do odczytu danych z SCD41
  Wire.beginTransmission(SCD_ADDRESS);
  Wire.write(0xec);
  Wire.write(0x05);
  Wire.endTransmission();Wire.requestFrom(SCD_ADDRESS, 12);
  counter = 0;
  while (Wire.available()) {
    data[counter++] = Wire.read();
  }
  // konwersja na wartość zmiennoprzecinkową
  co2 = (float)((uint16_t)data[0] << 8 | data[1]);
```


eprasa.pl 2897393b21

Listing 1. Kod programu sterującego napisanego w Arduino IDE – cd.

```
  // konwersja temperatury do stopni Celsjusza
  temperature = -45 + 175 * (float)((uint16_t)data[3] << 8 | data[4]) / 65536;
  // konwersja wilgotności do wartości procentowej
  humidity = 100 * (float)((uint16_t)data[6] << 8 | data[7]) / 65536;
  Serial.print(co2);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(temperature);
  Serial.print("\t");
  Serial.print(humidity);
  Serial.println();
  if(co2 < 400){
    co2=55;
    temperature = 55;
    humidity = 55;
  }
  gadgetBle.writeCO2(co2);
  gadgetBle.writeTemperature(temperature);
  gadgetBle.writeHumidity(humidity);
  gadgetBle.commit();
  lastMmntTime = esp_timer_get_time();
  displayCo2((uint16_t) std::round(co2));
  if (tell){
    digitalWrite(13,HIGH);
    delay(1000);
    digitalWrite(13, LOW);
    delay(1000);
    }
  }
  gadgetBle.handleEvents();
  delay(3);
}
```

wystarczy otworzyć aplikację Sensirion na telefonie, która natychmiast połączy się z systemem i zapisze punkty danych w pamięci telefonu.

Nie ma konieczności korzystania z połączenia z Internetem. Dane będą przechowywane tak długo, jak to potrzebne w telefonie i można je przesłać jako plik txt lub e-mailem w dowolne miejsce. Plik ma nietypowy format, który można konwertować na *.CSV*, aby działał na komputerze. Sama aplikacja może łatwo wykreślić dane. Czcionka, którą opisano poziom CO_2, zmienia kolor w zależności od stężenia tego gazu. Poziom alarmu jest ustawiony domyślnie na 1600, ale można to łatwo zmienić w oprogramowaniu.

Podsumowanie

Pokazany w artykule kompaktowy sensor pozwala na monitorowanie w czasie rzeczywistym stężenia dwutlenku węgla w otaczającym nas powietrzu. Można ustawić konfigurowalny alarm, który uruchomi się, gdy stężenie przekroczy zadany próg. Daje to użytkownikowi informacje, że należy przewietrzyć pomieszczenie, w którym przebywa.

Stosowanie tego rodzaj systemów, podobnie jak np. układów do analizy zawartości pyłów zawieszonych (PM 2,5 itp.) oraz lotnych związków organicznych (VOC), to kluczowe czynniki, pozwalające na monitorowanie jakości powietrza w naszym otoczeniu, dzięki któremu możemy reagować i częściej wietrzyć pomieszczenia, a czym lepsze jest powietrze, którym oddychamy, tym wyższy komfort i samopoczucie. Szczególnie teraz, gdy sporo osób pracuje w swoich domach, ważne jest dbanie o jakość powietrza w nim. Wszak jest to miejsce, gdzie spędzamy większość czasu.

Nikodem Czechowski, EP

Źródło: https://bit.ly/35aRxFv

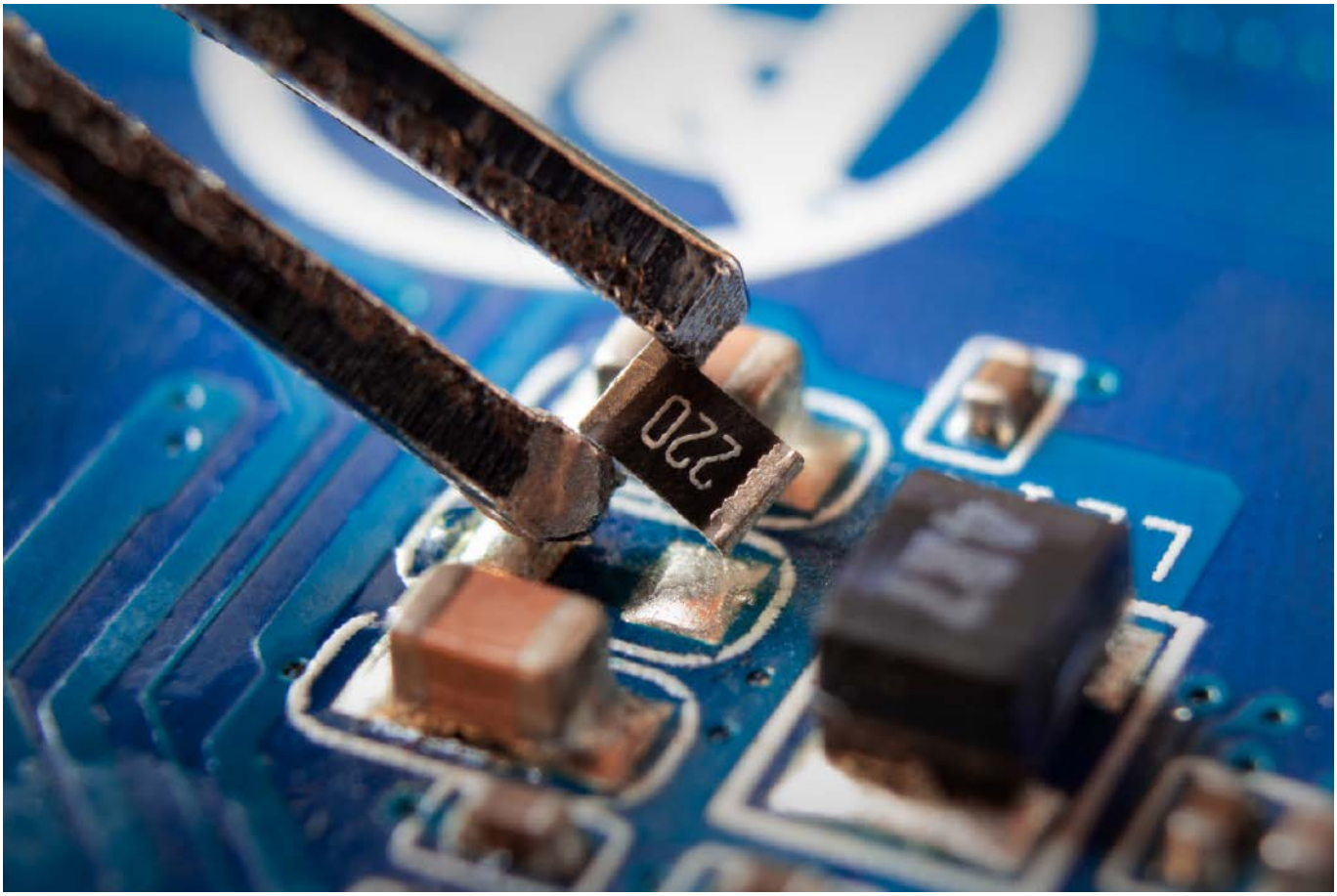
REKLAMA

Sięgnij po archiwalne wydania
ELEKTRONIKI PRAKTYCZNEJ

Zamów wygodnie na **www.UlubionyKiosk.pl**

Przesyłka GRATIS

eprasa.pl 2897393b21



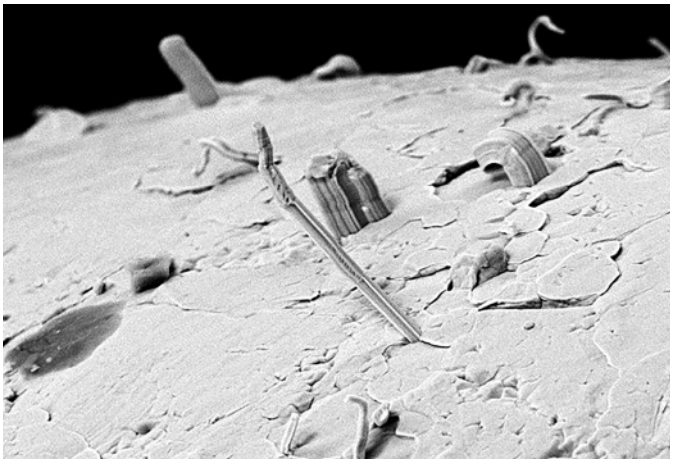
Montaż i demontaż elementów SMD

Zagadnienie metod lutowania układów elektronicznych jest niezwykle szerokie, a całość skomplikowała się w znacznym stopniu przez wprowadzanie kolejnych edycji proekologicznej dyrektywy RoHS, która niemal wyeliminowała z użycia starego typu stopy na bazie cyny i ołowiu – lista wyłączeń kurczy się wraz z kolejnymi wersjami dokumentu i obejmuje obecnie tylko nieliczne grupy urządzeń. Przez niemal dwadzieścia lat od opracowania pierwszej dyrektywy RoHS rynek elektroniki zdołał dostosować się do nowych wymogów, a te z oczywistych przyczyn silnie wpłynęły na sposób montażu układów i parametry pracy urządzeń lutowniczych.

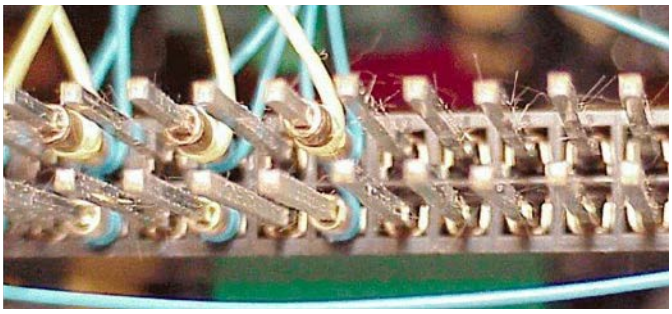
Dogłębne zrozumienie procesu montażu jest kluczem do zapewnienia jakości. W związku z wprowadzeniem dyrektyw RoHS w pewien sposób wzrosło znaczenie testowania oraz zabezpieczania obwodów drukowanych. Testy produkcyjne pozwalają wykryć wszelkie nieprawidłowości, które mogłyby wpłynąć na niezawodność urządzenia – podczas lutowania (na etapie produkcji) lub wymiany uszkodzonego układu (w czasie naprawy serwisowej) istnieje ryzyko pogorszenia jakości połączenia niektórych wyprowadzeń z odpowiadającymi im polami lutowniczymi. Problem ten jest zmorą monterów urządzeń o wysokim poziomie upakowania elementów, a szczególnie widoczny bywa w przypadku sporych układów w obudowach BGA. Całkowita, optyczna kontrola połączeń okazuje się w takich sytuacjach niemożliwa, a – co więcej – nawet w przypadku dobrze widocznych padów wygląd prawidłowych połączeń jest trudniejszy do odróżnienia od zimnych lutów, niż miałoby to miejsce w przypadku błyszczących spoin ołowiowych o niemal lustrzanej powierzchni. Z osobistego doświadczenia Autora wynika, że nawet w pracach montażystów z pewnym stażem można znaleźć wykonane ręcznie luty o podwiniętych brzegach, sprawiające, że wyprowadzenia niektórych elementów pozostają całkowicie niepołączone z płytką lub, co gorsza, tracą połączenie z czasem, już po etapie wstępnych testów (zwykle w wyniku naprężeń mechanicznych, którym poddana jest płytka drukowana podczas zmian temperatury, skręcania obudowy, itd.).

Zabezpieczenie powierzchni zmontowanych obwodów drukowanych ma z kolei znaczenie głównie z uwagi na słynne *whiskery* – wąsy metaliczne (**fotografia 1**). Problem ten stanowi istotne zagrożenie dla niezawodności urządzeń, a szczególnie podatna jest nań aparatura kosmiczna, pracująca w warunkach nieważkości, próżni i skrajnych wahań temperatury otoczenia – najlepszym przykładem wagi tego problemu była utrata satelity Galaxy IV w 1998 roku z powodu zwarcia w obwodach głównego procesora kontrolującego pracę systemu. Nietrudno wyobrazić sobie także fatalne skutki powstawania niespodziewanych zwarć w obwodach wielu urządzeń „naziemnych" – choćby w przypadku sprzętu wysokiej niezawodności, takiego jak układy hamowania ABS,

eprasa.pl 2897393b21



Fotografia 1. Wygląd „wąsów" cynowych uzyskany w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) (https://t.ly/VEaf)



Fotografia 2. Przykład długich „wąsów" cynowych widocznych na pinach złącza szpilkowego (https://t.ly/dBiw)

kontrolery trakcji pojazdów czy też wyroby medyczne służące do podtrzymywania lub monitorowania funkcji życiowych. Problem jest znacznie większy, niż mogłoby się wydawać – wąsy nie zawsze mają bowiem długość rzędu kilkudziesięciu mikrometrów (jak można by wywnioskować, oglądając zdjęcia mikroskopowe takich uszkodzeń), zdarzają się bowiem przypadki whiskerów o długości rzędu milimetra, a nawet kilku milimetrów. Zagrożenie zwarciami może zatem dotyczyć nawet złączy i układów scalonych o stosunkowo szerokim rastrze (przykład na **fotografii 2**).

Technologie montażu obwodów drukowanych

Pomimo znacznego upowszechnienia metod lutowania automatycznego, konwencjonalny montaż ręczny obwodów drukowanych nadal stanowi ważną część procesu produkcyjnego w wielu przedsiębiorstwach, nie wspominając o pracach serwisowych czy prototypowych. Dziś nie ma już większego problemu z wyborem wielofunkcyjnej stacji lutowniczej, która umożliwi montaż i demontaż elementów SMD i THT w obwodach o małej i średniej skali upakowania, zarówno w zastosowaniach profesjonalnych, jak i amatorskich bądź szkoleniowych. Co więcej – rośnie także oferta producentów profesjonalnego wyposażenia warsztatowego, stosowanego przez wysokiej klasy serwisy elektroniki konsumenckiej, komputerów czy sprzętu specjalistycznego. Ponieważ technologie lutowania – choć zawsze mające na celu dostarczenie odpowiedniej ilości ciepła do wyprowadzeń elementów i pól lutowniczych na PCB – w przypadku prac manualnych i automatycznych są diametralnie różne, nasz przegląd tej tematyki podzieliliśmy na dwie sekcje. Jako pierwsze omówimy zagadnienia związane z osprzętem do lutowania ręcznego.

Montaż manualny

W kwestii montażu elementów SMD należy rozważyć trzy techniki lutownicze:

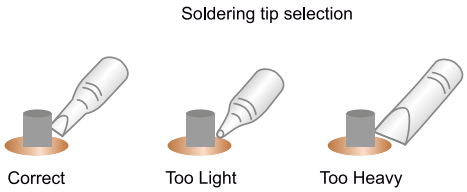
- lutowanie punktowe za pomocą lutownic kolbowych,
- lutowanie rozpływowe gorącym powietrzem (hot-air),
- lutowanie rozpływowe za pomocą promiennika podczerwieni (IR).

O ile w przypadku wielu grup elementów (zwłaszcza silnie zminiaturyzowanych układów scalonych) montaż punktowy jest technicznie niemożliwy, o tyle spora część produkowanych obecnie układów, a także większość elementów pasywnych i dyskretnych półprzewodników, może być skutecznie montowana zarówno klasycznymi lutownicami kolbowymi, jak i technikami lutowania rozpływowego.

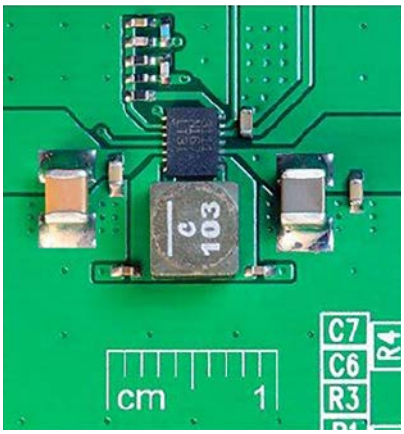
Lutowanie punktowe

Najbardziej konwencjonalny sposób montażu opiera się na zastosowaniu lutownicy kolbowej z cienkim grotem stożkowym (**fotografia 3**), przy czym warto wiedzieć, że odpowiedni dobór rozmiaru grota do lutowanych końcówek elementów jest istotny zwłaszcza w montażu bezołowiowym. Wyższa temperatura topnienia stopów Pb-free (w porównaniu do SnPb) i idąca za tym potrzeba dostarczenia większej ilości ciepła (w krótkim czasie) w celu wykonania połączenia sprawiają, że duże znaczenie dla komfortu lutowania oraz jakości uzyskiwanych efektów ma rozmiar grota – w uproszczeniu można przyjąć, że wymiary końcówki grota powinny być zbliżone do rozmiarów wyprowadzeń elementów (**rysunek 1**). Niebywale ważna jest także moc lutownicy (grzałka w większości praktycznych zastosowań powinna mieć moc 80...100 W), a także właściwie zaprojektowana konstrukcja układu przekazywania ciepła, umożliwiająca lepszą stabilizację temperatury, co zyskuje pierwszorzędne znaczenie zwłaszcza podczas pracy z połączeniami o dużej pojemności cieplnej. Najczęściej spotykane w praktyce sytuacje, w których mniejsza moc lutownicy daje o sobie szczególnie znać, to:

Fotografia 3. Przykładowy grot stożkowy do montażu SMT (https://t.ly/HHJP)



Rysunek 1. Schematyczne zobrazowanie metody doboru rozmiaru końcówki grota do wymiaru lutowanych elementów. Po lewej – grot optymalny do danego zastosowania; w środku – za mała końcówka, uniemożliwiająca przekazanie wystarczającej ilości ciepła; po prawej – za duży grot, uniemożliwiający dokładny montaż, w skrajnym przypadku grożący przegrzaniem przy nieprawidłowym ustawieniu temperatury stacji lutowniczej (https://t.ly/zuFf)



Fotografia 4. Przykład płytki drukowanej z obszyciami przelotek, wykonanymi w celu poprawy impedancji obwodów przetwornicy DC/DC (https://t.ly/hWat)

eprasa.pl 2897393b21

- lutowanie dużych złączy (a szczególnie ich metalowych ekranów, np. w przypadku gniazd USB typu A i B) lub złączy koncentrycznych (np. SMA),
- montaż końcówek połączonych z obudową elementu (obudowy SOT223 czy TO252),
- lutowanie końcówek elementów z padami połączonymi z dużymi polami masy i/lub otoczonymi przelotkami (**fotografia 4**).

Fotografia 5. Grot płaski średniej wielkości (https://t.ly/v7vp)

Fotografia 6. Grot typu minifala (https://t.ly/JVJ8)

Podczas pracy z takimi „trudnymi" strukturami warto wybrać grot o większej średnicy, często także wykonany w postaci ściętego obustronnie stożka, przypominającego płaski wkrętak (**fotografia 5**). W rękach doświadczonego elektronika taki kształt grota pozwala znacznie przyspieszyć prace montażowe, a to za sprawą lepszego przekazu ciepła (ten zależy nie tylko od różnicy temperatur pomiędzy grotem a lutowanym połączeniem, ale także od powierzchni styku i ilości nałożonego lutowia).

W częstym użyciu pozostaje także grot typu „minifala" (**fotografia 6**) – w ukośnie ściętej końcówce znajduje się fabrycznie wykonane wydrążenie (niecka), które umożliwia nabranie niewielkiej ilości rozgrzanego spoiwa i naniesienie go na szereg pinów jednym, podłużnym ruchem. Warto przy tym pamiętać, że o ile rozwiązanie to sprawdza się najczęściej w przypadku obudów typu SOIC, QFP czy LQFP, to możliwe jest „awaryjne" zastosowanie tego rozwiązania także do obudów QFN, o ile rzecz jasna ich wyprowadzenia lutownicze są widoczne na brzegach obudowy (nie zaś ukryte w całości pod nią).

Stacje lutownicze do lutowania rozpływowego oraz demontażu elementów

Ręczny montaż rozpływowy może być dokonywany za pomocą lutownic na gorące powietrze (hot-air) lub stacji na podczerwień (IR). Te pierwsze zyskały ogromną popularność i od przeszło dekady na rynku obecne są rozmaite stacje lutownicze jednofunkcyjne (wyposażone tylko w kolbę hot-air – **fotografia 7**) lub dwufunkcyjne (lutownica grzałkowa + hot-air – **fotografia 8**). Bardziej rozbudowane urządzenia mają dodatkowy kanał do sterowania termopęsetą (**fotografia 9**) – przeznaczoną do łatwego demontowania elementów dyskretnych (rezystorów, kondensatorów, dławików, czy też diod SMD dostępnych w obudowach typu 0603, 0805, 1206, itd.), a nawet… montowania ich z użyciem pasty lutowniczej.

Fotografia 7. Profesjonalna stacja hot-air marki Weller (https://t.ly/h4OM)

Fotografia 8. Dwufunkcyjna stacja lutownicza z kolbą standardową oraz rączką hot-air (https://t.ly/zJW6)

Fotografia 9. Precyzyjna termopęseta do lutowania/rozlutowywania elementów SMD (https://t.ly/thyN)

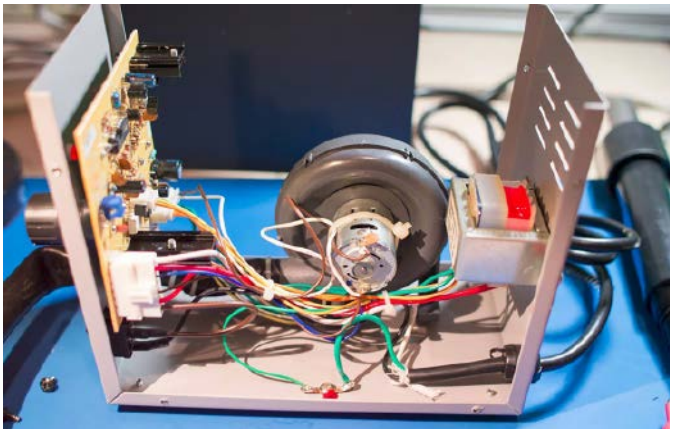
Fotografia 10. Kolba lutownicza hot-air z wbudowaną dmuchawą (https://t.ly/UBju)

Rodzaje stacji hot-air

Na rynku można obecnie znaleźć dwa rodzaje stacji lutowniczych hot-air, różniących się konstrukcją układu nadmuchu powietrza. Tańsze modele do użytku amatorskiego i półprofesjonalnego są wyposażone najczęściej w wentylator promieniowy (dmuchawę), umieszczony bezpośrednio w kolbie hot-air, o czym świadczy poszerzona część proksymalna jej obudowy (**fotografia 10**). Zaletą tego rozwiązania jest dość cicha praca, niski koszt, a także – co ma znaczenie w długotrwałej pracy bez użycia statywu – niewielkie obciążenie wprowadzane przez dość cienki przewód zasilający. Kolby lutownicze bez wentylatora muszą być „zdane" na zewnętrzne źródło nadmuchu – stąd znacznie szerszy przewód doprowadzający powietrze do rączki lutowniczej (na który składa się rura pneumatyczna oraz przewód zasilania grzałki i okablowanie czujnika temperatury – fotografie 7 i 8).

Praktycznie wszystkie stacje profesjonalne, a także lepsze modele urządzeń z niższej półki cenowej wyposażone są we wbudowany w jednostkę główną kompresor, który w zaawansowanych modelach osiąga przepływ maksymalny porównywalny z kolbami o budowie opartej na wentylatorze (około 100 l/min). Przewagą kompresora nad wentylatorem jest możliwość uzyskania wyższego ciśnienia (co ma znaczenie w przypadku dysz o wąskim przekroju wylotowym). Ciekawostką jest fakt, że niektóre stacje ze źródłem powietrza umieszczonym

eprasa.pl 2897393b21



Fotografia 11. Wnętrze stacji lutowniczej z wentylatorem promieniowym wbudowanym w jednostkę zasilającą (https://t.ly/kFIz)

w jednostce głównej bazują w rzeczywistości nie na kompresorze, ale… nieco większym wentylatorze promieniowym (**fotografia 11**).

Stacje lutownicze na podczerwień (IR)

Oprócz nadmuchu gorącego powietrza, do rozgrzania PCB i lutowanych komponentów może być zastosowane także średnio- i długofalowe promieniowanie podczerwone, emitowane przez promiennik ceramiczny lub kwarcowy (o większej dynamice). Brak silnego strumienia powietrza niweluje występujące podczas pracy z kolbami hot-air ryzyko zdmuchnięcia lub niekontrolowanego przemieszczenia elementów, co – obok lepszej kontroli temperatury (niektóre stacje wyposażone są w czujnik pirometryczny skierowany na obszar roboczy) – stanowi o wyższym komforcie pracy i często lepszych efektach w porównaniu do urządzeń hot-air. Stacje lutownicze na podczerwień występują albo w wersji podstawowej (promiennik górny w kolbie oraz promiennik dolny jako preheater), albo – częściej – w postaci rozbudowanych, profesjonalnych stanowisk roboczych, wyposażonych w programator profilu temperaturowego, własny system wizyjny z mikroskopem cyfrowym i wbudowanym monitorem, a nawet system precyzyjnego pozycjonowania PCB i centrowania lutowanego układu (**fotografia 12**).

Wyposażenie dodatkowe

Oprócz jednej stacji lutowniczej (lub kilku, w zależności od zakresu wykonywanych prac i preferencji użytkownika) niezbędne wyposażenie pracowni montażowej obejmuje także szereg drobniejszych narzędzi ręcznych oraz dodatkowego osprzętu, jak:

Fotografia 12. Zaawansowana stacja do lutowania BGA z promiennikiem podczerwieni i wbudowanym systemem wizyjnym (https://t.ly/fVUV)

- **Plecionka lutownicza** w postaci gęsto splecionych, cienkich drutów miedzianych (**fotografia 13**) stanowi niezbędne narzędzie umożliwiające zebranie nadmiaru cyny z padu lutowniczego lub wyprowadzenia elementu, a to poprzez działanie sił powierzchniowych. Istotne jest zaopatrzenie się w plecionki o różnych szerokościach, gdyż zastosowanie zbyt wąskiej utrudnia odessanie spoiwa, zaś zbyt szerokiej – powoduje ryzyko przypadkowego usunięcia spoiwa ze znajdujących się wokół połączeń.

Fotografia 13. Plecionka lutownicza (https://t.ly/hztt)

- **Ręczne lub półautomatyczne chwytaki podciśnieniowe** – istota ich działania polega na wytworzeniu podciśnienia i dostarczenia go do niewielkiej przyssawki, pozwalającej chwytać, przenosić oraz precyzyjnie układać na PCB elementy o odpowiednio dużej powierzchni (głównie układy scalone, ale także większe elementy dyskretne). Najprostsze chwytaki mają postać miniaturowych pompek o wielkości długopisu, wyposażonych w gumowy pęcherz (**fotografia 14**) – z uwagi na niewielką pojemność wewnętrznego zbiorniczka są bardzo podatne nawet na niewielkie nieszczelności pomiędzy przyssawką a obudową komponentu, co skutkuje jego upuszczeniem (problem jest szczególnie dotkliwy w najtańszych narzędziach o niskiej jakości wykonania). Nieporównanie lepsze są chwytaki podciśnieniowe z pompą próżniową, kontrolowane często za pomocą pedału nożnego (**fotografia 15**) – zastosowanie takiej metody sterowania znacząco zwiększa dokładność pozycjonowania przenoszonych elementów ze względu na brak efektu drgnięcia, wynikającego z konieczności naciśnięcia przycisku zwalniającego na rękojeści chwytaka.
- **Pęsety** stanowią podstawowe narzędzia ręczne do montażu i demontażu mniejszych elementów SMD, a zróżnicowanie kształtów i rozmiarów ich końcówek (**fotografia 16**) znacząco ułatwia dobranie odpowiedniego przyrządu do pracy z elementami o konkretnej wielkości. Warto dodać, że do lutowania należy wybierać

Fotografia 14. Najprostszy chwytak podciśnieniowy (https://t.ly/XBih)

Fotografia 15. Zestaw elektrycznie sterowanego chwytaka podciśnieniowego z pedałem nożnym (https://t.ly/Lvr9)

eprasa.pl 2897393b21

Fotografia 16. Zestaw precyzyjnych pęset ESD (https://t.ly/ZALn)

Fotografia 17. Przykładowa pęseta anatomiczna (https://t.ly/hgMg)

przede wszystkim pęsety pozbawione ząbków na końcach – nawet wysokiej jakości pęsety anatomiczne (**fotografia 17**) o wąskich zakończeniach sprawiają problem podczas montażu małych elementów dyskretnych, gdyż przesunięte względem siebie ząbki powodują niekontrolowane przekrzywianie się komponentów (obrót w osi podłużnej), co utrudnia pozycjonowanie. Pęsety ząbkowane dobrze sprawdzają się jednak w innych precyzyjnych pracach (np. montażu wiązek kablowych i złączy), dlatego w praktyce zawsze warto mieć pod ręką także takie narzędzie.

- **Ekstraktory** – w przypadku demontażu układów scalonych pewnym wyzwaniem może być bezpieczne podniesienie elementu pod koniec fazy rozgrzewania za pomocą gorącego powietrza lub podczerwieni – zbyt wczesne podniesienie grozi oderwaniem padów lutowniczych, zbyt późne – niepotrzebnym nagrzewaniem całości. Ciekawe rozwiązanie zaproponowała marka JBC – niewielki chwytak podciśnieniowy jest połączony za pomocą ramienia ze specjalną osłoną (kołnierzem – **fotografia 18**), którego zadaniem jest ochrona elementów znajdujących się wokół wymontowywanego układu przed niepożądanym ogrzewaniem. Po podłączeniu źródła podciśnienia i uchwyceniu elementu wystarczy rozpocząć nadmuch gorącego powietrza, a po wystarczającym roztopieniu lutowia układ zostanie automatycznie podniesiony z powierzchni PCB (**rysunek 2**).

Fotografia 18. Ekstraktor marki JBC do demontażu układów SMD (https://t.ly/f8r4)

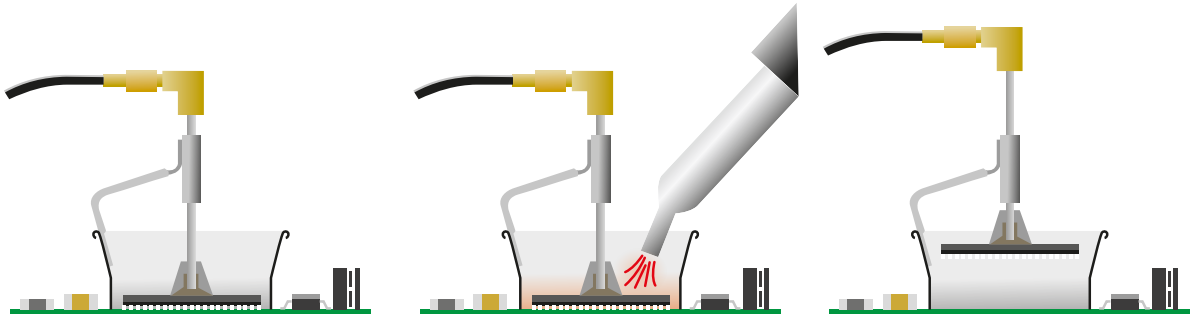
Montaż automatyczny

Nie ulega wątpliwości, że choć manualne lutowanie płytek drukowanych ma istotne znaczenie w obszarze prototypów, serwisu i produkcji niewielkich serii, to jednak automatyczne linie montażowe stanowią absolutną podstawę w zdecydowanej większości średnich i dużych przedsiębiorstw. Z uwagi na masowy charakter montażu automatycznego konieczne jest zapewnienie wysokiej jakości całego procesu i uważna jego kontrola, gdyż pozornie niewielkie zaniedbania na którymkolwiek etapie mogą z łatwością doprowadzić do potężnych strat finansowych – tym bardziej w okresie ogólnoświatowego krachu półprzewodnikowego, jakiego jesteśmy świadkami od wielu miesięcy.

Etapy montażu

Opracowując logistykę masowej produkcji danego urządzenia, warto dogłębnie zastanowić się nad wszystkimi etapami montażu i kontroli jakości oraz rozważyć zastosowanie ewentualnych dodatkowych czynności końcowych, które mogą okazać się istotne dla niezawodności produktu w określonych warunkach pracy.

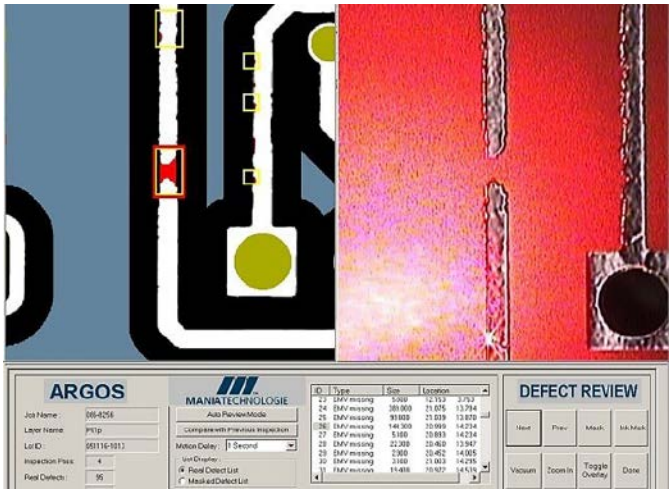
- **Przygotowanie komponentów** – o ile w przypadku ręcznego lutowania punktowego zagadnienie wstępnego przygotowania komponentów nie ma krytycznego znaczenia, o tyle proces lutowania rozpływowego naraża elementy SMD na poważne uszkodzenia, związane z wpływem wilgoci (więcej informacji na ten temat można znaleźć w dalszej części artykułu). Konieczna jest zatem kontrola stanu elementów i w razie, gdy to konieczne, przeprowadzenie wymuszonego suszenia ich w specjalnym piecu (**fotografia 19**).
- **Inspekcja PCB** – niezwykle ważnym etapem montażu obwodów drukowanych jest kontrola jakości PCB jeszcze przed rozpoczęciem lutowania, gdyż późniejsza diagnostyka błędów i ich naprawa może być niezwykle trudna, a często niemożliwa. Oprócz



Rysunek 2. Zasada działania automatycznego ekstraktora marki JBC: po lewej – uchwycenie układu chwytakiem podciśnieniowym, w środku – ogrzewanie kolbą hot-air, po prawej – podniesienie układu po roztopieniu lutowia (https://t.ly/4d1L)

eprasa.pl 2897393b21

Fotografia 19. Piec do suszenia elementów SMD przed montażem (https://t.ly/KMjz)

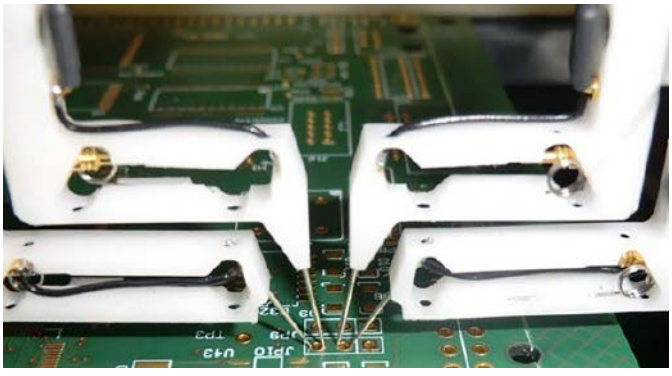


Rysunek 3. Przykład detekcji uszkodzenia PCB za pomocą systemu automatycznej inspekcji optycznej (AOI) – po prawej: oryginalna makrofotografia obwodu drukowanego, po lewej: obraz po przetworzeniu (progowanie, segmentacja, kolorowanie warstw) i oznaczeniu uszkodzenia (https://t.ly/Us73)

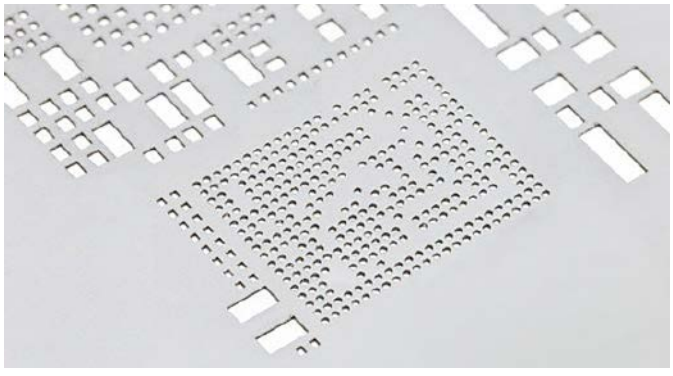
wzrokowej kontroli z użyciem dobrego mikroskopu stereoskopowego, stosowane są także systemy automatycznej kontroli optycznej (AOI – przykład pokazano na **rysunku 3**). Kontrola optyczna stanowi bardzo ważny etap procesu testowania płytek drukowanych, jednak jej zastosowanie ogranicza się jedynie do widocznych warstw (czyli do płytek dwustronnych lub warstw top i bottom w przypadku obwodów wielowarstwowych). Dodatkowym ograniczeniem jest przesłonięcie elementów uszkodzonych przez warstwę opisową. Z doświadczenia Autora wynika, że także w tej dziedzinie często ujawniają się prawa Murphy'ego – przerwy lub zwarcia pomiędzy ścieżkami występują… dokładnie pod liniami obrysu elementów bądź ich oznaczeniami (sic!). Dlatego też szczególnie cenne okazują się testy elektryczne, pozwalające wykryć niepożądane zwarcia lub przerwy poprzez „przemiatanie" możliwych konfiguracji ścieżek za pomocą automatycznego testera igłowego (**fotografia 20**). W obwodach radiowych (RF) i pracujących z szybkimi sygnałami cyfrowymi istotny może być także test ścieżek wymagających kontroli impedancji – na rynku można znaleźć ręczne testery przeznaczone do tego celu (**fotografia 21**), jednak znacznie większe możliwości mają maszyny do testów automatycznych. Warto dodać, że najbardziej zaawansowane testery radzą sobie nawet z komponentami zagrzebanymi, umożliwiając np. kontrolę rezystancji i tolerancji dzielników napięciowych, znajdujących się wewnątrz płytek drukowanych o bardzo wysokiej gęstości upakowania komponentów.

- **Nakładanie pasty** – nałożenie pasty lutowniczej może przebiegać z użyciem szablonów (**fotografia 22**) lub automatycznych dyspenserów (**fotografia 23**) – pierwsza z wymienionych metod pozwala niezwykle precyzyjnie nakładać pastę jednocześnie na wszystkie wymagające tego pady. Druga polega zaś na selektywnym wyciskaniu pasty przez specjalny dozownik na kolejne pola lutownicze i doskonale nadaje się do większych, cięższych komponentów, w których ilość lutowia zapewniana przez szablon byłaby zbyt mała. Dobrze wykonany i zastosowany szablon pozwala na ułożenie pasty nawet na najmniejszych padach, podczas gdy w wyniku przebiegu igły dypensera nad padem nieuchronnie pojawiają się charakterystyczne nierówności (**fotografia 24**). W zależności od możliwości technologicznych przedsiębiorstwa szablon może być wykonany za pomocą cięcia laserowego CNC, elektroformowania lub trawienia chemicznego.
- **Nakładanie kleju** – proces lutowania rozpływowego w przypadku obwodów dwustronnie obsadzonych elementami wymaga przymocowania elementów SMD do powierzchni PCB za pomocą niewielkich kropel kleju (**fotografia 25**), umieszczanych na środku footprintów elementów SMD przez dyspenser automatyczny. Proces odbywa się na tej samej zasadzie, jak opisane wcześniej

Fotografia 21. Widok sondy testera impedancji marki Polar Instruments (https://t.ly/HzuW)

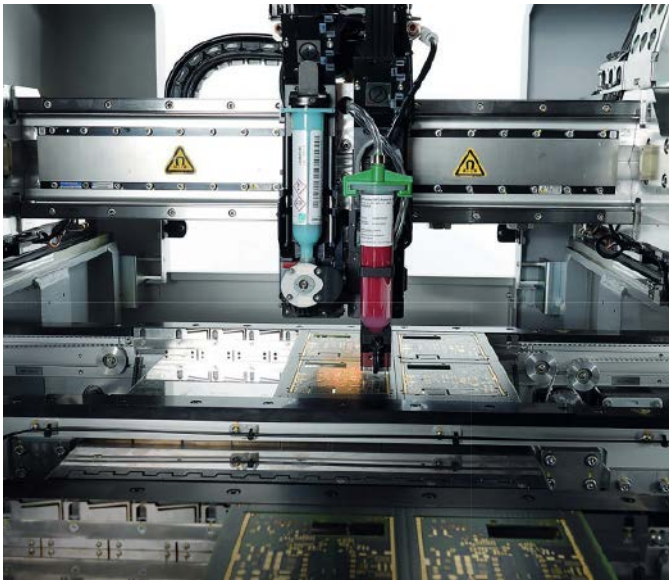


Fotografia 20. Maszyna do testów elektrycznych nieobsadzonego obwodu PCB (https://t.ly/A2WG)

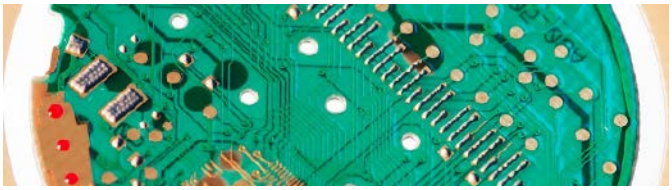


Fotografia 22. Przykładowy szablon do nakładania pasty lutowniczej (https://t.ly/fvFd)

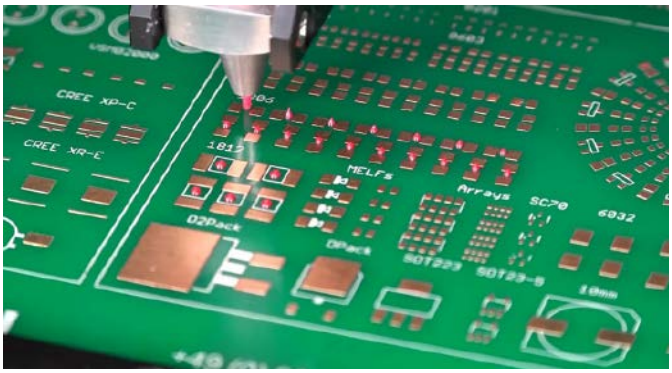
eprasa.pl 2897393b21



Fotografia 23. Automatyczny dyspenser uniwersalny (https://t.ly/gIcq)



Fotografia 24. PCB z pastą lutowniczą nałożoną za pomocą dyspensera. Widoczne charakterystyczne nierówności wynikające z ograniczeń procesu technologicznego (https://t.ly/8XXW)



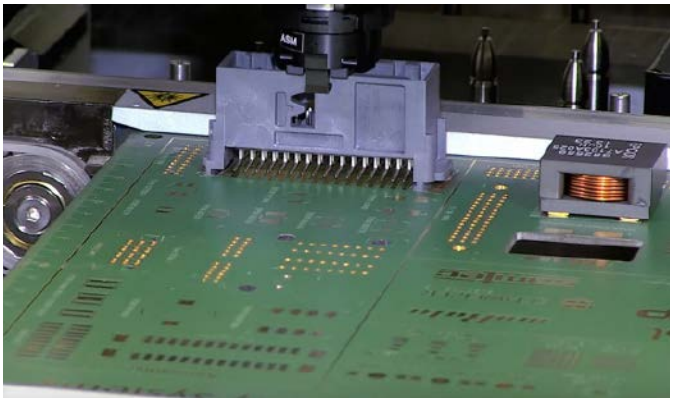
Fotografia 25. Dyspenser kleju podczas pracy (https://t.ly/G5ec)

Fotografia 26. Automat pick & place marki Essemtec (https://t.ly/QdaG)

nakładanie pasty. Klejenie elementów jest także niezbędne podczas lutowania płytek drukowanych na fali.

- **Układanie elementów** – szybkie osadzenie elementów na PCB jest kluczowe dla całościowego czasu produkcji. Nowoczesne automaty pick & place umożliwiają jednoczesne załadowanie kilkudziesięciu, a czasem nawet dwustu rolek z komponentami, wspierają także pobieranie elementów z tacek. Podzespoły są przenoszone za pomocą precyzyjnych chwytaków podciśnieniowych, których zróżnicowane rozmiary pozwalają na pracę zarówno z najmniejszymi elementami biernymi, jak i z naprawdę sporymi modułami bądź elementami półprzewodnikowymi dużej mocy – przykładowo, pokazana na **fotografii 26** maszyna Cobra szwajcarskiej marki Essemtec umożliwia montaż elementów od rozmiaru 01005 (0,4×0,2 mm!) aż do 80×70 mm (np. zasilacze modułowe, przetwornice DC/DC, itd.). Nowoczesne maszyny dysponują już nie pojedynczym chwytakiem, ale całym zespołem przyssawek umieszczonych na wspólnej, ruchomej karetce – takie rozwiązanie umożliwia pobranie naraz wielu elementów z zasobnika i umieszczenie ich na PCB w ramach jednego przejazdu, co znacząco redukuje ilość tzw. ruchów jałowych głowicy. W przypadku elementów o niestandardowych rozmiarach lub kształcie (zwłaszcza jeżeli podniesienie ich chwytakiem podciśnieniowym jest niemożliwe – np. złącza krawędziowe czy szpilkowe) wytwórca ma dwie możliwości – wykonać część montażu manualnie lub „zatrudnić" do pracy maszynę wyposażoną w chwytaki mechaniczne – ciekawe rozwiązanie w tym segmencie automatyki montażowej przedstawiła firma Assembly Systems GmbH & Co. KG, w której operator może samodzielnie zmontować chwytak „szyty na miarę", korzystając ze specjalnego zestawu akcesoriów (**fotografie 27** i **28**).

W mniejszej skali (prototypy, urządzenia jednostkowe oraz małe serie produkcyjne) sporym ułatwieniem dla montażysty może być system wspomagający manualne układanie elementów – pomocą jest już odpowiednie powiększenie pola roboczego, wskaźnik



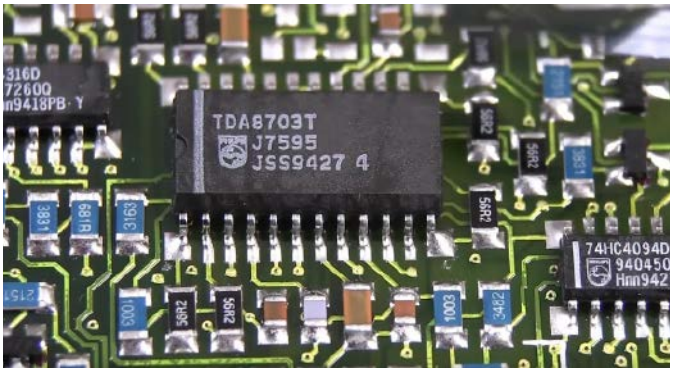
Fotografia 27. Maszyna pick & place z chwytakiem mechanicznym – SIPLACE TwinStar (https://t.ly/FZuf)

Fotografia 28. Zestaw do składania końcówki roboczej pick & place SIPLACE TwinStar (https://t.ly/xCWG)

eprasa.pl 2897393b21

Fotografia 29. System wspomagania manualnego układania elementów SMD o nazwie SMT Caddy (https://t.ly/n1CZ)

laserowy, zmotoryzowane podajniki i solidne podparcie ręki oraz przedramienia operatora – słowem wszystko, co choć częściowo odciąży operatora i zwiększy ergonomię oraz precyzję pracy. Przykładem takiego kompaktowego, stołowego urządzenia manualnego typu P&P pokazano na **fotografii 29**.

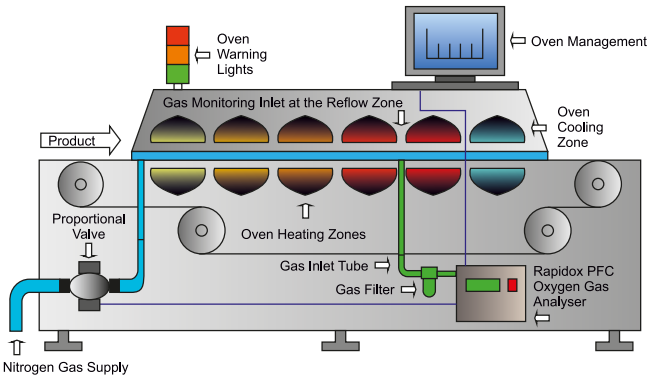


Fotografia 30. Przykładowy obwód drukowany zmontowany z elementów SMD lutowanych na fali (https://t.ly/JKOt)

- **Lutowanie** – proces automatycznego lutowania obwodu drukowanego może przebiegać w dwóch technologiach – na fali lub rozpływowo (*reflow*). Pierwsza z metod jest obecnie rzadko stosowana w odniesieniu do układów opartych na technologii SMT – choć istotnie jest to możliwe i dawniej było szeroko stosowane (przykład na **fotografii 30**), to dziś zastosowanie fali do lutowania układów w obudowach powierzchniowych należy raczej traktować jako rozwiązanie wspomagające w sytuacji, w której na danej płytce drukowanej znajdują się raczej nieliczne komponenty SMD (obok przeważającej liczby THT) i to w możliwie szerokim rastrze. I tak, układy SOIC czy elementy pasywne lub dyskretne półprzewodniki mogą być z powodzeniem lutowane w tym procesie, jednak konieczność zastosowania kleju stanowi tutaj dodatkową komplikację procesu montażu. Warto też dodać, że montaż na fali jest nadal przydatny w przypadku urządzeń o przeważającej liczbie komponentów SMD, w których do wlutowania pozostają nieliczne podzespoły przewlekane (np. złącza) – wtedy warto dopilnować, by w miarę możliwości wszystkie elementy SMD były umieszczone na górnej warstwie płytki drukowanej.

Światem współczesnego montażu wielkoseryjnego rządzi natomiast niepodzielnie lutowanie rozpływowe. Proces polega na zastosowaniu zdefiniowanych wcześniej profili temperaturowych do wstępnego rozgrzania elementów i samej PCB, rozgrzania i stopienia spoiwa oraz późniejszego schłodzenia całości do temperatury otoczenia. W lutowaniu rozpływowym wykorzystywane są piece z przenośnikami łańcuchowymi, działające w oparciu o promienniki podczerwieni, nadmuch gorącego powietrza (piece konwekcyjne) lub obydwa wspomniane rozwiązania. Zaawansowane, wielostrefowe piece dedykowane do dużych

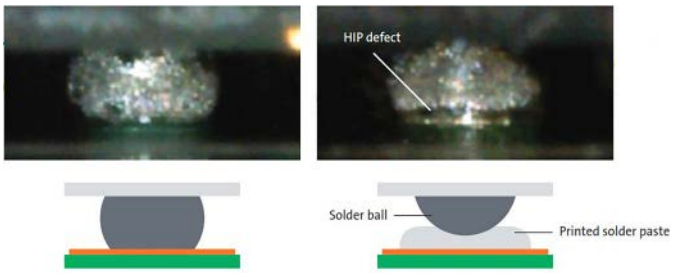
Fotografia 31. Wielostrefowy piec do lutowania rozpływowego (https://t.ly/RoLK)



Rysunek 4. Schemat budowy wielostrefowego pieca rozpływowego (https://t.ly/z4i0)

parków maszynowych umożliwiają przeprowadzenie kompletnego procesu lutowniczego na drodze przesuwania płytek drukowanych pomiędzy kolejnymi strefami grzania i chłodzenia – przykładowo, model Heller 1913 MARK 5 oferuje aż 13 obszarów grzania i trzy strefy chłodzenia (**fotografia 31**). Zastosowanie wielu następujących po sobie stref znacząco zwiększa nie tylko szybkość całego procesu, ale także elastyczność w kształtowaniu profilu temperaturowego – schemat budowy przemysłowego pieca lutowniczego pokazano na **rysunku 4**. Na schemacie nieprzypadkowo znalazło się oznaczenie dopływu azotu (nitrogen gas supply) – dostarczenie tego gazu do komory lutowniczej pozwala znacząco zredukować szybkość procesu utleniania łączonych powierzchni (wszak o utlenienie nietrudno w tak wysokiej temperaturze), co ma krytyczne znaczenie dla efektu lutowania. Zbyt silna oksydacja padów i wyprowadzeń lutowniczych jest bowiem szczególnie groźna w przypadku obudów BGA czy CSP, gdyż doprowadza do powstania efektu określanego jako „head-in-pillow" (w skrócie HIP – **fotografia 32**), polegającego na niedostatecznym połączeniu kulki spoiwa z pastą lutowniczą znajdującą się na polu lutowniczym.

Podobne (choć uproszczone) profile mogą być jednak także z powodzeniem programowane w znacznie mniejszych, stołowych piecach lutowniczych (**fotografia 33**) – te doskonale sprawdzają się w prototypowniach i mniejszych zakładach produkcyjnych.



Fotografia 32. Efekt HIP widoczny w mikroskopie inspekcyjnym oraz schematyczny przekrój takiego połączenia (https://t.ly/R9qy)

eprasa.pl 2897393b21

Fotografia 33. Komorowy piec konwekcyjny DDM Novastar GF-B (https://t.ly/IjJw)

Fotografia 34. Wstępna inspekcja wzrokowa zmontowanych PCB (https://t.ly/mYNX)

- **Testy, programowanie i kalibracja** – po zakończeniu lutowania i schłodzeniu zmontowanych obwodów przychodzi czas na testy oraz przygotowanie układów do pracy. W wielu przedsiębiorstwach inspekcja wzrokowa z użyciem szkieł powiększających (**fotografia 34**), mikroskopów stereoskopowych lub mikroskopów cyfrowych jest wspomagana przez zaawansowane testy automatyczne (AOI), a nawet obrazowanie rentgenowskie. Niezwykle istotne są także badania elektryczne i próby funkcjonalne – ich przebieg zależy jednak od budowy i stopnia złożoności danego urządzenia, dlatego mogą wymagać zastosowania dedykowanych rozwiązań opracowanych przez wytwórcę dla określonego produktu. W przypadku większości współczesnych urządzeń konieczne jest także zaprogramowanie pamięci mikrokontrolerów lub pamięci zewnętrznych – w tym celu mogą być wykorzystywane zarówno proste programatory (zwłaszcza przy mniejszych seriach), jak i zaawansowane, wielofunkcyjne systemy wspierające setki rozmaitych standardów i interfejsów ISP. W przypadku produkcji masowej często bardziej opłacalne (w porównaniu do programowania ISP) jest jednak przeprowadzenie tej operacji jeszcze przed montażem, na samych tylko układach umieszczonych w odpowiednich gniazdach (**fotografia 35**) – rozwiązanie takie umożliwia znaczne zwiększenie przepustowości linii produkcyjnej, gdyż w tym samym momencie programowanych jest nawet kilkadziesiąt układów.
- **Nanoszenie powłok ochronnych** – gotowe, zmontowane i uruchomione obwody drukowane mogą wymagać przeprowadzenia jeszcze jednego procesu, mającego na celu zwiększenie niezawodności i odporności na niekorzystne warunki otoczenia. W przypadku niskoprofilowych obwodów SMD można zastosować powlekanie konformalne (**fotografia 36**), przy czym zależnie od potrzeb powłoka może być przezroczysta (ułatwiająca serwisowanie) lub czarna, całkowicie nieprzezierna (co pozwala nieco utrudnić inżynierię odwrotną urządzenia). Układy zawierające wysokie elementy (gł. przewlekane) mogą wymagać dodatkowego przejazdu głowicy dyspensera z końcówką igłową. W szczególnych sytuacjach stosowane może być także całkowite zalewanie urządzeń lub modułów specjalną żywicą (tzw. PCB potting – **fotografia 37**) lub pokrycie nią jedynie układów scalonych bezpośrednio umieszczonych na płytce drukowanej (COB – Chip-On-Board) i połączonych z nią metodą

Fotografia 35. Automatyczny system programowania pamięci półprzewodnikowych (mikrokontrolerów, pamięci NAND, NOR, eMMC i układów szeregowych) o dużej przepustowości (https://t.ly/4usy)

Fotografia 36. Natrysk ochronnej powłoki konformalnej (https://t.ly/MjnS)

Fotografia 37. Zalewanie modułu żywicą ochronną (https://t.ly/op73)

eprasa.pl 2897393b21

Fotografia 38. Przykładowy moduł wykonany przy użyciu technologii COB (chip-on-board) – widoczne czarne pokrycie żywiczne nad głównym układem scalonym (https://t.ly/UQSN)

bondingu (co ma miejsce najczęściej w przypadku tanich modułów montowanych na masową skalę – **fotografia 38**).

- **Pakowanie** – ostatnim, ale niezwykle istotnym dla zapewnienia jakości etapem następującym po właściwym montażu jest pakowanie gotowych modułów do wysyłki lub dalszego przechowywania w przedsiębiorstwie na potrzeby integracji w obudowie docelowego urządzenia. W pierwszej z wymienionych sytuacji rodzaj opakowania zależy od przeznaczenia, wielkości i… ceny urządzenia. Niewielkie, tanie moduły prototypowe i ewaluacyjne są często pakowane jednostkowo jedynie w zgrzewany woreczek antystatyczny (**fotografia 39**), nierzadko o wątpliwej skuteczności w rozpraszaniu ładunków elektrycznych. W zastosowaniach profesjonalnych, w przypadku serii modułów dostarczanych w opakowaniach zbiorczych, dobrze sprawdzają się kartonowe pudełka ESD (**fotografia 40**). Jeżeli natomiast obwody drukowane mają być przechowywane jedynie przez krótki czas (do momentu rozpoczęcia montażu w obudowie), w zupełności wystarczające mogą okazać się stojaki antystatyczne (**fotografia 41**), wykorzystywane także w procesach manualnego montażu i inspekcji.

Wpływ wilgotności na elementy SMD

Jak wspomnieliśmy wcześniej, lutowanie rozpływowe wymaga wstępnego kondycjonowania elementów wrażliwych na wilgoć. Okazuje się bowiem, że – pomimo zalewania obudów większości komponentów półprzewodnikowych (głównie układów scalonych) – wilgoć z otoczenia może z powodzeniem dyfundować do wnętrza układów, jeżeli są one przechowywane w niedostatecznie suchym środowisku. Intensywne rozgrzewanie całego układu w czasie lutowania powoduje gwałtowny wzrost ciśnienia w otoczeniu struktury półprzewodnikowej, co – w zależności od konstrukcji elementu – może doprowadzić do istotnych uszkodzeń.

Fotografia 39. Przykładowy, budżetowy moduł elektroniczny w opakowaniu ochronnym (https://t.ly/j3yJ)

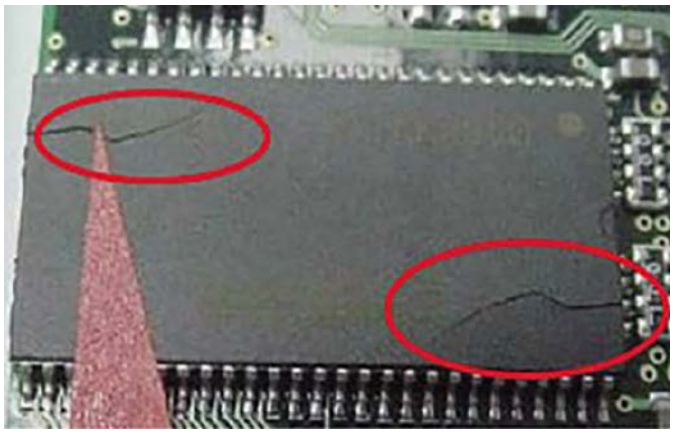
Fotografia 40. Zbiorczy karton ESD (https://t.ly/81eV)

Fotografia 41. Stojak antystatyczny do tymczasowego przechowywania PCB (https://t.ly/0zUI)

Delaminacja warstw struktury układu, naprężenia skutkujące pękaniem (**fotografia 42**) lub wybrzuszaniem obudowy (*popcorn effect* – **fotografia 43**), czy wreszcie uszkodzenia bondingu wyprowadzeń powodujące przerwy pomiędzy danym wyprowadzeniem układu scalonego a resztą urządzenia – nie ulega wątpliwości, że lista potencjalnych zagrożeń spowodowanych niedostatecznym wysuszeniem komponentów przed montażem nie napawa optymizmem.

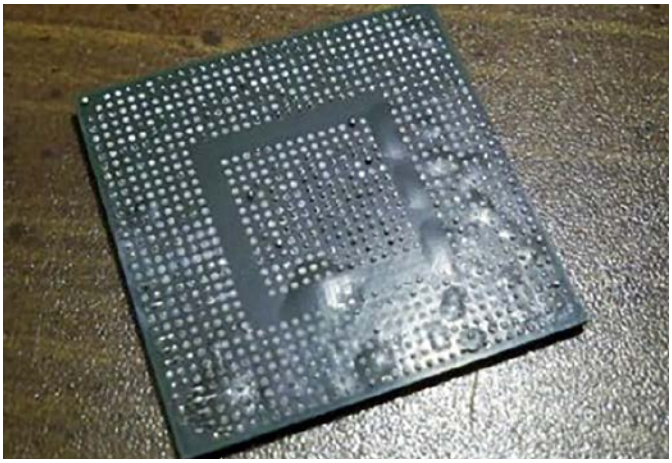
Kwestię odporności elementów elektronicznych na wilgoć definiują normy:

- **IPC/JEDEC J-STD-033D** (*Handling, Packing, Shipping and Use of Moisture/Reflow Sensitive Surface Mount Devices*) – zaktualizowane w 2018 roku wymagania dot. obsługi, pakowania, wysyłki i użycia układów SMD wrażliwych na wilgoć i temperaturę podczas procesu lutowania rozpływowego;
- **IPC/JEDEC-J-STD-020E** (*Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices*) – klasyfikacja wrażliwości układów w obudowach niehermetycznych i metody powtarzalnego testowania układów pod tym względem.



Fotografia 42. Pęknięcia obudowy TSOP 54 w wyniku nadmiaru wilgoci podczas lutowania (https://t.ly/0I82)

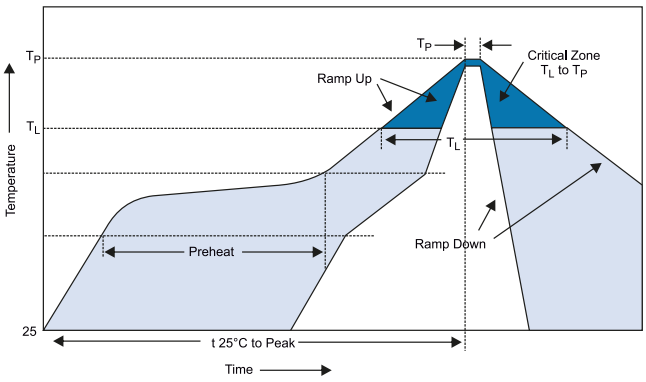
eprasa.pl 2897393b21



Fotografia 43. Efekt popcornu – delaminacja układu BGA doprowadziła do powstania pęcherzy wykrzywiających spodnią powierzchnię obudowy (https://t.ly/0I82)

Wymienione standardy dokładnie specyfikują poszczególne elementy procesu pracy z półprzewodnikami. Samo tylko pakowanie (tak istotne dla zapewnienia ochrony przed wilgocią na etapach produkcji komponentów, ich wysyłki, a także późniejszego przepakowywania i magazynowania) jest szczegółowo opisane pod względem wymagań dot. opakowania zewnętrznego (czyli zgrzewanej hermetycznie torby ESD)[1], jak znajdującego się w niej pochłaniacza wilgoci oraz karty wskaźnikowej (HIC). Ta ostatnia (**rysunek 5**) pozwala w prosty sposób stwierdzić (po otwarciu opakowania), czy suszenie przed rozpoczęciem montażu rozpływowego jest konieczne, czy też elementy były przechowywane w na tyle suchych warunkach, że ich kondycjonowanie nie jest wymagane. Pola barwnych wskaźników chemicznych, naniesione w kolejnych okręgach, odnoszą się do tzw. poziomów MSL (*Moisture Sensitivity Level*), zdefiniowanych przez normę IPC/JEDEC-J-STD-020(E) i przedstawionych w **tabeli 1**. Większość typowych komponentów półprzewodnikowych jest klasyfikowana w kategoriach MSL3 lub wyżej; komponenty niewrażliwe na wilgoć należą natomiast do klasy MSL1.

Suszenie komponentów powinno odbywać się według wytycznych opisanych w normie IPC/JEDEC J-STD-033D i zebranych w **tabeli 2**. Warto zauważyć, że wymagania dotyczące czasu rosną drastycznie wraz z grubością obudowy. Przykładowo: proces suszenia układu o poziomie MSL2a w temperaturze 90°C, konieczny po przekroczeniu dopuszczalnego czasu narażenia na wilgoć o ponad 72 h, w przypadku układu o grubości poniżej 0,5 mm powinien trwać 2 h, zaś dla obudowy 0,5...0,8 mm aż 15 godzin (!). Problemowi można zatem (i zdecydowanie warto) zaradzić przez zachowanie odpowiednich warunków magazynowania elementów, a na korzyść montażystów działa też postępująca miniaturyzacja – przykładowo, układy oferowane w obudowach WLCSP mają często poziom MSL1, co znacząco ułatwia ich przechowywanie.



Rysunek 5. Kształt profilu temperaturowego w lutowaniu rozpływowym – kolorem oznaczono strefy: jasnoniebieski – dopuszczalne granice szybkości narastania i opadania temperatury, ciemnoniebieski: strefa krytyczna. Na osi poziomej oznaczono czas, na pionowej – temperaturę układu (https://t.ly/ZeEH)

Profile temperaturowe

Kolejnym niezwykle ważnym i rzecz jasna – regulowanym w dużym stopniu przez międzynarodowe standardy aspektem montażu elementów SMD jest dobór właściwego profilu temperaturowego. Kształt profilu wynika z zaleceń standardu IPC/JEDEC-J-STD-020, definiującego zarówno dopuszczalne odchyłki w zakresie czasu poszczególnych faz procesu, jak i progi temperaturowe (rysunek 5). Najważniejsze dane zebrano w **tabeli 3**, opracowanej na podstawie najnowszej wersji normy. Analizując profil z rysunku 5, można zauważyć, że w tabeli nie podano jednego z najważniejszych parametrów – temperatury szczytowej (T_p). Ta – z uwagi na fakt, że stanowi główny czynnik narażenia ze względu na możliwość uszkodzenia termicznego elementu – jest bowiem zależna od grubości i objętości obudowy układów (**tabela 4**). Standard jednoznacznie podaje także, że o ile producent może wykonać układ o większej wytrzymałości na temperaturę podczas lutowania (ale nie mniejszej), o tyle użytkownik (montażysta) nie powinien przekraczać wskazanej w tabeli temperatury dla danych wymiarów obudowy.

Profil termiczny składa się z kilku faz. Wstępne podgrzewanie (do temperatury zbliżonej do T_{smin}) wiąże się z odparowywaniem rozpuszczalnika pasty lutowniczej i powinno przebiegać z szybkością na poziomie 1...2°C/s (przekroczenie jej powoduje powstawanie zwarć położonych blisko siebie wyprowadzeń i zwiększa ryzyko kuleczkowania pasty na powierzchni soldermaski). Następnie na etapie określanym jako preheating (podgrzewanie) lub soaking (zwilżanie) i trwającym od 60 do 120 sekund prędkość wzrostu temperatury maleje; aktywowane są topniki i rozpoczyna się proces przygotowania do połączenia padu i wyprowadzenia układu ze spoiwem. W fazie podgrzewania wyrównaniu ulegają różnice temperatur poszczególnych komponentów i obszarów PCB, co ma na celu ochronę przed uszkodzeniami elementów obwodu drukowanego w wyniku dużych naprężeń mechanicznych (te zaś mają swoje źródło w różnicach pojemności cieplnej i współczynników rozszerzalności termicznej). Po osiągnięciu temperatury T_{smax} dalszy wzrost temperatury znów przebiega szybciej – powyżej temperatury topnienia spoiwa (T_L = 217°C) w ciągu od 60 do 150 sekund temperatura musi wzrosnąć do wartości T_p, utrzymać się przy tej wartości przez około 30 sekund, a następnie opaść z powrotem do poziomu T_L. Dalsze chłodzenie powinno następować z prędkością nie większą niż 6°C/s.

Spoiwa lutownicze

Wymuszenie rezygnacji ze stosowania stopów lutowniczych na bazie ołowiu sprawiło, że producenci lutowia rozpoczęli intensywne prace

Tabela 1. Dopuszczalny czas magazynowania układów SMD dla danego poziomu MSL i określonych warunków środowiskowych; po przekroczeniu czasu lub warunków zalecane jest suszenie (wg IPC/JEDEC J-STD-020E)

Poziom MSL	Czas magazynowania Temperatura/wilgotność [czas]
1	≤30°C/85% RH [nieograniczony]
2	≤30°C/85% RH [nieograniczony]
2a	≤30°C/85% RH [nieograniczony]
3	≤30°C/85% RH [nieograniczony]
4	≤30°C/85% RH [nieograniczony]
5	≤30°C/60% RH [48]
5a	≤30°C/60% RH [24 h]
6	Suszenie wymagane w każdym przypadku; montaż dopuszczalny w określonym przez producenta oknie czasowym po zakończeniu suszenia

eprasa.pl 2897393b21

Tabela 2. Zalecenia dot. suszenia układów SMD wg IPC/JEDEC J-STD-033D

Obudowa	MSL	Suszyć w warunkach:					
		125°C +10/-0°C, <5% RH		90°C +8/-0°C, <5% RH		40°C +5/-0°C, <5% RH	
Grubość		Czas przekroczony o >72 h	Czas przekroczony o <72 h	Czas przekroczony o >72 h	Czas przekroczony o <72 h	Czas przekroczony o >72 h	Czas przekroczony o <72 h
<0,5 mm	2	–	–	–	–	–	–
	2a	1 h	1 h	2 h	1 h	12 h	8 h
	3	1 h	1 h	3 h	1 h	22 h	8 h
	4	1 h	1 h	3 h	1 h	22 h	8 h
	5	1 h	1 h	3 h	1 h	23 h	8 h
	5a	1 h	1 h	4 h	1 h	26 h	8 h
>0,5 mm ≤0,8 mm	2	–	–	–	–	–	–
	2a	4 h	3 h	15 h	13 h	4 dni	3 dni
	3	4 h	3 h	15 h	13 h	4 dni	3 dni
	4	4 h	3 h	16 h	13 h	4 dni	3 dni
	5	4 h	3 h	16 h	13 h	4 dni	3 dni
	5a	4 h	3 h	16 h	13 h	4 dni	3 dni
>0,8 mm ≤1,4 mm	2	–	–	–	–	–	–
	2a	8 h	6 h	25 h	20 h	8 dni	7 dni
	3	8 h	6 h	25 h	20 h	8 dni	7 dni
	4	9 h	6 h	27 h	20 h	10 dni	7 dni
	5	10 h	6 h	28 h	20 h	11 dni	7 dni
	5a	11 h	6 h	30 h	20 h	12 dni	7 dni
>1,4 mm ≤2,0 mm	2	18 h	15 h	63 h	2 dni	25 dni	20 dni
	2a	21 h	16 h	3 dni	2 dni	29 dni	22 dni
	3	27 h	17 h	4 dni	2 dni	37 dni	23 dni
	4	34 h	20 h	5 dni	3 dni	47 dni	28 dni
	5	40 h	25 h	6 dni	4 dni	57 dni	35 dni
	5a	48 h	40 h	8 dni	6 dni	79 dni	56 dni
>2,0 mm ≤4,5 mm	2	48 h	48 h	10 dni	7 dni	79 dni	67 dni
	2a	48 h	48 h	10 dni	7 dni	79 dni	67 dni
	3	48 h	48 h	10 dni	8 dni	79 dni	67 dni
	4	48 h	48 h	10 dni	10 dni	79 dni	67 dni
	5	48 h	48 h	10 dni	10 dni	79 dni	67 dni
	5a	48 h	48 h	10 dni	10 dni	79 dni	67 dni
Wyjątek: BGA >17×17 mm lub dowolna obudowa wielopoziomowa	2...5a	96 h	jw. dla danej grubości i MSL	n/a	jw. dla danej grubości i MSL	n/a	jw. dla danej grubości i MSL

nad poszukiwaniem optymalnego składu spoiwa do szerokiego spektrum zastosowań przemysłowych. Dziś w sprzedaży są dostępne rozmaite stopy różniące się ilością domieszek – oprócz cyny (stanowiącej w większości przypadków ponad 96% masy stopu) stosowana jest głównie miedź (Cu) i srebro (Ag). Bazując na ofercie rodzimej, polskiej firmy Cynel, scharakteryzujemy pokrótce trzy najczęściej spotykane spoiwa:

- **Sn99,3Cu0,7** – niedrogi, eutektyczny [2] stop lutowniczy do powszechnego użytku (amatorskiego i profesjonalnego), pozbawiony domieszki srebra. Charakteryzuje się wyższą temperaturą topnienia (227°C). W przypadku lutowania ręcznego zalecana temperatura grota to 320....420°C (zależnie od zastosowanego topnika). Stanowi najpopularniejszy materiał spoiwa spotykany na rynku;

Tabela 3. Wytyczne IPC/JEDEC-J-STD-020 w zakresie profilu lutowania rozpływowego stopami bezołowiowymi

Parametr	Wartość/zakres
Temperatura minimalna (T_{smin})	150°C
Temperatura maksymalna (T_{smax})	200°C
Czas ts ($T_{smin} \rightarrow T_{smax}$)	60...120 s
Prędkość nagrzewania ($T_L \rightarrow T_p$)	3°C/s (max.)
Temperatura topnienia	217°C
Czas tL utrzymywania temperatury powyżej T_L	60...150 s
Czas tp dla temperatury Tc (tolerancja 5°C)	30 s
Prędkość chłodzenia ($T_p \rightarrow T_L$)	6°C/s (max.)
Czas od temp. 25°C do osiągnięcia T_p	8 min (max.)

REKLAMA

eprasa.pl 2897393b21

Tabela 4. Temperatura szczytowa w procesie lutowania rozpływowego z użyciem stopów bezołowiowych wg IPC/JEDEC-J-STD-020

	Objętość obudowy układu		
Grubość obudowy	<350 mm³	350...2000 mm³	>2000 mm³
<1,6 mm	260°C	260°C	260°C
1,6...2,5 mm	260°C	250°C	245°C
>2,5 mm	250°C	245°C	245°C

Fotografia 44. Szpule lutowia o różnych średnicach i masie netto (https://t.ly/KjBY)

- **Sn99Cu0,7Ag0,3** – stop umożliwiający lutowanie przy temperaturach grota rzędu 340...420°C, dla którego progi temperatury solidus i likwidus to odpowiednio 217°C i 227°C. Dobrze nadaje się do lutowania automatycznego;
- **Sn96,5Ag3Cu0,5** – pod względem parametrów lutowniczych zbliżony do Sn99Cu0,7Ag0,3, cechuje się jednak niewielkim przedziałem przejściowym (solidus 217°C/likwidus 220°C). Oferuje wytrzymałość na rozciąganie przy zerwaniu wyższą o kilkadziesiąt procent w porównaniu do Sn99,3Cu0,7.

Ze względu na rozmaitość zastosowań, poszczególne stopy występują w różnych postaciach: szpulach drutu (monolitycznego lub z rdzeniem topnikowym – **fotografia 44**), prętach lub paście lutowniczej.

Topniki

Zadaniem topnika jest poprawa zwilżania lutowanych powierzchni i usuwanie tlenków metali, znacznie redukujących lutowność i zagrażających niezawodności montażu. Poszczególne topniki różnią się zarówno właściwościami fizycznymi (rodzaj, twardość i ilość pozostałości po lutowaniu), jak i – przede wszystkim – aktywnością chemiczną oraz zdolnością do pracy z określonymi metalami lub ich stopami. Na **rysunku 6** pokazano schematyczny podział topników pod względem aktywności.

- **Klasa R** (topniki kalafoniowe) – złożone z kalafonii (żywicy) oraz rozpuszczalnika (zwykle alkoholowego). Oferują najniższą aktywność i sprawdzają się jedynie jako podstawowy topnik do powierzchni o dobrej jakości. Pozostała po lutowaniu twarda powłoka resztkowa może być usunięta za pomocą rozpuszczalnika (np. alkoholu izopropylowego, IPA), jednak nawet pozostawiona bez dodatkowego czyszczenia zazwyczaj nie powoduje istotnych prądów upływu ani korozji elementów metalowych. W zastosowaniach profesjonalnych proste topniki kalafoniowe są stosowane rzadziej, w szczególności w układach lutowanych powierzchniowo.
- **Klasa NC** (no clean) – jedna z najpopularniejszych grup topników dla technologii SMT, wzbogacona względem prostych topników kalafoniowych o dodatkową domieszkę aktywatora. Zgodnie z nazwą, w typowych zastosowaniach nie wymaga czyszczenia po zakończeniu montażu.
- **Klasa RMA** – pozostawia miękkie, przejrzyste pozostałości, niepowodujące korozji padów, wyprowadzeń i lutowia. Topniki RMA charakteryzują się zbliżoną lub wyższą aktywnością w porównaniu do NC, są szczególnie cenione w montażu powierzchniowym.

Rysunek 6. Porównanie klas topników (https://t.ly/xuvL)

- **Klasa RA** – topniki kalafoniowe z domieszką agresywnych chemicznie substancji aktywujących. Dobrze radzą sobie z silnie utlenionymi powierzchniami, ale jest to okupione dużą korozyjnością, która sprawia, że pozostawienie resztek topnika może poważnie i nieodwracalnie uszkodzić urządzenie, stąd konieczne okazuje się płukanie lutowanych elementów odpowiednim rozpuszczalnikiem zaraz po zakończeniu pracy z topnikiem.
- **Klasa WS** – obejmuje topniki rozpuszczalne w wodzie, zwykle bazujące na kalafonii organicznej. Co ważne, topniki tego typu występują w szerokim zakresie aktywności, dlatego przed ich zastosowaniem należy upewnić się, że wybrany rodzaj topnika odpowiada docelowej aplikacji.

Warto dodać, że standard J-STD-004 wprowadza system oznaczeń topników, złożony z trzech liter i cyfry, kodujących zawartość halogenków, typ topnika oraz aktywność – przykładowo, popularne, żelowe topniki kalafoniowe (**fotografia 45**) o niskiej aktywności i zerowej zawartości halogenków określane są często mianem ROL0.

Handlowe postaci topników są mocno zróżnicowane, a ich wybór zależy głównie od rodzaju wykonywanej pracy. Najpopularniejsze (i często najwygodniejsze w użyciu) są topniki żelowe, szczególnie przydatne w lutowaniu ręcznym (punktowym) oraz pracy z układami BGA – pozostają dłużej na płytce drukowanej (nie odparowują tak szybko, jak topniki płynne) i zapewniają dobre właściwości zwilżające. Dodatkową zaletą topników żelowych jest łatwość precyzyjnego dozowania z użyciem strzykawki lub dyspensera ręcznego bądź pneumatycznego. Czasem można spotkać także topniki dozowane za pomocą… pisaka (markera).

Kolejnym istotnym zagadnieniem związanym z wykorzystaniem topników jest kwestia mycia PCB po zakończeniu procesu montażu. O ile teoretycznie większość popularnych topników No-clean oraz RMA może pozostać na płytce drukowanej bez większego wpływu na działanie urządzenia, o tyle nie wolno zapominać o niepożądanych efektach, jakie niewypłukana warstwa topnika może wywierać na parametry elektryczne. Zagadnienie to jest istotne głównie w czterech sytuacjach:

- **obwody Hi-Z** – pozostałości topnika znacznie ułatwiają powstawanie prądów upływu w obwodach o bardzo wysokiej impedancji (Hi-Z), np. w stopniach wejściowych wzmacniaczy transimpedancyjnych, co może zaburzać działanie urządzenia;
- **obwody RF** – niewypłukany topnik może wpływać na impedancję ścieżek, które wymagają kontroli tego parametru (np. obwody antenowe), co prowadzi do pogorszenia integralności sygnałów;
- **obwody HV** – w połączeniu z wilgocią i zabrudzeniami narastającymi podczas eksploatacji, pomiędzy punktami obwodu o dużej różnicy

Fotografia 45. Przykładowy kartusz z topnikiem ROL0 (https://t.ly/eZyH)

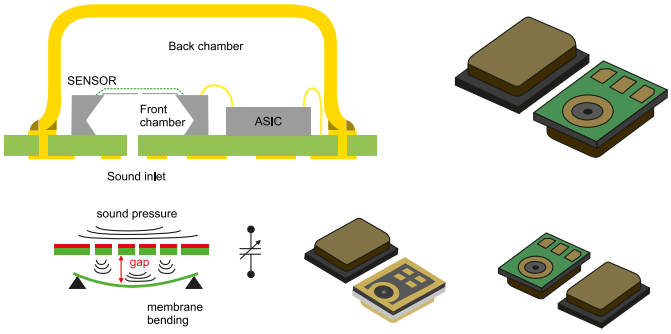
eprasa.pl 2897393b21

potencjałów mogą powstawać niepożądane ścieżki dla przepływu prądu (o obniżonej rezystancji), co w efekcie prowadzi do powstania przebić i stanowi ryzyko dla bezpieczeństwa urządzenia i operatora;

- **PCB pokrywane warstwami ochronnymi** – resztki topnika znacznie utrudniają solidne nałożenie warstw ochronnych (np. lakieru izolacyjnego), gdyż zmniejszają adhezję substancji do powierzchni PCB, lutowia i wyprowadzeń lutowniczych.

Nocny koszmar elektronika, czyli czujniki MEMS vs. płukanie PCB

W przypadku większości obwodów drukowanych wypłukanie resztek topnika może być zrealizowane przez mycie za pomocą myjki ultradźwiękowej ze zbiornikiem napełnionym czystym alkoholem izopropylowym lub specjalnym rozpuszczalnikiem do zastosowań elektronicznych. Dodatkowa trudność pojawia się jednak przy wykorzystywaniu niektórych elementów, głównie miniaturowych czujników ciśnienia i mikrofonów MEMS, a także czujników wilgotności czy gazów, które ze względu na oferowaną funkcjonalność muszą mieć pozostawiony niezasłonięty otwór w obudowie. W większych sensorach ciśnienia z portem w postaci króćca istnieje możliwość szczelnego zatkania wlotu odpowiednim korkiem, jednak w miniaturowych układach z „gołym" otworem w obudowie takie zabezpieczenie jest niemożliwe do wykonania. Problem jest szczególnie istotny w przypadku elementów z otworem znajdującym się po stronie padów obudowy – wypłukanie resztek topnika z samego tylko otworu w laminacie zazwyczaj będzie niemożliwe bez narażenia sensora na uszkodzenie (przez działanie rozpuszczalnika i/lub mechaniczne „zapchanie" otworu w obudowie). Na **rysunku 7** pokazano schematyczny przekrój przez obudowę mikrofonu MEMS z widoczną mikroskopijną komorą dźwiękową (Front chamber), dzielącą ultradelikatną membranę od otworu w podstawie obudowy – nietrudno domyślić się, że dostanie się topnika lub agresywnego alkoholu do tej przestrzeni o rozmiarach na poziomie ułamka milimetra należy traktować jako świetny motyw dla nocnego koszmaru inżyniera elektronika. Z tego też względu, planując produkcję obwodów wykorzystujących tego typu elementy, należy dobrze zaplanować proces montażu oraz dobrać odczynniki, które umożliwią spełnienie wymogów producenta. Podobne ograniczenia dotyczą też tzw. lutowania kondensacyjnego, które jednak – z uwagi na wysoką cenę i relatywnie młodą technologię – jest jeszcze stosowane dość rzadko w codziennej praktyce produkcyjnej.



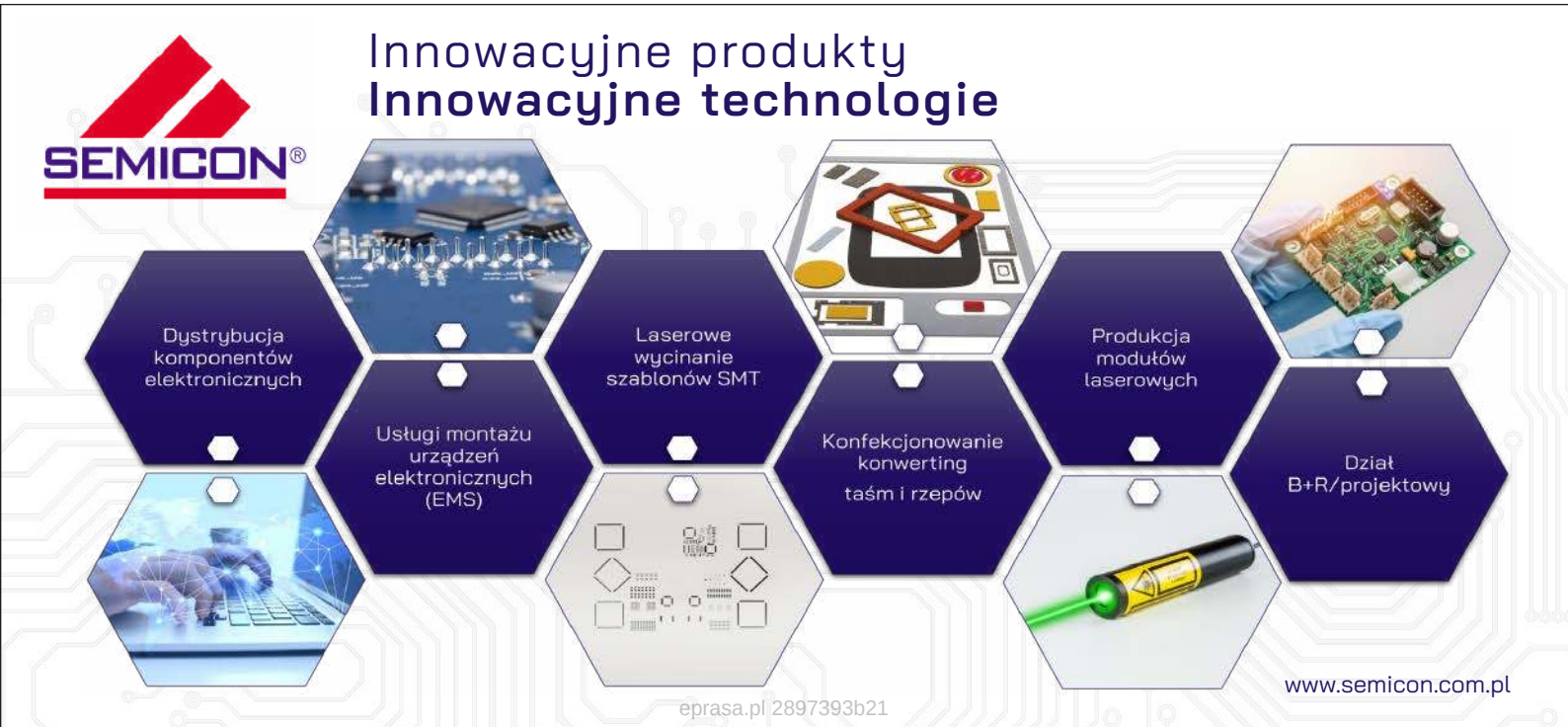
Rysunek 7. Mikrofon MEMS jako przykład elementu nietolerującego płukania topnika po zakończeniu montażu (https://t.ly/I9O8)

Zaawansowane metody pomontażowego testowania układów

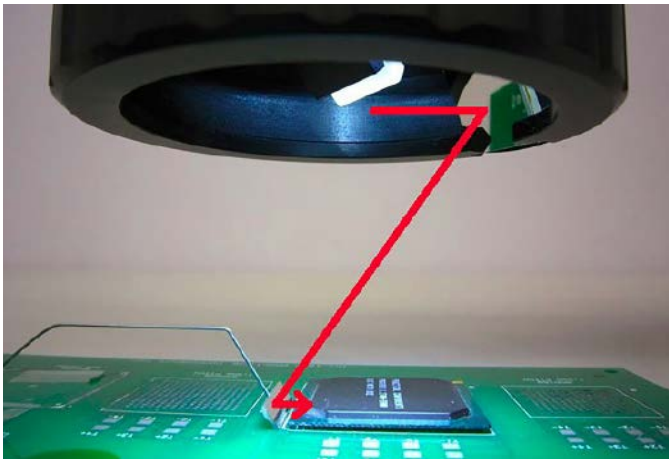
Ostatnim tematem przewidzianym do opisania w niniejszym artykule są zaawansowane techniki testów urządzeń elektronicznych po zakończeniu montażu – skupimy się przy tym na tych metodach, które szczególne zasługi oddają urządzeniom montowanym w technologii SMT.

- **Automatyczna inspekcja optyczna (AOI)** – o tej technologii pisaliśmy już wcześniej, przy okazji przedstawienia metod badania nieobsadzonych obwodów drukowanych. W tym przypadku sama idea testu nie różni się zasadniczo od tej wykorzystywanej do poszukiwania uszkodzeń PCB, inne są jedynie dane wejściowe porównywane przez system z obrazem płynącym z kamery (jako odniesienie służy makrofotografia poprawnie zmontowanego obwodu);
- **Systemy wizyjne do kontroli BGA** – zastosowanie specjalnego lusterka (**fotografia 46**) umożliwia podgląd pobocznych wyprowadzeń układu BGA w poszukiwaniu potencjalnych problemów (np. przerwanych lub zwartych lutów). Bardziej zaawansowane systemy są jednak wyposażone w zintegrowaną głowicę optyczną z podświetleniem i zwierciadłem przesyłającym obraz do znajdującej się na górze kamery makrofotograficznej (**fotografia 47**). Tego typu urządzenia znacznie ułatwiają wizualizację istotnych uszkodzeń montażowych (**fotografia 48**).
- **Skanery rentgenowskie** – nowoczesne serwisy i montażownie dysponują zaawansowanymi systemami obrazowania w paśmie rentgenowskim (X-Ray), które – oprócz projekcji w płaszczyźnie równoległej do PCB (góra-dół) – umożliwiają podgląd połączeń

REKLAMA



eprasa.pl 2897393b21

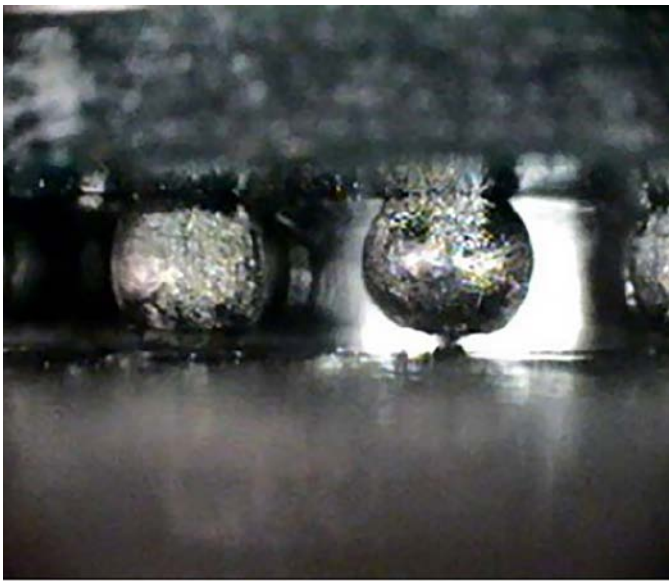


Fotografia 46. Zastosowanie zwierciadła do obrazowania lutów BGA (https://t.ly/Fo8L)

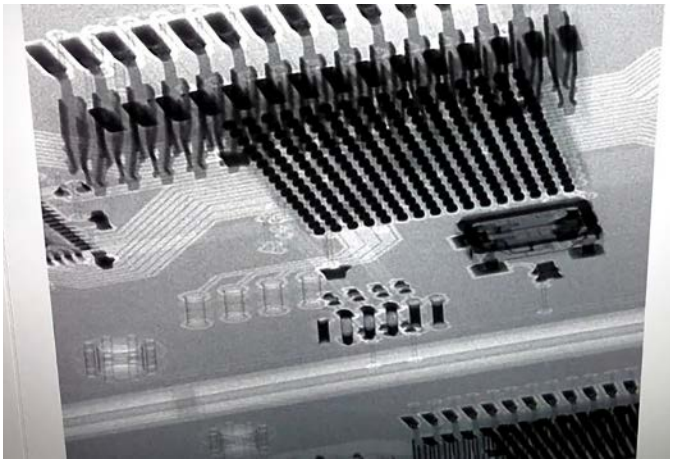
Fotografia 47. Głowice optyczne do obrazowania połączeń pod układem BGA (https://t.ly/66Hp)

pod niemal dowolnym kątem, co diametralnie zwiększa szybkość i dokładność inspekcji (**fotografia 49**).

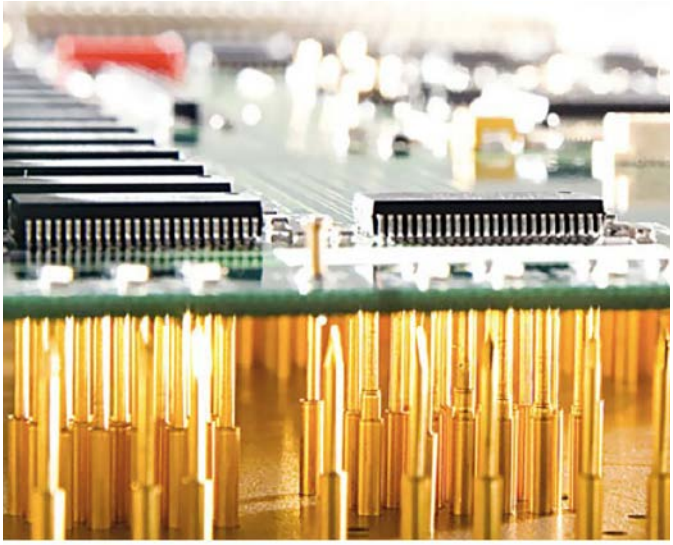
- **Analizatory igłowe „bed of nails"** – końcowe testy uruchomionego już urządzenia mogą być wykonywane z użyciem testerów automatycznych, przypominających w swojej konstrukcji tradycyjne „łoże fakira" (**fotografia 50**). Urządzenia tego typu pozwalają jednocześnie połączyć tester z urządzeniem w kilkudziesięciu punktach testowych, co znakomicie przyspiesza rutynową kontrolę jakości w produkcji masowej.



Fotografia 48. Obraz uszkodzonego połączenia pod układem BGA: brak zwilżenia padu doprowadził do „zawieszenia" kulki spoiwa nad powierzchnią PCB (https://t.ly/4aL4)



Fotografia 49. Obrazowanie PCB systemem X-Ray z obrotową głowicą skanera (https://t.ly/ZmfF)



Fotografia 50. Tester „bed of nails" z widocznymi igłami testowymi i badanym obwodem (https://t.ly/e1uK)

Podsumowanie

W artykule przedstawiliśmy bardzo szerokie spektrum zagadnień związanych z montażem obwodów w technologii SMT. Niezwykle istotne jest zwrócenie uwagi na szereg pomijanych często aspektów materiałowych, technologicznych i logistycznych, które wspólnie wpływają na ostateczny efekt produkcji. Począwszy od etapu magazynowania elementów, poprzez wybór technologii lutowania, spoiwa oraz topników, aż po zaawansowane i wieloetapowe testy oraz kontrolę jakości, a także „ostatnią prostą", czyli pakowanie gotowych PCB – w sukcesie końcowym każdy szczegół ma znaczenie, a ewentualne niedopatrzenia są w stanie narazić wytwórcę na niepowetowane straty finansowe i wizerunkowe. Siłą rzeczy, w pojedynczym artykule nie jesteśmy w stanie opisać wszystkich zagadnień – samodzielne zgłębienie (również bardzo istotnych) tematów takich, jak zapewnienie wymogów ochrony ESD czy aspekty związane z montażem urządzeń dla niektórych specyficznych branż – pozostawiamy naszym Czytelnikom.

inż. Przemysław Musz, EP

[1] Norma określa m.in. parametry wytrzymałości mechanicznej, elastyczności, przepuszczalności dla wody, itd.

[2] Tym mianem określa się stopy, dla których nie istnieje pojedynczy próg temperatury, rozdzielający jego stan skupienia na jednoznacznie stały i ciekły. W przypadku innych stopów podaje się dwa progi: solidus (poniżej którego całość stopu jest w stanie stałym) i liquidus (analogicznie – powyżej tego progu całość spoiwa jest w stanie ciekłym).

eprasa.pl 2897393b21

Budujemy mosty (3)

Mostki wzbudzane napięciem zmiennym

Mostki pomiarowe są stosowane nie tylko z elementami rezystancyjnymi. Układy tego rodzaju były używane do pomiaru wartości pojemności i indukcyjności elementów. Obecnie stosowane są w wielu aplikacjach z sensorami.

Sensory nie ograniczają się tylko do elementów rezystancyjnych. Istnieje wiele rodzajów sensorów, gdzie wraz z monitorowaną wartością zmienia się np. pojemność sensora. Przykładem mogą być tutaj np. pojemnościowe sensory przemieszczenia, stosowane w bardzo czułych systemach do śledzenia ruchu czy sensory indukcyjne, stosowane do wykrywania aut, zatrzymujących się na czerwonym świetle.

Może się wydawać, że sensory tego rodzaju to specyficzne rozwiązania, ale warto znać zasadę działania zmiennoprądowych mostków pomiarowych, stosowanych w tego rodzaju systemach. Tym bardziej że mostki pomiarowe działające z napięciem przemiennym nie są wcale tak różne od układów z napięciem stałym.

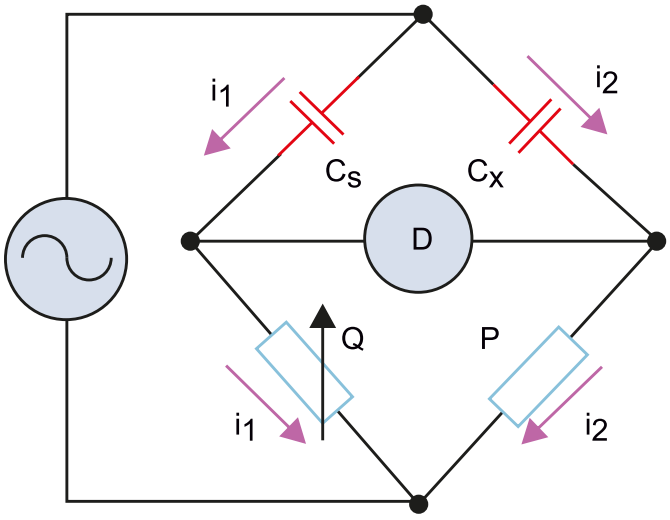
Mostki AC

Mostki zmiennoprądowe to układy mostkowe, które są wzbudzane napięciem zmiennym (AC). Stosuje się je po to, aby układ mostkowy mógł pracować nie tylko z elementami rezystancyjnymi, ale także indukcyjnymi i pojemnościowymi. Wyróżnia się dwa zasadnicze rodzaje mostków zmiennoprądowych – pojemnościowe i indukcyjne.

Mostki pojemnościowe

Typowy przykład mostka pojemnościowego został pokazany na **rysunku 1**. Składa się on z dwóch kondensatorów: stałego, o znanej pojemności C_S i zmiennego C_X, czyli naszego sensora oraz dwóch rezystorów, z czego jeden z nich, oznaczony na rysunku jako Q, jest opornikiem nastawnym. Do układu przyłożone jest napięcie przemienne – sygnał sinusoidalny o częstotliwości f.

Pomiędzy punktami środkowymi ramion mostka rozciągnięty jest detektor zera, który mierzy napięcie zmienne pomiędzy punktami



Rysunek 1. Mostek pojemnościowy

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

środkowymi. W momencie, gdy napięcie mierzone przez miernik D (rysunek 1) wyniesie zero, mostek będzie w tzw. równowadze, co oznacza, że:

$$V_{CS} = V_{CX} \quad (1)$$

czyli:

$$i_1 \cdot X_{CS} = i_2 \cdot X_{CX} \quad (2)$$

Analogicznie, napięcie to można zapisać jako:

$$V_Q = V_P \quad (3)$$

co oznacza, że:

$$i_1 \cdot Q = i_2 \cdot P \quad (4)$$

Jeśli podzielimy przez siebie równanie 2 i 4, otrzymamy:

$$\frac{X_{CS}}{Q} = \frac{X_{CX}}{P} \quad (5)$$

Teraz w miejsce X_{CS} i X_{CX} podstawić możemy równanie na impedancję kondensatora – zależy ona od pojemności danego elementu i częstotliwości, co daje finalnie:

$$\frac{1}{2\pi f \cdot C_S \cdot Q} = \frac{1}{q\pi f \cdot C_X \cdot P} \quad (6)$$

Jeżeli rozwiążemy to równanie dla nieznanej pojemności C_X, to otrzymamy równanie:

$$C_X = \frac{Q \cdot C_S}{P} \quad (7)$$

W takiej sytuacji wystarczy zmieniać rezystancję opornika Q tak długo, aż miernik D nie będzie wykrywał żadnego napięcia niezrównoważenia. Następnie można wyznaczyć nieznaną pojemność z wartości rezystancji i drugiej, znanej pojemności.

Drugie podejście bazuje na pomiarze napięcia niezrównoważenia. Jest to o tyle trudniejsze podeście w tego rodzaju systemie, że wymaga pomiaru amplitudy napięcia przemiennego. Najprościej jest zrealizować ten pomiar z użyciem np. układu prostującego, co pozwala na zrealizowanie pomiaru za pomocą zwykłego przetwornika analogowo-cyfrowego, nawet jeżeli jego częstotliwość próbkowania będzie niższa niż częstotliwość wzbudzenia.

Napięcie niezrównoważenia V_D to różnica pomiędzy V_Q i V_P:

$$V_D = V_Q - V_P \quad (8)$$

Jeśli teraz pod napięcia punktów środkowych obu ramion mostka podstawimy odpowiednie wzory, otrzymamy równanie dla napięcia niezrównoważenia:

$$V_D = V_P \left(\frac{Q}{Q + 2\pi f \cdot C_S} - \frac{P}{P + 2\pi f \cdot C_X} \right)$$

$$V_D = V_P \left(\frac{Q \cdot 2\pi f \cdot C_X - P \cdot 2\pi f \cdot C_S}{(2\pi f \cdot C_S + Q)(2\pi f \cdot C_X + P)} \right)$$

eprasa.pl 2897393b21

$$V_D = V_P\left(\frac{Q\cdot C_X - P\cdot C_S}{\left(2\pi f\cdot C_S\cdot C_X + C_S\cdot P + C_X\cdot Q + Q\cdot P\right)}\right) \quad (9)$$

gdzie V_P to amplituda napięcia wzbudzenia.

Jak widać, arytmetyka opisująca działanie tych mostków nie odbiega wiele od matematycznego opisu mostka rezystancyjnego. Różnicą jest obecność składowej zależnej od częstotliwości. Dzięki temu możliwa jest zmiana częstotliwości napięcia wzbudzenia, aby mierzyć np. charakterystykę pojemności w funkcji częstotliwości nieznanego elementu C_X.

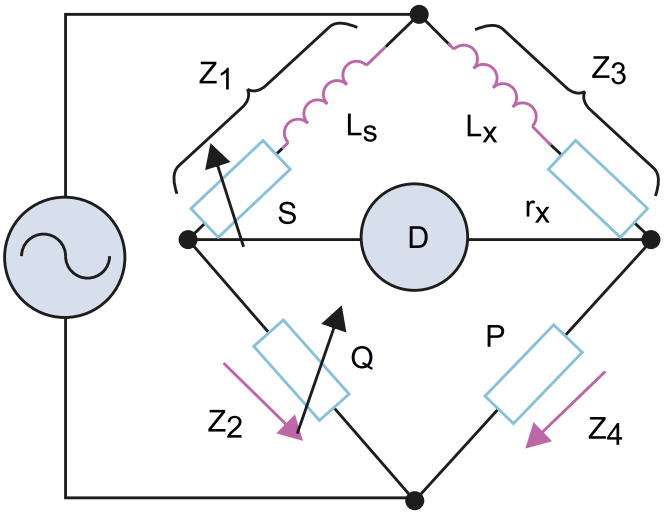
Mostki indukcyjne

Mostki indukcyjne, analogicznie jak pojemnościowe, mają w swojej architekturze dwie rezystancję i dwa elementy indukcyjne. Schemat takiego mostka, zwanego mostkiem Wiena, pokazano na **rysunku 2**. Tego rodzaju mostek działa tak samo jak mostek pojemnościowy, należy tylko pamiętać o tym, że:

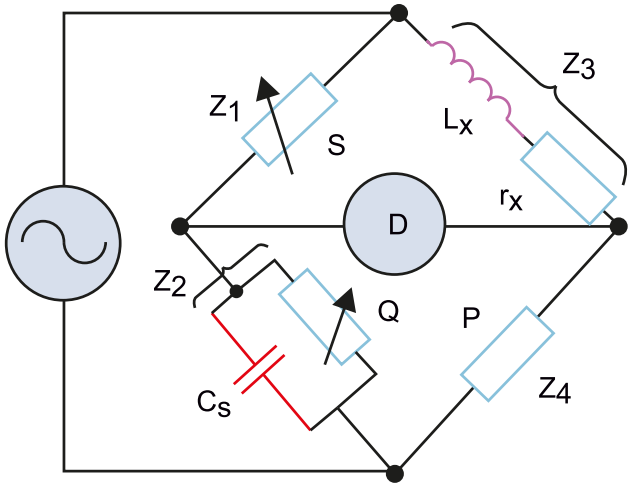
$$X_L = r + 2\pi f\cdot L \quad (10)$$

gdzie r to rezystancja stałoprądowa cewki, a L to jej indukcyjność.

Oczywiście reaktancja X_L jest zależna również od częstotliwości, analogicznie jak w przypadku kondensatora. Z uwagi na fakt, że wykonanie cewek o wysokiej indukcyjności jest problematyczne, często układ pokazany na rysunku 2 zamienia się w układ Maxwella-Wiena, pokazany na **rysunku 3**. Pozwala to ograniczyć się do jednego precyzyjnego kondensatora w systemie, który jest o wiele prostszy (i tańszy) do implementacji w systemie. Układ taki ma dwa potencjometry oznaczone S oraz Q, którymi trzeba manipulować, aby zrównoważyć mostek.



Rysunek 2. Mostek indukcyjny – mostek Maxwella



Rysunek 3. Mostek Maxwella–Wiena

Dla mostka pokazanego na rysunku 3 możemy zapisać równanie (w stanie równowagi):

$$\frac{S}{\dfrac{1}{\dfrac{1}{Q} + 2\pi jf\cdot C_S}} = \frac{r_x + 2\pi jf\cdot L_x}{P}$$

$$\frac{S}{Q} + 2\pi jfC_S S = \frac{r_x}{P} + \frac{2\pi jfL_x}{P} \quad (11)$$

gdzie j to jednostka urojona (√–1). Możemy teraz rozdzielić zespolone równanie 11 na część rzeczywistą i urojoną, aby je do siebie niezależnie przyrównać, uzyskując układ równań pokazany na równaniu 12.

$$\begin{cases} \dfrac{S}{Q} = \dfrac{r_x}{P} \\ C_S\cdot S = \dfrac{L_x}{P} \end{cases} \quad (12)$$

Pozwala to na wyznaczenie indukcyjności oraz rezystancji stałoprądowej cewki, regulując rezystancję dwóch potencjometrów.

Aplikacje

Istnieje szereg aplikacji sensorów pojemnościowych i indukcyjnych. Wiele z nich skupia się wokół systemów wykrywania ruchu. Najprostszym tego rodzaju systemem jest kondensator płaski (płytkowy). Pojemność takiego elementu jest równa:

$$C = \frac{\varepsilon_0\cdot A}{d} \quad (13)$$

gdzie ε_0 to stała dielektryczna materiału pomiędzy okładkami o powierzchni A, oddalonych od siebie o odległość d. Zatem, jeżeli zmieniamy odległość pomiędzy rzeczonymi okładkami, to spada pojemność kondensatora. Tego rodzaju systemy wykorzystuje się w precyzyjnym pozycjonowaniu i uzyskuje się nawet nanometrową dokładność. Przykład takiego rozwiązania pokazano na **fotografii 1**. Jest to piezoelektryczny siłownik, który wykorzystuje sensor pojemnościowy do pomiaru przesunięcia piezoelementu, aby pracować w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego.

Innym zastosowaniem czujników pojemnościowych jest bezkontaktowy pomiar poziomu cieczy. Na **rysunku 4** pokazano schemat takiego systemu. Na nieprzewodzącym zbiorniku naklejone są dwie elektrody, pomiędzy którymi znajduje się ciecz, której poziom jest mierzony. Wraz ze zmianą poziomu cieczy zmienia się środowisko dielektryczne pomiędzy okładkami (ciecz ma inną stałą dielektryczną niż powietrze), a co za tym idzie, zmienia się pojemność mierzona między elektrodami (równanie 13).

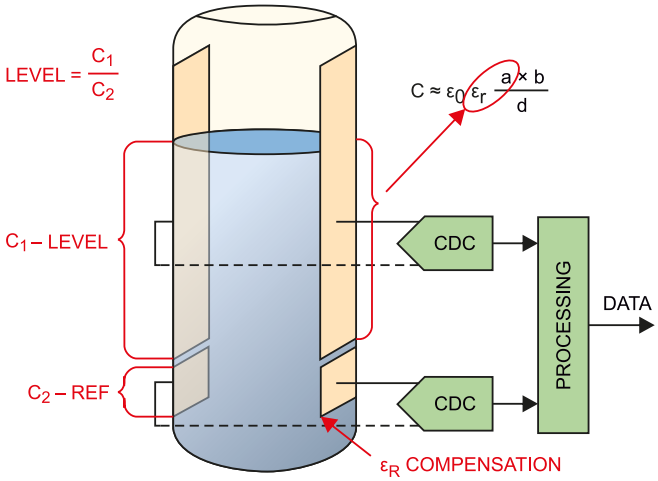
Istnieją też analogiczne sensory indukcyjne, w których obiekty zbliżające się do uzwojenia (lub wręcz wnikające w uzwojenie) zmieniają indukcyjność cewki, co pozwala na ich bezkontaktowe wykrywanie.

Stosowanie mostków zmiennoprądowych wiąże się z większymi wymaganiami co do elektroniki im towarzyszącej. Głównie dotyczy

Fotografia 1. Piezoelektryczny system do nanopozycjonowania, wyposażony w pojemnościowy sensor przesunięcia do pracy w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego

eprasa.pl 2897393b21

to wzmacniacza różnicowego, stosowanego do pomiaru napięcia niezrównoważenia mostka. Mają zastosowanie wszystkie te same parametry, co w przypadku mostków stałoprądowych, z tym tylko zastrzeżeniem, że muszą być one mierzone dla napięcia zmiennego. Nakłada to też krytyczne wymagania na minimalne pasmo działania takiego układu.



Rysunek 4. Pojemnościowy sensor do pomiaru poziomu cieczy

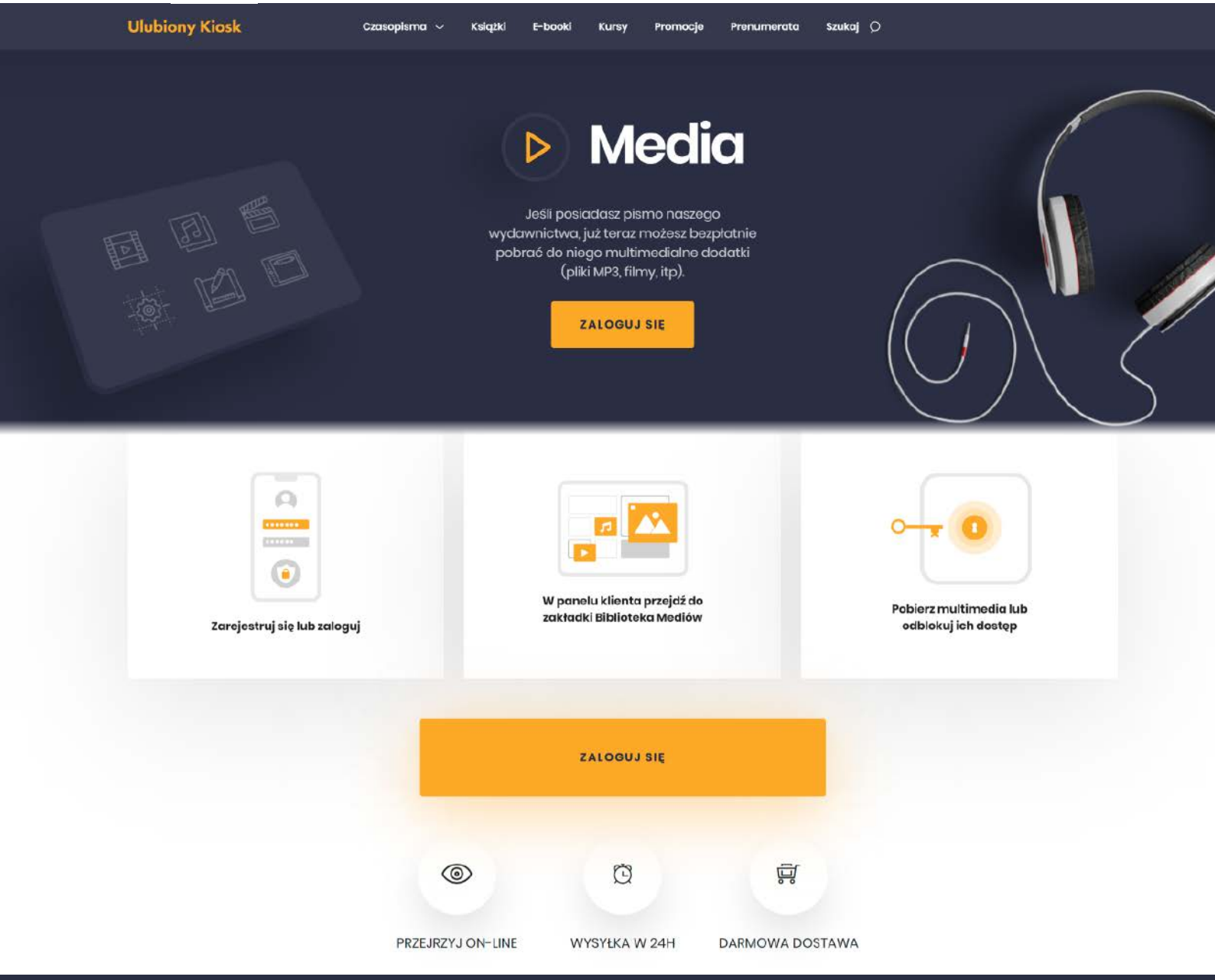
Podsumowanie

Mostki zmiennoprądowe to rzadziej stosowana odmiana mostków pomiarowych. Istnieje wiele rodzajów elementów – sensorów, które są stosowane w takich aplikacjach. Układy zmiennoprądowe mogą się wydawać trudniejsze w implementacji, jednak zasada ich działania nie odbiega znacznie od mostków stałoprądowych, jeśli przejdzie się z opisu bazującego na rezystancji, do opisu zawierającego impedancję poszczególnych elementów.

Nikodem Czechowski, EP

Źródła:
- https://electricalacademia.com/
- https://physikinstrumente.com/
- Ning Jia „AD Capacitance-to-Digital Converter Technology in Healthcare Applications", Analog Dialogue 46, maj 2012

REKLAMA



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

eprasa.pl 2897393b21

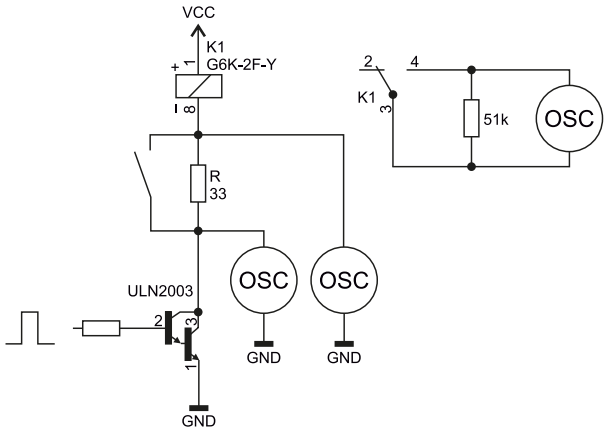
Redukcja zakłóceń wprowadzanych przez przekaźniki

Elektromagnetyczne przekaźniki sygnałowe są kojarzone z niezawodnym i niemal bezstratnym przewodzeniem sygnałów o niskich amplitudach. Jednak ich załączanie może wprowadzać do sygnału zakłócenia. Jaki mechanizm za to odpowiada i w jaki sposób można ten niepożądany efekt ograniczyć? Oto moje rozwiązanie tego problemu.

Od wielu lat jestem związany z branżą audio. Selektory wejść i pasywne regulatory głośności to obszary, w których przekaźniki sygnałowe są stosowane masowo – w jednym układzie potrafi ich być nawet kilkaset. Pierwsze prototypy moich urządzeń często wracały do mnie po testach z adnotacją „stuka" albo „wprowadza trzaski do sygnału". Zachodziłem w głowę: jak to możliwe, skoro prowadzenie masy, ekranowanie i układ ścieżek były stale przeze mnie udoskonalane, a problem nie ustępował?

Bardzo często stosuję przekaźniki firmy Omron z serii G6K, ale elementy innych producentów wykazywały podobne zachowanie: w momencie załączenia cewki w tor sygnału audio był wprowadzany pojedynczy trzask. Im większa była rezystancja obciążająca styki danego przekaźnika, tym bardziej dokuczliwy był jego wpływ. Skokowa (co 1 dB albo co 0,5 dB) pasywna regulacja głośności była uciążliwa (dla uszu) do szybkiej zmiany w szerokim zakresie, ponieważ w relatywnie cichym tle muzyki pojawiały się irytujące stuki i inne odgłosy. Wyłączanie przekaźników nie wprowadza tych zakłóceń.

Odpowiedzi nie trzeba było daleko szukać, bowiem źródłem moich problemów okazały się... same przekaźniki, a rozwiązanie problemu – trywialnie proste, bowiem leżące wprost w teorii obwodów. Na potrzeby niniejszego artykułu zmontowałem bardzo prosty układ testowy zgodnie z **rysunkiem 1**. Cewka przekaźnika sygnałowego G6K-2F-Y o nominalnym napięciu pracy 4,5 V jest załączana przez driver ULN2003. W szereg pomiędzy nimi jest włączony rezystor R o rezystancji 33 Ω, który mogę zewrzeć. Napięcie VCC wynosiło u mnie 5,3 V. Dlaczego taka wartość? O tym dalej.



Rysunek 1. Schemat układu testowego

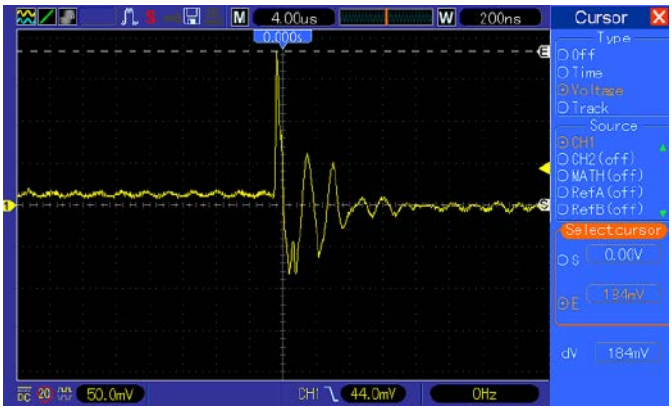
Rysunek 2. Oscylogram spadku napięcia na rezystorze R w momencie załączania cewki przekaźnika

Najpierw dwukanałowym oscyloskopem badałem spadek napięcia na rezystorze R. Stosowny oscylogram znajduje się na **rysunku 2**. Moment załączenia przekaźnika wiąże się ze spadkiem obu tych potencjałów, więc przy użyciu wbudowanego w oscyloskop narzędzia odejmującego od siebie sygnały, obserwowałem ich różnicę przy wystąpieniu zbocza opadającego na jednym z nich. Spodziewałem się zobaczyć różnicę (przebieg fioletowy) na poziomie 0 V, a potem nieco podniesioną, z racji spadku napięcia na rezystorze 33 Ω. I tu ciekawostka: **cewka przekaźnika, w chwili załączenia, pobiera prąd o wartości zdecydowanie większej niż późniejsza, nominalna. Tymczasem, analizując tę sprawę na gruncie teorii obwodów, powinniśmy zobaczyć łagodne, wykładnicze narastanie prądu od wartości zerowej do nominalnej** – tak zachowywałaby się „czysta" indukcyjność z włączoną szeregowo rezystancją R, załączona przez źródło napięciowe. Tymczasem prąd gwałtownie narasta, by za chwilę spaść.

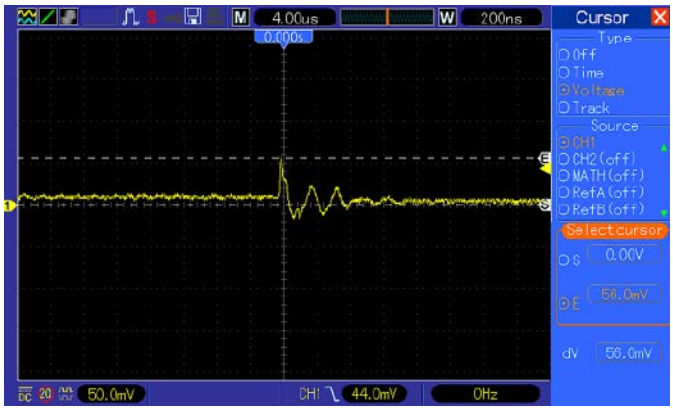
Tutaj trzeba przypomnieć sobie, jak jest zbudowana cewka przekaźnika elektromagnetycznego: to karkas z nawiniętym uzwojeniem, wykonanym z bardzo cienkiego drutu w jeszcze cieńszej izolacji. Pojemność pasożytnicza takiego tworu musi być znaczna. Nie wiem, ile wynosi, producenci go nie podają, ale idealnie tłumaczyłaby skokowy wzrost prądu daleko ponad wartość nominalną: „pusta" pojemność, po podłączeniu do źródła napięciowego, zachowuje się jak zwarcie, pobierając w czasie ładowania prąd o znacznym natężeniu. W miarę ładowania natężenie prądu maleje.

Tymczasem problem wcale nie jest błahy, gdyż takie impulsy prądu w ścieżkach oraz w samej cewce potrafią porządnie zepsuć przewodzony sygnał, o czym świadczy oscylogram z **rysunku 3**. Tutaj badany był spadek napięcia na rezystorze 51 kΩ, którego zaciski mogły być zwierane przez przekaźnik. Rezystor R był zwarty, ULN2003 wprost sterował cewką przekaźnika. W czysto teoretycznej sytuacji na oscyloskopie powinna być widoczna ciągła, pozioma linia, ponieważ w tym obwodzie nie ma żadnego źródła energii. No właśnie, czy aby na pewno? Przecież na rysunku 3 **widać wyraźne oscylacje i to o niebanalnej wartości szczytowej aż 184 mV!**

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 3. Oscylogram spadku napięcia na rezystorze 51 kΩ przy zwartym rezystorze R



Rysunek 4. Oscylogram spadku napięcia na rezystorze 51 kΩ przy rozwartym rezystorze R

Przecież zaledwie kilka milimetrów dzieli styki przewodzące wrażliwy sygnał od cewki, która w momencie załączania wykazuje zdecydowanie pojemnościowy charakter. Wysokie natężenie prądu płynące przez nią w tej chwili powoduje emitowanie proporcjonalnie silnego pola magnetycznego. Stąd już tylko krok do przeniesienia się zakłóceń na pozostałe fragmenty obwodu. Kształt oscylacyjny gasnący przywodzi na myśl odpowiedź obwodu RLC na pobudzenie skokowe, co potwierdzałoby tezę o indukcyjno-pojemnościowym charakterze uzwojenia.

W jaki sposób można to poprawić? Przede wszystkim warto zmniejszyć stromość narastania prądu uzwojenia cewki, gdyż wysoka pochodna prądu po czasie odpowiada za szerokie widmo emitowanych zakłóceń. Jeżeli udałoby się to narastanie wystarczająco „spłaszczyć", wówczas wprowadzane do sygnału zakłócenia byłyby mniej dokuczliwe. Taką sytuację ilustruje oscylogram na **rysunku 4**, który pokazuje to samo, co rysunek 3, ale z rozwartą rezystancją r. Wartość szczytowa zakłóceń jest blisko trzykrotnie mniejsza. W budowanych przeze mnie układach audio to wystarcza.

Ideałem byłoby wydłużenie czasu załączania cewki na tyle, aby wpływ jej pojemności był możliwy do zaniedbania. Są na to dwie recepty. Pierwszą jest zwiększenie wartości rezystancji R, co wiąże się z większymi stratami napięcia – stąd napięcie zasilające układ jest nieco większe od 5 V, aby skompensować obecność rezystora R i klucza w układzie ULN2003. Druga, pewniejsza w działaniu – choć bardziej złożona układowo – wymagałaby zasilania cewek przekaźników źródłami prądowymi. Ustalając prąd tych źródeł na wartość równą nominalnej dla danego modelu przekaźnika, mamy pewność, że nie wystąpi wzrost natężenia prądu ponad ustaloną wartość, a samo ładowanie pojemności uzwojenia będzie miało charakter mniej więcej liniowy.

Jednak wymaga to większej liczby elementów, jest trudniejsze do zminiaturyzowania i również wiąże się ze stratami napięcia. **Dlatego w swoich urządzeniach ograniczam się do dodania rezystora 33 Ω i nieznacznego podniesienia napięcia zasilania**, ale w granicach bezpiecznych dla układów z serii HC, HCT i mikrokontrolerów ATmega oraz ATtiny. Rezystor o takiej samej wartości dodaję przy sterowaniu przekaźnikami przez inne elementy, na przykład unipolarne tranzystory BSS123. Muszę wtedy pamiętać o dodaniu diody zabezpieczającej tranzystor w chwili wyłączenia cewki przekaźnika.

Michał Kurzela, EP

REKLAMA

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

ELPORTAL.pl

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

eprasa.pl 2897393b21

Praktyczne aplikacje scalonych układów AFE (13)

Front-endy do zastosowań energetycznych (1)

W poprzedniej części cyklu Poradnik Implementacji omówiliśmy tematykę front-endów pojemnościowych. Pozostajemy przy tematyce pomiarów wielkości elektrycznych, jednak tym razem zajmiemy się układami przeznaczonymi do aplikacji energetycznych – głównie liczników energii i watomierzy cyfrowych.

Konwencjonalne liczniki energii elektrycznej, niezbędne do rozliczania jej odbiorców przez zakłady energetyczne, coraz częściej są zastępowane przez nowoczesne urządzenia ze zdalnym odczytem, umożliwiające określanie zużycia energii bez konieczności samodzielnego spisywania stanu licznika. Rozwiązanie takie sprawdza się szczególnie w czasie pandemii, w której każdy sposób na ograniczanie transmisji wirusa w społeczeństwie okazuje się na wagę złota. Wyparcie (w dużej mierze) liczników indukcyjnych przez ich nieporównanie nowocześniejsze, cyfrowe odpowiedniki ma jednak także szereg innych zalet – mierniki elektroniczne są dokładniejsze, oferują rozmaite funkcje pomiarowe, a także… skutecznie utrudniają dokonywanie kradzieży energii przez amatorów „prądu za darmo". Co ciekawe, tematyka „sabotowania" liczników energii jest na tyle powszechna, że najnowsze front-endy pomiarowe przeznaczone do tego typu urządzeń są wyposażane w rozbudowane funkcje *anti-tamper*. W tym odcinku Poradnika Implementacji zebraliśmy najistotniejsze informacje na temat pojęć związanych z metrologią mocy i energii oraz norm, do których odwołania najczęściej występują w notach katalogowych poszczególnych układów AFE.

Krótkie przypomnienie podstawowych pojęć

Przed omówieniem konkretnych propozycji układowych warto dokonać ekspresowego podsumowania najważniejszych zagadnień teoretycznych, związanych z pomiarami mocy i energii. Moc w obwodach prądu stałego jest określona przez iloczyn napięcia panującego na odbiorniku oraz natężenia przepływającego prądu (1):

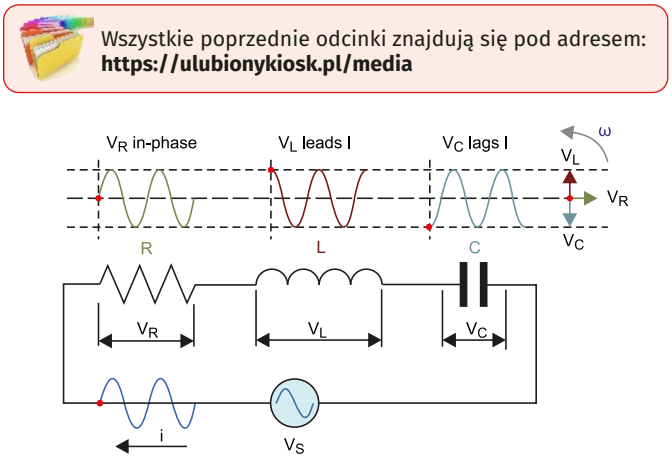
$$P[W] = U[V] \cdot I[A] = I^2 R \qquad (1)$$

W przypadku sinusoidalnego prądu przemiennego o częstotliwości *f* wartość chwilową określa ogólny wzór (2):

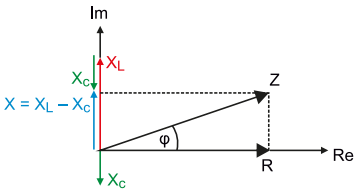
$$i(t) = I_A \cdot \sin(\omega t + \varphi) \qquad (2)$$

gdzie:
i(t) – wartość natężenia prądu w momencie *t*,
$\omega = 2\pi f$,
I_A – amplituda prądu,
ϕ – przesunięcie fazowe,
f – częstotliwość

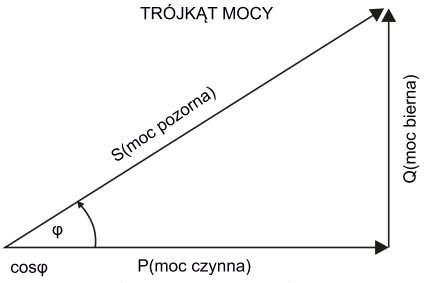
Mamy do czynienia z określonym kątem fazowym, którego znak oraz wartość wynikają z charakteru odbiornika: indukcyjna część reaktancji (X_L) powoduje opóźnienie prądu względem napięcia, zaś pojemnościowa (X_C) – opóźnienie napięcia względem prądu (**rysunek 1**). Złożenie czystej rezystancji (R) oraz reaktancji wypadkowej ($X=X_L-X_C$) prowadzi do powstania określonego kąta przesunięcia fazowego,



Rysunek 1. Zależności czasowe w przykładowym obwodzie szeregowym RLC (https://t.ly/OltO)



Rysunek 2. Sposób tworzenia wykresu wektorowego impedancji (https://t.ly/vRn6)



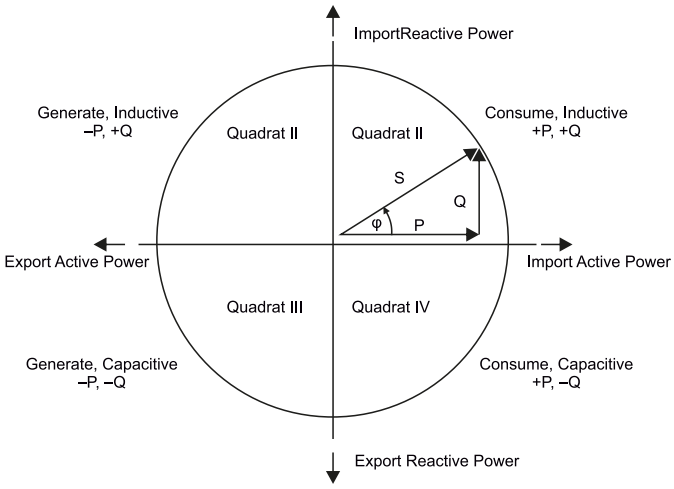
Rysunek 3. Trójkąt mocy (https://t.ly/Sf5g)

co można zobrazować na wykresie wektorowym (**rysunek 2**). Ten sam kąt fazowy odnosi się także do trójkąta mocy (**rysunek 3**), określającego powiązania pomiędzy:

- mocą czynną P [W] (według powszechnie stosowanej definicji jest to moc, która „pracuje", czyli może wydzielić się w odbiorniku rezystancyjnym w postaci ciepła),
- mocą bierną Q [Var] („nieużyteczną", odpowiedzialną za powstawanie strat przesyłowych) oraz
- mocą pozorną S [VA] (będącą prostym iloczynem wartości skutecznych prądu i napięcia).

Energia elektryczna *W*, pobrana przez dany odbiornik o mocy czynnej *P* w określonym przedziale czasowym *t*, lub – ujmując sprawę nieco ogólniej – przez odbiornik o mocy chwilowej *p(t)* w czasie od t_1 do t_2 – jest zdefiniowana wzorem (3):

eprasa.pl 2897393b21



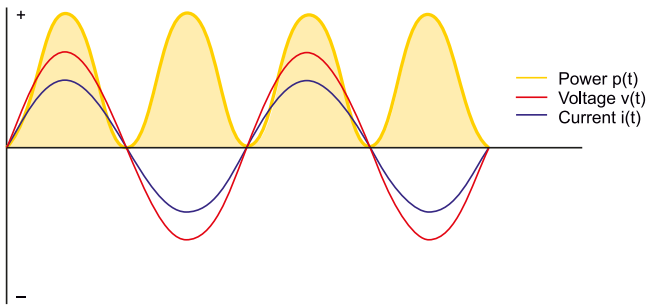
Rysunek 4. Podział płaszczyzny PQ na kwadranty z oznaczeniami kierunku przepływu mocy (consume – pobieranie mocy przez obciążenie, generate – wytwarzanie mocy przez obciążenie) (https://t.ly/JcwC)

$$W = P \cdot t = \int_{t_1}^{t_2} p(t)dt = \int_{t_1}^{t_2} u(t) \cdot i(t)dt \qquad (3)$$

W przypadku rozliczeń poboru energii używane jest także pojęcie energii biernej – moc bierna Q [Var] – przemnożona przez czas – daje jednostkę zwaną (kilo)warogodziną [(k)Varh].

Kierunek przepływu energii

Warto zwrócić uwagę na fakt, że kąt fazowy pozwala rozróżnić nie tylko rodzaj obciążenia, ale także – co ciekawe – kierunek przepływu energii. W powszechnie przyjętym ujęciu kwadranty I i IV na płaszczyźnie P-Q (**rysunek 4**) odpowiadają za pobór mocy przez obciążenie (kąt fazowy pomiędzy –90° a +90°), zaś kwadranty II i III – wytwarzanie mocy. Na pierwszy rzut oka podejście takie może wydawać się mało intuicyjne, jednak zasadę określania kierunku przepływu energii dobrze obrazuje przebieg mocy chwilowej w funkcji czasu – a więc „sygnał mocy", który moglibyśmy zapisać jako *p(t)*. Na rysunkach 5, 6 i 7 sygnał *p(t)* został przedstawiony żółtą krzywą. Przy idealnie rezystancyjnym charakterze obciążenia całość *p(t)* ma znak nieujemny, a więc – co logiczne – moc chwilowa zeruje się w momencie przejścia przez zero krzywych prądu i napięcia (**rysunek 5**). Stopniowe zwiększanie kąta fazowego powoduje „przechodzenie" części sygnału na dolną półpłaszczyznę wykresu, co obrazuje efekt oscylowania mocy biernej w układzie – część energii jest (w każdym okresie napięcia/prądu sieciowego) oddawana do źródła (**rysunek 6**). W skrajnym przypadku energia przepływa w całości od obciążenia do źródła (zatem obciążenie w istocie staje się... źródłem energii) – całość sygnału mocy *p(t)* przyjmuje wtedy wartości niedodatnie. Pole pod krzywymi na przedstawionych wykresach obrazuje właśnie energię – jest ona wszak niczym innym, jak całką sygnału mocy chwilowej *p(t)* po czasie *t* – patrz równanie (3). Pojęcie kierunku przepływu energii zyskuje szczególnego znaczenia w urządzeniach przeznaczonych do pracy w instalacjach opartych na odnawialnych źródłach energii (OZE), służących prosumentom – odbiorcom energii, którzy są w stanie sprzedawać jej nadwyżkę, wygenerowaną lokalnie np. z wykorzystaniem paneli fotowoltaicznych – „z powrotem" do sieci elektroenergetycznej. Rosnąca popularność tego typu źródeł energii sprawia, że także w świecie układów AFE pojawia się coraz więcej rozwiązań przygotowanych do tej grupy aplikacji.



Rysunek 5. Przebieg sygnału mocy p(t) w funkcji czasu dla obciążenia o charakterze idealnej rezystancji (https://t.ly/UOAe)

Współczynnik mocy – podstawowa definicja

Z rysunku 3 nietrudno wywnioskować, że moc pozorną można wyrazić za pomocą równania (4):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \qquad (4)$$

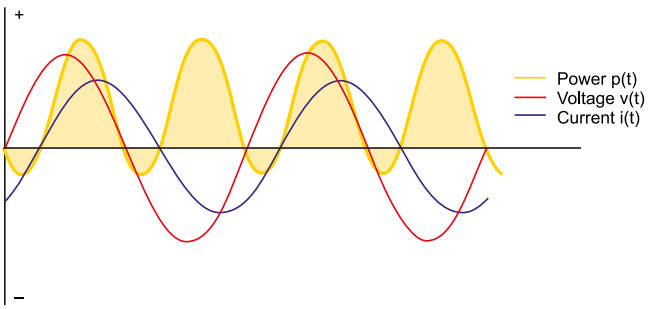
Sama moc pozorna nie daje jednak bezpośredniej informacji o udziale mocy czynnej i biernej w całkowitym bilansie energetycznym urządzenia. Niezwykle istotnym parametrem jest zatem współczynnik mocy PF (power factor), określający stosunek mocy czynnej do mocy pozornej (5):

$$PF = \frac{P}{S} = \cos\varphi \qquad (5)$$

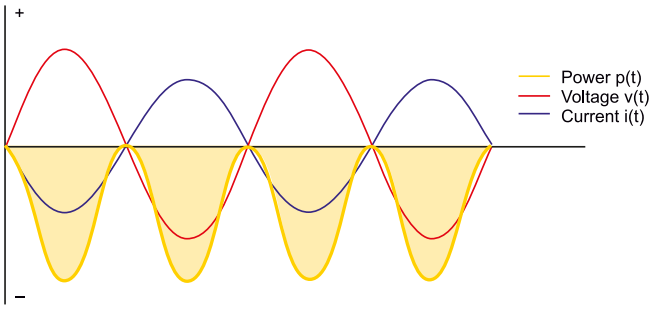
Pojęcie współczynnika mocy jest szczególnie istotne zarówno w dużych instalacjach elektroenergetycznych, jak i w niewielkich zasilaczach impulsowych. Korektory współczynnika mocy w przypadku dużych, przemysłowych obciążeń o charakterze silnie indukcyjnym bazują zatem na bateriach kondensatorów, które umożliwiają zmniejszenie przesunięcia fazowego pomiędzy prądem i napięciem, a co za tym idzie – redukcję strat przesyłowych. W mniejszej skali korekcja odbywa się na drodze odpowiedniego sterowania elementami kluczującymi w zasilaczach SMPS – w taki sposób, by faza uśrednionego przebiegu prądowego „trafiała" w odpowiednie punkty sygnału napięcia.

Harmoniczne

Podane wzory i zasady sprawdzają się doskonale w przypadku „czystych" odbiorników, jednak w praktyce sytuacja jak zwykle jest znacznie bardziej skomplikowana. Współczesne odbiorniki energii (głównie zasilacze impulsowe) wprowadzają do sieci spore zniekształcenia harmoniczne, co wynika z impulsowego charakteru przebiegów prądowych. Podczas gdy kształt przebiegu napięcia sieciowego pozostaje

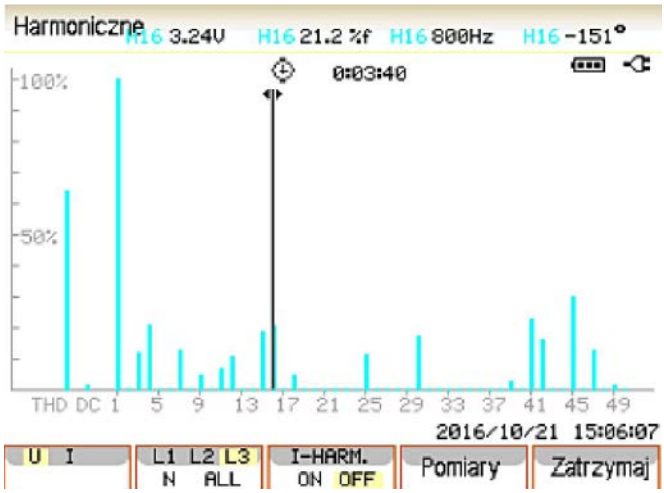


Rysunek 6. Przebieg sygnału mocy p(t) w funkcji czasu dla obciążenia o charakterze indukcyjnym (https://t.ly/UOAe)



Rysunek 7. Przebieg sygnału mocy p(t) w funkcji czasu w układzie generowania energii przez obciążenie (https://t.ly/UOAe)

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 8. Przykładowy zrzut ekranu z analizatora jakości energii elektrycznej – widmo częstotliwościowe przebiegu prądowego (https://t.ly/paeo)

zwykle względnie zbliżony do sinusoidy, to impulsowy pobór prądu sprawia, że przebieg mocy chwilowej w funkcji czasu [a więc także sygnał mocy" *p(t)*] zawiera szereg wyższych harmonicznych (**rysunek 8**). Aktywne układy korektorów współczynnika mocy (PFC – power factor correction) także nie ułatwiają ograniczania zakłóceń przewodzonych, gdyż dokonują korekcji fazy podstawowej składowej sygnału prądowego za cenę… wzrostu udziału składowych wyższego rzędu.

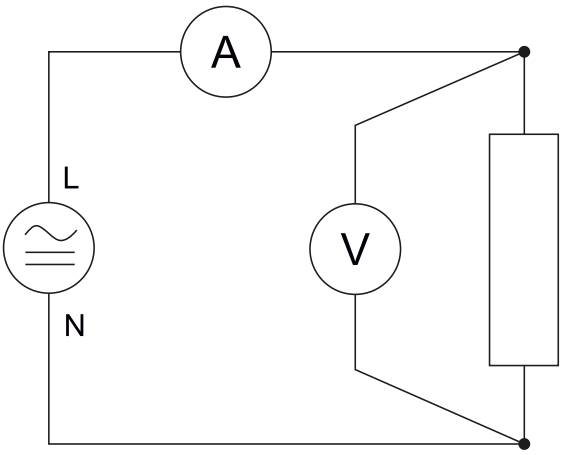
Z powodu złożonego charakteru strat związanych z harmonicznymi prądu, w praktyce przy określaniu współczynnika mocy wykorzystuje się dodatkowy czynnik, który – pomnożony przez cosinus kąta fazowego – umożliwia pełniejsze zobrazowanie poziomu strat w systemie. Ów czynnik bazuje na wartości poziomu zniekształceń harmonicznych (THD) – wynikowe równanie pozwalające na obliczenie „praktycznego" współczynnika mocy (TPF – true power factor) ma postać (6):

$$TPF = \frac{1}{\sqrt{1+THD_i^2}} \cos\varphi \qquad (6)$$

gdzie:
THD_i – współczynnik zawartości harmonicznych przebiegu prądowego.

Metody pomiaru prądu

Podstawowy schemat układu do pomiaru mocy i energii pobieranej przez obciążenie (**rysunek 9**) stanowi dobry punkt wyjścia do rozważań teoretycznych, ale niewiele wnosi do tematu konkretnych, praktycznych realizacji układowych. W najprostszej wersji każdy watomierz musi zawierać przynajmniej:



Rysunek 9. Podstawowy, uproszczony schemat układu do poboru mocy urządzenia sieciowego (https://t.ly/dLwY)

- kanał pomiaru napięcia,
- kanał pomiaru prądu,
- mnożnik sygnałów,
- układ do pomiaru kąta fazowego.

W przypadku liczników energii, do ww. funkcjonalności dochodzi także przyrostowa rejestracja mocy chwilowej w dziedzinie czasu, co wynika wprost z równania (3). Aspekt ten jest ważny zwłaszcza ze względu na zastosowane w układzie/oprogramowaniu metody uśredniania, filtracji, etc. – zbyt niska rozdzielczość czasowa może wprowadzać błąd pomiaru w przypadku szybkozmiennych profili poboru mocy.

Taka konfiguracja daje (teoretycznie) możliwość wyznaczenia wszystkich parametrów, które opisaliśmy wcześniej: mocy (energii) czynnej, biernej i pozornej oraz współczynnika mocy, zdefiniowanego jako cosinus kąta fazowego. Zastosowanie układów pomiarowych z szybkimi przetwornikami ADC oraz procesora sygnałowego DSP umożliwia przeniesienie całości obliczeń do domeny cyfrowej, a dodatkowo pozwala na przeprowadzenie analizy harmonicznych lub przynajmniej – intencjonalnego ograniczenia pomiaru mocy do harmonicznej podstawowej.

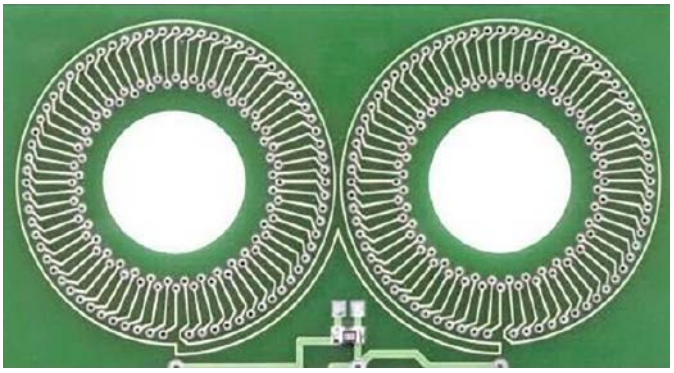
Sam pomiar napięcia można w większości przypadków zrealizować w dość prosty sposób (tj. przez zastosowanie dzielnika napięciowego z rezystorami o odpowiednio dużej wytrzymałości na przebicie). Pomiar natężenia prądu wymaga natomiast zastosowania jednej z poniższych technik pomiaru:

- pomiar napięcia na boczniku,
- pomiar za pomocą przekładnika prądowego,
- pomiar za pomocą cewki Rogowskiego,
- pomiar za pomocą czujnika Halla.

Poszczególne rozwiązania różnią się – oprócz dokładności pomiarowej i zakresu mierzonych prądów – także innymi, podstawowymi parametrami, spośród których warto wymienić:

- **Poziom izolacji** – z oczywistych przyczyn prosty układ bocznikowy nie ma żadnej izolacji, dzielącej go galwanicznie od właściwego układu pomiarowego; Cewki Rogowskiego oraz przekładniki oferują możliwość pomiaru bezkontaktowego, stąd solidna izolacja nie stanowi dla nich najmniejszej przeszkody. Pośrednim (w pewnym sensie) rozwiązaniem są scalone czujniki hallotronowe, które zapewniają dość wysoki poziom separacji galwanicznej przy rozmiarach zbliżonych do pasywnych boczników.
- **Straty** – sporą wadę boczników stanowią straty napięcia na rezystancji bocznika (proporcjonalne do rezystancji nominalnej i natężenia prądu), a – co za tym idzie – także wzrost temperatury i związane z nim pogorszenie dokładności pomiarowej, dlatego układ taki nadaje się raczej do mniejszych obciążeń. Cewki Rogowskiego i przekładniki sprawdzają się natomiast doskonale w pomiarach nawet bardzo wysokich natężeń prądu przy możliwości dość elastycznego wyboru skali czułości, odpowiedniej do danego zastosowania. Niewielkie straty przy małych i średnich prądach oferują także czujniki hallotronowe, w których przewodnik współpracujący z sensorem półprzewodnikowym ma rezystancję zminimalizowaną do technicznych granic możliwości.
- **Rozmiary** – przekładniki w większości przypadków są elementami dość dużymi (choć nie aż tak, jak typowe cewki Rogowskiego), stąd ich zastosowanie w niewielkich układach (np. monitorach poziomu mocy w niewielkich watomierzach wtyczkowych czy modułach IoT dla automatyki budynkowej) staje się problematyczne. Dla porównania, niewielkie boczniki SMD i scalone czujniki prądu można zmieścić na praktycznie każdej płytce drukowanej.
- **Koszty** – boczniki doskonale sprawdzają się w rozwiązaniach budżetowych, podobnie jak tańsze modele przekładników do montażu na PCB; profesjonalne cewki Rogowskiego są rozwiązaniami dość kosztownymi, choć gwoli ścisłości warto dodać, że istnieją metody na wykonanie takiego elementu w postaci… odpowiednio ukształtowanej płytki drukowanej (interesujący przykład pokazano na **fotografii 1**). Czujniki hallotronowe i mniejsze przekładniki

eprasa.pl 2897393b21



Fotografia 1. Cewki Rogowskiego wykonane w postaci obwodu drukowanego (https://t.ly/lFy1U)

należą natomiast do relatywnie tanich rozwiązań, zwykle niewiele droższych od dobrych boczników SMT.

- **Przesunięcie fazowe** – w zakresie relatywnie niskich częstotliwości, z jakimi mamy do czynienia przy pomiarach prądu przemiennego w użytecznym zakresie harmonicznych, niewielki bocznik bezindukcyjny nie wprowadza praktycznie żadnego przesunięcia fazowego. W przypadku cewek Rogowskiego i przekładników przesunięcie może jednak istotnie wpływać na dokładność pomiaru kąta fazowego, a co za tym idzie – także obliczanych na jego podstawie parametrów (mocy lub energii biernej i pozornej, współczynnika PF), stąd pojawia się konieczność układowej (lub programowej) kompensacji kąta fazowego dla kanału prądowego. Czujniki hallotronowe, z uwagi na dość rozbudowany tor przetwarzania sygnału, także wymagają odpowiedniej kompensacji przesunięcia fazowego.

Czytelników zainteresowanych niektórymi praktycznymi aspektami pomiarów prądu odsyłamy do lektury artykułów „Pomiary natężenia prądu w systemach wbudowanych. Praktyczny poradnik", opublikowanych na łamach EP 06/2021 i EP 07/2021.

Akty prawne i normy dotyczące urządzeń do pomiaru mocy oraz energii

W notach katalogowych front-endów czołowych producentów półprzewodników można natrafić na liczne odwołania do norm branżowych, najczęściej określanych skrótami EN50470, IEC 62053, IEC 61000-4-7 czy IEC 61000-4-30. Warto zatem przynajmniej z grubsza scharakteryzować znaczenie tych określeń.

Zagadnienie pomiarów mocy urządzeń oraz poboru energii w instalacjach mieszkalnych, przemysłowych i innych obejmuje szereg aspektów związanych z dokładnością, powtarzalnością, niezawodnością, identyfikowalnością, zastosowanym systemem jednostek miary, itd. Kwestię urządzeń do pomiaru energii elektrycznej, gazomierzy, ciepłomierzy, wodomierzy, a nawet taksometrów czy analizatorów spalin reguluje obecnie dyrektywa MID (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/32/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie harmonizacji ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do udostępniania na rynku przyrządów pomiarowych), która zastąpiła starą dyrektywę 2004/22/WE.

Załącznik MI-003 dyrektywy MID określa podstawowe warunki dot. dokładności pomiarów w poszczególnych podzakresach prądu obciążenia (definiując trzy klasy pomiarowe A, B i C, przy czym klasa C jest najdokładniejsza), definiuje także wykorzystywaną do prezentacji jednostkę energii (kWh lub MWh) i dopuszczalną podatność na długotrwałe czynniki zaburzające (m.in. odwrócenie kolejności faz, niezrównoważenie napięcia w licznikach wielofazowych czy też zakłócenia EMI). Dokładniejsze wymogi oraz praktyczne zalecenia dla projektantów urządzeń pomiarowych są zawarte w konkretnych normach, obejmujących poszczególne obszary aplikacyjne.

W tekście Decyzji Wykonawczej Komisji UE 2021/1402 z dnia 25 sierpnia 2021 r. można znaleźć następujące odniesienia do norm zharmonizowanych dla dyrektywy 2014/32/UE:

- EN 62058-11:2010 (Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego) – Odbiór sprzętu – Część 11: **Ogólne metody odbioru sprzętu**),
- EN 62058-21:2010 (Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego) – Odbiór sprzętu – Część 21: Wymagania szczegółowe dotyczące **liczników indukcyjnych energii czynnej (klasy 0,5, 1 i 2 oraz klas A i B)**),
- EN 62058-31:2010 (Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego) – Odbiór sprzętu – Część 31: Wymagania szczegółowe dotyczące **liczników statycznych energii czynnej (klasy 0,2 S, 0,5 S, 1 i 2 oraz klas A i B)**),
- EN 62059-32-1:2012 (Urządzenia do pomiaru energii elektrycznej prądu przemiennego – Niezawodność – Część 32-1: **Trwałość – Badanie stabilności charakterystyk metrologicznych przy zastosowaniu podwyższonej temperatury**).

Konstruktorzy liczników energii mają jednak do dyspozycji znacznie szerszy zakres norm, spośród których warto wymienić:

- PN-EN 50470-1:2008 – Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego) – Część 1: Wymagania ogólne, badania i warunki badań – **Urządzenia do pomiarów (klas A, B i C)**,
- PN-EN 50470-3:2009 – Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej (prądu przemiennego) – Część 3: Wymagania szczegółowe – **Liczniki statyczne energii czynnej (klas A, B i C)**,
- PN-EN IEC 62052-11:2021-05 – Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej – Wymagania ogólne, badania i warunki badań – Część 11: **Urządzenia do pomiarów**,
- PN-EN IEC 62053-21:2021-05 – Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej – Wymagania szczegółowe – Część 21: **Liczniki statyczne energii czynnej** prądu przemiennego (klas 0,5, 1, i 2),
- PN-EN IEC 62053-22:2021-05 – Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej – Wymagania szczegółowe – Część 22: **Liczniki statyczne energii czynnej** prądu przemiennego (klas 0,1S, 0,2S i 0,5S),
- PN-EN IEC 62053-23:2021-05 – Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej – Wymagania szczegółowe – Część 23: **Liczniki statyczne energii biernej** (klas 2 i 3),
- PN-EN IEC 62053-24:2021-05 – Urządzenia do pomiarów energii elektrycznej – Wymagania szczegółowe – Część 24: **Liczniki statyczne energii biernej dla częstotliwości podstawowej** (klas 0,5S, 1S, 1, 2 i 3),
- ANSI C12.20-2015 – Electricity Meters – **0.1, 0.2, and 0.5 Accuracy Classes**.

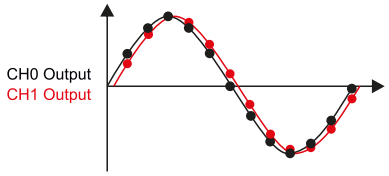
Najbardziej zaawansowane front-endy do pomiaru parametrów energii elektrycznej (zwłaszcza te oferowane przez firmę Analog Devices) nadają się jednak nie tylko do zastosowania w licznikach statycznych, ale nawet w analizatorach jakości energii – w tym przypadku warto zapoznać się także z następującymi normami:

- PN-EN 61000-4-7:2007 – Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-7: Metody badań i pomiarów – Ogólny przewodnik dotyczący **pomiarów harmonicznych i interharmonicznych** oraz przyrządów pomiarowych, dla sieci zasilających i przyłączonych do nich urządzeń (w paśmie do 9 kHz),
- PN-EN 61000-4-30:2015-05 – Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) – Część 4-30: Metody badań i pomiarów – **Metody pomiaru jakości energii**,
- PN-EN 62586-1:2018-01 – Pomiar jakości energii elektrycznej w sieciach zasilających – Część 1: **Przyrządy do pomiaru jakości energii (PQI)**.

Front-endy do pomiaru napięcia i prądu AC, mocy oraz energii

Układy AFE przeznaczone do aplikacji metrologicznych (watomierzy oraz liczników energii) tworzą szeroką i zróżnicowaną grupę, na którą składają się propozycje wielu czołowych producentów półprzewodników. Wszystkie umożliwiają jednoczesny pomiar napięcia i prądu w jednym lub kilku kanałach (co jest konieczne dla pracy

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 10. Różnica fazy pomiędzy sygnałami mierzonymi przez dwa kanały front-endu (https://t.ly/uO0V)

w układach trójfazowych), różnią się natomiast znajdującymi się na ich pokładzie dodatkowymi blokami funkcjonalnymi – silnikami obliczeniowymi DSP, buforami próbek, układami anti-tamper i wieloma innymi. Najbardziej zaawansowane układy, za sprawą obecności – obok właściwego front-endu analogowego – także rdzenia CPU, pamięci oraz rozmaitych bloków peryferyjnych stanowią raczej specjalistyczne mikrokontrolery z własnymi AFE niż front-endy jako takie. W tym odcinku rozpoczniemy nasz przegląd od dość uniwersalnych front-endów, które wprowadziła na rynek firma Texas Instruments.

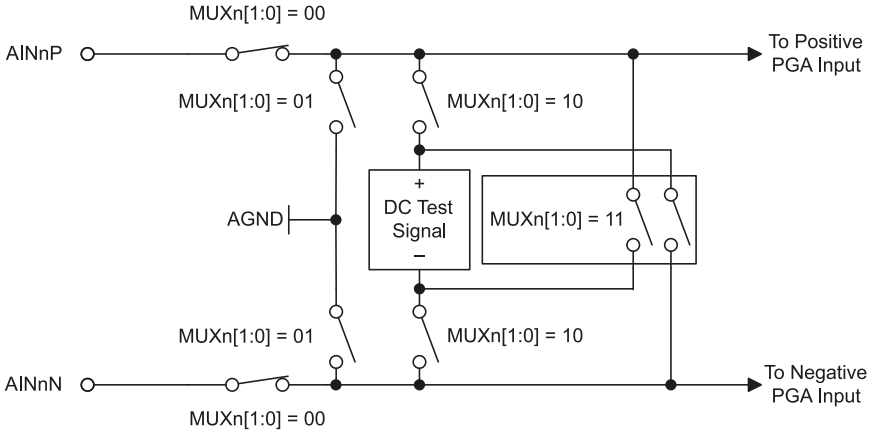
ADS131M02/3/4/6/8

Marketingowcy Texas Instruments, co ciekawe, nie wydzielili w ofercie amerykańskiego giganta konkretnej grupy produktów przeznaczonych do pracy w roli front-endów „energetycznych". Zamiast tego, w sekcji portalu internetowego TI poświęconej licznikom energii, można znaleźć serię dość uniwersalnych, 2-, 3-, 4-, 6- lub 8-kanałowych przetworników ADC, zdolnych do wprowadzania automatycznej korekty przesunięcia fazowego pomiędzy próbkami uzyskiwanymi z poszczególnych torów pomiarowych (**rysunek 10**). Zadaniem przesuwników w aplikacjach liczników energii lub watomierzy jest kompensacja różnicy kąta fazowego pomiędzy sygnałem napięciowym (pozyskiwanym najczęściej z dzielnika, zatem pozbawionym istotnego metrologicznie przesunięcia fazy) a sygnałem „prądowym" (czyli napięciem wyjściowym przekładnika, cewki Rogowskiego czy też scalonego czujnika prądu).

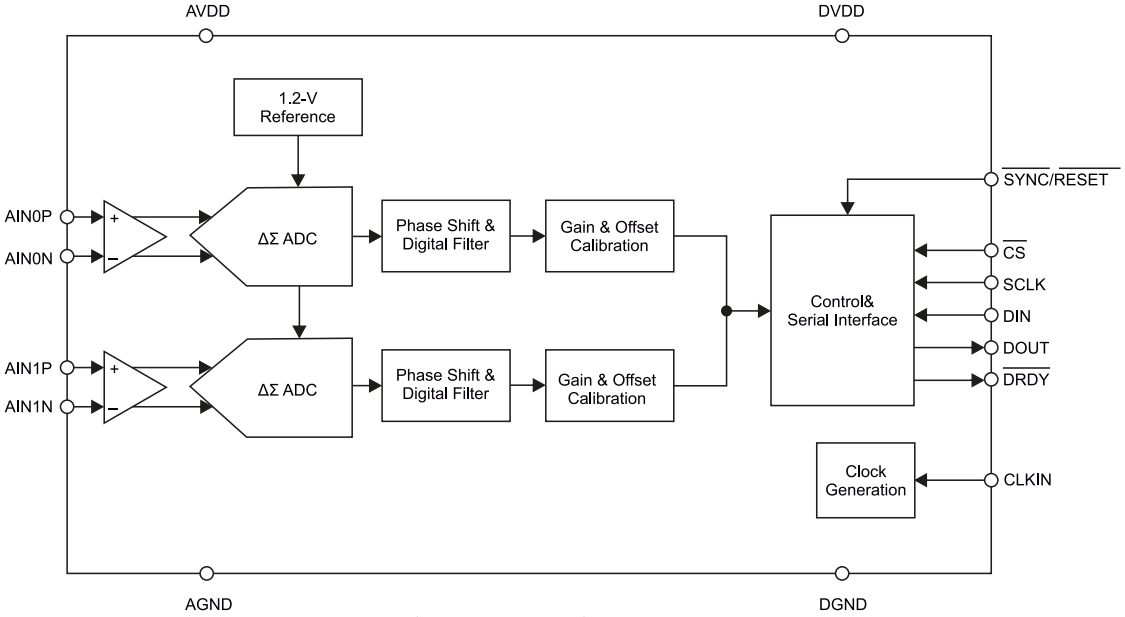
Schemat blokowy najmniejszego, dwukanałowego układu z omawianej rodziny ADS131M02 – pokazano na **rysunku 11**. Dwa różnicowe wzmacniacze PGA o wzmocnieniu 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 lub 128 V/V i poziomie szumu od 0,42 μVrms (250 Sps, 128 V/V) do 75,34 μVrms (64 kSps, 1 V/V) pełnią funkcję buforów dla 24-bitowych przetworników delta-sigma. Każdy z kanałów ma filtr cyfrowy, cyfrowo przestrajany przesuwnik fazy oraz blok kalibracji wzmocnienia i offsetu napięciowego. Przed wzmacniaczami znajdują się (niepokazane na schemacie) multipleksery, umożliwiające – oprócz połączenia z odpowiadającymi im wejściami PGA – zwarcie wejść do masy lub podanie sygnału testowego (DC) w dowolnie wybranej polaryzacji (**rysunek 12**).

Wbudowane źródło napięcia odniesienia o napięciu nominalnym 1,2 V, dokładności ±0,1% i dryfie temperaturowym 7,5 ppm/°C (20 ppm/°C max.) umożliwia uzyskanie pełnej skali pomiarowej od (±1,2 V) przy wzmocnieniu 1 V/V do ±9,375 mV (przy wzmocnieniu 128 V/V). Rozbudowany blok filtrów cyfrowych (**rysunek 13**) zarówno obsługuje normalny tryb filtracji dolnoprzepustowej, jak i wspiera tryb filtracji z krótkim czasem ustalania (*fast settling*), załączany po pierwszym ustabilizowaniu napięcia zasilania lub po planowym resecie front-endu, w celu skrócenia czasu do uzyskania pierwszych odczytów z ADC. W tym samym bloku jest też realizowana wspomniana wcześniej funkcja kompensacji fazowej. Każdy kanał zawiera ponadto konfigurowalny cyfrowo filtr górnoprzepustowy (**rysunek 14**), niwelujący potencjalne błędy wynikające z offsetów stałonapięciowych lub składowej stałej sygnału (co może być przydatne także w innych, „nieenergetycznych" aplikacjach).

Producent wspomina w nocie katalogowej o jeszcze jednej, bardzo użytecznej cesze opisywanej rodziny front-endów – trybach niskiego poboru mocy. Choć w przypadku urządzenia przez cały czas zasilanego z sieci energetycznej (a za takie można przecież uznać licznik



Rysunek 12. Schemat multipleksera wejściowego w pojedynczym kanale front-endu ADS131M02 (https://t.ly/Bzjd)

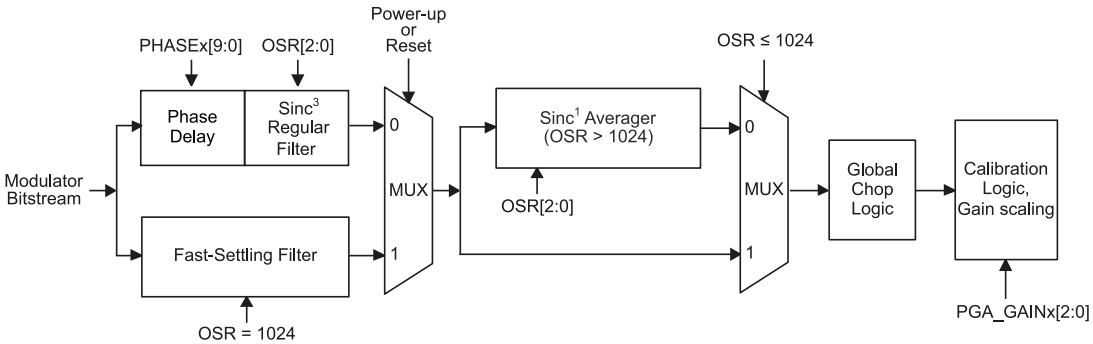


Rysunek 11. Schemat blokowy front-endu ADS131M02 (https://t.ly/Bzjd)

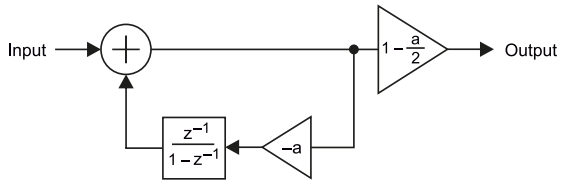
eprasa.pl 2897393b21

energii) podobne rozwiązanie może wydawać się jedynie proekologicznym chwytem marketingowym, to w rzeczywistości ma ono niezwykle ważne zadanie w nowoczesnych, inteligentnych urządzeniach do pomiaru zużycia prądu – pozwala chronić dostawców energii przed sabotowaniem liczników poprzez odłączenie przewodu neutralnego. Więcej informacji na temat tego typu kradzieży (oraz metod, które pozwalają na jej detekcję) podamy w kolejnym odcinku Poradnika Implementacji.

Dodatkową funkcją zwiększającą niezawodność i bezpieczeństwo komunikacji z procesorem nadrzędnym (za pośrednictwem interfejsu SPI) jest wielopoziomowa obsługa sum kontrolnych (CRC), aplikowanych zarówno w odniesieniu do danych przesyłanych do/z układu, jak i do wartości wewnętrznych rejestrów konfiguracyjnych.



Rysunek 13. Schemat blokowy zespołu filtrów cyfrowych front-endu ADS131M02 (https://t.ly/Bzjd)



Rysunek 14. Schemat multipleksera wejściowego w pojedynczym kanale front-endu ADS131M02 (https://t.ly/Bzjd)

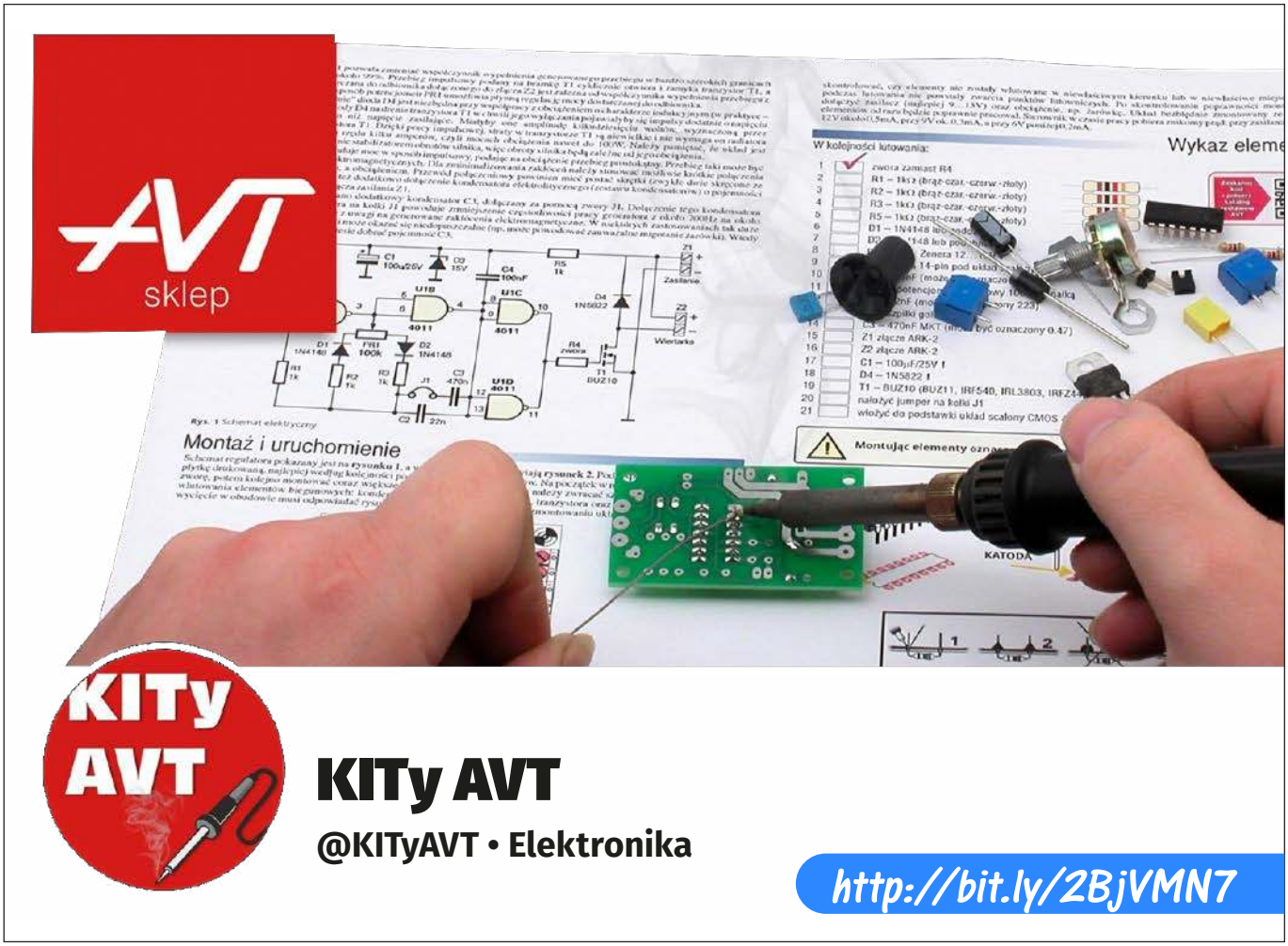
Podsumowanie

W tym miesiącu, nieco nietypowo, skupiliśmy się głównie na teoretycznych i normalizacyjnych aspektach front-endów, prezentując (na początek) zaledwie jedną rodzinę układów. Decyzja taka wynika wprost z obszerności oferty dostępnych na rynku, metrologicznych układów AFE i jej ścisłego powiązania z wymaganiami, stawianymi współczesnym licznikom energii oraz innym urządzeniom, działającym w oparciu o pomiar mocy (chwilowy lub przyrostowy).

Przedstawiliśmy też interesujący przykład dość uniwersalnego front-endu, który – choć może z powodzeniem pełnić funkcję przetwornika ADC do rozmaitych systemów akwizycji danych – ma pewne szczególne funkcjonalności, ułatwiające budowę liczników energii. Uzbrojeni w najważniejsze informacje, w przyszłym miesiącu zajmiemy się prezentacją kolejnych przykładów AFE z ofert takich producentów, jak Microchip, ST Microelectronics czy Cirrus Logic.

inż. Przemysław Musz, EP

REKLAMA



eprasa.pl 2897393b21

koktajl niusów

Blisko 70 tysięcy produktów elektronicznych wprowadzonych na rynek w 2021 r. przez firmę Mouser Electronics

Wiodąca w branży produktów elektronicznych firma Mouser Electronics koncentruje się na możliwie szybkim wprowadzaniu na rynek nowych elementów i technologii, by nieprzerwanie dostarczać nowoczesnych rozwiązań z zakresu elektroniki. Ponad 1200 producentów podzespołów elektronicznych polega na wspomnianej firmie, oferując jej własne, oryginalne produkty (wszyscy klienci Mouser Electronics otrzymują tylko certyfikowane elementy), wśród których w 2021 roku było aż 69568 nowości, z czego 6208 z nich weszło do sprzedaży pomiędzy październikiem a grudniem. Wśród przywołanych nowości znalazły się m.in.:

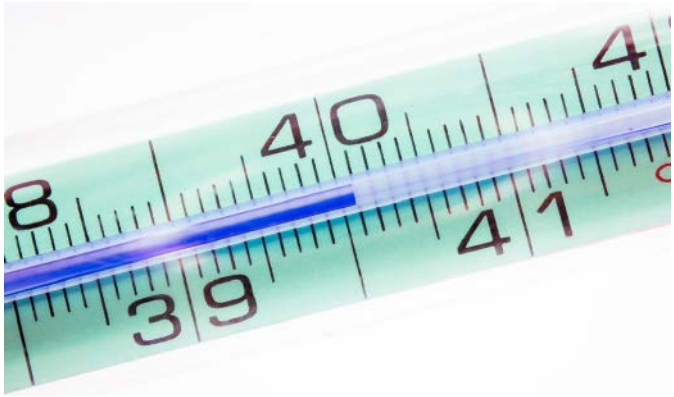
- filtr BAW o oznaczeniu QPQ4900 firmy Qorvo,
- wzmacniacz prądu MAX40080 firmy Maxim Integrated (szybki i precyzyjny, z wyjściem cyfrowym oraz szerokim zakresem VCM od –0,1 do 36 V),
- czujnik jakości powietrza SGP41 firmy Sensirion (wykrywający lotne związki organiczne – VOC oraz tlenki azotu – NOx),
- złącza śrubowe wysokiego napięcia IPT-HD firmy TE Connectivity (o izolowanej konstrukcji i łatwym montażu, któremu sprzyjają wygodne w użyciu otwory montażowe oraz elastyczne połączenia).

Ponadto na stronie internetowej Mouser Electronics znajduje się biblioteka zasobów technicznych, w tym Technical Resource Center z arkuszami produktów, projektami referencyjnymi dostawców, notami aplikacyjnymi, danymi technicznymi, narzędziami i innymi, przydatnymi informacjami. Dzięki tym źródłom projektanci mogą być na bieżąco ze współczesnymi produktami, technologiami i zastosowaniami, które podkreśla bezpłatny e-biuletyn firmy (mowa tu o subskrypcjach e-mail oraz referencjach, które można indywidualnie ustalać). Aby dowiedzieć się o nowych technologiach, produktach i trendach branżowych, należy odwiedzić stronę: https://bit.ly/3hamywb.

https://bit.ly/3sft5vJ
https://bit.ly/3t8tT4Z

Integrowalny z odzieżą elastyczny czujnik temperatury od amerykańskich naukowców

Znajdująca się w Stanach Zjednoczonych szkoła inżynieryjna Harvard John A. Paulson School of Engineering and Applied Sciences (SEAS) może się poszczycić nowatorskim wynalazkiem w postaci miękkiego, rozciągliwego czujnika temperatury, któremu nie potrzeba zasilania do działania i można go łączyć z ubraniami. Jego budowa jest prosta i obejmuje: elektrolit, elektrodę oraz oddzielający je materiał



dielektryczny, na styku których zachodzą reakcje prowadzące do generowania napięcia. Dokładniej mówiąc – między elektrolitem a przytoczonym materiałem gromadzą się jony, a między tym materiałem a elektrodą są to elektrony. Zachodząca między nimi nierównowaga elektryczna sprzyja powstawaniu chmury jonowej w elektrolicie, której grubość jest proporcjonalnie zależna od temperatury otoczenia. Dzięki temu mechanizmowi czas reakcji czujnika jest poniżej 10 ms (mniej niż w klasycznych rozwiązaniach), a zakres pomiarowy obejmuje wartości od –100 do 200°C.

Profesor mechaniki i materiałoznawstwa SEAS, Zhigang Suo, powiedział: „Opracowano miękki czujnik temperatury o wysokiej czułości oraz szybkim czasie reakcji, co otwiera nowe możliwości tworzenia interfejsów człowiek-maszyna i (…) robotów w inżynierii, medycynie czy rozrywce". Jego wypowiedź uzupełnił pracownik badawczy SEAS, Yecheng Wang, który dodał, że: „(…) konstrukcja czujnika jest tak prosta, że istnieje wiele różnych (…) jego zastosowań – można dla niego stosować materiały o różnym sposobie ułożenia oraz przeznaczeniu do różnych zadań".

Opracowany czujnik jest stabilny i dogodnych rozmiarów oraz może być przezroczysty, jeśli jest taka potrzeba. Czujnik ten, za słowami Suo: „(…) może zapoczątkować nowy rozwój, aby umożliwić i ulepszyć Internet Wszystkiego i Wszystkich". Działanie czujnika można zobaczyć na: https://bit.ly/355QtTJ.

https://bit.ly/3vilePV

Zapowiedź firm Valens Semiconductor i Stoneridge odnośnie do nowych rozwiązań wizyjnych i łącznościowych dla aut ciężarowych

W styczniu br. lider szybkich rozwiązań łącznościowych dla motoryzacji, firma Valens Semiconductor, wraz z producentem zaawansowanych systemów samochodowych, firmą Stoneridge, zapowiedziała rozwój elektronicznych rozwiązań podwyższających bezpieczeństwo kierowców aut ciężarowych w dziedzinie wizji oraz komunikacji.

eprasa.pl 2897393b21

W szczególności mowa tu o braku wystarczających, w przypadku istniejących na rynku technologii łączności, możliwości do wymiany dużej liczby danych z kamer, a także o niedostatecznej odległości działania bezprzewodowych łączy między ciągnikami siodłowymi a naczepami (odległości te nie zapewniają stabilnych transmisji). By temu zaradzić, obydwie firmy rozpoczęły w 2020 roku prace nad systemami łączności dalekiego zasięgu, które mają dostarczać wysokiej jakości strumienie wideo bez błędów i opóźnień.

Dotychczas prace te były ukrywane – tym niemniej stopień ich zaawansowania skłonił do ujawnienia faktu ich realizacji (w tym znaczeniu należy rozumieć przywołaną zapowiedź). Jak powiedział prezes i dyrektor generalny Stoneridge, Jon DeGaynor: „W połączeniu z naszymi kamerami rozwiązania łączności Valens Semiconductor otwierają drzwi do rozwoju nowych technologii i (…) produktów (…) które (…) będą zmieniać obszar bezpieczeństwa pojazdów użytkowych i zmniejszać koszty operacyjne flot". Z kolei prezes Valens Semiconductor, Gideon Ben-Zvi, dodał: „Rozwiązania, nad którymi pracujemy, obrazujące na rodzinie chipsetów Valens VA6000, otworzą drzwi do bezpieczniejszych doświadczeń dla kierowców ciężarówek na całym świecie, polegających na systemach Stoneridge. Wykorzystując naszą unikalną technologię łączności, dążymy do tego, aby drogi stały się bezpieczniejsze, zarówno dla kierowców ciężarówek, jak i dla ludzi wokół nich".

https://bit.ly/3veMrDg

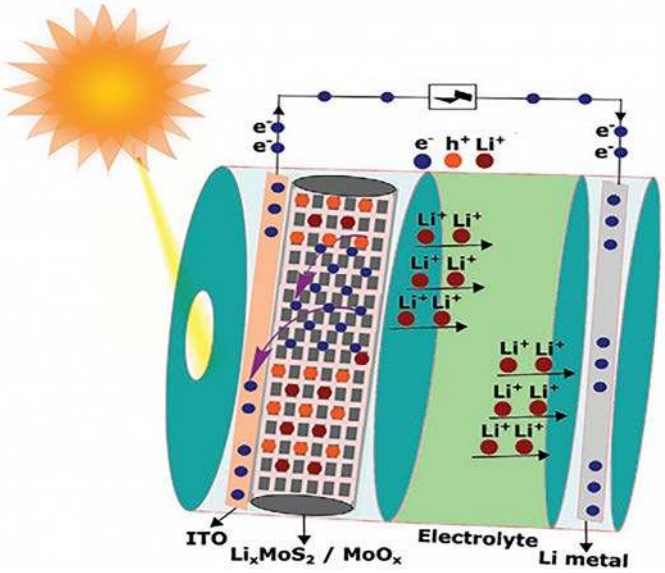
Nowa technologia sterowania autonomicznymi robotami magazynowymi od NEC Corporation

Firma NEC Corporation ogłosiła nowy rodzaj sterowania zwiększający dwa razy efektywność działania autonomicznych robotów mobilnych (AMR – *Autonomous Mobile Robot*), które pracują w magazynach, przy zachowaniu znaczącego poziomu bezpieczeństwa. Zgodnie z planami sterowanie to ma zostać wprowadzone do marca 2024 r. i najpierw obejmie roboty w Japonii. W ostatnich latach proces wdrażania robotów do transportu produktów wyraźnie przyspieszył przez wzgląd na niedobór siły roboczej i duże powierzchnie obsługiwanych magazynów (szczególnie tych należących do światowych gigantów).

Jednak, dla zapewnienia bezpieczeństwa, konieczne stało się zmniejszenie szybkości tych robotów, co obniżyło ogólną wydajność transportu i utrudniło efektywne zarządzanie magazynami. Nabrało to dużego znaczenia w dobie pandemii covid-19, która wywołała gwałtowny wzrost popytu na towary. I choć powstały przejścia i obszary przeznaczone dla robotów AMR, to problem nie został w pełni rozwiązany.

Nowe sterowanie NEC Corporation ma szansę ten stan rzeczy odmienić – jest to technologia sterowania stochastycznego, korzystająca z modeli stanowiących o wielu niepewnościach, np.: o błędach pomiarów czujników bądź różnicach między wartościami symulacyjnymi a rzeczywistymi (technologia ta jest oparta na metodach stosowanych w finansach aktuarialnych). W rezultacie roboty AMR mogą samodzielnie określać, z jaką prędkością się poruszać oraz jakie trasy obierać, by pokonany przez nie dystans był jak najkrótszy, dla przykładu – w miejscach bez przeszkód i ludzi prędkość robotów jest wysoka, a w odwrotnym przypadku jest ona mniejsza, przy jednoczesnym wzroście dystansu do pokonania (w celu eliminacji ryzyka spotkania przeszkód i ludzi). Rezultaty działania technologii są zdumiewające – czas potrzebny robotom na transport towarów został zmniejszony o blisko połowę, przy zachowaniu wymaganych poziomów bezpieczeństwa, bez wydzielonych stref (pozwala to stosować przywołaną technologię niewielkim kosztem). W przyszłości firma NEC Corporation będzie kontynuowała rozwój technologii, dążąc do jej natychmiastowego wprowadzenia w każdej branży.

https://bit.ly/3pd8NAZ



Słoneczna bateria litowo-jonowa niezależna od konwencjonalnej energii elektrycznej

W celu umożliwienia ładowania baterii bez energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł nieodnawialnych (m.in. gazu, ropy naftowej i węgla) naukowcy z indyjskiego Tata Institute of Fundamental Research stworzyli baterię litowo-jonową (Li-Ion) zawierającą światłoczułe materiały, dzięki którym wystarczy energia Słońca, by bateria ta działała w sposób nieprzerwany – wspomniane materiały stanowią jedną z jej elektrod.

Zastosowana na potrzeby baterii struktura dwusiarczku molibdenu (MoS_2) i tlenku molibdenu (MoO_x), pokazana na rysunku, zapewnia zwiększony wychwyt fotonów względem zwykłych ogniw fotoelektrycznych (dwusiarczek molibdenu stanowi źródło elektronów, które są generowane na skutek światła słonecznego, a tlenek molibdenu sprzyja powstaniu potencjału elektrycznego). Bazująca na tej strukturze bateria wykazała się stosunkowo dobrym działaniem, szczególnie przy zielonej diodzie LED. Jednak nie dało jej się w pełni naładować, gdyż wytwarzany przez wspomnianą strukturę prąd elektryczny okazał się za mały. Aby rozwiązać ten problem, konieczne są dalsze badania struktur światłoczułych, które mogą być elektrodami baterii. Prace nad integracją MoS_2 i MoO_x z anodą litową mogą w tym znacząco pomóc.

https://bit.ly/3pcf405

Przezroczysta antena macierzowa AoD (*Antenna on Display*) firmy Kreemo pracująca w zakresie częstotliwości 5G

Jest to pierwsze na świecie rozwiązanie, które zapewnia dookólny odbiór i nadawanie po montażu na dotykowym wyświetlaczu urządzenia (szczególnie jeśli jest to smartwatch, smartfon bądź tablet). Umożliwia

eprasa.pl 2897393b21

realizację polaryzacji poziomej (H) oraz pionowej (V). Dzięki integracji z ekranami OLED i LCD możliwe jest zagospodarowanie dotychczas zajmowanego w urządzeniach miejsca. Nowe rozwiązanie pracuje w pasmach: n257/n261, n258 i n260, które dotyczą standardu 5G.

Zdaniem wiceprezesa firmy Kreemo, Jun-ho Parka: „(…) technologia antenowa (…) z dookólną wiązką sygnałową zapewnia użytkownikom wydajne, stabilne połączenia, zapewniając realistyczne usługi oraz rozwój rynku metaverse". Wspomniana antena umożliwia odbieranie oraz wysyłanie różnych sygnałów, choć przy transmisji dużej liczby danych mogą nastąpić zakłócenia (w szczególności gdy urządzenie jest trzymane w ręku lub umieszczono je w podstawce). Za jej produkcję odpowiada przedsiębiorstwo Dongwoo-Fine Chem (partner firmy Kreemo). Oczekuje się, że antena ta stanie się uniwersalnym punktem odniesienia dla prężnie rozwijającego się rynku metaverse. Stąd mowa o zastosowaniach obejmujących urządzenia AR/VR i rozmowach Kreemo z 4 dużymi firmami w Ameryce Północnej w celu rozwoju oraz współpracy nad nowymi produktami, w tym przywołaną anteną, która jest bliska komercjalizacji. Jest to skalowalny wynalazek o dużym potencjale użycia. Więcej szczegółów o budowie tego rozwiązania można znaleźć na: https://bit.ly/3IoYPo0.

https://bit.ly/3BMhszu

Użyteczne tagi NFC Type 2 firmy STMicroelectronics z funkcjami prywatności i obsługą formatu ANDEF

Tagi NFC to układy ST25TN512 i ST25TN01K, które stanowią kompromis między wydajnością a kosztami w przypadku takich zastosowań jak: informacje o produktach czy ochrona marki. Są zgodne ze specyfikacją NFC Type 2 układy firmy STMicroelectronics obsługują wiele mechanizmów ochrony użytkownika i jego prywatności, w tym 7-bajtowy kod identyfikacyjny, podpis cyfrowy TruST25, trwałe blokady zapisu na poziomie bloku NFC Forum T2T i konfigurowalny tryb „KILL", który permanentnie dezaktywuje tag NFC.

Wspierany przez te układy format ANDEF (rozszerzenie formatu NDEF) umożliwia odczyt informacji bez potrzeby aktualizacji zawartości pamięci EEPROM (chodzi tu m.in. o niestandardowe wiadomości i kody stukane) oraz aktywację działań bez osobnych aplikacji (w szczególności przeglądarek). Zarówno ST25TN512, jak i ST25TN01K zawierają wbudowaną pamięć użytkownika o pojemności 208 B i odznaczają się wewnętrzną pojemnością elektryczną wynoszącą 50 pF, zakresem temperatury pracy od –40 do 85°C oraz częstotliwością pracy 13,56 MHz.

Obydwa układy są sprzedawane w obudowie DFN5 i mogą być stosowane w smartfonach bądź czytnikach, a także w branży miast inteligentnych oraz kontroli dostępu. Wytwarzane w najlepszym w swojej klasie procesie oferują wysoką wydajność przy długim czasie przechowywania danych.

https://bit.ly/3t8wcoF
https://bit.ly/3M19kA6
https://bit.ly/3hedwhG

Biosensingowa aplikacja firmy Roswell Biotechnologies z dziedziny elektroniki molekularnej

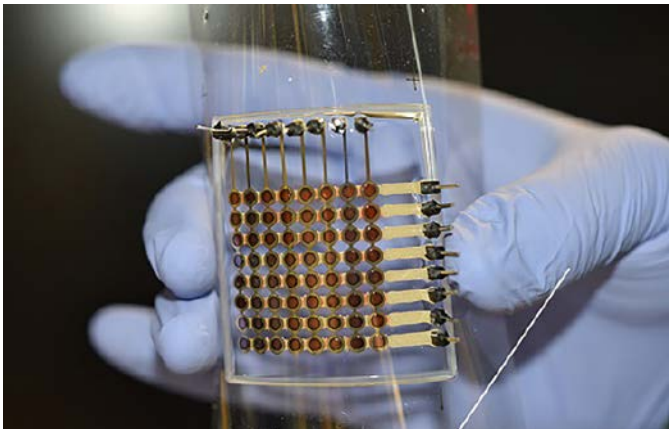
Zajmująca się elektroniką molekularną firma Roswell Biotechnologies oferuje nieduży układ ME1947 do zastosowań biosensingowych, razem z platformą Roswell Molecular Electronics (ME), która ten układ obejmuje – jest to rozwiązanie integrujące krzemowy chip z pojedynczymi molekułami, stanowiące wydajny, półprzewodnikowy biosensor skalowalny. W zależności od rodzaju zastosowanych molekuł przywołany układ jest w stanie wykrywać wybrane interakcje, w tym oddziaływania molekularne, przekładając je (w czasie rzeczywistym) na określone sygnały elektryczne. Wszystko to przy rozdzielczości na poziomie pojedynczych zdarzeń wiążących oraz szerokiej gamie zastosowań, wliczając w to odkrywanie nowych leków, diagnostykę molekularną i sekwencjonowanie.

Wiceprezes i dyrektor naukowy firmy biofarmaceutycznej UCB, dr Dhaval Patel, powiedział: „Innowacje w dziedzinie (…) leków są napędzane przez nowe spojrzenie na interakcję molekuł oraz nowe sposoby zwiększania skali badań molekularnych. Platforma Roswell Molecular Electronics ma wyjątkowy potencjał dla tych obu dziedzin dzięki (…) układowi biosensora molekularnego. Stanowi to rodzaj istotnego postępu technologicznego, który może przyspieszyć odkrycia nowych leków". Z kolei członkini Roswell Scientific Advisory Board, dr Sandra Louise Schmid, dodała: „(…) cel, jakim jest eliminacja wszystkich chorób w tym stuleciu, wymaga zarówno (…) postępów w (…) biologii, jak i nowych technologii wspierających zdrowie i (…) samopoczucie. Platforma Roswell Molecular Electronics oferuje nowe możliwości ułatwiające zrozumienie interakcji molekularnych".

Prezentacja układu ME1947 i platformy Roswell Molecular Electronics jest dostępna pod adresem: https://bit.ly/3sdOTbc

https://prn.to/3sWY4Mg

eprasa.pl 2897393b21



Cienki, elastyczny wyświetlacz OLED wykonany z użyciem wysokobudżetowej drukarki 3D

Jego autorami są naukowcy z Uniwersytetu Minnesoty, którzy w tym celu posłużyli się profesjonalnym drukiem 3D (jest to dobra wiadomość otwierająca drogę do budowy podzespołów elektronicznych tą metodą). Jak powiedział profesor Wydziału Inżynierii Mechanicznej wspomnianego uniwersytetu Michael McAlpine: „Chcieliśmy sprawdzić, czy można (…) wydrukować wyświetlacz OLED na naszej stołowej drukarce 3D, która została zbudowana na zamówienie i kosztuje mniej więcej tyle co samochód Tesla Model S".

Korzystając z dwóch różnych technik drukowania, na jednym urządzeniu udało się wyprodukować jednolicie świecące warstwy 64 pikseli wraz z izolacją, połączeniami wewnętrznymi i złączami wyświetlacza – dla pierwszych z nich zastosowano metodę natryskową (w pokojowej temperaturze otoczenia), podczas gdy dla reszty proces ekstruzji. Efektem jest prototyp o przekątnej ok. 1,5", który zdaniem doktora Wydziału Inżynierii Mechanicznej Uniwersytetu Minnesoty, Ruitao Su: „(...) wykazywał stosunkowo stabilne działanie przez 2000 cykli zginania, co sugeruje, że wyświetlacze takie jak nasz można stosować w elektronice giętkiej i urządzeniach noszonych – wearables".

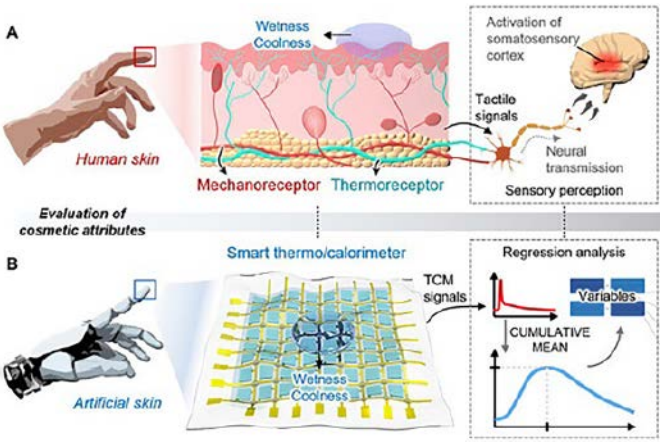
W przyszłości naukowcy planują druk wyświetlaczy OLED o wyższej rozdzielczości i jasności, który jak na razie jest poza zasięgiem przeciętnych użytkowników. Tym niemniej w opinii McAlpine'a: „(..) nietrudno sobie wyobrazić, że w ciągu kilku kolejnych lat będzie można przełożyć nasz pomysł na małe, przenośne drukarki w domu lub podróży".

https://bit.ly/3LUBcWl

Ponad 300 nowych, wtykowych złączek zasilających rodziny TBP w ofercie firmy CUI Devices

Złączki te są dostępne w wielu wariantach, które różnią się wielkościami i parametrami. Dzięki nim zasilanie urządzeń jest bezpieczne oraz gwarantowane. Wytrzymałość złączek jest wysoka i występują one w siedemnastu seriach (w obrębie rodziny TBP) jako komponenty o 2...24 wejściach. Złączki firmy CUI Devices są dostępne w trzech kolorach (niebieski, zielony, czarny), dwóch orientacjach (pionowa, pozioma), przy następujących rozstawach: 3,5, 5 i 7,62 mm i dozwolonych przekrojach przewodów: 12...28 AWG. Obciążalność prądowa złączek mieści się w przedziale 8...15 A (według normy UL) i 7, 8 lub 10 A (według normy IEC). Natomiast ich obciążalność napięciowa wynosi 300 V (według normy UL) oraz 250...1000 V (według normy IEC). Przewidziany dla rodziny TBP zakres temperatury pracy obejmuje przedział od –40 do 130°C. Podane przy parametrach wartości różnią się w zależności od serii i umożliwiają stosowanie złączek m.in. w automatyce, przemyśle i rozwiązaniach testujących. Trudne warunki środowiskowe są tym złączkom pisane.

https://bit.ly/3pfHia3



Inteligentny czujnik reakcji skórnych człowieka dla branży kosmetycznej i nie tylko

Przy współudziale południowokoreańskiej uczelni Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST) firma kosmetyczna Amorepacific opracowała funkcjonalny, czujnik, który bada ludzkie reakcje skórne dzięki uczeniu maszynowemu i technologii imitującej skórę człowieka. Jego mała grubość i znaczna elastyczność tylko sprzyjają zadaniom przewidzianym temu czujnikowi. Wytrzymując znaczny nacisk zewnętrzny, przytoczony czujnik może mierzyć i rozpoznawać wilgotność, temperaturę oraz rodzaj substancji, która występuje na skórze – jego istotę działania pokazano niżej (jest to detekcja odpowiednich sygnałów, których wartości są analizowane statystycznie).

Nowy czujnik umożliwi rozwój produktów do pielęgnacji skóry, których skład będzie mógł być dzięki niemu lepiej dobrany (w tym Amorepacific specjalizuje się od lat). Jak powiedział szef R&I Center w firmie Amorepacific Park Young-Ho: „Teraz jesteśmy w stanie dostarczać (…) wiarygodnych wyników przez porównanie odczuć chłodu i ciepła w kosmetykach, które są poddawane ocenom. Będziemy przy tym rozwijać zabezpieczenia danych przy użyciu zaawansowanej technologii oraz wprowadzać innowacje poprzez badania".

https://prn.to/3vemrHS

Wydajna, dwufazowa przetwornica step-down MAX77540 firmy Analog Devices do urządzeń zasilanych dwoma bateriami

W ofercie firmy Maxim Integrated (własność firmy Analog Devices) pojawiła się dwufazowa przetwornica step-down MAX77540 przeznaczona zasilanym przynajmniej dwiema bateriami urządzeniom takim jak: radiostacje LMR (*Land Mobile Radio*), słuchawki AR/VR (*augmented reality/virtual reality*) oraz aparaty fotograficzne DSLR (*Digital Single-Lens Reflex*). Dzięki sprawności dochodzącej do 94% (dla

eprasa.pl 2897393b21

napięć: VIN=7,6 V i VOUT=3,3 V) oraz obudowie 30-WLP o wymiarach: 2,51×2,31 mm (mniejszych o 61% w stosunku do klasycznych obudów), jest to wiodące na rynku rozwiązanie z dwoma wyjściami 3 A, które mogą pełnić funkcję pojedynczego wyjścia 6 A (w ramach dwóch faz przełączania).

Domyślna konfiguracja MAX77540 wymaga jedynie dwóch zewnętrznych rezystorów i interfejsu I²C zapewniającego zaawansowane sterowanie. Dopuszczalny zakres napięcia wejściowego wynosi 4...16 V i jest wystarczający do właściwej pracy przetwornicy, która generuje napięcie wyjściowe 0,5...5,2 V (jest to zakres obejmujący m.in. szyny USB-C i układy szeregowe dwóch/trzech baterii danego rodzaju). Układ pozwala na wybieranie częstotliwości przełączania (0,5; 1 bądź 1,6 MHz), monitorowanie częstotliwości zewnętrznego źródła zegarowego i rozpraszanie widma sygnału przełączającego – możliwości te pozwalają redukować zakłócenia elektromagnetyczne, jeśli jest taka potrzeba. Niewielkie rozmiary pozwalają stosować MAX77540 w ograniczonych wielkością aplikacjach. Przetwornica występuje w zestawie MAX77540 Evaluation Kit.

https://bit.ly/3JQrDpv
https://bit.ly/3IlcBrI
https://bit.ly/3pcuHEE

5 metrów niezwykle wytrzymałego paska zębatego

Wszelkie napędy stosowane np. w drukarkach 3D i robotach, jak i różne slidery do aparatów/kamer, plotery, urządzenia CNC i liniowe mechanizmy ruchowe, wymagają stosowania takich elementów. Pasek zębaty 83048, typu MXL od MakeBlock zawiera neopren, który sprzyja wymienionym aplikacjom i stanowi o wysokiej solidności paska, który nie ulega rozciąganiu nawet przy znacznych obciążeniach. Obecny w produkcie materiał zachowuje swoje własności, w tym elastyczność i sprężystość, mimo intensywnej bądź długotrwałej (liczonej w latach) eksploatacji. Dzięki temu wymianę paska można maksymalnie odłożyć w czasie. Wiele kół zębatych współpracuje z tym komponentem, na co pozwala kształt zębów o konstrukcji zwiększającej dokładność przesuwu paska (przekłada się to na lepszą efektywność pracy urządzeń, wynikającą z lepszego dopasowania kół do paska). Omawiany pasek zębaty ma szerokość 6,6 mm, jest w kolorze czarnym i jest lekki.

Specyfikacja paska zębatego 83048:

- rodzaj: MXL
- długość: 5 m
- szerokość: 6,6 mm
- materiał: neopren
- skok: 2,032 mm
- kolor: czarny

https://bit.ly/3Hg8Pyg

Piąta generacja technologii CAPSENSE firmy Infineon Technology

Nowa technologia jest integrowana w układach PsoC i odznacza się zwiększoną wydajnością oraz mniejszym zużyciem energii, a realizowane interfejsy stają się dzięki niej bardziej funkcjonalne. Umożliwia implementację takich funkcji jak: wykrywanie gestów i określanie kierunkowości dotyku. Dzięki autonomicznemu trybowi pracy nie potrzebuje procesora, a jej nowa architektura i różnicowa ścieżka sygnału zapewnia doskonałą odporność na zakłócenia.

Nowe rozwiązania są przeznaczone do wszelkich ekranów dotykowych w urządzeniach domowych i przemysłowych, m.in. dostępne

w płytach indukcyjnych, pralkach, suszarkach, lodówkach i piekarnikach. Technologia sprawdzi się też w systemach inteligentnych, takich jak zamki do drzwi, przełączniki, termostaty czy głośniki. Nową generację interfejsu można też stosować w przenośnych urządzeniach wearables i hearables. Jak powiedział wiceprezes IoT Compute and Wireless Business Unit w firmie Infineon Technologies, Steve Tateosian: „Jako lider pojemnościowego wykrywania dotyku, zbliżający się do czterech miliardów sprzedanych produktów, jesteśmy podekscytowani, że możemy zaoferować naszą piątą generację technologii CAPSENSE. Dzięki nowej architekturze odznacza się ona zwiększoną odpornością na szumy i stanowi solidne oraz niezawodne rozwiązanie dla interfejsów HMI, które sprawdza się w trudnych warunkach zarówno szumowych, jak i pogodowych oraz temperaturowych".

https://bit.ly/3JPJPjg

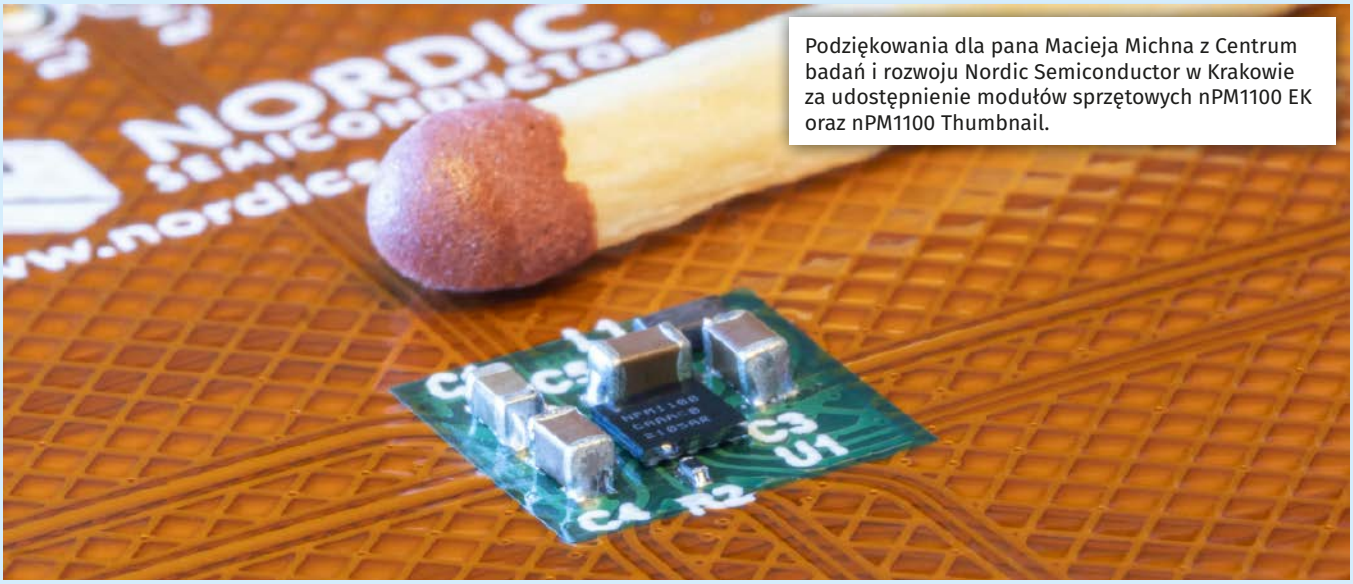
Komputer Raspberry Pi 4 jako konsola PlayStation 1

RF PiStation Case to wyjątkowa, mała obudowa, doskonale skrojona pod komputer Raspberry Pi 4. Ten związany z grami retro produkt stanowi hołd dla legendarnej konsoli gier, jaką jest bez wątpienia PlayStation 1 (PS1). Górna klapka obudowy, otwierana przyciskiem OPEN, stanowi schowek dla kart microSD, dla których slot umieszczono od spodu obudowy. Dostęp do wyprowadzeń komputerka jest gwarantowany, nie trzeba specjalnie wyjmować płytki. Całości dopełniają oryginalne przyciski POWER i RESET wraz ze skryptami bezpiecznego resetu i wyłączania komputera, a także dioda LED z przodu. W zestawie znajduje się śrubokręt i instrukcja ułatwiająca podłączanie i montaż obudowy.

https://bit.ly/3t2CENK

Jakub Tyburski
jakub.tyburski@wat.edu.pl

eprasa.pl 2897393b21



Podziękowania dla pana Macieja Michna z Centrum badań i rozwoju Nordic Semiconductor w Krakowie za udostępnienie modułów sprzętowych nPM1100 EK oraz nPM1100 Thumbnail.

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

Systemy dla Internetu Rzeczy (58)

Układ scalony zarządzania zasilaniem nPM1100

Układ nPM1100 to pierwszy kontroler zarządzania zasilaniem (PMIC) firmy Nordic Semiconductor, który łączy w sobie regulator napięcia zgodny z USB, ładowarkę akumulatorów Li-Ion/Li-Poly i przetwornicę obniżającą buck w bardzo małej obudowie. Układ ma bardzo niski prąd upływu (I_Q) i został zaprojektowany tak, aby zapewnić niezawodne zasilanie, stabilną pracę i maksymalną żywotność baterii dla wieloprotokołowych systemów SoC rodziny nRF52 i nRF53. Kompletne rozwiązanie zarządzania energią zajmuje tylko 23 mm² powierzchni PCB, razem z komponentami pasywnymi, co czyni go idealnym do urządzeń noszonych, urządzeń medycznych i innych aplikacji o ograniczonej przestrzeni.

Uzyskanie długiego czasu działania z baterii jest bardzo trudne, znacznie trudniejsze niż się wydaje i wymaga dobrego oprogramowania układowego, sprzętu i projektu. Należy dobrze rozumieć, w jaki sposób prądy spoczynkowe sumują się, powodując rozładowywanie baterii. Aby rozwiązać ten problem, Nordic Semiconductor opracował układy PMIC, które były historycznie zintegrowane z układami nRF52840, nRF5340 [S34] i nRF9160, a następnie włączył je do układu nPM1100 [1].

Konfigurowanie pracy układu nPM1100 wykonywane są przez wyprowadzenia wejściowe i nie wymagają programowania. Wejścia cyfrowe są dwóch rodzajów: wejścia statyczne (VTERMSET, VOUTBSET0, VOUTBSET1) – ich stan można zmieniać tylko przy wyłączonym układzie i wejścia dynamiczne (ISET, MODE) – stan można zmieniać także podczas pracy układu. Dwa wejścia dynamiczne (SHPACT, SHPHLD) oprócz zmiany poziomu uwzględniają jej czas.

Układ nPM1100 zawiera trzy główne elementy (**rysunek 1**): systemowy regulator napięcia (SYSREG), ładowarkę akumulatorów (CHARGER) i przetwornicę obniżająca (BUCK). Układ nPM1100 pracujący w trybie normalnym pobiera energię z wejścia USB (VBUS od 4,1 do 6,6 V) lub z wejścia akumulatora (VBAT od 2,3 do 4,35 V). Napięcie nieregulowane (500 mA, 3...5,2 V) jest dostępne na wyprowadzeniu VSYS a ustawiane napięcie regulowane (150 mA, 1,8; 2,0; 2,7 lub 3,0 V) na wyprowadzeniu VOUTB. Układ pozwala na wysoce sprawną pracę jako konfigurowalna przetwornica obniżająca i jednocześnie jako sterownik ładowania akumulatora.

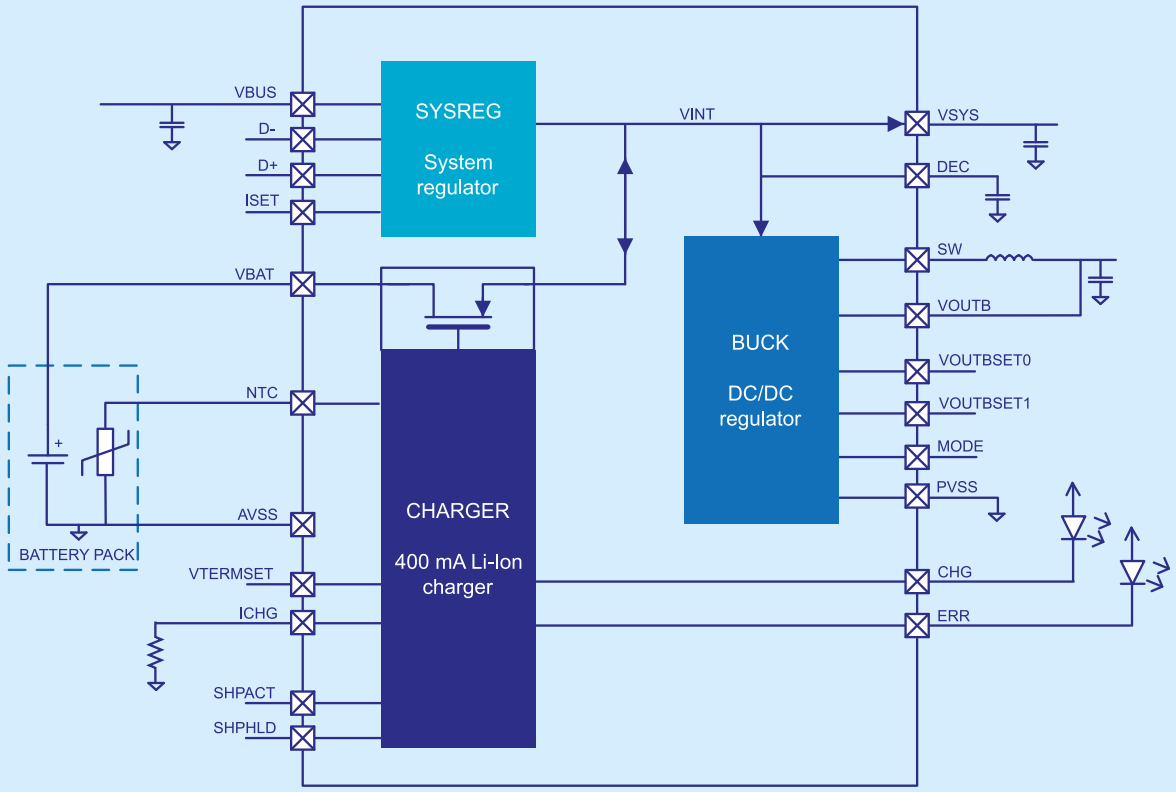
Systemowy regulator napięcia (SYSREG)

Systemowy regulator napięcia to układ LDO 5 V. Pobiera energię z wejścia VBUS i wyprowadza napięcie na wewnętrzną szynę systemową VINT, dostępną na wyprowadzeniu VSYS. SYSREG obsługuje szeroki zakres napięcia roboczego na VBUS (od 4,1 V do 6,7 V) i zapewnia ochronę podnapięciową (VBUSMIN) i przepięciową do 20 V. Dla typowych warunków następuje ograniczenie napięcia VSYS do poziomu 5,2 V.

Moduł SYSREG implementuje również konfigurowalne ograniczanie prądu pobieranego z VBUS (100 mA i 500 mA) oraz wykrywanie portu USB (SDP), portu ładowania (CDP) i portu ładowarki (DCP). W przypadku wykrycia SDP limit prądu VBUS jest ustawiony na 100 mA. Dołączony do układu nPM1100 mikrokontroler z interfejsem USB może negocjować limit 500 mA z hostem USB. Następnie podnosi limit prądu VBUS za pomocą GPIO dołączonego do wejścia ISET (poziom wysoki). Nazywa się to negocjacją portu USB. W przypadku

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie **https://ulubionykiosk.pl/media**

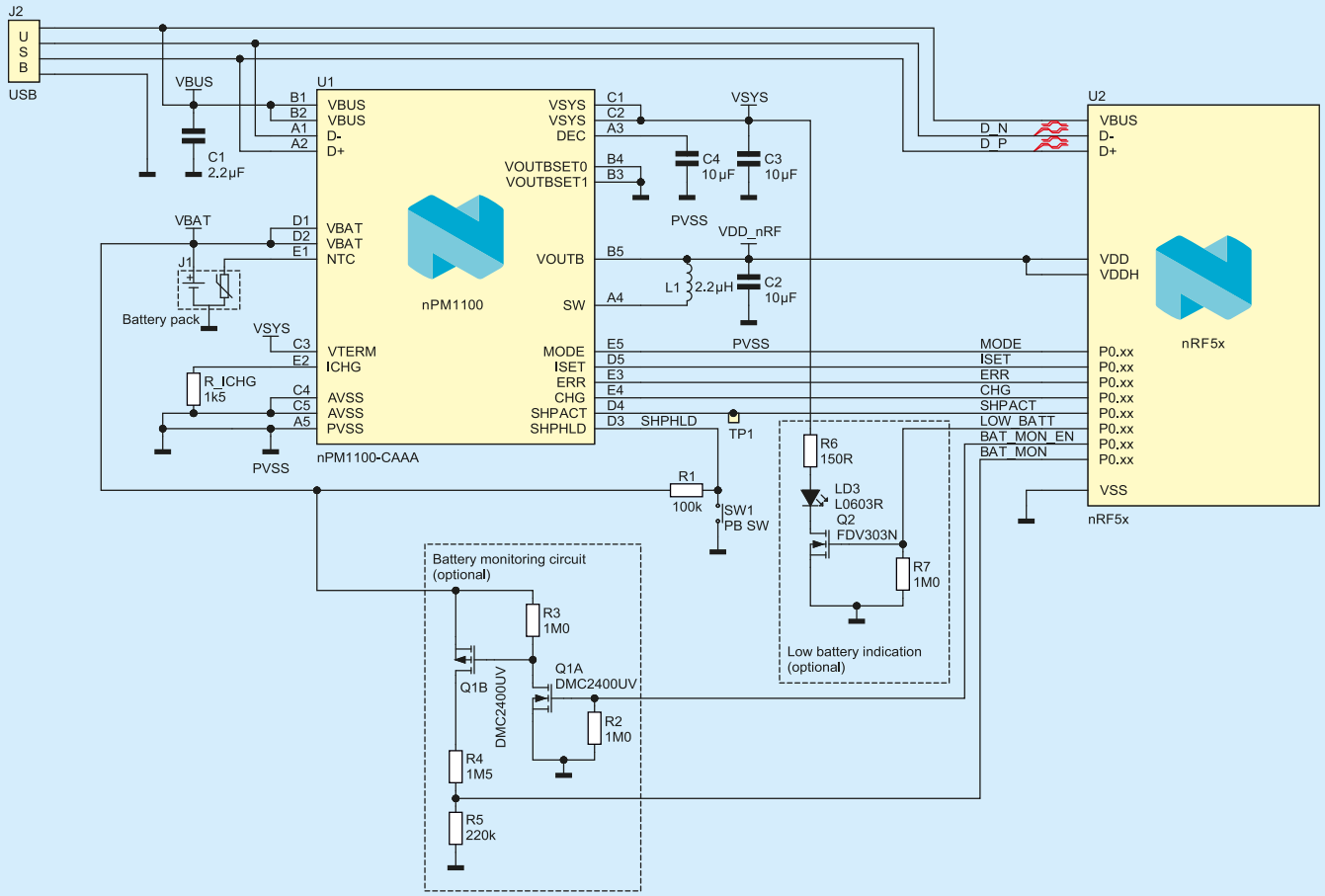
eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 1. Schemat blokowy układu nPM1100 [2]

wykrycia DCP/CDP limit prądu VBUS jest ustawiony na 500 mA. Możliwe jest skonfigurowanie urządzenia do ustawienia limitu prądu VBUS na 100 mA lub 500 mA za pomocą wejść ISET, D+ i D– z wyłączeniem wykrywania portu USB.

Gdy VBUS jest odłączony lub napięcie spada poniżej VBUSMIN (3,9 V typ.), to SYSREG izoluje VBUS od VINT. Gdy napięcie VBUS spadnie do VBUSULP (1,8 V typ.), to układ nPM1100 **przechodzi w tryb o bardzo niskim poborze mocy (ULP)**.



Rysunek 2. Typowy układ zastosowania układu nPM1100 [2]

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 2897393b21

Ładowarka akumulatorów (CHARGER)

Ładowarka akumulatorów jest układem liniowym ładowarki do akumulatorów Li-Ion/Li-Poly kompatybilnej z JEITA. Kontroluje cykl ładowania przy użyciu standardowego profilu ładowania Li-Ion. Ładowanie akumulatora rozpoczyna się po podłączeniu szyny VBUS i wykryciu akumulatora. Najpierw rozpoczyna się ładowanie podtrzymujące. Szybkie ładowanie rozpoczyna się, gdy napięcie akumulatora jest powyżej VTRICKLE_FAST=2,9 V. Gdy napięcie akumulatora osiągnie VTERM 4,1/4,2 V, ładowarka wchodzi w ładowanie ze stałym napięciem. Gdy prąd płynący do akumulatora spadnie poniżej ITERM (10% ICHG), ładowanie jest zakończone. Ładowarka czeka, aż napięcie akumulatora spadnie poniżej VRECHARGE przed rozpoczęciem nowego cyklu ładowania.

Prąd szybkiego ładowania ICHG (20 do 400 mA) jest ustawiany rezystorem (0 Ω do 30 kΩ) na wejściu ICHG. Napięcie końcowe ładowania VTERM można ustawić za pomocą stanu wejścia VTERMSET: niski 4,1 V, wysoki 4,2 V.

Ochrona termiczna akumulatora realizowana jest na dwa sposoby: korzystanie z akumulatora ze zintegrowanym termistorem NTC lub podłączanie termistora (10 kΩ, ≤20%.) między wejście NTC a masę. Termistor musi mieć kontakt termiczny z baterią, najlepiej gdy jest umieszczony w zestawie baterii. Aby zapewnić ochronę termiczną zgodną z normą JEITA, limit prądu ładowania i napięcie końcowe są regulowane zgodnie z pomiarem termistora NTC.

Ładowarka ma wyprowadzenia do dołączenia diod LED: CHG do sygnalizacji ładowania i ERR do sygnalizacji błędu ładowania (rysunek 1). Aby zmniejszyć pobór prądu, można wyprowadzenia dołączyć do wejść cyfrowych mikrokontrolera z lekkim podciąganiem (**rysunek 2**).

Dynamiczne zarządzanie ścieżkami zasilania (DPPM)

Dynamiczne zarządzanie ścieżkami zasilania (*Dynamic power-path management*) to funkcja, która reguluje napięcie wewnętrzne (VINT) w miarę zmian prądu obciążenia systemu przez styki VSYS i VOUTB.

Wymagania dotyczące obciążenia systemu mają pierwszeństwo przed prądem ładowania akumulatora, gdy podłączona jest magistrala VBUS i akumulator jest ładowany. Akumulator jest izolowany, gdy VBUS jest podłączony i akumulator jest w pełni naładowany. SYSREG dostarcza prądu do obciążenia, chyba że obciążenie przekracza limity SYSREG. Gdy VBUS jest odłączony, ładowarka przełącza się na zasilanie bateryjne.

Podczas ładowania, jeśli łączne obciążenie prądowe (ILOAD) na VINT (w tym prąd wejściowy BUCK) i VBAT (ICHG) przekracza prąd dostarczany przez SYSREG (ILIM), prąd ładowania akumulatora zmniejsza się, aby utrzymać napięcie VINT. Ładowarka akumulatorów zmniejsza prąd, aby utrzymać wewnętrzne napięcie: VINT=V(VBAT)+ VDROPOUT_CHARGER. Jeśli wymagany jest większy prąd, ładowarka wchodzi w tryb uzupełniania (Supplement mode), przełączając się na dostarczanie prądu z akumulatora aż do IBATLIM.

Jeśli cykl ładowania zakończy się, a ILOAD przekroczy ILIM, ładowarka podłącza akumulator i przechodzi w tryb uzupełniania, aby utrzymać VINT. Gdy VBUS i akumulator są połączone, maksymalne obsługiwane obciążenie to ILIM + IBATLIM. Gdy VBUS jest odłączony, ładowarka pobiera prąd dla VINT z akumulatora. W trybie uzupełniania lub gdy VBUS jest odłączony, napięcie VINT jest takie samo jak napięcie akumulatora.

Przetwornica obniżająca (BUCK)

Przetwornica obniżająca pobiera energię z wewnętrznej szyny systemowej VINT i dostarcza na wyjście VOUTB. Gdy VINT jest powyżej VSYSBUCKMIN, przetwornica BACJ jest włączona, a jej napięcie wyjściowe jest dostępne na VOUTB. Moduł ma dwa tryby pracy: histeretyczny i PWM. W trybie automatycznym (wejście MODE niskie) BUCK wybiera tryb histeretyczny dla prądów o niskim obciążeniu i tryb PWM dla prądów o wysokim obciążeniu. Maksymalizuje to wydajność w całym zakresie obsługiwanych prądów obciążenia. Tryb PWM (wejście MODE wysokie) zapewnia czyste zasilanie (zakłócenia <10 mVpp) dzięki stałej częstotliwości przełączania FBUCK (3,6 MHz). Zapewnia to optymalną koegzystencję z obwodami RF. Napięcie wyjściowe jest konfigurowane za pomocą wejść VOUTSET0 i VOUTSET1: 1,8; 2,0; 2,7 lub 3,0 V.

Power-on reset (POR) oraz Brownout reset (BOR)

Gdy spełniony jest jeden z poniższych warunków, następuje reset po włączeniu zasilania (POR, Power-on reset).

- napięcie VBUS wzrasta powyżej VBUSPOR (3,8 V),
- napięcie VBAT spada poniżej VBATPOR (2,5 V).

Aby zapewnić wyjście urządzenia ze stanu resetu, napięcie powinno być powyżej maksimum parametru.

Gdy oba poniższe warunki są spełnione, następuje reset po spadku napięcia (BOR, Brownout Reset).

Urządzenie jest utrzymywane w stanie Reset lub System OFF, gdy oba napięcia zasilania VBAT i VBUS są poniżej progów minimalnych.

Tryb wysyłkowy (SHIP)

Tryb wysyłkowy izoluje akumulator, zmniejszając prąd spoczynkowy. Układ nPM1100 ma „tryb wysyłkowy" SHIP, w którym zmniejsza pobór mocy (do 470 nA) podczas przechowywania/wysyłania do klienta. Wiele urządzeń nie ma prawdziwego przycisku/przełącznika Off, więc przed pierwszym użyciem powinny być wyłączone / włączone za pomocą przycisków miękkiego startu. Tryb wysyłkowy jest włączany w czasie produkcji – eliminując potrzebę stosowania zewnętrznego wyłącznika zasilania i zapewniając minimalny wpływ na żywotność baterii podczas transportu produktu.

Aby wejść w tryb Ship, na wejściu SHPACT musi być ustawiony poziom wysoki przez minimalny czas >200 ms. Szyna VBUS musi być odłączona, a wejście SHPHLD utrzymywane w stanie wysokim (rysunek 2). Wejście SHPACT ma wewnętrzny rezystor pull-down. Wejście SHIPACT może być podłączone do wyprowadzenia GPIO mikrokontrolera lub wyprowadzone na zacisku testowym płytki drukowanej.

Uwaga: Szyna VBUS musi być rozładowana poniżej minimalnego poziomu VBUSMIN (3,9 V), co może wymagać oczekiwania na rozładowanie kondensatorów przed aktywacją wejścia SHPACT. Istnieją dwa sposoby wyjścia z trybu SHIP: podłącz szynę USB (VBUS) albo ustaw wejście SHPHLD na poziom niski przez minimalny czas >200 ms. Utrzymywanie wysokiego poziomu SHPHLD jest realizowane przez rezystor 100 kΩ dołączony do VBAT. Jeśli tryb wysyłkowy nie jest wymagany, to wejścia SHPACT i SHPHLD mogą być połączone z masą.

Kluczowe cechy układu nPM1100

- regulator wejściowy zgodny z USB 4,1 do 6,6 V,
- ochrona przed wysokim napięciem 20 V,
- ładowarka akumulatorów Li-Ion/Li-Poly kompatybilna z JEITA 400 mA,
- regulowane napięcie wyjściowe do 150 mA,
- wydajność przetwornicy obniżającej (100 mA) 93,5%,
- obudowa WLCSP25 2,075×2,075×0,464 mm,
- temperatura pracy od –40°C do 85°C,
- możliwość realizacji dwuwarstwowej płytki drukowanej.

Układ nPM1100 charakteryzuje się bardzo niskim prądem spoczynkowym (I_Q) wynoszącym 800 nA (typ.), który można dodatkowo zmniejszyć do 460 nA w trybie wysyłkowym SHIP.

Typowe zastosowania

Przykład aplikacji z zastosowaniem nPM1100 i bezprzewodowego układu z rodziny nRF5xx (SOC) jest pokazany na rysunku 2. Każde urządzenie z serii nRF52 lub nRF53 z USB można skonfigurować

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 2897393b21

w taki sam sposób. Przykład dotyczy projektu o następującej konfiguracji i funkcjach:

- przetwornica BUCK zasila układ nRF5xx,
- jest możliwa negocjacja limitu prądu USB,
- monitorowanie stanu naładowania jest wykonywane za pomocą GPIO (ADC),
- konfiguracja ICHG i VTERM,
- termistor NTC w zestawie akumulatorów,
- tryb wysyłkowy SHIP.

Układ nRF5xx jest zasilany przez VOUTB 1,8 V. Tryb BUCK (MODE) jest kontrolowany przez GPIO. Obciążenie nie powinna być pobierane bezpośrednio z VBAT, ponieważ może to zakłócić proces ładowania akumulatora i spowodować nieprawidłowe działanie ładowarki. Zamiast tego do dostarczania zasilania należy użyć VOUTB i/lub VSYS. Napięcie końcowe jest konfigurowane na 4,2 V przez wejście VTERMSET. Prąd ładowania jest skonfigurowany do 200 mA (±10%) za pomocą rezystora 1,5 kΩ (1%) na wejściu ICHG.

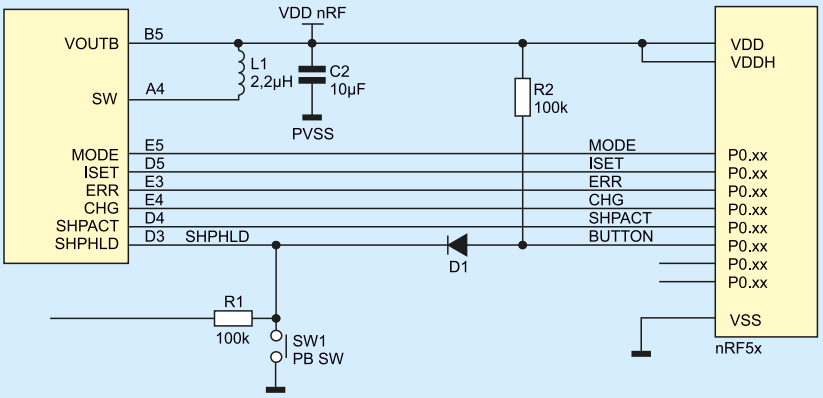
Tryb wysyłkowy jest włączany w czasie produkcji za pośrednictwem zewnętrznego obwodu dołączanego do punktu testowego TP1 (wymuszenie impulsu poziomu wysokiego). Przycisk SW1 umożliwia wyjście z trybu wysyłkowego.

Obwód monitorowania akumulatora umożliwia próbkowanie napięcia akumulatora przez przetwornik ADC układu nRF5xx. Tranzystory umożliwiają wykrywanie napięcia akumulatora poprzez dzielnik rezystancyjny. W przypadku braku próbkowania tranzystory zapobiegają upływowi prądu do masy. Obwód został zaprojektowany tak, aby zapewnić, że zakres napięcia na wejściu analogowym przy napięciu akumulatora mieści się w granicach wymaganych przez wejścia GPIO i ADC układu nRF5xx. Napięcie akumulatora od 2,8 V do 4,2 V jest skalowane w dół: od 360 mV do 540 mV. Jeśli oprogramowanie na nRF5xx wykryje, że akumulator jest słaby, to diodę LD3 można włączyć przez GPIO.

Układy Bluetooth Low Energy (Bluetooth LE) z układami SoC serii nRF5xx zawierające akumulatory Li-Ion/Li-Poly mogą stosować ładowarkę nPM1100 do ominięcia pierwszego stopnia wewnętrznego układu regulacji zasilania. Wejścia zasilania VDD i VDDH układu SoC są połączone ze sobą (rysunek 2). Wtedy wysoka wydajność przetwornicy BACK układu nPM1100 (150 mA) zwiększa prąd dostępny dla innych komponentów systemu z około 10 mA (z samym SoC) do 100 mA. Opis organizacji zasilania układów serii nRF52xx jest zamieszczony w poprzednim odcinku serii „Zestaw uruchomieniowy nRF52840DK" [S29]. Opis organizacji zasilania układów serii nRF52xx jest zamieszczony w poprzednim odcinku serii „nRF5340 – pierwszy procesor komunikacyjny SOC z dwoma rdzeniami ARM Cortex-M33" [S34].

Tryb wysyłkowy i wejście GPIO za pomocą jednego przycisku

Możliwe jest połączenie wejścia GPIO hosta i pinu SHPHLD, dzięki czemu pojedynczy przycisk może wyłączyć tryb wysyłkowy i zapewnić dane wejściowe użytkownika do hosta (**rysunek 3**) [3]. Dioda zabezpiecza domenę VOUTB o niższym napięciu przed napięciem akumulatora VBAT. Zapobiega również wyciekom z domeny VBAT do wyłączonej domeny VOUTB w trybie wysyłkowym. Należy dobrać diodę o niskim prądzie upływu wstecznego, ale wystarczająco niskim spadku napięcia w kierunku przewodzenia, aby SOC wykrył naciśnięcie przycisku, które zwykle powoduje obniżenie poziomu napięcia maksymalnie do 0,3×VDD. Na przykład, jeśli VDD jest ustawione na 1,8 V, Vf diody powinno być mniejsze niż 0,54 V.

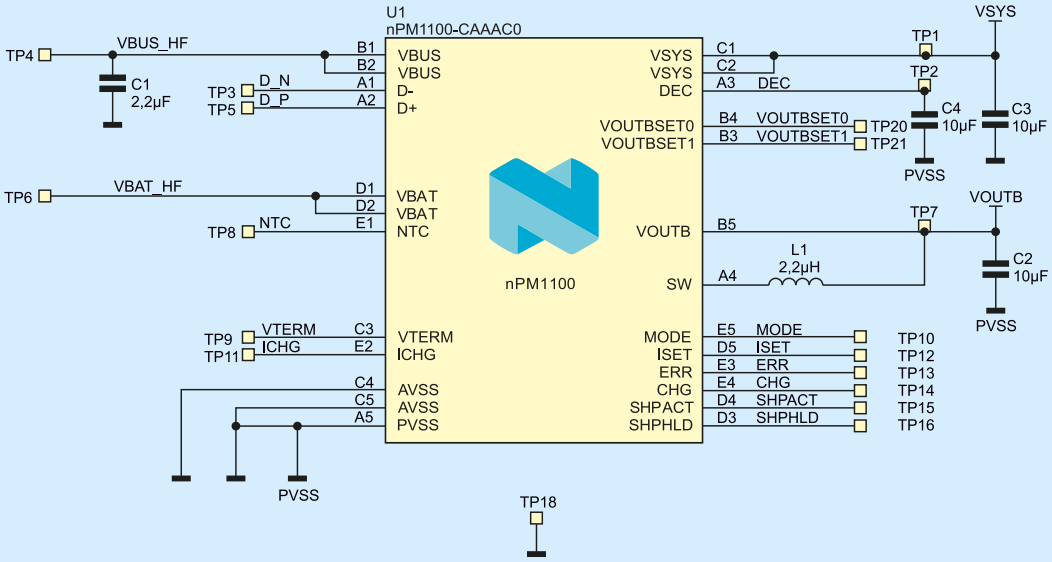


Rysunek 3. Wyłączanie trybu wysyłkowego jednym przyciskiem [3]

Zestaw ewaluacyjny nPM1100 EK

Zestaw ewaluacyjny nPM1100 EK (PCA10123) to narzędzie do pełnego testowania układu nPM1100 bez potrzeby tworzenia niestandardowego sprzętu. Na płytce nie ma programowalnej logiki, dlatego konfiguracja nie wymaga programowania do testowania pracy z istniejącymi aplikacjami sprzętowymi (**rysunek 4**). Widok płytki zestawu jest pokazany na zdjęciu tytułowym. Kluczowe cechy zestawu nPM1100 EK to:

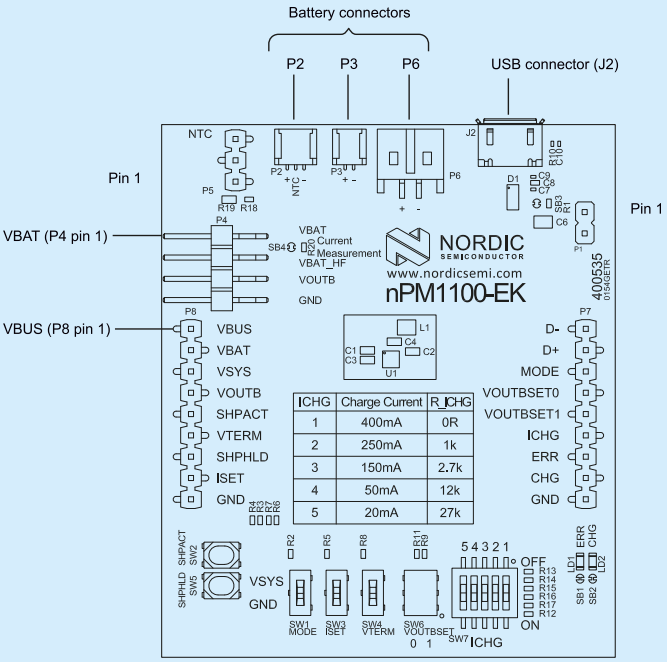
- układ scalony PMIC: nPM1100,
- ładowarka USB do akumulatorów litowo-jonowych/litowo-polimerowych,
- wysokowydajna przetwornica obniżająca BUCK,
- zasilanie z USB, złącza P1/P8 lub baterii,
- przełączniki DIP do ustawienia:
  - napięcia wyjściowego przetwornicy obniżającej VOUTBSET (SW6),
  - prądu ładowania ICHG (SW7),
  - napięcia zakończenia ładowania VTERM (SW4),



Rysunek 4. Schemat zestawu ewaluacyjnego nPM1100 EK (fragment) [4]

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

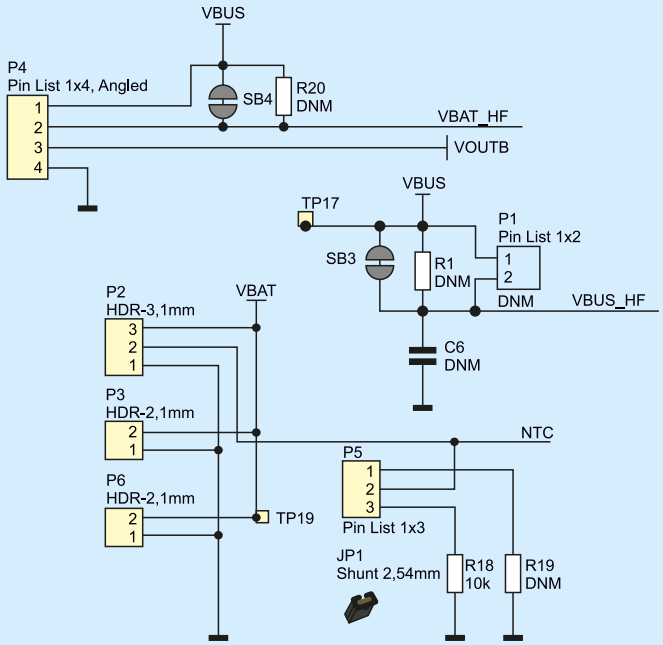
eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 5. Płytka zestawu ewaluacyjnego nPM1100 EK [5]

  - ograniczenia prądu USB ISET (SW3),
  - trybu pracy przetwornicy obniżającej MODE (SW1);
- przyciski do wchodzenia/wychodzenia z trybu SHIP: SHPHLD (SW5) i SHPACT (SW2),
- złącza do podłączenia do wyprowadzeń konfiguracyjnych (P7 i P8),
- złącza do pomiaru prądu (P4).

Zestaw nPM1100 EK zapewnia pełną elastyczność konfiguracji układu nPM1100 bez konieczności dokonywania jakichkolwiek modyfikacji sprzętowych. Zestaw obsługuje podstawowe wykrywanie typu portu USB w oparciu o specyfikację ładowania akumulatora USB. Alternatywnie ograniczenie prądu można kontrolować ręcznie za pomocą przełącznika. Przełącznik ograniczenia prądu może tylko obejść limit 100…500 mA w przypadku wykrywania standardowego portu odbiorczego (SDP). Nie może zastąpić ani ograniczyć portu ładowania 500 mA (DCP) do 100 mA.



Rysunek 6. Gniazdka konfiguracyjne zestawu ewaluacyjnego nPM1100 EK [4]

Zestaw nPM1100 EK jest wyposażony w elastyczny i konfigurowalny system zasilania, który umożliwia testowanie z różnymi źródłami zasilania i ułatwia dokładne pomiary mocy. Opcje zasilania to:

- gniazdko USB J2 (5,0 V),
- złącze VBUS P8, P1 lub P1, P1 (4,5...6,7 V),
- gniazdka do akumulatorów Li-Ion/Li-Poly P2, P3, P3, P2, P6, P2 lub złącze P4, P1 (2,5...4,2 V) (**rysunek 6 b**).

Uwaga:

- Używaj tylko jednego źródła zasilania naraz;
- Użyj gniazdka USB lub złącza VBUS do zasilania systemu i dostarczania energii podczas ładowania;
- Układ nPM1100 pobiera prąd z akumulatora, jeśli do szyny VBUS nie jest podłączone żadne zewnętrzne źródło zasilania;
- Przed podłączeniem akumulatora upewnij się, że biegunowość wtyczki akumulatora jest zgodna z gniazdkami P2, P3, P6 zestawu.

Przełącznik 5-biegunowy DIP SW7 może wybrać pięć zdefiniowanych wartości granicznych prądu – opis jest umieszczony na płytce drukowanej (**rysunek 5**). Odbywa się to poprzez ustawienie rezystancji pomiędzy wejściem ICHG oraz masą. Jednoczesne zamknięcie wielu przełączników zmniejsza rezystancję i zwiększa limit prądu. Inny limit prądu można ustawić, pozostawiając wszystkie przełączniki otwarte i wlutowując rezystor R12 o odpowiedniej wartości.

Układ nPM1100 zapewnia ochronę termiczną bazującą na temperaturze akumulatora za pośrednictwem wejścia NTC. W przypadku korzystania z zestawu akumulatorów ze zintegrowanym termistorem należy użyć gniazdka akumulatora P2 i pozostawić złącze P5 niepodłączone. Fabrycznie jest założona zworka P5, P1 i P5, P2 oraz nie jest wlutowany rezystor R19. Oznacza to brak połączenia.

W przypadku korzystania z zestawu akumulatorów bez wbudowanego termistora lub w przypadku korzystania z gniazdka P3, P6 lub złącza P8, P2, zamiast termistora można użyć wbudowanego rezystor 10 kΩ (R18) poprzez zwarcie styku P5, P2 i P5, P3. Opcjonalnie termistor można również zamontować na płytce w miejsce R19 oraz zewrzeć P5, P1 i P5, P2. Jeśli w akumulatorze nie ma termistora NTC, a styki złącza P5 nie są odpowiednio ustawione, to ładowanie akumulatora nie nastąpi i dioda CHG nie będzie się świecić.

Zestaw ma kilka mostków lutowniczych do włączania lub wyłączania funkcji. Zmiany w mostkach lutowniczych nie są potrzebne do normalnego użytkowania zestawu.

Pomiary prądu

Zestaw nPM1100 EK obsługuje monitorowanie prądu płynącego do modułu PMIC, do i z akumulatora oraz do aplikacji zewnętrznej.

Uwaga: Ładowarka akumulatorów zawiera automatyczną kontrolę ładowania podtrzymującego, która wprowadza ograniczenia dotyczące tego, jakie przyrządy do pomiaru prądu mogą być używane z VBAT.

Prąd można mierzyć za pomocą różnych przyrządów testowych. Oto kilka przykładów sprzętu testowego:

- analizator mocy, pomiar jednokierunkowy/dwukierunkowy,
- oscyloskop, pomiar dwukierunkowy,
- amperomierz, pomiar dwukierunkowy,
- zestaw Power Profiler II (PPK2) [6], pomiar jednokierunkowy.

Podstawowym wyjściem układu nPM1100 jest VOUTB. Główne źródło zasilania dla układu nPM1100 pochodzi z szyny VBUS. Zasilanie dodatkowe to z wyjścia ładowarki pobierane z wejścia VBAT (akumulator).

Wyprowadzenie VBUS układu nPM1100 jest dołączone do szyny VBUS_HF (P1, P2) (**rysunek 6 a**). Poprzez zworę SB3 (fabrycznie zwarta) i równoległy rezystor R1 (fabrycznie niewlutowany) jest ona połączona z szyną VBUS (P1, P1, P8, P1) dołączoną bezpośrednio do wyprowadzenia VBUS gniazdka USB (J2). Wyprowadzenie VBAT układu nPM1100 jest dołączone do szyny VBAT_HF (P4, P2) (**rysunek 6 c**). Poprzez zworę SB4 (fabrycznie zwarta) i równoległy

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie
https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 2897393b21

Tabela 1. Konfiguracje pomiarowe

Pomiar	VBUS	VBAT	VOUTB
Wyprowadzenie napięcia	P8.1, P1.1	P4.1, P8.2	P4.3, P8.4
Złącze pomiarowe	P1.1 – P1.2	P4.1 – P4.2	P4.3, P8.4
Mostek lutowniczy	SB3	SB4	
Rezystor szeregowy	R1	R20	
Zakres wartości	<100 mΩ	<100 mΩ	
Pomiar	Jednokierunkowy	Dwukierunkowy	Jednokierunkowy

rezystor R20 (fabrycznie niewlutowany) jest ona połączona z szyną VBAT (P4, P1, P8, P1) dołączoną bezpośrednio do wyprowadzeń gniazdek akumulatora P2, P3, P3, P2 i P6, P2 (rysunek 6 b).

Przygotowanie zestawu nPM1100 EK do pomiarów prądu

Zestaw nPM1100 EK jest fabrycznie skonfigurowany do bezpośredniej pracy. Złącze P1 (2,54 mm) oraz rezystory (SMD0402) R1, R19 i R20 nie są zamontowane. Podczas pomiarów prądu z zastosowaniem zestawu PPK2 nie są potrzebne zmiany na zestawie nPM1100 EK. Przykładowe konfiguracje pomiaru prądu są pokazane w **tabeli 1**.

Pomiar prądu VBUS można wykonać na różne sposoby:

- aby użyć złącza P1 do wykonywania pomiaru prądu na VBUS, należy przeciąć mostek lutowniczy SB3 zwierający ścieżkę PCB;
- aby użyć oscyloskopu do pomiarów, zamontuj rezystor szeregowy na R1 (SMD0402). Zalecana wartość rezystancji to 100 mΩ;
- aby przywrócić normalne działanie zestawu po pomiarach, zlutuj SB3, dodaj rezystor 0 Ω na R1 lub załóż zworkę na P1, P1 i P1, P2.

Pomiar prądu VBAT można wykonać na różne sposoby:

- aby użyć złącza P4 do wykonywania pomiaru prądu na VBAT, należy przeciąć mostek lutowniczy SB4 zwierający ścieżkę PCB;
- należy używać sprzętu do dwukierunkowego pomiaru prądu, ponieważ przepływ prądu w VBAT jest dwukierunkowy;
- funkcja automatycznego ładowania podtrzymującego wymaga, aby impedancja obwodu pomiarowego była stała i mniejsza/równa 100 mΩ. Multimetry z automatycznym ustawianiem zakresu mogą automatycznie zmieniać rezystancję w zależności od wybranego zakresu pomiarowego, co może prowadzić do wyzwolenia stanu błędu ładowarki;
- zamontuj rezystor szeregowy na R20 (SMD0402), aby użyć oscyloskopu do pomiarów. Zalecana wartość to 100 mΩ lub mniej;
- aby przywrócić normalne działanie zestawu po pomiarze, zlutuj SB4, dodaj rezystor 0 Ω na R20 lub załóż zworkę na złącza P4, P1 i P4, P2.

Do pomiaru prądu VOUTB należy podłączyć układ pomiarowy między VOUTB na złączu P4, P3 lub P8, P4 a obciążenie zewnętrzne.

Używanie oscyloskopu do pomiaru profilu prądu

Profil prądu akumulatora można zmierzyć na rezystorze bocznikowym za pomocą oscyloskopu z sondą różnicową. Spadek napięcia na rezystorze będzie proporcjonalny do przepływu prądu. Oscyloskop może następnie mierzyć średni prąd w określonym czasie i rejestrować bieżący profil.

Uwaga: Upewnij się, że przygotowałeś zestaw nPM1100 EK zgodnie z poniższym opisem.

1. Dla sygnału będącego przedmiotem zainteresowania zamontuj szeregowy rezystor bocznikowy o odpowiedniej rezystancji.
2. Podłącz oscyloskop w trybie różnicowym (lub podobnym) z dwiema sondami dołączonymi do wyprowadzeń złącza pomiarowego dla sygnału będącego przedmiotem zainteresowania.
3. Oblicz lub wykreśl chwilowy prąd na podstawie spadku napięcia na rezystorze, biorąc różnicę napięć zmierzonych na dwóch sondach. Spadek napięcia będzie proporcjonalny do prądu. Na przykład rezystor 100 mΩ spowoduje spadek o 0,1 mV na każdy 1 mA pobierany przez mierzony obwód.

Wykreślony spadek napięcia można wykorzystać do obliczenia prądu chwilowego. Prąd można następnie uśrednić lub zintegrować, aby przeanalizować zużycie prądu i energii w danym okresie.

Kilka wskazówek, jak zredukować szum pomiarowy:

- użyj sond pasywnych (lub aktywnej sondy różnicowej),
- włącz tryb uśredniania, aby zredukować przypadkowe szumy,
- włącz funkcję wysokiej rozdzielczości, jeśli jest dostępna,
- użyj próbkowania o częstotliwości minimum 200 kSa/s (jedna próbka co 5 µs), aby uzyskać prawidłowy średni pomiar prądu.

Używanie zestawu Power Profiler Kit II do pomiarów prądu

Podczas pomiarów prądu z zastosowaniem zestawu PPK2 [6] nie są potrzebne zmiany na zestawie nPM1100 EK. Za pomocą PPK2 można zmierzyć średni i chwilowy przepływ prądu [7]. PPK2 może pracować jako zasilacz dla nPM1100 EK lub jako amperomierz szeregowo między wyjściem nPM1100 EK a obciążeniem [7].

Pomiar prądu VBUS

W tej konfiguracji PPK2 pracuje w trybie źródła zasilania.

1. Używając 4-stykowego kabla pomiarowego, połącz PPK2 z zestawem nPM1100 EK za pomocą następujących złączy:
   - PPK2 GND do nPM1100 EK GND na P7, P9 lub P8, P9;
   - PPK2 VOUT do nPM1100 EK VBUS na P8, P1 (lub P1, P1).
2. Podłącz obciążenie do VOUTB P4, P3 i GND P4, P4 na nPM1100 EK. (w tym przykładzie nRF5340DK)
3. Podłącz PPK2 do komputera za pomocą kabla USB.
4. Uruchom aplikację Power Profiler.
5. Wybierz swój PPK2.
6. Wybierz tryb „Source meter".
7. Ustaw napięcie zasilania na wartość pomiędzy 4,5...5,0 V.
8. Włącz przełącznik „Enable power output" aby podać napięcie zasilania do nPM1100 EK.
9. Kliknij Start.

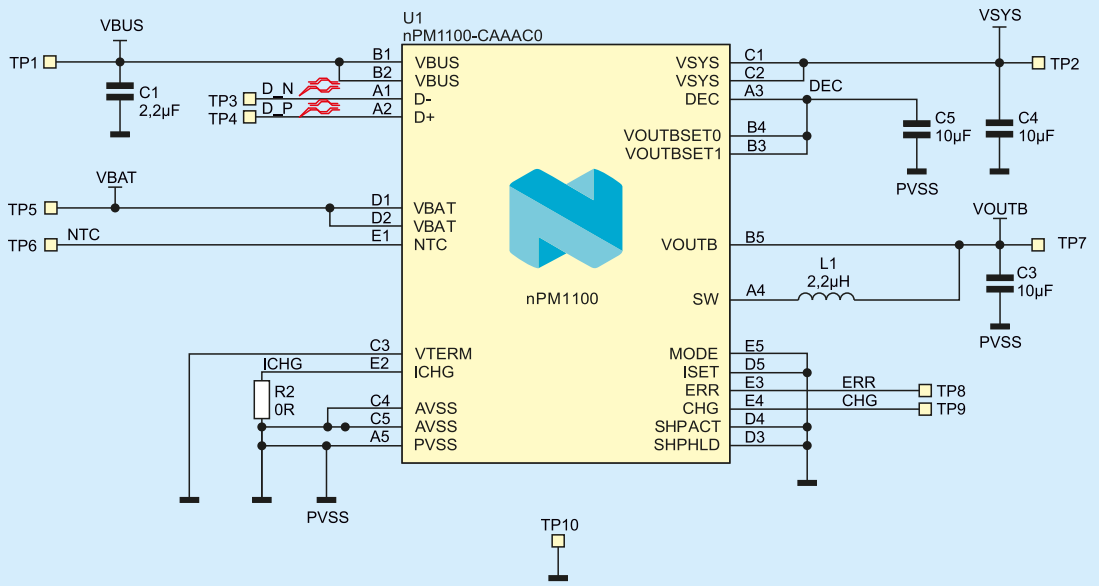
Pomiar prądu VBAT

W tej konfiguracji PPK2 pracuje w trybie źródła zasilania, zastępując akumulator.

1. Używając 4-$$stykowego kabla pomiarowego połącz PPK2 z zestawem nPM1100 EK za pomocą następujących złączy:
   - PPK2 GND do nPM1100 EK GND na P7, P9 lub P8, P9;
   - PPK2 VOUT do nPM1100 EK VBAT_HF na P4, P2.
2. Podłącz obciążenie do VOUTB P4, P3 i GND P4, P4 na nPM1100 EK (w tym przykładzie nRF5340DK).
3. Podłącz PPK2 do komputera za pomocą kabla USB.
4. Uruchom aplikację Power Profiler.
5. Wybierz swój PPK2.
6. Wybierz Miernik źródła jako tryb.
7. Ustaw napięcie zasilania na wartość pomiędzy 3,0...4,35 V.
8. Przełącz Włącz moc wyjściową, aby zasilić urządzenie nPM1100 EK.
9. Kliknij Start.

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 7. Schemat płytki nPM1100 Thumbnail [8]

Pomiar prądu VOUTB

W tej konfiguracji PPK2 działa w trybie amperomierza.

1. Używając 4-stykowego kabla pomiarowego, połącz PPK2 z zestawem nPM1100 EK za pomocą następujących złączy:
   - PPK2 GND do nPM1100 EK GND na P4, P4;
   - PPK2 VIN do nPM1100 EK VOUTB na P4, P3.
2. PPK2 VOUT do wejścia zasilania obciążenia.
3. PPK2 GND do GND obciążenia.
4. Podłącz PPK2 do komputera za pomocą kabla USB.
5. Podłącz urządzenie nPM1100 EK do źródła zasilania USB za pomocą kabla USB.
6. Uruchom aplikację Power Profiler.
7. Wybierz swój PPK2.
8. Wybierz amperomierz jako tryb.
9. Przełącz Włącz moc wyjściową, aby zasilić urządzenie docelowe (w tym przykładzie nRF5340DK).
10. Kliknij Start.

nPM1100 Thumbnail

Płytka nPM1100 Thumbnail (PCA20057) jest gotowym do pracy miniaturowym modułem z układem nPM1100 (**rysunek 8**) [8]. Schemat płytki dla wejścia i wyjścia jest bardzo zbliżony do schematu zestawu ewaluacyjnego nPM1100 EK (**rysunek 7**). Są one wyprowadzone na pola lutownicze rozmieszczone w standardowej siatce 100 milsów. Umożliwia to łatwe wlutowanie płytki nPM1100 Thumbnail do płytki prototypowej. Jednak wejścia sterujące układu scalonego mają ustawione na stałe poziomy napięciowe:

- ICHG: 0 V (R2) prąd szybkiego ładowania 400 mA;
- VTERMSET: 0 V napięcie końcowe ładowania VTERM 4,1 V;
- MODE: 0 V automatycznego wyboru trybu pracy ładowarki;
- ISET: 0 V ustawienia limitu prądu VBUS na 100 mA (dla SDP) lub 500 mA (dla DCP/CPD);
- SHPACT: 0 V brak możliwości wejścia w tryb SHIP;
- SHPHLD: 0 V brak możliwości obsługi trybu SHIP.

Ciekawe, że płytka ma rozkład elementów (**rysunek 9**) podobny, ale inny, niż w przypadku płytki nPM1100 EK (rysunek 5) [5] oraz przykładowego rozmieszczenia pokazanego w dokumentacji [2]. Istotne zalecenia dotyczące płytki i elementów są zamieszczone w dokumencie [3]. Płytka drukowana jest umocowana (taśma dwustronna) na kartoniku z narysowanym schematem sposobu jej podłączenia: USB, akumulator z termistorem, dwie diody LED i wyjścia (rysunek 8). Na odwrocie jest wydrukowana lista wyprowadzeń płytki z opisami funkcjonalnymi.

Praca z układem nPM1100

Zestaw nPM1100 EK z dołączonym akumulatorem LI-Ion 400 mAh 3,7 V został dołączony do ładowarki eXtreme USB typ-C + USB 3,1 A [9]. Zostały zastosowane fabryczne ustawienia konfiguracyjne, a prąd ładowania ICHG został ustawiony na 50 mA. Początkowe napięcie akumulatora wynosiło 3,7 V. Przebiegi napięcia podczas

Rysunek 8. Płytka nPM1100 Thumbnail

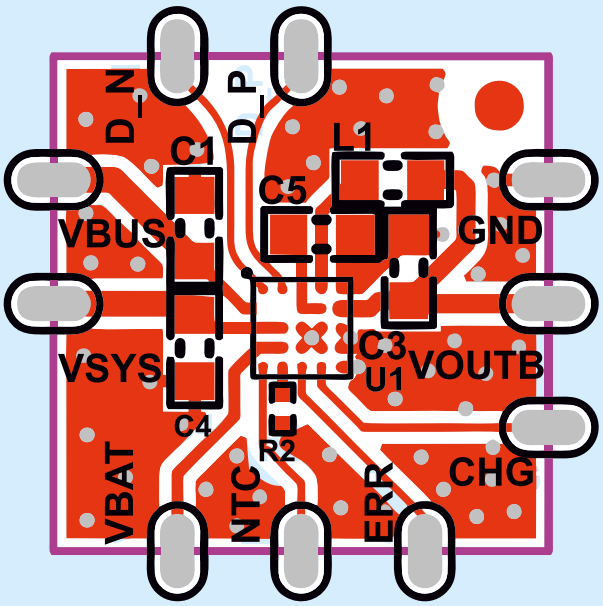
Wybrane artykuły kursu „Systemy dla Internetu Rzeczy" w miesięczniku „Elektronika Praktyczna":
[S29] Zestaw uruchomieniowy nRF52840 DK, EP 9/2019
[S34] nRF5340 – pierwszy procesor komunikacyjny SOC z dwoma rdzeniami ARM Cortex-M33, EP 2/2020

Literatura

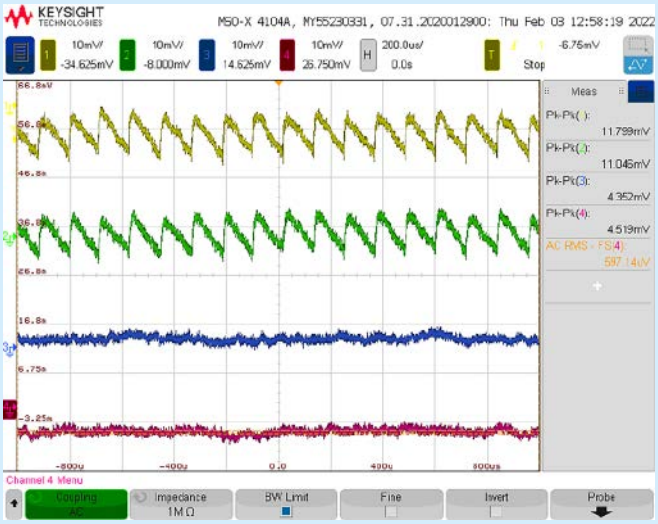
[1] nPM1100 Power Management IC, https://bit.ly/3vhVMKn
[2] nPM1100 Product Specification v1.0, 2021-05-20, https://bit.ly/3HeMzFa
[3] nWP040 – nPM1100 Hardware Design Guidelines, nWP-040, White Paper, 2021-05-27, https://bit.ly/3BJB8Eg
[4] nPM1100 EK, Evaluation Kit (PCA10123), https://bit.ly/3vde1k1
[5] nPM1100 EK Hardware v1.0.0 User Guide, 2021-09-28, https://bit.ly/352gC5P
[6] Power Profiler Kit II, https://bit.ly/3HhVQwa
[7] Power Profiler Kit II v1.0.1 User Guide, 2021-11-01, https://bit.ly/3IkKkS6
[8] nPM1100 Thumbnail (PCA20057), https://bit.ly/3Ix3tjT
[9] Ładowarka eXtreme USB typ-C + USB 3,1A, Kamami, https://bit.ly/3IgWYkN

Poprzednie części kursu i dodatkowe materiały dostępne są na stronie https://ulubionykiosk.pl/media

eprasa.pl 2897393b21



Rysunek 9. Rozmieszczenie elementów na płytce nPM1100 Thumbnail [8]



Rysunek 10. Praca zestawu nPM1100 EK z ładowarką USB

ładowania są pokazane na **rysunku 10**. Od góry: CH1 VBUS, CH2 VSYS, CH3 VBAT oraz CH4 VOUTB. Ładowarka ma niski poziom tętnień, lecz przenoszą się one na wyjście nieregulowane układu nPM1100. Napięcie na akumulatorze jest wolne od zakłóceń. Napięcie wyjściowe regulatora LDO jest zaskakująco czyste (pomiar z szerokim pasmem częstotliwości) i ma postać szumu białego.

Pewnym problemem jest sygnalizowanie tylko stanu ładowania akumulatora (wyjście CHG). Układ nie sygnalizuje stanu naładowania akumulatora ani stanu jego rozładowania.

Podsumowanie

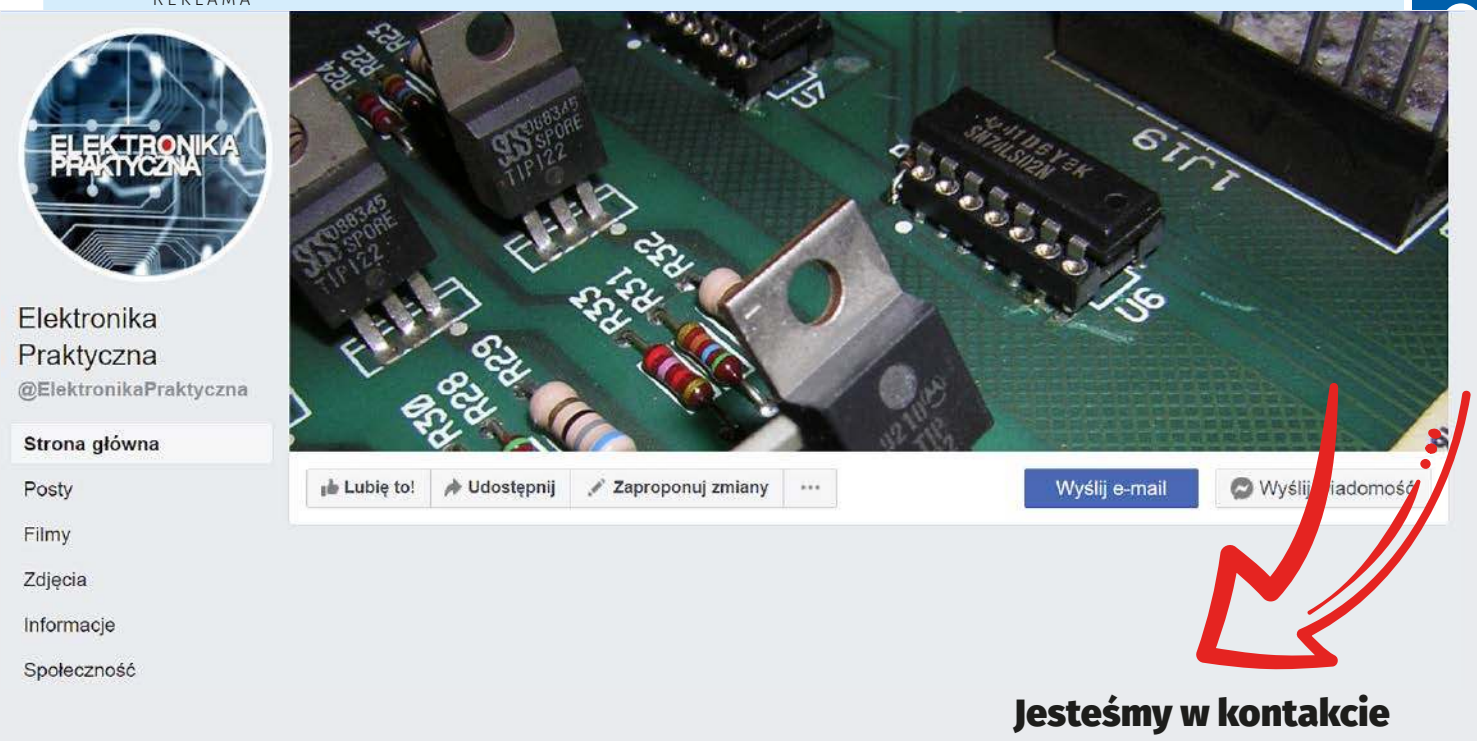
Wykonanie i zmontowanie dobrej płytki drukowanej z małymi, precyzyjnymi elementami nie jest łatwe. Jest to ważne dla układu próbnego lub krótkiej serii. Wtedy bardzo liczy się czas potrzebny do uruchomienia układu. Zwłaszcza jest to istotne, gdy kulki kontaktowe obudowy WLCSP25 układu nPM1100 mają odstęp 0,4 mm. Firma planuje jednak wersję w obudowie QFN, choć układ zajmie wtedy trochę więcej miejsca.

Pandemia trochę odpuściła pod koniec roku 2021 i odbyły się na jesieni targi „Evertiq". A dzięki temu była możliwość bezpośredniej rozmowy o nowościach z ciekawymi ludźmi różnych firm z dziedziny IoT. W ten sposób otrzymaliśmy od firmy Nordic Semiconductor płytki nPM1100 Thumbnail tak świeże, że nawet nie było dostępnej dokumentacji. Teraz już dokumentacja jest i można zobaczyć, jak to wygląda w środku. Tak naprawdę obszar zajmowany przez elementy jest dużo mniejszy niż rozmiar płytki (zdjęcie tytułowe). Sporo miejsca zajmują rozmieszczone na krawędziach pola lutownicze.

Praca z układem nPM1100 zaskoczyła bardzo skutecznym tłumieniem zakłóceń przez wewnętrzny regulator LDO. Ma to ogromne znaczenie przy zasilaniu układów scalonych z modułami radiowymi.

Henryk A. Kowalski
Instytut Informatyki
Politechnika Warszawska

REKLAMA



Jesteśmy w kontakcie

https://www.facebook.com/ElektronikaPraktyczna

eprasa.pl 2897393b21

Hity następnego numeru • „Elektronika Praktyczna” 4/2022

Regulowany zasilacz warsztatowy 30 V, 2 A sterowany z dotykowego wyświetlacza

Zasilacz powstał z myślą o zbudowaniu własnego zasilacza o dużej sprawności wyróżniającego się prostym sterowaniem za pomocą wyświetlacza dotykowego. Konstrukcja wyróżnia się na tle innych rozwiązań. Ogólna zasada działania zasilacza jest taka, że napięcie wyjściowe z transformatora 230 V/24 V, po wyprostowaniu w mostku prostowniczym, jest obniżane za pomocą przetwornicy typu BUCK do określonej wartości, ale nieco wyższej niż pożądane napięcie na wyjściu. Dokładna regulacja wartości napięcia wyjściowego przetwornicy do napięcia zadanego na wyjściu zasilacza odbywa się za pomocą tranzystora w układzie Darlingtona. Takie połączenie odznacza się wysoką dokładnością regulacji oraz dobrą sprawnością.

NFClock

Pomysł na zrealizowanie urządzenia powstał, gdy natknąłem się na wygodny moduł czytnika RFID/NFC firmy NXP pod postacią peryferium oznaczonego symbolem PN532. Integruje on specjalizowany układ o tej samej nazwie (mikrokontroler z rdzeniem 80C51 wyposażony w 40 kB pamięci ROM i 1 kB pamięci RAM) oraz cały interfejs RF. Moduł pozwala na wymianę danych (jednokierunkową lub dwukierunkową) z kartami i urządzeniami w standardzie RFID, a oprócz obsługi kart lub tagów RFID moduł pozwala również na dwukierunkową komunikację z urządzeniami NFC – np. telefonem komórkowym, a także wymianę danych między dwoma modułami w trybie P2P. Działanie urządzenia jest proste – w przypadku wykrycia karty/urządzenia NFC w pobliżu modułu czytnika system podejmuje próbę odczytania numeru UID. Jeśli numer jest na liście obsługiwanych przez urządzenie numerów UID i jeśli operacja taka kończy się powodzeniem, to załączana jest zielona dioda LED oraz przekaźnik K1 na czas 1,5 s.

Energooszczędny włącznik dotykowy

Urządzenia oszczędzające energię elektryczną stają się coraz bardziej popularne. I nie ma w tym nic dziwnego, ponieważ możliwość zasilania z baterii lub odnawialnych źródeł energii daje dużo większy zakres zastosowań. Prezentowany włącznik dotykowy można zainstalować w sposób całkowicie niewidoczny dla użytkownika, a do tego pobiera zaledwie kilka mikroamperów. Zadaniem układu jest załączenie wyjścia na zadany wcześniej czas po wykryciu dotknięcia. Jeżeli dotyk będzie trwał dłużej, impuls wyjściowy zostanie odpowiednio wydłużony.

Moduł podwójnego interfejsu Ethernet dla Raspbery Pi

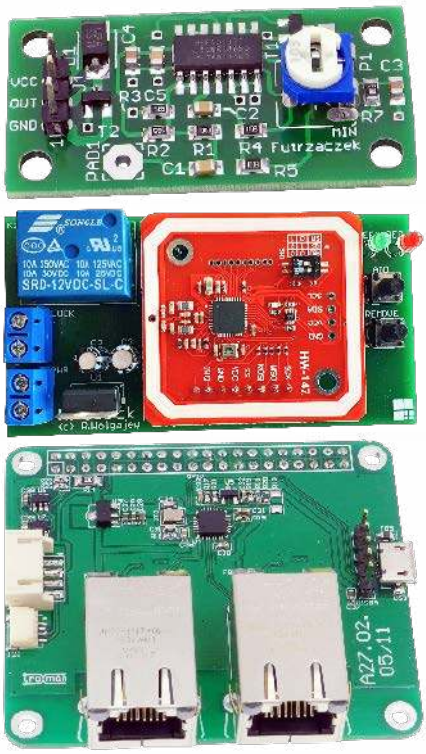
Podwójny interfejs Ethernet przyda się wtedy, gdy potrzebujemy mieć wpływ na ruch sieciowy np.: w systemie automatyki domowej, małym routerze, firewallu lub blokerze reklam na stronach www. Zaprezentowana nakładka jest rozwiązaniem względnie budżetowym, zapewniając jednak znacznie większą przepustowości od rozszerzeń bazujących na ENC28J60. Dzięki zastosowaniu typowych układów kontrolerów sieciowych, obsługiwanych przez system Linux i Windows, nie wymaga żadnych nakładów programistycznych dla zapewnienia działania sprzętu.

Wyłącznik czasowy z wejściem bistabilnym

Układ potrafi zewrzeć styki przekaźnika na zadany czas po wykryciu zmiany położenia styków pracujących bistabilnie. Układ reaguje na każdą zmianę stanu styków: zarówno na ich zwarcie, jak i rozwarcie. Jeżeli zatem istniejąca infrastruktura wykorzystuje wyłączniki bistabilne, czyli klasyczne włącz-wyłącz, to nie będzie konieczna jej wymiana. Wystarczy nacisnąć klawisz przełącznika, aby przekaźnik się załączył. To również dobry sposób na wandali, którzy celowo unieruchamiają klawisz przycisku monostabilnego w pozycji załączonej. W tym układzie załączenie następuje z chwilą wykrycia zmiany, więc ktoś musiałby ustawicznie, co kilkadziesiąt sekund, przełączać przycisk.

a ponadto tematy wiodące EP 04/2022:

- Elektronika w motoryzacji
- Oscyloskopy przenośne



Wykaz firm ogłaszających się w tym numerze „Elektroniki Praktycznej”

ADIRCAMS 49
AKSOTRONIK 27
ARMEL 9
BORNICO 13
COMPUTER CONTROLS 7
ELECTRO-WELLE 112
ELMAX 17
FAULHABER 15, 53
FERYSTER 9
GAMMA 9
HAMMOND 11
MICROCHIP 5
PIEKARZ 9
SATLAND PROTOTYPE 83
SEMICON 85
TME 51, 54
UNISYSTEM 44, 45

Miesięcznik **„Elektronika Praktyczna”** (12 numerów w roku) jest wydawany przez AVT-Korporacja Sp. z o.o. we współpracy z wieloma redakcjami zagranicznymi.

Wydawnictwo:
AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: redakcja@ep.com.pl, www.ep.com.pl

Redaktor Naczelny:
Damian Sosnowski

Redaktor Programowy, Przewodniczący Rady Programowej:
Piotr Zbysiński

Menedżer Magazynu:
Katarzyna Gugała

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Grzegorz Becker

Zespół marketingu i reklamy:
Katarzyna Gugała, tel. 22 257 84 64
Bożena Krzykawska, tel. 22 257 84 42
Grzegorz Krzykawski, tel. 22 257 84 60

Stali Współpracownicy:
Lucjan Bryndza, Nikodem Czechowski, Jarosław Doliński, Andrzej Gawryluk, Krzysztof Górski, Tomasz Jabłoński, Henryk Kowalski, Rafał Kozik, Michał Kurzela, Przemysław Musz, Szymon Panecki, Sławomir Skrzyński, Ryszard Szymaniak, Adam Tatuś, Jakub Tyburski, Robert Wołgajew

Uwaga!
Kontakt z wymienionymi osobami jest możliwy via e-mail, według schematu: imię.nazwisko@ep.com.pl

DTP i okładka:
MAD Sp. z o.o.

Redakcja strony internetowej www.ep.com.pl
MAD Sp. z o.o.

Prenumerata w Wydawnictwie AVT
www.ulubionykiosk.pl lub tel. 22 257 84 22 (godz. 10:00–14:00)
e-mail: prenumerata@avt.pl

Prenumerata w RUCH S.A.
www.prenumerata.ruch.com.pl
lub tel. 801 800 803, 22 717 59 59
e-mail: prenumerata@ruch.com.pl

Wydawnictwo AVT-Korporacja Sp. z o.o. należy do **Izby Wydawców Prasy**

Copyright AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
Projekty publikowane w „Elektronice Praktycznej” mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki Praktycznej”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej” jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice Praktycznej”.

Fotografia na okładce:
By MW AHM – Own work, CC BY-SA 4.0, https://bit.ly/3DjQBKn

eprasa.pl 2897393b21

ELECTRO WELLE

Robimy to kontraktowo Produkcja i montaż elektroniki

Działamy w obszarach:

- Dostawa obwodów drukowanych PCB
- Montaż automatyczny SMD
- Montaż THT (ręczny lub na fali)
- Montaż zgodnie z normą IPC-A-610-E
- Kontrola AOI, test X-ray
- Kompletacja podzespołów elektronicznych
- Montaż końcowy, testy funkcjonalne
- Lakierowanie obwodów drukowanych
- Kompleksowa obróbka przewodów (cięcie, odizolowywanie, zakuwanie)
- Produkcja szaf i obudów metalowych
- Prowadzenie magazynu \ logistyka

Bazując na wieloletnim doświadczeniu cały czas zwiększamy ilość usług z zakresu produkcji kontraktowej elektroniki. Realizujemy zamówienia od prototypów po produkcje wielkoseryjną. Cechuje nas elastyczność produkcji oraz terminowość realizacji zleceń.

Kontrola każdego etapu prac zwiększa jakość wykonywanych zadań. Współpracujemy z klientami z różnych branż rynku i regionów Polski i świata. Wspieramy wiedzą i pomagamy skutecznie ograniczyć koszty produkcji.

Zainteresowany? Sprawdź nas!
Napisz na: montaz@electro-welle.pl
i dowiedź się więcej
lub zadzwoń - 538 239 729

Znajdziesz nas pod adresem:
Electro-Welle
Marcinkowice 440 \ 33-393 Marcinkowice
www.electro-welle.pl

eprasa.pl 2897393b21