Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 42: Kompresja dźwięku PASC

JUNIOR



strona 74

ELEKTRONIKA dla wszystkich

nr 06/2026 (365) • czerwiec • www.elportal.pl

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

PROJEKTY dla elektroników

- Radiobudzik na Raspberry Pi, część 1
- Wielokanałowy regulator głośności, część 1
- Wysokiej jakości kompaktowy przedwzmacniacz mikrofonowy

DIY dla wszystkich

- Sznur migających światełek dekoracyjnych z Arduino
- Automatyczny szlaban rozpoznający numer rejestracyjny
- Udostępnianie danych z czujników przemysłowych w systemach Edge Computing z wykorzystaniem EdgeX

TUTORIALE

- Ekscytacje Maxa: Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 32
- Kick Start, część 9: poznajemy wzmacniacze operacyjne małej mocy
- Audio OUT: Płytki ze wzmacniaczami operacyjnymi, wersje do montażu powierzchniowego i przewlekanego

Radiobudzik na Raspberry Pi





Klucz do Kosmosu

ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
nr 05/2026 • cena: 19,90 zł (w tym 8% VAT)

Pomocna dłoń

automatykaB2B.pl

EP.com.pl
Największy portal dla elektroników konstruktorów



FIRMA PIEKARZ
CZĘŚCI ELEKTRONICZNE
przełączniki
półprzewodniki
złącza
przekaźniki
radiatory
obudowy
i wiele więcej...
www.piekarz.pl

eprasa.pl 39bd2886e9



FN-SWM10
Zgrzewarka do ogniw – spawarka punktowa z kolorowym wyświetlaczem i funkcją powerbank FNIRSI SWM10



FN-DPOS-350P
Dwukanałowy oscyloskop 350 MHz, FNIRSI DPOS350P



FN-2C53T
Dwukanałowy oscyloskop z multimetrem i generatorem 50 MHz FNIRSI 2C53T

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mierniki Testery FNIRSI

Rabat dla Czytelników EdW
przy zakupie podaj kod **EdW2505FN** **-3%**

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty **-6%**



FN-LCR-ST1
Miernik pęsetowy, tester elementów FNIRSI LCR-ST1



FN-LCR-P1
Tester elementów FNIRSI LCR-P1



FN-HRM10
Tester rezystancji wewnętrznej akumulatorów FNIRSI HRM-10



FN-G1200
Mikroskop cyfrowy G1200 z wyświetlaczem 7 cali, powiększenie ×1200, tryb foto/video



FN-DWS200-F245
Stacja lutownica 200 W z kolbą F245, FNIRSI DWS200



FN-1014D
Oscyloskop dwukanałowy 100 MHz; Generator sygnału DDS, FNIRSI 1014D

prenumerata

–15%
NA START
203,00 zł

–30%
po pierwszym roku prenumeraty
167,20 zł

–40%
po drugim roku prenumeraty
143,30 zł

–50%
po trzecim roku nieprzerwanej prenumeraty
119,40 zł

Odkryj korzyści z prenumeraty drukowanej – większe oszczędności z każdym rokiem!

Rozpocznij swoją przygodę z *Elektroniką dla Wszystkich*. Decydując się teraz na roczną prenumeratę drukowaną, otrzymasz nie tylko dostęp do najnowszych wydań, ale i **znakomity start dzięki zniżce 15%** na pierwsze zamówienie!

Prenumerata to nie tylko wygoda dostępu do treści, ale także sposób na znaczące oszczędności. Dołącz do grona naszych stałych czytelników i ciesz się coraz lepszymi warunkami.

Im dłużej jesteś z nami, tym więcej oszczędzasz:
- po roku nieprzerwanej prenumeraty zapewnimy Ci **30% rabatu** na kolejny rok,
- po dwóch latach wierności zaoferujemy **40% rabatu**,
- po trzech latach lojalności osiągniesz **najwyższy poziom rabatu – 50%!**

Jak otrzymać rabat za lojalność?
Zaloguj się na swoje konto prenumeratora na **www.UlubionyKiosk.pl** i zamów prenumeratę, korzystając z przycisku PRZEDŁUŻ w zakładce „Prenumeraty".

Przeglądaj wcześniej, płać mniej – postaw na e-prenumeratę!

Wybierz prenumeratę cyfrową PDF i ciesz się dostępem do czasopisma nawet 7 dni przed oficjalną premierą w kioskach. Oszczędzaj czas i pieniądze – skorzystaj z **rabatu 30%** na roczną e-prenumeratę w cenie 133,60 zł.

Dodatkowa oferta dla prenumeratorów wersji drukowanej: jeśli już subskrybujesz wersję papierową, możesz dokupić równoległe e-wydania w cenie 38,20 zł/rok – z niesamowitym **rabatem 80%**.

Zyskaj nieograniczony dostęp do zasobów dla pasjonatów elektroniki!

Tylko prenumeratorzy mają pełny dostęp do:
- cyfrowego archiwum *Elektroniki dla Wszystkich* na www.elportal.pl/archiwum
- projektów DIY+ na www.elportal.pl/diy

Zamów prenumeratę drukowaną lub e-prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl lub przez przelew na konto Wydawnictwa AVT, a po zaksięgowaniu wpłaty wyślemy Ci mailowo kod dostępu do portalu.

ARCHIWUM

DIY PLUS
tylko dla prenumeratorów

Zacznij korzystać z pełnych zasobów już dziś!

Zamów prenumeratę lub e-prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl/prenumerata
tel. 22 257 84 22 (godz. 10–14) | prenumerata@avt.pl | AVTKorporacja sp. z o.o. ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa
rachunek bankowy: 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013

ELEKTRONIKA dla wszystkich

Czerwiec 2026 • 06 (365)



8

Projekty dla elektroników:

Radiobudzik na Raspberry Pi, część 1 8
Wielokanałowy regulator głośności, część 1 18
Wysokiej jakości kompaktowy przedwzmacniacz mikrofonowy 30



18

Tutoriale:

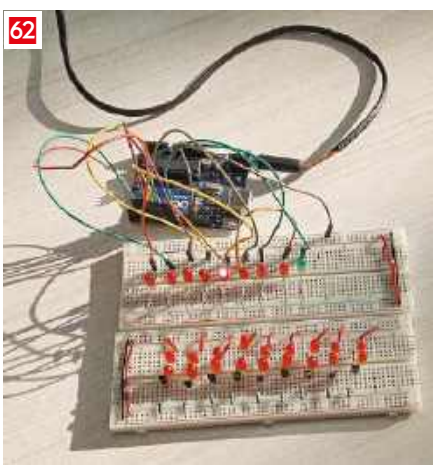
Ekscytacje Maxa:
Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 32 42
Edukacja w EdW dla szkół i uczelni.
Wykład 42: Kompresja dźwięku PASC 47
Kick Start, część 9: poznajemy wzmacniacze operacyjne małej mocy 52
Audio OUT: Płytki ze wzmacniaczami operacyjnymi,
wersje do montażu powierzchniowego i przewlekanego 58



30

DIY dla wszystkich:

Sznur migających światełek dekoracyjnych z Arduino 62
Automatyczny szlaban rozpoznający numer rejestracyjny 65
Udostępnianie danych z czujników przemysłowych
w systemach Edge Computing z wykorzystaniem EdgeX 68



62

Junior:

Dwudzieste czwarte spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 74
Na zdjęciu na okładce Dawid – Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

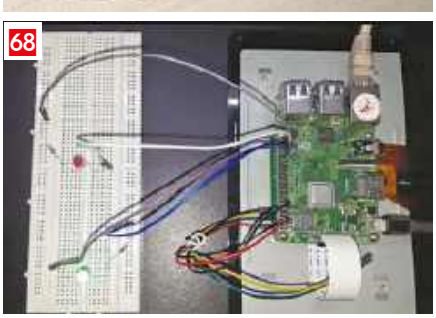
Raport z pracowni:

Klucz do Kosmosu 86

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów zamawiających prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl
Moduł elektronicznej wagi do OLEDUINO v2 90
Płytka sterująca silnikami elektromagnetycznymi
i prądu stałego do OLEDUINO v2 90

Rubryki stałe:

Prenumerata 3
Od redakcji 5
Poczta 7



eprasa.pl 39bd2886e9

A za miesiąc w lipcowym EdW



Komunikator laserowy
Czy da się przesłać głos wiązką lasera? Jak najbardziej. Prosty komunikator laserowy pozwoli transmitować mowę i muzykę za pomocą modulowanej wiązki światła, a przy okazji wprowadzi w podstawy elektroniki, optyki i techniki analogowej. Konstrukcja została zaprojektowana tak, by mogły ją zbudować nawet mniej doświadczone osoby rozpoczynające przygodę z lutowaniem. Dodatkową atrakcją będzie możliwość eksperymentowania z ustawieniem wiązki oraz obserwowania wpływu przeszkód i odbić światła na jakość transmisji.

Wielokanałowy regulator głośności, część 2
Czas uruchomić cały system w praktyce. Czekać nas będzie montaż modułów, konfiguracja sterowania oraz podłączenie wyświetlacza dotykowego. Układ będzie można obsługiwać za pomocą pilota IR, enkodera oraz opcjonalnego modułu OLED, dzięki czemu możliwe będzie wygodne sterowanie nawet rozbudowanym systemem audio. Pokazany zostanie sposób łączenia modułów oraz podstawowa konfiguracja całego układu. Nie zabraknie również wskazówek dotyczących uruchamiania i testowania urządzenia.

Raspberry Pi Clock Radio, część 2
Budzik, radio internetowe, odtwarzacz Bluetooth i centrum audio w jednym urządzeniu? W drugiej części projektu pokazana zostanie budowa kompletnego urządzenia opartego na Raspberry Pi oraz konfiguracja jego rozbudowanych funkcji. Całością będzie można sterować przez przeglądarkę z dowolnego urządzenia w sieci lokalnej. Opisana zostanie również konfiguracja alarmów, odtwarzania muzyki oraz synchronizacji alarmów pomiędzy kilkoma takimi samymi zegarami.

Dla studentów i uczniów:
garść technicznych tutoriali

Dla szukających inspiracji:
ciekawe projekty DIY

Dla najmłodszych:
kolejny zestaw z serii AVTEDU

W kioskach od 26 czerwca

Przyszłość zakorzeniona w przeszłości



Poprzedni wstępniak nawiązywał do utworu, który właściwie każdy kojarzy. Wystarczyło przeczytać kilka słów tekstu i natychmiast w głowie pojawiała się dobrze znana melodia oraz charakterystyczny głos. Są piosenki tak mocno zapisane w kulturze, że nawet po latach działają niemal automatycznie – niezależnie od tego, kiedy ostatnio słyszeliśmy je w radiu.

Przeglądając ostatnio różne ciekawostki z pogranicza historii muzyki i elektroniki – dziś momentami brzmiące już wręcz archaicznie – natknąłem się na utwór wyjątkowo futurystyczny jak na swoje czasy. W 1979 roku The Buggles nagrali „Video Killed the Radio Star" – piosenkę, która dla wielu była symbolem dziejących się wtedy zmian technologicznych i kulturowych.

Przyznam szczerze, że gdyby nie współczesne serwisy streamingowe i internetowe archiwa muzyczne, prawdopodobnie nigdy nie poznałbym tego utworu. A jednak trudno nie odnieść wrażenia, że twórcy trafili z obserwacjami znacznie dalej, niż sami mogli przypuszczać.

Utwór opowiadał o świecie, w którym sam dźwięk przestaje wystarczać. Dawniej liczył się głos, muzyka i wyobraźnia słuchacza. Później pojawiła się telewizja, teledyski i kultura obrazu, a artyści zaczęli być oceniani nie tylko przez pryzmat muzyki, ale również wyglądu i medialnej „wizualności". Przytoczone „Video killed the radio star" było więc czymś więcej niż tylko chwytliwym tekstem – stanowiło komentarz do technologicznej zmiany sposobu odbioru kultury.

Z perspektywy czasu widać, że nie była to jedynie historia o telewizji wypierającej radio. To raczej opowieść o procesie technologicznych zmian, który trwa właściwie nieprzerwanie do dziś. Najpierw telewizja zmieniła sposób odbioru muzyki i rozrywki, później Internet zaczął wypierać klasyczną telewizję, a dziś krótkie materiały i algorytmy coraz częściej dominują nad długimi formami oraz tradycyjnymi mediami.

Trudno zresztą nie zastanawiać się, co będzie dalej. Przez lata nauczyliśmy się przesyłać na odległość dźwięk, później obraz, a dziś właściwie całe cyfrowe doświadczenia. Jeszcze niedawno wideorozmowy wydawały się czymś futurystycznym, teraz są codziennością. Kto wie – być może za jakiś czas samo słyszenie i oglądanie przestanie wystarczać. Może kolejnym krokiem okaże się przesyłanie dotyku, zapachu albo innych wrażeń, które dziś wydają się jeszcze poza zasięgiem elektroniki użytkowej.

Trzeba mieć z tyłu głowy, że choć elektronika nieustannie ewoluuje, jej podstawy pozostają niezmienne, dlatego naprawdę warto je poznawać i zgłębiać. A nawet nie koncentrując się na efektach, można dostrzec, że już sama nauka bywa nie lada przygodą, co dobrze pokazuje zamieszczony w bieżącym numerze materiał poświęcony programowi Polskiej Agencji Kosmicznej „Klucz do Kosmosu".

A postęp dzieje się wszędzie. Kilka lat temu automatyczne rozpoznawanie tablic rejestracyjnych kojarzyło się raczej z infrastrukturą miejską i rozwiązaniami dostępnymi głównie dla dużych firm. Tymczasem dziś podobny system można zbudować przy własnym biurku i wykorzystać choćby do automatycznego sterowania bramą garażową. Somnath Bera pokazuje, jak połączyć kamerę, Raspberry Pi oraz bibliotekę OpenCV w praktyczny układ rozpoznający numery rejestracyjne pojazdów.

Ciekawym nowoczesnym projektem wywodzącym się z dalekiej przeszłości jest radiobudzik z cyframi wyświetlanymi na klasycznych segmentach LED. Nie dajcie się jednak zwieść pozorom – wewnątrz kryje się urządzenie komunikujące się z siecią LAN, Internetem, a nawet przystosowane do pracy w klastrze!

Być może właśnie dlatego elektronika pozostaje tak ciekawą dziedziną. Z jednej strony nieustannie pędzi do przodu, z drugiej regularnie wraca do własnych korzeni. Nowoczesne mikrokontrolery sterują dziś urządzeniami inspirowanymi rozwiązaniami sprzed dziesięcioleci, a Internet coraz częściej spotyka się z techniką, która jeszcze niedawno wydawała się całkowicie analogowa i „starej daty". Wbrew pozorom te światy wcale się nie wykluczają.

W numerze znajdziemy również wielokanałowy regulator głośności, nowoczesne układy audio, praktyczne adaptery wzmacniaczy operacyjnych, historię systemu PASC – mechanizmu percepcyjnej kompresji dźwięku, a także tematykę edge computing i wiele innych projektów pokazujących, jak płynnie współczesna elektronika potrafi łączyć przeszłość z przyszłością.

Obok zaawansowanych projektów w EdW jest zawsze miejsce dla młodszych adeptów elektroniki, których wcale nie trzeba wyciągać do kreatywnych zajęć „na siłę". Wystarczy bezpieczna przestrzeń i coś do wspólnej zabawy. Tym razem będzie to wirujący bączek – znów niby klasyczna zabawka, ale w bardzo współczesnym wydaniu!

Mariusz Ciszewski

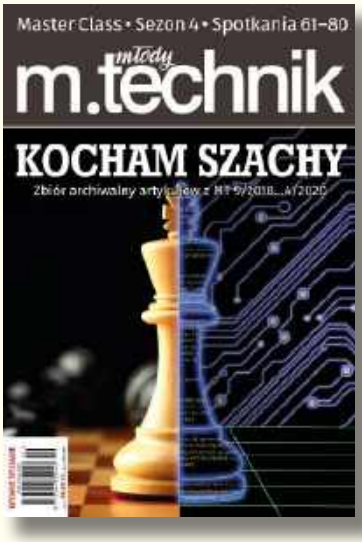
eprasa.pl 39bd2886e9

www.UlubionyKiosk.pl















pakiet promocyjny

KOCHAM SZACHY

7 e-booków z rabatem

50%

Dla prenumeratorów – 30% rabatu!

Promocja internetowa – w formularzu zamówienia online zaznacz pole „Jestem prenumeratorem wydawnictwa AVT, kupuję ze zniżką” i podaj swój numer prenumeraty.

eprasa.pl 39bd2886e9

W rubryce „Poczta” zamieszczamy fragmenty listów od Czytelników. Szczególnie chętnie publikujemy komentarze do artykułów w bieżących wydaniach EdW oraz propozycje tematów artykułów, zadań i quizów.

Centrala alarmowa AVT5252 i drugi manipulator

Witam,

Piszę w sprawie zapytania od p. Adama Małota.

Chciałem rozeznać się w kwestii dodania drugiego manipulatora, jednak nie mogę pobrać materiałów dodatkowych do tego artykułu – login i hasło wskazane w artykule już nie działają.

Czy istnieje jeszcze możliwość uzyskania dostępu do tych danych?

Być może dostępne są również pliki źródłowe w Bascom AVR albo Redakcji udałoby się uzyskać je od autora? Zwłaszcza pliki źródłowe znacznie ułatwiłyby rozbudowę oprogramowania lub przynajmniej pozwoliły ocenić, czy ma sens pisanie go od nowa.

Pozdrawiam

BZ

Red. Dziękujemy za wiadomość – to naprawdę świetna inicjatywa. Żywy ekosystem czytelniczy od lat definiował pismo EdW i wszystko wskazuje na to, że mimo upływu lat ten trend nadal będzie się utrzymywał. Bardzo cieszą nas sytuacje, w których Czytelnicy nie tylko budują projekty, ale też rozwijają je dalej, modyfikują i wymieniają się doświadczeniami.

Program źródłowy został umieszczony w materiałach dodatkowych do bieżącego numeru. Mamy nadzieję, że okaże się pomocny przy dalszej rozbudowie projektu i eksperymentach z drugim manipulatorem.

Pozdrawiamy
Redakcja EdW

Sprzęt dla kół zainteresowań

Szanowna Redakcjo,

od dłuższego czasu z dużym zainteresowaniem śledzę dział EdW Junior. Początkowo zwracałem uwagę głównie na same projekty i opisy montażu, ale z każdym kolejnym numerem coraz bardziej zacząłem przyglądać się również zdjęciom z zajęć i temu wszystkiemu, co dzieje się wokół tych zestawów. Widać, że to nie jest tylko „kurs lutowania”, ale coś znacznie większego – regularna praca z młodzieżą, wspólne spotkania, rozmowy i chyba po prostu dobra atmosfera.

Jeśli dobrze policzyłem, w czerwcowym wydaniu pojawi się już 24 część cyklu. To oznacza, że takie zajęcia muszą odbywać się od co najmniej dwóch lat. I właśnie to mnie zaciekawiło. Jak często organizowane są takie spotkania? Czy młodzież nadal chce w tym uczestniczyć? Pytam całkiem serio, bo patrząc z boku można odnieść wrażenie, że elektronika i technika wciąż potrafią przyciągać młodych ludzi, jeśli tylko ktoś pokaże je w odpowiedni sposób.

I tu przechodzę do sedna mojego listu.

Czy znają Państwo podobne inicjatywy związane z sieciami komputerowymi albo składaniem starszych komputerów PC – takich, które dziś spokojnie można już nazwać retro? Pytam dlatego, że od lat gromadzę różny sprzęt komputerowy i sieciowy. Kiedyś było to moje wielkie hobby, dziś zawodowo zajmuję się już trochę innymi tematami i, paradoksalnie, po pracy człowiekowi coraz trudniej znaleźć czas na własne zainteresowania.

Mam więc sporą kolekcję starszych komputerów, kart rozszerzeń, zasilaczy, routerów i switchy. Większość z nich nie ma dziś praktycznie żadnej wartości materialnej. Dla wielu osób to po prostu elektrośmieci. A ja coraz częściej myślę, że może taki sprzęt miałby większy sens jako wyposażenie jakiegoś kółka zainteresowań niż jako zawartość kontenera na złom.

Szczególnie szkoda mi starego sprzętu komputerowego i sieciowego. Mam między innymi sporą kolekcję switchy i routerów 10/100 Mb/s, które technologicznie odchodzą już do lamusa, ale przecież do nauki działania sieci komputerowych nadal nadają się znakomicie. Choć współczesne sieci oferują dziś wielokrotnie większe przepustowości, starsze urządzenia Ethernet i Wi-Fi nadal mogą poprawnie współpracować z nowoczesną infrastrukturą dzięki zachowaniu zgodności standardów, szczególnie w warstwie fizycznej i warstwie łącza danych. Dzieciaki mogłyby własnoręcznie zarabiać przewody, budować małe sieci lokalne, uczyć się konfiguracji urządzeń, sprawdzać połączenia i po prostu zobaczyć, że Internet nie bierze się z „powietrza”. To, czego nauczą się podczas takich zajęć – zarówno w teorii, jak i w praktyce – mogą później wykorzystać nie tylko podczas budowy sieci komputerowej we własnym domu, ale być może także kiedyś w przyszłej pracy zawodowej. Sam, mając kilkanaście lat, bardzo chciałbym trafić na podobne zajęcia. Nigdy nie miałem takiej możliwości. Oczywiście wielu rzeczy nauczyłem się samodzielnie, ale przypuszczam, że znacznie więcej i zdecydowanie szybciej można opanować podczas ciekawych zajęć organizowanych przez kogoś, kto naprawdę ma do tego pasję i trochę wolnego czasu.

Może właśnie dlatego dziś coraz bardziej doceniam ludzi, którzy potrafią poświęcić swój czas, aby zainteresować młodzież techniką, elektroniką czy informatyką. Takie rzeczy naprawdę potrafią zostać z człowiekiem na całe życie.

Jest też i drugie oblicze tego tematu. Z własnej młodości pamiętam, że pozostawienie młodych ludzi samym sobie nie zawsze kończy się dobrze. Nie będę tego rozwijał, bo chyba każdy nosi z tamtych lat jakieś własne wspomnienia – nie zawsze najlepsze. Powiem tylko tyle, że osoby potrafiące rozbudzać zainteresowania i pasje są po prostu potrzebne. Czasem znacznie bardziej, niż może się wydawać. Dlatego pomyślałem, że jeśli istnieją ludzie, którzy chcieliby prowadzić z młodzieżą takie zajęcia, a jednocześnie brakuje im sprzętu, to bardzo chętnie część zgromadzonych sprzętów przekazałbym na taki cel, najchętniej osobom z Kotliny Kłodzkiej. Starszego typu podzespoły komputerowe, routery, switche – wszystko, co mogłoby jeszcze dostać drugie życie jako pomoc edukacyjna. Kto wie, może z takich zajęć wyrośnie kiedyś kolejny pasjonat retrokomputerów klasy PC albo administrator sieci. Każde konstruktywne zainteresowanie jest lepsze niż brak jakiegokolwiek. Kiedy człowiek siedzi w jednym miejscu i nie ma co robić, do głowy przychodzą różne pomysły. Nie zawsze najlepsze. A sprzęt, nawet ten starszy, daje tu spory potencjał na zrobienie czegoś pożytecznego. Może akurat ktoś chciałby poprowadzić takie zajęcia przy szkole, świetlicy środowiskowej, lokalnym ośrodku aktywności dla dzieci i młodzieży, a może w placówce opiekuńczej czy wychowawczej? Myślę, że to byłby całkiem fajny pomysł na lokalny wolontariat.

Mam też nadzieję, że w świecie, w którym dziś żyjemy, nadal można jeszcze po prostu legalnie i normalnie przekazać drugiej osobie starszy sprzęt, który ma wartość bardziej edukacyjną niż materialną.

Pozdrowienia z kotliny

Marcin z okolic Kłodzka, blackdragon8904@o2.pl

Red. Szanowny Panie Marcinie,

Dziękujemy za bardzo ciekawy i ważny list. Cieszy nas, że dostrzega Pan w EdW Junior nie tylko same projekty, ale również wartość wspólnych zajęć i pracy z młodzieżą. Takie inicjatywy rzeczywiście mają sens i potrafią zostawić trwały, pozytywny ślad. Zajęcia, o które Pan pyta, odbywają się głównie w Szkole Podstawowej nr 86 we Wrocławiu w ramach wolontariatu – w każdy poniedziałek przez dwie godziny. Trwają już od ponad trzech lat, a więc rozpoczęły się na długo przed powstaniem sekcji EdW Junior. I – co chyba najważniejsze – temat wciąż cieszy i absorbuje młodzież.

Jeśli wśród Czytelników są osoby prowadzące podobne zajęcia lub planujące stworzenie lokalnych kół zainteresowań, świetlic technicznych czy warsztatów dla młodzieży – zachęcamy do kontaktu z Redakcją, a w szczególności dzielenia się własnymi doświadczeniami w ramach rubryki „Poczta”. Dotyczy to również osób, które podobnie jak Pan Marcin, posiadają starszy, ale nadal wartościowy edukacyjnie sprzęt elektroniczny i chciałyby przekazać go do dalszego wykorzystania. Forma ewentualnego dalszego wykorzystania sprzętu pozostaje oczywiście kwestią indywidualnych ustaleń zainteresowanych osób.

Kto wie – być może z takich kontaktów wyniknie coś naprawdę dobrego?

eprasa.pl 39bd2886e9

Radiobudzik na Raspberry Pi, część 1



Przez ponad pięćdziesiąt lat codziennie budził mnie monofoniczny dźwięk Lo-Fi radia z budzikiem. Kiedy musiałem wstać wcześnie rano, żeby zdążyć na samolot, martwiłem się, że podczas ustawiania budzika przypadkowo pomylę AM i PM, a czasami tak się faktycznie działo. Dwa razy w roku mój stary budzik wymagał przestawienia na czas letni, a kiedy wyłączało się zasilanie, wyświetlał godzinę 12:00. Postanowiłem to wszystko naprawić!

Nowoczesny budzik może brzmieć świetnie, wskazywać dokładny czas i obsługiwać wiele alarmów. Ustawienia alarmu powinny obejmować dni tygodnia, godzinę, a użytkownik powinien mieć możliwość wyboru dźwięku każdego alarmu, czasu trwania, głośności oraz tego, czy ma to być jednorazowy alarm, czy będzie się powtarzał w nieskończoność.

Nie ma już żadnego powodu, dla którego trzeba by było ręcznie ustawiać czas w zegarze. Można go precyzyjnie pobrać przez Internet, a korekty związane z czasem letnim i sekundami przestępnymi są przeprowadzane automatycznie. Ponadto, jeśli zegar ma głośniki i połączenie bezprzewodowe, dlaczego nie miałby obsługiwać strumieniowego przesyłania dźwięku z sieci LAN, Internetu lub smartfona?

Opisany dalej projekt jest oparty o Raspberry Pi i obsługuje wszystkie „wymarzone", wymienione wyżej funkcje oraz wiele innych. Może nawet wstrzymać lub wyłączyć alarm na zegarze Twojego partnera!

Raspberry Pi to świetna platforma, ponieważ wiele wymaganych funkcji jest już wbudowanych. Poza tym wielu z nas ma już jedno lub dwa Raspberry Pi, które zbierają kurz i czekają na dobre wykorzystanie!

Opisane w artykule niestandardowe urządzenie, jakim jest radiobudzik może współpracować z każdym Raspberry, na którym działa system Linux z obsługą sieci i wyposażonym w 40-pinowe złącze rozszerzeń. Został przetestowany pod kątem współpracy z modelami Raspberry Pi 3, Raspberry Pi 4 oraz Raspberry Pi Zero 2W. Powinien również działać z Raspberry Pi 2 lub Raspberry Pi Zero W, jednak nie zostały one jeszcze przetestowane. Nowo wydane Raspberry Pi 5 nie nadaje się do projektu, ponieważ nie ma analogowego wyjścia audio.

Modele Raspberry Pi 3 i Raspberry Pi 4 mają najwydajniejsze procesory i dlatego są najlepszym wyborem, zwłaszcza do strumieniowego przesyłania multimediów. Mają również interfejs Bluetooth, dzięki czemu można do radiobudzika przesyłać strumień audio ze smartfona lub podobnego urządzenia. Wolniejsze warianty Raspberry Pi mogą okazać się w zupełności wystarczające, jeśli planujesz zintegrować tradycyjne radio jako źródło dźwięku. Ogólnie zalecamy użycie co najmniej Raspberry Pi 3.

Cechy urządzenia

Konstrukcja obejmuje dwie płytki drukowane: płytkę wyświetlacza i płytkę główną. Układy zegara i Raspberry Pi są zasilane z tego samego źródła 5 V DC. Raspberry Pi łączy się z płytką główną krótkim kablem taśmowym. W czterech zegarach, które zbudowałem dla siebie, zastosowałem zasilacze wtyczkowe, ale jeśli masz wystarczająco dużo miejsca, możesz umieścić zasilacz wewnątrz obudowy.

Wyświetlacz składa się z dużych cyfr godzin i minut o wysokości 20 mm oraz cyfr sekund o wysokości 15 mm, które będą dobrze widoczne z każdego miejsca w pomieszczeniu. Minimalny i maksymalny zakres jasności diod LED konfiguruje się za pomocą przeglądarki internetowej. Jasność jest później automatycznie dostosowywana w ustawionym zakresie w zależności od warunków oświetlenia otoczenia.

Podczas dnia wyświetlacz świeci z większą jasnością, zapewniając dobrą czytelność nawet w silnie oświetlonym pomieszczeniu, natomiast w nocy jasność zmniejsza się, dzięki czemu wyświetlacz nie razi w ciemności.

Panel sterowania składa się z sześciu elementów: trzech przełączników trójpozycyjnych ze środkowym położeniem neutralnym oraz trzech przycisków. Ich funkcje odpowiadają rozwiązaniom znanym z typowych radiobudzików, takim jak drzemka czy sterowanie odtwarzaniem multimediów. Sześć elementów sterujących nie wystarcza jednak do obsługi wszystkich funkcji urządzenia.

Wszystkie funkcje urządzenia są natomiast dostępne z poziomu przeglądarki internetowej, dzięki czemu zegarem można sterować z komputera, telefonu lub tabletu połączonego z siecią Wi-Fi.

Wbudowany wzmacniacz stereo z cyfrową regulacją głośności może zasilać głośniki wewnętrzne lub zewnętrzne, w zależności od preferencji konstrukcyjnych. Raspberry Pi jest głównym źródłem dźwięku, ale w razie potrzeby można zintegrować alternatywne źródło, takie jak tradycyjne radio.

Chociaż analogowe wyjście dźwięku w Raspberry Pi nie zapewnia jakości Hi-Fi, jego możliwości są całkiem dobre. Do jednego z moich zegarów wykorzystałem parę głośników komputerowych. Uzyskany dźwięk wyraźnie przewyższa jakością większość typowych radiobudzików dostępnych w sprzedaży. Jeśli masz stare głośniki, których już nie używasz, warto wykorzystać je w tym projekcie.

Po wybraniu funkcji radia włączane jest przełączane wyjście zasilania dla zewnętrznego źródła dźwięku. Oprócz samego zegara i modułu Raspberry Pi w obudowie można umieścić również inne urządzenia audio. Przełączane wyjście zasilania może bezpośrednio zasilać urządzenia pracujące z napięciem 5 V, współpracować z zewnętrznym stabilizatorem dla urządzeń wymagających niższego napięcia lub pełnić funkcję wyjścia typu open-drain do sterowania urządzeniami zasilanymi wyższym napięciem.

eprasa.pl 39bd2886e9

Funkcje oprogramowania

Zegar obsługuje znacznie więcej funkcji niż typowe komercyjne radiobudziki. Można skonfigurować jednocześnie do dwudziestu alarmów. Dostęp do pierwszych czterech można uzyskać za pomocą przełączników zegara, natomiast wszystkimi alarmami można zarządzać za pośrednictwem przeglądarki internetowej.

Dla każdego budzika można ustawić dni tygodnia, godzinę, czas trwania, źródło multimediów i głośność. Można określić dowolną kombinację dni, od jednego dnia do siedmiu. Na przykład można ustawić różne budziki na dni powszednie i na weekend.

Alarmy można skonfigurować jako jednorazowe lub powtarzające się stale. Alarmy jednorazowe można ustawić z wyprzedzeniem do siedmiu dni, a jeśli chcesz, możesz ustawić alarm jednorazowy na wszystkie lub dowolne z siedmiu nadchodzących dni. Po uruchomieniu się alarmu jednorazowego nie będzie się już powtarzał. Używam ich, gdy muszę wstać wcześnie przed podróżą służbową.

Aby sprawdzić, czy alarm został ustawiony poprawnie, naciśnij jednocześnie dwa przyciski wyboru alarmu. Zostanie wówczas wyświetlony czas pozostały do następnego zaplanowanego alarmu. Odliczanie do następnego alarmu jest wyświetlane tak długo, jak długo przytrzymasz te dwa przyciski.

Alarm może mieć stałą głośność, tak jak w przypadku zwykłego budzika, lub może stopniowo zwiększać (lub zmniejszać) głośność w odstępach jednominutowych, aby delikatnie Cię obudzić.

Gdy multimedia lub sygnał budzenia są odtwarzane z pliku listy odtwarzania, zegar zapamiętuje ostatni utwór, aby następnym razem użyć kolejnego. Gdy alarm jest aktywny zawartość listy odtwarzania można podejrzeć w przeglądarce internetowej, a jednym kliknięciem można przełączać się między kolejnymi utworami.

Jedną z bardziej nowatorskich funkcji tego projektu jest możliwość połączenia wielu zegarów w jeden system. Połączone zegary dzielą się ustawieniami alarmów przez Wi-Fi, a zmiany wprowadzone na jednym zegarze wkrótce potem powielają się na pozostałych zegarach w klastrze. Naciśnięcia przycisków mogą również wywoływać różne zdarzenia przekazywane w czasie rzeczywistym pomiędzy zegarami pracującymi w klastrze.

Jeśli dwa takie zegary znajdują się po obu stronach łóżka, każda osoba może niezależnie włączyć drzemkę, zmienić głośność czy zmodyfikować ustawienia alarmu.



Przycisk znajdujący się na górze obudowy włącza tryb drzemki, czerwony przycisk służy do ustawiania czasu trwania alarmu, a czarny odpowiada za sterowanie funkcjami multimedialnymi. Przełącznik w prawym górnym rogu umożliwia regulację głośności, natomiast dwa znajdujące się poniżej obsługują odpowiednio alarmy 1/2 oraz 3/4. Duże pokrętło umieszczone pośrodku służy do strojenia radia

Funkcja grupowania pozwala również synchronizować działanie zegarów znajdujących się w różnych częściach domu.

Funkcje zabezpieczeń układu

Układ elektroniczny zawiera zabezpieczenie przed odwróconą polaryzacją i zbyt wysokim napięciem zasilania. Raspberry Pi mają absolutny maksymalny limit zasilania wynoszący 6 V, powyżej którego ulegają uszkodzeniu. W naszym domu mamy pudełko zapasowych zasilaczy 5 V i 12 V, z których korzystamy do zasilania różnych urządzeń, a każdy z nich ma ten sam złącza. Jeśli przypadkowo podłączysz zasilacz 12 V do radiobudzika, natychmiast uszkodzisz zarówno urządzenie, w tym sam Raspberry Pi. Aby zapobiec takiej sytuacji został dodany układ zabezpieczający.

Ponieważ układ jest w większości zaprojektowany dla napięcia 5 V, ale interfejs rozszerzeń Raspberry Pi działa wyłącznie w logice 3,3 V, zegar zawiera szeregowe rezystory zabezpieczające dla wszystkich linii wejść/wyjść ogólnego przeznaczenia (GPIO). Rozwiązanie to chroni układ przed przypadkowym zwarciem do linii zasilania 5 V. Sam przekonałem się o jego przydatności podczas prac nad prototypem, gdy niechcący doprowadziłem do takiego zwarcia.

Wi-Fi może zakłócać działanie Bluetooth

Bluetooth pracuje w tym samym paśmie 2,4 GHz co Wi-Fi, dlatego urządzenia korzystające z tego zakresu częstotliwości mogą wzajemnie się zakłócać, szczególnie gdy jedno z nich intensywnie przesyła dane. Zakłócenia połączenia Bluetooth mogą powodować przerwy w odtwarzaniu dźwięku oraz nieoczekiwane rozłączanie urządzeń.

Jeśli zakłócenia stają się uciążliwe, tymczasową poprawę może przynieść usunięcie wszystkich sparowanych urządzeń Bluetooth i ponowne przeprowadzenie procesu parowania, co może spowodować wykorzystanie innego kanału radiowego. Pomocna bywa również zmiana kanału sieci Wi-Fi w punkcie dostępowym. Takie działania nie zawsze jednak zapewniają trwałe rozwiązanie problemu.

Raspberry Pi 4 obsługuje sieci Wi-Fi w paśmie 5 GHz, dlatego jeśli ważne jest bezproblemowe przesyłanie dźwięku przez Bluetooth, najlepiej użyć właśnie tego modelu i ograniczyć obecność urządzeń Wi-Fi 2,4 GHz oraz punktów dostępowych znajdujących się w tym samym lub sąsiednich pomieszczeniach co zegar.

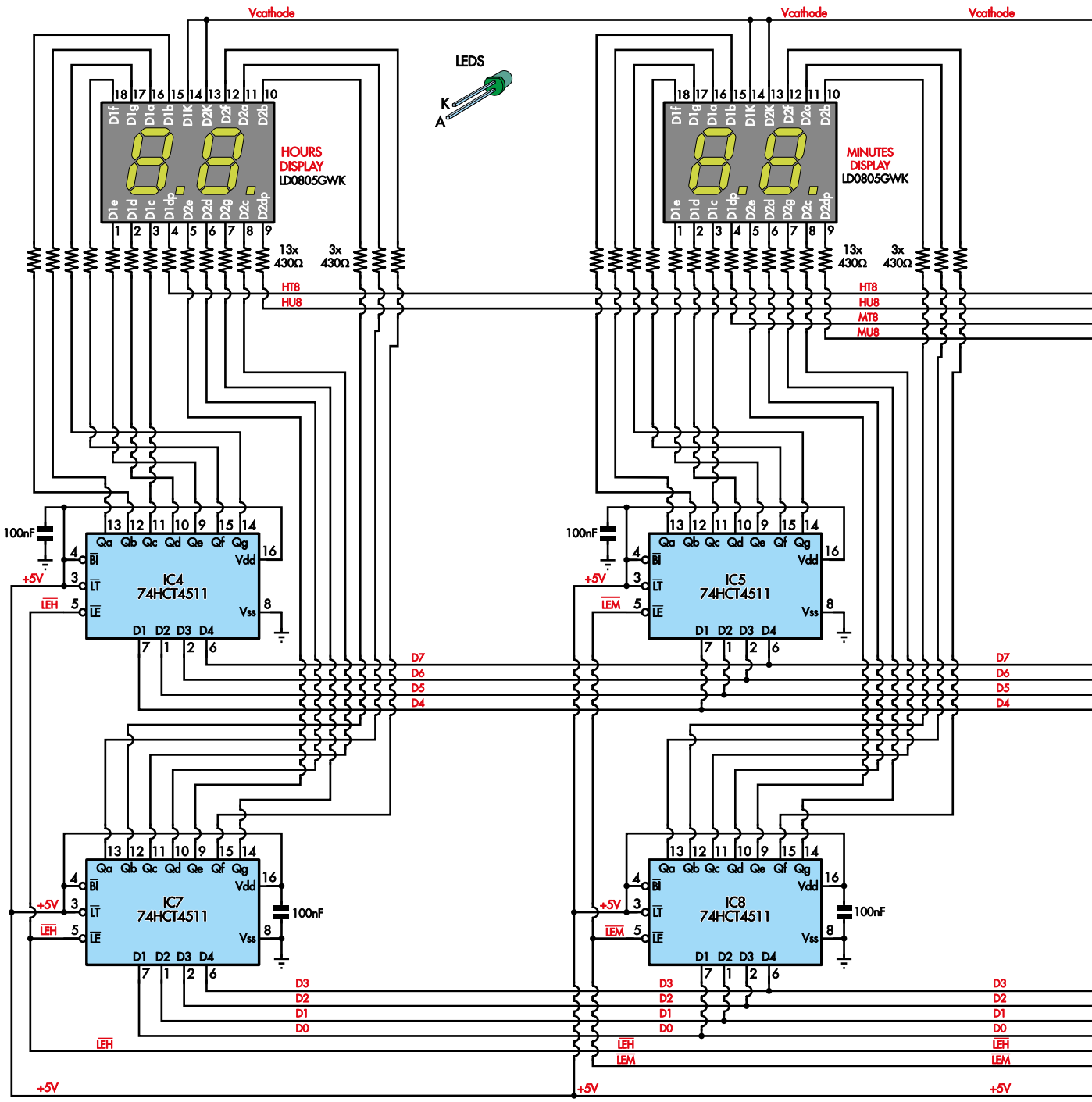
Można również wyłączyć pasmo 2,4 GHz we wszystkich pobliskich punktach dostępowych i wzmacniaczach sieci Wi-Fi. W praktyce bywa to jednak trudne do zrealizowania, ponieważ wiele starszych urządzeń obsługuje wyłącznie pasmo 2,4 GHz, a w niektórych warunkach tylko ono zapewnia wystarczający zasięg (sygnał Wi-Fi 5 GHz znacznie gorzej przenika przez ściany).

Poważniejszych zakłóceń można uniknąć, korzystając z nowoczesnej sieci Wi-Fi obsługującej jednocześnie pasma 2,4 GHz i 5 GHz oraz funkcję automatycznego kierowania urządzeń do odpowiedniego pasma. Warto skonfigurować sieć tak, aby urządzenia obsługujące 5 GHz korzystały właśnie z tego pasma, a następnie sprawdzić, czy rzeczywiście zostały do niego przełączone.

Jeśli to możliwe, wzmacniacze i punkty rozszerzające zasięg sieci powinny być połączone przewodowo przez Ethernet zamiast korzystać z połączenia Wi-Fi 2,4 GHz.

Warto również pamiętać, że kuchenki mikrofalowe pracują w zakresie częstotliwości zbliżonym do 2,4 GHz. Jeśli działają w pobliżu urządzenia, mogą powodować zakłócenia połączeń Wi-Fi i Bluetooth korzystających z tego pasma.

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 1. Wyświetlacz zegara składa się z trzech dwucyfrowych wyświetlaczy siedmiosegmentowych pokazujących godziny, minuty i sekundy, dwóch diod LED tworzących dwukropek, ośmiu układów scalonych sterujących diodami LED oraz tranzystora MOSFET Q2 regulującego jasność wyświetlacza metodą PWM. Układy IC4...IC9 pełnią funkcję sterowników wyświetlaczy siedmiosegmentowych, natomiast układ IC11 jest ośmiobitowym zatrzaskiem sterującym kropkami dziesiętnymi i dwukropkiem

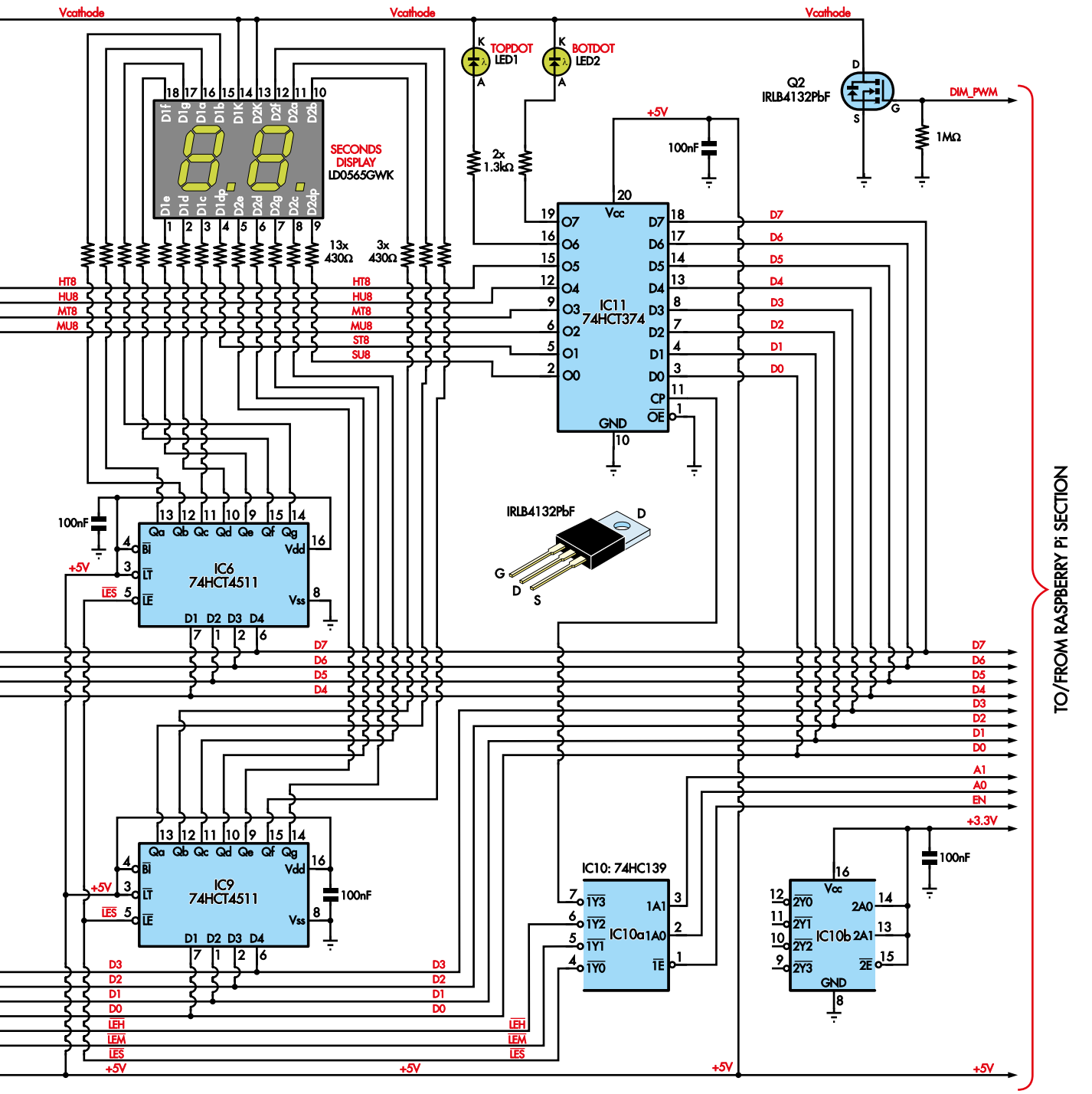
Testy oprogramowania

Być może warto wypróbować samo oprogramowanie jeszcze przed rozpoczęciem budowy urządzenia. Można je zainstalować na dowolnym Raspberry Pi pracującym pod kontrolą systemu Linux i wyposażonym w 40-pinowe złącze GPIO (obecnie używana biblioteka GPIO nie obsługuje jeszcze Raspberry Pi 5).

Nawet bez sprzętowej części zegara można przetestować interfejs WWW pozwalający ustawiać i konfigurować alarmy, obserwować ich działanie, połączyć telefon lub tablet z „zegarem” jako głośnikiem Bluetooth oraz odtwarzać multimedia zapisane na karcie pamięci Raspberry Pi, podłączonym nośniku USB, zasobie sieciowym lub bezpośrednio z Internetu. Skrypt ułatwia instalację i konfigurację Raspberry Pi. Pobiera wymagane biblioteki, instaluje je, a następnie konfiguruje zegar, serwer plików, interfejs internetowy, odtwarzacz multimediów, automatyczne aktualizacje, synchronizację czasu NTP oraz usługi nadzorujące poprawność działania zegara.

Opcjonalnie można włączyć zaporę sieciową, aby zegar nie był dostępny spoza sieci domowej i/lub wyłączyć diody LED zasilania

eprasa.pl 39bd2886e9



i aktywności Raspberry Pi, dzięki czemu nie będą przeszkadzały w nocy.

Ze strony siliconchip.au/Shop/6/278 można pobrać archiwum ZIP zawierające pakiet oprogramowania dla systemu Linux oraz dokument PDF opisujący przygotowanie karty SD, kopiowanie plików i uruchomienie skryptu instalacyjnego. Dołączono również informacje dotyczące trybów debugowania wykorzystywanych podczas testowania oprogramowania.

Instrukcje instalacji oprogramowania znajdują się w ramce zamieszczonej w dalszej części artykułu.

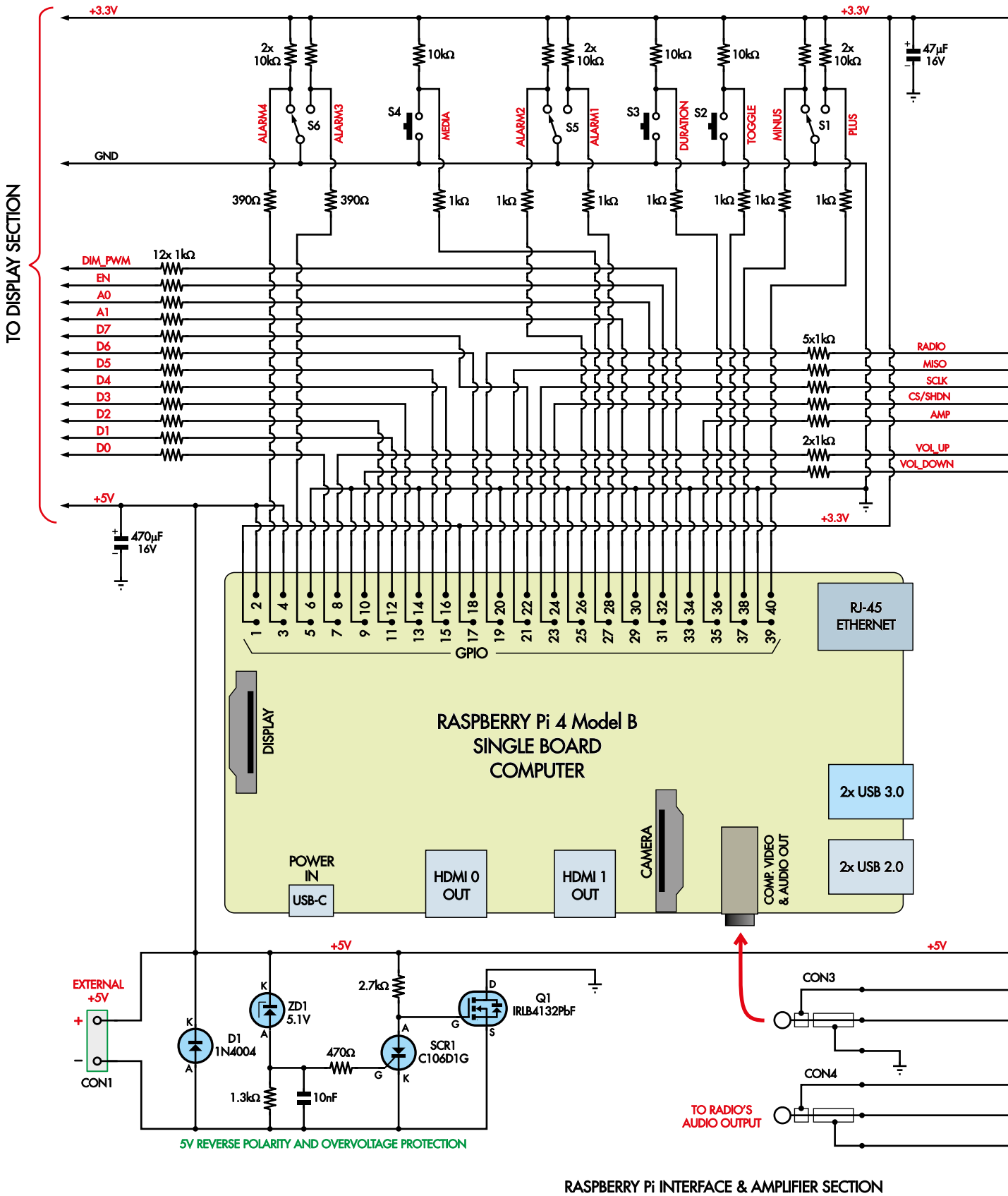
Szczegóły schematu

Schemat układu radia z budzikiem pokazano na **rysunku 1** i **2**. Na rysunku 1 widzimy sekcję wyświetlacza z matrycami diod LED i ich sterownikami. Sekcja ta jest sterowana przez układ pokazany na rysunku 2. Zawiera ona również blok audio, interfejs użytkownika (przełącznik/przycisk) oraz zasilanie.

Napięcia zasilające 5 V i 3,3 V dla układów wyświetlacza przedstawionych na rysunku 1 są doprowadzane z modułu Raspberry Pi pokazanego na rysunku 2. Z Raspberry Pi, poprzez rezystory 1 kΩ, prowadzone są również sygnały cyfrowe: 8-bitowa magistrala danych (D0...D7), 2-bitowa magistrala adresowa (A0 i A1), sygnał zatrzasku (EN) oraz linia sterowania jasnością wyświetlacza za pomocą PWM (DIM_PWM).

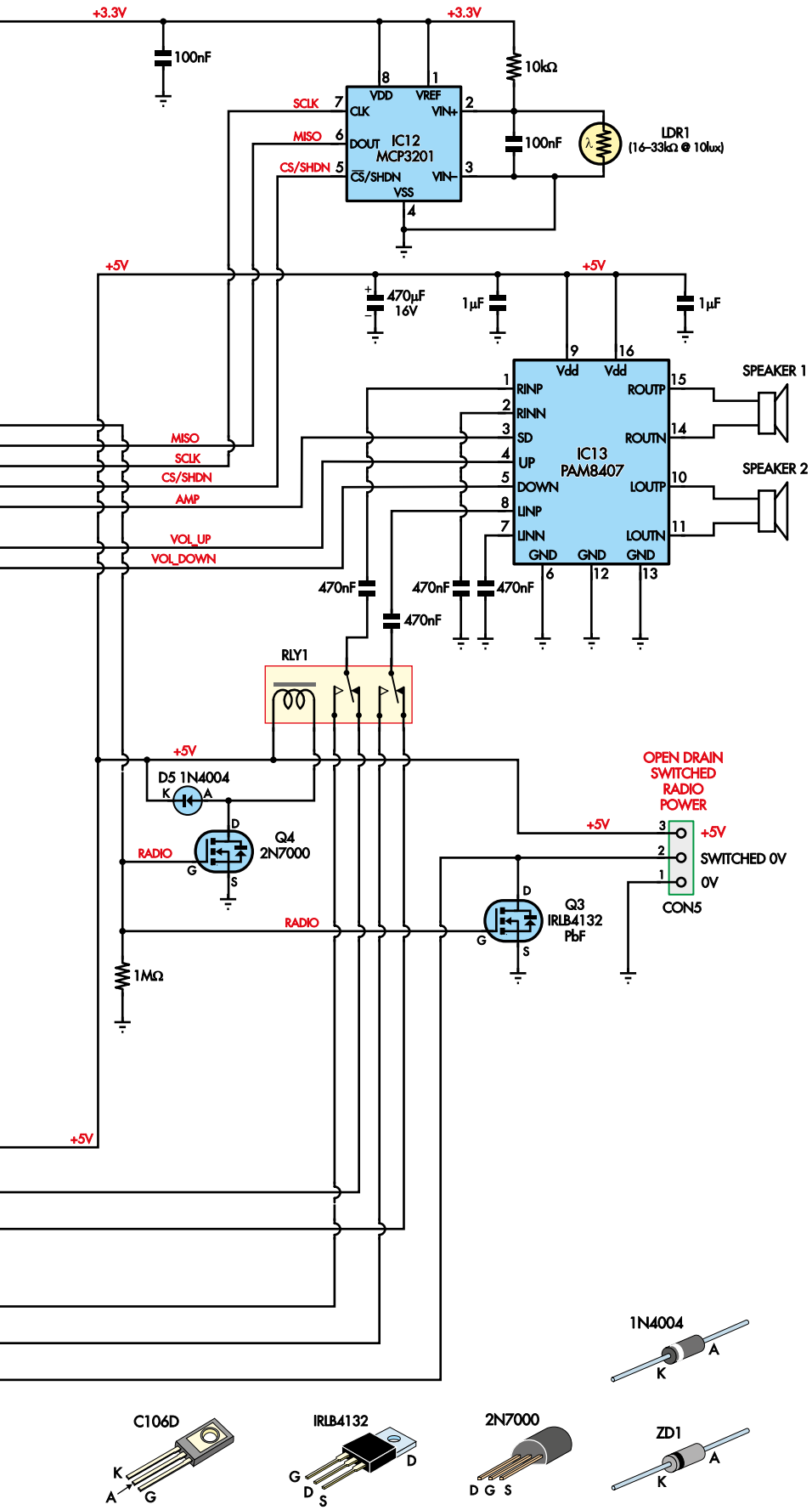
Po ustawieniu stanów na ośmiu liniach danych i magistrali adresowej oraz podaniu impulsu na wejście zatrzasku oprogramowanie Raspberry Pi może aktualizować cyfry godzin, minut i sekund, sześć kropek dziesiętnych oraz dwie diody LED tworzące dwukropek.

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 2. Raspberry Pi komunikuje się z układem wyświetlacza przedstawionym na rysunku 1 za pomocą 12 linii cyfrowych prowadzonych przez rezystory 1 kΩ. Przełączniki i przyciski są podłączone do pinów GPIO Raspberry Pi, a rezystory podciągające utrzymują odpowiedni stan logiczny wejść. W prawym górnym rogu schematu znajdują się układy regulacji jasności zależnej od oświetlenia otoczenia oraz tor audio, natomiast blok w lewym dolnym rogu odpowiada za zabezpieczenie przed zbyt wysokim napięciem i odwrotnym podłączeniem zasilania

eprasa.pl 39bd2886e9



Wyświetlacze siedmiosegmentowe są sterowane przez sześć układów dekoderów BCD-7 oznaczonych jako IC4...IC9, natomiast kropki dziesiętne i dwukropek obsługuje układ IC11. Układy IC4...IC9 przekształcają liczby binarne na sygnały sterujące segmentami wyświetlaczy siedmiosegmentowych i mogą dostarczać prąd niezbędny do zasilania diod LED. Układ IC11 działa jak jednobajtowa (ośmiobitowa) pamięć zatrzaskowa, zapamiętując stan kropek dziesiętnych i dwukropka.

Układy te mają wejścia zgodne z poziomami logicznymi 3,3 V stosowanymi w magistrali GPIO Raspberry Pi, a ich wyjścia pracują z napięciem 5 V i mogą dostarczać większy prąd do zasilania diod LED. Ważne jest zastosowanie układów z serii 74HCT zamiast 74HC, ponieważ układy 74HC mogą nie rozpoznawać napięcia 3,3 V jako stanu wysokiego, podczas gdy dla układów 74HCT próg rozpoznawania stanu wysokiego nie przekracza 2 V.

Dekodowanie magistrali adresowej i zatrzaskiwanie danych zapewnia układ IC10. Ponieważ logika dekodująca działa na tym samym poziomie (3,3 V), układ IC10 może być typu 74HC.

Układy IC4...IC9 oraz IC11 sterują wszystkimi anodami wyświetlaczy LED poprzez rezystory 430 Ω, natomiast wszystkie katody wyświetlaczy są połączone z drenem tranzystora MOSFET Q2 z kanałem N.

Sygnał PWM podawany na bramkę tranzystora Q2 reguluje jasność wszystkich diod LED. Rezystor 1 MΩ utrzymuje tranzystor w stanie wyłączenia, gdy Raspberry Pi nie steruje nim aktywnie, dzięki czemu wyświetlacz pozostaje wygaszony, gdy oprogramowanie Raspberry Pi nie pracuje.

Oprogramowanie nie jest w stanie sprawdzić obecności wszystkich diod LED, ponieważ układ wyświetlacza działa wyłącznie jednokierunkowo – dane są do niego tylko wysyłane. Jeśli wskazanie sekund nie jest potrzebne, można pominąć wyświetlacze sekund oraz powiązane z nimi układy sterujące BCD bez konieczności wprowadzania zmian w oprogramowaniu.

Dopasowanie jasności diod LED

Teoretycznie identyczne wyświetlacze pochodzące od tego samego producenta powinny świecić z jednakową jasnością. Ponieważ jednak w projekcie zastosowano jednocześnie wyświetlacze siedmiosegmentowe o wysokości 0,8 cala i 0,56 cala oraz oddzielne diody LED, ich jasność może się różnić. W takim przypadku można ją wyrównać, dobierając odpowiednie wartości rezystorów ograniczających prąd, nominalnie 430 Ω.

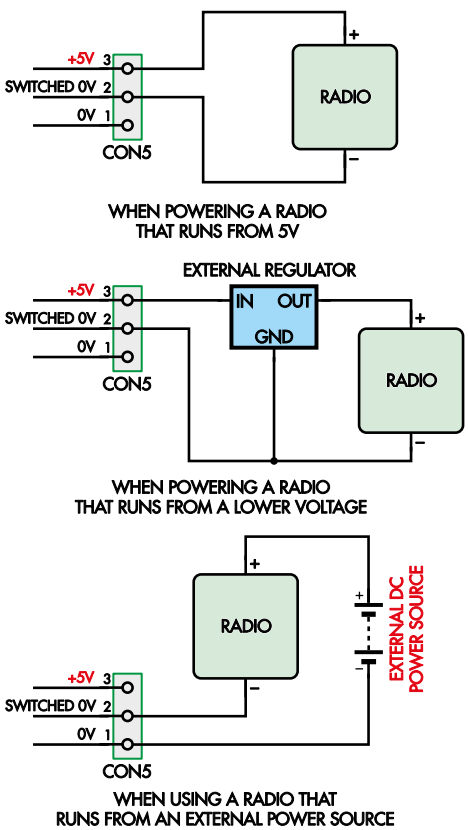
eprasa.pl 39bd2886e9

W czterech z pięciu prototypów zegara zastosowano wyświetlacze siedmiosegmentowe firmy Lumex i w obu rozmiarach zapewniały one jednakową jasność. W jednym z prototypów użyto wyświetlaczy Multicomp Pro, przez co mniejsze cyfry świeciły nieco jaśniej od większych. Większe wyświetlacze Multicomp Pro były z kolei trochę ciemniejsze od odpowiedników firmy Lumex, jednak zakres regulacji jasności zegara pozwalał to skompensować.

Aby wyrównać jasność wyświetlaczy Multicomp Pro, zmieniłem w tym radiobudziku rezystory ograniczające prąd mniejszego wyświetlacza na 820 Ω.

Jeśli budujesz płytkę z wykorzystaniem wyświetlaczy Multicomp Pro, zalecamy wstrzymać się z montażem rezystorów ograniczających prąd mniejszego wyświetlacza do czasu uruchomienia i przetestowania zegara oraz dobrania optymalnej wartości rezystancji.

W przypadku wyświetlaczy firmy Lumex można od razu zastosować rezystory 430 Ω, tak jak zrobiliśmy to w naszych prototypach, choć nie można całkowicie wykluczyć konieczności późniejszej korekty ich wartości (u nas nie było to potrzebne).



Rysunek 3. Do złącza CON5 można podłączyć dodatkowy moduł odbiornika radiowego, zasilany tylko wtedy, gdy jest potrzebny. Na rysunku pokazano trzy sposoby podłączenia, zależnie od wymaganego sposobu zasilania urządzenia

Dwie oddzielne diody LED 3 mm tworzące dwukropek („:”) mają parametry niezależne od wyświetlaczy siedmiosegmentowych.

W przypadku diod LED wymienionych w wykazie elementów rezystory szeregowe o wartości 1,3 kΩ zapewniały jasność dwukropka zbliżoną do jasności wyświetlaczy siedmiosegmentowych obu producentów. W projekcie można zastosować dowolne diody LED 3 mm, jednak przy użyciu innych typów może być konieczne eksperymentalne dobranie wartości rezystorów.

Sterowanie jasnością wyświetlaczy

Funkcja regulacji jasności wykorzystuje pomiar poziomu oświetlenia otoczenia oraz opisane wcześniej sterowanie PWM. Natężenie światła mierzy fotorezystor (LDR), tworzący dzielnik napięcia z rezystorem 10 kΩ podłączonym do szyny 3,3 V. Im większe natężenie oświetlenia otoczenia, tym niższe jest napięcie w punkcie połączenia fotorezystora z rezystorem.

Układ IC12 to 12-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy MCP3201 służący do pomiaru tego napięcia. Wraz ze wzrostem poziomu oświetlenia otoczenia maleje wartość odczytywana z przetwornika ADC. Oprogramowanie przelicza ją następnie na skalę, w której 0 oznacza całkowitą ciemność, a 4095 maksymalny mierzalny poziom jasności, co widoczne jest na stronie konfiguracyjnej.

Układ MCP3201 jest dostępny w dwóch wersjach różniących się dokładnością, oznaczonych literami B i C. W tym projekcie można zastosować tańszą, mniej dokładną wersję C, ponieważ sprawdza się ona w zupełności wystarczająco.

W wykazie elementów podano dwa fotorezystory, które dobrze sprawdzają się w tym zastosowaniu. Idealnie rezystancja fotorezystora w ciemności powinna być co najmniej dziesięciokrotnie większa niż przy oświetleniu. Strona konfiguracji w interfejsie WWW zawiera cztery suwaki umożliwiające ustawienie minimalnej i maksymalnej jasności wyświetlacza LED oraz odpowiadających im progów działania fotorezystora.

Suwaki pozwalają skompensować niewielkie różnice charakterystyk fotorezystorów, dzięki czemu można uzyskać pełny zakres regulacji jasności wyświetlacza LED. Jeśli zostanie zastosowany inny typ fotorezystora i nie uda się uzyskać prawidłowego działania regulacji w całym zakresie, konieczna może być zmiana wartości rezystora 10 kΩ.

W zależności od poziomu oświetlenia otoczenia oprogramowanie generuje sygnał PWM o częstotliwości 50 Hz sterujący bramką tranzystora MOSFET Q2 i na bieżąco dostosowuje jego współczynnik wypełnienia do aktualnych warunków oświetleniowych.

Chociaż Raspberry Pi ma dwa timery wysokiej rozdzielczości, które mogłyby zostać wykorzystane do sprzętowej generacji sygnału



Dwie płytki drukowane radia z budzikiem Raspberry Pi są zamontowane prostopadle do siebie, a następnie polutowane ze sobą

eprasa.pl 39bd2886e9

Instalacja oprogramowania na Raspberry Pi

Potrzebna będzie karta SD o pojemności co najmniej 4 GB. Można oczywiście zastosować kartę o większej pojemności i wykorzystać dodatkowe miejsce do przechowywania biblioteki multimediów. W przypadku Raspberry Pi istotne znaczenie mają zarówno szybkość działania, jak i jakość karty SD. Tanie karty często cechują się słabą wydajnością i mogą powodować problemy podczas pracy systemu.

Na karcie SD należy zainstalować system Debian Bullseye Lite lub Debian Bookworm Lite. Starsze wersje Debiana niż Bullseye nie są obsługiwane. Najprostszym sposobem przygotowania karty jest użycie programu Raspberry Pi Imager, dostępnego bezpłatnie dla systemów Windows, macOS i Linux.

Uruchom program Raspberry Pi Imager, włóż kartę SD do komputera (za pomocą czytnika kart, jeśli komputer nie ma gniazda) i kliknij przycisk CHOOSE DEVICE, a następnie wybierz opcję „No Filtering". W przypadku Raspberry Pi 4 lub Raspberry Pi Zero 2W wybierz Raspberry Pi OS (Other) → Raspberry Pi OS Lite (64-bit). W przypadku innych modeli wybierz Raspberry Pi OS (Other) → Raspberry Pi OS Lite (32-bit). W celu wybrania karty SD kliknij CHOOSE STORAGE, a następnie NEXT, wybierz EDIT SETTINGS i wypełnij formularz:

1. Dla swojego zegara ustaw unikatową nazwę hosta („clock", jeśli nie przychodzi Ci do głowy nic innego).
2. Włącz SSH z uwierzytelnianiem hasłem.
3. Ustaw nazwę użytkownika i hasło do logowania przez SSH.
4. Wprowadź dane sieci bezprzewodowej (SSID, hasło i kraj).
5. Ustaw ustawienia regionalne dla swojego obszaru.
6. Odznacz opcję wysuwania nośnika (karty SD) po zakończeniu, ponieważ przed „wysunięciem" skopiujesz również oprogramowanie zegara na kartę SD.

Aby móc później zalogować się do Raspberry Pi zapisz nazwę hosta, nazwę użytkownika i hasło. Następnie kliknij ZAPISZ, potem TAK, a następnie ZAPISZ. Po zapisaniu karty pobierz plik ZIP z oprogramowaniem zegara ze strony internetowej Silicon Chip.

W pliku zip znajduje się plik o nazwie „alarm-clock_v01.tgz", który należy skopiować na kartę SD. Skopiuj plik TGZ z archiwum ZIP do katalogu głównego „bootfs" na karcie SD w taki sam sposób, jak podczas przenoszenia plików na pendrive. Numer v01 może ulec zmianie w przyszłości, jeśli pojawią się aktualizacje oprogramowania. Na koniec wyjmij kartę SD, włóż ją do Raspberry Pi i podłącz zasilanie. Archiwum ZIP zawiera również dokument PDF ze zrzutem ekranu instalacji oraz uwagi po publikacji.

Łączenie się z Raspberry Pi

W projekcie nie przewidziano korzystania z monitora, dlatego najprostszym sposobem sprawdzenia, czy Raspberry Pi zakończył uruchamianie, jest połączenie się z nim przez sieć przewodową lub Wi-Fi. Pierwsze uruchomienie Raspberry Pi może potrwać kilka minut dłużej niż zwykle, dlatego po podłączeniu zasilania warto po prostu chwilę poczekać – na przykład zaparzyć w tym czasie filiżankę herbaty lub kawy.

Do połączenia z Raspberry potrzebny będzie klient SSH. W systemie Windows można użyć programu PuTTY lub OpenSSH. Systemy macOS i Linux mają narzędzia wiersza poleceń „ssh". Można połączyć się używając adresu IP lub nazwy hosta określonej podczas przygotowywania obrazu na karcie SD.

Większość domowych routerów zazwyczaj publikuje lokalne nazwy hostów z domeną „.local", zgodnie z sugestią programu Raspberry Pi Imager. Możesz więc spróbować połączyć się z „clock.local" (lub inną wybraną nazwą). Jeśli to nie zadziała, zapoznaj się z dokumentacją routera lub sprawdź tabelę dzierżaw DHCP routera, co pozwoli znaleźć adres IP przypisany do Raspberry.

Po nawiązaniu połączenia Raspberry Pi poprosi o podanie nazwy użytkownika i hasła ustawionych podczas przygotowywania karty SD. Po zalogowaniu uzyskasz dostęp do zdalnego wiersza poleceń systemu Linux.

Zakończenie instalacji oprogramowania zegara

Skopiowany wcześniej na kartę SD plik będzie dostępny w Raspberry Pi w partycji bootfs, w katalogu /boot. Zawartość archiwum można rozpakować za pomocą jednego z poniższych poleceń:

```
tar zxf /boot/firmware/alarm-clock_v01.tgz     ← dla systemu operacyjnego Bookworm
tar zxf /boot/alarm/alarm-clock_v01.tgz        ← dla systemu operacyjnego Bullseye
```

Polecenie to tworzy podkatalog o nazwie „alarm-clock" zawierający kod źródłowy, a także pozostawia skrypt instalacyjny w bieżącym katalogu. Ostatnim etapem instalacji oprogramowania jest uruchomienie tego skryptu instalacyjnego (należy skopiować go dokładnie, uwzględniając wielkość liter):

```
sudo ./Install_Clock.sh
```

Skrypt instalacyjny dwukrotnie zapyta o hasło, czy chcesz zainstalować reguły zapory sieciowej, które uniemożliwiają dostęp z adresów IP pochodzących z innej podsieci (prawdopodobnie będziesz chciał odpowiedzieć „tak"), a następnie zapyta, czy chcesz spróbować wyłączyć diody LED zasilania i aktywności.

Konfiguracja przez sieć Ethernet

Aby uzyskać dostęp do zegara po sieci LAN, otwórz przeglądarkę i przejdź do strony http://clock.local albo użyj nazwy hosta lub adresu IP wykorzystywanego wcześniej do połączenia SSH z zegarem.

Zostanie wyświetlona strona główna urządzenia zawierająca odnośniki do funkcji konfiguracyjnych i odtwarzacza multimedialnego, podsumowanie ustawionych alarmów, aktualną listę odtwarzania oraz wykaz innych zegarów odnalezionych w sieci lokalnej.

Więcej informacji dotyczących konfiguracji zegara znajdzie się w drugiej części artykułu. Opiszemy tam również aktualizację oprogramowania, wykorzystanie urządzenia jako głośnika Bluetooth, procedury testowe oraz dodatkowe funkcje oprogramowania zegara.

W przypadku problemów podczas instalacji warto sprawdzić instrukcje dołączone do pobranego pakietu oprogramowania, ponieważ po publikacji artykułu niektóre etapy instalacji mogły ulec zmianie. Opis przedstawiony tutaj dotyczy wersji 1.8.1 programu Raspberry Pi Imager, choć wcześniejsze wersje również powinny działać po wprowadzeniu niewielkich modyfikacji.

eprasa.pl 39bd2886e9

Wykaz elementów:
1 obudowa na przyrządy, 200 mm × 155 mm × 65 mm [Jaycar HB5912, Altronics H0480F]
1 Raspberry Pi (model 3, 4, Zero 2W lub podobny)
1 arkusz zielonej pleksi, przycięty i wyprofilowany pod przedni panel
1 dwustronna płytka drukowana oznaczona kodem 19101241, 150 mm × 83 mm
1 dwustronna płytka drukowana oznaczona kodem 19101242, 150 mm × 44 mm
1 zasilacz 5 V DC o wydajności co najmniej 2 A
1 fotorezystor 16...33 kΩ (LDR1) [DigiKey PDV-P8103-ND, element14 3168335]
3 przełączniki chwilowe SPDT z wyłącznikiem środkowym do montażu panelowego (S1, S5, S6)
3 przyciski chwilowe SPST do montażu panelowego (S2...S4)
1 przekaźnik typu J104D, cewka 5 V DC, styki 2 A, DPDT (RLY1) [DigiKey 2449-J104D2C5VDC.20S-ND, element14 1652604]
1 złącze 2×20-pinowe, raster 2,54 mm
1 gniazdo cylindryczne DC do montażu w obudowie, 2,5 mm (CON1) [Jaycar PS0524]
1 2-drożny, kątowy, wtykowy blok zaciskowy, raster 5,08 mm
6 3-drożnych, spolaryzowanych złączy wtykowych, raster 2,54 mm z dopasowanymi wtykami i pinami
5 2-stykowych, spolaryzowanych złączy wtykowych z rastrem 2,54 mm z dopasowanymi wtykami i pinami
2 40-pinowe gniazda liniowe IDC
1 20-pinowe podstawki DIL pod układy scalone
7 16-pinowych podstawek DIL pod układy scalone
1 8-pinowa podstawka DIL pod układ scalony
1 gniazdo cylindryczne do montażu panelowego dopasowane do zasilacza typu plugpack
2 czerwone gniazda bananowe do montażu panelowego
2 czarne gniazda bananowe do montażu panelowego
1 krótki kabel audio stereo z wtykiem jack 3,5 mm na jednym końcu
1 40-żyłowy kabel taśmowy o długości 15 cm
1 kabel głośnikowy typu „8” o długości 50 cm
1 3-żyłowy kabel taśmowy o długości 1 m
2 śruby z łbem płaskim M3 × 32 mm
10 śrub maszynowych z łbem płaskim M3 × 6 mm
2 nakrętki sześciokątne M3 i podkładki płaskie
6 nylonowych tulei dystansowych z gwintem M3 o długości 12 mm
2 krótkie odcinki przewodu połączeniowego o średniej wytrzymałości (czerwony i czarny)

Półprzewodniki
6 układów scalonych 74HCT4511 sterownika wyświetlacza 7-segmentowego, DIP-16 (IC4...IC9)
1 układ scalony 74HC139 z podwójnym dekoderem 2-na-4, DIP-16 (IC10)
1 układ 74HCT374 8-bitowego zatrzasku równoległego, DIP-20 (IC11)
1 MCP3201-CI/P, 12-bitowy przetwornik analogowo-cyfrowy, DIP-8 (IC12)
1 układ scalony PAM8407DR wzmacniacza stereo klasy D bez filtra, SOIC-16 (IC13)
3 IRLB4132PbF tranzystory MOSFET typu N 30 V 78 A, TO-220 (Q1...Q3)
1 tranzystor MOSFET typu N o małym sygnale 2N7000, TO-92 (Q4)
1 C106D1G tyrystor z czułą bramką, TO-126 (SCR1)
2 zielone podwójne wyświetlacze 7-segmentowe 0,8 cala/20,3 mm, np. LDD-C812RI lub LD0805GWK [DigiKey 67-1473-ND, element14 2627654]
1 zielony podwójny wyświetlacz 7-segmentowy 0,56 cala/14,2 mm, np. LDD-C512RI lub LD0565GWK [DigiKey 67-1459-ND, element14 2627648]
2 zielone diody LED o rozproszonym świetle 3 mm (LED1, LED2) [DigiKey 754-1609-ND, element14 2112096 lub równoważne]
1 dioda Zenera 5,1 V 1 W (ZD1)
2 diody 1N4004 400 V 1 A (D1, D5)

Kondensatory
2 kondensatory elektrolityczne 470 µF 16 V (raster wyprowadzeń 2,5 mm)
1 kondensator elektrolityczny 47 µF 16 V (raster wyprowadzeń 2 mm)
2 kondensatory ceramiczne 1 µF 50 V (wielowarstwowe)
4 kondensatory ceramiczne 470 nF 50 V (wielowarstwowe)
10 kondensatorów ceramicznych 100 nF 50 V (wielowarstwowych) lub MKT
1 kondensator ceramiczny 10 nF 50 V (wielowarstwowy) lub MKT

Rezystory (wszystkie osiowe 1/4 W, 1%, o ile nie zaznaczono inaczej)

2 1 MΩ	2 1,3 kΩ SMD M3216/1206 1%*	1 470 Ω 1/2 W osiowy
10 10 kΩ	1 1,3 kΩ	48 430 Ω SMD 1206 1%*
1 2,7 kΩ	26 1 kΩ	2 390 Ω

* wartości mogą wymagać dostosowania w celu dopasowania jasności segmentów wyświetlacza.

PWM, w tym projekcie żaden z nich nie jest dostępny. Jeden obsługuje analogowe wyjście audio Raspberry Pi, natomiast drugi jest wykorzystywany przez usługę GPIO.

Sygnał PWM regulujący jasność wyświetlacza jest więc generowany programowo przez usługę GPIO. W praktyce jest to niezauważalne. Najbardziej wymagająca sytuacja występuje wtedy, gdy wyświetlacz świeci z minimalną jasnością, a procesor jest silnie obciążony – na przykład podczas pobierania, rozpakowywania i odtwarzania pliku multimedialnego po uruchomieniu alarmu. W takim przypadku oprogramowanie zmniejsza częstotliwość PWM, aby ograniczyć zakłócenia sygnału.

Audio

Blok audio obejmuje wzmacniacz zasilający głośniki oraz wejście audio dla zewnętrznego odbiornika radiowego. Układ PAM8407 (IC13) to pracujący w klasie D wzmacniacz o małych zniekształceniach, niewymagający filtrów wyjściowych.

Przy typowej głośności zniekształcenia pozostają poniżej 0,1% w większości pasma akustycznego. Jest to wartość w zupełności wystarczająca dla radiobudzika i odtwarzacza multimedialnego, porównywalna z jakością analogowego wyjścia audio Raspberry Pi.

Trzy linie GPIO służą do przełączania wzmacniacza między trybem pracy i czuwania oraz do regulacji głośności.

Źródło sygnału audio wybiera przekaźnik DPDT RLY1 sterowany tranzystorem MOSFET Q4. Ta sama linia GPIO sterująca tranzystorem Q4 obsługuje również tranzystor MOSFET Q3, pełniący funkcję przełącznika zasilania dla zewnętrznego źródła dźwięku. Przełączane wyjście zasilania jest wyprowadzone na 3-pinowe złącze CON5. **Rysunek 3** pokazuje trzy możliwe sposoby zasilania zewnętrznego odbiornika radiowego za pośrednictwem tego złącza.

Maksymalne dopuszczalne napięcie tranzystora Q3 wynosi 30 V, dlatego przy korzystaniu z zewnętrznego źródła zasilania nie należy przekraczać tej wartości.

Jeśli nie planujesz podłączać zewnętrznego odbiornika radiowego ani dodatkowego wejścia audio, wyjście audio Raspberry Pi można połączyć ze wzmacniaczem na stałe. W takim przypadku można pominąć tranzystory Q3 i Q4, powiązane z nimi rezystory, złącza na płytce drukowanej oraz przekaźnik, a następnie podłączyć przewody do padów przekaźnika na płytce PCB.

Interfejs użytkownika

Każdy styk przełącznika i każdy przycisk jest połączony przez rezystor podciągający 10 kΩ z szyną 3,3 V oraz z jednym z pinów GPIO Raspberry Pi skonfigurowanych jako wejścia cyfrowe. Po naciśnięciu przycisku lub przestawieniu przełącznika odpowiedni pin zostaje zwarty do masy i przechodzi w stan niski wykrywany przez oprogramowanie.

Zasilanie i zabezpieczenia

Sekcja zabezpieczenia przed odwróconą polaryzacją i zbyt wysokim napięciem zasilania składa się z diod D1 i ZD1, SCR1, tranzystora MOSFET Q1 oraz powiązanych elementów pasywnych. Chroni ona radiobudzik przed nieprawidłowym zasilaniem, które mogłoby go uszkodzić.

Dioda D1 zabezpiecza układ przed odwrotnym podłączeniem zasilania, zwierając linię zasilającą w przypadku podania niewłaściwej polaryzacji.

Dioda wprawdzie się nagrzeje, ale skutecznie spełni swoje zadanie. Zasilacz impulsowy powinien w takiej sytuacji przejść w tryb zabezpieczenia nadprądowego, a radiobudzik nie uruchomi się, dzięki czemu pomyłkę można wykryć bez uszkodzenia urządzenia.

Jeśli napięcie zasilania przekroczy około 5,7 V, układ zabezpieczenia przeciwprzepięciowego odłączy pozostałą część urządzenia od zasilania. Przy prawidłowym napięciu zasilania wynoszącym około 5 V dioda Zenera ZD1 nie przewodzi, dlatego na bramce tyrystora SCR1 utrzymuje

eprasa.pl 39bd2886e9

się potencjał 0 V. Rezystor 2,7 kΩ podciąga wówczas bramkę tranzystora MOSFET Q1 do napięcia +5 V, włączając tranzystor i łącząc masę układu z ujemnym biegunem zasilania.

Jeśli napięcie zasilania przekroczy 5,7 V, na bramce tyrystora SCR1 pojawi się napięcie około 0,6 V, powodujące jego załączenie. Tyrystor ściągnie wtedy bramkę tranzystora MOSFET Q1 do potencjału 0 V, wyłączając go. W efekcie masa układu zostanie odłączona od ujemnego bieguna zasilania i „podciągnięta" do dodatniej szyny zasilającej, przez co pozostała część układu przestanie być zasilana.

Ryzyko uszkodzenia Raspberry Pi pojawia się przy napięciu około 6 V, dlatego próg zadziałania zabezpieczenia ustawiono nieco poniżej tej wartości.

Tyrystory SCR działają podobnie do tranzystorów bipolarnych NPN pracujących jako przełączniki, z tą różnicą, że po zadziałaniu pozostają w stanie przewodzenia. Dzięki temu tranzystor Q1 pozostaje wyłączony aż do odłączenia niewłaściwego źródła zasilania, co powoduje skasowanie stanu zabezpieczenia.

Wybór elementów

Kupując elementy do tego projektu, warto pamiętać, że kondensatory elektrolityczne występują w różnych rozmiarach i mają różny rozstaw wyprowadzeń. Dla dwóch kondensatorów elektrolitycznych 470 µF rozstaw otworów na płytce wynosi 2,5 mm, natomiast dla kondensatora 47 µF – 2 mm. Większość kondensatorów o napięciu znamionowym 16 V powinna mieć zgodny rozstaw wyprowadzeń, jednak elementy na wyższe napięcia mogą już nie pasować mechanicznie.

Aby dobrać odpowiedni zamiennik, najlepiej – jeśli to możliwe – zmierzyć rzeczywisty element lub sprawdzić jego wymiary w katalogu albo nocie katalogowej. Zegar będzie działał również z większymi kondensatorami lub elementami o wyższym napięciu znamionowym, jednak mogą one gorzej pasować do płytki drukowanej.

W przypadku układów scalonych w obudowach DIP zaleca się stosowanie podstawek. Jeśli kiedyś zajdzie potrzeba wymiany układu, wyjęcie go z podstawki będzie znacznie łatwiejsze niż wylutowywanie bezpośrednio z płytki.

Z biegiem czasu styki podstawek mogą jednak utleniać się, co może prowadzić do problemów z połączeniem. Układy wlutowane bezpośrednio w płytkę są zazwyczaj bardziej niezawodne podczas długotrwałej pracy. Czasami jednak wystarczy wyjąć układ z podstawki i ponownie go osadzić, aby przywrócić prawidłowy kontakt elektryczny.

W następnym odcinku przedstawimy szczegółowy opis montażu, instrukcje użytkowania oraz informacje dotyczące aktualizacji oprogramowania układowego. ■

Stefan Keller-Tuberg

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6892
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6893

Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

Artykuł reprodukowano na podstawie umowy z magazynem „Silicon Chip", 2022.
www.siliconchip.com.au

PORADY PRAKTYCZNE

Urządzenie do odlutowywania elementów

Wielu elektroników tworzy własne przyrządy i narzędzia, aby łatwiej radzić sobie z nietypowymi zadaniami, które pojawiają się w ich pracy. Jako osoba zajmująca się sprzętem studyjnym, mam pudełko pełne pokręteł o różnych rozmiarach i średnicach wałków. Wiele z nich to pokrętła zaciskowe, które mają system mocowania podobny do uchwytu wiertarskiego. Są one bardzo przydatne do mocowania takich elementów, jak wiertła o średnicy 3 mm do obróbki płytek drukowanych oraz opisane tutaj narzędzia do usuwania elementów.

Znalazłem zastosowanie dla starej, pokrytej plastikiem drucianej sprężyny, służącej dotychczas do podtrzymywania firanek w oknach u sąsiadów (patrz **rysunek 1**). Ma ona średnicę 4 mm, więc pasuje do standardowego uchwytu zaciskowego Sifam S15, jak pokazano na **rysunku 2**. Sprężyna jest pokryta plastikową powłoką, którą należy usunąć, aby dobrze pasowała do uchwytu.

Odciąłem około 45 mm tej sprężyny, a następnie na jej końcu uformowałem haczyk. Do wykonania tych czynności nie należy używać precyzyjnych nożyc bocznych, potrzebna jest para solidnych obcążek. Tak powstałe narzędzie jest krótkie, dzięki czemu można je obsługiwać jedną ręką, jednocześnie podgrzewając lutowany element od spodu płytki, jak pokazano na **rysunku 4**. Zaletą tej techniki jest możliwość usunięcia zbędnego elementu bez poparzenia sobie palców u rąk.









Rysunek 1. Zawsze sprawdzaj co wyrzucasz! Ta druciana sprężyna do zasłon jest przydatna do wszelkiego rodzaju prac – jest wytrzymała i sprężysta; Rysunek 2. Do odizolowanej drucianej sprężyny do zasłon przymocowana jest gałka z tulejką o średnicy 4 mm; Rysunek 3. Widok uformowanego haczyka; Rysunek 4. Rezystor można łatwo usunąć z płytki posługując się jedną ręką, pozostawiając drugą rękę wolną do obsługi lutownicy

eprasa.pl 39bd2886e9

Wielokanałowy regulator głośności, część 1



Obecnie wiele osób posiada systemy kina domowego i dźwięku przestrzennego. Często zachodzi więc konieczność regulacji głośności w co najmniej sześciu kanałach audio. Opisany w artykule układ regulacji głośności jest wyposażony w ekran dotykowy i można nim sterować za pomocą pilota na podczerwień. Można go rozbudować do 20 kanałów, choć w większości zastosowań sześć lub osiem kanałów powinno wystarczyć.

Wielokanałowy regulator głośności może być zbudowany jako samodzielne urządzenie we własnej obudowie lub jako system modułowy, który można wykorzystać w wielokanałowym przedwzmacniaczu lub wzmacniaczu. Układ umożliwia synchroniczną regulację głośności nawet 20 kanałów.

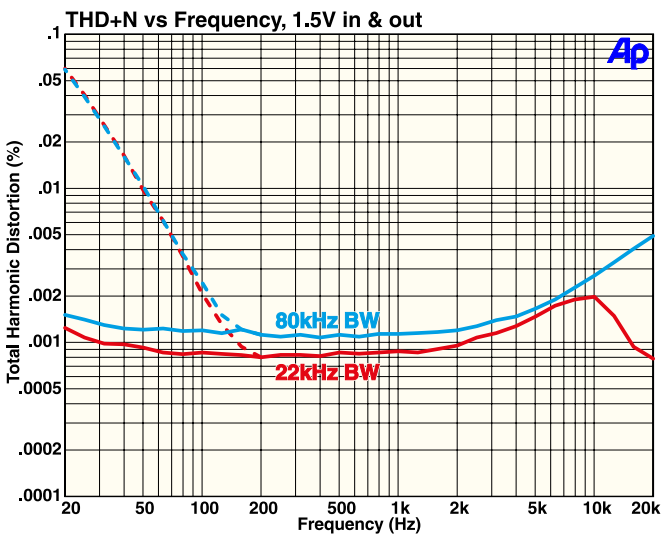
Mikrokontroler wykrywa sygnały z ekranu dotykowego, enkodera obrotowego oraz pilota na podczerwień i steruje cyfrowymi potencjometrami, regulując głośność poszczególnych kanałów.

Projekt powstał z myślą o współpracy z modułem wzmacniacza Hummingbird, opublikowanym w numerze „Silicon Chip" z grudnia 2021 roku (siliconchip.com.au/Article/15126) oraz w EdW 8/2024. Jest to niewielki i niedrogi moduł wzmacniacza o mocy 100 W, który pozwala łatwo zbudować wzmacniacz z czterema, sześcioma lub nawet większą liczbą kanałów. W takich konfiguracjach przydatna staje się możliwość jednoczesnej regulacji głośności wszystkich modułów – właśnie do tego celu przeznaczone jest rozwiązanie opisane w dalszej części artykułu.

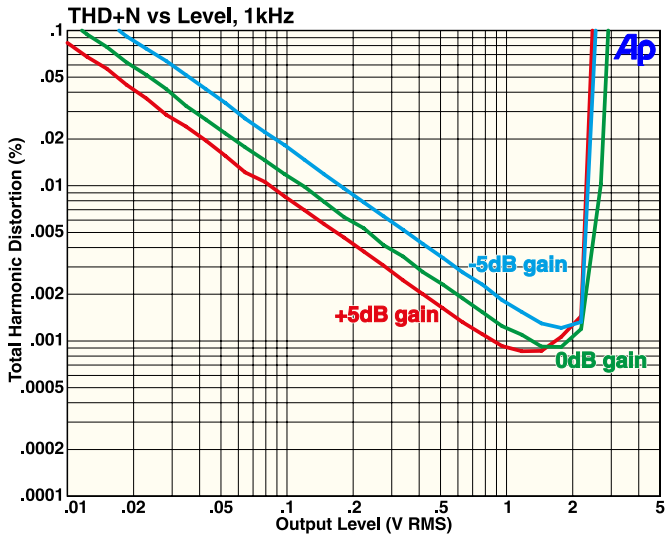
Alternatywnym rozwiązaniem byłoby zastosowanie potencjometru cztero- lub sześciokanałowego, jednak zapewniałoby gorszą współbieżność regulacji i prowadziło do znacznego skomplikowania okablowania. Dodatkowo klasyczne potencjometry mechaniczne z czasem mogą powodować trzaski i zakłócenia podczas regulacji, podczas gdy potencjometry cyfrowe zazwyczaj działają niezawodnie przez wiele lat.

Nasza konstrukcja bazuje na cyfrowym przedwzmacniaczu z ekranem dotykowym, opublikowanym we wrześniu i październiku 2021 roku (siliconchip.com.au/Series/370) oraz w EdW 5…6/2024. Tamto rozwiązanie obsługiwało jednak tylko dwa kanały i nie przewidywało możliwości rozbudowy.

Alternatywą może być także cyfrowy potencjometr autorstwa Phila Prossera (marzec 2023; siliconchip.com.au/Article/15693); EdW 3/2026. Konstrukcja jest dwukanałowa, ale pozwala na łączenie wielu płytek. W porównaniu z opisywanym tutaj rozwiązaniem jest jednak wyraźnie prostsza – nie ma ekranu dotykowego ani wbudowanych gniazd audio.



Rysunek 1. Parametry układu są zbliżone do uzyskanych dla cyfrowego przedwzmacniacza z ekranem dotykowym – współczynnik THD+N pozostaje zwykle poniżej 0,002% w większości zakresu częstotliwości. Linie przerywane pokazują pogorszenie parametrów przy zastosowaniu ceramicznych kondensatorów sprzęgających 1 µF zamiast kondensatorów tantalowych 2,2 µF



Rysunek 2. Wykres THD+N w funkcji poziomu sygnału wejściowego. Optymalny poziom sygnału wejściowego wynosi około 1,5 V RMS, jednak poprawna praca jest zachowana w całym zakresie 1...2,3 V RMS. Powyżej 2,3 V RMS pojawia się przesterowanie, natomiast przy niższych poziomach bardziej odczuwalny staje się wpływ szumów

eprasa.pl 39bd2886e9

Parametry

Nasz wielokanałowy regulator głośności opiera się na układzie regulacji typu Baxandall, jednak zamiast klasycznego potencjometru zastosowano w nim potencjometr cyfrowy. Rozwiązanie to zapewnia logarytmiczną charakterystykę regulacji mimo liniowej zmiany rezystancji potencjometru, co ułatwia przełożenie ustawień głośności na poziomy wyrażane w decybelach.

Na **rysunkach 1...4** pokazano uzyskane parametry układu. Rysunek 1 przedstawia całkowite zniekształcenia harmoniczne wraz z szumem (THD+N) w funkcji częstotliwości dla sygnału wejściowego o poziomie 1,6 V RMS. Jak można się spodziewać, charakterystyki są podobne do uzyskanych dla Cyfrowego Przedwzmacniacza z Ekranem Dotykowym.

Czerwony wykres przedstawia charakterystykę w paśmie 20 Hz...22 kHz, najlepiej odpowiadającym typowemu zakresowi słyszalnemu. Niebieski wykres przedstawia charakterystykę dla szerszego pasma sięgającego 80 kHz. Obejmuje ono harmoniczne sygnałów o wyższych częstotliwościach. Nie są one bezpośrednio słyszalne, ale mogą powodować zniekształcenia intermodulacyjne wpływające na pasmo akustyczne.

Jak widać, zniekształcenia THD+N pozostają poniżej 0,001% dla częstotliwości do 2 kHz oraz poniżej 0,002% do około 7 kHz.

Na rysunku 2 przedstawiono całkowite zniekształcenia harmoniczne wraz z szumem (THD+N) w funkcji poziomu sygnału dla trzech ustawień głośności (wzmocnienia). Zniekształcenia są większe przy niższych poziomach sygnału, ponieważ udział stałego poziomu szumu staje się wtedy bardziej znaczący. Gwałtowny wzrost charakterystyki w okolicach 2,5 V RMS oznacza wejście regulatora głośności w stan przesterowania.

Optymalny zakres pracy uzyskuje się dla sygnału wejściowego o poziomie około 1,5 V RMS.

Na rysunku 3 przedstawiono przesłuchy między kanałami. Dwa wykresy pokazują skrajne wartości, jakich można oczekiwać w pojedynczym module regulacji głośności, co zostanie wyjaśnione w dalszej części artykułu. Niebieski wykres przedstawia przesłuch pomiędzy sąsiednimi kanałami i wynosi około –80 dB lub mniej. Kanały te współdzielą część elementów toru audio. Czerwony wykres pokazuje separację między kanałami znajdującymi się na przeciwległych końcach modułu, która jest nieco lepsza.

Na rysunku 4 przedstawiono charakterystyki częstotliwościowe dla trzech ustawień wzmocnienia: +5 dB (czerwony), 0 dB (zielony) oraz –5 dB (niebieski). Przy niższych częstotliwościach występuje niewielki, ale równomierny spadek poziomu sygnału, jednak różnica poziomów pozostaje praktycznie stała w całym paśmie słyszalnym. Oznacza to, że regulacja głośności działa równomiernie i zgodnie z oczekiwaniami.

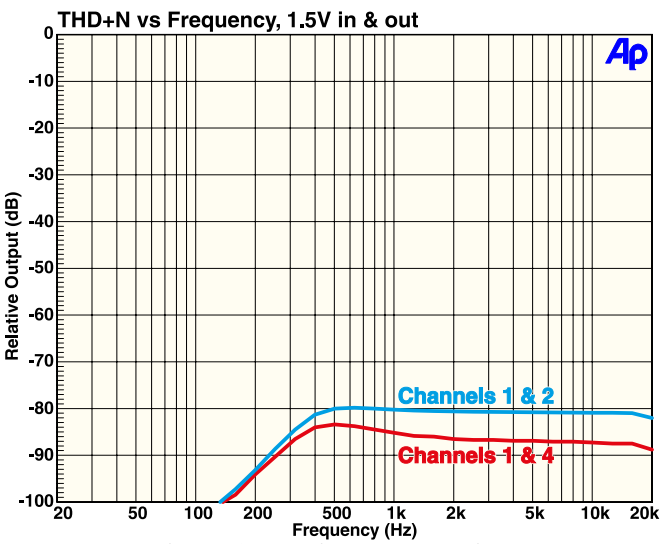
Cechy i specyfikacja

- Regulacja głośności 4, 8, 12, 16 lub 20 kanałów
- Gniazda RCA dla wejść i wyjść audio
- Zakres regulacji głośności/wzmocnienia: wyciszenie (-100 dB) oraz od –48 dB do +16 dB
- Kroki regulacji 1 dB lub mniejsze w zakresie od –30 dB do +16 dB
- Cyfrowe sterowanie z wykorzystaniem ekranu dotykowego, enkodera obrotowego i pilota na podczerwień
- Dotykowy wyświetlacz LCD 2,8 cala pokazujący poziom głośności i stan wyciszenia
- Możliwość zaprogramowania obsługi wielu kodów IR zgodnych z protokołem NEC
- Możliwość indywidualnej korekcji poziomu dla każdego kanału
- Ustawienia głośności i wyciszenia zapisywane w pamięci EEPROM
- Opcjonalny moduł OLED z wyświetlaczem i enkoderem obrotowym
- THD+N: typowo poniżej 0,002% (**rysunek 1**)
- Separacja kanałów: ponad 80 dB (**rysunek 3**)
- Obsługiwany poziom sygnału: 0,1...2,5 V RMS

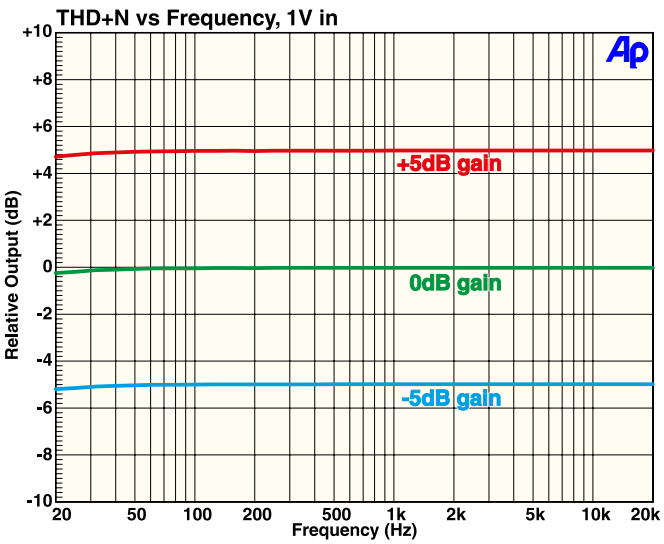
Konstrukcja modułowa

Chociaż konstrukcja może obsługiwać nawet 20 kanałów, większość użytkowników nie będzie potrzebowała aż tylu. Z tego względu zastosowano budowę modułową. System składa się z modułu sterowania i zasilania, czterokanałowego modułu regulacji głośności oraz opcjonalnego modułu OLED.

Główny moduł sterowania i zasilania zawiera mikrokontroler, który przetwarza polecenia użytkownika i steruje pracą regulatora głośności. Na płytce znajdują się również

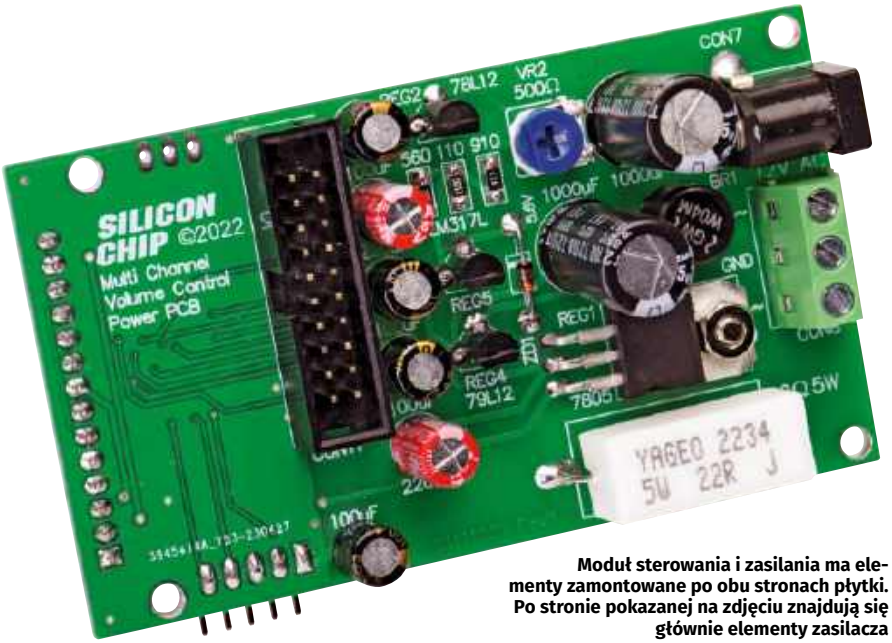


Rysunek 3. Separacja kanałów wynosi około 80 dB w najgorszym przypadku i dotyczy jedynie sąsiednich kanałów współdzielących wzmacniacz operacyjny w torze audio



Rysunek 4. Charakterystyka częstotliwościowa dla trzech różnych ustawień głośności (–5 dB, 0 dB i +5 dB). Przy najniższych częstotliwościach występuje jedynie niewielki spadek poziomu sygnału, a wpływ regulacji głośności pozostaje bardzo równomierny w całym paśmie

eprasa.pl 39bd2886e9



Moduł sterowania i zasilania ma elementy zamontowane po obu stronach płytki. Po stronie pokazanej na zdjęciu znajdują się głównie elementy zasilacza

wszystkie układy zasilania dla pozostałych modułów.

Sekcja zasilania wymaga jedynie napięcia 12 V AC, które może pochodzić z niewielkiego transformatora sieciowego lub zasilacza wtyczkowego AC, jeśli system nie dysponuje już odpowiednim źródłem zasilania. Jeżeli urządzenie jest wyposażone w większy transformator z odczepem 12 V AC, dodatkowy transformator prawdopodobnie nie będzie potrzebny.

Alternatywnie do modułu sterowania i zasilania można doprowadzić napięcie symetryczne ±15 V DC, jednak rozwiązanie to nie było testowane.

Moduł sterowania i zasilania zawiera również odbiornik podczerwieni oraz 2,8-calowy dotykowy wyświetlacz LCD. Płytka drukowana ma taki sam rozmiar jak panel LCD i wysokość 50 mm, dzięki czemu dobrze pasuje do obudowy rack 3U lub wyższej.

Moduł regulacji głośności umożliwia sterowanie maksymalnie czterema kanałami i zawiera precyzyjny, czterokanałowy potencjometr cyfrowy AD8403. Moduł wyposażono również w cztery wejściowe i cztery wyjściowe gniazda RCA oraz elementy odpowiedzialne za buforowanie i przetwarzanie sygnału audio.

Trzeci moduł – OLED – stanowi prostą i kompaktową alternatywę lub uzupełnienie dotykowego wyświetlacza LCD. Wyposażono go w niewielki ekran OLED i przeznaczono dla użytkowników preferujących mniejsze oraz prostsze rozwiązania. Elementem sterującym jest tutaj enkoder obrotowy.

Poszczególne moduły są połączone taśmą ze złączami IDC, która przenosi wszystkie sygnały zasilające i sterujące.

Najprostsza konfiguracja składa się z jednego modułu sterowania i zasilania oraz od jednego do pięciu modułów regulacji głośności, co pozwala sterować poziomem sygnału w 4...20 kanałach.

Po dodaniu modułu OLED można zastosować maksymalnie cztery moduły regulacji głośności, co ogranicza liczbę obsługiwanych kanałów do szesnastu. W praktyce nie stanowi to jednak istotnego ograniczenia.

Ze względu na różne możliwości konfiguracji oraz fakt, że wiele osób będzie wykorzystywać ten projekt jako część większego systemu, nie narzucamy konkretnego typu obudowy. Można ją dobrać zgodnie z własnymi wymaganiami, uwzględniając miejsce na moduły wzmacniaczy, transformatory i pozostałe elementy.

W pierwszej kolejności omówimy zasadę działania poszczególnych modułów. W następnym odcinku przedstawimy ich montaż oraz sposób łączenia, testowania i użytkowania.

Moduł sterowania i zasilania

Na **rysunku 5** przedstawiono schemat modułu sterowania i zasilania. Do złącza CON7 lub CON8 należy doprowadzić napięcie 12 V AC.

CON7 jest gniazdem baryłkowym i umożliwia podłączenie tylko pojedynczego napięcia 12 V AC. Z kolei złącze CON8 ma trzy zaciski i jest przeznaczone do podłączenia transformatora 24 V AC z odczepem środkowym lub dwóch napięć 12 V AC. W razie potrzeby do złącza CON8 można jednak podłączyć także pojedyncze uzwojenie.

Niezależnie od wybranego sposobu podłączenia napięcie AC jest prostowane przez mostek BR1 i filtrowane za pomocą dwóch kondensatorów elektrolitycznych 1000 µF, co pozwala uzyskać napięcia około ±17 V DC przed stabilizacją. Preferowane jest zasilanie z transformatora z odczepem środkowym przez złącze CON8, ponieważ kondensatory muszą wówczas podtrzymywać napięcie jedynie przez 10 ms każdego półokresu, a nie przez 20 ms pełnego okresu napięcia sieciowego.

Płytka generuje pięć stabilizowanych napięć stałych. Stabilizatory REG2 (78L12) i REG4 (79L12) dostarczają odpowiednio napięcia +12 V oraz –12 V do zasilania układów analogowych. Ich wyjścia są filtrowane kondensatorami 100 µF, a następnie doprowadzane do złącza CON11, przez które napięcia są rozprowadzane do pozostałych modułów za pomocą taśmy połączeniowej.

Napięcie z szyny +12 V jest następnie stabilizowane do poziomu 5,5 V przez układ REG5 (LM317L) oraz współpracujące z nim elementy. Rezystory i potencjometr VR2 umożliwiają precyzyjne ustawienie napięcia wyjściowego z uwzględnieniem tolerancji elementów.

Na wyjściu stabilizatora REG5 znajduje się kondensator 220 µF, a uzyskane napięcie jest również doprowadzane do złącza CON11. Jeśli napięcie szyny 5,5 V zostanie ustawione zbyt wysoko, dioda Zenera ZD1 zaczyna przewodzić, chroniąc dalsze układy przed uszkodzeniem.

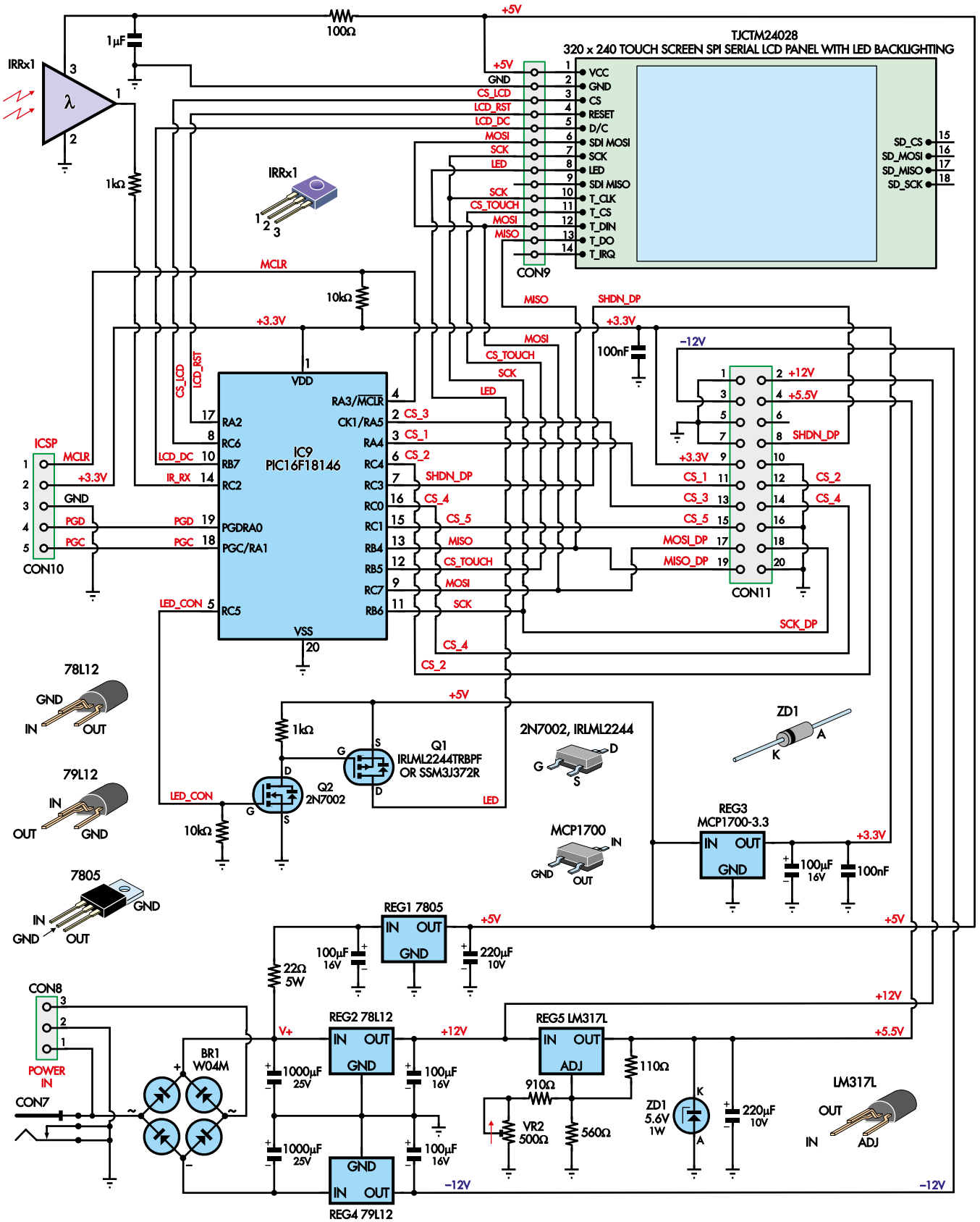
Niestabilizowane dodatnie napięcie zasilające jest także obniżane za pomocą rezystora 22 Ω 5 W, zastosowanego w celu rozproszenia części strat mocy, a następnie stabilizowane do 5 V przez układ REG1 (7805). Na wejściu stabilizatora znajduje się kondensator filtrujący 100 µF, a na wyjściu kondensator 220 µF.

Szyna 5 V jest wykorzystywana w module sterowania i zasilania do zasilania dotykowego wyświetlacza LCD. Zapotrzebowanie podświetlenia LCD na większą moc, a co za tym idzie większe straty mocy, jest głównym powodem zastosowania stabilizatora REG1 w większej obudowie TO-220, podczas gdy pozostałe stabilizatory mają mniejsze obudowy TO-92.

Napięcie szyny 5 V jest następnie obniżane do 3,3 V przez stabilizator REG3 (MCP1700), który zasila mikrokontroler IC9. Napięcie 3,3 V jest również wyprowadzone na złącze CON11 i służy do zasilania mikrokontrolera w module OLED.

Szyny +12 V i –12 V zasilają układy analogowe, natomiast szyna 5,5 V służy głównie do zasilania potencjometrów cyfrowych. Z kolei szyny 5 V oraz 3,3 V zasilają układy cyfrowe. Rozdzielenie tych napięć zasilających pomaga ograniczyć przenikanie zakłóceń

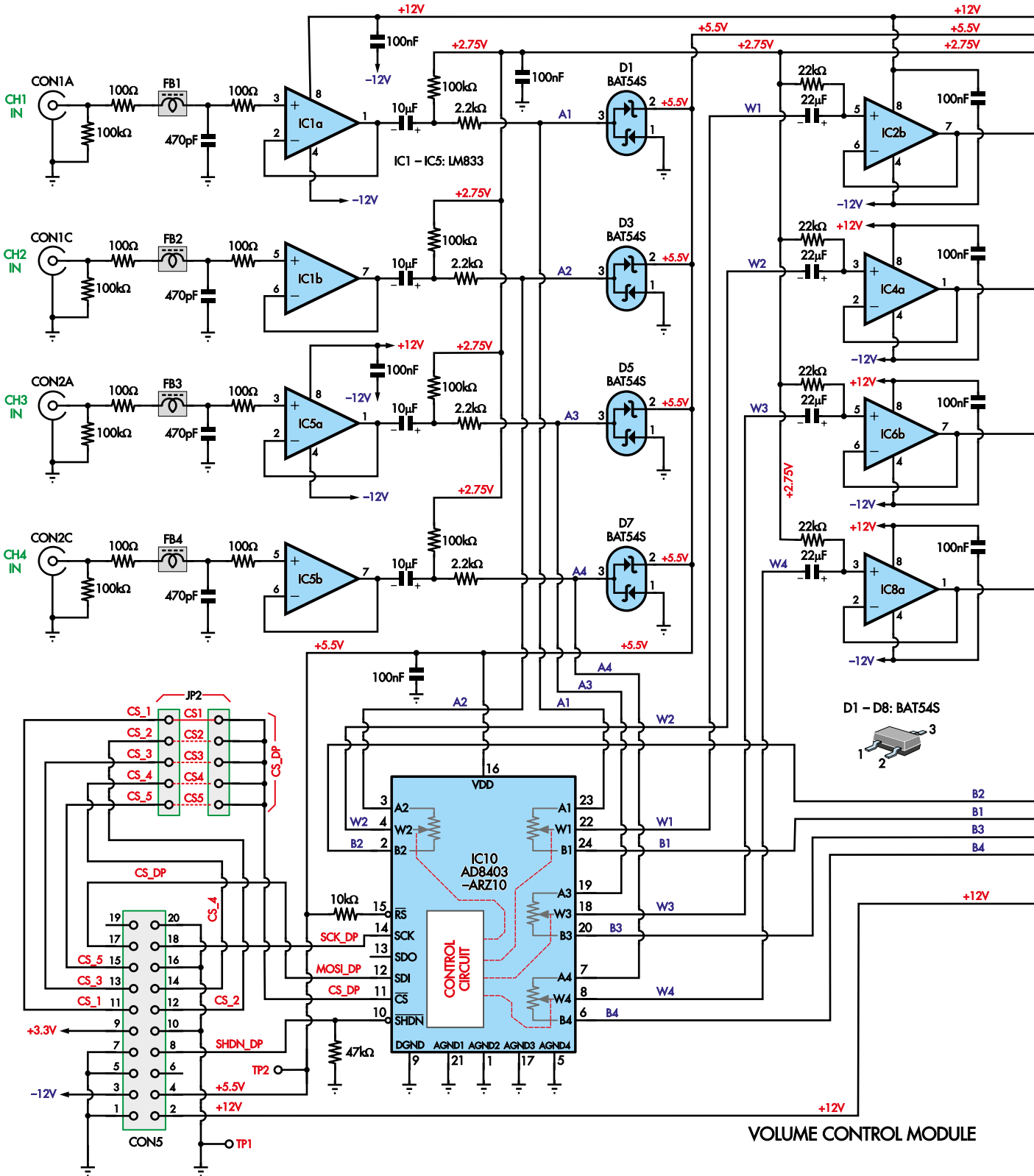
eprasa.pl 39bd2886e9



CONTROL & POWER SUPPLY MODULE

Rysunek 5. Moduł sterowania i zasilania wytwarza napięcia +12 V, –12 V, +5,5 V, +5 V oraz +3,3 V potrzebne do zasilania układów sterujących i modułów zewnętrznych. Mikrokontroler obsługuje dotykowy wyświetlacz LCD oraz odbiera sygnały z odbiornika podczerwieni. Za pośrednictwem 20-żyłowego przewodu taśmowego podłączonego do złącza CON11 przesyła również sygnały sterujące do pozostałych modułów

eprasa.pl 39bd2886e9



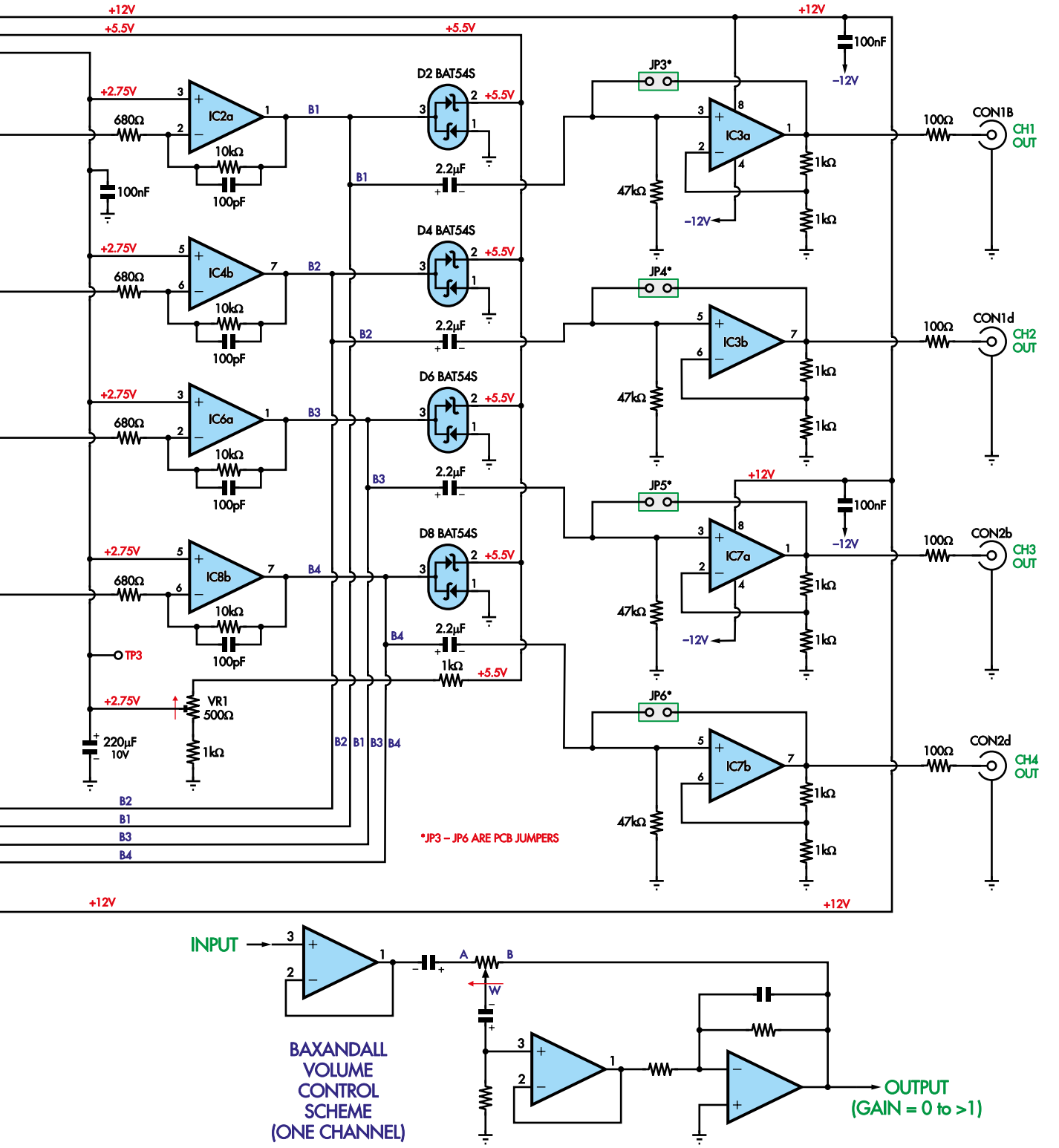
VOLUME CONTROL MODULE

z części cyfrowej do analogowej, co mogłoby pogorszyć jakość dźwięku.

Pozostałe układy w module sterowania i zasilania składają się głównie z mikrokontrolera, ekranu dotykowego LCD i niezbędnych układów pomocniczych. IC9 jest 20-pinowym, 8-bitowym mikrokontrolerem PIC16F18146. Układ jest zasilany napięciem 3,3 V, dzięki czemu może bezpośrednio współpracować z modułem wyświetlacza LCD, który również pracuje z napięciem 3,3 V, uzyskiwanym z własnego stabilizatora znajdującego się na płytce wyświetlacza.

Rezystor 10 kΩ podciąga pin 4 (\MCLR) układu IC9 do szyny 3,3 V, zapobiegając przypadkowym resetom, natomiast kondensator 100 nF filtruje napięcie zasilające doprowadzone do pinów 1 i 20. Te trzy piny oraz linie programujące PGC i PGD są wyprowadzone do złącza ICSP CON10,

eprasa.pl 39bd2886e9



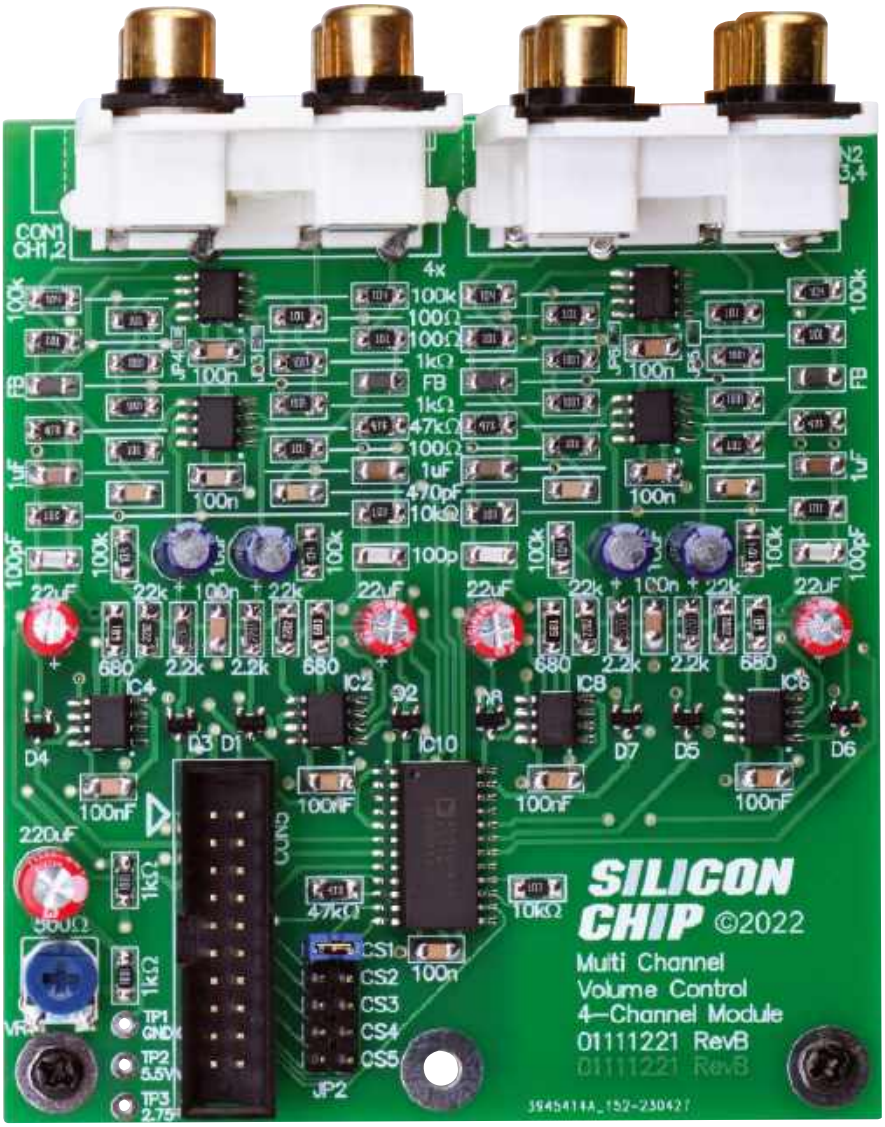
Rysunek 6. Schemat modułu regulacji głośności zawiera cztery niemal identyczne tory regulacji, z których każdy wykorzystuje jeden kanał precyzyjnego potencjometru cyfrowego AD8403. Sygnały sterujące magistrali SPI są doprowadzane za pośrednictwem 20-żyłowej taśmy podłączonej do złącza CON5

umożliwiającego programowanie mikrokontrolera bezpośrednio w układzie.

Dziewięć kolejnych cyfrowych wyprowadzeń mikrokontrolera jest połączonych ze złączem CON11 i służy do sterowania pozostałymi modułami. Linie SCK, MOSI oraz MISO tworzą szeregową magistralę SPI używaną do komunikacji z innymi modułami. Mikrokontroler PIC16F18146 umożliwia przypisanie funkcji cyfrowych układów peryferyjnych do dowolnych wyprowadzeń cyfrowych, dlatego rozmieszczenie sygnałów dobrano tak, aby uprościć prowadzenie ścieżek na płytce drukowanej.

Wyprowadzono również pięć linii \CS (chip select), umożliwiających niezależne adresowanie maksymalnie pięciu modułów podrzędnych podłączonych do magistrali SPI.

eprasa.pl 39bd2886e9



Można połączyć ze sobą do pięciu modułów regulacji głośności, co pozwala sterować poziomem sygnału nawet w 20 kanałach. Moduły mogą być częścią większego systemu zawierającego również inne elementy, takie jak wzmacniacze

Linia SHDN (shutdown) pozwala mikrokontrolerowi sygnalizować wszystkim modułom regulacji głośności, że ich wyjścia powinny zostać wyciszone.

Linie magistrali SPI są również połączone z dotykowym wyświetlaczem LCD za pośrednictwem złącza CON9, wraz z czterema dodatkowymi liniami sterującymi. Para tranzystorów MOSFET oraz rezystory podciągające i ściągające sterują zasilaniem podświetlenia LED wyświetlacza LCD za pomocą sygnału cyfrowego LED_CON generowanego przez układ IC9.

Odbiornik podczerwieni IRRx1 jest zasilany z szyny 5 V filtrowanej przez rezystor 100 Ω i kondensator 1 µF. Jego wyjście jest podłączone do ostatniego niewykorzystanego wejścia mikrokontrolera IC9 poprzez rezystor 1 kΩ.

Tego typu odbiorniki mają zazwyczaj wewnętrzny rezystor podciągający o wartości około 30 kΩ, dlatego mimo zasilania napięciem 5 V mogą bezpiecznie współpracować z mikrokontrolerem pracującym z poziomami 3,3 V. Wynika to z niewielkiej wydajności prądowej sygnału 5 V, który może zostać ograniczony przez wewnętrzne diody zabezpieczające wejścia mikrokontrolera.

Moduł regulacji głośności

Schemat pojedynczego modułu regulacji głośności przedstawiono na **rysunku 6**. Złącze CON5 jest połączone ze złączem CON11 modułu sterowania i zasilania za pomocą 20-żyłowej taśmy.

Regulowany dzielnik napięcia z potencjometrem montażowym VR1 służy do uzyskania napięcia 2,75 V z szyny zasilania 5,5 V. Potencjometr VR1 umożliwia jego precyzyjne ustawienie, a kondensator 220 µF zapewnia dodatkową filtrację. Na płytce przewidziano również punkty testowe ułatwiające pomiary podczas uruchamiania układu. Napięcie 2,75 V musi być ustawione możliwie dokładnie, aby maksymalnie zwiększyć zakres zmian sygnału i zapewnić symetryczne przesterowanie przy zbyt wysokim poziomie sygnału.

W module regulacji głośności zastosowano pojedynczy precyzyjny potencjometr cyfrowy AD8403 (IC10), zasilany z szyny 5,5 V filtrowanej kondensatorem 100 nF. Pin \RS (reset) układu jest podciągnięty do szyny 5,5 V rezystorem 10 kΩ, ponieważ funkcja resetu nie jest wykorzystywana. Jej aktywacja powodowałaby ustawienie wszystkich potencjometrów w położeniach środkowych.

Pozostałe cyfrowe wyprowadzenia układu IC10 (SCK, MOSI, MISO oraz \SHDN) są połączone z odpowiednimi liniami magistrali sterującej poprzez złącze CON5. Linia \CS jest doprowadzona do pięciopozycyjnej zworki JP2, co pozwala wybrać, która z pięciu linii \CS z mikrokontrolera modułu sterowania będzie obsługiwać dany moduł regulacji głośności. Każdy moduł podrzędny („slave") w systemie musi mieć przypisaną inną linię \CS.

Pin \SHDN jest również połączony z rezystorem 47 kΩ podciągającym go do masy. Dzięki temu moduł regulacji głośności pozostaje wyciszony do momentu inicjalizacji mikrokontrolera i zmiany stanu tej linii. Mikrokontroler może także wymusić stan niski na pinie \SHDN, aby wyciszyć układ i ograniczyć trzaski oraz zakłócenia podczas uruchamiania.

Pozostała część modułu regulacji głośności składa się z czterech niemal identycznych sekcji analogowych, z których każda wykorzystuje jeden z potencjometrów 10 kΩ znajdujących się wewnątrz układu IC10. Cztery potencjometry w każdym module oraz pięć linii \CS wyznaczają maksymalną liczbę obsługiwanych kanałów, wynoszącą 20.

Układy analogowe

Opiszemy działanie tylko pierwszego kanału, ponieważ wszystkie pracują identycznie. Wszystkie 16 wzmacniaczy operacyjnych, umieszczonych w ośmiu układach scalonych, to wysokiej jakości układy LM833 charakteryzujące się niskim poziomem szumów i zniekształceń. Są one zasilane z szyn ±12 V, a każdy wzmacniacz operacyjny ma własny kondensator odsprzęgający 100 nF.

Rezystor 100 kΩ polaryzuje wejście gniazda RCA do masy, zapobiegając jego „pływaniu"

eprasa.pl 39bd2886e9

po odłączeniu sygnału. Rezystory 100 Ω, kondensator 470 pF oraz koralik ferrytowy umieszczone przed pierwszym stopniem wzmacniacza operacyjnego chronią wejście przed nadmiernymi skokami napięcia oraz filtrują zakłócenia radiowe RF i sygnały ultradźwiękowe.

Pierwszy stopień wzmacniacza operacyjnego pracuje jako bufor o jednostkowym wzmocnieniu, zapewniając wysoką impedancję wejściową i niską impedancję wyjściową dla kolejnych stopni układu. Sygnał wyjściowy jest sprzęgany przez kondensator i polaryzowany do poziomu szyny 2,75 V.

Podwójna dioda D1 ogranicza sygnał, gdy jego napięcie spadnie poniżej 0 V lub przekroczy 5,5 V, natomiast rezystor 2,2 kΩ ogranicza prąd płynący w takiej sytuacji. Zakres od 0 V do 5,5 V został dobrany jako maksymalny zakres napięć, jaki układ AD8403 może poprawnie obsługiwać podczas normalnej pracy.

Rezystor 2,2 kΩ tworzy również dzielnik napięcia z cyfrowym potencjometrem 10 kΩ, dzięki czemu na wejście można podać sygnał o poziomie do 2,3 V RMS (około 6,5 V peak-to-peak) bez ograniczania go przez diodę D1.

Kolejne dwa stopnie wzmacniacza operacyjnego realizują układ regulacji głośności Baxandalla. Pierwszy stopień pracuje jako bufor o jednostkowym wzmocnieniu, pełniąc jednocześnie funkcję prostego miksera, natomiast drugi jest wzmacniaczem odwracającym o wzmocnieniu napięciowym 14,7×. W efekcie sygnał wyjściowy tego stopnia ma odwróconą polaryzację względem sygnału wejściowego.

Potencjometr jest połączony pomiędzy wejściem (końcówka „A") a wyjściem (końcówka „B") tych dwóch stopni, co pozwala uzyskać logarytmiczną charakterystykę regulacji mimo zastosowania potencjometru liniowego. Kolejna podwójna dioda, umieszczona przy drugim końcu ścieżki potencjometru cyfrowego, chroni układ przed nadmiernym napięciem pochodzącym z wyjścia stopnia wzmacniającego.

Gdy sygnał \SHDN jest aktywny (stan niski), potencjometr cyfrowy odłącza końcówkę A każdego potencjometru i łączy suwak z końcówką B ścieżki rezystancyjnej. Powoduje to całkowite wyciszenie wyjścia.

Potencjometr ma jednak niewielką rezystancję resztkową na końcach ścieżki, dlatego nawet przy minimalnym ustawieniu część sygnału może nadal przedostawać się na wyjście. Pełne wyciszenie uzyskuje się dopiero po aktywacji sygnału \SHDN.

Kolejny kondensator wraz z rezystorem przywraca sygnał do pierwotnego poziomu odniesienia względem masy, natomiast końcowy stopień wzmacniacza operacyjnego każdego kanału zapewnia dodatkowe wzmocnienie. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie sygnału wyjściowego o poziomie do 2,5 V RMS mimo ograniczenia napięcia międzyszczytowego do 5,5 V, wynikającego z właściwości zastosowanych potencjometrów cyfrowych.

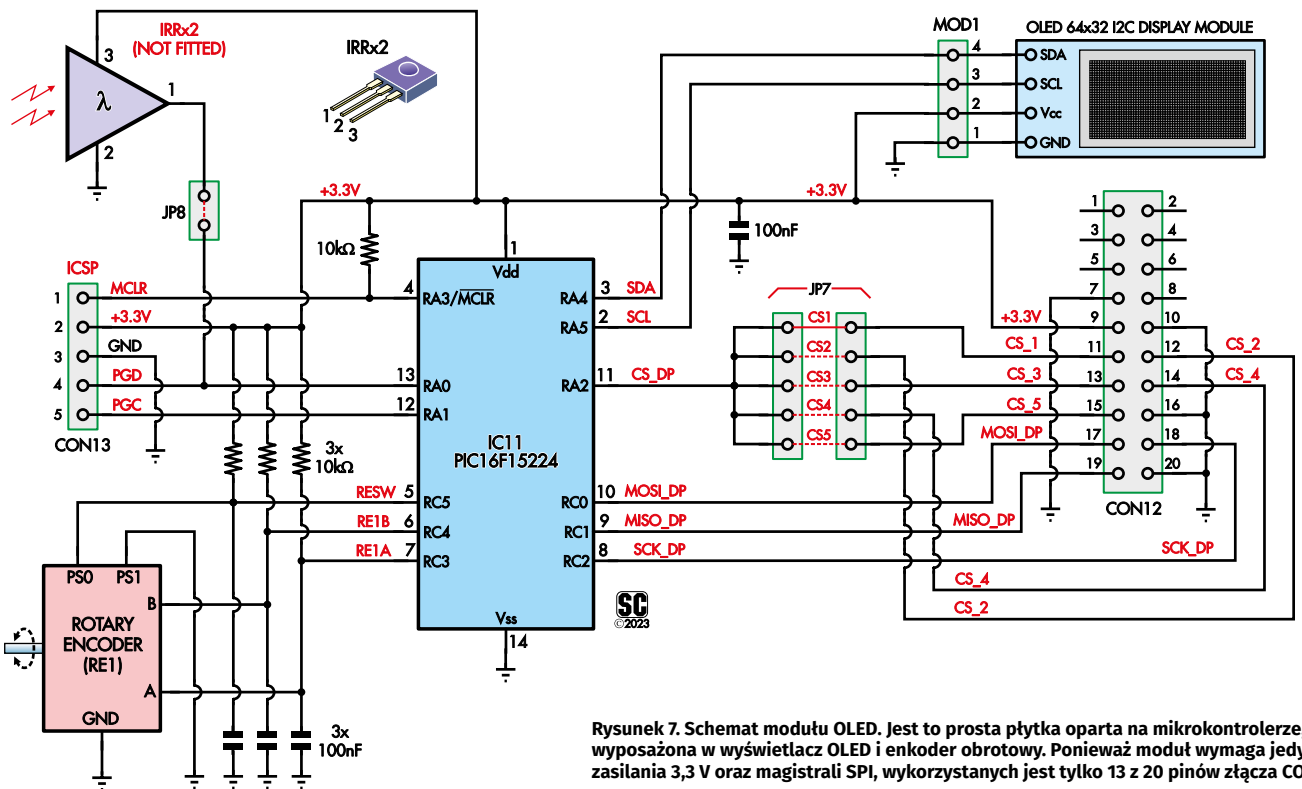


Opcjonalny moduł OLED zapewnia bardziej kompaktowy wyświetlacz oraz regulację głośności za pomocą enkodera obrotowego. Jeśli nie chcesz korzystać z ekranu dotykowego, moduł OLED może pełnić rolę głównego interfejsu użytkownika, współpracując z odbiornikiem podczerwieni podłączonym do modułu sterującego

Rezystor 100 Ω umieszczony pomiędzy wyjściem a gniazdem RCA izoluje wzmacniacz operacyjny od obciążeń pojemnościowych.

Do pominięcia ostatniego stopnia wzmacniacza operacyjnego i zmniejszenia wzmocnienia można użyć zworki. Pozwala to również ograniczyć liczbę wymaganych elementów.

Istotną cechą układu jest możliwość niezależnego ustawiania wszystkich czterech potencjometrów cyfrowych, dzięki czemu poszczególne kanały mogą pracować z różnymi poziomami sygnału. Funkcja ta jest przydatna podczas



Rysunek 7. Schemat modułu OLED. Jest to prosta płytka oparta na mikrokontrolerze, wyposażona w wyświetlacz OLED i enkoder obrotowy. Ponieważ moduł wymaga jedynie zasilania 3,3 V oraz magistrali SPI, wykorzystanych jest tylko 13 z 20 pinów złącza CON12

eprasa.pl 39bd2886e9

wyrównywania poziomów i utrzymywania właściwego balansu dźwięku.

Moduł OLED

Moduł OLED stanowi opcjonalny, kompaktowy interfejs sterujący. Jego schemat jest bardzo prosty (**rysunek 7**), ponieważ płytkę zaprojektowano tak, aby pełniła jednocześnie funkcję panelu przedniego, a wszystkie elementy zostały umieszczone po jej tylnej stronie. Moduł jest przeznaczony do montażu w otworze istniejącego panelu, podobnie jak ramka lub niewielki panel operatorski.

Połączenie z pozostałymi modułami realizowane jest za pomocą taśmy podłączonej do złącza CON12, wykorzystującego to samo 20-pinowe złącze IDC co w pozostałych modułach. W module OLED używane są jedynie linie magistrali SPI, pięć linii \CS, zasilanie 3,3 V oraz masa. Moduł pracuje całkowicie cyfrowo i nie wymaga innych napięć zasilających.

14-pinowy, 8-bitowy mikrokontroler PIC16F15224 (IC11) jest podłączony do magistrali SPI jako układ podrzędny („slave"), a jego linia \CS wybierana jest spośród pięciu dostępnych za pomocą pól lutowniczych JP7. Zastosowano je zamiast klasycznych złączy i zworek, aby zachować kompaktowe wymiary modułu.

Kolejne trzy wyprowadzenia układu IC11 są połączone z enkoderem obrotowym, który służy do wprowadzania poleceń użytkownika. Dwa z tych pinów obsługują sygnały enkodera kwadraturowego i są zwierane do masy przez styki enkodera lub podciągane rezystorami 10 kΩ.

Przycisk wbudowany w enkoder jest podłączony w podobny sposób. Każde z tych trzech wejść ma dodatkowo kondensator 100 nF dołączony do masy, co pomaga tłumić drgania styków.

Dwa kolejne wyprowadzenia IC11 służą do sterowania wyświetlaczem OLED za pośrednictwem magistrali I²C. Wyświetlacz prezentuje aktualny stan regulatora głośności.

Zastosowano również typowy układ pomocniczy spotykany w 8-bitowych mikrokontrolerach PIC, składający się z kondensatora odsprzęgającego pomiędzy linią 3,3 V a masą oraz rezystora podciągającego pin \MCLR. Te wyprowadzenia, wraz z liniami PGC i PGD używanymi do programowania w układzie, są doprowadzone do złącza CON13 służącego do programowania mikrokontrolera.

Ograniczenia zakresu regulacji głośności

Zastosowanie poczwórnego 8-bitowego potencjometru cyfrowego (IC10) zamiast specjalizowanego układu regulacji głośności pozwala obniżyć koszt konstrukcji. Rozwiązanie to wiąże się jednak z ograniczeniem efektywnego zakresu regulacji.

Dedykowane układy regulacji głośności mogą oferować zakres sięgający 100 dB lub więcej, natomiast 8-bitowy potencjometr cyfrowy dysponuje jedynie 256 krokami regulacji. W praktyce przekłada się to na efektywny zakres regulacji wynoszący około 60 dB.

Dla większości zastosowań jest to w pełni wystarczające. Warto jednak upewnić się, że maksymalny poziom sygnału wyjściowego został dobrany właściwie, ponieważ zbyt duże wzmocnienie może pogorszyć precyzję regulacji przy niskich poziomach głośności.

Wykaz elementów:

Moduł sterowania i zasilania
1 moduł sterowania i zasilania (patrz niżej)
1...5 modułów regulacji głośności (każdy obsługuje cztery kanały, patrz niżej)
1 moduł OLED (opcjonalny, patrz niżej)
20-żyłowa taśma o długości 1 m (przycięta odpowiednio do zastosowania)
1 uniwersalny pilot na podczerwień (opcjonalny, patrz tekst) [Jaycar XC3718]
1 transformator z pojedynczym uzwojeniem 12 V AC lub transformator 24 V AC z odczepem środkowym i odpowiednie okablowanie/bezpiecznik
kable RCA do podłączenia do istniejącego sprzętu
inne elementy montażowe dostosowane do danego zastosowania

Moduł sterowania i zasilania
1 dwustronna płytka drukowana z kodem 01111222, 87 mm × 50 mm
1 ekran dotykowy LCD 2,8 cala [Silicon Chip SC3410]
1 gniazdo zasilania typu jack 2,1 mm lub 2,5 mm (CON7, opcjonalnie)
1 3-polowe złącze śrubowe o rastrze 5 mm/5,08 mm (CON8, opcjonalnie)
1 14-pinowe złącze żeńskie 0,1 cala (CON9, dla ekranu dotykowego LCD)
1 5-pinowe kątowe złącze szpilkowe (CON10, opcjonalne dla ICSP)
1 20-pinowe złącze IDC i wtyk IDC (CON11) LUB
1 20-pinowe przelotowe złącze IDC (CON11)
1 miniaturowy potencjometr montażowy z regulacją od góry 500 Ω (VR2)
1 3-pinowy odbiornik podczerwieni, 38 kHz (IRRx1) [TSOP4138, TSOP33438, Jaycar ZD1952, Altronics Z1611A]
9 śrub z łbem walcowym M3 × 5 mm
4 tuleje dystansowe M3 × 12 mm
1 nakrętka sześciokątna M3 i podkładka (do montażu REG1)

Półprzewodniki
1 mostek prostowniczy W04M (BR1) [Jaycar ZR1304]
1 mikrokontroler PIC16F18146-I/SO zaprogramowany kodem 0111122B.HEX, szeroka obudowa SOIC-20 (IC9)
1 IRLML2244TRPBF lub SSM3J372R 20 V 1 A+ tranzystor MOSFET P-kanałowy kompatybilny z poziomami logicznymi, SOT-23 (Q1)
1 2N7002 60 V 115 mA N-kanałowy MOSFET, SOT-23 (Q2)
1 stabilizator liniowy 7805 +5 V 1 A, TO-220 (REG1)
1 stabilizator liniowy 78L12 +12 V 100 mA, TO-92 (REG2)
1 stabilizator liniowy MCP1700-3.3 3,3 V 250 mA, SOT-23 (REG3)
1 stabilizator liniowy 79L12 -12 V 100 mA, TO-92 (REG4)
1 regulowany stabilizator liniowy LM317L 100 mA, TO-92 (REG5)
1 dioda Zenera 5,6 V 1 W (ZD1)

Kondensatory
2 1000 µF 25 V elektrolityczny
2 220 µF 10 V elektrolityczny
4 100 µF 16 V elektrolityczny
1 1 µF 10 V X7R ceramiczny, rozmiar SMD M3216/1206
2 100 nF 50 V X7R ceramiczne, rozmiar SMD M3216/1206

Rezystory (wszystkie SMD M3216/1206 1%, z wyjątkiem wymienionych)

2 10 kΩ	2 1 kΩ	1 910 Ω	1 560 Ω
1 110 Ω	1 100 Ω	1 22 Ω 5% 5 W osiowy	

Moduł regulacji głośności
1 dwustronna płytka drukowana z kodem 01111221, 82 mm × 94 mm
2 czterokanałowe gniazda RCA (CON1, CON2) [Altronics P0214]
1 20-pinowe złącze IDC i wtyk IDC (CON5) lub
1 20-pinowe przelotowe złącze IDC (CON5)
4 ferrytowe koraliki SMD, rozmiar M3216/1206 (FB1-FB4) [Fair-Rite 2512066017Y1]
1 złącze 5×2 pinów i zworka (JP2)
1 miniaturowy potencjometr montażowy regulacji górnej 500 Ω (VR1)
8 śrub z łbem walcowym M3 × 6 mm
4 tuleje dystansowe M3 × 12 mm gwintowane (lub inny sprzęt montażowy dostosowany do danego zastosowania)

Półprzewodniki
8 podwójnych diod Schottky'ego BAT54S, SOT-23 (D1...D8)
8[6] niskoszumnych podwójnych wzmacniaczy operacyjnych LM833, SOIC-8 (IC1...IC8)
1 czterokanałowy precyzyjny potencjometr cyfrowy AD8403ARZ10, SOIC-28 (IC10)

Kondensatory (wszystkie SMD M3216/1206, o ile nie zaznaczono inaczej)
1 220 µF 10 V elektrolityczny
4 22 µF 16 V elektrolityczne
4 10 µF 16 V elektrolityczny
4 tantalowe kondensatory 2,2 µF 25 V, obudowa SMA SMD*
11[9] 100 nF 50 V X7R
4 470 pF 50 V C0G/NP0
4 100 pF 50 V C0G/NP0

Rezystory (wszystkie SMD M3216/1206 1%)

8 100 kΩ	5 47 kΩ	4 22 kΩ	5 10 kΩ
4 2,2 kΩ	10[2] 1 kΩ	4 680 Ω	12 100 Ω

Liczby w nawiasach oznaczają liczbę elementów wymaganą po pominięciu ostatniego stopnia wzmacniacza operacyjnego.
* Niezalecane, ale można zastąpić ceramicznymi 22 µF 4 V+ X5R/X7R w M3216/1206 (patrz ramka „Wnioski wyciągnięte podczas opracowywania").

Moduł OLED
1 dwustronna płytka drukowana z kodem 01111223, 51 mm × 76 mm
1 moduł I²C OLED 0,96 cala (MOD1)
1 mikrokontroler PIC16F15224-I/SL zaprogramowany kodem 0111122C.HEX, SOIC-14 (IC11)
1 impulsowy enkoder obrotowy z 18-zębowym wałkiem wielowypustowym (RE1) [Silicon Chip SC5601]
1 pokrętło dopasowane do RE1
1 20-pinowe złącze IDC SMD lub 20-pinowe dwurzędowe złącze SMD (CON12) ◆
1 20-pinowa wtyczka IDC
1 5-pinowe złącze (CON13, opcjonalne dla ICSP)
4 śruby M3, podkładki i nakrętki dostosowane do wymagań montażowych
4 kondensatory ceramiczne SMD 100 nF 50 V X7R M3216/1206
4 rezystory 10 kΩ SMD 1% M3216/1206
kilka krótkich kawałków litego drutu (np. ścinki wyprowadzeń elementów)
◆ można wykonać poprzez wycięcie 10 rzędów z Altronics P5415

eprasa.pl 39bd2886e9

W domyślnej konfiguracji maksymalne wzmocnienie wynosi 16 dB, co pozwala uzyskać sygnał wyjściowy około 2 V RMS przy sygnale wejściowym rzędu 300 mV RMS. Jest to wartość niższa od typowego poziomu liniowego, wynoszącego zwykle około 775 mV RMS.

W tej konfiguracji najniższy poziom sygnału wyjściowego przy wejściu 1 V RMS, jeszcze przed całkowitym wyciszeniem, wynosi 4 mV RMS, czyli –48 dB. Kolejne poziomy to 9 mV (–41 dB), 15 mV (–36,5 dB), 21 mV (–33,5 dB), 27 mV (–31,4 dB) oraz 33 mV (–29,6 dB), a następnie regulacja odbywa się już krokami około 1 dB lub mniejszymi.

Chociaż poziom –48 dB znajduje się 64 dB poniżej maksymalnego poziomu wyjściowego, kroki regulacji pozostają dość duże aż do około –30 dB. W praktyce daje to użyteczny zakres regulacji wynoszący około 46 dB.

Różnica rzędu 10 dB pomiędzy różnymi źródłami sygnału wejściowego zmniejsza efektywny zakres regulacji do około 36 dB. Oznacza to stosunek około 4000:1 pomiędzy najwyższą i najniższą mocą wyjściową przy zachowaniu dobrej precyzji regulacji. Jeśli maksymalna głośność odpowiada mocy wyjściowej 100 W, wygodna regulacja będzie możliwa aż do poziomu około 25 mW.

W praktyce jest to w pełni wystarczające, jednak im bardziej maksymalne dostępne wzmocnienie przekracza rzeczywiste potrzeby, tym bardziej zauważalne stają się skoki regulacji przy niskich poziomach głośności.

Całkowite wzmocnienie układu ustalane jest przez wartości rezystorów, dlatego można je łatwo dostosować na etapie budowy. W praktyce, jeśli wzmacniacz mocy osiąga pełną moc przy napięciu wejściowym poniżej 2 V RMS – co dotyczy wielu konstrukcji – a wszystkie źródła sygnału mają co najmniej poziom liniowy, zalecamy pominięcie końcowego stopnia wzmacniającego o zysku 6 dB. Zapewni to dodatkowe 6 dB zakresu regulacji przy niższych poziomach głośności.

Oprogramowanie sterujące

Wymagania stawiane modułowi sterowania nie są szczególnie wysokie, dlatego zastosowano w nim 8-bitowy mikrokontroler. Mimo że obsługuje on wyświetlacz LCD, interfejs użytkownika pozostaje prosty i ogranicza się do jednego ekranu, bez rozbudowanego menu.

Na wyświetlaczu LCD umieszczono panel dotykowy, który mikrokontroler cyklicznie skanuje w celu wykrywania poleceń użytkownika.

Znane są dwie wersje tego panelu, różniące się orientacją o 180°. Rozwiązano to przez umieszczenie przycisków sterujących w dolnej części ekranu. Dotknięcia wykryte w górnej części panelu są interpretowane jako odpowiadające dolnej części wyświetlacza po obróceniu, dzięki czemu obie wersje panelu działają poprawnie bez konieczności wprowadzania zmian.

Z perspektywy czasu można było zastosować wydajniejszy i szybszy mikrokontroler, na przykład 16-bitowy PIC24FJ256GA702. W chwili opracowywania projektu jego cena była zbliżona do użytego układu, choć wersja w obudowie SSOP jest trudniejsza do lutowania niż zastosowana przez nas obudowa SOIC.

Ograniczona pojemność pamięci Flash w mikrokontrolerze PIC16F18146 wymusiła zastosowanie kompresji dużej czcionki używanej do wyświetlania wartości na ekranie. Układ ten może przechowywać około 16 kB danych czcionek, dlatego konieczne było bardzo oszczędne gospodarowanie pamięcią. Przed zastosowaniem kompresji projekt był już bliski wyczerpania dostępnej pamięci Flash.

Kompresja czcionek

Wyświetlanie tekstu na ekranie graficznym wymaga danych opisujących glify czcionki, czyli graficzne reprezentacje poszczególnych znaków. Glify zwykle odpowiadają podzbiorowi zestawu znaków ASCII, czasem z niewielkimi modyfikacjami dostosowanymi do potrzeb projektu, na przykład z dodaniem symbolu stopnia (°) w miejsce rzadziej używanego znaku.

Format danych czcionki, którego zwykle używamy, jest powszechnie stosowany. Składa się z dwóch bajtów nagłówka określających szerokość i wysokość czcionki w pikselach, po których następują dwa kolejne bajty zawierające kod ASCII pierwszego znaku w zestawie (na przykład 32 dla spacji) oraz liczbę znaków należących do czcionki.

Dalszą część danych stanowią mapy bitowe opisujące piksele każdego znaku czcionki. Ponieważ jeden bajt może przechowywać informacje o ośmiu pikselach, niewielka czcionka o rozmiarze 8×8 pikseli, zawierająca 95 znaków pełnego zestawu ASCII, zajmuje 764 bajty pamięci.

Listing pokazany na **rysunku a** przedstawia sposób przekształcenia danych bitmapowych czcionki na odpowiadający im kod w języku C. Inne języki, takie jak MMBasic, wykorzystują podobny format, dostosowany jedynie do własnej składni.

Czcionka o rozmiarze 16×24 pikseli, którą zwykle stosujemy do wyświetlania czytelnego tekstu na typowym 3,5-calowym ekranie LCD, zajmuje około sześć razy więcej pamięci, czyli nieco ponad 4 kB. Możliwe jest również uzyskanie większych czcionek przez skalowanie mniejszych, jednak efekt wizualny jest wtedy wyraźnie gorszy.

Pamięć Flash zastosowana w 8-bitowych mikrokontrolerach PIC jest zorganizowana w słowa 14-bitowe. Układy te często opisuje się jako posiadające 28 kB pamięci Flash, jednak w rzeczywistości jest ona zorganizowana jako 16 tysięcy słów 14-bitowych, a nie 28 tysięcy 8-bitowych bajtów.

Idealny rozmiar czcionki dla dużego wyświetlacza wartości w dB w tym projekcie wynosi 44×60 pikseli. Zapisanie takiej czcionki w pełnym zestawie ASCII wymagałoby 31354 bajtów, co oczywiście nie zmieściłoby się w pamięci mikrokontrolera PIC16F18146.

Zapotrzebowanie na pamięć można jednak zmniejszyć przez zapisanie wyłącznie znaków rzeczywiście potrzebnych w projekcie. Przykładowo ograniczenie czcionki 12×16, używanej do przycisków i mniejszych napisów, jedynie do znaków od spacji do wielkich liter zmniejsza jej rozmiar z 2284 do 1420 bajtów.

W podobny sposób ograniczyliśmy zestaw znaków czcionki używanej do wyświetlania wartości w dB jedynie do cyfr 0...9, spacji, znaku minus, separatora dziesiętnego oraz liter „d” i „B”. Pozwoliło to zmniejszyć rozmiar danych do 4954 bajtów jeszcze przed zastosowaniem kompresji RLE.

Zastosowana metoda kompresji to kodowanie długości przebiegów (RLE – run-length encoding). Zamiast przechowywania klasycznych map bitowych znaków, metoda RLE zapisuje kolejne ciągi pikseli w postaci liczby powtarzających się pikseli oraz informacji o ich stanie (włączone lub wyłączone).

Po zastosowaniu tej metody dane czcionki zajmują mniej niż połowę pierwotnego rozmiaru. Ma to duże znaczenie, ponieważ sama czcionka pochłania niemal jedną trzecią dostępnej pamięci Flash mikrokontrolera. Dodatkową zaletą jest łatwość dekompresji danych podczas wyświetlania, co przyspiesza odświeżanie ekranu. Zagadnienie to szerzej opisano w ramce „Kompresja RLE”.

Pilot zdalnego sterowania na podczerwień

Procedura dekodowania sygnałów IR została przystosowana do odbioru danych zakodowanych zgodnie z protokołem NEC. Wykorzystuje on kodowanie położenia impulsu z nośną o częstotliwości 38 kHz. Odbiornik podczerwieni demoduluje sygnał nośny, dzięki czemu mikrokontroler musi jedynie dekodować same impulsy.

Do pomiaru długości impulsów, a tym samym odczytu przesyłanych danych, mikrokontroler wykorzystuje sprzętowy licznik/timer. Protokół NEC przesyła 32 bity danych obejmujące kod urządzenia, jego dopełnienie, kod polecenia oraz jego dopełnienie.

eprasa.pl 39bd2886e9

Kompresja RLE

RLE (*Run Length Encoding*) oznacza kodowanie długości serii. Metoda ta wykorzystuje powtarzające się wartości w danych – w tym przypadku ciągi pikseli o tym samym stanie. Technika RLE jest stosowana w systemach wyświetlania i informatyce od co najmniej 50 lat. Wykorzystuje ją między innymi standard kompresji obrazów JPEG, choć stanowi tam tylko część całego algorytmu. Była ona stosowana również w telefaksach.

W naszej implementacji zamiast klasycznych map bitowych przechowywane są informacje o długości kolejnych ciągów pikseli mających ten sam stan (włączony lub wyłączony). Najstarszy bit określa stan pikseli – ustawiony oznacza piksele aktywne (czyli do wartości dodawane jest 128), natomiast pozostałe siedem bitów określa liczbę kolejnych pikseli o tym samym stanie.

```
const char TinyFont[764] = {
0x08, 0x08, 0x20, 0x5F,
0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, // Space
0x18, 0x3C, 0x3C, 0x18, 0x18, 0x00, 0x18, 0x00, // !
0x66, 0x66, 0x24, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, // "
0x6C, 0x6C, 0xFE, 0x6C, 0xFE, 0x6C, 0x6C, 0x00, // #
0x18, 0x3E, 0x60, 0x3C, 0x06, 0x7C, 0x18, 0x00, // $
0x00, 0xC6, 0xCC, 0x18, 0x30, 0x66, 0xC6, 0x00, // %
0x38, 0x6C, 0x38, 0x76, 0xDC, 0xCC, 0x76, 0x00, // &
...
0x7c, 0xC6, 0xC6, 0xC6, 0xC6, 0xC6, 0x7C, 0x00, // 0
```

Rysunek a. Dane czcionki bitmapowej są kodowane za pomocą bitów – wartość „1” oznacza piksel w kolorze pierwszego planu, natomiast „0” oznacza piksel tła. Ostatni wiersz przedstawia dane mapy bitowej dla cyfry 0

Na **rysunku b** pokazano glif zakodowany przy użyciu opracowanej przez nas metody RLE. Ta niewielka czcionka nie jest jednak najlepszym przykładem skuteczności takiej kompresji, ponieważ rozmiar danych zwiększył się z ośmiu do 25 bajtów.

Kodowanie RLE można traktować jako zapis częstotliwości zmian stanu pikseli w poszczególnych liniach obrazu. Oznacza to, że znaki zawierające mniej zmian, takie jak „1”, poddają się kompresji lepiej niż bardziej złożone znaki, na przykład „0”. W praktyce dane RLE dla cyfry „1” zajmują w tej czcionce jedynie 15 bajtów.

Znak spacji został zakodowany jako pojedynczy bajt o wartości 64, co oznacza, że wszystkie 64 piksele pozostają wyłączone.

Zmienny rozmiar glifów został uwzględniony przez dodanie przed każdym blokiem danych RLE nagłówka określającego jego długość w bajtach. Dzięki temu można łatwo napisać procedurę przeszukującą dane – wystarczy przeskakiwać kolejne bloki zgodnie z informacją z nagłówka, aż do odnalezienia glifu, który ma zostać wyświetlony. Po jego odnalezieniu znana jest również liczba bajtów wymagających dekodowania.

Skompresowana czcionka RLE zajmuje jedynie 2013 bajtów, łącznie z danymi nagłówków, podczas gdy wersja nieskompresowana wymagała 4954 bajtów pamięci.

Jako skrajny przykład można podać znak spacji w tej dużej czcionce, składający się z 2640 czarnych pikseli. Bez kompresji zajmuje on 330 bajtów, natomiast po zastosowaniu RLE tylko 22 bajty. Z kolei znak „0” wymaga również 330 bajtów w postaci nieskompresowanej, ale po kompresji zajmuje 196 bajtów, co oznacza około 40% oszczędności pamięci.

Dla cyfr 0...9 oraz znaku spacji kodowanie RLE zapewnia wyraźne zmniejszenie rozmiaru danych nawet w przypadku czcionek o rozmiarze zaledwie 16×24 piksele. Inne zestawy znaków, zawierające między innymi litery takie jak M czy W, kompresują się mniej skutecznie, ponieważ zawierają krótsze ciągi pikseli o tym samym stanie.

Inne zalety

Mikrokontroler może kopiować skompresowane dane RLE na ekran szybciej niż klasyczne dane bitmapowe. Wynika to z mniejszej ilości danych odczytywanych z pamięci Flash oraz prostszego procesu dekodowania.

W przypadku nieskompresowanych map bitowych dane muszą być analizowane bit po bicie. Każdy pojedynczy bit jest sprawdzany, a następnie odpowiadający mu piksel o określonym kolorze zapisywany na wyświetlaczu LCD. Przy danych RLE dekodowane są całe grupy kolejnych pikseli o tym samym stanie, dzięki czemu mogą być one przesyłane do wyświetlacza w znacznie bardziej efektywny sposób.

Podobnie procedura wyświetlania czcionki zakodowanej metodą RLE zajmuje mniej pamięci programu niż jej odpowiednik obsługujący klasyczne mapy bitowe – około połowę wymaganej pamięci Flash. Procedura dla bitmap wymaga dodatkowo wywoływania osobnej funkcji realizującej mnożenie, choć uzyskane oszczędności byłyby jeszcze większe, gdyby ta sama funkcja nie była wykorzystywana również w innych fragmentach programu.

Dodatkową zaletą jest możliwość szybszego odświeżania wyświetlacza. Podejrzewamy, że w przypadku szybszego mikrokontrolera różnica nie byłaby aż tak wyraźna, jednak nadal pozostawałaby zauważalna.

Czcionki OLED

W oprogramowaniu modułu OLED nie zastosowaliśmy czcionek kodowanych metodą RLE. Po pierwsze, wyświetlacze OLED są monochromatyczne, dlatego nie wymagają przesyłania informacji o kolorach poszczególnych pikseli. Oczekują natomiast danych przekazywanych w blokach po osiem bitów, odpowiadających ośmiu pikselom ekranu. Innymi słowy, pracują one natywnie na danych bitmapowych.

Dodatkowo wyświetlacz OLED ma znacznie niższą rozdzielczość, więc nie ma potrzeby częstego używania bardzo dużych czcionek. Ponieważ największe korzyści z kompresji RLE pojawiają się właśnie przy dużych czcionkach, jej zastosowanie w przypadku niewielkich fontów staje się znacznie mniej opłacalne.

Kompresja obrazów bitmapowych

Logo „Silicon Chip” wyświetlane na ekranie LCD ma postać mapy bitowej i jest przechowywane podobnie jak dane klasycznych czcionek bitmapowych. Eksperymentowaliśmy jednak również z inną metodą kodowania, w której długość ciągu pikseli (od 0 do 15) jest zapisywana w każdym półbajcie. Przyjęto, że starszy półbajt opisuje kolor tła, a młodszy kolor pierwszego planu.

Kod dekodujący takie dane ma podobną szybkość działania i wymaga zbliżonej ilości pamięci Flash programu. W praktyce metoda ta pozwoliła zmniejszyć rozmiar logo „Silicon Chip” o około 40%, dlatego została wykorzystana do przechowywania wyświetlanych logo i ikon.

Wnioski

Kodowanie RLE dużych czcionek zapewnia lepszą jakość obrazu niż skalowanie mniejszych fontów, działa szybciej i może wymagać podobnej ilości pamięci Flash, a czasem nawet mniejszej. W praktyce okazuje się więc najkorzystniejszym rozwiązaniem. Jedyną wadą pozostaje większa złożoność procesu przygotowania i kodowania czcionek.

Niektóre przykłady czcionek można znaleźć na stronie: www.rinkydinkelectronics.com/r_fonts.php
Program FontTweak do edycji czcionek jest dostępny pod adresem: www.c-com.com.au/MMedit.htm

```
0b01111100 → 01111100 → convert to RLE encoding
0b11000110    11000110   01111100110001101100011011000110110001101100011001111110000000000
0b11000110    11000110   ↓
0b11000110    11000110   1x0,5x1,2x0,2x1,3x0,2x1,1x0,2x1,3x0,2x1,1x0,2x1,3x0,2x1,
0b11000110    11000110   1x0,2x1,3x0,2x1,1x0,2x1,3x0,2x1,2x0,5x1,10x0
0b11000110    11000110   ↓
0b01111100    01111100   1,133,2,130,3,130,1,130,3,130,1,130,3,130,1,130,3,130,2,133,10
0b00000000    00000000
```

Rysunek b. Piksele są mapowane na dane bitmapowe od lewego górnego do prawego dolnego rogu, w kolejnych poziomych wierszach. W przypadku czcionki o szerokości ośmiu pikseli każdy wiersz odpowiada jednemu bajtowi danych. Przy kodowaniu RLE każdy ciąg pikseli o tym samym stanie jest reprezentowany przez pojedynczy bajt, który może opisywać maksymalnie 127 kolejnych pikseli. Metoda ta okazuje się znacznie bardziej efektywna w przypadku większych czcionek

eprasa.pl 39bd2886e9

Wnioski wyciągnięte podczas opracowywania projektu

Podczas opracowywania tej konstrukcji rozwiązaliśmy dwa istotne, choć dość subtelne problemy. Pierwszy z nich wynikał z faktu, że w celu zmniejszenia liczby elementów i uproszczenia konfiguracji napięcie odniesienia +2,75 V było generowane na płytce modułu sterowania i zasilania, a następnie doprowadzane taśmą do modułów regulacji głośności.

Problem polegał na tym, że nawet niewielkie szumy lub tętnienia indukowane w taśmie przedostawały się do toru audio, ponieważ napięcie to pełni rolę wirtualnej masy. Dodanie dodatkowej pojemności filtrującej do masy w każdym module regulacji głośności nie rozwiązało problemu. Akceptowalne parametry udało się uzyskać dopiero po przeniesieniu układu wytwarzającego napięcie +2,75 V bezpośrednio do modułów regulacji głośności.

Innym problemem, na który natrafiliśmy, było przypadkowe zastosowanie wielowarstwowych kondensatorów ceramicznych 1 µF X7R do sprzęgania sygnału z ostatnim stopniem wzmacniacza operacyjnego (na przykład pomiędzy pinem 1 układu IC2A a pinem 3 układu IC3A). Kondensatory tego typu charakteryzują się niezbyt dobrą liniowością, czego skutkiem był wyraźny wzrost zniekształceń poniżej 200 Hz, widoczny jako przerywane fragmenty charakterystyk na rysunku 1.

Istnieją dwa sposoby rozwiązania tego problemu. My preferujemy zastosowanie kondensatorów tantalowych 2,2 µF, które na szczęście są dostępne w tym samym rozmiarze. Obudowa tantalowa SMA ma praktycznie takie same wymiary jak ceramiczne kondensatory M3216/1206. Kondensatory tantalowe, mimo że nie są tak liniowe jak kondensatory foliowe, charakteryzują się znacznie lepszą liniowością niż ceramiczne kondensatory X7R.

W przeciwieństwie do kondensatorów ceramicznych kondensatory tantalowe są spolaryzowane. Ponieważ pomiędzy tymi punktami występuje napięcie około 2,75 V, dodatnie wyprowadzenia kondensatorów należy podłączyć do wyjść wzmacniaczy operacyjnych, czyli do pinów 1 odpowiednich układów.

Jako mniej korzystną alternatywę można nadal stosować wielowarstwowe kondensatory ceramiczne X7R, ale o znacznie większej pojemności – co najmniej 10 µF, a najlepiej 22 µF lub więcej. Powoduje to przesunięcie wzrostu zniekształceń z okolic 200 Hz do zakresu poniżej 20 Hz, czyli poza pasmo słyszalne.

Zwykle sygnały o częstotliwościach poniżej 20 Hz mają bardzo małą amplitudę, jednak istnieje ryzyko, że powstające w ich wyniku harmoniczne znajdą się już w paśmie słyszalnym. Z tego względu preferujemy zastosowanie kondensatorów tantalowych.

Zastosowanie dopełnień pozwala mikrokontrolerowi wykrywać i odrzucać błędnie odebrane dane.

Moduł sterujący można zaprogramować tak, aby akceptował różne kody urządzeń i poleceń, dzięki czemu może współpracować zarówno ze zwykłymi, jak i programowalnymi pilotami zdalnego sterowania na podczerwień. Więcej szczegółów na ten temat podamy w dalszej części artykułu.

Moduł sterujący komunikuje się z pozostałymi modułami za pośrednictwem magistrali SPI prowadzonej w taśmie połączeniowej. Jeśli używany jest moduł OLED, moduł sterujący przesyła do niego dane potrzebne do aktualizacji wyświetlacza. Odbiera również informacje zwrotne o ruchu enkodera obrotowego lub naciśnięciu jego przycisku.

Przy każdej zmianie poziomu głośności mikrokontroler wysyła do potencjometrów cyfrowych odpowiednie dane ustawiające nową wartość tłumienia. Po aktywowaniu funkcji wyciszenia poziom sygnału jest najpierw stopniowo zmniejszany do minimum, a następnie linia \SHDN przechodzi w stan niski, powodując całkowite wyciszenie toru audio.

Proces wyłączania wyciszenia przebiega odwrotnie. Linia \SHDN przechodzi w stan wysoki, po czym poziom głośności jest stopniowo zwiększany. Tę samą procedurę zastosowano podczas włączania urządzenia, co pozwala uniknąć kliknięć i trzasków w torze audio.

W pozostałym czasie główna pętla programu aktualizuje wyświetlacz w razie potrzeby oraz odczytuje dane z panelu dotykowego.

W module OLED przewidziano możliwość zastosowania odbiornika podczerwieni, jednak ponieważ moduł sterujący jest obowiązkowym elementem systemu i już zawiera taki odbiornik, nie montowaliśmy go w prototypach. Z tego powodu obecna wersja oprogramowania układowego nie obsługuje tej funkcji.

Oprogramowanie układowe modułu OLED

Mikrokontroler modułu OLED monitoruje pracę enkodera obrotowego i przycisku, wymienia dane z modułem sterującym oraz w razie potrzeby aktualizuje zawartość wyświetlacza OLED.

Układ pracuje jako urządzenie podrzędne („slave”) magistrali SPI, dlatego musi być gotowy do odpowiedzi za każdym razem, gdy moduł sterujący rozpoczyna komunikację. Aby uprościć wymianę danych, komunikację pomiędzy tymi modułami ograniczono do pojedynczego bajtu przesyłanego w każdym kierunku.

Moduł nadrzędny („master”) przesyła poziom głośności w krokach co 0,5 dB względem wartości odniesienia 128. Wartość zero oznacza aktywne wyciszenie. Dzięki temu moduł OLED nie musi przechowywać informacji o stanie urządzenia – po prostu aktualizuje wyświetlacz po odebraniu nowych danych.

Dane przesyłane z modułu OLED do modułu sterującego mają podobny format. Moduł OLED zlicza kroki wykonane przez enkoder obrotowy – zarówno w przód, jak i w tył – a następnie wysyła tę wartość do modułu sterującego z przesunięciem względem wartości 128.

Zastosowane przesunięcie pomaga uniknąć odbierania fałszywych poleceń w przypadku braku podłączonego modułu OLED. Format danych został opracowany tak, aby nie wykorzystywać wartości 0 ani 255 (00000000 oraz 11111111 w zapisie binarnym), które mogłyby pojawić się wtedy, gdyby linia danych była stale podciągnięta do zasilania lub zwarta do masy.

Specjalna wartość 51 (00110011 w zapisie binarnym) oznacza naciśnięcie przycisku enkodera obrotowego. Funkcja ta działa jak przełącznik, dlatego moduł OLED nie musi znać aktualnego stanu wyciszenia – przekazuje jedynie do modułu sterującego informację, że stan wyciszenia należy zmienić.

W następnym odcinku

To już wszystko, na co wystarczyło miejsca w tym odcinku. Konstrukcję i montaż poszczególnych modułów opiszemy w następnym numerze. Dla wszystkich trzech modułów dostępne są zestawy części, więc warto wcześniej zgromadzić potrzebne elementy. ■

Tim Blythman

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6790
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6791
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6792

Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

Artykuł reprodukowano na podstawie umowy z magazynem „Silicon Chip”, 2022.
www.siliconchip.com.au

eprasa.pl 39bd2886e9

Wysokiej jakości kompaktowy przedwzmacniacz mikrofonowy



Jeśli używasz mikrofonów na scenie, podczas nagrań lub testów, dobrze wiesz, jak ważny jest przedwzmacniacz umożliwiający uzyskanie sygnału o odpowiednim poziomie. Wiele mikrofonów wymaga także tzw. zasilania fantomowego. Opisane w artykule urządzenie jest zasilane z zewnętrznego zasilacza 9...15 V DC, zapewnia liniową charakterystykę częstotliwościową, bardzo małe zniekształcenia, niski poziom szumów oraz regulowane wzmocnienie.

Przedstawiony tu niewielki przedwzmacniacz mikrofonowy doskonale sprawdzi się w studiu, warsztacie lub na scenie. Wzmacnia sygnał z mikrofonu do poziomu liniowego i może współpracować zarówno z sygnałami symetrycznymi, jak i niesymetrycznymi.

Podstawowa wersja przedwzmacniacza mieści się w niewielkiej, łatwo dostępnej obudowie o standardowych wymiarach. Obudowę wykonano z ciśnieniowo odlewanego aluminium, dzięki czemu urządzenie jest wystarczająco wytrzymałe, aby pracować nawet w trudnych warunkach eksploatacji.

Jeśli chcesz wykorzystać ten projekt w większym urządzeniu, przygotowano także wersję płytki bez wycięcia pod złącza XLR oraz bez jednej z przetwornic. Ułatwia to zasilanie napięciem symetrycznym ±15 V DC. Takie rozwiązanie dobrze sprawdzi się podczas integracji ze wzmacniaczem mocy, przedwzmacniaczem, mikserem lub innym podobnym urządzeniem.

W wersji autonomicznej urządzenie jest zasilane napięciem 9 V DC, powszechnie stosowanym w sprzęcie scenicznym. Takie zasilacze są zazwyczaj wyposażone we wtyk 2,1 mm z dodatnim biegunem na zewnętrznym pierścieniu i ujemnym na bolcu środkowym. Urządzenie ma zabezpieczenie przed odwrotnym podłączeniem zasilania, dlatego użycie niewłaściwego zasilacza nie powinno spowodować uszkodzenia układu.

Takie założenie projektowe przyjęto świadomie, ponieważ podczas pracy na scenie bardzo łatwo o pomyłkę przy podłączaniu sprzętu. Nikt przecież nie chce gorączkowo sprawdzać okablowania, gdy publiczność czeka już na rozpoczęcie koncertu. Urządzenie powinno po prostu działać bezproblemowo.

Cechy i specyfikacje

- Zasilanie z zasilacza 9...15 V DC (napięcie 9 V DC jest powszechnie stosowane w sprzęcie scenicznym)
- Kompaktowa obudowa z ciśnieniowo odlewanego aluminium o wymiarach 120 mm × 93,5 mm × 35 mm
- Regulowane wzmocnienie w zakresie od –15 dB do +50 dB
- Przełączany tłumik 20 dB dla źródeł sygnału o wysokim poziomie
- Przełączane zasilanie fantomowe 48 V
- Obsługuje sygnały o wartości międzyszczytowej powyżej 5 V (1,75 V RMS) przy obciążeniu 600 Ω
- Wyjście symetryczne lub niesymetryczne
- Pasmo przenoszenia: ±0,1 dB w zakresie od 12 Hz do 20 kHz (wzmocnienie = 26 dB/20×) – **rysunek 1**
- Stosunek sygnału do szumu (SNR), Zi = 560 Ω, Vwy = 1 V RMS:
  - 85 dB przy wzmocnieniu 26 dB/20×
  - 70 dB przy wzmocnieniu 50 dB/320×
- Całkowite zniekształcenia harmoniczne (THD): <0,002% – **rysunek 2**
- Wbudowane zabezpieczenia zasilania, w tym przed odwrotną polaryzacją
- Zabezpieczenie wejść i wyjść przed większością nieprawidłowych warunków pracy

Parametry

Parametry przedwzmacniacza mikrofonowego zależą od wielu czynników. Szczególnie istotny jest niski poziom szumów, na który duży wpływ mają impedancja źródła sygnału oraz ustawione wzmocnienie.

Dla impedancji źródła wynoszącej 560 Ω, przy wzmocnieniu 50 dB i napięciu wyjściowym 1 V RMS, stosunek sygnału do szumu wynosi 70 dB. Przy tym samym napięciu wyjściowym, ale przy wzmocnieniu 20×, wartość SNR wzrasta do 85 dB.

Pasmo przenoszenia przy wzmocnieniu 20× (26 dB) i spadku charakterystyki o 0,1 dB mieści się w zakresie od 12 Hz do 20 kHz (rysunek 1).

Jak pokazano na rysunku 2, wartość THD+N jest w praktyce ograniczana przez poziom szumów. Same zniekształcenia harmoniczne są znacznie mniejsze i mieszczą się w zakresie od −95 dB (0,0018%) do −105 dB (0,0006%).

eprasa.pl 39bd2886e9

Na wyjściu można zauważyć niewielkie pozostałości zakłóceń pochodzących z zasilacza impulsowego, jednak ich poziom jest niższy od sygnału o 70...80 dB, zależnie od ustawionego wzmocnienia. To na tyle mało, że w praktyce nie stanowi problemu.

Przy tak małych zniekształceniach to właśnie stosunek sygnału do szumu staje się głównym ograniczeniem parametrów układu. Wartość 70 dB jest praktycznie najgorszym wynikiem, jakiego można się spodziewać, pod warunkiem że poziom sygnału wejściowego pozwala uzyskać co najmniej 1 V RMS na wyjściu przy maksymalnym wzmocnieniu wynoszącym około 50 dB.

Po zmniejszeniu wzmocnienia do 26 dB wartość ta poprawia się do 85 dB, a przy jeszcze mniejszych wartościach wzmocnienia powinna przekroczyć 90 dB. Zakłada się przy tym, że poziom sygnału z mikrofonu lub innego źródła jest wystarczająco duży, aby zapewnić odpowiedni poziom sygnału wyjściowego nawet przy mniejszym wzmocnieniu.

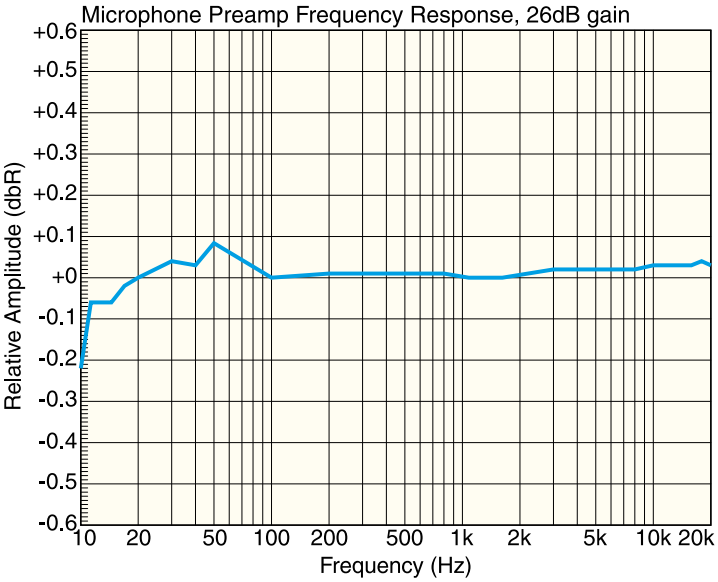
Kilka wyzwań

Opisywany projekt jest dość złożony, ponieważ zasilanie fantomowe mikrofonu musi wynosić 48 V DC, aby układ był uniwersalny. To znacznie więcej niż napięcie zasilania wynoszące 9 V DC.

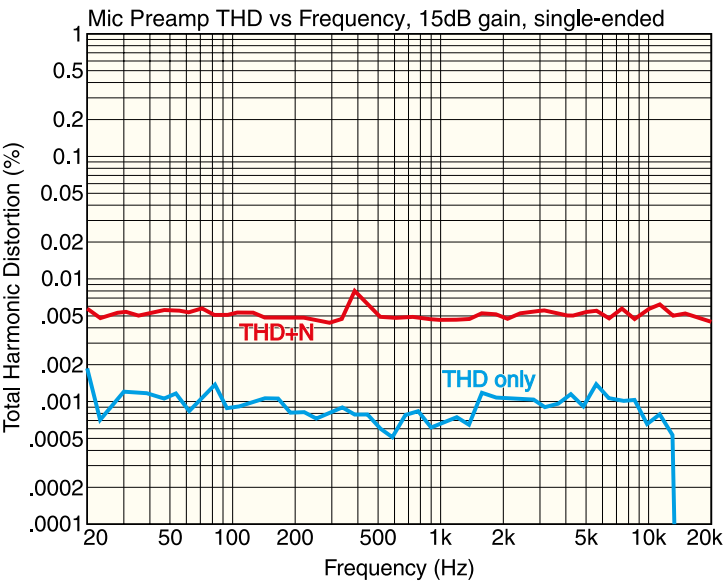
Zapewnienie rezerwy dynamiki na poziomie 10...15 dB powyżej 0 dBu wymaga uzyskania sygnału wyjściowego o amplitudzie przekraczającej ±8 V. Jest to konieczne zarówno wtedy, gdy mikrofon znajduje się bliżej źródła dźwięku, niż pierwotnie zakładano, jak i podczas przenoszenia głośniejszych fragmentów utworu. Sprzęt sceniczny powinien mieć odpowiedni zapas dynamiki, a realizator dźwięku może później skorygować poziomy na konsoli mikserskiej.

Oznacza to konieczność uzyskania napięcia 48 V DC do zasilania fantomowego oraz symetrycznych szyn zasilających, pozwalających otrzymać ze wzmacniacza operacyjnego sygnał o amplitudzie ±8 V. Jednocześnie układ ma mieścić się w małej obudowie i być możliwie wytrzymały.

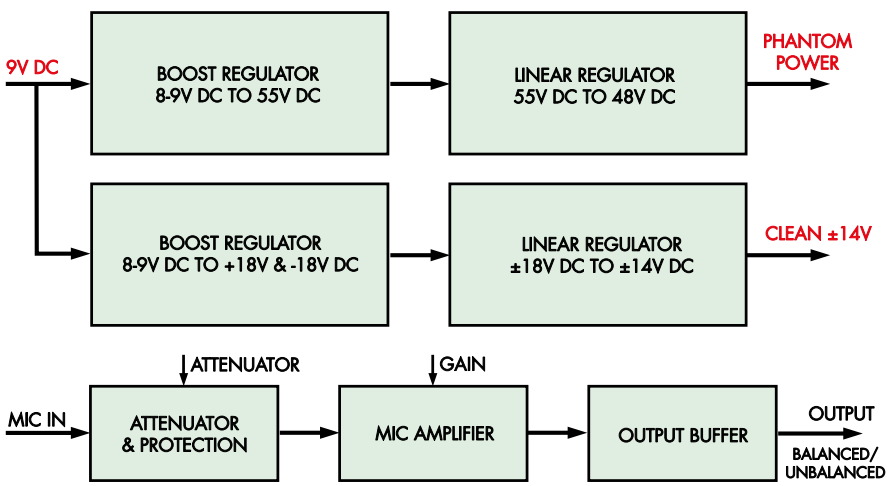
Jeśli zaczniemy od napięcia 9 V DC, odejmiemy 0,5 V spadku na diodzie zabezpieczającej przed odwrotną polaryzacją, a następnie uwzględnimy kolejne 0,5 V spadku na wyjściu zasilacza, do dyspozycji pozostaje jedynie słabo stabilizowane napięcie około 8 V. Rozważaliśmy zastosowanie przetwornic z przełączanymi kondensatorami, zbudowanych na układach 555 i pracujących jako inwertery lub podwajacze napięcia, ale okazało się, że nie zapewniają one wystarczającego zapasu napięcia na szynach zasilających.



Rysunek 1. Aby uwidocznić niewielkie zmiany charakterystyki częstotliwościowej, konieczne było silne powiększenie skali pionowej, ponieważ charakterystyka jest bardzo płaska



Rysunek 2. Zniekształcenia generowane przez układ są praktycznie niewidoczne na tle szumów. Oznacza to, że przy dowolnym ustawieniu wzmocnienia głównym czynnikiem ograniczającym parametry układu jest stosunek sygnału do szumu (SNR)



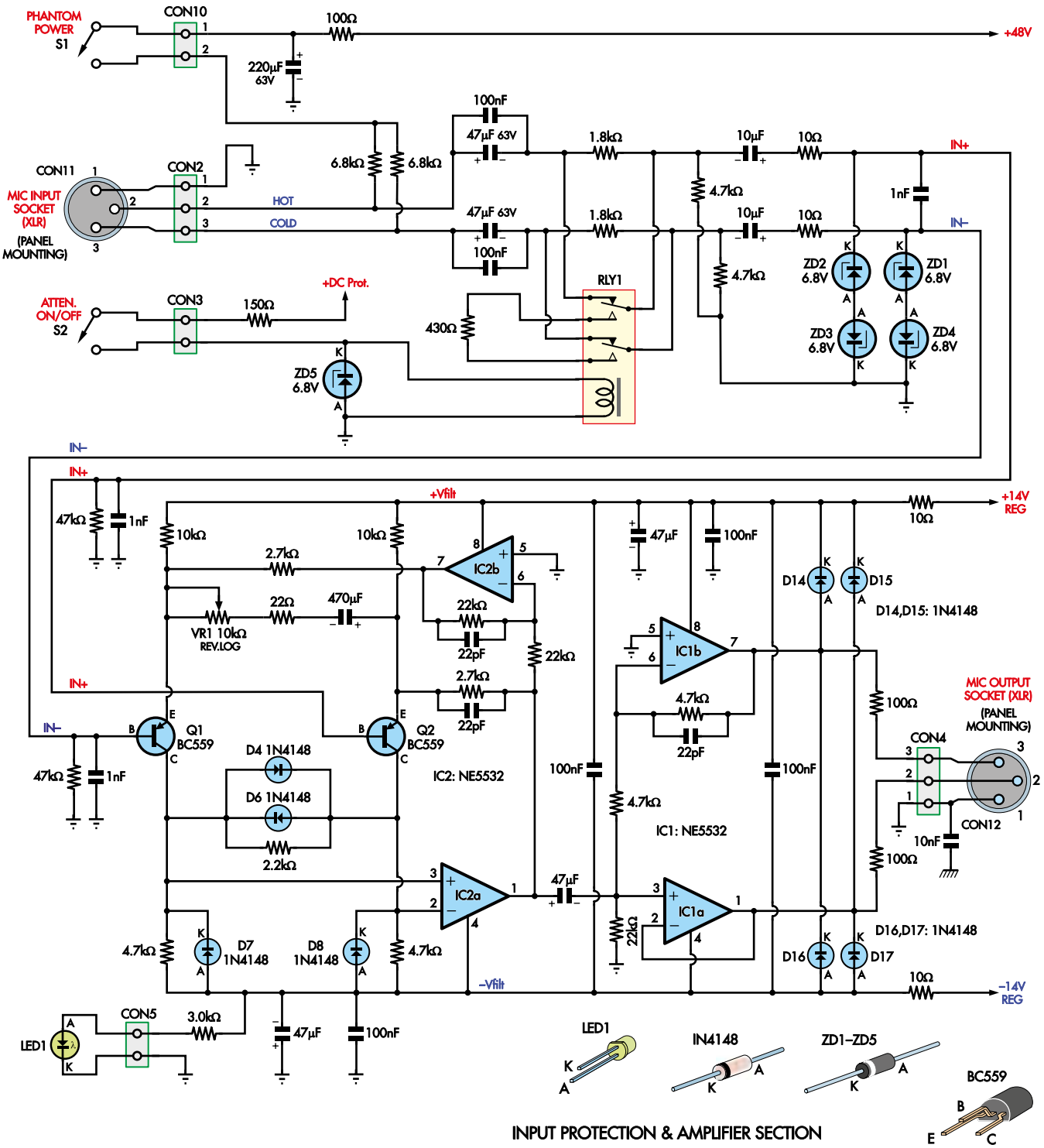
Rysunek 3. Schemat blokowy przedwzmacniacza mikrofonowego. W górnej części pokazano dość rozbudowany układ zasilania, natomiast poniżej znajdują się pozornie proste układy tłumika i przedwzmacniacza

eprasa.pl 39bd2886e9

Po przeanalizowaniu różnych możliwości zdecydowaliśmy się na bardziej profesjonalne rozwiązanie, wykorzystujące dwie przetwornice podwyższające napięcie z układami LM2577 oraz prosty sposób uzyskania ujemnej szyny zasilającej. Zastosowane stabilizatory mają większą wydajność, niż jest to konieczne w tym projekcie, ale są łatwo dostępne i mogą pracować z napięciem wyjściowym do 60 V, co w zupełności wystarcza do realizacji zasilania fantomowego.

Ostatecznie układ zasilania zajmuje znaczną część płytki drukowanej, co zostanie dokładniej omówione w dalszej części artykułu. Choć rozwiązanie to jest dość rozbudowane, cechuje się dużą odpornością na zmiany napięcia wejściowego. Nawet przy bardzo małej impedancji obciążenia napięcia zasilające pozostają na właściwym poziomie.

Jeśli zastanawiasz się, czy urządzenie można zasilać z baterii 9 V, odpowiedź brzmi: nie, przynajmniej nie przez dłuższy czas. Pobór prądu jest zbyt duży, aby można było liczyć na rozsądny czas pracy, a bateria



Rysunek 4. Główna analogowa część przedwzmacniacza. Układ opiera się na dwóch podwójnych wzmacniaczach operacyjnych i dwóch tranzystorach, które znacząco obniżają poziom szumów. Drugi wzmacniacz operacyjny steruje wyjściami symetrycznym i niesymetrycznym. Przekaźnik RLY1 załącza tłumik rezystancyjny, dzięki czemu układ może współpracować z sygnałami wejściowymi o wyższym poziomie

eprasa.pl 39bd2886e9

rozładuje się zapewne w najmniej odpowiednim momencie. Przy pełnym obciążeniu układ pobiera około 120 mA, co spowoduje szybkie wyczerpanie typowej baterii 9 V.

Nie należy jednak sądzić, że cała uwaga została poświęcona wyłącznie zasilaniu kosztem samego przedwzmacniacza.

Zastosowano ten sam hybrydowy, symetryczny przedwzmacniacz mikrofonowy oparty na tranzystorach i wzmacniaczu operacyjnym, który wykorzystano wcześniej w przystawce do pomiaru zespołów głośnikowych opublikowanej w czerwcowym numerze magazynu „Silicon Chip" z 2023 roku (https://www.siliconchip.com.au/Article/15821) oraz w EdW 1/2026. Układ został opracowany przez znanego konstruktora urządzeń audio Douglasa Selfa. Zapewnia bardzo dobre parametry, niski poziom zniekształceń i szumów oraz szeroki zakres regulacji wzmocnienia.

Opis układu

Schemat blokowy przedwzmacniacza pokazano na **rysunku 3**, natomiast główną, analogową część układu przedstawiono na **rysunku 4**.

Przełącznik S1 załącza zasilanie fantomowe mikrofonu doprowadzane przez złącze CON10. Zakłócenia obecne w napięciu 48 V DC są tłumione przez filtr dolnoprzepustowy (ang. LPF) złożony z rezystora 100 Ω i kondensatora 220 µF. Jako rezystory polaryzujące zastosowano dwa rezystory 6,8 kΩ, które powinny mieć możliwie jednakowe wartości.

Z posiadanych rezystorów 6,8 kΩ o tolerancji 1% wybraliśmy dwa egzemplarze, których rezystancje różniły się o nie więcej niż 0,1%. W praktyce można kupić kilka rezystorów i dobrać z nich najlepiej dopasowaną parę.

Równolegle połączone pary kondensatorów 47 µF i 100 nF odcinają składową stałą od sygnału mikrofonowego doprowadzanego do tłumika. Zapobiegają także pojawieniu się pełnego napięcia zasilania fantomowego 48 V na tłumiku po odłączeniu mikrofonu, dlatego kondensatory muszą mieć napięcie znamionowe wynoszące co najmniej 63 V.

Na wejściu przedwzmacniacza znajduje się tłumik 20 dB. Można go włączyć, aby zapobiec przesterowaniu przedwzmacniacza przez sygnały wejściowe o zbyt dużym poziomie. Tłumik składa się z dwóch rezystorów 1,8 kΩ włączonych szeregowo w tory sygnałowe oraz rezystora 430 Ω podłączonego pomiędzy stykami RLY1.

Gdy tłumik jest wyłączony, przekaźnik zwiera rezystory 1,8 kΩ, a rezystor 430 Ω zostaje odłączony od układu. Po włączeniu tłumika rezystor 430 Ω zostaje dołączony między dolne końce rezystorów 1,8 kΩ, tworząc dzielnik napięcia. Zastosowanie stosunkowo małych wartości rezystancji ogranicza poziom szumów wprowadzanych przez tłumik i pozwala utrzymać niską impedancję źródła sygnału dla współpracującego z nim przedwzmacniacza.

Aby obliczyć tłumienie tego stopnia po jego włączeniu, można przyjąć, że środkowy punkt rezystora 430 Ω jest połączony z masą, co odpowiada podziałowi tego rezystora na dwa rezystory 215 Ω. Są one połączone równolegle z rezystorami 4,7 kΩ dołączonymi do masy, dlatego dzielniki napięcia tworzą rezystory 1,8 kΩ, impedancja źródła mikrofonowego oraz rezystancja 205,6 Ω. Przy założeniu małej impedancji źródła uzyskujemy tłumienie wynoszące około −19,8 dB.

Należy zwrócić uwagę, że rezystory 1,8 kΩ i 4,7 kΩ powinny mieć możliwie dokładnie dobrane wartości. Jest to konieczne do uzyskania dobrego tłumienia składowej wspólnej po włączeniu tłumika.

Do przełączania tłumika zastosowano przekaźnik, ponieważ nasze doświadczenia z przełączaniem małych sygnałów za pomocą miniaturowych przełączników montowanych bezpośrednio na płytce nie były najlepsze. Przekaźnik telekomunikacyjny zapewnia większą niezawodność w dłuższym czasie oraz mniejszy poziom szumów, a wzrost kosztu układu jest niewielki.

Dioda Zenera 6,8 V połączona równolegle z cewką przekaźnika zabezpiecza go na wypadek zasilenia przedwzmacniacza napięciem wyższym od nominalnego. Rezystor szeregowy może się wtedy dość mocno nagrzewać, jednak powinien wytrzymać takie przeciążenie, o ile nie będzie ono trwało zbyt długo.



Dwie wersje projektu umożliwiają montaż układu zarówno w niewielkiej obudowie, pokazanej na zdjęciu, jak i w większym urządzeniu wyposażonym w symetryczne zasilanie

Wzmocnienie przedwzmacniacza

Przewidziano regulację wzmocnienia umożliwiającą dopasowanie poziomu sygnału do różnych typów mikrofonów i warunków pracy. Gdy potencjometr VR1 jest ustawiony na minimalną rezystancję, wzmocnienie wynosi 47,8 dB. Wartość tę można obliczyć z poniższych zależności:

G = 1 + 2,7 kΩ ÷ (10 kΩ || [22 Ω ÷ 2])
G = 1 + 2,7 kΩ ÷ 10,98 Ω
G = 247 (47,8 dB)

Gdy VR1 jest ustawiony na maksymalną rezystancję 10 kΩ, wzmocnienie wynosi 5,1 dB:

G = 1 + 2,7 kΩ ÷ (10 kΩ || [(10 kΩ + 22 Ω) ÷ 2])
G = 1 + 2,7 kΩ ÷ 3338 Ω
G = 1,8 (5,1 dB)

Zastosowanie potencjometru VR1 o charakterystyce odwrotnie logarytmicznej sprawia, że zmiana wzmocnienia jest w przybliżeniu liniowa w skali dB podczas obracania

Obliczanie całkowitego poboru prądu

Zasilacz fantomowy musi dostarczać około 10 mA do stabilizatora LM317HV (REG1) oraz maksymalnie 14,1 mA do rezystorów 6,8 kΩ, jeśli zostaną zwarte do masy. Oznacza to pobór około 24 mA przy napięciu 55,3 V, co wymaga dostarczenia około 166 mA z wejścia IC3 (~55,3 V ÷ 8 V × 24 mA).

Zasilacze z symetrycznym napięciem wyjściowym muszą dostarczać do około 40 mA dla wzmacniaczy operacyjnych NE5532 i układu wejściowego oraz po około 10 mA dla stabilizatorów REG3 i REG4. Daje to łącznie około 100 mA, ponieważ układ wykorzystuje dodatnią i ujemną szynę zasilania. W najgorszym przypadku oznacza to pobór około 225 mA z wejścia REG4 (18 V ÷ 8 V × 100 mA).

Oznacza to, że przedwzmacniacz może pobierać prąd rzędu 350 mA, choć wystąpi to jedynie przy pracy ze zwartym obciążeniem. Większość zasilaczy 9 V bez problemu dostarczy taki prąd, ale większość baterii 9 V już nie. W naszych testach maksymalny zmierzony pobór wynosił około 150 mA przy zasilaniu 9 V. Należy pamiętać, że największy pobór prądu występuje podczas uruchamiania układu, gdy przetwornice impulsowe ładują kondensatory filtrujące napięcia 56 V oraz ±18 V.

Dodaliśmy diodę LED sygnalizującą zasilanie, podłączoną do ujemnej szyny zasilania. Wybraliśmy takie rozwiązanie, ponieważ po podłączeniu przedwzmacniacza do zasilacza 18...24 V DC przetwornica podwyższająca napięcie dla dodatniej szyny zasilania prawdopodobnie się wyłączy, a ujemne napięcie zasilania nie pojawi się. Nie powinno to spowodować uszkodzenia urządzenia, ale zgaśnięcie diody LED poinformuje użytkownika, że układ nie pracuje prawidłowo.

eprasa.pl 39bd2886e9

osi potencjometru. W przeciwnym razie większość zakresu regulacji odpowiadałaby niewielkim zmianom wzmocnienia, natomiast pod koniec obrotu następowałby jego gwałtowny wzrost, nawet o około 20 dB. Dlatego należy upewnić się, że zastosowany potencjometr ma charakterystykę odwrotnie logarytmiczną, określaną także jako „reverse audio" lub oznaczaną literą C.

Diody małosygnałowe zastosowane w przedwzmacniaczu (D4...D8) zabezpieczają wejścia wzmacniacza operacyjnego przed przesterowaniem. Za przedwzmacniaczem umieszczono bufor, który dodatkowo wytwarza sygnał o odwróconej fazie. Dzięki temu wyjście może pracować zarówno jako niesymetryczne, jak i symetryczne, zapewniając przy tym duży poziom sygnału.

Na wyjściach dodano także diody małosygnałowe połączone z dodatnią i ujemną szyną zasilania (D14...D17). Chronią one układ NE5532 (IC1) przed uszkodzeniem w przypadku omyłkowego podłączenia urządzenia, na którego wejściu występuje znaczne napięcie stałe.

Na wyjściach zastosowano rezystory szeregowe 100 Ω, które zapewniają stabilną pracę wzmacniacza operacyjnego nawet przy współpracy z trudnym obciążeniem lub długimi przewodami. Pomagają one również ograniczyć prąd w przypadku błędnego podłączenia. Jeśli potrzebne jest wyjście niesymetryczne, można skorzystać z buforowanego wyjścia dodatniego dostępnego na pinie 2.

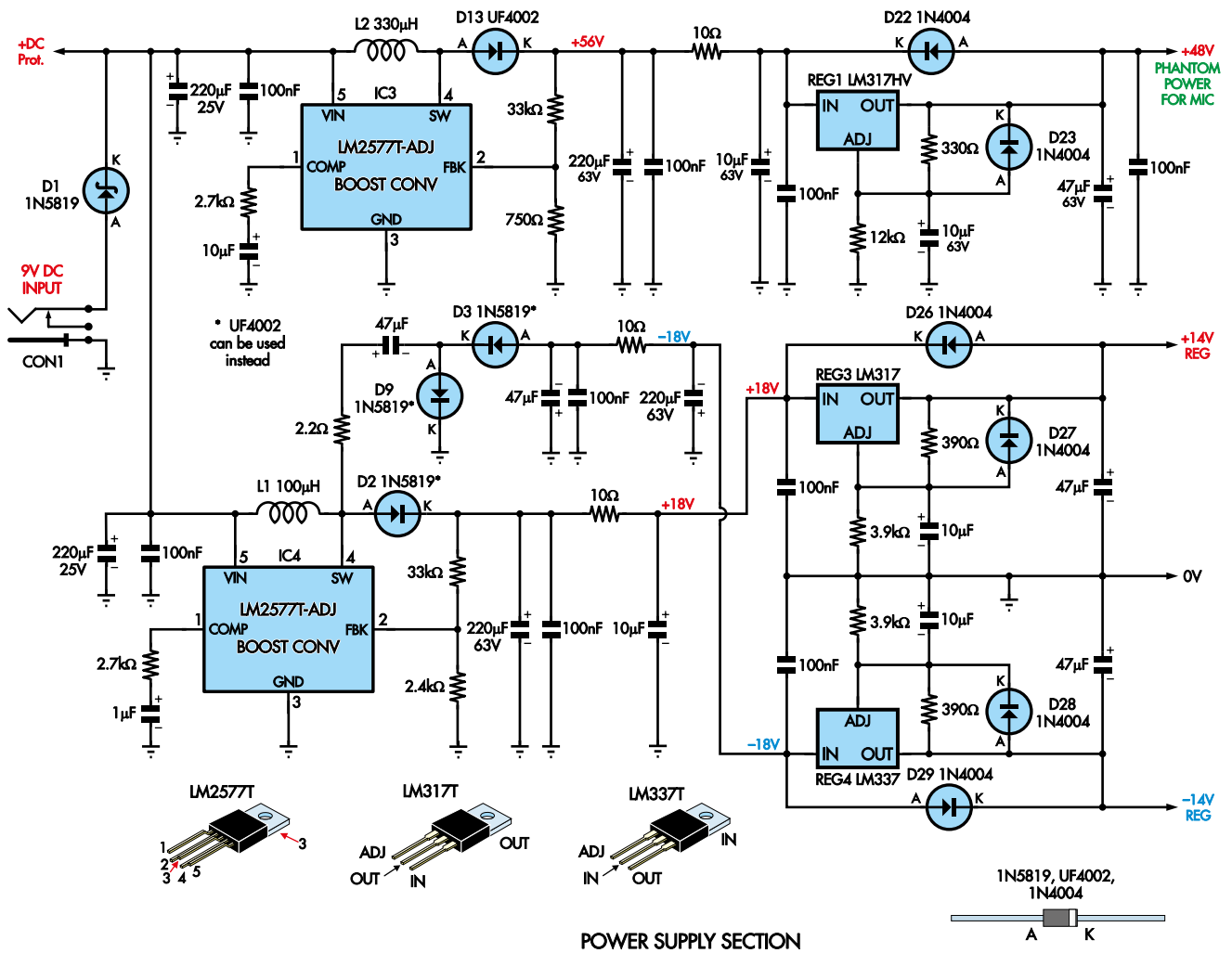
Zasilanie

Część układu odpowiedzialną za zasilanie przedstawiono na **rysunku 5**. Zasilacz składa się z dwóch impulsowych przetwornic wstępnych współpracujących ze stabilizatorami liniowymi LM317 i LM337. Takie rozwiązanie pozwala uzyskać bardzo czyste napięcia zasilające, również dla zasilania fantomowego.

W zasilaczu fantomowym zastosowano układ LM2577 (IC3) pracujący w typowej konfiguracji. Jego wejście jest filtrowane kondensatorem low ESR o pojemności 220 µF oraz kondensatorem 100 nF. Pojemność 220 µF może wydawać się niewielka, jednak maksymalny wymagany prąd nie przekracza 30 mA. Jest to wartość tylko nieznacznie większa od prądu spoczynkowego samego układu LM2577.

Zwiększyliśmy pojemność kondensatora kompensacyjnego połączonego szeregowo z rezystorem 2,7 kΩ i dołączonego do pinu 1 – z zalecanej wartości 1 µF do 10 µF. Powoduje to wolniejsze uruchamianie przetwornicy podwyższającej napięcie. Bez tej zmiany nasz niewielki zasilacz impulsowy 500 mA przechodził w tryb ograniczania prądu. W przypadku zasilacza o większej wydajności lub klasycznego zasilacza liniowego nie stanowiłoby to problemu.

Napięcie wyjściowe jest ustalane przez rezystory dołączone do wejścia sprzężenia zwrotnego (pin 2). Dla dzielnika rezystorowego 33 kΩ/750 Ω oraz



Rysunek 5. W układzie zasilania zastosowano dwa scalone stabilizatory impulsowe, jedną pompę ładunku oraz trzy regulowane stabilizatory liniowe do wytworzenia napięcia zasilania fantomowego 48 V DC oraz symetrycznych napięć ±14 V dla wzmacniaczy operacyjnych. Całość jest zasilana z jednego źródła 9 V DC

eprasa.pl 39bd2886e9

wewnętrznego napięcia odniesienia układu IC3 wynoszącego 1,23 V otrzymujemy napięcie wyjściowe 56,25 V (1,23 V × [33 kΩ ÷ 750 Ω + 1]). Filtr dolnoprzepustowy RC złożony z elementów 10 Ω i 10 µF na wyjściu tłumi pozostałości sygnału przełączającego o częstotliwości 52 kHz.

Współpracujący z przetwornicą stabilizator liniowy oparty na układzie LM317HV obniża napięcie do wartości zbliżonej do wymaganych 48 V dla zasilania fantomowego, jednocześnie usuwając większość pozostałych zakłóceń impulsowych. Rezystory sprzężenia zwrotnego 330 Ω i 12 kΩ ustawiają napięcie wyjściowe na 46,7 V (1,25 V × [12 kΩ ÷ 330 Ω + 1]).

Układ przetwornicy impulsowej IC4 wytwarza napięcie +18 V, które następnie jest obniżane do +14 V przez stabilizator liniowy REG3. Konfiguracja układu jest podobna jak w przypadku IC3. Zastosowano tu zalecany kondensator kompensacyjny 1 µF zamiast kondensatora 10 µF użytego przy IC3, co pozwala ograniczyć prąd rozruchowy. Ponieważ wymagane podwyższenie napięcia jest znacznie mniejsze i nie przekracza stosunku 2:1, zastosowano cewkę o mniejszej indukcyjności, wynoszącej 100 µH. Należy stosować cewki toroidalne.

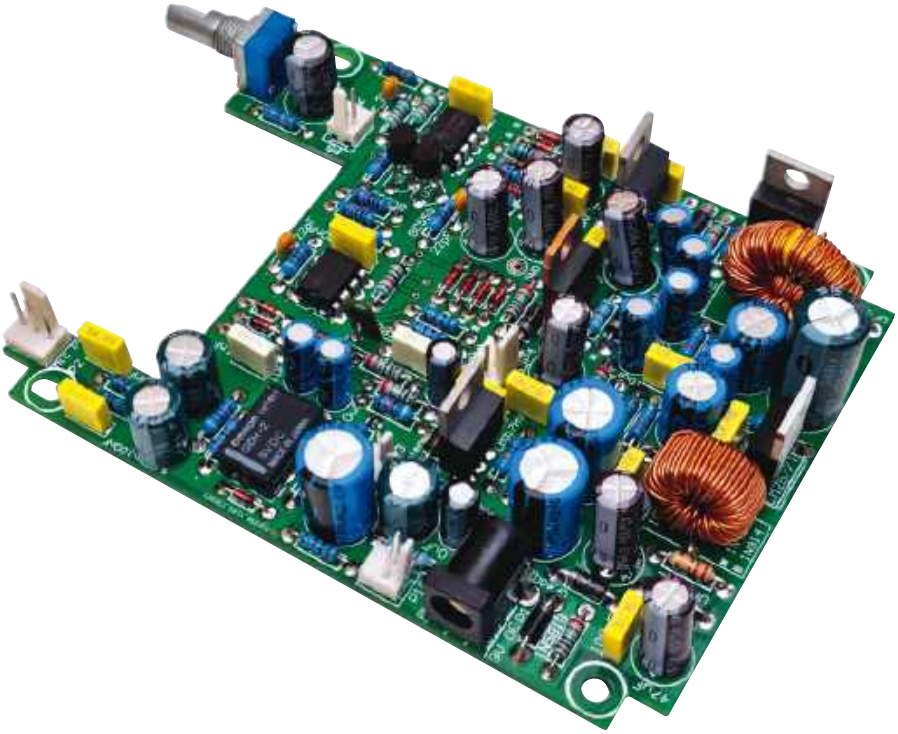
Napięcie wyjściowe jest ustalane przez rezystory 33 kΩ i 2,4 kΩ na poziomie około 18,4 V (1,25 V × [33 kΩ ÷ 2,4 kΩ + 1]). Na wyjściu zastosowano również filtr dolnoprzepustowy RC 10 Ω/10 µF. Napięcie wyjściowe kolejnego stabilizatora liniowego, opartego na układzie LM317, ustalają rezystory 3,9 kΩ i 390 Ω, co daje około 13,75 V (1,25 V × [3,9 kΩ ÷ 390 Ω + 1]) dla dodatniej szyny zasilania wzmacniacza operacyjnego.

I tu pojawia się sprytne rozwiązanie. Układ LM2577 (IC4), pracujący jako przetwornica podwyższająca napięcie, okresowo zwiera pin 4 do masy, powodując przepływ prądu przez cewkę L1. Gdy połączenie z masą zostaje przerwane, prąd nadal płynie przez cewkę i ładuje kondensator wyjściowy do docelowego napięcia 18 V DC. Proces ten powtarza się z częstotliwością 52 kHz. W rezultacie na pinie 4 pojawia się sygnał przełączający się pomiędzy masą a napięciem około 18,7 V.

Zastosowany przez nas trik polega na wytworzeniu ujemnej szyny zasilania z wykorzystaniem tego węzła przełączającego, przy użyciu rezystora 2,2 Ω, kondensatora 47 µF i ultraszybkiej diody D9. Gdy napięcie wyjściowe układu IC4 osiąga 18,7 V, kondensator zostaje naładowany przez diodę D9 do napięcia około 18 V. Kiedy następnie układ IC4 przełącza pin 4 do masy, dodatni biegun kondensatora zostaje sprowadzony do potencjału 0 V, a napięcie na jego ujemnym biegunie spada do około −18 V. Powoduje to ładowanie kolejnego kondensatora 47 µF przez diodę D3, dzięki czemu powstaje ujemne napięcie zasilające.

Szyna ujemna nie jest stabilizowana bezpośrednio, ale stabilizacja szyny dodatniej sprawia, że napięcie na szynie ujemnej pozostaje zbliżone do wymaganej wartości. Wyjście stabilizatora liniowego LM337 (REG4) ustawiono na −13,75 V, więc nawet jeśli jego napięcie wejściowe jest nieco niższe niż w przypadku REG3, końcowe napięcia stabilizowane nadal będą bliskie ±14 V.

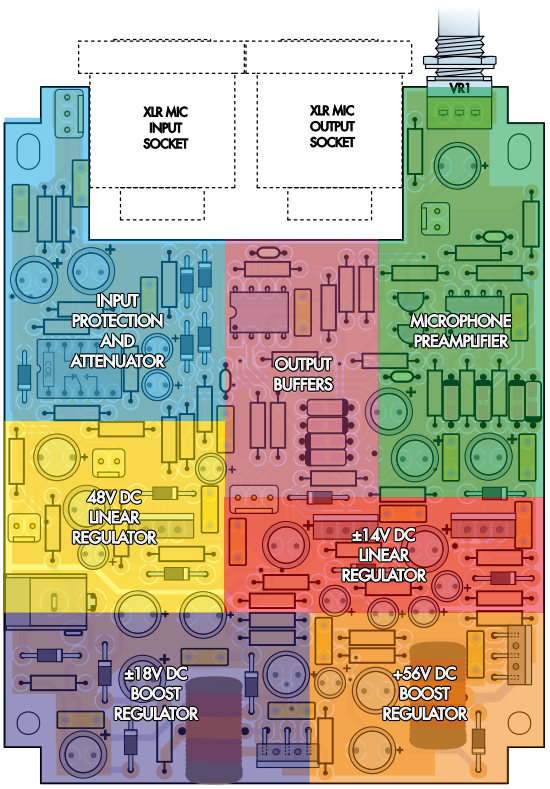
Chociaż szyna ujemna może dostarczyć tylko niewielki prąd, do zasilenia kilku wzmacniaczy operacyjnych potrzeba łącznie zaledwie około 40 mA.



Wersja płytki drukowanej przeznaczona do montażu w obudowie wymaga zastosowania większej liczby elementów ze względu na układ wytwarzający symetryczne napięcia zasilania. W naszym prototypie użyliśmy cewek na karkasie, jednak okazało się, że cewki toroidalne zapewniają na tyle dużą poprawę parametrów pracy, że zdecydowaliśmy się zastąpić nimi pierwotne rozwiązanie i zastosować układ przedstawiony na rysunku

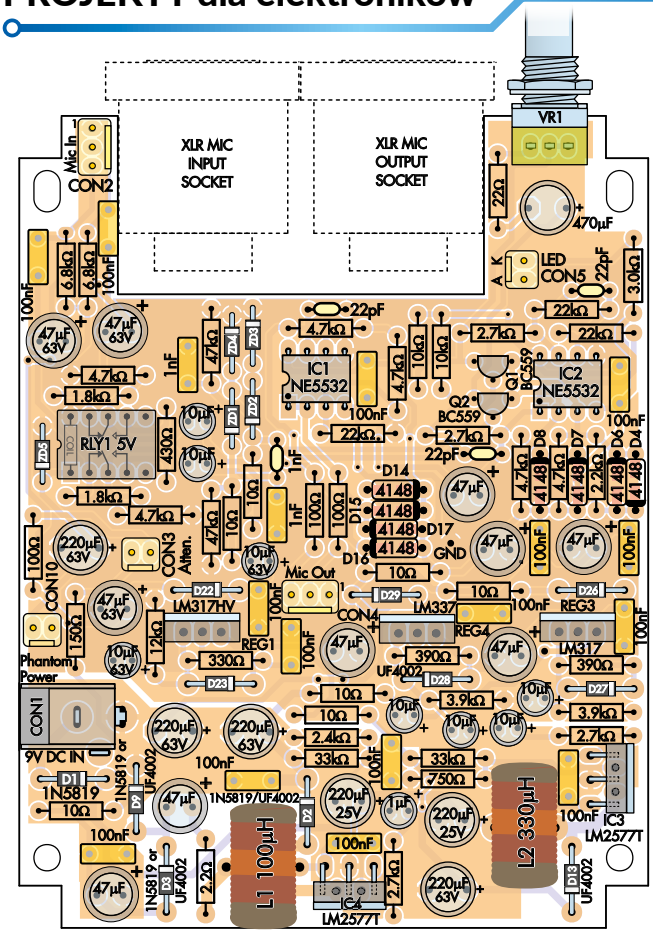
Płytka PCB

Płytkę przedwzmacniacza zaprojektowano tak, aby możliwie najlepiej wykorzystać wnętrze standardowej obudowy z ciśnieniowo

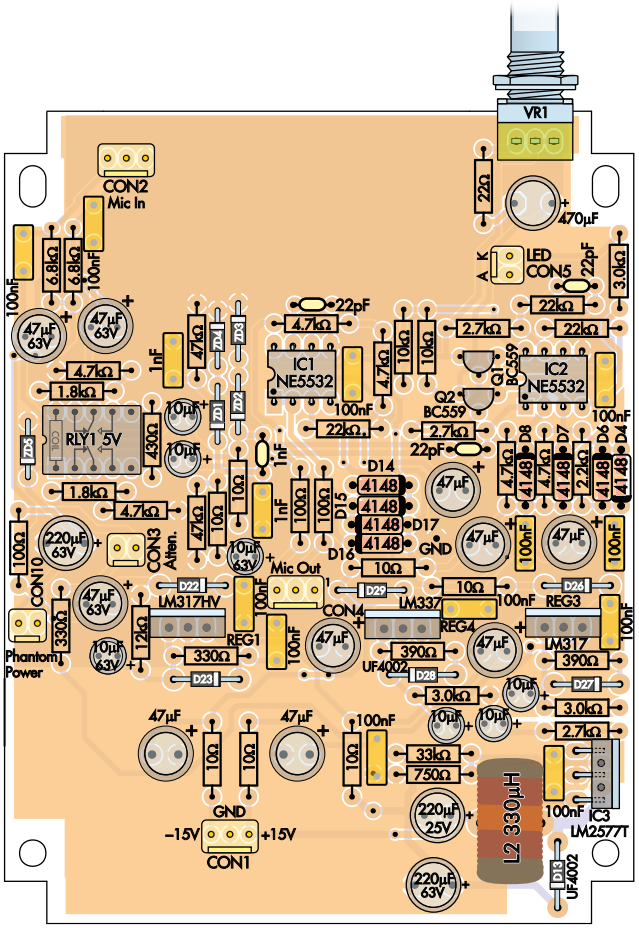


Rysunek 6. Rozmieszczenie poszczególnych sekcji układu na płytce drukowanej. Taka konfiguracja pozwala zmieścić układ w kompaktowej obudowie, a jednocześnie oddzielić generujące zakłócenia przetwornice impulsowe od czułych obwodów analogowego przedwzmacniacza

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 7. Ta wersja płytki drukowanej jest przeznaczona do montażu w odlewanej obudowie metalowej i ma wycięcie w górnej części na gniazda XLR. Diody, kondensatory elektrolityczne oraz układy scalone są elementami spolaryzowanymi, dlatego należy upewnić się, że zostały zamontowane zgodnie z rysunkiem



Rysunek 8. „Wbudowana" wersja płytki drukowanej nie zawiera układu wytwarzającego symetryczne napięcia zasilania, dzięki czemu może być zasilana napięciem symetrycznym ±15 V DC (lub podobnym), dostępnym już na przykład w mikserze, przedwzmacniaczu lub wzmacniaczu mocy

odlewanego aluminium o wymiarach 120 mm × 93 mm × 35 mm. Obudowa jest wystarczająco duża, by zmieścić płytkę drukowaną, dwa złącza XLR i przełączniki, a jednocześnie na tyle kompaktowa, że nie utrudnia użytkowania. Aluminium zapewnia również odpowiednią wytrzymałość mechaniczną i odporność na uszkodzenia podczas eksploatacji.

Ze względu na duże zagęszczenie elementów istotne było rozmieszczenie przetwornic impulsowych na jednym końcu płytki, a obwodów przedwzmacniacza na drugim. Zastosowano także rozległe pola masy, aby ograniczyć poziom zakłóceń i szumów. Ostateczny układ płytki pokazano na **rysunku 6**.

Aby płytka zmieściła się w obudowie, wykonano w niej wycięcia dopasowane do narożnych słupków znajdujących się wewnątrz obudowy oraz dodatkowe wycięcie przeznaczone na złącza XLR. Dzięki temu możliwe było zastosowanie wyłącznie elementów przewlekanych, co znacznie upraszcza montaż.

Jeśli chcesz zamontować płytkę w większej obudowie, na przykład wewnątrz istniejącego przedwzmacniacza, przygotowaliśmy także osobną wersję przeznaczoną do zabudowy. Usunięto z niej układ LM2577 odpowiedzialny za wytwarzanie symetrycznego napięcia zasilania (IC4), dzięki czemu płytkę można zasilać bezpośrednio z zewnętrznych szyn ±15 V. Wypełniono również wycięcie pod złącza XLR, ponieważ w takim zastosowaniu nie byłoby ono potrzebne.

Pozostałe elementy układu są praktycznie identyczne, dlatego można korzystać z tych samych rysunków montażowych niezależnie od wybranej wersji. W przypadku wersji do zabudowy należy jedynie pominąć elementy, których na niej nie przewidziano. Przy zamawianiu płytki warto upewnić się, że wybrana została wersja najlepiej odpowiadająca planowanemu zastosowaniu.

Jedyna pozostała różnica dotyczy wartości kilku elementów. Rezystor 150 Ω znajdujący się obok złącza CON10 zwiększono do 330 Ω, natomiast dwa rezystory 3,9 kΩ zmniejszono do 3,0 kΩ. Dzięki tym zmianom stabilizatory LM317/337 nie wchodzą w obszar utraty stabilizacji przy zasilaniu napięciem ±15 V zamiast ±18 V, które w podstawowej wersji układu jest wytwarzane przez przetwornicę impulsową.

Budowa

Przedwzmacniacz mikrofonowy zbudowano na dwustronnej płytce drukowanej oznaczonej kodem 01110231 (wersja pełna) lub 01110232 (wersja do zabudowy). W obu przypadkach wymiary płytki wynoszą 85 mm × 110 mm. Obie wersje pokazano na **rysunkach 7** i **8**. Główna różnica polega na braku układu wytwarzającego symetryczne szyny zasilające w wersji do zabudowy. Rozmieszczenie większości pozostałych elementów pozostaje bez zmian.

Dalszy opis dotyczy pełnej wersji płytki przeznaczonej do montażu w niewielkiej obudowie. W przypadku wersji do zabudowy, zasilanej napięciem symetrycznym, wystarczy pominąć elementy, których na niej nie przewidziano. Jedyną dodatkową zmianą jest zastosowanie 3-pinowego złącza CON1 do doprowadzenia zasilania zamiast gniazda cylindrycznego.

Zacznij od zamontowania wszystkich rezystorów. Szczególną uwagę należy zwrócić

eprasa.pl 39bd2886e9

Wykaz elementów

1[0] dwustronna płytka drukowana oznaczona kodem 01110231, 85 mm × 110 mm
1 obudowa z odlewanego ciśnieniowo aluminium o wymiarach 120 mm × 93,5 mm × 35 mm [Altronics H0454, Jaycar HB5067, Mouser 546-29830PSLA]
1[0] zasilacz 9 V DC 700 mA+ z wtyczką o średnicy wewnętrznej 2,1 mm
1[0] cewka toroidalna 100 µH (L1) [Altronics L6522]
1 cewka toroidalna 330 µH (L2) [Altronics L6527]
1 potencjometr o odwrotnej charakterystyce logarytmicznej 9 mm 10 kΩ (VR1) [Mouser 858-P091NFC25CR10K lub 652-PTD9012015FC103]
1 pokrętło dopasowane do VR1 (trzpień typu D), o średnicy około 13 mm
1[0] gniazdo zasilania 2,1 mm do montażu na płytce drukowanej (CON1) [Altronics P0620]
2 8-pinowa podstawka DIL dla układów scalonych (opcjonalnie; dla IC1 i IC2)
2 3-pinowe złącza z polaryzacją, raster 2,54 mm, z pasującymi wtykami i pinami (CON2, CON4)
3 2-pinowe złącza z polaryzacją, raster 2,54 mm, z pasującymi wtykami i pinami (CON3, CON5, CON10)
1 3-pinowe gniazdo XLR żeńskie do montażu w obudowie (CON11) [Altronics P0850]
1 3-pinowe męskie gniazdo XLR do montażu na obudowie (CON12) [Altronics P0852]
2 mini-przełączniki SPDT do montażu w obudowie (S1, S2) [Altronics S1310]
1 przekaźnik telekomunikacyjny DPDT z cewką 5 V DC do montażu na płytce drukowanej (RLY1) [Altronics S4128B]
1 zielona dioda LED 3 mm do montażu panelowego z ramką (LED1) [Altronics Z0240]
8 śrub maszynowych z łbem płaskim M3 × 16 mm
4 nylonowe tuleje dystansowe z gwintem M3 o długości 6 mm
10 podkładek sprężystych M3
6 nakrętek sześciokątnych M3
4 samoprzylepne gumowe nóżki [Altronics H0940]
3 odcinki przewodu połączeniowego o długości 1 m (np. biały, czerwony i czarny)
1 krótki odcinek rurki termokurczliwej o średnicy 3 mm

Półprzewodniki

2 podwójne wzmacniacze operacyjne NE5532 o niskim poziomie szumów, DIP-8 (IC1, IC2)
2[1] zintegrowane stabilizatory impulsowe LM2577T, TO-220-5 (IC3, IC4)
1 regulowany stabilizator liniowy LM317HV lub LM317, TO-220-3 (REG1) [Altronics Z0545]
1 regulowany stabilizator liniowy LM317, TO-220-3 (REG3)
1 regulowany liniowy stabilizator napięcia ujemnego LM337, TO-220-3 (REG4)
2 tranzystory PNP o niskim poziomie szumów BC559, TO-92 (Q1, Q2)
5 osiowych diod Zenera 6,8 V 400 mW, DO-35 (ZD1...ZD5) [Altronics Z0320]
1[0] dioda Schottky'ego 1N5819 40 V 1 A, DO-41 (D1)
3[0] dioda Schottky'ego 1N5819 40 V 1 A lub ultraszybka dioda UF4002 100 V 1 A, DO-41 (D2, D3, D9)
1 dioda ultraszybka UF4002 100 V 1 A, DO-41 (D13)
8 diod 1N4148 75 V 200 mA, DO-35 (D4, D6...D8, D14...D17)
6 diod 1N4004 400 V 1 A, DO-41 (D22, D23, D26...D29)

Kondensatory

1 radialny kondensator elektrolityczny 470 µF 25 V, raster 5 mm, maks. średnica 10 mm i wysokość 21 mm [Altronics R5164]
4[2] radialne kondensatory elektrolityczne 220 µF 63 V; raster 5 mm, maks. średnica 10 mm i wysokość 21 mm [Altronics R5148] ◆
2[1] radialne kondensatory elektrolityczne 220 µF 25 V, raster 3,5 mm, maks. średnica 8 mm [Altronics R5144] ◆
10 radialny kondensator elektrolityczny 47 µF 63 V, raster 2,5...3,5 mm, maks. średnica 8 mm i wysokość 21 mm [Altronics R5108]
8[7] radialny kondensator elektrolityczny 10 µF 63 V o niskim ESR [Altronics R4768]
1[0] radialny kondensator elektrolityczny 1 µF 50 V/63 V [Altronics R4718]
15[12] 100 nF 63 V/100 V MKT
1 10 nF 63 V/100 V MKT
3 1 µF 63 V/100 V MKT
3 ceramiczne kondensatory 22 pF 50 V C0G/NP0
◆ preferowane są typy o niskim ESR, ale nie jest to wymagane

Rezystory

2 47 kΩ	6 4,7 kΩ	2 1,8 kΩ	3 100 Ω	2[1] 33 kΩ	2[0] 3,9 kΩ	1 750 Ω	1 22 Ω
3 22 kΩ	1[3] 3,0 kΩ	1 430 Ω	7 10 Ω	1 12 kΩ	1[0] 2,4 kΩ	2 390 Ω	1[0] 2,2 Ω
2 10 kΩ	4[3] 2,7 kΩ	1[2] 330 Ω	2 6,8 kΩ	1 2,2 kΩ	1[0] 150 Ω		

Dla wersji wbudowanej należy dodać:
1 dwustronną płytkę drukowaną o kodzie 01110232, 85 mm × 110 mm
1 3-pinowe złącze z polaryzacją, raster 2,54 mm, z pasującymi wtykami i pinami (CON1)

Cyfra w indeksie górnym oznacza liczbę elementów stosowanych w wersji wbudowanej.

na pary rezystorów 6,8 kΩ, 4,7 kΩ i 1,8 kΩ w sekcji wejściowej, w lewym górnym rogu płytki. Elementy te powinny być dobrane możliwie dokładnie, z tolerancją wzajemną lepszą niż 1%.

Kupiliśmy po 10 sztuk każdego typu rezystora i z każdej grupy wybraliśmy po dwa egzemplarze o najbardziej zbliżonych wartościach. Poprawia to tłumienie składowej wspólnej, a tym samym ogranicza wpływ zakłóceń.

Przejdźmy teraz do diod. W układzie zastosowano pięć różnych typów diod, dlatego trzeba uważać, aby ich nie pomylić, i upewnić się, że paski oznaczające katodę są ustawione zgodnie ze schematami montażowymi. Diody Zenera o mocy 400 mW wyglądają podobnie do diod małosygnałowych 1N4148, dlatego należy zachować szczególną ostrożność. Diody D2, D3 i D9 mogą być szybkimi diodami UF4002 lub 1N5819, natomiast D13 musi być typu UF4002.

Następnie zamontuj wszystkie kondensatory ceramiczne i foliowe, a po nich kondensatory elektrolityczne. Wszystkie są ustawione w tę samą stronę: dodatnie, dłuższe wyprowadzenie znajduje się po prawej stronie, a pasek na obudowie po lewej.

Na płytce drukowanej oznaczono miejsca dla kondensatorów o napięciu znamionowym 63 V. Jeśli jednak zostaną użyte elementy podane w wykazie części, będą one już miały odpowiednie parametry.

Następnie zamontuj gniazdo zasilania, dwu- i trzypinowe złącza z kluczem, dwie cewki toroidalne (nie mają one polaryzacji) oraz potencjometr. Orientacja złączy z kluczem nie ma zasadniczego znaczenia, jednak zastosowanie układu zalecanego w dokumentacji zmniejszy ryzyko pomyłek podczas wykonywania połączeń przewodowych.

Można teraz zamontować oba układy LM2577 i sprawdzić działanie przetwornic podwyższających napięcie. W zależności od wersji zastosowanych układów może być konieczne odpowiednie dogięcie wyprowadzeń, aby pasowały do pól lutowniczych – niektóre wersje mają wyprowadzenia ułożone naprzemiennie, a inne w jednej linii.

Należy upewnić się, że stabilizatory przylegają możliwie blisko do płytki drukowanej i nie wystają poza jej obrys. Pod cewki można dodatkowo nanieść niewielką ilość silikonu utwardzanego w temperaturze pokojowej, aby poprawić ich mocowanie.

Testy wstępne

Aby sprawdzić działanie części impulsowej układu, podłącz zasilacz 9 V DC i zmierz napięcia po obu stronach diody D1 zabezpieczającej przed odwrotną polaryzacją. Na anodzie powinno być około 9 V, a na katodzie ponad 8,5 V.

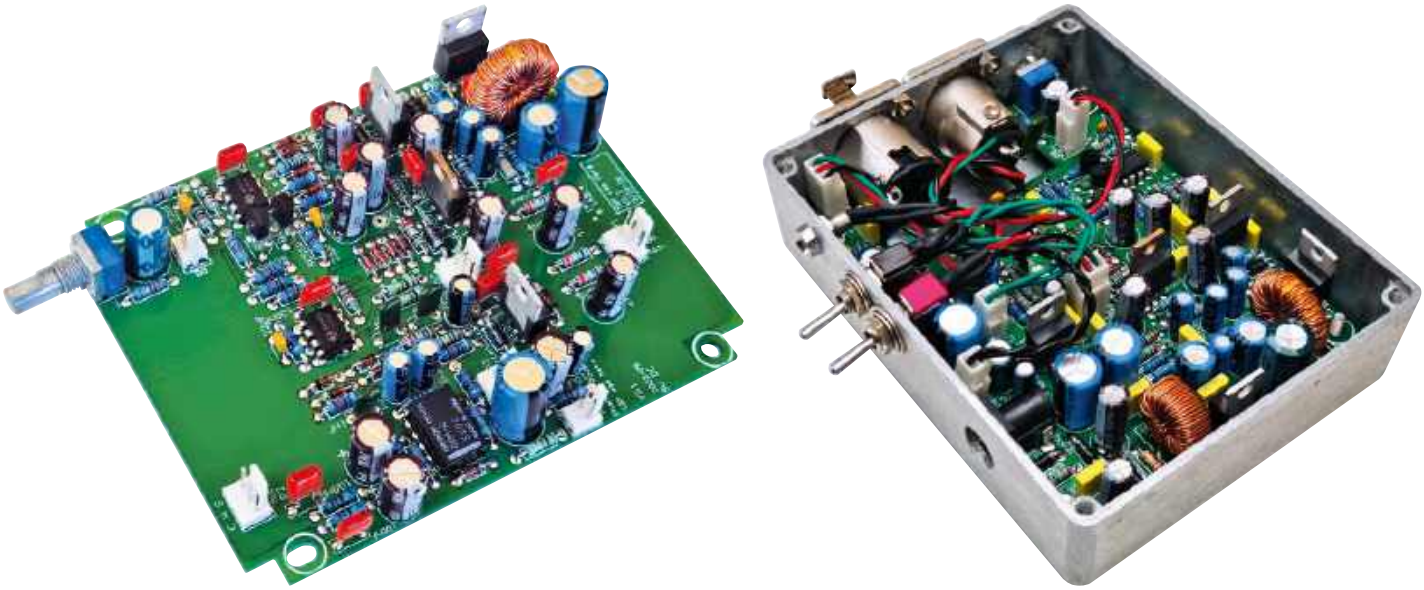
Jeśli wartości są inne, sprawdź, czy w układzie nie ma zwarć, czy któryś z elementów nadmiernie się nie nagrzewa oraz upewnij się, że używany zasilacz ma ujemny biegun na bolcu środkowym, a dodatni na zewnętrznym pierścieniu – odwrotnie niż w wielu popularnych zasilaczach.

Sprawdź napięcie na obu końcach rezystora 10 Ω znajdującego się obok rezystora 33 kΩ (w wersji do zabudowy rezystor ten znajduje się osobno, po lewej stronie rezystora 33 kΩ). Na obu końcach powinno być napięcie około 55 V ±5 V.

Nie dotykaj tego obwodu palcami, ponieważ występujące tam napięcie jest wystarczająco wysokie, aby spowodować porażenie. Jeśli wynik pomiaru jest nieprawidłowy, sprawdź elementy w prawym dolnym rogu płytki, szczególnie układ IC3, oraz upewnij się, że dioda D13 została zamontowana we właściwej orientacji.

W przypadku układu wytwarzającego symetryczne napięcia zasilające w pełnej wersji przedwzmacniacza zmierz napięcie na obu końcach dwóch dodatkowych rezystorów 10 Ω znajdujących się w sekcji zasilania. Jeden z nich znajduje się po lewej stronie diody D26, a drugi bezpośrednio nad D29.

eprasa.pl 39bd2886e9



Jeśli zdecydujesz się na wersję przeznaczoną do montażu w obudowie (pokazaną po prawej stronie), elementy będą bardzo ciasno rozmieszczone. Ponieważ przez obudowę musi przejść jedynie oś potencjometru, montaż nie jest jednak tak trudny, jak mogłoby się wydawać. Wersja płytki drukowanej do montażu wbudowanego jest nieco prostsza (pokazana po lewej stronie)

Odczytane wartości powinny wynosić około ±18,4 V ±1,5 V.

Jeśli napięcia są nieprawidłowe, przerwij dalsze pomiary i znajdź przyczynę problemu. Najczęściej jest nią błędna orientacja diody lub kondensatora.

Jeżeli układ IC3 lub IC4 nie pracuje poprawnie, podłącz sondę oscyloskopową do pinu 4 układu IC4. Powinien być tam widoczny przebieg przełączający o częstotliwości około 52 kHz. Jeśli go nie ma, możliwe, że układ nie jest zasilany.

Teraz zamontuj układy LM317HV, LM317 i LM337 (REG1, REG3 oraz REG4). Następnie sprawdź napięcie na złączu CON10, czyli wyjściu zasilania fantomowego. Powinno ono wynosić 48 V ±4 V.

Sprawdź również napięcia na pinach 4 i 8 podstawek przeznaczonych dla układów IC1 i IC2, które na tym etapie pozostają jeszcze puste. Na pinach 8 powinno być +14 V ±1 V, natomiast na pinach 4 napięcie −14 V ±1 V.

Jeśli któraś z tych wartości jest nieprawidłowa, problem prawdopodobnie dotyczy odpowiedniego stabilizatora. W takiej sytuacji sprawdź napięcia wejściowe, orientację stabilizatorów oraz poprawność montażu współpracujących z nimi diod zabezpieczających.

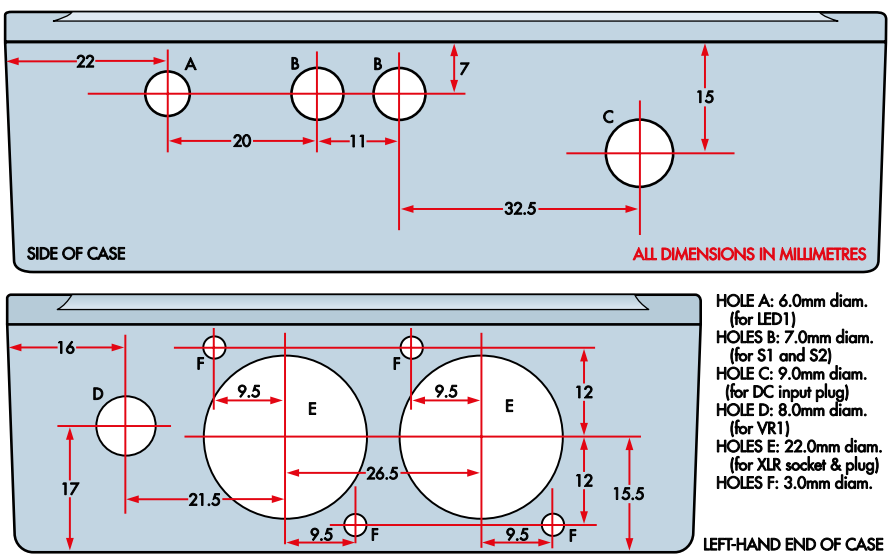
Gdy zasilacz działa już prawidłowo, zamontuj przekaźnik, pamiętając o właściwej orientacji, a następnie dwa tranzystory BC559 oraz dwa wzmacniacze operacyjne NE5532. Układy NE5532 można przylutować bezpośrednio do płytki lub zamontować w podstawkach, choć zastosowanie podstawek może nieco zmniejszyć odporność mechaniczną urządzenia.

Przed lutowaniem dokładnie sprawdź orientację wszystkich elementów, ponieważ odlutowanie wzmacniaczy operacyjnych lub przekaźnika jest dość kłopotliwe. Jeśli zajdzie konieczność usunięcia któregoś z tych elementów, najłatwiej odciąć wszystkie wyprowadzenia i odlutować je pojedynczo.

Podłącz ponownie zasilanie i sprawdź działanie przekaźnika, zwierając styki złącza CON3. Powinno być słyszalne kliknięcie przekaźnika. Jeśli go nie słychać, sprawdź poprawność montażu przekaźnika oraz orientację diody ZD5.

Do wejścia CON2 można teraz podłączyć mikrofon lub generator sygnału o maksymalnym poziomie wejściowym 100 mV i sprawdzić, czy układ poprawnie wzmacnia sygnał oraz czy na pinach złącza CON4 pojawiają się prawidłowe sygnały wyjściowe.

Jeśli na wyjściu nie ma sygnału, upewnij się, że gdy zachodzi taka potrzeba zostało włączone zasilanie fantomowe. W tym celu można założyć zworkę na złącze CON10. Na pinach złącza CON10 powinno występować napięcie zbliżone do 48 V, natomiast na pinach 2 i 3 złącza wejściowego powinno pojawić się odpowiednie napięcie stałe. Jego wartość zależy od użytego mikrofonu i zwykle mieści się w zakresie od około 5 V do 43 V.



Rysunek 9. Szczegóły wykonania otworów pod gniazda XLR oraz otworów dla potencjometru, diody LED, gniazda zasilania DC i przełączników. Małych otworów montażowych dla gniazd XLR nie wykonuj, dopóki gniazda nie będą gotowe do zamontowania – pozwoli to dokładnie ustalić ich położenie

eprasa.pl 39bd2886e9

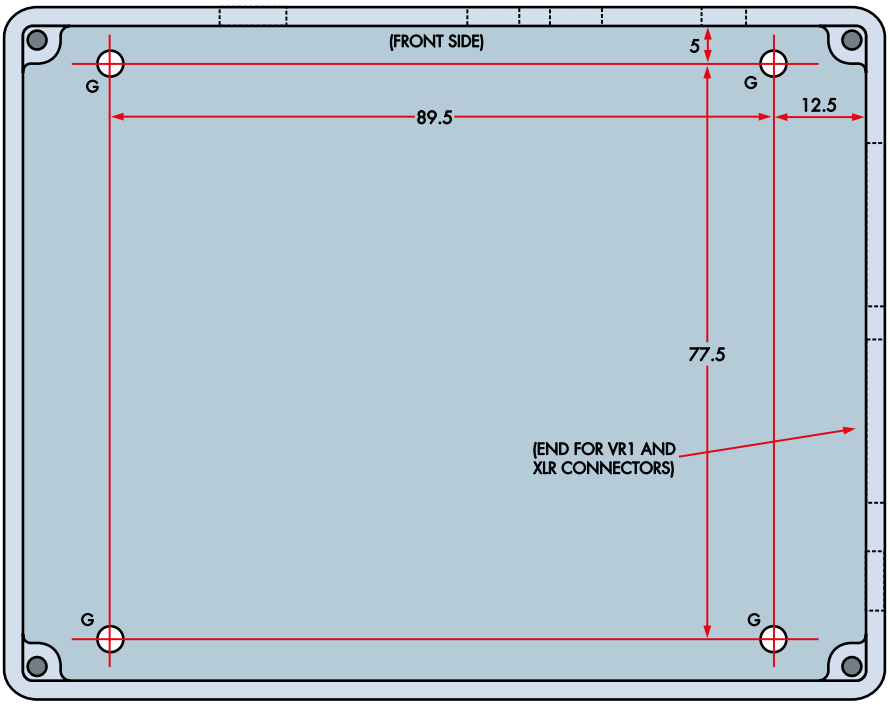
Jeśli problemy nadal występują, podłącz generator sygnałowy do „gorącego” wejścia, czyli środkowego pinu złącza CON2 i:

- Sprawdź napięcie wejściowe za pomocą oscyloskopu. Powinno być ustawione na 100 mV.
- Sprawdź napięcia na rezystorach 1,8 kΩ znajdujących się bezpośrednio po obu stronach RLY1. Zakładając, że używany jest generator z wyjściem niesymetrycznym, na jednym z tych pinów powinien być widoczny sygnał testowy. Włącz i wyłącz tłumik. Na jednym z końców powinno być widoczne obniżenie poziomu napięcia o 20 dB (10-krotne).
- Sprawdź napięcia na bazach tranzystorów Q1 i Q2. Powinny wynosić około 0 V (a dokładniej – nieco powyżej!).
- Sprawdź napięcia na emiterach Q1 i Q2. Powinny wynosić około 0,6 V.
- Napięcie na dwóch rezystorach 10 kΩ, znajdujących się tuż obok wycięcia na gniazdo XLR, po obu stronach kondensatora 470 µF, powinno wynosić około 10 V, a napięcie na rezystorach 4,7 kΩ, znajdujących się bezpośrednio na prawo od D7 i poniżej D8, powinno wynosić około 4,7 V. Jeśli napięcia te są nieprawidłowe, sprawdź orientację D7 i D8. Napięcia te powinny być identyczne, ponieważ są podłączone do wejścia odwracającego i nieodwracającego tego samego wzmacniacza operacyjnego (IC2A).
- Sprawdź, czy napięcie na pinie 1 układu IC2 jest bliskie 0 V przy braku sygnału podanego na przedwzmacniacz. Jeśli jest ono przyciągnięte do jednej z szyn zasilających, poszukaj nieprawidłowości w pętli sprzężenia zwrotnego przechodzącej przez układy IC2A, IC2, Q1 i Q2.

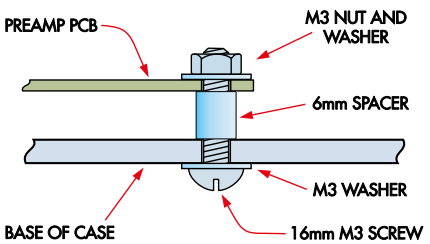
Jeśli wszystko działa, sprawdź, czy regulator wzmocnienia zapewnia zakres około 48 dB. Przy wysokich ustawieniach wzmocnienia konieczne będzie obniżenie napięcia wejściowego, aby uniknąć przesterowania. Przy obciążeniu 600 Ω powinno być możliwe uzyskanie wartości powyżej 8 V RMS między pinami 2 i 3 złącza wyjściowego.

Przygotowanie obudowy

Obudowa z ciśnieniowo odlewanego aluminium o wymiarach 120 mm × 93,5 mm × 35 mm (według niektórych źródeł 119 mm) jest dostępna u wielu dostawców. Wszystkie podane przez nas wymiary zakładają zastosowanie tulei dystansowych o wysokości 6 mm do montażu płytki drukowanej. Zapewnia to odpowiedni odstęp dla przełączników tłumika i zasilania fantomowego oraz wyższych kondensatorów typu low ESR.



Rysunek 10. Choć można przyjąć, że otwory montażowe płytki drukowanej będą znajdować się w pokazanych miejscach, przed wierceniem należy dokładnie wyznaczyć ich położenie na podstawie zmontowanej płytki, aby mieć pewność, że wszystkie elementy będą prawidłowo dopasowane

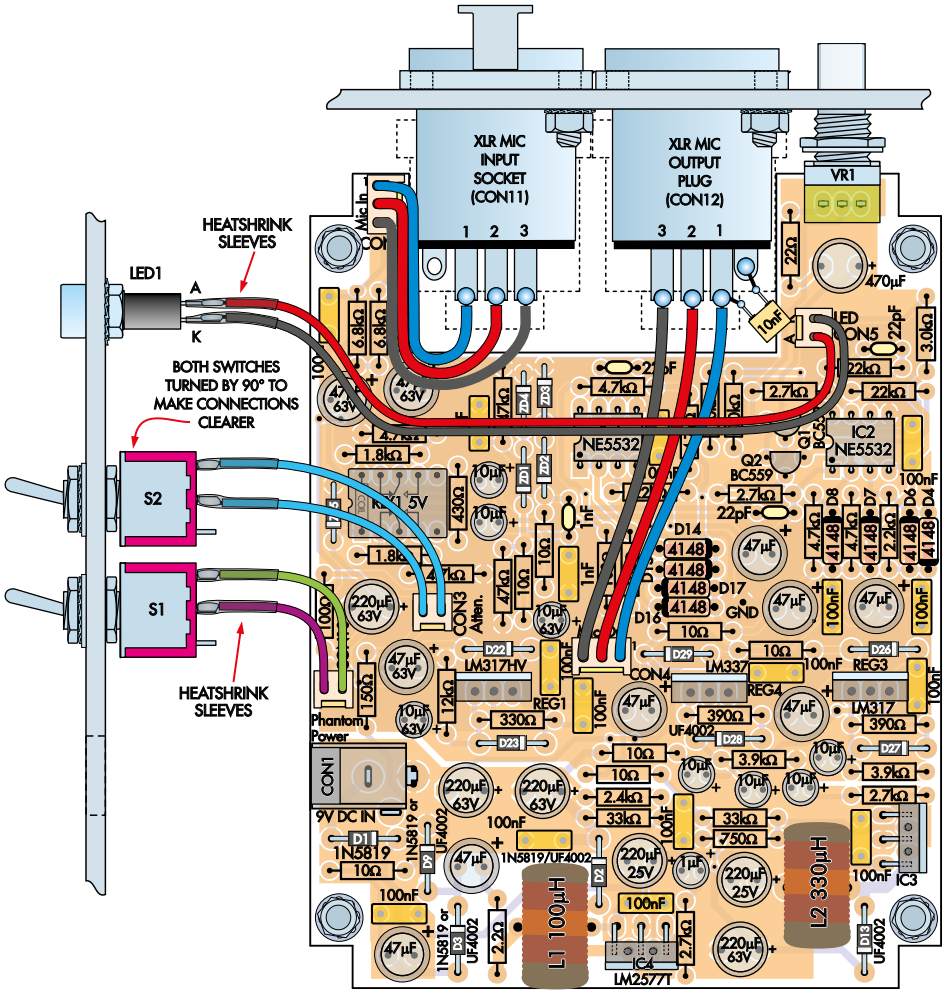


Rysunek 11. Mocując tuleje dystansowe w sposób pokazany na rysunku, uzyskujemy solidne mocowanie, a jednocześnie możliwe jest wygodne dopasowanie płytki do obudowy

Płytkę drukowaną zaprojektowano tak, aby mieściła złącza XLR i była dokładnie dopasowana do obudowy. Wewnątrz obudowy pozostaje bardzo niewiele wolnego miejsca, jednak elementy nie są rozmieszczone zbyt ciasno



eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 12. Sposób wykonania połączeń. Przełączniki, złącza i dioda LED są podłączane do płytki drukowanej za pomocą złączy spolaryzowanych, dzięki czemu każdy element można okablować osobno, a następnie połączyć całość po zamontowaniu płytki w obudowie



Rysunek 13. Wydrukuj i przymocuj tę etykietę do górnej części obudowy, aby użytkownik pamiętał, do czego służą poszczególne elementy

Jeśli planujesz użycie innych tulei dystansowych, upewnij się, że wszystkie elementy mieszczą się wewnątrz obudowy, szczególnie kondensatory 63 V i przełączniki. Tuleje wyższe niż około 8 mm prawdopodobnie okażą się zbyt wysokie.

Zacznij od wywiercenia i wygładzenia otworów w bocznych ściankach obudowy, zgodnie z **rysunkiem 9**. Na razie nie wykonuj jeszcze otworów montażowych w podstawie.

Do wykonania otworów pod złącza XLR użyliśmy wiertła stopniowego, które bardzo ułatwia wiercenie większych otworów w cienkim metalu. Sprawdziliśmy kilka typów złączy XLR i okazało się, że choć są do siebie bardzo podobne, wymagają nieco innych wymiarów wycięć. Może więc być konieczne dokładne dopasowanie otworu do używanego typu złącza.

Zalecamy również, aby z wierceniem mniejszych otworów mocujących złącza XLR poczekać do momentu wykonania głównego otworu. Gdy złącze będzie już dobrze dopasowane, można zaznaczyć i wywiercić otwory mocujące dokładnie we właściwych miejscach.

Dwa dolne otwory mocujące złącza XLR należy nagwintować gwintem M3 po wcześniejszym wywierceniu otworów o średnicy 2,5 mm, ponieważ wewnątrz obudowy nie ma miejsca na nakrętki. Alternatywnie można zastosować długie nity z łbem stożkowym o średnicy 3 mm. Sprawdziliśmy takie rozwiązanie i okazało się skuteczne, szczególnie wtedy, gdy otwór został wykonany z niewielkim przesunięciem.

Po wykonaniu otworów w bocznych ściankach przyłóż płytkę drukowaną do obudowy, jeszcze bez zamontowanych tulei dystansowych, i zaznacz miejsca otworów montażowych. Pokazano je wprawdzie na **rysunku 10**, jednak najdokładniej można wyznaczyć ich położenie bezpośrednio przy użyciu płytki, a nie samego rysunku. Następnie wywierć otwory o średnicy 3,5 mm i usuń zadziory. Taka metoda jest najprostsza, ponieważ bardzo dokładne wyznaczenie wymiarów wewnątrz obudowy nie jest łatwe.

Tuleje dystansowe zamontuj do obudowy, wkładając od zewnątrz śrubę M3 o długości 16 mm wraz z podkładką sprężystą, a następnie nakręcając na nią od wewnątrz tuleję dystansową 6 mm (**rysunek 11**). Nie dokręcaj jej od razu do końca, ponieważ trzeba jeszcze wsunąć płytkę drukowaną na śruby M3. Po ustawieniu płytki na miejscu można dokręcić śruby do tulei dystansowych. Pomocne jest nasunięcie płytki PCB na tuleje podczas wyrównywania ich położenia.

eprasa.pl 39bd2886e9

sklep.semicon.com.pl
■ Montaż elektroniki ■ Konwerting materiałów ■ Komponenty elektroniczne
■ Szablony SMT ■ Chemia dla elektroniki
■ Moduły laserowe ■ Podzespoły ■ Narzędzia
SEMICON®

W części płytki znajdującej się przy złączach wykonano podłużne otwory montażowe. Dzięki temu można wprowadzić płytkę do obudowy stroną ze złączami skierowaną w dół, co umożliwia jednoczesne przełożenie osi potencjometru regulacji wzmocnienia przez przednią ściankę obudowy. Następnie, lekko poruszając płytką, można wsunąć śruby M3 w podłużne otwory.

Po ustawieniu płytki we właściwym położeniu należy zamocować ją za pomocą podkładek sprężystych i nakrętek M3, zgodnie ze zdjęciami montażowymi.

Montaż złączy XLR

Gniazdo wejściowe XLR znajduje się obok złącza wejściowego na płytce, natomiast gniazdo wyjściowe – obok regulatora wzmocnienia. Do każdego z nich przylutuj trzy przewody o długości około 100 mm w różnych kolorach i starannie je skręć. Następnie przytnij przewody tak, aby połączenia były estetyczne, po czym zaciśnij lub przylutuj styki do odpowiednich złączy. Korzystając ze schematu połączeń przedstawionego na **rysunku 12**, podłącz przewód masy oraz przewody sygnałowe do pinów 1...3.

Dolne otwory mocujące gniazda XLR znajdują się bardzo blisko podstawy obudowy, dlatego wykonaliśmy je bezpośrednio w obudowie i nagwintowaliśmy pod śruby M3.

Pomiędzy wyprowadzeniem obudowy jednego ze złączy XLR a przewodem masy podłączonym do pinu 1 należy przylutować kondensator 10 nF. Zapewni on skuteczne połączenie obudowy z masą dla sygnałów zmiennych i zakłóceń o wysokiej częstotliwości.

Przełączniki i diody LED

Połączenia przełączników wykonaj cienkimi przewodami. Najlepiej użyć skrętki i podłączyć ją do dwupinowych złączy wtykowych zgodnie z rysunkiem 12. Kolor przewodów nie ma większego znaczenia, ważne jednak, aby połączenia były wykonane starannie.

W podobny sposób przygotuj dwa odcinki cienkiego skręconego przewodu do podłączenia diody LED. Na miejsca lutowania załóż rurki termokurczliwe. W naszym przypadku przewód czerwony został użyty do anody, a czarny do katody. Są one podłączone odpowiednio do pinów 1 i 2 złącza wtykowego.

Na koniec zamontuj niewielkie pokrętło regulatora wzmocnienia. Zalecamy użycie małego pokrętła, ponieważ znajduje się ono bardzo blisko wyjściowego złącza XLR. Jeśli płytka została wcześniej sprawdzona, urządzenie jest gotowe do pracy.

Zauważyliśmy, że krawędź pokrywy ocierała się o nakrętki M3 mocujące złącza XLR. Rozwiązaliśmy ten problem, wykonując pilnikiem niewielkie wycięcia w krawędzi pokrywy, dzięki czemu nakrętki nie kolidowały z obudową, a pokrywa pasowała prawidłowo.

Wnętrze obudowy jest wykorzystane niemal do maksimum. Kondensatory oraz elementy w obudowach TO-220 mieszczą się pod pokrywą zaledwie z kilkumilimetrowym zapasem. Uważamy jednak, że jest to najlepsze rozmieszczenie elementów, jakie udało się uzyskać.

W przypadku wersji do zabudowy sposób montażu pozostawiamy użytkownikowi. Płytka jest stosunkowo niewielka, dlatego powinna zmieścić się praktycznie w dowolnym urządzeniu. Zalecane napięcie zasilania wynosi ±15 V, jednak prawdopodobnie możliwa będzie również praca przy napięciach do około ±30 V bez nadmiernego nagrzewania stabilizatorów, ponieważ pobór prądu z liniowych szyn zasilających jest niewielki. W konkretnym zastosowaniu warto to jednak wcześniej sprawdzić.

Oznaczenia na obudowie są bardzo proste, co wynika z praktycznego charakteru urządzenia (**rysunek 13**). W tym zakresie można oczywiście dostosować wygląd do własnych upodobań.

Na końcu przyklej do spodu gumowe nóżki. Zabezpieczą one powierzchnię, na której stoi urządzenie, przed zarysowaniem oraz ograniczą jego przesuwanie się podczas użytkowania.

Korzystanie z urządzenia

Przedwzmacniacz powinien być zasilany napięciem 9 V DC. Układ będzie również poprawnie pracował przy napięciu 12 V DC. Chociaż wyższe napięcie, nawet do 24 V DC, nie powinno spowodować uszkodzenia urządzenia, przedwzmacniacz prawdopodobnie nie będzie wtedy działał poprawnie, ponieważ nie zostanie wytworzone ujemne napięcie zasilające. ■

Phil Prosser

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6783
https://www.siliconchip.com.au/Shop/8/6782

Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

Artykuł reprodukowano na podstawie umowy z magazynem „Silicon Chip", 2022.
www.siliconchip.com.au

REKLAMA

m.młody technik
Ciekawi świata są zawsze młodzi

Ciekawszy,
na czasie,
na topie...
wiecznie młody!





przejrzysz i kupisz na stronie
www.ulubionykiosk.pl

Ekscytacje Maxa

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (32)

Dawno, dawno temu, kiedy jeszcze nosiłem młodzieżowe ciuchy, miałem szczęście zobaczyć występ The Police w Leeds. Mówiąc „The Police" („Policja") mam na myśli zespół muzyczny, a nie stróżów prawa z West Yorkshire (choć jestem pewien, że ci drudzy to również świetna załoga). Muzyka The Police bardzo różniła się od wszystkiego, czego się wtedy słuchało, bo była to niespotykana odmiana rocka z wpływami punka, reggae i jazzu. Zespół liczył tylko trzech członków – Sting (śpiew, gitara basowa), Andy Summers (gitara) i Stewart Copeland (perkusja, instrumenty perkusyjne) – ale udawało im się całkowicie wypełniać przestrzeń dźwiękową.

Wiadomość w butelce

Wystarczy wymówić nazwę tego zespołu, a od razu przychodzi na myśl mnóstwo piosenek: „Roxanne", „Walking on the Moon", „Message in a Bottle"... Powodem, dla którego to wszystko mi się przypomniało, jest wiadomość, którą właśnie otrzymałem od jednego z Czytelników – nazwijmy go Andrew (bo właśnie tak ma na imię). Zauważyliście, co zrobiłem? Możecie mnie nazywać „Mistrzem Przejść". W swojej wiadomości Andrew – który pracuje jako specjalista ds. projektów technicznych w liceum w Leominster w hrabstwie Herefordshire – napisał, co następuje:

„Cześć Max, z wielkim zainteresowaniem przeczytałem fragment twojej rubryki »Migające diody LED i śliniący się inżynierowie« poświęcony silnikom serwo, który ukazał się w sierpniowym numerze magazynu „Practical Electronics" z 2022 roku (EdW 3/2026). Przypomniało mi to rok 1989, kiedy studiowałem na kierunku elektronika i technika komputerowa na ówczesnej Politechnice w Birmingham. Zbudowałem wtedy sterowany panel słoneczny, wykorzystując modelowe silniki serwo, które dostałem od mojego wykładowcy. Były one bardzo podobne do tych przedstawionych w twoim artykule. W tamtych czasach mieliśmy pod ręką mnóstwo wzmacniaczy operacyjnych 741 i klasycznych układów czasowych 555. Mój panel miał dwie osie ruchu: lewo/prawo oraz góra/dół. Do sterowania serwomotorów zastosowałem układy czasowe 555 pracujące z częstotliwością 50 Hz, z modulowaną szerokością impulsu. Układy były sterowane z czterech fotorezystorów umieszczonych w rogach krzyża zamontowanego na sterowanym panelu. Jeśli panel nie był skierowany bezpośrednio na źródło światła (np. Słońce), na jeden lub więcej fotorezystorów padał cień, w wyniku czego układy komparatorów oparte na wzmacniaczach operacyjnych 741 odpowiednio zmieniały szerokości impulsów. Pomysł polegał na tym, aby panel był poruszany tak długo, aż żaden z fotorezystorów nie znajdował się w cieniu, a każda para fotorezystorów otrzymywała taką samą ilość oświetlenia, co oznaczało, że panel jest idealnie skierowany w stronę źródła światła. To było dawno temu, w 1989 roku, i opieram się na mojej pamięci (znalezienie notatek z tamtego okresu wymagałoby daleko idących poszukiwań). Pamiętam, że do precyzyjnego wyregulowania całego systemu użyłem kilku dekad rezystorowych. Dobrze pamiętam też, że kiedy po raz pierwszy system załączyłem, panel poruszył się w poprzek i w górę, zatrzymał się, a potem zaczął powoli szukać (używałem tylko regulacji proporcjonalnej P, bez całkowej I i różnicowej D). Minęło kilka sekund, zanim zdałem sobie sprawę, że panel przesunął się tak, by spoglądać na świetlówkę zamontowaną w suficie. Potem wykonałem różdżkę świetlną, która była w zasadzie żarową lampą reflektorową na drążku. Kiedy przyszedł czas na prezentację mojego projektu, poruszałem się po sali, a panel podążał za moją różdżką. Wykładowcy oceniającemu mój projekt bardzo się to podobało. Dziękuję za świetny artykuł i czekam na następny. Pozdrawiam i życzę wszystkiego najlepszego, Andrew Moore".



Rysunek 1. Mechanizm obrotu i pochylenia z wykorzystaniem dwóch mikroserwomechanizmów. Zdjęcie: Adafruit

No cóż, skoro Andrew polubił numer sierpniowy magazynu „Practical Electronics", to mam nadzieję, że dech w piersiach zaparł mu numer wrześniowy (EdW 5/2026), w którym zamieściłem niesamowite rysunki wykonane w programie CAD przez mojego przyjaciela Steve'a Manleya, przedstawiające wnętrze serwomechanizmu, a ponadto rozważania na temat momentu obrotowego, układów przekładniowych i przełożeń.

Nie jeden, nie dwa, nie trzy, ale cztery!

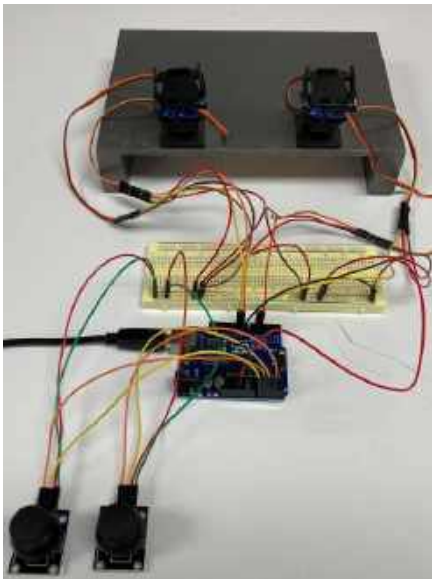
Skoro mowa o poprzednich dwóch artykułach: w pierwszym z nich stworzyliśmy prosty układ i szkic (program), który sprawiał, że nasz mikroserwomechanizm poruszał się tam i z powrotem; w drugim szkic ten rozszerzyliśmy, aby serwomechanizm reagował na kręcenie potencjometrem.

Jak być może pamiętacie z poprzednich wpisów – kiedy Steve i ja zaczynaliśmy nasz projekt animatronicznej głowy, kupiłem kilka



Rysunek 2. Moduł joysticka KY-023. Zdjęcie: AZ-Delivery

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 3. Układ testowy. Z przodu joysticki, z tyłu zespoły obrotu i pochylenia

```
void loop()
{
    int PotValLeftX  = analogRead(PotPinLeftX);
    int PotValLeftY  = analogRead(PotPinLeftY);
    int PotValRightX = analogRead(PotPinRightX);
    int PotValRightY = analogRead(PotPinRightY);

    PotValLeftX  = map(PotValLeftX, 0, 1023, 0, 180);
    PotValLeftY  = map(PotValLeftY, 0, 1023, 0, 180);
    PotValRightX = map(PotValRightX, 0, 1023, 0, 180);
    PotValRightY = map(PotValRightY, 0, 1023, 0, 180);

    ServoLeftTilt.write(PotValLeftX);
    ServoLeftPan.write(PotValLeftY);
    ServoRightTilt.write(PotValRightX);
    ServoRightPan.write(PotValRightY);

    delay(15);
}
```

Rysunek 4. Pętla główna programu sterowania serwomechanizmem

gotowych zestawów do realizacji obrotów i pochyleń od Adafruit (https://bit.ly/3cEYPoL). Te małe cudeńka zawierają po dwa mikroserwomechanizmy SG-90 lub SG-92, podobne do tego, którym się zajmowaliśmy (**rysunek 1**). Dzięki tym serwom możemy sprawić, że zespół będzie się obracał na boki oraz przechylał w górę i w dół.

Kupiliśmy też kilka 4-osiowych joysticków JH-D400X-R4, naprawdę świetnych, które można znaleźć u wielu dostawców, np. w Amazonie (https://amzn.to/3RXl61d). A na potrzeby niniejszych dyskusji postanowiłem wydać trochę kasy na kilka miniaturowych modułów joystickowych KY-023 (https://amzn.to/3crXO38). Oprócz zacisków zasilania +5 V i 0 V (masa/GND) wihajstry te mają wyjścia X, Y i SW („przycisk") (**rysunek 2**).

W tym miesiącu zamierzam zaprząc Arduino Uno do odczytu wartości X/Y z tych joysticków i wykorzystania ich do sterowania serwomechanizmami w naszych zespołach obrotu i pochylenia. Do „sklejenia" wszystkiego razem używam płytki prototypowej i całej masy przewodów, więc efekt przypomina nieco spaghetti (**rysunek 3**), ale to wszystko jest nieodłącznym elementem zabawy w prototypowanie.

Sam program jest nieznacznie tylko zmodyfikowaną wersją kodu, który omawialiśmy w moim poprzednim artykule (Practical Electronics wrzesień 2022 r.; EdW 5/2026). Zamiast jednego potencjometru i jednego wejścia analogowego mamy ich teraz po cztery. Zamiast jednego serwomotoru mamy teraz cztery takie ustrojstwa. Sedno programu przedstawiono na **rysunku 4**.

Najpierw odczytujemy wszystkie cztery wartości z potencjometrów. Następnie wykorzystujemy funkcję `map()` platformy Arduino do przemapowania wartości z zakresu 0...1023 z potencjometrów na odpowiadające im wartości z zakresu 0...180 wymagane przez serwomechanizmy. Dalej wysyłamy te przemapowane wartości do serwomechanizmów, odczekujemy 15 milisekund, aby miały one czas na reakcję, a potem wracamy do początku i powtarzamy całą procedurę. Jeśli chcecie, możecie pobrać pełny program, przejrzeć i przemyśleć go w wolnej chwili – plik CB-Oct22-01.txt na stronie „Practical Electronics" z października 2022 r. (https://bit.ly/3oouhbl).

Ups!

Szczerze mówiąc, do podłączania takich elementów jak serwomotory i potencjometry podchodzę zazwyczaj dość swobodnie. To znaczy: nie tracę wiele czasu na zastanawianie się, który z przewodów joysticka X/Y należy podłączyć do którego z wejść analogowych. Jeśli potem będę przesuwać joystick w lewo i w prawo, a zespół serwomechanizmu będzie się przechylać do przodu i do tyłu, albo jeśli przesunę joystick do przodu/do tyłu, a zespół serwomechanizmu obróci się w lewo/w prawo, to wystarczy tylko parę chwil, aby w programie zamienić ze sobą przypisania pinów dwóch wejść analogowych związanych z tym potencjometrem.

Analogicznie – jeśli przesunę joystick w lewo, a odpowiadający mu serwomechanizm obrotu poruszy się w prawo, albo jeśli pociągnę joystick do tyłu, a odpowiadający mu serwomechanizm pochyli się do przodu, czyli zachowania będą przeciwne do tych, jakie chcę uzyskać, to łatwo będzie to poprawić w programie. Są dwa oczywiste sposoby, aby to zrobić. Pierwszy z nich jest taki, aby przed wywołaniem funkcji `map()` odjąć od 1023 wartość 0...1023 odczytaną z potencjometru; sposób drugi to odjęcie od 180 wartości 0...180 wygenerowanej przez funkcję `map()`.

Miłe wspomnienia

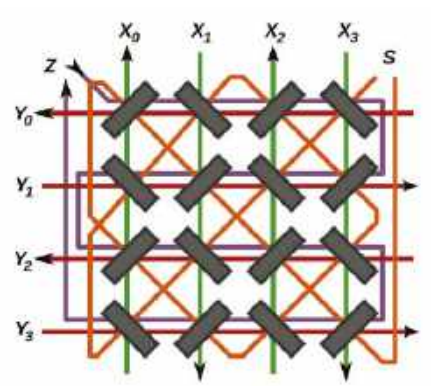
Jeśli chodzi o podsystemy pamięci stosowane w komputerach i innych urządzeniach elektronicznych, to w dzisiejszych czasach jesteśmy wręcz rozpieszczani bogactwem możliwości i funkcji oferowanych przez owoce technologii półprzewodnikowej. Dawniej możliwości projektantów były znacznie bardziej ograniczone. Pamięci daje się jak najbardziej budować przy użyciu przekaźników czy lamp elektronowych, aczkolwiek wówczas koszty, zużycie energii i zajmowana powierzchnia w przeliczeniu na bit szybko przyprawią konstruktora o zawrót głowy.

Aby obejść te trudności, w dawnych czasach naukowcy opracowali fascynujący wachlarz pomysłowych rozwiązań, jak np. akustyczna linia opóźniająca z rtęcią, wynaleziona przez Williama Shockleya w 1942 roku i po raz pierwszy zastosowana w technice radarowej. Później, w połowie lat 40., J. Presper Eckert rozwinął tę technologię, wykorzystując ją w pamięciach do komputerów EDVAC i UNIVAC I. Pomysł polegał na użyciu nadajnika piezoelektrycznego do wysyłania impulsów na jednym końcu cienkiej rurki wypełnionej rtęcią oraz odbiornika piezoelektrycznego na drugim końcu do wykrywania obecności (lub

eprasa.pl 39bd2886e9

braku) impulsów po ich przejściu przez rurkę. Ciąg impulsów był ponownie wprowadzany do nadajnika i krążył w rurce. Do ciągu można było dodawać nowe impulsy lub je z niego usuwać. Może to przypominać jakieś dzieło Williama Heatha Robinsona (rysownik angielski, autor wizerunków wymyślnych konstrukcji mechanicznych; przypis redaktora). Jednakże gdy technologia ta została rozwinięta, to w linii opóźniającej o długości półtora metra można było zapisać około 1000 bitów, co w tamtych czasach było niezwykle ekscytujące. Rtęciowe linie opóźniające były wynalazkiem dość rewolucyjnym. Miały jednak kilka wad, z których niepoślednią był fakt, że rtęć jest toksyczna. Największym problemem było jednak to, że w liniach opóźniających dostęp do przechowywanych danych był sekwencyjny, co oznaczało, że system musiał bezczynnie czekać, aż przyjdzie interesująca go część ciągu impulsów.

Pod koniec lat 40. i na początku 50. w świecie pamięci pojawiła się nowinka w postaci miniaturowych rdzeni magnetycznych. Ich działanie najłatwiej sobie wytłumaczyć w oparciu o **rysunek 5**. Sprawa jest znacznie bardziej złożona niż się na pierwszy rzut oka wydaje. Jeśli jednak nie będziemy się zbytnio zagłębiać w szczegóły, całość jest dość prosta. Załóżmy, że mamy pojedynczy rdzeń i pojedynczy przewód. Jeśli przepuścimy przez przewód impuls prądu o wystarczającym natężeniu, namagnesujemy rdzeń w określonym kierunku. Możemy temu namagnesowaniu przypisać wartość logiczną 1. Jeśli później przepuścimy przez przewód podobny impuls, ale w kierunku przeciwnym, odwrócimy pole magnetyczne w rdzeniu, co uznamy za wartość logiczną 0. Użycie tylko jednego przewodu wprowadza ograniczenia, ponieważ w tym samym kierunku zostaną namagnesowane wszystkie rdzenie, przez które ten przewód przechodzi. Załóżmy jednak, że przeciągniemy przez rdzeń dwa przewody i do obu przyłożymy impulsy, przy czym natężenie prądu w każdym z nich będzie nieco większe niż połowa wartości wymaganej do namagnesowania rdzenia. W tym momencie rysunek 5 zaczyna nabierać sensu. Jeśli wyślemy nasze impulsy o połowie mocy przez przewody X1 i Y1, ich wpływ będzie dotyczył tylko rdzenia znajdującego się na przecięciu tych dwóch przewodów.



Rysunek 5. Pamięć z rdzeniami magnetycznymi 4×4. Źródło: Tetromino/Wikipedia

Warto zauważyć, że na rysunku 5 mamy tablicę o wymiarach $4 \times 4 = 16$, zawierającą słowa 1-bitowe. W tym kontekście tablicę taką często określa się mianem „płaszczyzny". Gdybyśmy chcieli uzyskać słowa 8-bitowe, musielibyśmy powielić tę płaszczyznę osiem razy. Możemy sobie wyobrazić te płaszczyzny ułożone jedna nad drugą, co faktycznie powszechnie stosowano.

Zaletą pamięci na rdzeniach magnetycznych jest nieulotność, co oznacza, że pamięć ta przechowuje dane nawet po wyłączeniu zasilania. Kolejną zaletą jest fakt, że stanowi ona pamięć o dostępie swobodnym (RAM), czyli w każdym momencie mamy dostęp do dowolnego miejsca pamięci.

Wada tego rodzaju pamięci jest taka, że aby odczytać jej zawartość, musimy najpierw dane w niej zapisać, co stanowi tak zwany „odczyt destrukcyjny". Weźmy na przykład rdzeń znajdujący się na skrzyżowaniu przewodów X1 i Y1. Jeśli chcielibyśmy się dowiedzieć, czy jest on w stanie 0 czy 1, musielibyśmy wprowadzić impulsy prądu odpowiadające wartości 1 i obserwować wartość impulsu wychodzącego z przewodu odczytowego (S), która różniłaby się w zależności od tego, czy rdzeń pierwotnie zawierał 0 czy 1. A gdyby pierwotną wartością było 0, to – niestety – właśnie nadpisalibyśmy ją wartością 1 i musielibyśmy zapisać do niej 0 ponownie.

Dziś pamięć na rdzeniach magnetycznych może się wydawać nieco nieporęczna. Była jednak przez jakieś 20 lat (1955...1975) dominującym rodzajem pamięci RAM. Poza tym „nieporęczność" nie jest tu określeniem właściwym, ponieważ rdzenie bywały bardzo malutkie – miały średnicę zaledwie 1 mm – i były przewlekane izolowanymi drutami cienkimi jak włos. Przypis redaktora: pamięci rdzeniowe wytwarzano ręcznie, co podobno stanowiło nieprawdopodobną mordęgę.

Jest kilka powodów, dla których tak się tu nad tym rozwodzę. Po pierwsze, kilka dni temu, gdy pisałem te słowa, towarzyszyłem memu przyjacielowi i jego synowi, którzy przyjechali z wizytą do Huntsville, przy zwiedzaniu tutejszego Centrum Kosmicznego i Rakietowego (https://bit.ly/3PXdCcA). Jednym z eksponatów jest pamięć rdzeniowa z komputera rakiety nośnej Saturn 5 (LVDC), a była to rakieta, która zabrała ludzi na Księżyc.

Już następnego dnia jakimś dziwnym zbiegiem okoliczności natknąłem się na interesujący artykuł w IEEE Spectrum zatytułowany „The Birth of Random Access Memory" („Narodziny pamięci RAM") (https://bit.ly/3zj3RyM). A potem, niejako na dodatek, na moim alegorycznym torcie pojawiła się spora porcja symbolicznej bitej śmietany – zapoznałem się z Core64, czyli niesamowicie atrakcyjnym, interaktywnym zestawem elektronicznym do budowy pamięci rdzeniowej (https://bit.ly/3 JdGNpH). Wystarczy powiedzieć, że bardzo, bardzo chciałbym taki zestaw mieć!

Co? Analogowy? Znowu?

Jak już kiedyś wspominałem, w głębi serca jestem inżynierem zajmującym się projektowaniem układów logicznych. Nieco niepokoi mnie „chwiejna" natura elektroniki analogowej w ogóle, a natura przetwarzania sygnałów analogowych (ASP) w szczególności. Tym bardziej dziwne jest więc to, że w moich artykułach z tej serii wciąż pojawiają się tematy związane z elektroniką analogową. Na przykład w numerze Practical Electronics z maja 2022 r. (EdW 12/2025) przedstawiliśmy tani, nowoczesny komputer analogowy open-source, non-profit, o nazwie The Analog Thing (THAT) (https://bit.ly/3vPcm3Z). Zaledwie miesiąc później, w numerze Practical Electronics z czerwca 2022 r. (EdW 1/2026), wspominaliśmy czasy, kiedy dominowały rozwiązania analogowe, a cyfrowe pozostawały w tyle. Omawialiśmy także rozwój techniki cyfrowej, aktualny renesans techniki analogowej w postaci silników wnioskowania opartych na analogowym uczeniu maszynowym (AML) oraz analogowe narzędzie do projektowania systemów elektroakustycznych Audio Weaver.

Czuję potrzebę poruszenia tej kwestii ze względu na fakt, że choć pamięć na rdzeniach magnetycznych może się z pozoru wydawać monstrem cyfrowym, to jednak układy elektroniczne służące do wprowadzania sygnałów do rdzeni i odczytywania ich stanów miały w przeważającej mierze charakter analogowy. Realizowały one liczne operacje kształtowania, wzmacniania, kondycjonowania, wykrywania i przetwarzania impulsów analogowych.

Technika wyświetlania retro

Nie jest tajemnicą, że fascynuje mnie technika wyświetlaczy retro, a także ich współczesne reinkarnacje. Przejawem takiej techniki

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 6. Wyświetlacze Lixie. Źródło: Connor Nishijima

są wyświetlacze Lixie (https://bit.ly/3vtSmDD) stworzone przez Connora Nishijimę (**rysunek 6**).

Element wyświetlacza Lixie składa się z 10 płytek akrylowych, a na każdej z nich wygrawerowana jest laserowo cyfra od 0 do 9. Pod każdą płytką znajdują się dwie trójkolorowe diody elektroluminescencyjne (LED) typu WS2812, co pozwala na wybór koloru każdej cyfry, a nawet na tworzenie kombinacji kolorów. Te efektowne cudeńka mają spore rozmiary (każdy ma około 60 mm szerokości i 100 mm wysokości) i są widoczne z dużej odległości.

Krój cyfr przypomina ten stosowany w starych lampach Nixie, co nie jest zaskakujące, ponieważ Connor opowiedział mi, że rozebrał taką starą, niedziałającą lampę, umieścił jej żarniki katodowe na skanerze i wykorzystał uzyskane w ten sposób skany jako podstawę do stworzenia swoich znaków. Zaczął od linii pojedynczych, ale ostatecznie uznał, że estetycznie bardziej atrakcyjna jest wersja z liniami podwójnymi. I ja się z tym zgadzam.

Nie wiem, kto dawno temu wymyślił pierwszą wersję tych wyświetlaczy. Mój przyjaciel Steve Leibson prowadzi stronę poświęconą komputerowi stacjonarnemu HP9825 (https://bit.ly/3 JkZs3c). Na tej stronie Steve porusza takie tematy jak pierwsze woltomierze cyfrowe (multimetr) oraz początki automatyzacji testów (https://bit.ly/3oE1qSL). To właśnie tam dowiedziałem się, że pierwszy woltomierz cyfrowy skonstruował w 1952 roku inżynier o nazwisku Andrew Kay, założyciel firmy Non-Linear Systems (NLS).

Czytając dalej dowiadujemy się, że „w pierwszym modelu woltomierza NLS zastosowano nowy rodzaj wyświetlacza cyfrowego opartego na warstwach grawerowanych płytek z pleksi, podświetlanych z boku. Każdy zestaw warstw (odpowiadający jednej cyfrze) składał się z 11 płytek ułożonych coraz dalej od obserwatora. Na dziesięciu z tych płytek głęboko wygrawerowano cyfry od 0 do 9. Jedenasta płytka zawierała znak dziesiętny. Każdą płytkę oświetlała miniaturowa żarówka (ziarnko pszenicy), umieszczona wzdłuż krawędzi płytki. Gdy żarówka była włączona, jej światło przemieszczało się wzdłuż płytki, która działała jak światłowód. W końcu światło padało na wygrawerowany znak. Głębokie rowki grawerunku przerywały bieg światła i rozpraszały je w kierunku przodu urządzenia. Operator widział podświetloną cyfrę". Nie jestem pewien, czy to Andrew wymyślił tę formę wyświetlania, ale jest to najwcześniejsza o niej wzmianka, jaką znalazłem.

Przepraszam, muszę się przebrać

Jak wspomniałem w poprzednim artykule (Practical Electronics z września 2022 r.; EdW 5/2026), w środę 7. września 2022 roku mam wygłosić przemówienie inauguracyjne na forum FPGA w Norwegii (www.fpga-forum.no). Dzień wcześniej poprowadzę wykład gościnny na Norweskim Uniwersytecie Nauki i Techniki (NTNU; www.ntnu.edu).

Ze względu na kaprysy świata wydawnictw drukowanych, w tym pojęcia takie jak „okres przydatności", numer „Practical Electronics" z października 2022 r. trafi do sklepów i skrzynek pocztowych subskrybentów w Wielkiej Brytanii w pierwszym pełnym tygodniu września.

Pamiętajcie, że Norwegia jest o godzinę przed Wielką Brytanią, więc jeśli czytacie ten artykuł we wtorek 6. września między 7.00 a 9.00 rano, to ja w tym samym czasie będę skakał po scenie, prowadząc prezentację. Oznacza to, że a) być może łączą nas kosmiczne siły wykraczające poza ludzkie pojmowanie, b) to Ty będziesz musiał postawić pierwszą kolejkę drinków, jeśli kiedykolwiek spotkamy się osobiście.

Podczas wygłaszania prezentacji ważne jest, aby mieć pewien ogólny „motyw przewodni", który posłuży jako ramy dla poszczególnych tematów wystąpienia. W przeciwnym razie słuchacze mogliby pomyśleć, że po prostu gadam o wszystkim, co mi wpadnie do głowy (tak jakby to było możliwe).

W przypadku mojej prezentacji dla studentów tematem nadrzędnym będą „zmiany" – między innymi to, jak bardzo wszystko się zmieniło w ciągu mojego życia. Planuję zacząć od cytatu ze starożytnego greckiego filozofa Heraklita z Efezu (535–475 p.n.e.), który wypowiedział słynne słowa: „W życiu jedyną stałą rzeczą jest zmiana". Ponieważ jednak nie chcę uchodzić za dogmatyka, odwołam się również do filozofa nam współczesnego, Jona Bon Joviego, który w swojej piosence z 2010 roku informował nas, że „im bardziej coś się zmienia, tym bardziej pozostaje niezmienne". To stwierdzenie właściwie po raz pierwszy sformułował w 1849 roku francuski pisarz Jean-Baptiste Alphonse Karr. Nie wiem jak wy, ale myślę, że połączenie tych dwóch punktów widzenia daje mi wystarczającą pewność, że uwzględniłem większość ewentualności.

Aspektem zmian, które zamierzam między innymi omówić, są techniki wyświetlania. Rodzajem wyświetlacza, którym się zajmę, jest Lixie oraz wyświetlacze, które go poprzedzały. Podczas prezentacji, na biurku przede mną będzie stał pojedynczy segment Lixie, wykonujący prostą sekwencję liczenia: od 0 do 9, a następnie znów do zera. Pojęcie „prosta sekwencja" jest oczywiście kwestią subiektywną. Trzeba będzie uwzględnić przynajmniej kilka efektów specjalnych.

Fantastyczne efekty specjalne

Termin „efekty specjalne" (w języku angielskim często skracany do SFX, SPFX, F/X lub po prostu FX) jest zazwyczaj stosowany w odniesieniu do iluzji lub sztuczek wizualnych w branży filmowej, telewizyjnej, teatralnej, grach wideo i symulatorach w celu odtworzenia wyobrażonych wydarzeń w fabule lub wirtualnym świecie. Uważam, że to niesprawiedliwe, że jacyś ludzie zawłaszczyli ten termin i czerpią z tego całą zabawę, więc te „drobiazgi", które dodałem do mojego programu wyświetlania, często również opisuję jako efekty specjalne – FX (możecie mnie za to pozwać).

W tym przypadku zdecydowałem, że musi obowiązywać subtelność, co jest u mnie nietypowe. Postanowiłem użyć tylko dwóch

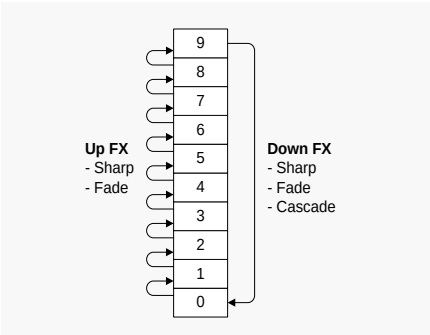
eprasa.pl 39bd2886e9

efektów podczas liczenia od 0 do 9 i trzech efektów podczas powracania od 9 do 0 (**rysunek 7**).

Zmiana cyfry następuje co sekundę. Jedna możliwość polega na wykonaniu czegoś, co nazywam „ostrym przejściem" – zasadniczo polega to na jednoczesnym wyłączeniu starej cyfry i załączeniu nowej, a następnie odczekaniu sekundy przed wykonaniem następnej takiej operacji. Druga opcja to efekt „przenikania", w którym od cyfry bieżącej do nowej przechodzimy stopniowo. Stosuję obecnie 30 kroków przejścia rozłożonych w czasie 800 ms, co oznacza, że każda wartość pozostaje stała przez 200 ms, dopóki nie rozpocznie się kolejne przejście. Wszystko to jest jednak sparametryzowane, a zatem łatwe do zmiany.

Efekty przechodzenia ostrego i przenikania można stosować zarówno podczas liczenia od 0 do 9 jak i powrotu od 9 do 0. W tym drugim przypadku postanowiłem również dodać dodatkowy efekt „kaskadowy", w ramach którego na pół sekundy (500 ms) zatrzymujemy się na dziewiątce, a następnie przez kolejne 500 ms szybko odliczamy od 9 do 0.

Planuję pozwolić mojemu wyświetlaczowi Lixie na ukazywanie swoich magicznych możliwości podczas całej prezentacji. A na koniec sprawdzimy, jak spostrzegawczy byli studenci



Rysunek 7. Przegląd efektów Lixie

(ile różnych efektów udało im się dostrzec). Zaczniemy od ostrych przejść zarówno podczas liczenia w górę, jak i w dół. Po 10 cyklach pozostawimy ostre przejścia przy liczeniu w górę, a w powrotach od 9 do 0 uaktywnimy przejścia kaskadowe. Po kolejnych 10 takich cyklach przejdziemy na przenikanie zarówno w górę, jak i w dół. Na koniec zostawimy przenikanie podczas liczenia w górę i włączymy przejścia kaskadowe podczas powrotu z 9 do 0. Następnie przejdziemy na inny kolor (lub kolory), po czym całość znów będzie powtarzana.

Nie będziemy tutaj szczegółowo omawiać kodu, ale warto zwrócić uwagę na kilka kwestii. Na przykład po zdefiniowaniu szeregu parametrów takich jak całkowity czas cyklu (1000 ms czyli 1 s), całkowity czas zanikania (800 ms) oraz całkowity czas kaskady (500 ms), używamy słów kluczowych `typedef` i `enum`. Służą one do zdefiniowania typu wyliczeniowego o nazwie `EffectType`, który zawiera trzy elementy: `SHARP`, `FADE` i `CASCADE` („ostry", „przenikanie" i „kaskada"). Typy wyliczeniowe, struktury i definiowanie typów zostały omówione w artykule w „Practical Electronics" z grudnia 2020 r. (EdW 7/2024). Następnie tworzymy dwuwymiarową tablicę o nazwie `Effects`, która grupuje pary efektów. Element po lewej stronie pary to efekt używany podczas liczenia od 0 do 9; elementu po prawej używamy podczas liczenia od 9 do 0.

```
EffectType Effects[][] =
{
{SHARP, SHARP},
{SHARP, CASCADE},
{FADE, FADE},
{FADE, CASCADE}
};
```

Program wykorzystuje kilka funkcji pomocniczych – `GetRed()`, `GetGreen()`, `GetBlue()` i `BuildColor()`, a także funkcję `CrossFade()`, którą wprowadziliśmy do użytku w związku z moją tablicą 12×12 piłek do ping-ponga w wydaniu „Practical Electronics" z października 2020 roku (EdW 5/2024).

Szczerze mówiąc – biorąc pod uwagę, że programowanie nie należy do moich mocnych stron – jestem bardzo zadowolony z mojego zagnieżdżonego systemu elementów sterujących, w którym na najniższym poziomie odbywa się liczenie, na środkowym – wybieranie nowej pary efektów, a na najwyższym – wybieranie nowej kombinacji kolorów. Aby to wszystko osiągnąć, wykorzystujemy operator modulo (`%`), którego działanie omówiliśmy bardzo szczegółowo w „Practical Electronics" z marca 2021 roku (EdW 10/2024). Jeśli chcecie, możecie pobrać pełny program (plik CB-Oct22-02.txt) ze strony „Practical Electronics" z października 2022 r.

W następnym odcinku

No cóż, to wszystko, na co mamy czas w tym miesiącu. W następnym artykule... ale nie! Chcę, aby była to dla Was taka sama niespodzianka, jak dla mnie. Do następnego razu, życzę miłego dnia! ■

Clive „Max" Maxfield

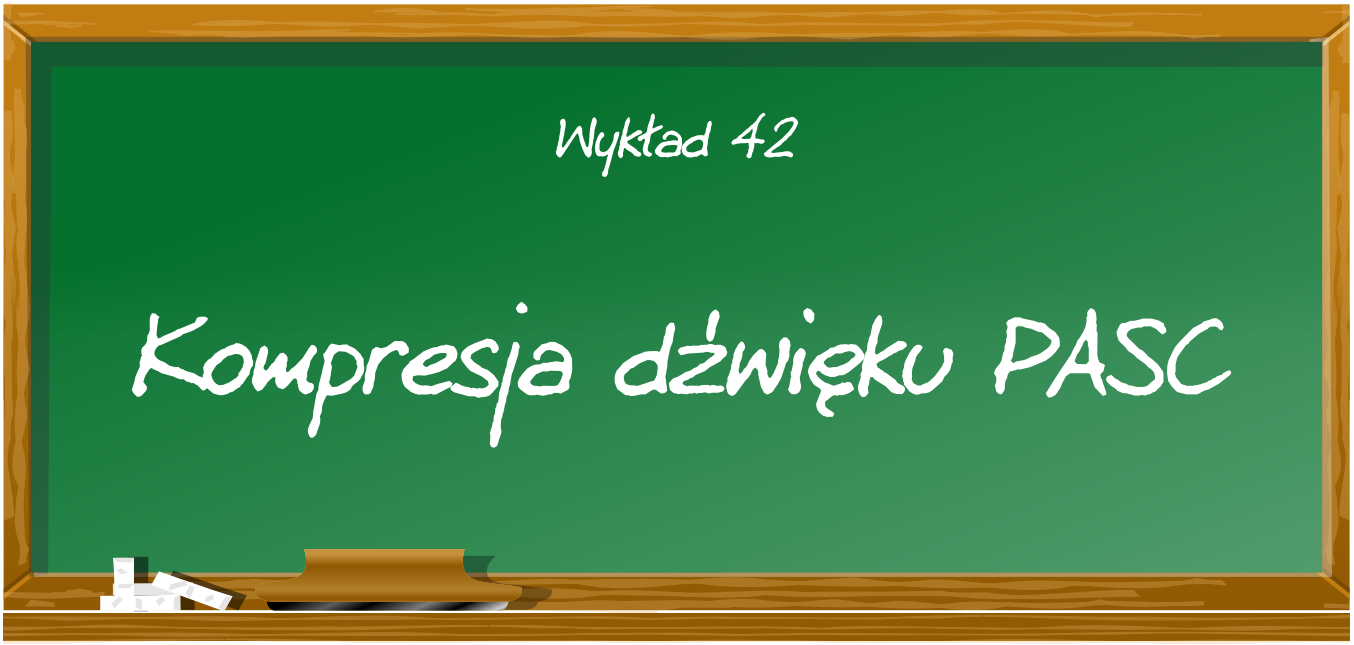
Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „Practical Electronics", październik 2022 (www.epemag3.com)

REKLAMA



eprasa.pl 39bd2886e9

Patronat EdW nad szkołami i uczelnianymi Kołami Naukowymi rozkwita i daje redakcji EdW impulsy zachęcające do wspierania edukacji szkolnej i uczelnianej. Działa sprzężenie zwrotne. Dostajemy mnóstwo wiadomości od uczniów, nauczycieli i studentów. Dla nich jest ta rubryka.



Algorytm PASC, umożliwiający znaczne zmniejszenie objętości cyfrowych danych audio, stanowi podstawę wszystkich nowoczesnych systemów strumieniowego przesyłania dźwięku cyfrowego, takich jak MP3.

Informacje wstępne
Płyta Audio CD była zbyt „ciężka” dla raczkującego Internetu

Gdy Internet zaczął zdobywać popularność, zaczęto zastanawiać się nad sposobami cyfrowego przesyłania muzyki za pośrednictwem tego nowego medium. Szybko stało się jasne, że standard Audio CD – będący wówczas podstawową metodą cyfrowego zapisu dźwięku – absolutnie nie nadaje się do tego celu. Format Audio CD wykorzystuje próbki o szerokości 16 bitów oraz częstotliwość próbkowania 44 100 próbek na sekundę. Oznacza to, że jedna minuta muzyki o jakości Audio CD zajmuje:

$$44\,100 \times 2 \times 2 \times 60 = 10\,584\,000$$

bajtów danych. Wynika to z faktu, że objętość strumienia danych jest równa liczbie próbek pomnożonej przez dwa bajty na próbkę, dwa kanały stereo oraz 60 sekund.

Gdyby ktoś chciał pobrać taki plik przez raczkujący wówczas Internet, na przykład za pomocą nowoczesnego jak na tamte czasy modemu 28k8, zajęłoby to około 45 minut pobierania. I to tylko dla jednej minuty muzyki o jakości Audio CD.

Trzeba więc było opracować metodę znacznego zmniejszenia ilości danych cyfrowych bez nadmiernego pogarszania jakości dźwięku.

Rewolucja w elektronicznym zapisie dźwięku!

Przez cały okres rozwoju elektronicznego zapisu dźwięku – od skonstruowania pierwszego gramofonu aż po wprowadzenie płyty Audio CD – dążono do możliwie wiernego odwzorowania rzeczywistości. Sygnał elektryczny miał być jak najdokładniejszą reprezentacją fal dźwiękowych, które wcześniej wprawiły w drgania membranę mikrofonu.

W tym kontekście mówi się o „doskonałej reprezentacji”.

Jednak taka doskonała reprezentacja nie była możliwa w przypadku strumieniowego przesyłania dźwięku przez raczkujący Internet, ze względu na ograniczoną przepływność dostępnych łączy. Dlatego podczas opracowywania metod strumieniowania audio zdecydowano się na całkowicie nowe i rewolucyjne podejście. Zamiast „doskonałej reprezentacji” zastosowano „reprezentację percepcyjną”. Sygnał elektryczny NIE jest więc możliwie najwierniejszym odwzorowaniem oryginalnych drgań akustycznych. Jest to sygnał, który wywołuje w ludzkim słuchu wrażenie (percepcję), że słuchamy dźwięku pierwotnie zarejestrowanego przez mikrofon.

PASC: Precision Adaptive Sub-band Coding

W tym samym czasie firma Philips pracowała nad cyfrowym następcą popularnej kasety magnetofonowej. System ten otrzymał nazwę Digital Compact Cassette (DCC) i został wprowadzony w 1992 roku przez firmy Philips oraz Panasonic. Również w tym przypadku konieczne było uzyskanie bardzo dużej redukcji strumienia danych przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości dźwięku.

W tym celu firma Philips opracowała algorytm PASC, będący skrótem od „Precision Adaptive Sub-band Coding”. Na język polski można to przetłumaczyć jako „precyzyjne adaptacyjne kodowanie w podpasmach”.

eprasa.pl 39bd2886e9

PASC oczywiście nie powstał znikąd, lecz bazował na wcześniejszych badaniach nad maskowaniem dźwięku prowadzonych przez Eindhoven University of Technology, francuski ośrodek CCETT, niemiecki Institut für Rundfunktechnik oraz Fraunhofer Society.

PASC zmniejszył przepływność danych dźwięku z płyty Audio CD do jednej czwartej pierwotnej wartości – z 1,4 Mbit/s do 384 kbit/s. Późniejsze rozwinięcia tego algorytmu pozwoliły uzyskać redukcję danych przekraczającą nawet dziesięciokrotność!

Duża redukcja ilości danych wprowadzona przez PASC wynika z jednej strony z percepcyjnego podejścia do dźwięku, a z drugiej z zastosowania kilku pozornie prostych, lecz bardzo pomysłowych rozwiązań technicznych.

System DCC firmy Philips okazał się całkowitą porażką rynkową, jednak zasady wykorzystane w algorytmie PASC zostały zaakceptowane na całym świecie i zastosowane praktycznie we wszystkich systemach kompresji danych audio. Rozwiązania opracowane dla PASC wykorzystano między innymi w dobrze znanym formacie wideo MPEG-1 oraz jeszcze bardziej rozpowszechnionym formacie audio MP3.

Według dobrze poinformowanych źródeł firma Philips zarobiła około 500 milionów dolarów na patentach związanych z technologią PASC.

Zasady redukcji danych w algorytmie PASC

Redukcja danych według algorytmu PASC opiera się na następujących aspektach:

- próg słyszalności ludzkiego ucha,
- podział sygnału na podpasma,
- efekt maskowania w ludzkim słuchu,
- adaptacyjny przydział bitów,
- uśrednianie poziomu,
- ponowna alokacja kodów.

Aspekty te zostaną omówione w kolejnych rozdziałach.

Próg słyszalności ludzkiego ucha

Od dawna wiadomo, że ludzki słuch wykazuje selektywną czułość częstotliwościową. Oznacza to, że można sporządzić charakterystykę słyszenia, będącą oczywiście jedynie uśrednieniem wyników uzyskanych od tysięcy słuchaczy. Taka charakterystyka została przedstawiona na poniższym rysunku.

Pokazana krzywa określa poziom dźwięku w dB, jaki dla każdej częstotliwości jest wymagany, aby przeciętny człowiek był w stanie usłyszeć dany sygnał. Krzywą tę nazywa się „progiem słyszalności" (threshold), ponieważ wskazuje ona wartość progową słuchu dla każdej częstotliwości. Dźwięki słabsze od tej wartości progowej nie są odbierane przez ludzkie ucho. Z wykresu wynika, że nasz słuch jest najbardziej czuły dla częstotliwości z zakresu 2 kHz...5 kHz. Zarówno dla niższych, jak i wyższych częstotliwości czułość ucha wyraźnie maleje.



Krzywa słyszenia ludzkiego ucha (© 2020 Jos Verstraten)

Według twórców zasady działania PASC kodowanie cyfrowe takich dźwięków, których i tak nie można usłyszeć, nie ma sensu. Gdyby system PASC miał digitalizować sygnał składający się z dwóch sinusoid o jednakowej amplitudzie i częstotliwościach 60 Hz oraz 2 kHz, przedstawionych na wykresie, sygnał 60 Hz zostałby pominięty i nie byłby kodowany cyfrowo. Wynika to z faktu, że sygnał o częstotliwości 60 Hz znajduje się poniżej progu słyszalności.

Oczywiście zastosowanie tej zasady w praktyce nie jest takie proste. Próg słyszalności nie jest bowiem wartością stałą, lecz zmienia się dynamicznie. Jego wartość zależy od średniego poziomu głośności sygnału. Dlatego system PASC działa całkowicie dynamicznie i dla każdej częstotliwości na bieżąco porównuje próg słyszalności ze średnim poziomem sygnału.

Podział na podpasma o szerokości 600 Hz

W praktyce oczywiście niemożliwe byłoby wykonywanie takiego procesu porównywania osobno dla każdej częstotliwości z całego pasma audio od 20 Hz do 20 kHz. Dlatego zakres częstotliwości audio od 20 Hz do 20 kHz został podzielony na 32 podpasma, z których każde ma szerokość 600 Hz. Podpasma te są – jak pokazano na poniższym rysunku – rozmieszczone liniowo na osi częstotliwości.

Tradycyjni elektronicy zajmujący się techniką analogową mogą mieć zastrzeżenia do tak ostrych metod filtrowania. Nie należy jednak zapominać, że zawartość amplitudowa wszystkich tych podpasm musi zostać później ponownie połączona w jedno szerokie pasmo audio podczas odtwarzania sygnału. W układach analogowych



32 cyfrowe podpasma o szerokości 600 Hz (© 2020 Jos Verstraten)

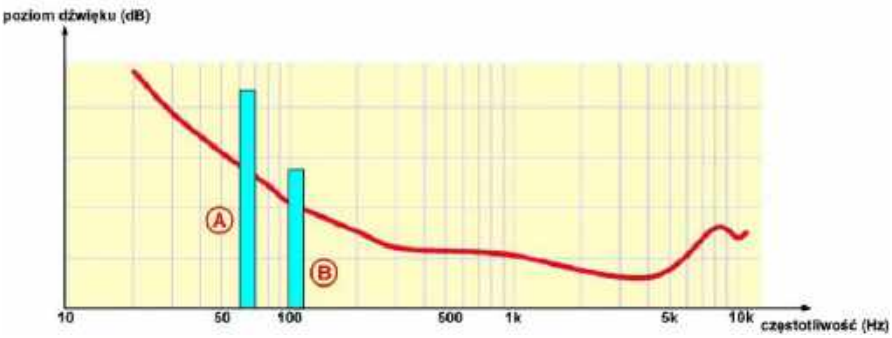
eprasa.pl 39bd2886e9

byłoby to praktycznie niemożliwe bez poważnych problemów związanych z przesunięciami fazowymi i opóźnieniami czasowymi. Dzięki nowoczesnym technikom cyfrowego przetwarzania sygnałów można to jednak zrealizować bez utraty jakości.

Następnie algorytm PASC oblicza dla każdego podpasma stosunek średniego poziomu sygnału do zaprogramowanego progu słyszalności dla danego pasma. Jeśli zawartość amplitudowa podpasma znajduje się poniżej progu słyszalności, dane z tego pasma nie są kodowane.

Efekt maskowania w ludzkim słuchu

Bardzo rozbudowane testy odsłuchowe wykazały, że ludzki słuch wykazuje określony efekt maskowania. Zjawisko to wyjaśniono na wykresie przedstawionym na poniższym rysunku. Podpasmo A o dużej amplitudzie może maskować słabsze podpasmo B znajdujące się blisko niego pod względem częstotliwości. Oznacza to, że słuch nie odbierze drugiego sygnału, mimo że jego amplituda znajduje się powyżej progu słyszalności. Wygląda to tak, jakby silny sygnał powodował chwilowe lokalne zniekształcenie krzywej progu słyszalności, przez co wszystkie częstotliwości znajdujące się w pobliżu tego silnego sygnału stają się nagle mniej słyszalne.



Efekt maskowania w ludzkim słuchu (© 2020 Jos Verstraten)

Drugi efekt maskowania występuje w dziedzinie czasu. Jeśli cichy dźwięk zostanie poprzedzony o kilka milisekund głośnym dźwiękiem, może stać się niesłyszalny. Sprawia to wrażenie, jakby głośny dźwięk chwilowo „ogłuszał" nasz słuch.

Algorytm PASC uwzględnia oba te efekty maskowania. Oprogramowanie prowadzi ciągłą analizę zmian amplitudy w każdym z 32 podpasm, porównuje dane jednego podpasma z analizami sąsiednich podpasm oraz dodatkowo analizuje zmiany amplitudy w funkcji czasu. Na podstawie wszystkich tych danych algorytm PASC decyduje, które sygnały będą dalej przetwarzane, a które zostaną pominięte.

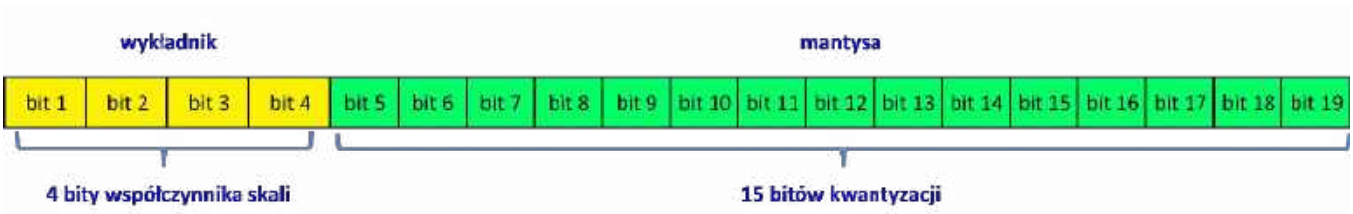
Dzięki temu bardzo inteligentnemu sposobowi działania system potrafi na przykład zapewnić, że subtelne brzmienie trójkąta nie zostanie zamaskowane przez uderzenie kotła. Częstotliwości obu instrumentów leżą bowiem tak daleko od siebie, że nie znajdują się w sąsiednich podpasmach, a więc nie spełniają kryteriów maskowania stosowanych przez PASC.

Adaptacyjny przydział bitów

Kolejnym etapem jest cyfrowe przetwarzanie wszystkiego, co znajduje się powyżej progów słyszalności i maskowania. System Audio CD wykorzystuje do tego tak zwaną „kwantyzację liniową". Każda próbka jest standardowo zamieniana na 16-bitowy kod cyfrowy. Oznacza to, że każda próbka zawiera taką samą liczbę bitów opisujących dźwięk.

PASC wykorzystuje natomiast tak zwaną „kwantyzację zmiennoprzecinkową" (floating point quantisation). Dla każdej próbki dostępnych jest zasadniczo 19 bitów. „Zasadniczo", ponieważ również tutaj mamy do czynienia z procesem dynamicznym – algorytm PASC przydziela próbce tylko tyle bitów, ile jest rzeczywiście potrzebnych do jej zakodowania. Dla jednej próbki może to być rzeczywiście 19 bitów, natomiast dla kolejnej może wystarczyć zaledwie 6 bitów.

Dziewiętnaście bitów podzielono na dwie grupy. Cztery bity określają tak zwany „współczynnik skali", natomiast pozostałe piętnaście bitów służy do kwantyzacji próbki. Pokazano to na poniższym rysunku. Cztery bity współczynnika skali bywają również nazywane „wykładnikiem" kodu, a piętnaście bitów kwantyzacji – „mantysą".



Struktura bitowa kodowania pojedynczej próbki w systemie PASC (© 2020 Jos Verstraten)

Odstęp sygnału od szumu

Na podstawie maksymalnej liczby bitów dostępnych do kwantyzacji próbki firma Philips obliczyła maksymalny teoretyczny odstęp sygnału od szumu systemu PASC na 92 dB. Jednak dzięki omówionemu później dynamicznemu sposobowi wykorzystania tych 19 bitów można uznać, że praktyczny odstęp sygnału od szumu wynosi 108 dB. Wartość ta jest aż o 10 dB większa od maksymalnych 98 dB oferowanych przez system Audio CD!

Przypis redaktora: Podawana wartość 108 dB odnosi się do subiektywnie postrzeganego odstępu sygnału od szumu w systemie percepcyjnego kodowania audio, a nie do rzeczywistego odstępu sygnału od szumu klasycznego toru PCM.

eprasa.pl 39bd2886e9

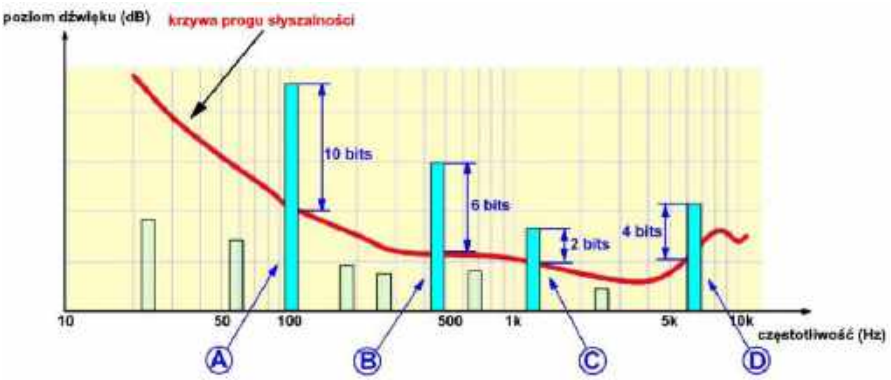
Dynamiczny przydział bitów

Jak już wspomniano, podział 4 + 15 bitów jest realizowany dynamicznie. Sposób działania pokazano na poniższym rysunku. Rozpatrzono na nim dziesięć próbek znajdujących się w dziesięciu różnych podpasmach. Próbki zaznaczone linią przerywaną nie są kwantyzowane, ponieważ znajdują się poniżej progów słyszalności. Pozostają więc próbki A, B, C i D.

Algorytm PASC uznaje, że nie ma potrzeby kwantyzowania całkowitej amplitudy tych próbek. Część amplitudy znajdująca się poniżej krzywej progu słyszalności może zostać opisana jednorazowo za pomocą współczynnika skali. Współczynnik ten uwzględnia więc bezwzględną amplitudę sygnału. Jego wartość jest zapisywana w pierwszych czterech bitach.

Następnie PASC koduje wyłącznie tę część amplitudy, która znajduje się powyżej progu słyszalności. Dodatkowo system analizuje wielkość tych amplitud. Sygnał C znajduje się jedynie nieznacznie powyżej progu słyszalności, dlatego użycie 15 bitów do jego digitalizacji byłoby marnotrawstwem. W tym przypadku wystarczą zaledwie 2 bity. Natomiast amplituda sygnału A jest znacznie większa, dlatego PASC przydziela jej 10 bitów.

W praktyce bardzo rzadko zdarza się więc, aby PASC potrzebował pełnych 15 bitów do kwantyzacji amplitudy, co prowadzi do znacznej redukcji ilości danych.



Dynamiczny przydział bitów do różnych próbek w systemie PASC (© 2020 Jos Verstraten)

Uśrednianie poziomu

Dalszą redukcję ilości danych uzyskuje się poprzez połączenie cyfrowych kodów dwunastu kolejnych próbek w tak zwane „okno PASC". Badania wykazały, że średnia wartość sygnału audio zmienia się bardzo powoli w porównaniu z częstotliwością próbkowania. Oznacza to, że kolejne próbki mają zazwyczaj tę samą wartość współczynnika skali. Nie ma więc potrzeby zapisywania tej wartości w kodzie każdej próbki osobno.

Dlatego PASC oblicza średnią wartość sygnału dla okresu obejmującego 12 próbek i zapisuje ją jednorazowo w postaci cyfrowego współczynnika skali. Następnie dla tych 12 próbek wystarczy już zapisać jedynie wartości kwantyzacji. Zasadę tę zilustrowano na poniższym rysunku. W przedstawionym przykładzie sygnał analogowy oscyluje wokół pewnej średniej wartości. PASC oblicza tę wartość i ustala współczynnik skali dla tych 12 próbek jako „L-H-L-H".

Następnie PASC oblicza odchylenie amplitudy każdej próbki względem wartości średniej. Wyraźnie widać, że chwilowa wartość zmienia się jedynie nieznacznie.

Do opisania zmian amplitudy względem współczynnika skali wystarczają więc tylko 3 bity. Do pełnego opisania tych 12 próbek system PASC potrzebuje zatem jedynie:



Uśrednianie poziomu sygnału (© 2020 Jos Verstraten)

$$4+(12\times3)=40$$

bitów, czyli znacznie mniej niż:

$$12\times16=192$$

bitów wymaganych przez system wykorzystujący kwantyzację liniową.

Realokacja kodów

Jedną z cech dźwięku jest to, że jego skład częstotliwościowy nieustannie się zmienia. Rzadko zdarza się sytuacja, w której podczas pobierania próbki wszystkie 32 podpasma zawierają dane. Wręcz przeciwnie – w większości przypadków część podpasm nie zawiera żadnych informacji przekraczających progi słyszalności i maskowania.

Nie byłoby więc efektywne rezerwowanie miejsca w końcowym kodzie cyfrowym próbki na przechowywanie podkodów podpasm, które i tak są puste. Dlatego algorytm PASC ponownie działa bardzo dynamicznie, przydzielając końcowy kod w sposób adaptacyjny. Proces ten nazywa się „realokacją". PASC dynamicznie przydziela długość kodów kwantyzacji tylko tym podpasmom, które rzeczywiście zawierają użyteczne informacje audio, dzięki czemu końcowy kod zajmuje znacznie mniej miejsca.

eprasa.pl 39bd2886e9

Firma Piekarz Sp. J.
Hurtowania Części
Elektronicznych
Tel.: 22-835-50-37
Tel.: 22-835-50-41

Oczywiście konieczne jest wtedy uzupełnienie kodu kwantyzacji o pewną formę kodowania adresowego. W przeciwnym razie procesor PASC w odbiorniku nie wiedziałby podczas odtwarzania sygnału analogowego, gdzie znajdują się dane poszczególnych próbek.

Wnioski

Średnio algorytm PASC potrzebuje jedynie czterech bitów do digitalizacji próbki z jednego podpasma. Mimo to uzyskuje się taką samą rozdzielczość jak w przypadku tradycyjnej kwantyzacji liniowej wykorzystującej 16 bitów! Ponieważ oczywiście stosowany jest zapis stereofoniczny, każda próbka składa się średnio z 8 bitów. Oznacza to redukcję ilości danych z 32 do 8 bitów.

Od PASC do MP3

Format plików MP3 został opracowany przez grupę badaczy skupioną wokół Karlheinz Brandenburg, pod kierownictwem jego promotora oraz innych zespołów badawczych. W 2000 roku otrzymał za to Niemiecką Nagrodę Przyszłości.

Algorytm MP3 rozwija zasady zastosowane wcześniej w PASC i również wykorzystuje podział pasma audio na 32 podpasma oraz reprezentację percepcyjną. Aby uzyskać jeszcze większą redukcję ilości danych, wprowadzono dodatkowo szereg innych technik.

Wybieralna przepływność

W formacie MP3 użytkownik może sam określić stopień kompresji, a tym samym jakość dźwięku. Ważnym parametrem jest tutaj przepływność (bit-rate), czyli liczba bitów na sekundę potrzebna do przetwarzania dźwięku. Powszechnie stosowane wartości przepływności to 64, 128, 192, 256 oraz 320 kbit/s. Im wyższa przepływność, tym wyższa jakość dźwięku i mniejszy stopień kompresji.

Jak obliczono na początku artykułu, liniowa digitalizacja w formacie Audio CD wymaga przepływności:

1 411 200 bit/s

Natomiast plik MP3 potrzebuje jedynie:

128 000 bit/s

aby zakodować muzykę z jakością akceptowalną dla większości słuchaczy. Daje to współczynnik kompresji przekraczający jedenaście razy.

Stała przepływność (CBR) a zmienna przepływność (VBR)

PASC jest systemem pracującym ze stałą przepływnością („Constant Bit Rate”, CBR). Całe nagranie audio jest przetwarzane z jedną, niezmienną przepływnością.

W przypadku formatu MP3 wprowadzono jednak pojęcie zmiennej przepływności („Variable Bit Rate”, VBR). W trybie VBR przepływność jest dobierana zależnie od złożoności sygnału audio. Jeśli na przykład w nagraniu występuje jedna sekunda ciszy, może ona zostać zakodowana z bardzo małą przepływnością, na przykład 16 kbit/s, bez utraty jakości. Natomiast kolejna sekunda muzyki może mieć bardzo złożoną strukturę i wtedy algorytm MP3 automatycznie przełączy się na znacznie wyższą przepływność, na przykład 192 kbit/s.

Manipulowanie informacją stereofoniczną

W dźwięku prawego i lewego kanału znajduje się bardzo dużo identycznych informacji. Jeśli sygnał w obu kanałach jest taki sam, algorytm MP3 digitalizuje go tylko jeden raz.

Dyskretna transformata cosinusowa (DCT)

Jest to niezwykle złożona technika matematyczna umożliwiająca uzyskanie dużej redukcji ilości danych. Jej zasada działania jest w pewnym stopniu podobna do sposobu, w jaki sygnał okresowy można całkowicie opisać poprzez określenie amplitud i częstotliwości poszczególnych składowych Fouriera tworzących ten sygnał.

Przypis redaktora: W późniejszych rozwinięciach algorytmów kompresji percepcyjnej, takich jak MP3, stosowano najczęściej zmodyfikowaną dyskretną transformatę cosinusową (MDCT), zapewniającą jeszcze większą skuteczność kompresji.

Kodowanie entropijne według Huffmana

W celu uzyskania dodatkowej redukcji ilości danych format MP3 wykorzystuje znane „kodowanie entropijne” oparte na algorytmie Huffmana. David A. Huffman był studentem matematyki, który jako temat pracy dyplomowej otrzymał zadanie opracowania możliwie najbardziej efektywnego algorytmu kodowania danych binarnych. O tym, jak bardzo mu się to udało, świadczy fakt, że pojęcie „kodowania Huffmana” stało się standardem w transmisji danych.

W kodowaniu Huffmana analizuje się szeregowy strumień danych pod kątem statystycznej częstości występowania poszczególnych kodów. Kody pojawiające się najczęściej są następnie reprezentowane za pomocą zaledwie jednego bitu. Kody występujące nieco rzadziej są kodowane przy użyciu dwóch bitów. Natomiast kod pojawiający się najrzadziej otrzymuje najdłuższy kod binarny dopuszczony przez algorytm.

Tag MP3

Tag MP3 to dodatkowe informacje umieszczane w strumieniu danych audio. W takim tagu można zapisać dodatkowe dane dotyczące muzyki, na przykład nazwę wykonawcy oraz tytuł utworu. Możliwe jest nawet cyfrowe zapisanie w tym tagu obrazu o niskiej rozdzielczości, przedstawiającego wykonawcę lub okładkę płyty CD. ■

Jos Verstraten

eprasa.pl 39bd2886e9

KickStart

Część 9: poznajemy wzmacniacze operacyjne małej mocy

Nasza okazjonalna seria KickStart ma na celu ukazywanie Czytelnikom, jak wykorzystywać łatwo dostępne, niedrogie elementy i urządzenia do rozwiązywania szerokiej gamy typowych problemów w możliwie najkrótszym czasie. Każdy z przykładów i projektów może zostać zrealizowany przy użyciu gotowych podzespołów w czasie nie dłuższym niż kilka godzin. Oprócz krótkiego objaśnienia podstawowych zasad i zastosowanych technik, seria dostarczy wielu reprezentatywnych rozwiązań i przykładów wraz z wystarczającą ilością informacji, aby móc je dostosować i rozszerzyć do własnych potrzeb.

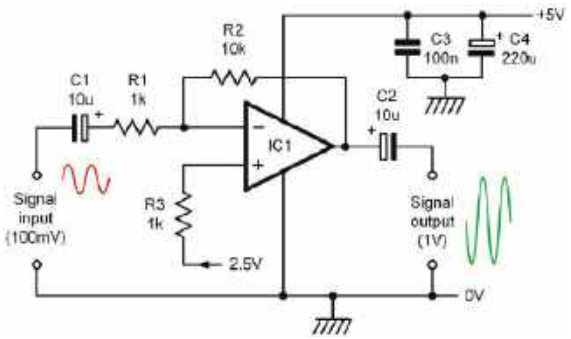
Niniejsza, dziewiąta część przedstawia nową generację wzmacniaczy operacyjnych o niskim poborze mocy, które mogą być używane przy napięciu zasilania poniżej 5 V.

W ostatnich latach kilku producentów układów scalonych wprowadziło na rynek wzmacniacze operacyjne – pojedyncze, podwójne i poczwórne w jednej obudowie – zaprojektowane specjalnie do pracy przy niskim napięciu i z małym poborem mocy. Mogą one być zasilane napięciem 3,3 V oraz 5 V, zatem idealnie nadają się do użycia z nowoczesnymi mikrokontrolerami.

Rodzina wzmacniaczy MCP600x

Dobrym przykładem takich układów jest rodzina wzmacniaczy operacyjnych MCP6001/4 firmy Microchip. Układy te, niedrogie i powszechnie dostępne, zostały zaprojektowane specjalnie do użytku w zastosowaniach ogólnego przeznaczenia o niskim poborze mocy, w tym w układach przetwarzania sygnałów analogowych i wzmacniaczach pomiarowych.

Podobnie jak w przypadku wielu podobnych typów, układy rodziny MCP600x cechuje iloczyn wzmocnienia i pasma równy 1 MHz. Ich zakres napięć wejściowych i wyjściowych jest jednak – w przeciwieństwie do wielu starszych typów wzmacniaczy – rozszerzony do poziomu napięć zasilających (*rail-to-rail*). Nie tracą stabilności w obecności umiarkowanych obciążeń pojemnościowych i działają przy napięciach zasilania od zaledwie 1,8 V do 5,5 V. W **tabeli 9.1** porównano wzmacniacze z rodziny MCP600x z kilkoma innymi popularnymi typami wzmacniaczy operacyjnych.



Rysunek 9.1. Klasyczny wzmacniacz odwracający o stałym wzmocnieniu

Zastosowania

Jako materiał do wykorzystania udostępniamy tutaj zbiór przykładowych zastosowań dla nowoczesnych wzmacniaczy operacyjnych o niskim poborze mocy. Układy te zostały zaprojektowane tak, aby były jak najprostsze w użyciu. Wszystkie z nich będą z powodzeniem działać przy zasilaniu 5 V i pobierać mały prąd. Wskazówki dotyczące zasilania podamy później.

Zaczniemy od klasycznego wzmacniacza odwracającego o stałym wzmocnieniu, pokazanego na **rysunku 9.1**. Tych, którzy są słabo zaznajomieni z tematem wzmacniaczy operacyjnych, informujemy – układy te są oznaczane trójkątem mającym dwa wejścia, jedno wyjście i dwa zaciski zasilania – dodatnie i ujemne. Jedno z wejść jest oznaczone „–”, a drugie „+”. Oznaczenia te nie mają nic

Tabela 9.1 Porównanie podstawowych parametrów popularnych wzmacniaczy operacyjnych

Układ	Wzmocnienie z otwartą pętlą	Iloczyn wzmocnienia i szerokości pasma	Szybkość zmian napięcia	Rezystancja wejściowa	Wejściowy prąd niezrównoważenia	Napięcie zasilania	Pobór prądu
741C	106 dB	1 MHz	0,5 V/µs	2 MΩ	20 nA	±15 V	1,2 mA...3,3 mA
LM324	100 dB	1,2 MHz	0,5 V/µs	2 MΩ	3 nA	3 V...32 V	1,2 mA...3 mA
TL081	106 dB	4 MHz	16 V/µs	10^3 GΩ	5 pA	±15 V	1,4 mA
MCP6001	112 dB	1 MHz	0,6 V/µs	10^4 GΩ	1 pA	1,8 V...5,5 V	100 µA

eprasa.pl 39bd2886e9

wspólnego z polaryzacją zasilania. Ukazują jedynie przesunięcie fazowe między odpowiednim wejściem a wyjściem. Znak „+” oznacza przesunięcie fazowe równe zero, natomiast znak „–” przesunięcie fazowe o 180° (fali sinusoidalnej; przypis redaktora). Ponieważ przesunięcie fazy o 180° oznacza odwrócenie „do góry nogami” kształtu fali, wejście „–” jest zwykle określane jako „odwracające”. Analogicznie wejście „+” jest „nieodwracające”.

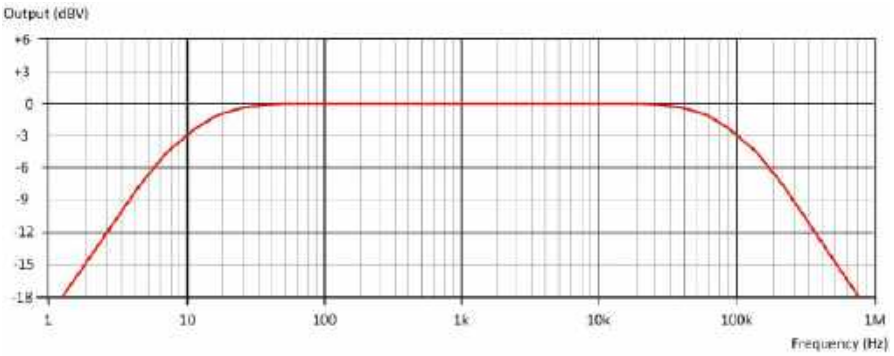
Wzmocnienie napięciowe wzmacniacza odwracającego jest wyznaczone przez stosunek R2 do R1. Przy podanych wartościach wynosi ono –10. Ze względu na odwracające działanie wzmacniacza, przebieg wyjściowy będzie odwrócony (przesunięty w fazie o 180°) względem wejścia – jak pokazują kolorowe przebiegi na rysunku.

Impedancja wejściowa wzmacniacza jest określona przez wartość R1 i wynosi tutaj 1 kΩ. Układ z rysunku 9.1 można łatwo modyfikować dla różnych wzmocnień i rezystancji wejściowych, zmieniając po prostu wartości rezystancji R1 i R2. Dolna częstotliwość graniczna (dla spadku wzmocnienia o 3 dB) jest określona przez wartości C1 i R1 według zależności:

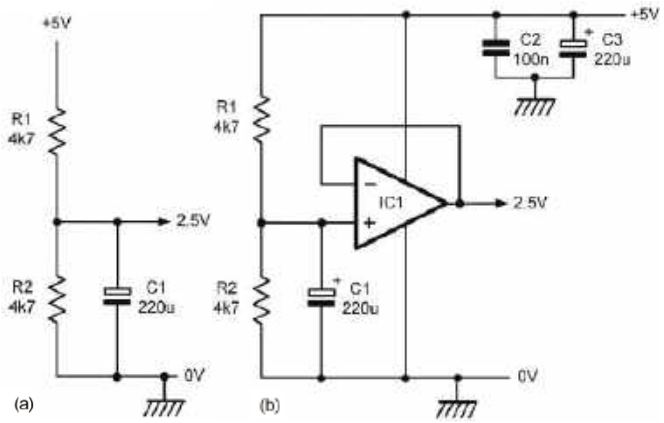
$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C1 \cdot R1}$$

gdzie C1 – pojemność w faradach, R1 – rezystancja w omach. Z kolei górna 3-decybelowa częstotliwość graniczna f_2 jest wyznaczona przez parametr wzmacniacza operacyjnego: iloczyn wzmocnienia i szerokości pasma (GBW, ang. Gain Bandwidth Product – przypis redaktora). W przypadku gdy R2 = R1, czyli przy wzmocnieniu równym minus jedności, górna częstotliwość graniczna będzie wynosić około 1 MHz. Wraz ze wzrostem wzmocnienia napięciowego wartość f2 będzie się proporcjonalnie zmniejszać. Ilustruje to **tabela 9.2**.

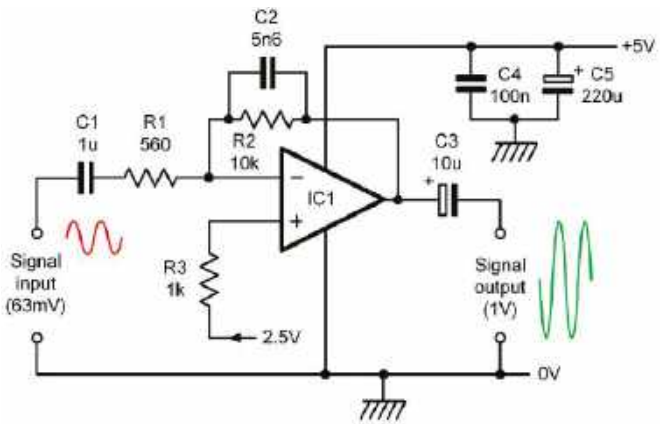
Charakterystykę przenoszenia tego wzmacniacza pokazano na **rysunku 9.2**. Dolna i górna częstotliwość graniczna wynoszą odpowiednio około 10 Hz i 100 kHz. Zauważmy, że napięcie wyjściowe jest tu wyrażone w decybelach (dB) w stosunku do poziomu 1 V. Przy każdej z częstotliwości granicznych napięcie wyjściowe spadnie do 70,7% wartości ze środka pasma – czyli do 0,707 V, o ile napięcie wyjściowe w środku pasma wynosi 1 V.



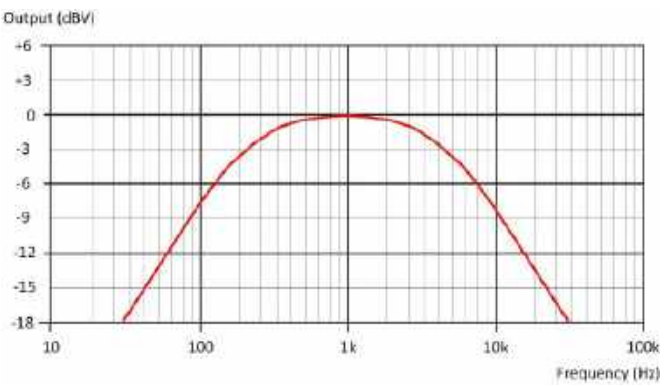
Rysunek 9.2. Charakterystyka częstotliwościowa wzmacniacza z rysunku 9.1



Rysunek 9.3. Źródła napięcia odniesienia 2,5 V



Rysunek 9.4. Mikrofonowy przedwzmacniacz komunikacyjny



Rysunek 9.5. Charakterystyka częstotliwościowa przedwzmacniacza z rysunku 9.4

Tabela 9.2. Wzmocnienie napięciowe i górna częstotliwość graniczna dla różnych wartości R1 i R2 w układzie z rysunku 9.1

R1 (kΩ)	R2 (kΩ)	Wzmocnienie napięciowe	Górna częstotliwość graniczna (kHz)
1	10	–10	100
1	22	–22	45
1	47	–47	21
1	100	–100	10
1	220	–220	4.5
1	470	–470	2.1
4,7	47	–10	100
4,7	100	–21	48
4,7	220	–47	21
4,7	470	–100	10
4,7	1000	–210	4.8

eprasa.pl 39bd2886e9

Stabilne działanie

Aby zapewnić stabilność – szczególnie w aplikacjach o dużym wzmocnieniu – zasilanie układu IC1 należy odsprzęgnąć kondensatorem (C3 na rysunku 9.1) o stosunkowo niskiej wartości, zwykle 10 nF...100 nF, umieszczonym jak najbliżej układu scalonego. Należy również dać dodatkowy kondensator odsprzęgający o większej wartości (C4 na rysunku 9.1), ale nie musi się on znajdować blisko układu. Wartość tego kondensatora może mieścić się w zakresie od 10 µF do 220 µF.

Zasilanie

Układ pokazany na rysunku 9.1 wymaga użycia napięcia odniesienia o połowę niższego niż napięcie zasilania, a więc 2,5 V przy zasilaniu 5 V. Podobnie jest w innych układach przykładowych opisanych w tym artykule. Napięcie odniesienia nie jest obciążone żadnym znaczącym prądem i może pochodzić z prostego dzielnika napięcia odsprzężonego kondensatorem, jak ten na **rysunku 9.3** (a). W przypadku urządzeń, w których użyto więcej wzmacniaczy operacyjnych, dobrze jest zastosować układ pokazany na rysunku 9.3 (b). Można go polecić zwłaszcza wtedy, gdy w obudowie układu scalonego, zawierającego dwa (MCP6002) lub cztery (MCP6004) wzmacniacze operacyjne, jakiś wzmacniacz pozostaje niewykorzystany.

Przedwzmacniacz mikrofonowy

Na **rysunku 9.4** widzimy rozwiniętą wersję wzmacniacza odwracającego o stałym wzmocnieniu, przedstawionego wcześniej. Jest to projekt przedwzmacniacza mikrofonowego do celów komunikacyjnych. Układ jest dopasowany do mikrofonu o impedancji 600 Ω. Przy częstotliwości 1 kHz, dla napięcia wejściowego 64 mV wzmacniacz daje znamionowe napięcie wyjściowe 1 V. Wzmocnienie napięciowe wynosi zatem 24 dB. Dolna częstotliwość graniczna jest, tak jak w poprzednim układzie, określona przez C1 i R1, natomiast częstotliwość górną wyznaczają wartości C2 i R2:

$$f_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C2 \cdot R2} = \frac{0{,}159}{C2 \cdot R2}$$

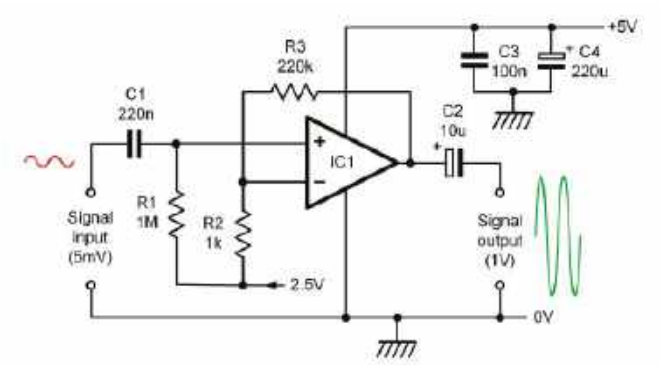
gdzie C2 – pojemność w faradach, R2 – rezystancja w omach. Przy wartościach z rysunku 9.4 częstotliwości graniczne wynoszą około 230 Hz i 2,8 kHz. Zmierzoną charakterystykę przenoszenia przedwzmacniacza pokazano na **rysunku 9.5**.

Nieodwracający wzmacniacz akustyczny o dużym wzmocnieniu

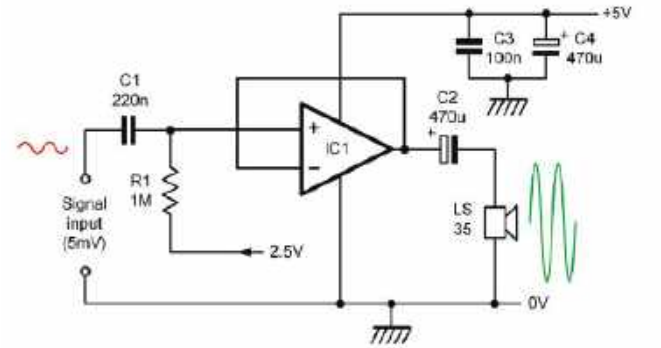
Dwa poprzednie układy wzmacniacza były oparte na konfiguracji odwracającej (wyjście w przeciwfazie w stosunku do wejścia). Układ pokazany na **rysunku 9.6** jest wzmacniaczem nieodwracającym o dużym wzmocnieniu. Ma on tę zaletę, że jego impedancja wejściowa jest bardzo duża (określa ją wartość R1). Przy podanych wartościach układ z rysunku 9.6 zapewnia wzmocnienie napięciowe około 220 i impedancję wejściową 1 MΩ. Górna częstotliwość graniczna jest, podobnie jak w układzie 9.1, wyznaczona przez iloczyn wzmocnienia i szerokości pasma wzmacniacza operacyjnego (1 MHz). Przy podanych wartościach elementów górna częstotliwość wyniesie około 4,5 kHz.

Sterowanie głośnika

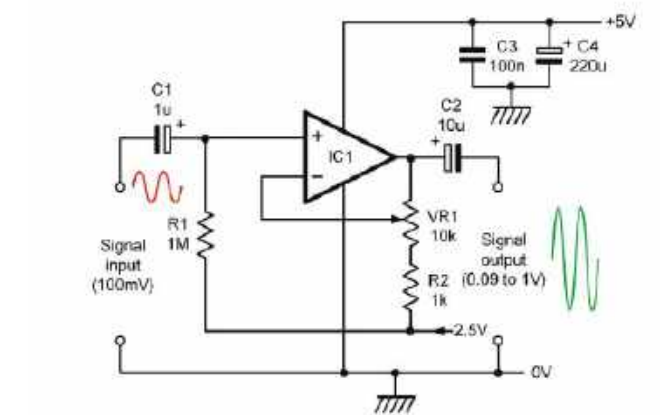
Układ nieodwracający może również pełnić funkcję prostego stopnia sterującego głośnik. Schemat pokazano na **rysunku 9.7**. Układ ten ma wzmocnienie napięciowe 1 i impedancję wejściową 1 MΩ. Zapewnia wystarczającą moc wyjściową do wysterowania małego głośniczka, choć jakość dźwięku będzie niewysoka, a moc wyjściowa niezniekształconego sygnału – ograniczona do zaledwie kilkudziesięciu mW.



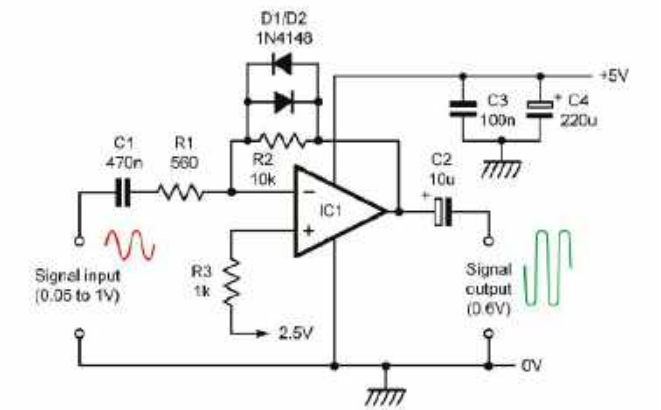
Rysunek 9.6. Akustyczny wzmacniacz nieodwracający o dużym wzmocnieniu



Rysunek 9.7. Prosty stopień sterujący głośnika

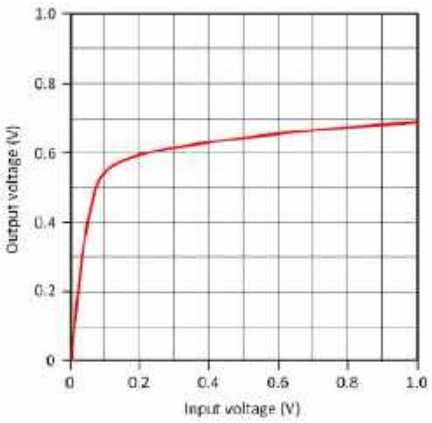


Rysunek 9.8. Szerokopasmowy wzmacniacz o regulowanym wzmocnieniu i dużej impedancji wejściowej



Rysunek 9.9. Kompresor akustyczny

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 9.10. Charakterystyka przejściowa kompresora z rysunku 9.9

Wzmacniacz szerokopasmowy o regulowanym wzmocnieniu

Rysunek 9.8 przedstawia wzmacniacz szerokopasmowy o regulowanym wzmocnieniu i wielkiej impedancji wejściowej. Układ zapewnia wzmocnienie w zakresie od 1 do 11 (0...21 dB) i szerokość pasma nie mniejszą niż około 75 kHz. Dolna częstotliwość graniczna wynosi 2 Hz. Ten praktyczny układ nadaje się idealnie do zastosowań np. w układach pomiarowych, w których wymagana jest wysoka impedancja wejściowa.

Kompresor akustyczny

Na **rysunku 9.9** widzimy prosty kompresor sygnału akustycznego. Dla małych sygnałów wejściowych układ ma wzmocnienie około 18. Działanie kompresji rozpoczyna się, gdy napięcie sygnału wejściowego przekroczy około 100 mVsk. Wraz ze wzrostem tego napięcia wzmocnienie gwałtownie spada, ponieważ zaczynają przewodzić połączone antyrównolegle diody D1 i D2. Maksymalne napięcie wyjściowe układu wynosi około 0,7 Vsk. Charakterystykę przenoszenia pokazano na **rysunku 9.10**.

Generator sinusoidalny

Na **rysunku 9.11** przedstawiono generator sinusoidalny. Częstotliwość pracy (f) jest wyznaczona przez wartości C1=C2=C i R3=R4=R:

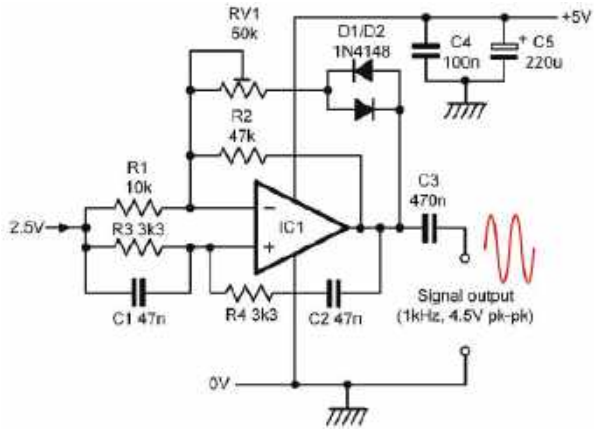
$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot R} = \frac{0{,}159}{C \cdot R}$$

gdzie C – pojemność w faradach, R – rezystancja w omach.

Z wartościami elementów jak na schemacie, częstotliwość wyjściowa wynosi około 1 kHz, a amplituda na wyjściu 4,5 V_{pp}. Układ należy wyregulować potencjometrem RV1 na minimum zniekształceń. W tym układzie zniekształcenia będą występować zawsze, a sygnał wyjściowy jest tylko „mniej więcej" sinusoidalny. W układach bardziej wyrafinowanych, do ograniczania wzmocnienia wykorzystuje się nie diody (D1/D2), lecz np. termistor, co prowadzi do znacznego zmniejszenia zniekształceń.

Przetwornik wartości skutecznej

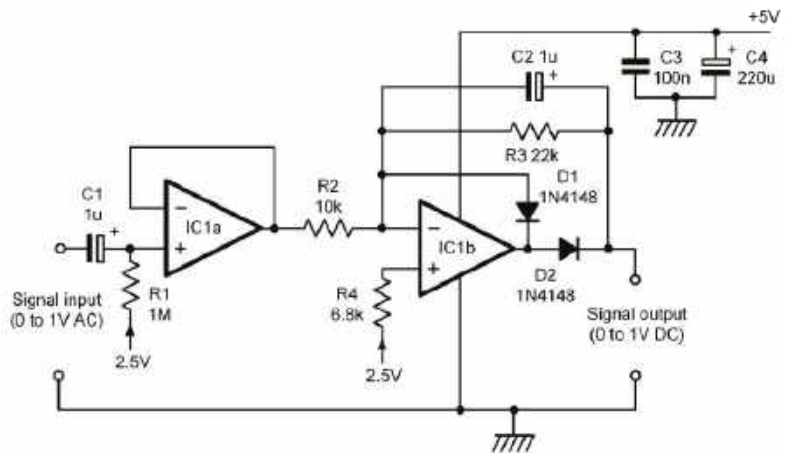
Kolejnym przydatnym zastosowaniem wzmacniacza operacyjnego małej mocy jest precyzyjne prostowanie przebiegu zmiennego. Układ z **rysunku 9.12**, wykorzystujący podwójny wzmacniacz operacyjny (MCP6002), zamienia napięcie zmienne o napięciu od 0 do 1 V wartości skutecznej na odpowiadające mu napięcie stałe od 0 do 1 V przesunięte względem masy o napięcie odniesienia 2,5 V – przypis redaktora. Układ działa bez zarzutu w całym zakresie częstotliwości akustycznych, a jego charakterystyka jest niezwykle liniowa.



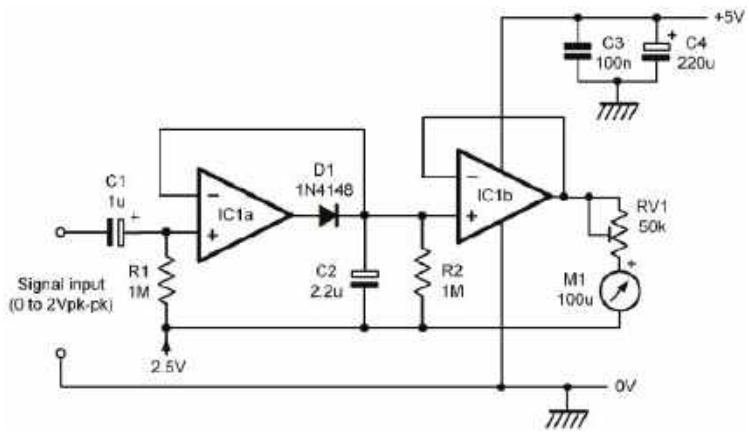
Rysunek 9.11. Generator sinusoidalny

Miernik wartości szczytowej

Innym interesującym zastosowaniem podwójnego wzmacniacza operacyjnego małej mocy jest miernik poziomu szczytowego audio pokazany na rysunku 9.13. Układ ten nada się idealnie do wielu zastosowań w elektroakustyce, np. jako wskaźnik poziomu nagrywania. C2 i R2 określają stałą czasową układu (2,2 s). Jeśli wymagane jest szybsze zanikanie wskazań, należy zmniejszyć wartość C2 i/lub R2. I odwrotnie, poprzez zwiększenie

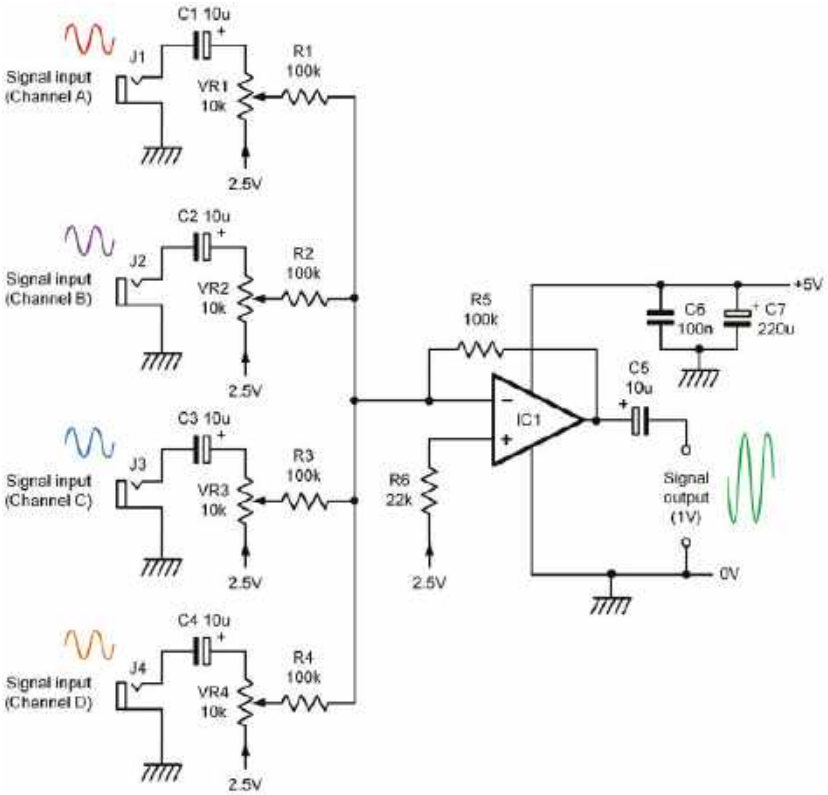


Rysunek 9.12. Precyzyjny prostownik dwupołówkowy



Rysunek 9.13. Miernik poziomu szczytowego

eprasa.pl 39bd2886e9

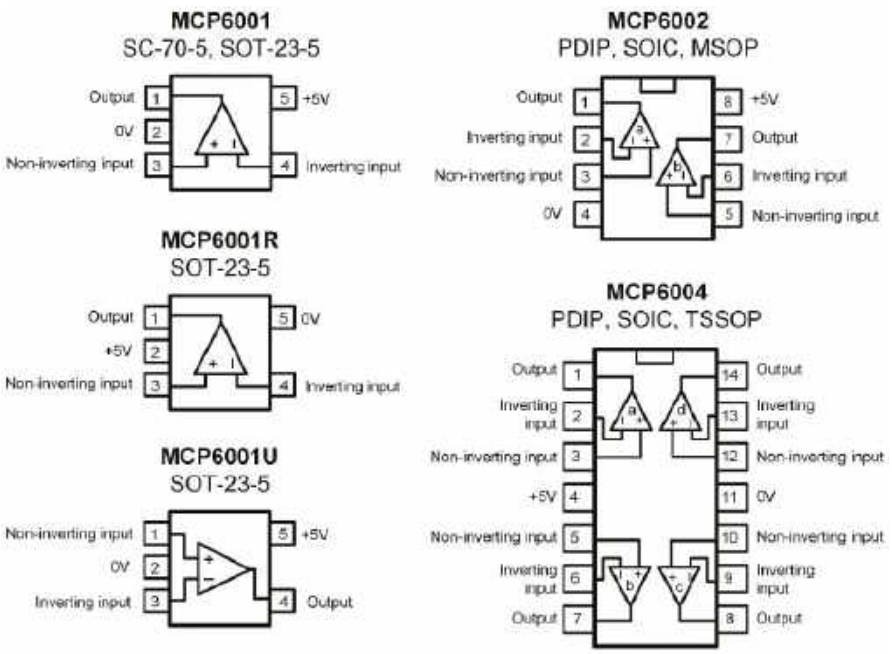


Rysunek 9.14. Mikser akustyczny

wartości jednego lub obu tych elementów czas podtrzymania wskazań można wydłużyć.

Mikser akustyczny

Ostatnią aplikacją, pokazaną na **rysunku 9.14**, jest prosty mikser czterokanałowy. Układ IC1 pracuje jako wzmacniacz odwracający o wzmocnieniu 1, a na jego wejściu odwracającym są sumowane napięcia z czterech wejść. Impedancja wejściowa każdego z czterech kanałów wynosi w tym przykładzie 10 kΩ. Sumę sygnałów można wzmocnić, zwiększając wartość R5. Na przykład wartość 220 kΩ czy 470 kΩ da wzmocnienie odpowiednio 2,2 lub 4,7.



Rysunek 9.15. Układ wyprowadzeń wzmacniaczy MCP6001/2/4

Rodzina w komplecie

Układy rodziny MCP600x są dostarczane w różnych obudowach, w tym SOT, SOIC i PDIP, jak pokazano na **rysunku 9.15**. Najłatwiejsze w użyciu i odpowiednie do większości zastosowań będą układy MCP6002 i MCP6004 w obudowach plastikowych dual-in-line.

Zasilanie

Opisaliśmy różne niskonapięciowe zastosowania MCP600x i pamiętając, że ich maksymalne napięcie zasilania wynosi tylko 5,5 V, skupimy się teraz na możliwościach uzyskania zasilania 5 V. Można to zrobić na kilka sposobów.

Jeśli nie dysponujemy żadnym innym źródłem, można użyć trzech połączonych szeregowo ogniw alkalicznych 1,5 V, jak na rysunku 9.16 (a), lub czterech połączonych szeregowo akumulatorów NiMh 1,2 V – **rysunek 9.16** (b). Poręcznym źródłem zasilania może być zwykły zasilacz USB, dołączony do gniazdka sieciowego i zapewniający stabilizowane napięcie wyjściowe 5 V – rysunku 9.16 (c). A jeśli jest dostępne zasilanie o napięciu stałym od +7 V do +12 V, napięcie zasilające 5 V można wytworzyć w prostym stabilizatorze, jak ten pokazany na rysunku 9.16 (d). Układ może dostarczyć prąd o natężeniu do kilkuset mA, dzięki czemu można zasilić szereg innych układów wymagających napięcia 5 V. Przypis redaktora: w tym ostatnim przypadku, zamiast układu na elementach dyskretnych wygodniej będzie zastosować jakiś stabilizator scalony, np. 78L05.

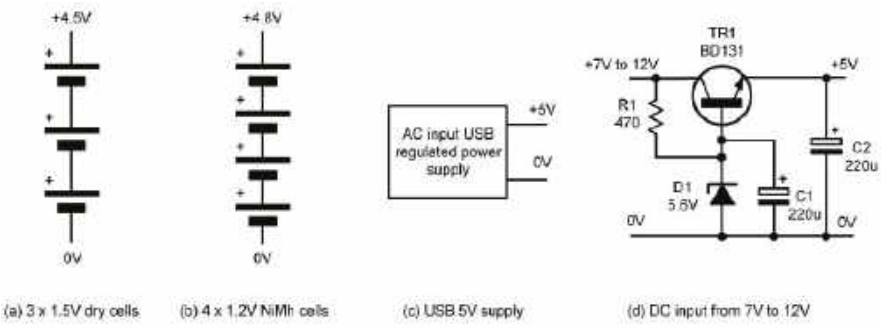
Stabilność raz jeszcze

Gdy wzmacniacze operacyjne są obciążone pojemnościami, mogą czasami pojawić się problemy polegające na utracie stabilności, co objawia się „dzwonieniem" lub oscylacjami – przypis redaktora. Można je zlikwidować lub złagodzić poprzez dodanie dodatkowej rezystancji Rstab szeregowo z wyjściem, jak na **rysunku 9.17**. W zależności od charakteru reaktancji obciążenia, określonej przez wartości C_{load} i R_{load}, wartość R_{stab} powinna wynosić od 2 Ω do 10 Ω.

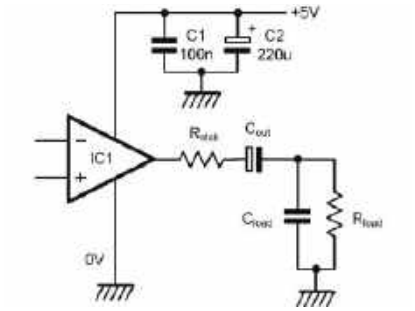
MPLAB Mindi

Producent układów MCP600x, firma Microchip, udostępnia symulator Mindi. Jest to wygodne narzędzie projektowe, umożliwiające symulację i testowanie szerokiej gamy układów ze wzmacniaczami operacyjnymi. Mindi wykorzystuje środowisko symulacyjne SIMetrix/SIMPLIS, umożliwiające wykorzystanie modeli SPICE lub modelowania liniowego, co pokrywa szeroki zakres wymagań.

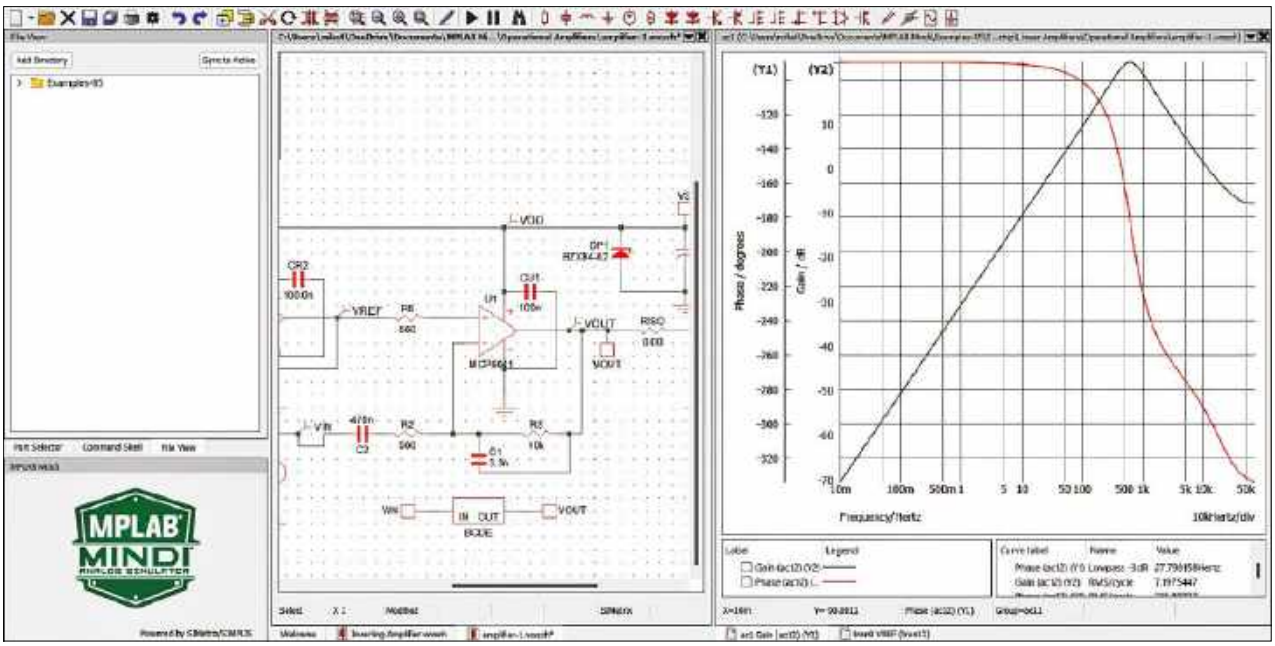
eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 9.16. Typowe układy zasilania dla rodziny MCP600x



Rysunek 9.17. Zapewnienie stabilności przy obciążeniu pojemnościowym



Rysunek 9.18. Symulacja w MPLAB Mindi

Symulator, oprócz ogólnych modeli elementów, zawiera modele specyficzne dla produktów firmy Microchip. Mindi jest instalowany na komputerze użytkownika, a po zainstalowaniu działa lokalnie i nie wymaga połączenia z Internetem. Przykład procesu symulacji widzimy na **rysunku 9.18**. Mindi został tutaj użyty do wykreślenia odpowiedzi amplitudowej i fazowej w funkcji częstotliwości dla przedwzmacniacza mikrofonowego z rysunku 9.4. Wykres niebieski to wzmocnienie, czerwony – przesunięcie fazowe.

Idąc dalej

W **tabeli 9.3** podajemy szereg źródeł, które pozwolą Wam dotrzeć do różnorodnych informacji na temat wzmacniaczy operacyjnych małej mocy firmy Microchip i pozwolą jak najlepiej wykorzystać te układy. Pozyskanie elementów ułatwią zamieszczone linki do dystrybutorów. ■

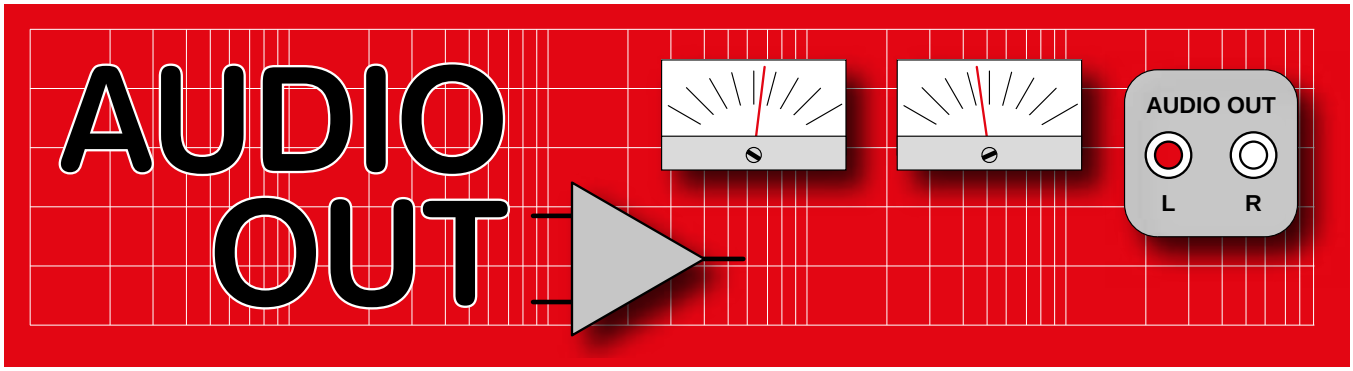
Mike Tooley

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „Practical Electronics", październik 2022 (www.epemag3.com)

Tabela 9.3. Idąc dalej – więcej informacji

Przedmiot	Źródło	Uwagi
Karta katalogowa MCP600x	Można ją pobrać ze strony https://bit.ly/pe-oct22-mc1	Karty katalogowe można również znaleźć pod linkami podanymi na stronach internetowych dostawców
Układy MCP6001, MCP6002, MCP6004	Układy scalone można nabyć u wielu dostawców, jak Farnell (https://uk.franell.com), RS Components (https://uk.rs-online.com) i Mouser (www.mouser.com)	
Teoria wzmacniaczy operacyjnych	Ogólne wprowadzenie do wzmacniaczy operacyjnych zawiera część 5 cyklu *Electronics Teach-in 4* (Electron Publishing): https://bit.ly/pe-oct22-eti4	Serwis *Practical Electronics Direct Book Service* na stronie www.electronpublishing.com przedstawia kilka pozycji obejmujących podstawy teorii wzmacniaczy operacyjnych i ich zastosowania
MPLAB Mindi	Przydatne wprowadzenie do Mindi jest dostępne w formacie PDF na stronie Microchip: https://bit.ly/pe-oct22-mc2	MPLAB Mindi można pobrać na stronie https://bit.ly/pe-oct22-mc3

eprasa.pl 39bd2886e9



Płytki ze wzmacniaczami operacyjnymi, wersje do montażu powierzchniowego i przewlekanego

W poprzednich publikacjach opisane były uniwersalne płytki przeznaczone do montażu pojedynczych i podwójnych wzmacniaczy operacyjnych. W trakcie projektowania tych płytek pomyślałem, że dobrze byłoby stworzyć kilka uniwersalnych adapterów, które pozwoliłyby na podłączenie nowoczesnych wzmacniaczy operacyjnych do starszych urządzeń. Przykładowo, w przypadku płytki z podwójnym wzmacniaczem operacyjnym, o której pisałem w zeszłym miesiącu, chciałem porównać pracę dwóch pojedynczych wzmacniaczy operacyjnych z układem podwójnym bez wprowadzania jakichkolwiek innych zmian. Aby to osiągnąć, zaprojektowałem specjalną płytkę adaptera, która umożliwia podłączenie dwóch 8-pinowych, pojedynczych wzmacniaczy operacyjnych do podstawki przystosowanej do jednego 8-pinowego, podwójnego wzmacniacza operacyjnego.

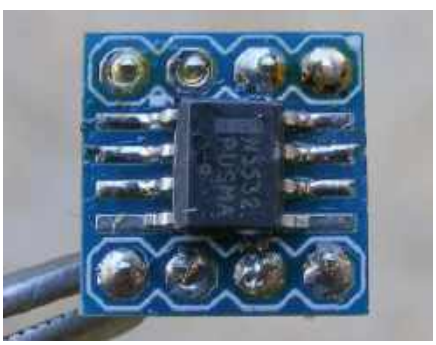
Pomysł mi się spodobał i postanowiłem rozwinąć tę koncepcję, tworząc płytkę, która umożliwia podłączenie dwóch 8-pinowych, podwójnych wzmacniaczy operacyjnych do 14-pinowej podstawki przeznaczonej dla poczwórnego wzmacniacza operacyjnego.

Kiedy już stworzyłem to rozwiązanie dla układów scalonych DIL, zdałem sobie sprawę, że równie przydatne byłoby posiadanie wersji SMD tych adapterów. Dzięki temu konfiguracje stałyby się nie tylko bardziej kompaktowe, lecz także umożliwiłyby przetestowanie niektórych nowych wzmacniaczy operacyjnych, dostępnych wyłącznie w obudowach SMD. Warto zwrócić uwagę na to, że istnieje wiele rodzajów obudów SMD, ja jednak zdecydowałem się użyć najpopularniejszej 8-pinowej obudowy SOIC.

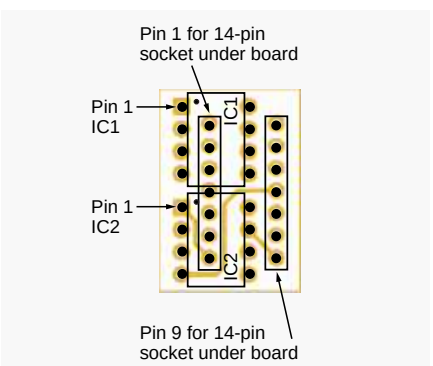
W rezultacie powstały cztery płytki adapterów. Warto wiedzieć, że płytki adapterów 8-pin-op-amp-SMD-to-DIL, takie jak pokazana na **rysunku 1**, są dostępne w handlu, w takich firmach jak HobbyTronics Ltd (https://bit.ly/pe-may23-dil). Postanowiłem wykonać podobną.

Wymiana i modernizacja

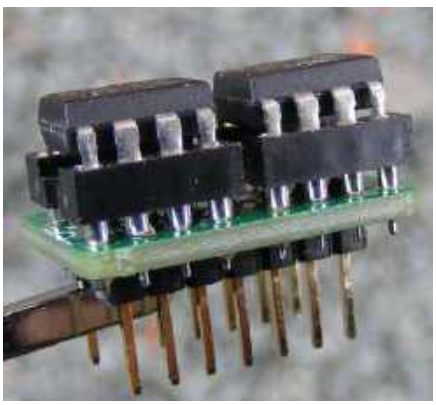
Inżynierowie dźwięku nie lubią marnować pieniędzy i podobnie jak gospodarni z natury rolnicy oczekują, że cały ich sprzęt będzie



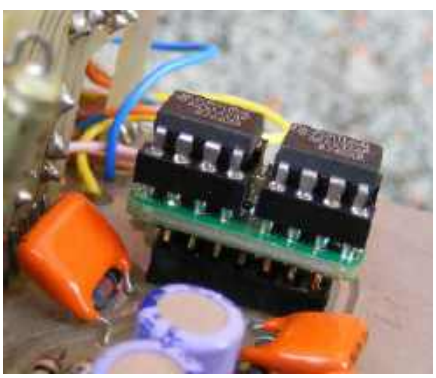
Rysunek 1. Pierwotna inspiracja dla stworzenia adapterów: płytka ze wzmacniaczem operacyjnym SMD-to-DIL firmy HobbyTronics



Rysunek 2. Rozkład elementów na płytce adaptera two-duals-to-quad

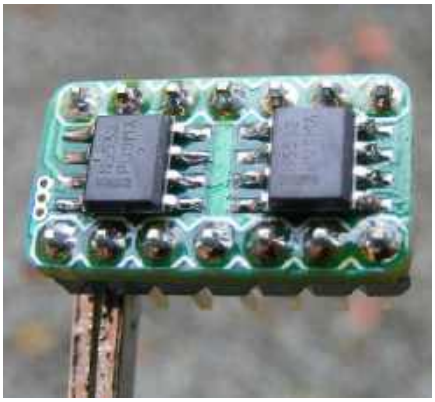


Rysunek 3. Zmontowana płytka adaptera two-duals-to-quad

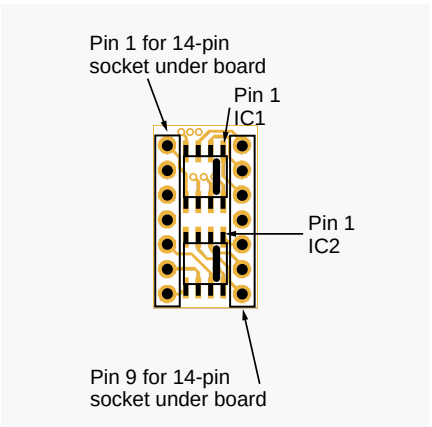


Rysunek 4. Adapter two-duals-to-quad zainstalowany w starym mikserze Audio Developments

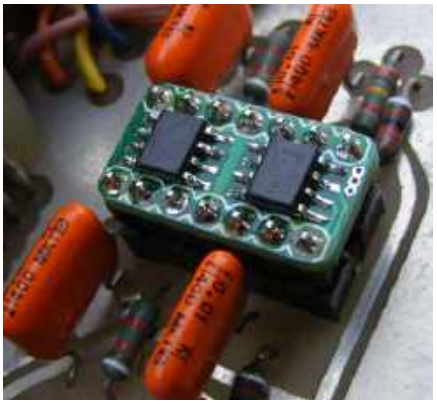
eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 5. Widok adaptera SMD dual-to-quad DIL. Są to podwójne układy NE5532 z pinami 1 oznaczonymi kreską



Rysunek 6. Rozkład elementów na płytce adaptera SMD two-duals-to-quad DIL



Rysunek 7. Adapter w wersji SMD two-duals-to--quad DIL umieszczony w mikserze. Adaptery w wersji SMD są mniejsze od innych, więc łatwiej je zamontować

działał przez co najmniej 50 lat. Niestety, niektóre modele wzmacniaczy operacyjnych stają się przestarzałe i mogą być trudne do zdobycia, a z drugiej strony nowe wersje mogą mieć znacznie lepsze parametry pod względem poziomu szumów i zniekształceń. Nie ma sensu przeglądać całego serwisu eBay w poszukiwaniu zamienników typu NOS (new-old-stock). Znacznie lepiej jest wymienić przestarzałe wzmacniacze operacyjne na typowe, łatwo dostępne NE5532.

Zamienniki układów J-FET

Warto zwrócić uwagę, że w starszym sprzęcie, w którym stosowane są wzmacniacze operacyjne z wejściem J-FET (np. układy z serii TL07x/TL08x (BiFET) firmy Texas Instruments z lat osiemdziesiątych), należy stosować zamienniki z wejściem J-FET o niskim prądzie polaryzacji wejść. Jeśli w mikserze lub przedwzmacniaczu układ TL072 zostanie zastąpiony bipolarnym NE5532, prawdopodobnie pojawi się problem szumów i trzasków podczas przełączania i regulacji potencjometrów. Chociaż wpływ prądów polaryzacji wejść można usunąć dodając do układu dodatkowe kondensatory sprzęgające i rezystory, wymaga to pewnej pracy, najpewniej wiążącej się z cięciem ścieżek. Dobre wzmacniacze operacyjne J-FET przeznaczone do zastosowań akustycznych są zazwyczaj bardzo drogie, na przykład firmy Burr-Brown. Jednym z niewielu stosunkowo niedrogich zamienników układu TL072 jest Nisshinbo NJM8087, dostępny wyłącznie w obudowie SMT. Układ ten oferowany jest przez firmę Profusion oraz przez Mouser, przy czym w tej drugiej jego cena jest znacznie wyższa. Texas Instruments ma w swojej ofercie wiele wzmacniaczy operacyjnych, a podobne układy oferują również firmy Analog Devices i Burr-Brown. Produkty z serii OPA134 SoundPlus są jednymi z najlepszych na rynku, ale są drogie.

Wycofane z produkcji wzmacniacze operacyjne firmy Fairchild (np. µA771 i µA772) pojawiają się sporadycznie w sprzęcie z końca lat siedemdziesiątych, takim jak miksery Electrosonic i Soundcraft. Dotyczy to również układów LF351, LF353, LF356, LF441 i TL082 będących wzmacniaczami typu BiFET drugiej generacji. Wszystkie one są podobne do TL072 i mogą być z powodzeniem zastąpione przez NJM8087 (Uwaga! Maksymalne napięcie zasilania ±16 V).

Praktyczny adapter dla układów poczwórnych

Jeśli zachodzi potrzeba wymiany starszego czterokrotnego wzmacniacza operacyjnego (np. LM324), rozwiązaniem jest płytka adaptera typu „two-duals-to-quad", którą po prostu wkłada się do oryginalnej 14-pinowej podstawki DIL. Rozmieszczenie elementów pokazano na **rysunku 2**. Zmontowany moduł przedstawiono na **rysunku 3**, natomiast jego instalację w kanale miksera emisyjnego Audio Developments – na **rysunku 4**.

Taka zmiana powoduje znaczną poprawę stosunku sygnału do szumu w mikserze. Po wymianie wszystkich wzmacniaczy operacyjnych na modele 5532 poziom szumów spadł o 12 dB, a poziom zniekształceń zmniejszył się dziesięciokrotnie, do 0,002%. Jednak taka modernizacja wzmacniaczy operacyjnych miała pewne skutki uboczne, głównie spowodowała niestabilność pracy w zakresie wysokich częstotliwości. Problem ten rozwiązano, umieszczając kondensatory o pojemności 47 pF, równolegle do rezystorów sprzężenia zwrotnego oraz kondensatory o pojemności 100 nF od ścieżek zasilających do masy układu. Ponadto pobór prądu dla każdego z kanałów wzrósł trzykrotnie, od 12 mA do 36 mA, gdyż układy z serii 5532 nie są pod tym względem oszczędne.

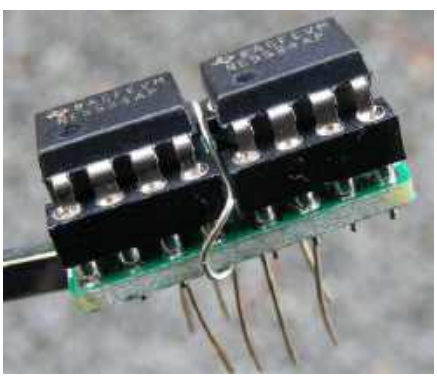
Quad SMD

Stworzyłem również wersję SMD tego adaptera, jak pokazano na **rysunku 5**, która jest mniejsza i łatwiejsza do instalacji. Rozkład elementów jest pokazany na **rysunku 6**, widok modułu umieszczonego w mikserze jest pokazany na **rysunku 7**. Korzystając z tych płytek, mogłem porównać układy SMD firmy Onsemi z ich odpowiednikami w wersji DIL firmy Texas Instruments. Co dziwne, poziom zniekształceń w przypadku wersji SMD wzrósł o 30%. Podejrzewam, że mogło to wynikać ze zmian technologicznych (np. miniaturyzacji struktury), jednak przyczyna nie jest jednoznaczna.

Dla porównania poziomów zniekształceń wzmacniaczy operacyjnych warto sięgnąć do obszernej analizy przygotowanej przez szwajcarskiego inżyniera dźwięku Samuela Gronera, w której zestawiono wyniki dla dziesiątek układów: https://bit.ly/pe-may23-ao

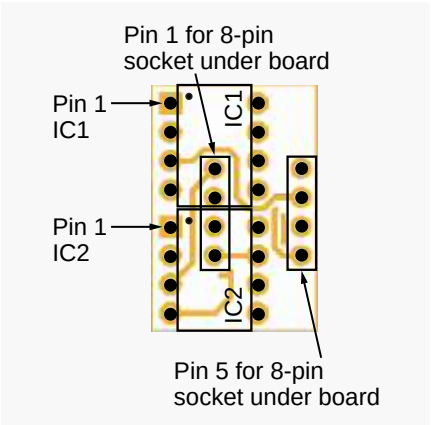
Adapter z dwóch układów pojedynczych na jeden podwójny

Na **rysunku 8** przedstawiona jest mała płytka drukowana, pozwalająca na zastąpienie podwójnego wzmacniacza operacyjnego dwoma

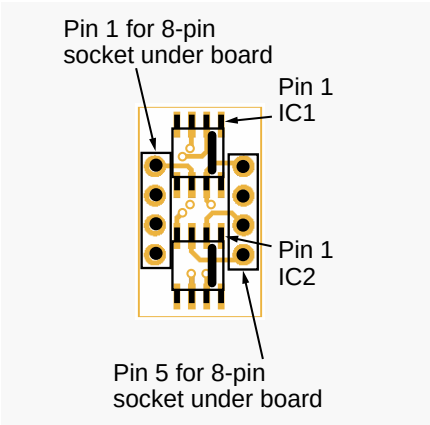


Rysunek 8. Płytka adaptera w wersji DIL two-singiels-to-dual

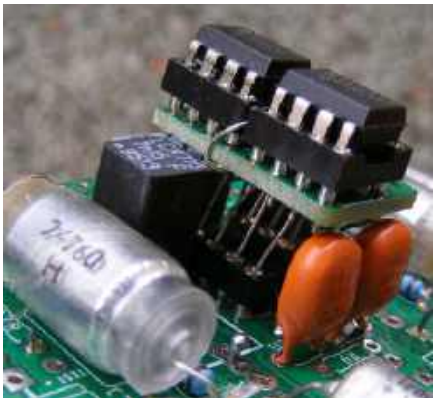
eprasa.pl 39bd2886e9



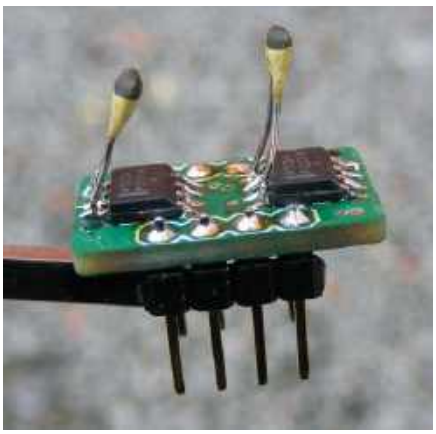
Rysunek 9. Rozkład elementów na płytce adaptera DIL two-singiels-to-dual



Rysunek 11. Rozkład elementów w adapterze w wersji SMD two-singiels-to-dual



Rysunek 10. Płytka adaptera DIL two-singiels-to-dual umieszczona w przedwzmacniaczu RIAA. W przypadku podstawek precyzyjnych wyprowadzenia zostały wykonane z drutu miedzianego



Rysunek 12. Zmontowany adapter w wersji SMD two-singiels-to-dual. Dodano kondensatory kompensacyjne dla wzmacniaczy operacyjnych NE5534. Czasami należy również dodać kondensator odsprzęgający zasilanie

pojedynczymi układami scalonymi. Ta opcja jest przydatna, jeśli zachodzi potrzeba zastąpienia podwójnego układu NE5532 dwoma układami NE5534A, które zapewniają niższy poziom szumów, mniejsze zniekształcenia i lepsze rozpraszanie ciepła. Należy pamiętać, że układ NE5534A przy wzmocnieniu poniżej pięciu wymaga dodania kondensatorów kompensacyjnych między pinami 5 i 8.

Płytka ta jest również przydatna w sytuacji, gdy zachodzi potrzeba wykorzystania pełnego zakresu napięć zasilających ±24 V, typowego dla pojedynczego wzmacniacza OPA604. W wersji podwójnej układu OPA2604 oferowanej przez firmę Texas Instruments wartości te zostały obniżone do ±20 V.

Rozkład elementów na płytce adaptera jest pokazany na **rysunku 9**, a jej widok po umieszczeniu w przedwzmacniaczu RIAA opisanym poprzednim razem jest przedstawiony na **rysunku 10**. Należy zwrócić uwagę na długie przewody wykonane z drutu o przekroju 25 AWG, pozwalające na podniesienie płytki adaptera ponad kondensatory. Wersja SMD tej płytki jest pokazana na **rysunkach 11** oraz **12**.

Montaż adapterów

Standardowe listwy z pinami kwadratowymi (np. BKL firmy Rapid, numer katalogowy 50-8086) pełnią rolę „wtyków" do typowych podstawek sprężynowych dla układów scalonych. Jeśli na płycie głównej zastosowano podstawki precyzyjne, w adapterze należy użyć listew z pinami okrągłymi (np. Truconnect firmy Rapid, numer katalogowy 22-1704). Są one również dostępne w firmie Tayda (numer katalogowy a-4662). W przypadku braku dostępności takich złączy można użyć drutu miedzianego o przekroju 25 AWG. Pasuje on dobrze do otworów w podstawkach, ale łatwo się wygina.

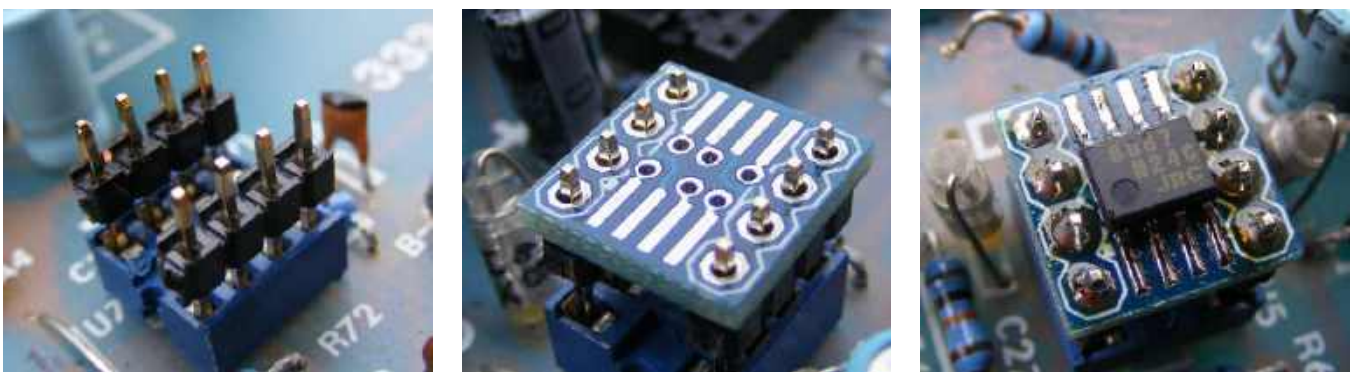
Podczas montażu adapterów należy zachować pewien logiczny porządek, na przykład złącza wlutować jako pierwsze, przed wlutowaniem podstawek układów scalonych umieszczonych w górnej części płytki (patrz **rysunek 13**). Na rysunku 2 można zauważyć, że piny od 1 do 7 mogą znaleźć się pod podstawką i trudno je będzie wlutować.

Zakup płytek

Wszystkie cztery płytki adapterów są dostępne w opakowaniach po pięć sztuk, w firmie PE PCB Service. ■

Jake Rothman

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „Practical Electronics", maj 2023 (www.epemag3.com)



Rysunek 13. Wyprowadzenia adapterów najłatwiej jest lutować po umieszczeniu niezmontowanej jeszcze płytki w podstawce. Utrzymuje to piny w odpowiednim ustawieniu i zapewnia stabilną platformę podczas lutowania elementów adaptera i wzmacniaczy operacyjnych. Zwróć uwagę na układ 8087, który zastąpił TL072 w starym mikserze

eprasa.pl 39bd2886e9



AT-AD269S
Mikroskop cyfrowy
z ekranem 10 cali,
powiększenie do 5000×,
5 obiektywów i endoskop
ANDONSTAR AD269S-M



AT-AD409PRO
Mikroskop do lutowania
z profesjonalnym
metalowym stojakiem,
ekran 10,1 cala,
powiększenie do 300×, HDMI
ANDONSTAR AD409Pro

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mikroskopy cyfrowe dla elektroników

Rabat dla Czytelników EdW
przy zakupie podaj kod **EdW2505MC** **-3%**

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty **-6%**



AT-AD246S-M
Mikroskop cyfrowy 7 cali
z powiększeniem:
60...240×, 18...720×,
1560...2040×
ANDONSTAR AD246S-M



AT-AD407
Mikroskop cyfrowy 7 cali,
powiększenie do 270×
ANDONSTAR AD407



AT-AD249S-M
Mikroskop cyfrowy 10 cali
z powiększeniem:
60...240×, 18...720×, 1560...2040×
ANDONSTAR AD249S-M



AT-AD210
Mikroskop cyfrowy 5...260×
z wyświetlaczem 10,1 cala
ANDONSTAR AD210

Sznur migających światełek dekoracyjnych z Arduino

Do dekorowania domów i różnych innych miejsc są często używane sznury migających świateł. Na takie okazje możemy przygotować migające światełka oparte na płytce Arduino z dodatkiem zaledwie kilku elementów.

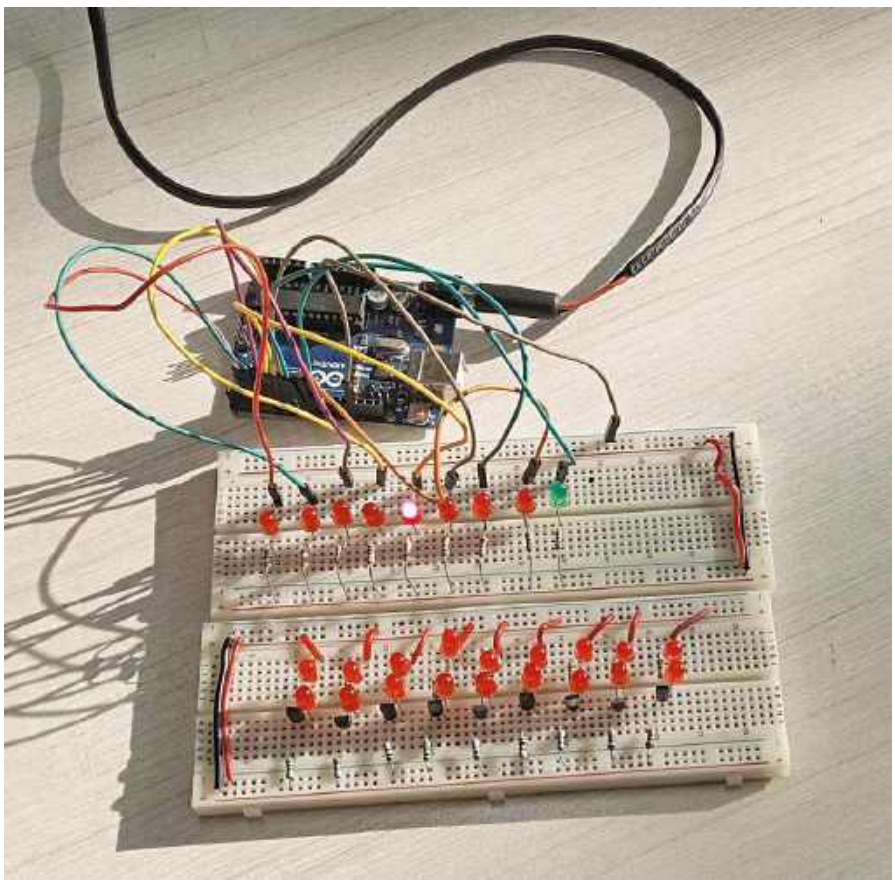
Taki układ, zbudowany przez autora na płytce prototypowej w celu zademonstrowania koncepcji, widać na **rysunku 1**.

Schemat układu migających światełek pokazano na **rysunku 2**. Całość składa się z modułu Arduino Uno (BOARD1), dziewięciu diod LED (LED1 do LED9) oraz kilku elementów dyskretnych.

Każda dioda LED jest podłączona do jednego z pinów wyjściowych płytki Uno. Dioda załącza się i wyłącza w określonych odstępach czasu. Stan wysoki na pinach wyjściowych przemieszcza się od jednego pinu do drugiego, a w danym momencie tylko jeden pin wyjściowy jest w stanie wysokim, zapalając podłączoną do niego diodę LED. Powstaje efekt biegnącego światła. Diody można ułożyć w okrąg lub w dowolny inny kształt.

Aby utworzyć dłuższy ciąg diod LED, można użyć układu pokazanego na **rysunku 3**. W tym układzie jest 18 diod, a oprócz innych elementów wykorzystano dziewięć tranzystorów NPN.

W „migaczu" 18-diodowym dziewięć wyjść Arduino jest poprzez rezystory R1... R9 dołączone do baz tranzystorów T1... T9. Wyjścia przechodzą w określonych momentach w stan wysoki lub niski. Tak jak poprzednio, stan wysoki przesuwa się od jednego pinu do drugiego, a w danym



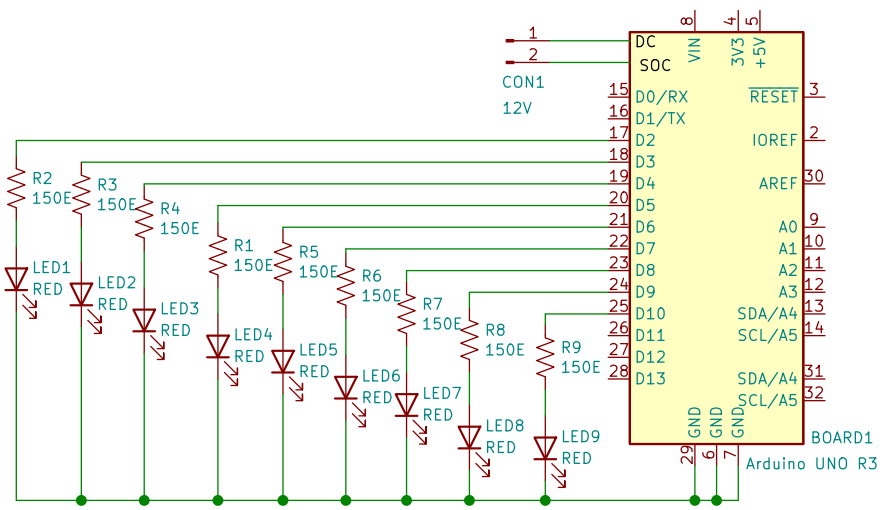
Rysunek 1. Prototyp Autora na płytce stykowej

Wykaz elementów:

Półprzewodniki:
Board1: płytka Arduino Uno
wersja z rysunku 2:
LED1...LED9: LED czerwony 5 mm
wersja z rysunku 3:
LED1...LED18: LED czerwony 5 mm
T1...T9: tranzystor NPN BC547

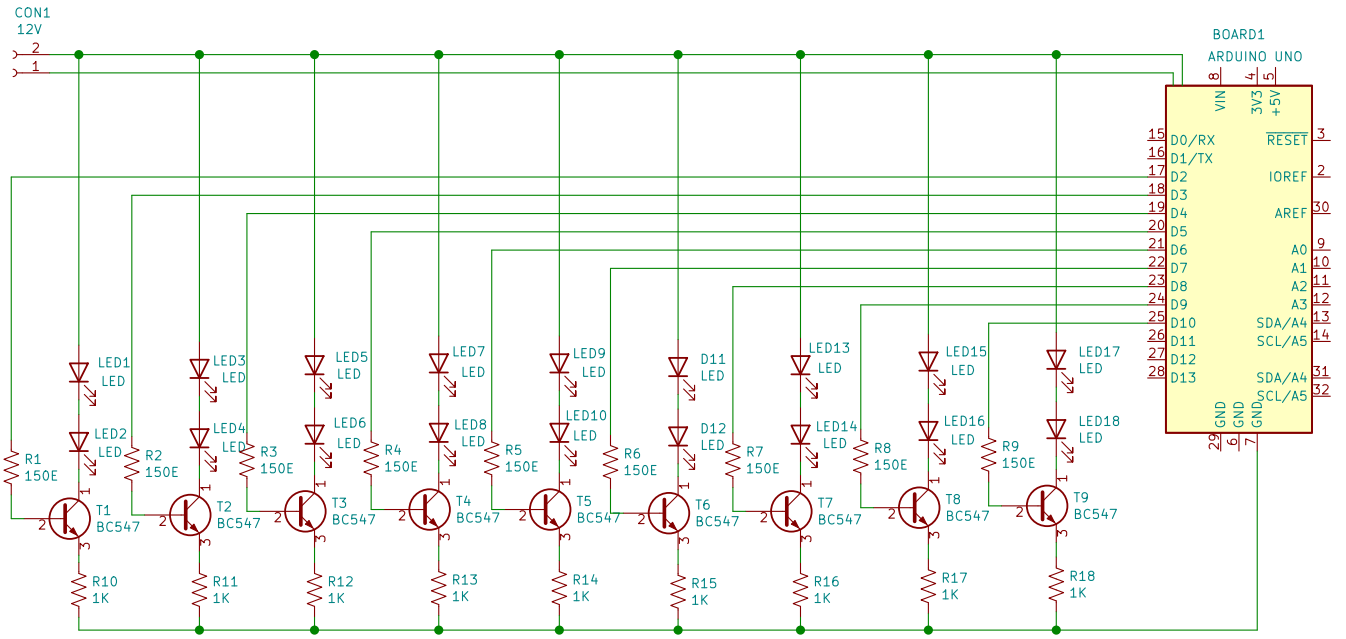
Rezystory: (wszystkie węglowe, 1/4 W, ±5%)
wersja z rysunku 2:
R1...R9: 150 Ω
wersja z rysunku 3:
R1...R9: 150 Ω
R10...R19: 1 kΩ

Pozostałe:
CON1: gniazdo zasilania 12 V DC
płytka stykowa, uniwersalna lub drukowana
przewody połączeniowe



Rysunek 2. Schemat ideowy układu

eprasa.pl 39bd2886e9

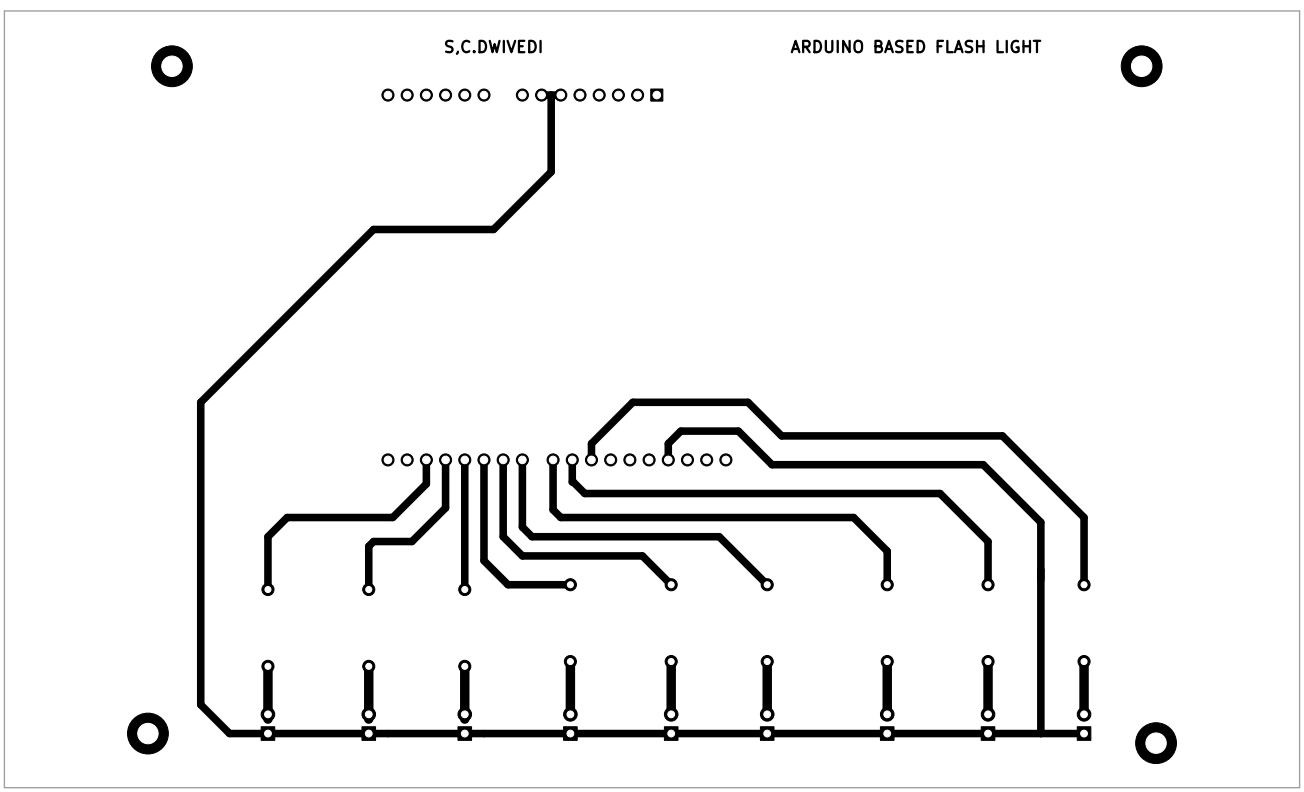


Rysunek 3. Wersja układu z 18 diodami LED

momencie w stanie wysokim jest tylko jeden pin wyjściowy. Otrzymujemy efekt biegnącego światła.

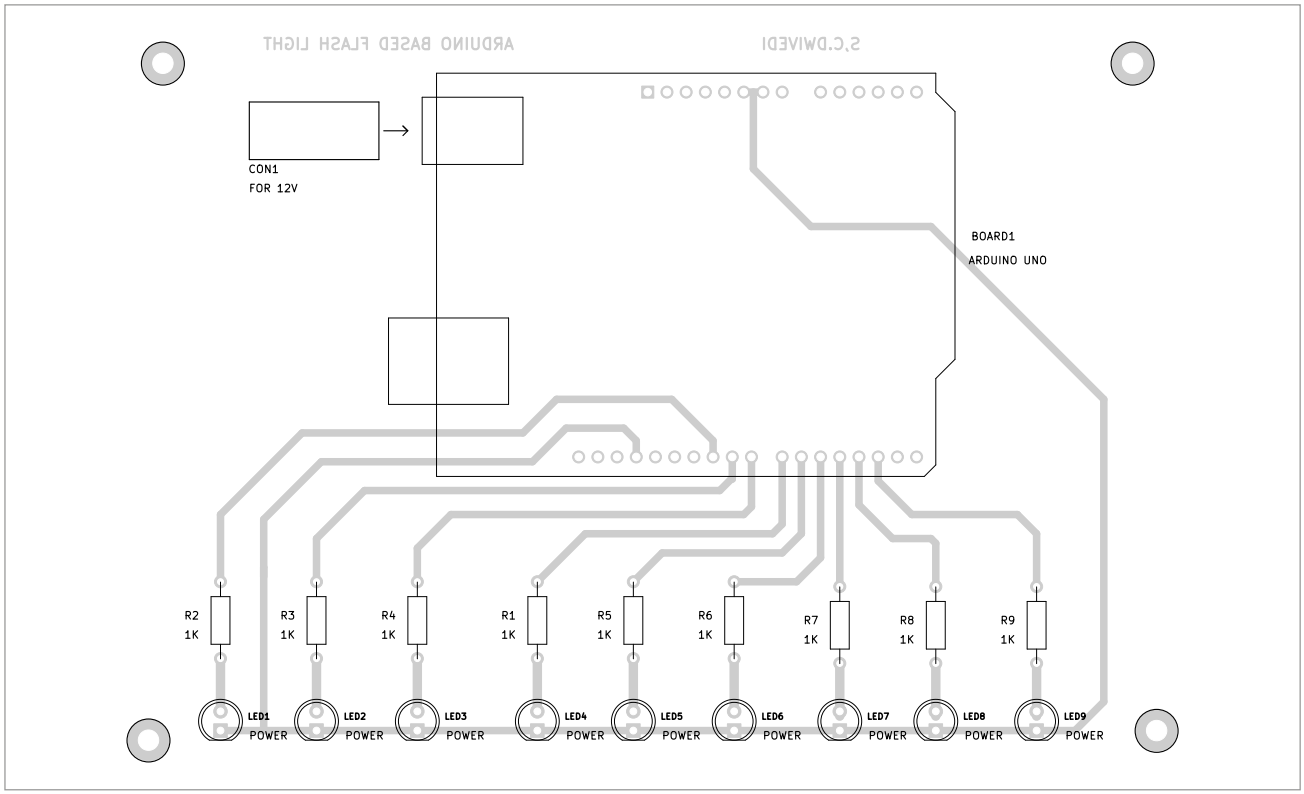
W obu układach rezystory R1...R9 służą do ograniczenia prądu przepływającego przez każdą z diod LED. Aby utworzyć dłuższy ciąg, można eksperymentować z większą liczbą diod LED połączonych szeregowo i odpowiednio zmniejszyć wartości rezystorów R10...R18.

Przypis redaktora: w układzie z rysunku 3 ograniczenie prądów diod realizują rezystory R10...R18, nie zaś R1...R9. Podana ich wartość 1 kΩ jest zbyt duża. Dla uzyskania prądu diod rzędu kilkunastu miliamperów rezystancje R10...R18 powinny mieć wartość około 220 Ω. Rezystancje R1...R9 należy zwiększyć do 4,7 kΩ...10 kΩ, ponieważ podana wartość 150 Ω powodowałaby zbyt duży prąd baz tranzystorów i nadmierne obciążenie wyjść Arduino. Technicznie możliwe jest również zastosowanie 18 diod LED (po dwie w szereg) w układzie z rysunku 2 i zasilanie ich z 5 V przy odpowiednio dobranych rezystorach ograniczających prąd, jednak należy uwzględnić dopuszczalny sumaryczny prąd wyjść mikrokontrolera.



Rysunek 4. Rysunek płytki drukowanej w skali 1:1 do układu z rysunku 2

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 5. Rozmieszczenie elementów na płytce drukowanej

Oprogramowanie

Oprogramowanie dla tego projektu zostało napisane w Arduino IDE w wersji 1.8.5. Można jednak użyć dowolnej wersji, ponieważ program jest bardzo prosty.

Do płytki Arduino podłączonych jest dziewięć LEDów, a numery ich wyjść wymienione są w tablicy led array[] = {2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10}. Pętla for w programie zmienia stan pinów wymienionych w tablicy zgodnie z przyrostem zmiennej i. W ten sposób każdy wymieniony w tablicy pin jest przełączany do stanu wysokiego a następnie niskiego z opóźnieniem 50 ms. Załączana jest tylko jedna dioda LED na raz, a potem załączenie przechodzi do następnego pinu i podłączonego do niego LED-a.

Przed wgraniem do płytki Arduino programu (szkicu) flasher.ino nie zapomnijcie wybrać odpowiedniego portu. Przypis redaktora: Sposób sterowania LED-ów w tym projekcie jest tak prosty, że z napisaniem programu poradzą sobie nawet początkujący elektronicy.

Montaż i testowanie

Jeśli chcecie wykonać dla układu płytkę drukowaną, jej obraz przedstawia **rysunek 4**, a położenie elementów – **rysunek 5**. Diody LED muszą być zorientowane tak, jak pokazano na rysunku. Układ po zmontowaniu łącznie z płytką Arduino Uno umieszczamy w odpowiedniej obudowie.

Przed wmontowaniem układu do obudowy nie zapomnijcie wgrać kodu źródłowego (flasher.ino). Do przesłania kodu użyjemy kabla USB, przez który do układu dochodzi również zasilanie. Kiedy nie używamy kabla USB, musimy układ zasilić przez gniazdo CON1 z zasilacza napięcia stałego 12 V DC.

Dla wersji układu z rysunku 3 nie przedstawiamy rysunku płytki drukowanej. Można użyć płytki stykowej lub prototypowej. ■

S.C. Dwivedi

Materiał filmowy do artykułu:
https://youtu.be/68-2SEVCE-E

Materiały dodatkowe są dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY”, listopad 2022 (efymag.com)

REKLAMA



eprasa.pl 39bd2886e9

Automatyczny szlaban rozpoznający numer rejestracyjny

W dużych budynkach, np. centrach handlowych czy hotelach, szlabany przy wjazdach do garażu są zwykle wyposażone w systemy rozpoznawania pojazdów oparte na podczerwieni. Samochody uprawnione, np. personelu, są sprawdzane skanerem, który odczytuje słabe promieniowanie podczerwone znacznika umieszczonego na przedniej szybie pojazdu. Jeśli znacznik znajduje się w bazie danych, szlaban zostaje otwarty. Proces ten przebiega dość sprawnie i na ogół działa bez przeszkód. Występuje jednak problem, gdy znacznik zostanie zgubiony, uszkodzony lub nie daje się odczytać z innego powodu.



Rysunek 1. Prototyp autora

System proponowany w artykule rozwiązuje takie problemy. Gdy pojazd zbliża się do szlabanu, głośnik automatycznie prosi kierowcę o zwolnienie i zatrzymanie się na chwilę w odległości czterech metrów od skanera. Następnie kamera o dużej rozdzielczości odczytuje numer z tablicy rejestracyjnej pojazdu i sprawdza, czy numer ten znajduje się w bazie danych. Jeśli zostanie on znaleziony, szlaban otworzy się automatycznie, a kierowca zostanie poinformowany przez głośnik o możliwości kontynuowania jazdy.

Za każdym razem gdy przez bramkę przejeżdża nowy pojazd, jego numer rejestracyjny jest wpisywany do bazy danych na wypadek, gdyby gość ten później regularnie odwiedzał to miejsce.

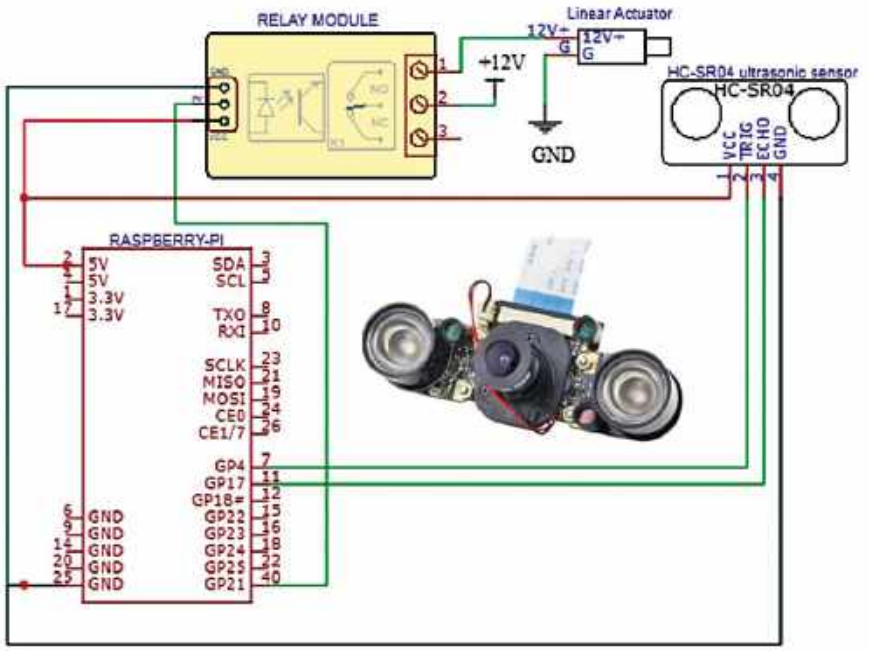
System nie wymaga przyklejania znaczników podczerwonych na przedniej szybie pojazdów, ani też stosowania dużej anteny dyskowej skanera przy szlabanie.

Proces odczytywania numerów można by było udoskonalić poprzez użycie lepszej kamery i komputera, tak że zbędne stałoby się zatrzymywanie pojazdu. Do tego wymagana byłaby mocniejsza wersja mikrokomputera – Raspberry Pi 4. Do pomiaru odległości można by było zastosować analizę obrazu z kamery. Aby jednak zachować prosty sposób pomiaru, zaleca się zastosowanie czujnika ultradźwiękowego HC-SR04. W momencie, gdy pojazd zbliży się na odległość czterech metrów, kamera wykonuje zdjęcie przodu pojazdu i porównuje jego numer rejestracyjny z numerami już przechowywanymi w bazie danych.

HC-SR04 nie może mierzyć odległości większych niż cztery metry. Aby system rozpoznawał numery z dalszej odległości – powiedzmy z sześciu metrów – czujnik z przewodami można zamontować na szlabanie na dwumetrowym ramieniu wystającym przed kamerę. Po otwarciu szlabanu ramię podnosi się razem z nim.

Do wydawania instrukcji głosowych kierowcom można użyć syntezatora mowy „espeak". Mogą to być komunikaty „dzień dobry„, proszę zwolnić", „proszę jechać" itp.

Dla tego typu systemu odległość wykrywania od czterech do sześciu metrów jest zazwyczaj wystarczająca. Aby zasięg zwiększyć jeszcze bardziej



Rysunek 2. Schemat ideowy układu

eprasa.pl 39bd2886e9

– do dwunastu metrów – można użyć kamery TFMini-S (apertura 3,4 stopnia). W systemie ze znacznikami podczerwonymi prawidłowa odległość wynosi około dwóch metrów od skanera, dlatego kierowcy pojazdów są często proszeni o podjechanie bliżej.

Jeśli ktoś myśli, że system może zostać oszukany przez człowieka trzymającego tablicę rejestracyjną w rękach, to zapewniamy, że jest to wykluczone. System używa modelu klasyfikatora samochodów „haarcascade_russian_plate_number.xml", a model ten przede wszystkim identyfikuje obecność samochodu. Dopiero potem jest lokalizowana i odczytywana tablica rejestracyjna.

Autorski prototyp systemu pokazano na **rysunku 1**. Części użyte w projekcie są wymienione w Liście elementów. **Rysunek 2** przedstawia schemat układu.

Prototyp był przeznaczony wyłącznie do celów testowych. Jako wskaźnika działania szlabanu użyto diody LED. W prawdziwym zastosowaniu LED zastąpimy przekaźnikiem załączającym siłownik liniowy otwierający szlaban.

Do złącza HDMI modułu Raspberry Pi podłączamy wyświetlacz HDMI. Czujnik ultradźwiękowy dołączamy do pinów wejścia/wyjścia (GPIO) Raspberry Pi (rysunek 2). Następnie do złącza kamery modułu podłączamy kamerę jej kablem taśmowym. Pin Raspberry Pi sterujący otwieraniem/zamykaniem szlabanu (GP21) dołączamy do diody LED przekaźnika półprzewodnikowego załączającego siłownik (rysunek 2). Zdjęcia wyświetlacza, czujnika ultradźwiękowego i kamery pokazano na **rysunkach odpowiednio 3**, **4** i **5**.

Oprogramowanie dla projektu zostało sporządzone w języku Python IDLE. Użyto modułów opencv2, espeak, PiCamera, gpiozero, pytesseract, tesseract-ocr i numpy. Wszystkie stanowią oprogramowanie open source. Można je łatwo zainstalować na dowolnym komputerze Raspberry Pi z systemem Linux poniższymi poleceniami:

```
# sudo apt-get update
# sudo apt-get upgrade
# sudo pip3 install pillow
# sudo pip3 install pytesseract
# sudo apt-get install tesseract-ocr
# sudo pip3 install opencv-python
# sudo pip3 install numpy
# sudo apt-get install espeak
# sudo apt install python3-gpiozero
# sudo pip3 install gpiozero
# sudo apt-get install
python3-picamera
```

Po wprowadzeniu programu testujemy odczytywanie przez system tablic rejestracyjnych pojazdów. Najpierw HC-SR04 sprawdza, czy pojazd znajduje się w odległości od czterech do sześciu metrów od kamery. Jeśli nie, system powinien poprosić kierowcę o zbliżenie pojazdu na wymaganą odległość. Gdy samochód znajdzie się na miejscu, kamera zrobi zdjęcie przedniej



Rysunek 3. Wyświetlacz LCD



Rysunek 4. Czujnik ultradźwiękowy



Rysunek 5. Kamera Raspberry Pi

```
import cv2
import pytesseract as tess
from gpiozero import LED
from time import sleep
gate = LED(21)

#UPDATE YOUR DATABASE IN THE FOLLOWING STRING
carpool=['OR06F4010','UP16BY3569','MP13CA7644','MH03AW8444','MH03AW8444']
def check(image_file):
  #carpool=["OR06F4010","UP16BY3569","MP13CA7644","MH03AW8444"]
  width1 =  [650,660,670] #560,570,580,590,600,610,620,630,640,650,660,670]   #670 800
  height1 = 475   #475
  for wd in width1:
  # load the image, resize it, and convert it to grayscale
   image = cv2.imread(image_file)  #"6.jpeg")
   image = cv2.resize(image, (wd, height1))
   gray = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2GRAY)

# load the number plate detector
   n_plate_detector = cv2.CascadeClassifier("haarcascade_russian_plate_number.xml")
# detect the number plates in the grayscale image
   detections = n_plate_detector.detectMultiScale(gray, scaleFactor=1.05, minNeighbors=7)

# loop over the number plate bounding boxes
   for (x, y, w, h) in detections:
    # draw a rectangle around the number plate
    cv2.rectangle(image, (x, y), (x + w, y + h), (0, 255, 255), 2)
    cv2.putText(image, "Number plate detected", (x - 20, y - 10),
                cv2.FONT_HERSHEY_COMPLEX, 0.5, (0, 255, 255), 2)

    # extract the number plate from the grayscale image
    number_plate = gray[y:y + h, x:x + w]
    number_plate = cv2.resize(number_plate,(170,100))  #170,100

   text = tess.image_to_string(number_plate, lang='eng')
   text = text.strip()
   text = text.replace(" ","")
   if(text.isalnum()==True):
     print("Number Plate: ",wd,text )
     for car in carpool:
```
Rysunek 6. Fragment programu w języku Python

eprasa.pl 39bd2886e9



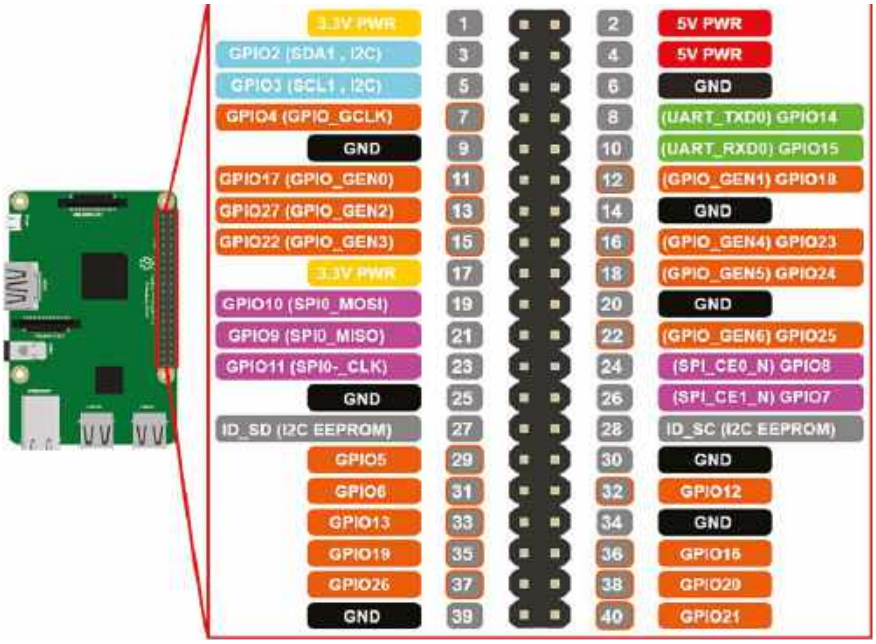
Rysunek 7. Wykrywanie samochodu i odczyt tablicy rejestracyjnej

części pojazdu i system sprawdzi, czy jest to rzeczywiście pojazd samochodowy. Jeśli tak, to kamera wykonuje zbliżenie na tablicę rejestracyjną i jej treść zostaje poddana analizie. Z numeru usuwane są nieistotne znaki (np. myślniki i odstępy), zostaje on odczytany i wprowadzony do systemu. Numery uprawnionych pojazdów są przechowywane w bazie danych zrealizowanej jako tablica ciągów znakowych oddzielonych przecinkami (carpool). Każdy odczytany numer jest porównywany z numerami w bazie danych. Jeśli zostanie wykryta zgodność, będzie uaktywniony pin GP21 i szlaban zostanie otwarty. W module Raspberry Pi jest wiele wolnych pinów wejścia/wyjścia. Mogą one zostać użyte do sterowania dodatkowej bramki, sygnalizacji (światło czerwone i zielone) itp.

Baza danych systemu jest niewielka. Mieści się w jednowymiarowej tablicy ciągów znaków carpool, mogącej pomieścić do 200 numerów. Jej przykładowa zawartość:

```
carpool=['OR06F4630','UP16BY0538','
MP10CA4768','MH03AW2684','MHO3AW2684']
```

Podczas sprawdzania systemu w rzeczywistych warunkach autor odkrył, że w przypadku zastosowania taniej kamery mogą się pojawić problemy przy słabym oświetleniu. To, co dobrze widać w ciągu dnia, staje się niewyraźne w nocy. Użycie kamery dobrej jakości problem ten rozwiązało. Dodatkowo autor dołączył do systemu źródło światła podczerwonego, co znacznie poprawiło działanie w nocy.



Rysunek 8. Układ pinów modułu Raspberry Pi

W prototypie zastosowano 5-metrowy przedłużacz sygnału z kamery, dzięki czemu mogła ona zostać umieszczona na środku wysięgnika szlabanu.

Ekran dotykowy TFT, klawiatura, mysz itp. są opcjonalne. Gdy system zacznie być używany w warunkach rzeczywistych, elementy te mogą zostać usunięte.

W projekcie można użyć Raspberry Pi 4 lub Pi 3. Głośnik należy podłączyć do gniazda słuchawkowego. W celu głośniejszego i wyraźniejszego odtwarzania głosu można zastosować wzmacniacz akustyczny lub głośnik bezprzewodowy z Bluetooth. Syntezator mowy „espeak" ma szereg opcji, takich jak „espeak", „-ven+f3" czy „abcdefgh 1234567890". Opcja „-ven+f3" służy do odtwarzania głosu żeńskiego. Opisy innych opcji można znaleźć w Internecie.

Fragment kodu źródłowego w Pythonie pokazano na **rysunku 6**.

Testowanie

W celu przetestowania systemu należy dołączyć do Raspberry Pi zasilanie i uruchomić program. Pokazany na **rysunku 7** samochód jest jednym z kilku, z którymi autor testował swój prototyp. Kierowca każdego pojazdu był proszony o zwolnienie w odległości od sześciu do czterech metrów od kamery.

Prototyp był w stanie trafnie identyfikować samochody, odczytywać ich tablice rejestracyjne, porównywać numery z zawartością tablicy carpool i, aktywując pin GP21 modułu Raspberry Pi, otwierać szlaban. Czasami jednak mylił cyfrę 0 z literą O. Można temu zaradzić na poziomie logicznym, traktując znaki na pozycjach 3,4,7,8,9 i 10 zawsze jako cyfry, a pozostałe jako litery.

Przypis redaktora: odnosi się to oczywiście do numerów rejestracyjnych stosowanych w Indiach.

Zasady obowiązujące w Polsce można znaleźć np. w Wikipedii (https://pl.wikipedia.org/wiki/Tablice_rejestracyjne_w_Polsce).

Główny skrypt Pythona automatic-numberplate identification.py, działający bez przerwy przez długi okres czasu, spisywał się prawidłowo.

Układ pinów na złączu Raspberry Pi przedstawia **rysunek 8**. ■

Somnath Bera

Lista elementów	
element	**liczba sztuk**
Mikrokomputer Raspberry Pi 3 lub Pi 4, 4 lub 8 GB pamięci RAM	1
Kamera Raspberry Pi	1
Czujnik ultradźwiękowy HC-SR04	1
7-calowy wyświetlacz dotykowy do Raspberry Pi	1
Zasilacz napięcia stałego 5 V/2 A	1
Głośnik	1

Materiał filmowy do artykułu: https://youtu.be/qL-MEmkII8A

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY", kwiecień 2023 (efymag.com)

eprasa.pl 39bd2886e9

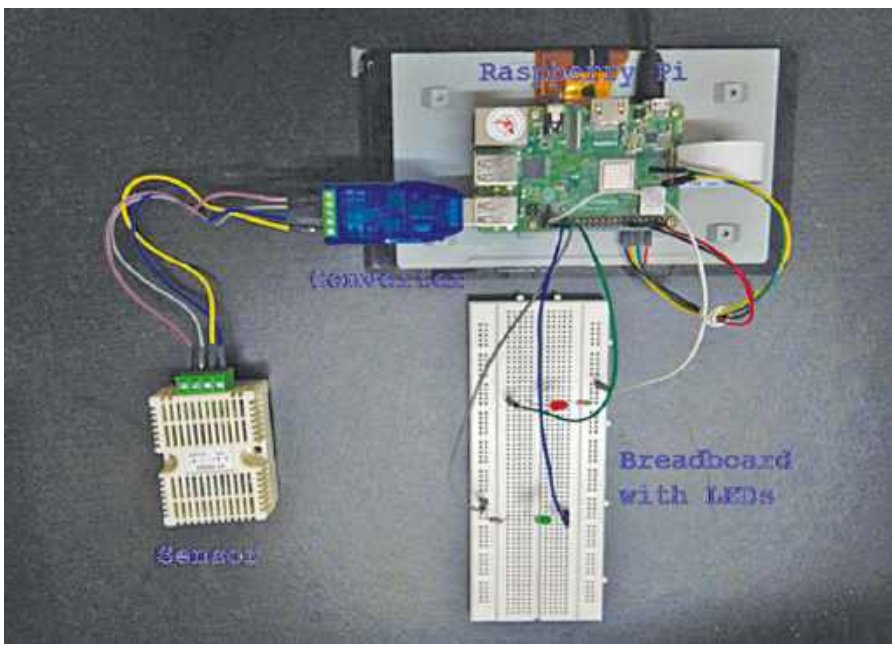
Udostępnianie danych z czujników przemysłowych w systemach Edge Computing z wykorzystaniem EdgeX

Do prototypowania oraz projektów przemysłowych często potrzebne są czujniki, urządzenia i platformy klasy przemysłowej, takie jak EdgeX. Przemysłowe czujniki korzystają z innych interfejsów i metod integracji niż typowe moduły hobbystyczne, dlatego ich współpraca z Raspberry Pi i platformami edge computing może być mniej oczywista. Dlatego w artykule opisano wykorzystanie platformy EdgeX oraz przemysłowego czujnika we współpracy z Raspberry Pi.

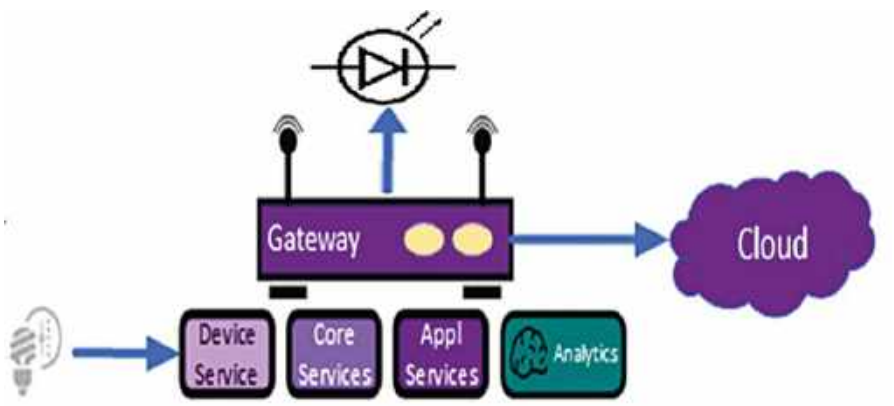
Naszym zadaniem będzie odczytywanie temperatury i wilgotności z czujnika SHT20. Funkcję bramy będzie realizował framework EdgeX działający na Raspberry Pi. Korzystając z mikrousług frameworka EdgeX, będziemy przetwarzać dane z czujnika i przesyłać je do chmury. Jeśli temperatura przekroczy ustalone wartości progowe, zaświecą się diody LED. Autorski prototyp pokazano na **rysunku 1**.

Framework EdgeX skraca czas wdrażania produktu, udostępniając gotowe usługi do pozyskiwania danych z urządzeń, ich normalizacji, analizy brzegowej oraz wymiany danych pomiędzy usługami IoT i aplikacjami przetwarzania brzegowego. W przedstawionym studium przypadku pokazano wykorzystanie funkcji frameworka EdgeX do monitorowania temperatury i wilgotności za pomocą przemysłowego przetwornika SHT20.

Typowy schemat blokowy systemu wykorzystującego platformę EdgeX przedstawiono na **rysunku 2**. Został on zaczerpnięty ze strony: https://docs.edgexfoundry.org/1.3/general/EdgeX_deployments.png



Rysunek 1. Prototyp autora



Rysunek 2. Wysokopoziomowy schemat blokowy przetwarzania brzegowego z wykorzystaniem EdgeX

Wymagania wstępne

Do korzystania z EdgeX oraz przemysłowego czujnika temperatury potrzebny jest system operacyjny, na przykład Ubuntu dla Raspberry Pi 4. Najnowszą wersję systemu Ubuntu można pobrać z poniższego adresu. Znajduje się tam również opis przygotowania karty SD:
https://ubuntu.com/tutorials/how-to-install-ubuntu-on-your-raspberry-pi#1-overview

eprasa.pl 39bd2886e9

Instalacja Ubuntu

Po przygotowaniu karty micro SD z systemem Ubuntu, przed uruchomieniem Raspberry Pi należy wprowadzić następujące zmiany:

1. Włączenie portów USB do obsługi klawiatury wymaga dodania w pliku /boot/config.txt poniższej linii:
   ```
   max_usb_current=1
   ```
2. Obsługa wyświetlacza wymaga włączenia portów HDMI, co jest możliwe po dodaniu w pliku /boot/config.txt poniższych linii:
   ```
   hdmi_force_hotplug=1
   hdmi_drive=2
   ```
3. Obsługę SSH można włączyć przez utworzenie pustego pliku ssh w katalogu /boot.

Po wprowadzeniu powyższych zmian można uruchomić Raspberry Pi, podłączając je do zasilacza 5 V DC oraz do telewizora lub monitora za pomocą interfejsu HDMI. Należy również zapewnić dostęp do Internetu przez sieć LAN, Wi-Fi lub tethering USB z telefonu komórkowego.

Następnie zaloguj się przy użyciu domyślnych danych logowania (ubuntu/ubuntu), zmień hasło i sprawdź przydzielony adres IP za pomocą polecenia sudo ip addr. Raspberry Pi powinno mieć również dostęp do Internetu, wymagany do komunikacji z usługami chmurowymi. Połączenie SSH z Raspberry Pi można nawiązać z innego urządzenia w tej samej sieci lokalnej.

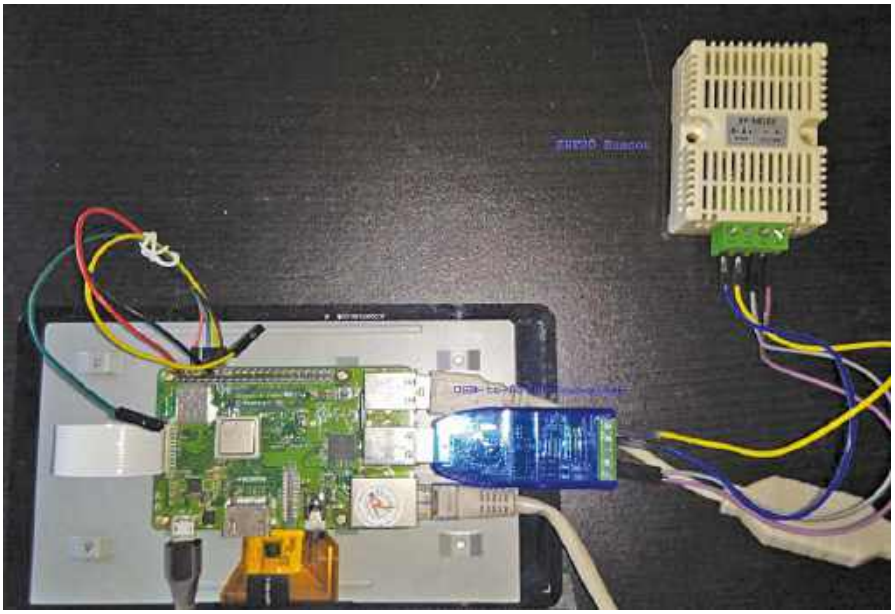
Następnie należy zainstalować framework EdgeX w systemie operacyjnym. Można to zrobić na kilka sposobów. Szczegółowy opis instalacji zamieszczono na stronie: https://wiki.edgexfoundry.org/display/FA/Running+on+a+RaspberryPi

Instalacja mikrousług EdgeX za pomocą pakietów Snap jest prosta, jednak takie pakiety działają w trybie tylko do odczytu. W praktyce utrudnia to debugowanie mikrousług, na przykład usług urządzeń EdgeX, ponieważ nie można swobodnie modyfikować konfiguracji ani kodu. Aby obejść to ograniczenie i umożliwić debugowanie, można pobrać kod źródłowy z serwisu GitHub, a następnie samodzielnie go skompilować i uruchomić.

Weryfikacja działania czujnika

Użyty w projekcie czujnik SHT20 jest przemysłowym przetwornikiem temperatury i wilgotności komunikującym się przez interfejs RS485 z wykorzystaniem protokołu Modbus.

Czujnik przesyła wartości temperatury i wilgotności pomnożone przez 10, dlatego po odebraniu danych należy podzielić je przez 10, aby uzyskać rzeczywiste wyniki pomiarów.

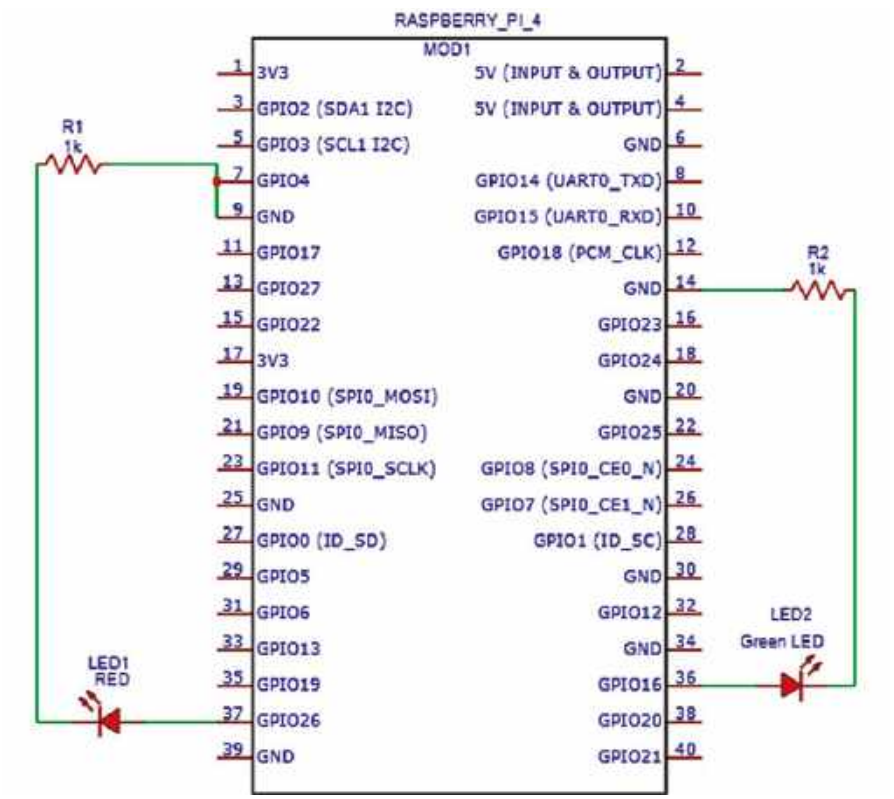


Rysunek 3. Czujnik SHT20 podłączony do Raspberry Pi za pomocą konwertera USB-RS485

Do komunikacji z czujnikiem użyto przemysłowego półdupleksowego konwertera USB-RS485. Czujnik połączono z konwerterem za pomocą przewodów połączeniowych. Na **rysunku 3** pokazano połączenie czujnika SHT20 z Raspberry Pi za pośrednictwem konwertera USB-RS485.

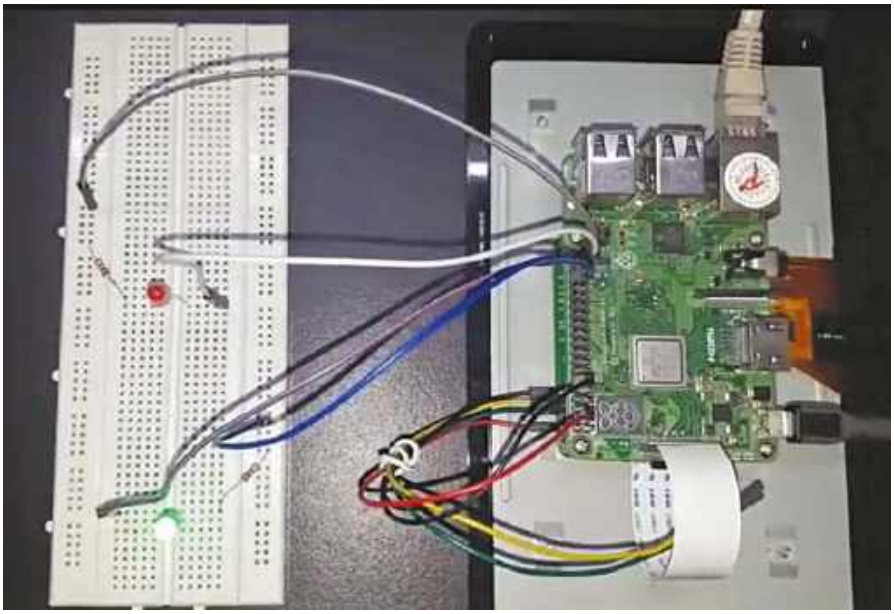
Odczyt wartości

Naszym celem jest sprawdzenie działania czujnika bez użycia frameworka EdgeX, aby zweryfikować poprawność jego pracy. Autor przetestował komunikację Modbus z czujnikiem za pomocą programu napisanego w języku C. Program wykorzystuje bibliotekę libmodbus, udostępniającą funkcje do wysyłania i odbierania komunikatów w protokole Modbus.



Rysunek 4. Schemat połączenia portów GPIO z diodami LED na płytce stykowej

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 5. Rzeczywiste połączenia portów GPIO z diodami LED na płytce stykowej

```
---------------------------------
root@ubuntu:/home/ubuntu/ test#
gcc -o readVaules read_sensor_
values.c `pkg-config --cflags --libs
libmodbus`
root@ubuntu:/home/ubuntu/test#./
readVaules
Setting slave_id 1
Opening /dev/ttyUSB0 at 9600 bauds
(N, 8, 1)
[01][04][00][01][00][02][20][0B]
Waiting for a confirmation...
<01><04><04><01> <4A><02><19><1B><04>
Temperature = 33.000000 & Humidity =
53.700000
root@ubuntu:/home/ubuntu/test#
```

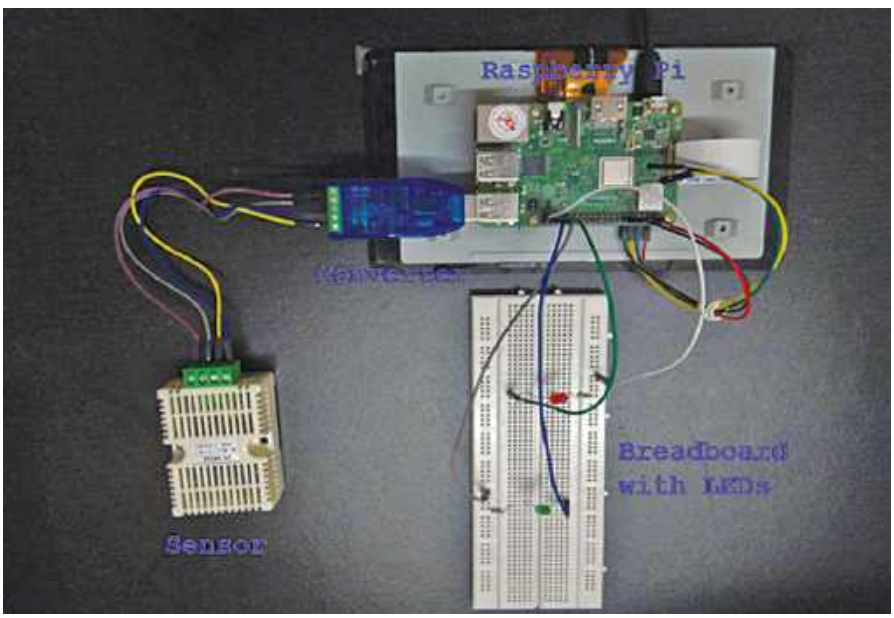
Dekodowanie komunikatów Modbus

Zdekodujmy przykładowe komunikaty wysłane do czujnika oraz odebrane z niego.

Żądanie wysłane do czujnika:

```
01 04 00 01 00 02 20 0B
```

Wysłane kody	Znaczenie wysłanych kodów
01	Identyfikator urządzenia Slave
04	Funkcja, read_input_registers
00 01	Adres rejestru
00 02	Liczba rejestrów do odczytania
20 0B	Suma kontrolna CRC



Rysunek 6. Fizyczne połączenia dla przepływu danych end-to-end

Odpowiedź odebrana z czujnika:

```
01 04 04 01 4A 02 1A 5B 05
```

Odebrane kody	Znaczenie odebranych kodów
01	Identyfikator urządzenia Slave
04	Funkcja, read_input_registers
04	Licznik bajtów
01 4A	Dana 1, Temperatura
02 1A	Dana 1, Wilgotność
5B 05	Suma kontrolna CRC

Otrzymana wartość temperatury to 0x014A, czyli 330 w zapisie dziesiętnym. Czujnik SHT20 przesyła wartości pomnożone przez 10, dlatego rzeczywista temperatura wynosi 33,0°C.

Podobnie odebrana wartość wilgotności to 0x021A, czyli 538 w zapisie dziesiętnym. Po podzieleniu przez 10 otrzymujemy rzeczywistą wilgotność równą 53,8% RH.

Weryfikacja sterowania GPIO

Do sprawdzenia sterowania diodami LED za pomocą GPIO potrzebne są: płytka prototypowa, diody LED, rezystory oraz przewody połączeniowe.

Podobnie jak wcześniej, przed użyciem frameworka EdgeX należy najpierw sprawdzić działanie samych połączeń i sterowania diodami LED. Na schemacie logicznym z **rysunku 4** pokazano połączenie portów GPIO Raspberry Pi z diodami LED umieszczonymi na płytce stykowej.

Autor przetestował sterowanie diodami LED za pomocą programu napisanego w języku Python. Pakiet RPi.GPIO udostępnia funkcje umożliwiające sterowanie portami GPIO Raspberry Pi.

Na rysunku 4 pokazano schemat połączeń portów GPIO z diodami LED na płytce stykowej, natomiast **rysunek 5** przedstawia rzeczywisty układ połączeń wraz z działającą zieloną diodą LED.

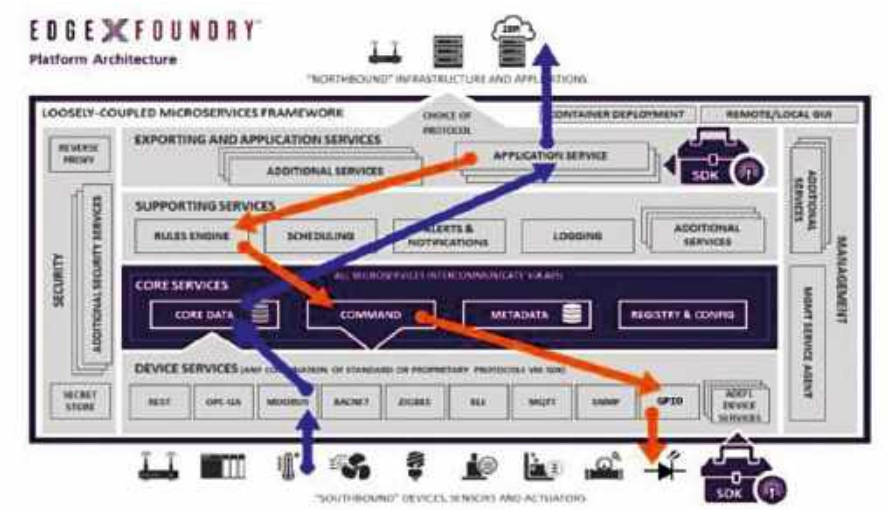
Przepływ danych end-to-end

Rozważmy teraz wykorzystanie frameworka EdgeX do odczytywania danych z czujnika i przesyłania ich do chmury oraz do sterowania diodami LED po przekroczeniu zadanych progów temperatury. Raspberry Pi pełni w tym układzie funkcję bramy IIoT. Fizyczne połączenia wykorzystywane w przepływie danych end-to-end pokazano na **rysunku 6**.

Mikrousługi w EdgeX

Przepływ danych oznaczony niebieskimi strzałkami na **rysunku 7** przebiega od czujnika do chmury. Z kolei przepływ danych oznaczony pomarańczowymi strzałkami

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 7. Architektura frameworka EdgeX

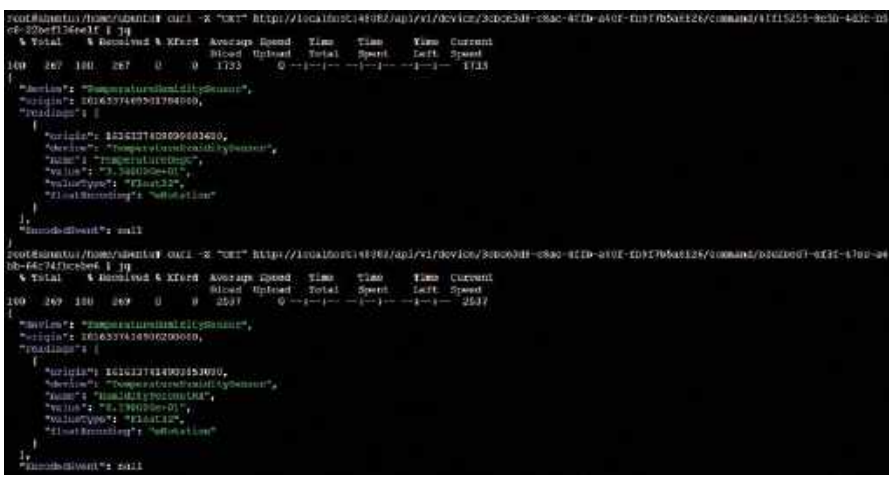
odbywa się od usługi aplikacji do diod LED sterowanych przez GPIO.

Dla przepływu danych z czujnika do chmury:

- Usługa urządzenia Modbus co 5 sekund pobiera za pomocą komunikatów Modbus wartości temperatury i wilgotności z czujnika. Pobieranie danych co 5 sekund odbywa się za pomocą funkcji Auto Events w usłudze urządzenia Modbus.
- Usługa urządzenia Modbus przelicza dane współczynnikiem 0,1 przed wysłaniem danych czujnika do usług podstawowych.
- Dane z czujnika są tymczasowo przechowywane w usługach podstawowych i odbierane w usłudze aplikacji w oparciu o konfigurację w usłudze aplikacji.
- Wartości danych z czujnika można pobierać i weryfikować za pomocą interfejsów poleceń API REST.
- Usługa aplikacji przesyła dane z czujnika do chmury skonfigurowanej w pliku configuration.toml.
- Wartości z czujnika można monitorować za pomocą portalu IBM Cloud Portal.

Dla przepływu danych od usługi aplikacji do sterowania diodami LED:

- Usługa aplikacji wysyła dane z czujnika do silnika reguł na podstawie konfiguracji. Silnikiem reguł jest Kuiper.
- Wymagane reguły należy dodać do silnika reguł przed otrzymaniem danych z czujnika z usługi aplikacji, tak aby możliwe było wykonywanie odpowiednich poleceń GPIO zdefiniowanych w regułach.
- Diody LED, które muszą być włączane/wyłączane, są już skonfigurowane w usłudze urządzeń GPIO. W tym przypadku pin GPIO-12 jest skonfigurowany z czerwoną diodą LED, a pin GPIO-14 jest skonfigurowany z diodą niebieską. Polecenia GPIO-12 i GPIO-14 zostały powiązane z odpowiednimi regułami w Kuiperze.
- W przedstawionym przykładzie przyjęto następujące wartości progowe: niebieska dioda LED musi świecić, jeśli temperatura spadnie poniżej 28 stopni, a czerwona dioda LED musi świecić, jeśli temperatura przekroczy 30 stopni. W zakresie od 28°C do 30°C obie diody LED powinny być wyłączone.
- Dane z czujnika odebrane przez Kuipera są analizowane zgodnie ze skonfigurowanymi regułami, a po osiągnięciu wartości progowych wykonywane są odpowiednie polecenia GPIO.
- Na podstawie poleceń wydawanych przez Kuipera, usługa urządzenia GPIO włącza lub wyłącza odpowiednie diody LED.



Rysunek 8. Wartości z czujnika przechwycone przez usługę podstawową

Analiza przepływu danych

W tej części artykułu przeanalizujemy przepływ danych na poszczególnych etapach komunikacji pomiędzy czujnikiem, usługami EdgeX i chmurą.

Usługa urządzenia Modbus odczytuje z czujnika wartości temperatury i wilgotności co 5 sekund za pomocą komunikatów Modbus. Poniżej przedstawiono przykładowe wpisy dziennika komunikacji Modbus ze studium przypadku:

```
---------------------------------
2021/03/02 14:35:21 modbus: wysyłanie
01 04 00 01 00 01 60 0a
2021/03/02 14:35:21 modbus: odebrano 01
04 02 01 50 b8 9c
---------------------------------
```

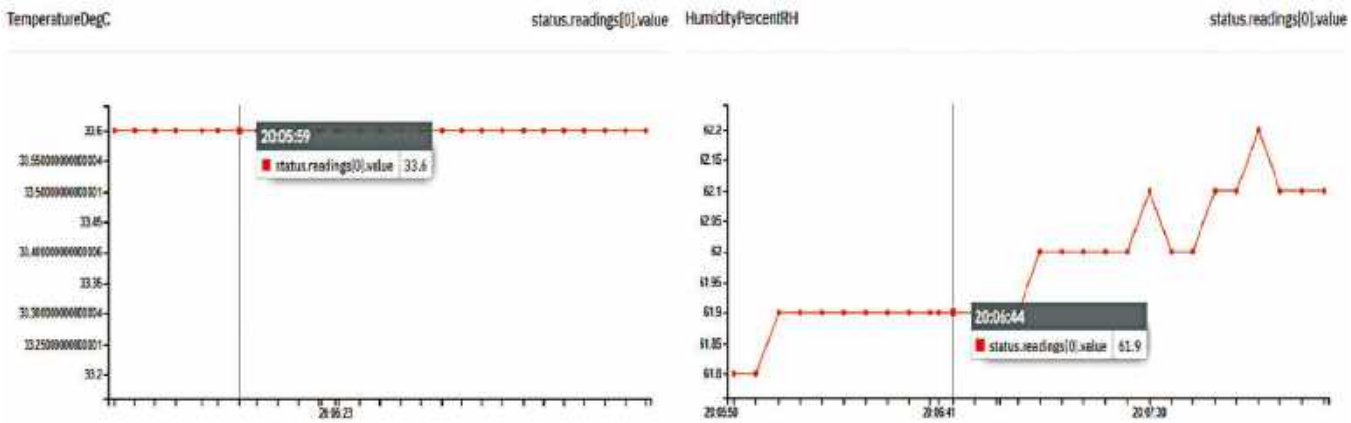
Komunikaty wysyłane do i odbierane z czujnika są dekodowane w sposób przedstawiony poniżej:

Wysłane kody	Znaczenie wysłanych kodów
01	Identyfikator urządzenia Slave
04	Funkcja, read_input_registers
00 01	Adres rejestru
00 01	Liczba rejestrów do odczytania
60 0a	Suma kontrolna CRC

Odebrane kody	Znaczenie odebranych kodów
01	Identyfikator urządzenia Slave
04	Funkcja, read_input_registers
02	Licznik bajtów
01 50	Dana, temperatura
b8 9c	Suma kontrolna CRC

Otrzymana wartość temperatury to 0x0150, czyli 336 w zapisie dziesiętnym. Czujnik SHT20 przesyła wartości pomnożone przez 10, dlatego rzeczywista temperatura wynosi 33,6°C.

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 9. Dane z czujnika wyświetlane w portalu IBM Cloud

Usługi podstawowe i usługi aplikacji

Wartości danych z czujnika przechwycone przez usługę podstawową za pomocą interfejsów API REST pokazano na **rysunku 8**.

Usługa aplikacji przesyła dane do chmury IBM skonfigurowanej w pliku configuration.toml. Poniżej przedstawiono przykładowe wpisy dziennika usługi aplikacji podczas wysyłania danych do chmury:

```
---------------------------------
level=DEBUG ts=2021-
03-21T14:35:48.355521757Z
app=AppService- source=runtime.
go:59 msg="Processing message: 5
Transforms"
level=DEBUG ts=2021-
03-21T14:35:48.36118818Z
app=AppService- source=filter.go:44
msg="Filtering by DeviceID"
level=DEBUG ts=2021-03-
21T14:35:48.364375438Z app=
AppService- source=filter.go:86
msg="Filtering by ValueDescriptor"
level=DEBUG ts=2021-03-
21T14:35:48.367788325Z app=
AppService- source=conversion.go:62
msg="Transforming to JSON"
level=DEBUG ts=2021-03-
21T14:35:48.371520359Z app= AppService-
source=mqtt.go:138 msg="Sent
data to MQTT Broker"
level=DEBUG ts=2021-03-
21T14:35:48.37480595Z app= AppService-
source=context.go:80 msg="Marking
event as pushed"
---------------------------------
```

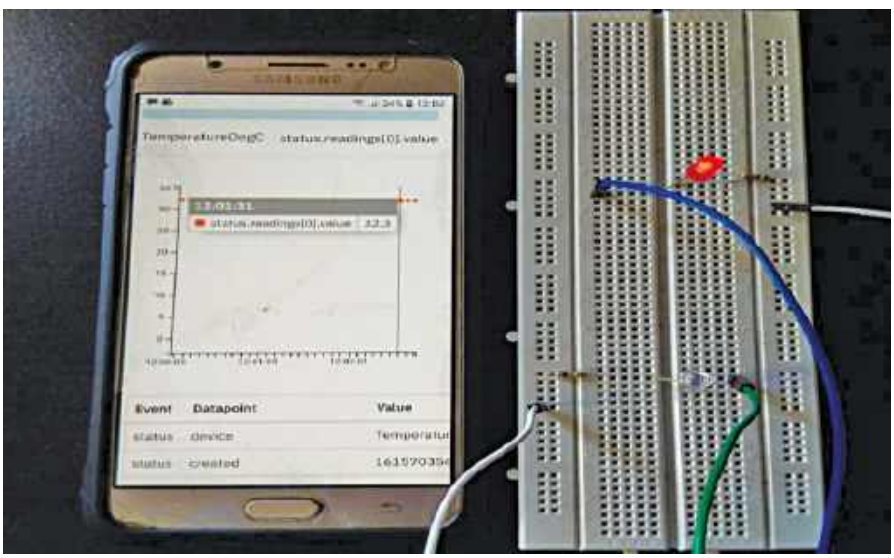
Na **rysunku 9** pokazano przykładowe dane z czujnika wyświetlane w portalu IBM Cloud: https://internetofthings.ibmcloud.com

Silnik reguł

Inna usługa aplikacji przesyła dane do silnika reguł Kuiper, który steruje diodami LED przez wyzwalanie odpowiednich poleceń GPIO po przekroczeniu zadanych progów temperatury. Kuiper odbiera dane z czujnika przesyłane przez usługę aplikacji i wykonuje wcześniej skonfigurowane reguły.

Poniżej przedstawiono kroki wymagane do skonfigurowania reguł w Kuiperze:

```
---------------------------------
bin/kuiper drop stream edgex_data
bin/kuiper create stream edgex_data"()
WITH(FORMAT=\"JSON\", TYPE=\"edgex\")"
bin/kuiper create rule red_led_
on -f rule1.txt
bin/kuiper create rule red_led_
off -f rule2.txt
bin/kuiper create rule blue_led_
off -f rule3.txt
bin/kuiper create rule blue_led_
on -f rule4.txt
---------------------------------
```



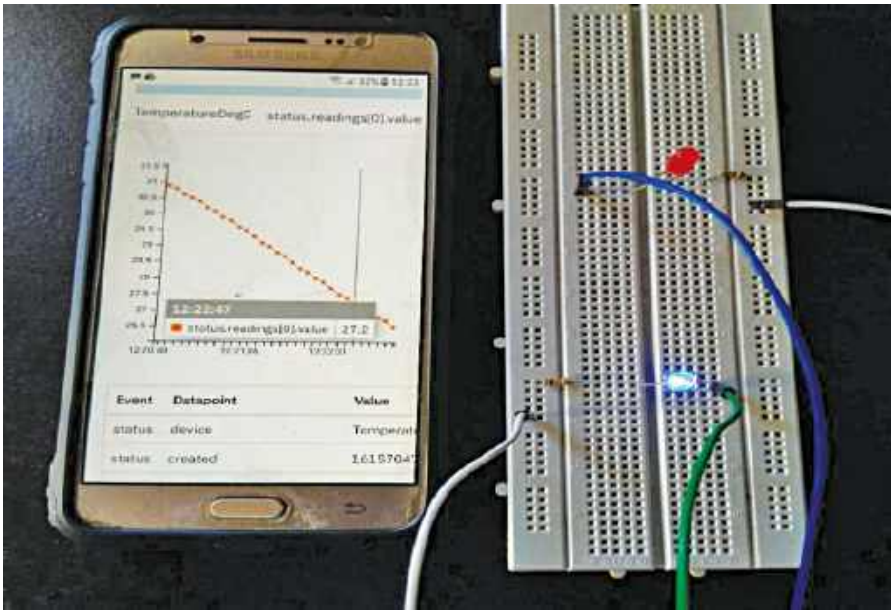
Rysunek 10. Działanie czerwonej diody LED wraz z odpowiadającymi wartościami

Z powyższego wynika, że rule1.txt włącza czerwoną diodę LED po przekroczeniu temperatury 30°C, natomiast rule2.txt wyłącza ją po spadku temperatury poniżej 30°C. Analogicznie rule3.txt wyłącza niebieską diodę LED po przekroczeniu temperatury 28°C, a rule4.txt włącza ją po spadku temperatury poniżej 28°C.

Poniżej przedstawiono wpisy dziennika po włączeniu czerwonej diody LED:

```
---------------------------------
root@ubuntu:/home/ubuntu/new_testing/
kuiper/kuiper/_build/kuiper-1.1.1-4-
g24892eb-linuxaarch64#tail -f./log/
stream.log
time="2021-03-02 14:35:21"
level=info msg="sink result
for rule blue_led_off:
[{\"TemperatureDegC\":33.6}]"
file="sinks/log_sink.go:16"
rule=blue_led_off
time="2021-03-02 14:35:21"
```


eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 11. Działanie niebieskiej diody LED wraz z odpowiadającymi wartościami

Wykaz elementów

Komponent	Liczba sztuk
Raspberry Pi 4	1
Karta SD	1
Diody LED	2
Przemysłowy czujnik temperatury i wilgotności SHT20 (XY-MD02) z interfejsem Modbus	1
Zasilacz 5 V DC, 2 A	1
Płytka stykowa	1
Przemysłowy konwerter USB–RS485 z układem CH340	1

```
level=info msg="sink
result for rulered_led_on:
[{\"TemperatureDegC\":33.6}]"
file="sinks/log_sink.go:16"
rule=red_led_on
--------------------------------
```

Zamiast sterowania diodami LED w zastosowaniach przemysłowych można w analogiczny sposób sterować przekaźnikami, elektrozaworami lub innymi elementami wykonawczymi.

Usługa GPIO

Usługa GPIO włącza lub wyłącza diody LED po wyzwoleniu odpowiedniego polecenia GPIO przez silnik reguł Kuiper.

Na **rysunku 10** pokazano działanie czerwonej diody LED wraz z bieżącymi wartościami wyświetlanymi w portalu IBM Cloud. **Rysunek 11** przedstawia działanie niebieskiej diody LED wraz z odpowiadającymi jej wartościami pomiarowymi. ■

Vijay Kumar Gopu

Materiał filmowy do artykułu:
https://youtu.be/y-aKYZwCKrM

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY”, kwiecień 2023 (efymag.com)

REKLAMA



eprasa.pl 39bd2886e9

ELEKTRONIKA dla wszystkich
JUNIOR
nr 06/2026 (24)



Dawid – Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

Miesiąc temu obserwowaliśmy układ reagujący na dźwięki z otoczenia. Klaśnięcie, muzyka albo stuknięcie w stół zamieniały się w błyski światła. Tym razem będzie zupełnie inaczej – zamiast nasłuchiwać świata dookoła, spróbujemy wprawić elektronikę w ruch.

Czy miałeś już w szkole fizykę? A może dopiero przed Tobą pierwsze spotkania z pojęciami takimi jak moment pędu, siła odśrodkowa albo efekt żyroskopowy? Niezależnie od odpowiedzi warto wiedzieć jedno – fizyka wcale nie musi zaczynać się od wzorów zapisanych na tablicy. Czasem wystarczy rozpędzić zwykłego bączka.

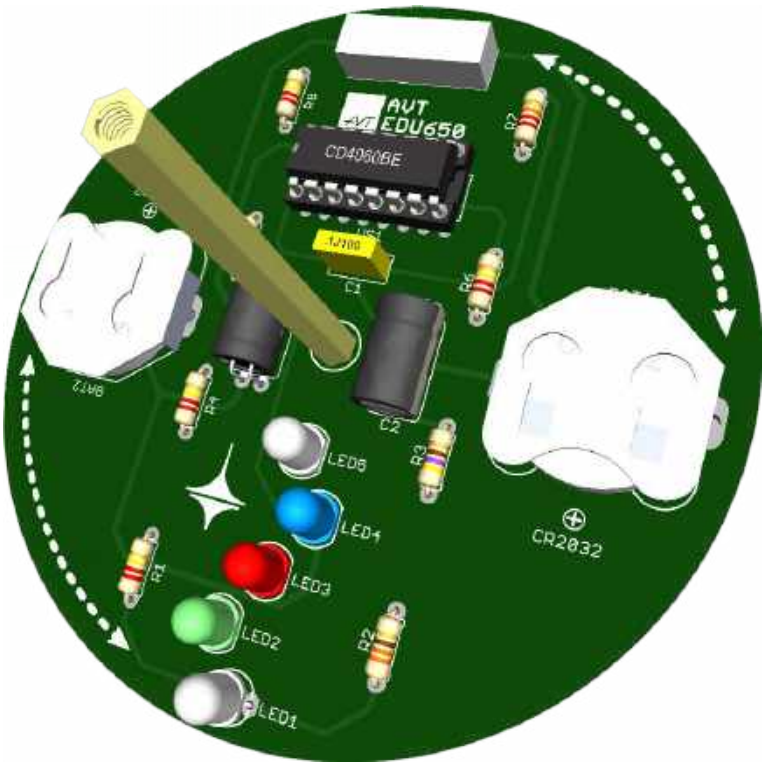
Ruch obrotowy od zawsze fascynował ludzi. Wirujące zabawki potrafią wręcz hipnotyzować, nawet wtedy, gdy są bardzo proste. Wystarczy odpowiednio szybko zakręcić bączkiem i nagle coś, co chwilę wcześniej było nieruchomym przedmiotem, zaczyna – wirując wokół własnej osi – podróżować po płaskiej powierzchni. Pojawia się stabilizacja, lekkie kołysanie, czasem charakterystyczne „tańczenie", a pod koniec chwianie zwiastujące upadek. Niby prosta dziecięca zabawka, a jednak kryje w sobie znacznie więcej, niż mogłoby się wydawać na pierwszy rzut oka.

Co zbudujemy tym razem?

Tym razem zbudujemy prawdziwą nowość w ofercie sklepu AVT – **Bączek** o nazwie kodowej **AVTEDU650**. Ta klasyczna zabawka w połączeniu z elektronicznie generowanymi efektami świetlnymi okazała się znacznie ciekawsza, niż można byłoby przypuszczać po samym schemacie ideowym. Kilka diod LED podczas wirowania przestaje wyglądać jak pojedyncze punkty światła. Zaczynają tworzyć kolorowe łuki, świetlne okręgi i wzory przypominające komputerowe animacje lub fotografie wykonywane nocą przy długim czasie naświetlania.

To, co dzieje się po uruchomieniu elektroniki, można zobaczyć dopiero po rozpędzeniu bączka. Gdy urządzenie leży nieruchomo, wyłącznik odśrodkowy pozostaje rozwarty, dlatego diody LED są wygaszone. Dopiero podczas wirowania układ sam się załącza, a pojedyncze punkty światła zaczynają tworzyć kolorowe okręgi i świetlne wzory.

W projekcie AVTEDU650 spotykają się więc trzy różne światy. Jest tu trochę klasycznej zabawy zręcznościowej, trochę



Rysunek 1. Bączek (kod AVTEDU650). Zmontowany układ



Fotografia 1. Kornel studiuje dokumentację bączka przed przystąpieniem do kolejnego etapu prac. Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

eprasa.pl 39bd2886e9

Zanim przystąpisz do montażu, zapoznaj się z instrukcjami dostępnymi online:

Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej
https://elportal.pl/files/2026/02/15/3678-lutowanie-komponentow-przewlekanych-do-plytki-drukowanej.pdf

Montaż przyjazny naprawom + Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń
https://elportal.pl/files/2026/02/15/3679-montaz-przyjazny-naprawom-przycinanie-nadmiaru-wyprowadzen.pdf

Zagadnienia BHP związane z lutowaniem
https://elportal.pl/files/2026/02/15/3680-zagadnienia-bhp-zwiazane-z-lutowaniem.pdf

Zagadnienia BHP związane z przycinaniem nadmiaru wyprowadzeń
https://elportal.pl/files/2026/02/15/3681-zagadnienia-bhp-zwiazane-z-przycinaniem-nadmiaru-wyprowadzen.pdf

Zagadnienia BHP związane z uruchamianiem zmontowanego układu
https://elportal.pl/files/2026/02/15/3682-zagadnienia-bhp-zwiazane-zuruchamianiem-zmontowanego-ukladu.pdf



Fotografia 2. Dawid z ciekawości sprawdza stabilność bączka wprawionego w ruch jeszcze przed zamontowaniem kompletu elementów. Jak widać, zaproponowana konstrukcja potrafi rozbudzić ciekawość na długo przed pierwszym uruchomieniem samej elektroniki. A to dopiero początek!

elektroniki cyfrowej i trochę fizyki związanej z ruchem obrotowym oraz bezwładnością wzroku. Takie połączenia bywają wyjątkowo ciekawe – pozwalają nie tylko coś zlutować, ale też zobaczyć, jak kilka prostych zjawisk potrafi razem stworzyć naprawdę efektowny rezultat.

Na **rysunku 1** pokazano zmontowany układ, a na krótkim filmie pod adresem https://tinyurl.com/AVTEDU650 możesz zobaczyć działanie *Bączka* wprowadzonego w ruch.

Schemat montażowy

Schemat montażowy to rysunek, który pokazuje, gdzie dokładnie na płytce drukowanej należy umieścić każdy z elementów zestawu. Dzięki niemu łatwo odnaleźć właściwe miejsce dla rezystorów, kondensatorów, diod czy układów scalonych i innych podzespołów, ponieważ wszystkie komponenty są oznaczone takimi samymi desygnatorami, zarówno na schemacie montażowym, liście elementów jak i na schemacie ideowym. Ułatwia to bezbłędne i szybkie składanie układu, nawet osobom początkującym. Schemat montażowy pomaga również uniknąć pomyłek, takich jak wlutowanie elementu w niewłaściwe miejsce lub ustawienie go w złej orientacji. Schemat montażowy, który dodatkowo pokazuje układ ścieżek i padów, bardzo pomaga w kontroli poprawności wykonanych połączeń lutowanych. Dzięki temu łatwo ustalić, czy połączenia pomiędzy sąsiednimi polami są przewidziane w projekcie, czy też powstały przez pomyłkę, na przykład na skutek przypadkowego zwarcia ich cyną podczas nieostrożnego lutowania. Taki podgląd znacząco ułatwia wykrywanie

Wykaz elementów:

Rezystory:
R1, R4...R6: 220 Ω
(czerwony – czerwony – brązowy – złoty)
R2: 330 Ω
(pomarańczowy – pomarańczowy – brązowy – złoty)
R3: 470 Ω
(żółty – fioletowy – brązowy – złoty)
R7, R8: 22 kΩ
(czerwony – czerwony – pomarańczowy – złoty)

Kondensatory:
C1: 220 nF (może być opisany jako 224 lub 0.22)
C2, C3: 100 µF/16 V

Półprzewodniki:
LED1: LED 5 mm dwukolorowa czerwono-niebieska ze wspólną anodą
LED2: LED 5 mm zielona
LED3: LED 5 mm czerwona
LED4: LED 5 mm niebieska
LED5: LED 5 mm biała
US1: 4060 + podstawka DIL16

Pozostałe:
BAT1, BAT2: uchwyt baterii CR2032
SW1: włącznik odśrodkowy np. XXW-5818 lub podobny
Nóżki gumowe
Tulejka dystansowa M3×50/GW-GZ
Tulejka dystansowa M3×18/GW-GZ lub M3×20/GW-GZ

eprasa.pl 39bd2886e9

błędów i zwiększa pewność, że układ został zmontowany prawidłowo. Schemat montażowy pokazano na **rysunku 2**.

Montaż rezystorów

Jeśli pamiętasz nasze dwunaste spotkanie w ramach cyklu EdW Junior, być może kojarzysz już Dawida i jego bardzo nietypowe podejście do montażu rezystorów. Podczas budowy przypominacza świetlno-dźwiękowego AVTEDU646 Dawid zaproponował metodę, która na pierwszy rzut oka wyglądała wręcz „niezgodnie ze sztuką", a mimo to okazała się niezwykle praktyczna.

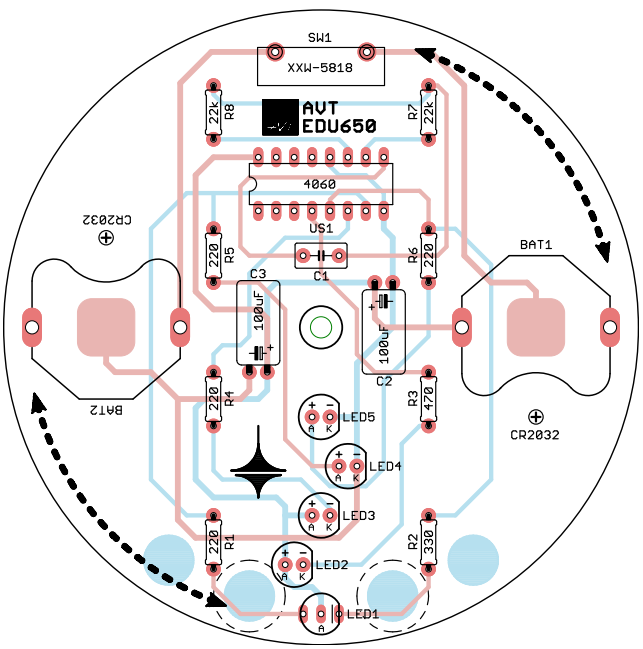
Zamiast – jak robi się to zazwyczaj – wkładać rezystory do płytki, zaginać ich wyprowadzenia i dopiero potem odwracać PCB do lutowania, Dawid unieruchomił płytkę poziomo w uchwycie i… lutował rezystory od strony komponentów. Dzięki temu wyprowadzeń nie trzeba było wyginać, elementy nie wypadały z otworów, a po stronie lutowania nie powstawał charakterystyczny „las" drucików utrudniający manewrowanie grotem lutownicy.

Pomysł miał jeszcze jedną ważną zaletę – komponenty po przylutowaniu idealnie przylegały do powierzchni płytki, a sam montaż był bardzo schludny i wygodny. Co ciekawe, takie rozwiązanie wykorzystuje coś, o czym podczas lutowania rzadko się myśli: siłę grawitacji. Skoro płytka pozostaje cały czas w tej samej pozycji, elementy naturalnie „siedzą" w otworach i nie trzeba ich dodatkowo blokować.

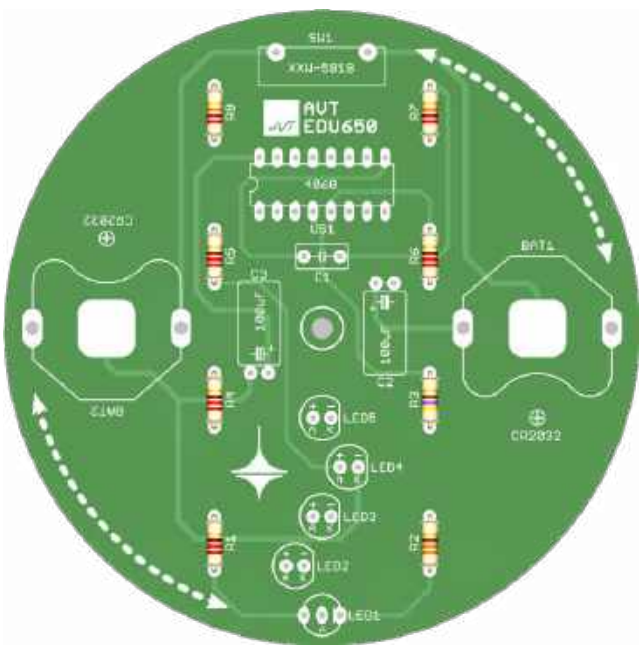
Warto o tym wspomnieć również teraz, ponieważ do zestawu wirującego bączka także dołączono płytkę dwustronną PTH (ang. plated through hole), czyli płytkę z miedzią po obu stronach oraz metalizacją otworów. Taka konstrukcja PCB świetnie nadaje się do lutowania elementów „od góry", po stronie komponentów. Dotyczy to nie tylko rezystorów, ale również montowanych na leżąco kondensatorów elektrolitycznych czy ceramicznych. Jeśli więc spodobało Ci się rozwiązanie zaproponowane wcześniej przez Dawida, nic nie stoi na przeszkodzie, by podobny sposób montażu wykorzystać również podczas budowy świetlnego bączka.

Niezależnie od metody, którą wybierzesz, zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj do płytki rezystory o określonych wartościach rezystancji na odpowiednich pozycjach na płytce drukowanej. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Rezystor jest elementem, który ogranicza przepływ prądu w obwodzie elektrycznym. Dzieje się tak dlatego, że ma on określoną rezystancję – właściwość materiału wywołującą spadek napięcia podczas przepływu prądu. Energia elektryczna zamienia się w nim na ciepło, co jest naturalnym skutkiem przepływu prądu przez rezystancję.
- Rezystor nie ma biegunowości – działa tak samo niezależnie od kierunku przepływu prądu. Dlatego jego montaż na płytce nie wymaga uwzględniania orientacji. Ważne jest jedynie, aby w danym miejscu umieścić właściwy rezystor o odpowiedniej wartości. Sam kierunek montażu pozostaje dowolny.
- Rezystory są zazwyczaj jednymi z najniższych elementów montowanych na płytce drukowanej. Ich przylutowanie nie utrudnia późniejszego montażu wyższych komponentów, dlatego lutuje się je zazwyczaj w pierwszej kolejności.
- Spośród wszystkich komponentów znajdujących się w zestawie wyodrębnij rezystory i odłóż je na osobną stertę.
- Pozostałe elementy odłóż na bok, a podczas montażu sięgaj wyłącznie po kolejne rezystory z wcześniej przygotowanej sterty.
- Za każdym razem, gdy weźmiesz do ręki kolejny rezystor, zmierz jego wartość za pomocą multimetru ustawionego w tryb omomierza. Odczytaną rezystancję zapamiętaj.
- Jeśli pomiar rezystorów sprawia Ci trudność, poproś o pomoc kolegę lub osobę prowadzącą zajęcia. Gdy masz dostęp do internetu, możesz też skorzystać z instrukcji dostępnej na stronie https://elportal.pl/do-pobrania – znajdziesz tam dokument „Pomiar wartości rezystorów za pomocą multimetru", przygotowany jako materiał uzupełniający do EdW 11/2024.
- Na dołączonej do zestawu liście elementów odszukaj zmierzoną wcześniej wartość rezystancji (w Ω, kΩ lub MΩ), a następnie odczytaj desygnator lub desygnatory przypisane do tej wartości.
- Zegnij wyprowadzenia rezystora i umieść go w płytce (**rysunek 3**) w miejscu oznaczonym właściwym desygnatorem.

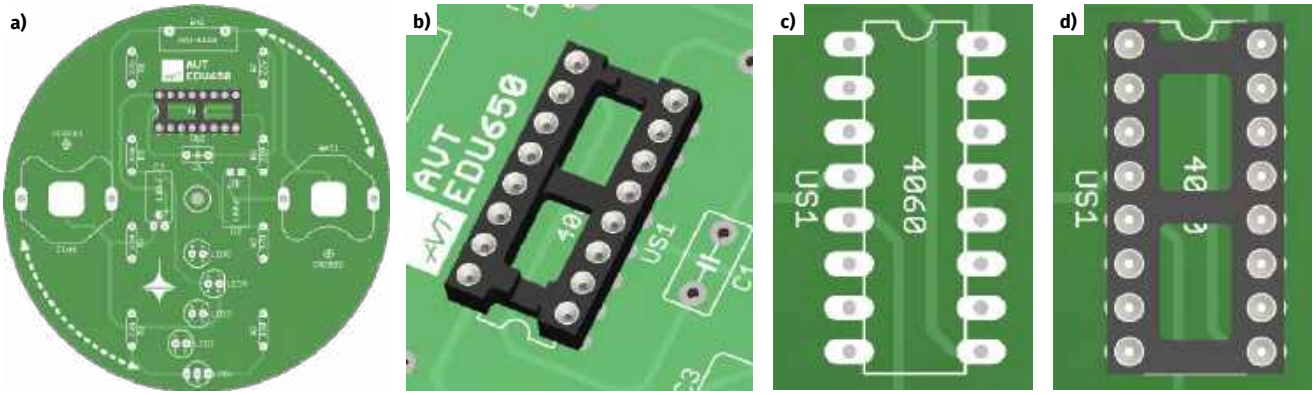


Rysunek 2. Schemat montażowy układu. Kolor czerwony przedstawia ścieżki po stronie komponentów, natomiast kolor niebieski – ścieżki po stronie lutowania



Rysunek 3. Rezystory o odpowiednich wartościach, oznaczone za pomocą kodu kolorowych pasków, zamontowane na właściwych pozycjach, zgodnie z listą elementów

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 4. a) lokalizacja podstawki na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem kierunku

- Zadbaj o to, aby każdy rezystor był włożony do płytki do końca i dobrze do niej przylegał. Estetyczny montaż nie tylko poprawia wygląd gotowego urządzenia, lecz także stabilizuje element w płytce, chroniąc go przed uszkodzeniami mechanicznymi, oraz ułatwia późniejszą diagnostykę i ewentualne naprawy.
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.

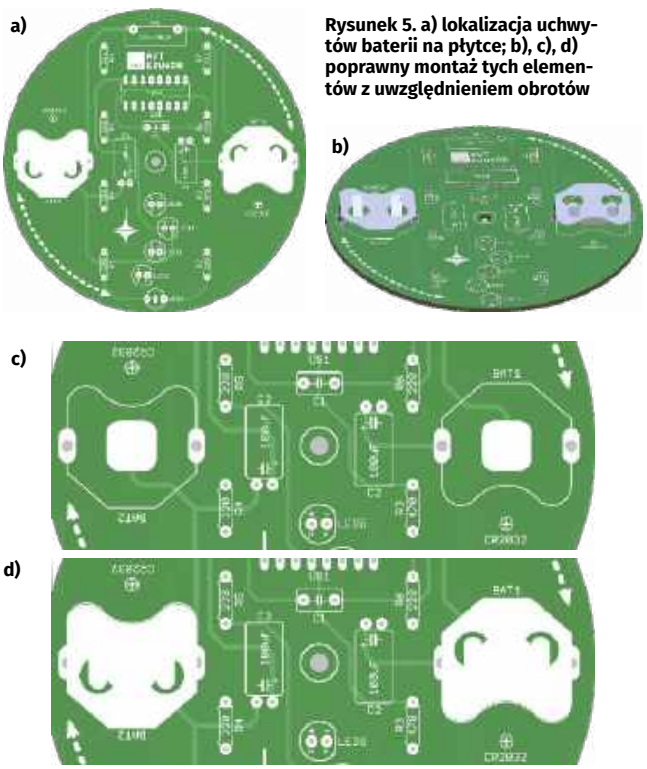
Montaż podstawki pod układ scalony

Przylutuj do płytki podstawkę pod układ US1. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Podstawka pod układ scalony przewodzi prąd pomiędzy wyprowadzeniami układu a ścieżkami na płytce, ale sama w sobie nie pełni żadnej aktywnej funkcji elektrycznej – nie zmienia sygnałów, nie wzmacnia ich ani nie ogranicza. Jej głównym zadaniem jest zapewnienie wygodnego, bezpiecznego i wielokrotnego montażu układu scalonego bez ryzyka uszkodzenia jego wyprowadzeń lub pól lutowniczych na płytce. Podstawka umożliwia między innymi łatwą wymianę układu scalonego w razie jego uszkodzenia lub pomyłki podczas montażu.
- Podstawka pod układ scalony nie ma biegunowości w sensie elektrycznym, ale ma określoną orientację montażową. W jej obudowie znajduje się znacznik (najczęściej wycięcie lub kropka), który musi być ustawiony zgodnie ze znakiem na płytce drukowanej (**rysunek 4**). Prawidłowa orientacja podstawki jest konieczna, aby później poprawnie włożyć do niej układ scalony.
- Podstawki pod układy scalone należą do elementów o średniej wysokości, dlatego zazwyczaj montuje się je po przylutowaniu najniższych komponentów, takich jak rezystory. Dzięki temu płytka pozostaje stabilna, a podstawka nie zasłania dostępu do miejsc montażowych przeznaczonych dla pozostałych elementów.
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Podczas lutowania pinów do płytki staraj się, by pomiędzy lutowanymi wyprowadzeniami nie powstały niechciane połączenia, czyli zwarcia, zwane również mostkami lutowniczymi. Jeśli podczas lutowania pojawią się zwarcia, najłatwiej będzie, trzymając płytkę jedną ręką, ustawić ją pod kątem prostym względem blatu. Następnie należy ponownie podgrzać połączone pola lutownicze oraz przy pomocy grotu lutownicy i siły grawitacji pozwolić nadmiarowi cyny spłynąć na blat. Dzięki temu uwolnisz pady podstawki od zwarć.
- W przypadku podstawek nie ma potrzeby przycinania wyprowadzeń. Po przylutowaniu pozostaw je w oryginalnej długości.

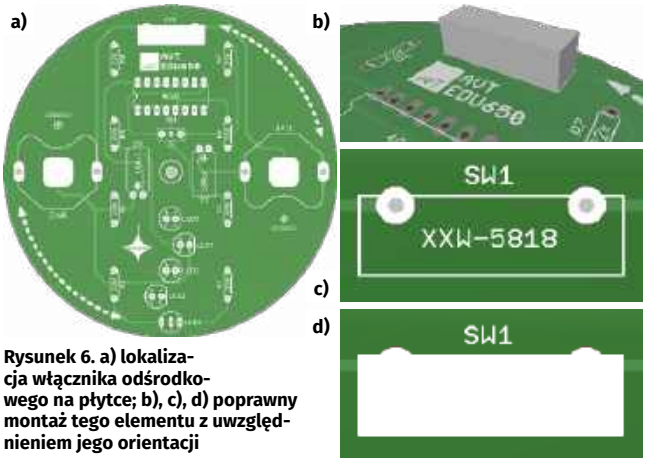
Montaż uchwytów baterii

Zgodnie z informacjami z listy elementów na odpowiednich pozycjach przylutuj wyprofilowane blaszki, które będą pełniły rolę uchwytów baterii. Układ zasilany jest dwiema bateriami CR2032 dlatego należy zamontować dwa uchwyty. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.



Rysunek 5. a) lokalizacja uchwytów baterii na płytce; b), c), d) poprawny montaż tych elementów z uwzględnieniem obrotów

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 6. a) lokalizacja włącznika odśrodkowego na płytce; b), c), d) poprawny montaż tego elementu z uwzględnieniem jego orientacji

- Uchwyt baterii CR2032 służy do mechanicznego zamocowania oraz elektrycznego podłączenia baterii litowej typu CR2032 do płytki drukowanej. Dzięki niemu bateria może zostać łatwo wymieniona bez konieczności lutowania, co ma szczególne znaczenie w urządzeniach wymagających okresowej wymiany źródła zasilania, na przykład w zegarach, pamięciach podtrzymujących lub niewielkich układach przenośnych.
- Bateria CR2032 jest ogniwem litowym o napięciu nominalnym 3 V. Górna powierzchnia baterii oraz jej obrzeże stanowią biegun dodatni, natomiast dolna powierzchnia jest biegunem ujemnym.
- Przed przylutowaniem uchwytu zwróć uwagę na obrys nadrukowany na PCB. Kształt metalowej blaszki uchwytu powinien pokrywać się z kształtem obrysu na płytce drukowanej (**rysunek 5**). Pozwoli to zamontować uchwyt we właściwym kierunku i zapewni poprawne wkładanie baterii.
- Uchwyt należy montować równo względem płytki drukowanej. Element powinien przylegać do PCB możliwie płasko, ponieważ nawet niewielkie przekrzywienie może utrudnić wkładanie baterii lub spowodować jej niepewny styk elektryczny.
- Z uwagi na swoje stosunkowo duże rozmiary mechaniczne uchwyt baterii najlepiej lutować dopiero po zamontowaniu niższych elementów, takich jak rezystory czy podstawki pod układy scalone. Pozwala to zachować wygodny dostęp do pól lutowniczych i zmniejsza ryzyko przypadkowego zahaczenia grotem lutownicy o wyższy element.
- Po umieszczeniu uchwytu baterii zgodnie z informacjami powyżej, przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- W przypadku tego uchwytu baterii nie ma potrzeby przycinania wyprowadzeń. Po przylutowaniu pozostaw je w oryginalnej długości.

Montaż włącznika odśrodkowego

Zgodnie z informacjami z listy elementów na odpowiedniej pozycji przylutuj włącznik odśrodkowy. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

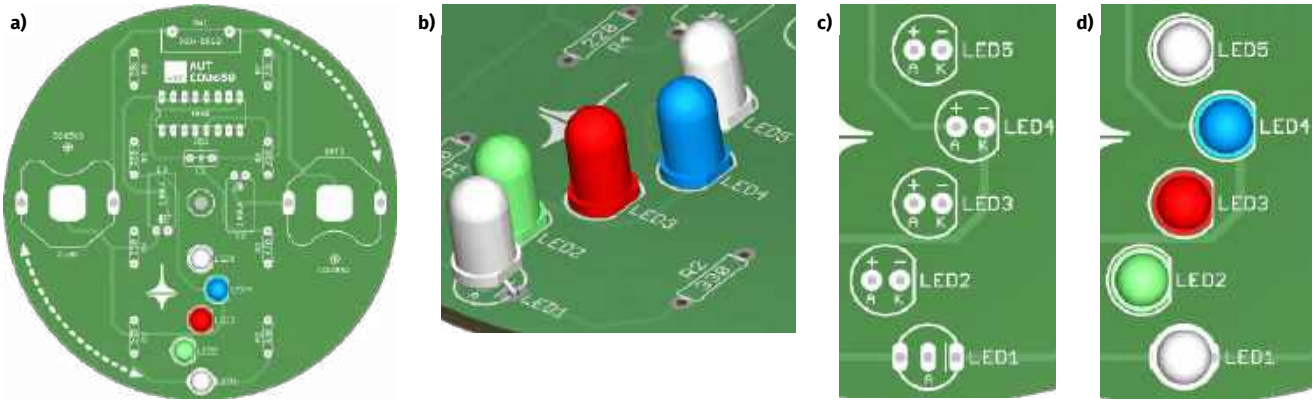
- Element XXW-5818 jest wyłącznikiem odśrodkowym reagującym na ruch i przyspieszenie. Wewnątrz przezroczystej obudowy znajduje się sprężyna pełniąca rolę ruchomego styku. Pod wpływem odpowiedniego przyspieszenia, drgań lub zmiany położenia sprężyna może zetknąć się z drugim stykiem, powodując zwarcie wyprowadzeń elementu.
- Tego typu wyłączniki są stosowane między innymi w prostych czujnikach drgań, alarmach, układach wykrywających poruszenie urządzenia oraz efektach elektronicznych reagujących na ruch lub wstrząsy.
- Element należy zamontować zgodnie z obrysem nadrukowanym na PCB. Kierunek montażu ma znaczenie, ponieważ wpływa na sposób pracy sprężyny znajdującej się wewnątrz obudowy. Kształt rzeczywistego elementu powinien pokrywać się z obrysem nadrukowanym na płytce drukowanej.
- Obudowa wyłącznika wykonana jest z przezroczystego tworzywa, dzięki czemu widoczna jest sprężyna pełniąca funkcję ruchomego styku. Podczas montażu należy unikać wielokrotnego wyginania wyprowadzeń bezpośrednio przy korpusie elementu.
- Wyłącznik powinien przylegać płasko do płytki drukowanej. Przekrzywienie elementu może wpływać na jego czułość i sposób działania, szczególnie w układach reagujących na niewielkie drgania.
- Podczas lutowania nie należy zbyt długo nagrzewać wyprowadzeń elementu. Nadmierne przegrzanie może doprowadzić do odkształcenia obudowy lub pogorszenia właściwości mechanicznych sprężyny znajdującej się wewnątrz.
- Z uwagi na swoje rozmiary mechaniczne wyłącznik najlepiej montować po przylutowaniu niższych elementów, takich jak rezystory, diody czy podstawki pod układy scalone. Ułatwia to dostęp do pól lutowniczych i zmniejsza ryzyko przypadkowego uszkodzenia elementu podczas lutowania.
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.

Montaż diod LED

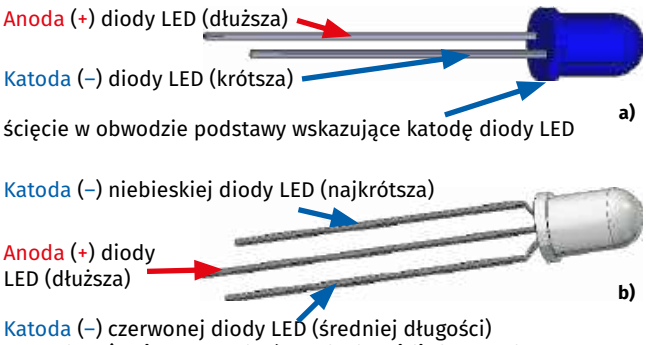
Zgodnie z informacjami z listy elementów na odpowiednich pozycjach przylutuj diody LED o właściwych kolorach. Zwróć uwagę, że jedna z pięciu dostępnych w zestawie diod LED, którą należy zamocować na pozycji LED1 ma aż trzy wyprowadzenia. Jest to dwukolorowa dioda LED ze wspólną anodą. Są to w rzeczywistości dwie diody LED zamknięte w jednej obudowie. Przed przystąpieniem do lutowania diod LED do płytki zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Dioda LED to element elektroniczny, który świeci, gdy płynie przez niego prąd w odpowiednim kierunku. Łączy w sobie działanie zwykłej diody – przewodzi prąd tylko w jedną stronę – oraz funkcję źródła światła. Dzięki temu LED-y mogą sygnalizować działanie układu, informować o stanie pracy urządzenia lub pracować w układach generujących efekty świetlne.
- Tak jak każda dioda, LED ma biegunowość. Oznacza to, że musi być podłączona we właściwym kierunku, inaczej nie zaświeci, a w szczególnym przypadku ulegnie uszkodzeniu. Jej katodę najczęściej oznacza ścięcie na obudowie oraz krótsza nóżka

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 7. a) lokalizacja diod LED na płytce; b), c), d) poprawny montaż elementów z uwzględnieniem kolorów i obrotów (zwróć uwagę na fragment prostej linii w obrysach diod LED wskazujący katodę; w przypadku LED1 linia ta oznacza katodę czerwonej diody znajdującej się wewnątrz struktury LED1)



Rysunek 8. a) Opis wyprowadzeń standardowej diody LED z dwoma wyprowadzeniami („plusowe" wyprowadzenie jest dłuższe, natomiast „minusowe" krótsze); b) opis wyprowadzeń dwukolorowej diody LED (czerwono-niebieskiej) ze wspólną anodą i trzema wyprowadzeniami (najdłuższe, środkowe wyprowadzenie stanowi „plus", wyprowadzenie średniej długości jest „minusem" czerwonej diody LED, natomiast najkrótsze wyprowadzenie jest „minusem" niebieskiej diody LED)

(**rysunek 8**). Przed montażem sprawdź, gdzie na PCB znajduje się oznaczenie katody, i ustaw diodę zgodnie z nim.

- Dioda LED jest elementem, który od razu przyciąga wzrok obserwatora, dlatego estetyka jej montażu ma duży wpływ na końcowy wygląd budowanego urządzenia. Warto zadbać o to, aby LED była ustawiona prostopadle do płytki i równo do niej przylegała – nawet drobne odchylenia mogą być widoczne po uruchomieniu układu, szczególnie gdy diod jest więcej.
- Z uwagi na powyższe LED-y najlepiej montować na stosunkowo wczesnym etapie lutowania. Rezystory, podstawki pod układy scalone oraz diody prostownicze i sygnałowe są zazwyczaj nieco niższe, ale zaraz po nich warto umieścić na płytce diody LED. W tym momencie pole lutownicze jest wciąż dobrze dostępne, i nic nie zasłania miejsca montażu, co ułatwia przylutowanie LED-ów równo i estetycznie.
- Zanim włożysz diodę LED do płytki, sprawdź w liście elementów, jaki kolor LED-a powinien zostać zamontowany w danej lokalizacji. Same diody – zwłaszcza w bezbarwnych obudowach – mogą wyglądać bardzo podobnie lub wręcz identycznie, dlatego warto upewnić się, jaki kolor świecenia ma LED, który trzymasz w ręku.
- Jeśli w projekcie występuje kilka kolorów diod LED w bezbarwnych obudowach, zasadne jest ich wcześniejsze posegregowanie. Najprościej zrobić to za pomocą multimetru ustawionego w tryb badania diod lub ciągłości obwodu. Przyłożenie sond – czerwonej do anody diody LED i czarnej do jej katody (**fotografia 3**) – spowoduje lekkie świecenie diody LED, co pozwoli od razu ustalić jej kolor. Dzięki temu można przyporządkować poszczególne LED-y do właściwych grup i ułożyć je na osobnych stertach. Takie przygotowanie znacząco zmniejsza ryzyko pomyłek podczas montażu i gwarantuje prawidłowy efekt wizualny w gotowym urządzeniu.
- Jeśli upewniłeś się co do odpowiedniej polaryzacji i kolorów, przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.

Montaż kondensatora ceramicznego

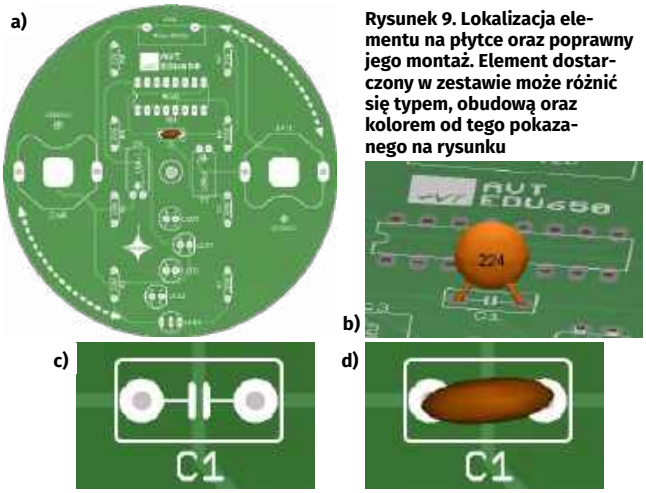
Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj dostępny w zestawie kondensator stały we wskazanej lokalizacji. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Kondensator stały (na przykład foliowy lub ceramiczny) to element elektroniczny służący do magazynowania ładunku elektrycznego. W układach może pełnić wiele funkcji: filtrować zakłócenia, stabilizować pracę obwodów,



Fotografia 3. Sprawdzanie diody LED za pomocą multimetru ustawionego na funkcję testowania diod. Po przyłożeniu sondy czerwonej do anody, a czarnej do katody, sprawna dioda LED powinna się zaświecić. Jeśli dioda ma odpowiednio długie (jeszcze nie przycięte) wyprowadzenia można się wspomóc krokodylkami

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 9. Lokalizacja elementu na płytce oraz poprawny jego montaż. Element dostarczony w zestawie może różnić się typem, obudową oraz kolorem od tego pokazanego na rysunku

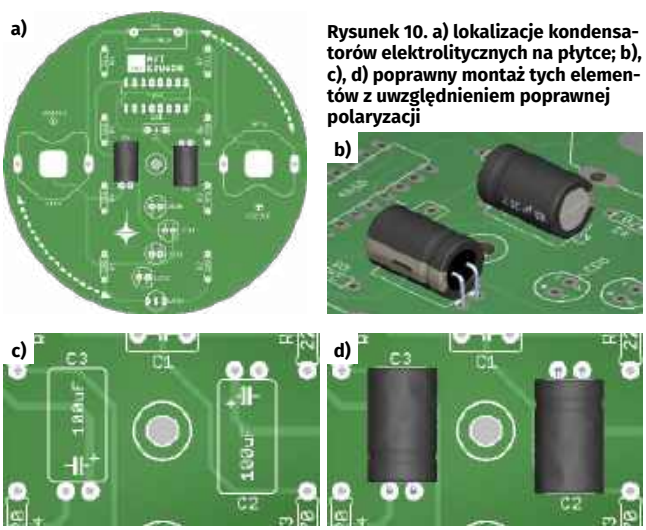
blokować składową stałą lub współpracować z rezystorami w układach czasowych.

- Kondensatory stałe w większości przypadków nie mają biegunowości, co oznacza, że można je montować w dowolną stronę. Wyjątkiem są rzadko spotykane konstrukcje oznaczone dodatkowym paskiem lub symbolem elektrody zewnętrznej – jeśli takie oznaczenie występuje, należy postępować zgodnie z opisem w dokumentacji. W typowych projektach edukacyjnych kondensatory foliowe można traktować jako elementy niepolaryzowane.
- Przed montażem sprawdź zgodność pojemności kondensatora z miejscem, w którym ma zostać zamontowany. Odczytaj oznaczenie z jego obudowy i porównaj je z informacją w liście elementów. Zapoznaj się także z komentarzem dotyczącym sposobów oznaczania pojemności kondensatorów, zamieszczonym w liście – ułatwi to prawidłową identyfikację każdego elementu.
- Kondensatory foliowe mają zwykle dość sztywną obudowę i proste wyprowadzenia, dlatego łatwo je ustawić w odpowiedniej pozycji. Warto dopilnować, aby były ustawione prostopadle do płytki i dobrze do niej przylegały. Estetyczny montaż nie tylko poprawia wygląd gotowego urządzenia, ale również ułatwia późniejszą diagnostykę i ewentualne naprawy.
- Kondensatory stałe zalicza się do elementów średniej wysokości, dlatego montuje się je po elementach najniższych (rezystorach, diodach) i tranzystorach, a przed wysokimi kondensatorami elektrolitycznymi, przekaźnikami czy złączami. Taka kolejność zapewnia stabilne ułożenie płytki oraz dobry dostęp podczas wkładania komponentów do płytki i ich lutowania.
- Po włożeniu kondensatora do odpowiednich otworów delikatnie odchyl jego wyprowadzenia, aby nie wypadł przy odwracaniu płytki. Jeśli wyprowadzenia są odpowiednio sztywne, wystarczy niewielkie zagięcie pod kątem kilku stopni.
- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję *Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić, albo chcesz upewnić się, że wykonujesz to prawidłowo, przeczytaj sekcję *Przycinanie nadmiaru wyprowadzeń*. Nieco poniżej znajdziesz również informacje, jak wykonać tę czynność w sposób bezpieczny dla siebie i pozostałych uczestników zajęć.

Montaż kondensatorów elektrolitycznych

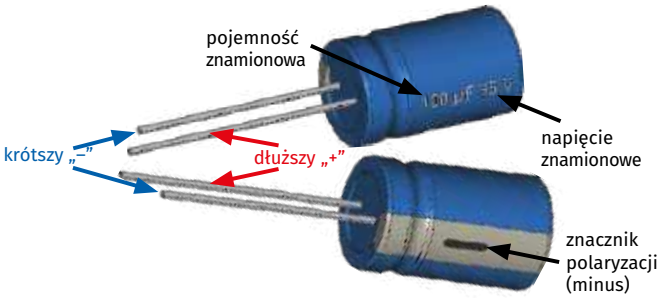
Zgodnie z informacjami z listy elementów przylutuj kondensatory elektrolityczne o odpowiednich pojemnościach we wskazanych lokalizacjach. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Kondensator elektrolityczny to element spolaryzowany, który może magazynować stosunkowo duży ładunek elektryczny i pełnić w układzie różne funkcje: stabilizować napięcie, wygładzać tętnienia, filtrować zakłócenia lub dostarczać krótkotrwałych impulsów prądowych. Dzięki dużej pojemności w niewielkiej obudowie jest często stosowany w zasilaczach i układach energoelektronicznych.
- Kondensatory elektrolityczne mają zawsze określoną biegunowość. Na obudowie znajduje się wyraźne oznaczenie minusa (zwykle biały pasek), a dłuższa noga oznacza plus zasilania. Montaż odwrotny grozi uszkodzeniem kondensatora, a w skrajnych przypadkach nawet jego rozerwaniem (rozszczelnieniem i dezintegracją). Zawsze upewnij się, że plus i minus znajdują się we właściwych otworach na płytce.
- Przed montażem sprawdź zgodność pojemności i napięcia kondensatora z miejscem, w którym ma zostać umieszczony. Odczytaj nadruk z obudowy (na przykład „100 µF/35 V") i porównaj go z informacją w liście elementów.
- Kondensatory elektrolityczne są wysokimi elementami, dlatego montuje się je dopiero po wlutowaniu wszystkich niższych komponentów, takich jak rezystory, diody, tranzystory czy kondensatory foliowe. Taka kolejność ułatwia pracę oraz zapewnia stabilne oparcie płytki podczas lutowania.
- Po umieszczeniu kondensatora w otworach sprawdź jeszcze raz jego orientację. W przypadku elementów polaryzowanych warto wyrobić sobie nawyk podwójnego sprawdzania przed przylutowaniem – to pozwala uniknąć potencjalnie niebezpiecznych błędów.
- Aby kondensator nie wypadł podczas obracania płytki, delikatnie odchyl jego wyprowadzenia na zewnątrz. Wystarczy niewielkie odgięcie pod kątem kilku stopni. Zbyt silne zaginanie może utrudnić *przycinanie nadmiaru wyprowadzeń*, a także przyszły ewentualny demontaż kondensatora.



Rysunek 10. a) lokalizacje kondensatorów elektrolitycznych na płytce; b), c), d) poprawny montaż tych elementów z uwzględnieniem poprawnej polaryzacji

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 11. Na korpusie kondensatora elektrolitycznego odnajdziesz – między innymi – informacje o nominalnej pojemności oraz dopuszczalnym napięciu pracy a także znacznik polaryzacji

- Przylutuj element do płytki. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Usuń nadmiar wyprowadzeń za pomocą obcinaczek. Jeśli nie wiesz, jak to zrobić lub chcesz upewnić się, że wykonujesz tę czynność prawidłowo, przeczytaj sekcję *Zanim przystąpisz do montażu…* oraz zapoznaj się z dostępnymi poradnikami, w szczególności z instrukcjami BHP.
- Pamiętaj o bezpieczeństwie. Kondensator elektrolityczny zamontowany odwrotnie lub podłączony do wyższego niż znamionowe napięcie może ulec uszkodzeniu, a nawet gwałtownie wybuchnąć. Dlatego przed pierwszym podłączeniem zasilania zawsze upewnij się, że został zamontowany poprawnie i ma właściwe parametry.
- Przed pierwszym podłączeniem napięcia do układu zawierającego kondensatory elektrolityczne obowiązkowo zakładaj okulary ochronne.

Montaż tulei dystansowych

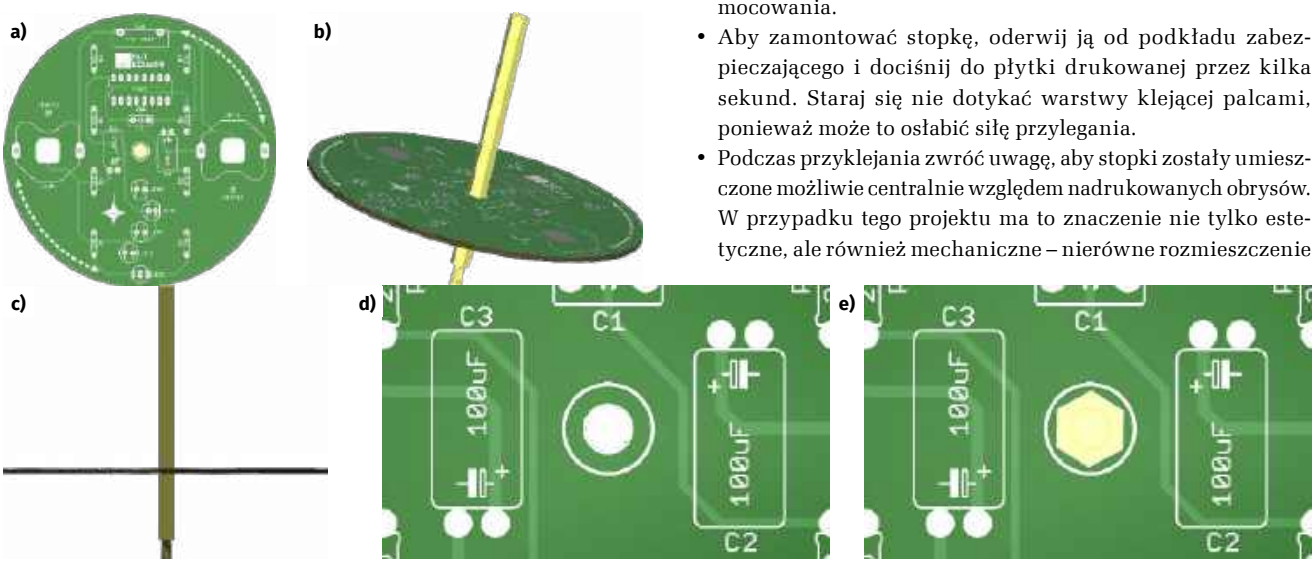
Zgodnie z informacjami z listy elementów przymocuj w odpowiedni sposób dostępne w zestawie tuleje dystansowe. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- W projekcie zastosowano dwie metalowe tuleje dystansowe o różnych wysokościach: 50 mm oraz 18 mm (lub 20 mm). Po skręceniu obu tulei z zamontowaną pomiędzy nimi płytką drukowaną tworzą one mechaniczną konstrukcję zabawki pełniącej rolę bączka.
- Dłuższa tuleja o wysokości 50 mm montowana jest po stronie elementów, natomiast krótsza tuleja o wysokości 18 mm (lub 20 mm) – po stronie lutowania. Płytka drukowana zostaje unieruchomiona pomiędzy nimi za pomocą gwintowanego połączenia.
- Obie tuleje pełnią jednocześnie funkcję mechaniczną i konstrukcyjną. Nie tylko utrzymują płytkę we właściwym położeniu, ale również tworzą oś obrotu całego bączka.
- Podczas montażu zwróć uwagę, aby tuleje zostały dokręcone pewnie, ale bez używania nadmiernej siły. Nadmierny nacisk może prowadzić do uszkodzenia struktury laminatu i w konsekwencji stopniowego osłabiania połączenia mechanicznego pomiędzy płytką a tulejami, co z czasem może pogarszać stabilność całej konstrukcji.
- Metalowe tuleje mają stosunkowo dużą masę, dlatego wpływają na wyważenie całej konstrukcji. Staranny montaż poprawia stabilność obrotu oraz wydłuża czas kręcenia się bączka.

Montaż gumowych stopek

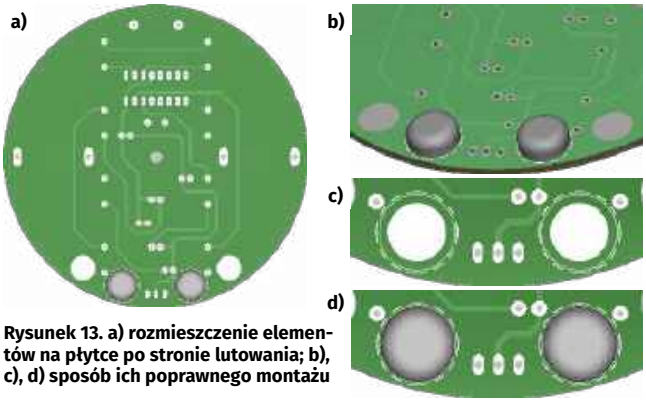
Zgodnie z informacjami z listy elementów przymocuj w odpowiedni sposób dostępne w zestawie gumowe stopki. Przed przystąpieniem do tej czynności zapoznaj się ze wskazówkami poniżej.

- Gumowe stopki zazwyczaj pełnią funkcję ochronną i stabilizującą. Zabezpieczają powierzchnię stołu lub blatu przed zarysowaniem, poprawiają przyczepność urządzenia oraz ograniczają jego przesuwanie się podczas pracy lub zabawy. W tym projekcie pełnią rolę ciężarków, pomagających odpowiednio wyważyć bączek – podobnie jak odważniki stosowane podczas wyważania kół w serwisach samochodowych.
- Stopki należy przykleić po stronie lutowania płytki drukowanej, w miejscach oznaczonych odpowiednimi okrągłymi obrysami na PCB. Przed przyklejeniem upewnij się, że rozmieszczenie stopek odpowiada ilustracjom montażowym.
- Przed montażem warto oczyścić powierzchnię PCB z kurzu, tłuszczu i pozostałości topnika. Czysta powierzchnia poprawia przyczepność warstwy samoprzylepnej i zwiększa trwałość mocowania.
- Aby zamontować stopkę, oderwij ją od podkładu zabezpieczającego i dociśnij do płytki drukowanej przez kilka sekund. Staraj się nie dotykać warstwy klejącej palcami, ponieważ może to osłabić siłę przylegania.
- Podczas przyklejania zwróć uwagę, aby stopki zostały umieszczone możliwie centralnie względem nadrukowanych obrysów. W przypadku tego projektu ma to znaczenie nie tylko estetyczne, ale również mechaniczne – nierówne rozmieszczenie



Rysunek 12. a) rozmieszczenie elementów na płytce; b), c), d) sposób ich poprawnego montażu. Tuleję o wysokości 50 mm należy zamontować po stronie komponentów, a tuleję o wysokości 18 mm (lub 20 mm) – po stronie lutowania. Płytka jest unieruchamiana pomiędzy tymi elementami

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 13. a) rozmieszczenie elementów na płytce po stronie lutowania; b), c), d) sposób ich poprawnego montażu

stopek może pogarszać wyważenie bączka i wpływać na stabilność jego obrotu.

- Po przyklejeniu stopek unikaj ich odrywania i ponownego przyklejania. Wielokrotne odklejanie może osłabić warstwę klejącą i pogorszyć trwałość mocowania.
- Po zakończeniu montażu sprawdź, czy wszystkie stopki dobrze przylegają do powierzchni płytki oraz czy bączek obraca się stabilnie i bez nadmiernych drgań.

Pierwsze podłączenie zasilania do płytki

Ponieważ zasilanie z baterii do zbudowanego układu jest podawane poprzez przełącznik SW1, który załącza się pod wpływem działania siły odśrodkowej, a więc dopiero po wprawieniu bączka w ruch obrotowy, pomiar napięcia na wyprowadzeniach podstawki pod układ scalony byłby tym razem nieco kłopotliwy. Zamiast tego można na czas pomiaru trwale zewrzeć wyprowadzenia włącznika SW1, np. lutując do nich fragment odciętego wyprowadzenia wcześniej przylutowanego komponentu lub kawałek innego przewodu.

Wówczas można wsunąć do uchwytów obie baterie w taki sposób, aby plus każdej z nich był skierowany do góry i stykał się z blaszkami koszyka baterii (**rysunek 14**).

Ze schematu ideowego (**rysunek 18**) wynika, że napięcie z baterii jest podawane za pośrednictwem przełącznika SW1 w pierwszej kolejności na kondensatory C2 oraz C3. Oba kondensatory są połączone równolegle, dlatego panuje na nich takie samo napięcie.

Oznacza to, że za pomocą multimetru ustawionego na pomiar napięcia stałego (DC, np. zakres do 20 V) można zmierzyć to napięcie bezpośrednio na dowolnym z tych kondensatorów (**rysunek 15**).



Rysunek 14. Baterie wsunięte do uchwytów. Górne powierzchnie baterii to ich bieguny dodatnie, które mają stykać się z blaszkami uchwytów

Multimetr powinien wskazać napięcie bliskie 6 V, wynikające z sumy napięć dwóch szeregowo połączonych ogniw CR2032 o napięciu 3 V każde.

Takie samo napięcie powinien wskazać multimetr podczas pomiaru napięcia na wyprowadzeniach zasilania podstawki pod układ scalony US1 (wyprowadzenie 16-tego układu jest połączone z plusem zasilania, natomiast wyprowadzenie 8 z minusem zasilania).

Jeśli wartość napięcia jest zgodna z oczekiwaniami, oznacza to, że w układzie nie ma poważnych zwarć, a baterie działają poprawnie. Można wtedy wyjąć baterie, odlutować przewód zwierający SW1 oraz zamontować w podstawce układ scalony US1.

Montaż układu scalonego w podstawce

Włożenie układu scalonego do podstawki wydaje się łatwe, jednak podczas tej czynności należy zachować uwagę i ostrożność. Ważne jest, aby układ był skierowany we właściwą stronę oraz aby wszystkie jego wyprowadzenia trafiły dokładnie w otwory podstawki. Wyprowadzenia nie mogą się wygiąć ani tym bardziej złamać. Gdyby jednak któreś z nich uległo uszkodzeniu, czasem można je zastąpić kawałkiem odciętego wyprowadzenia innego elementu przylutowanego wcześniej do płytki.

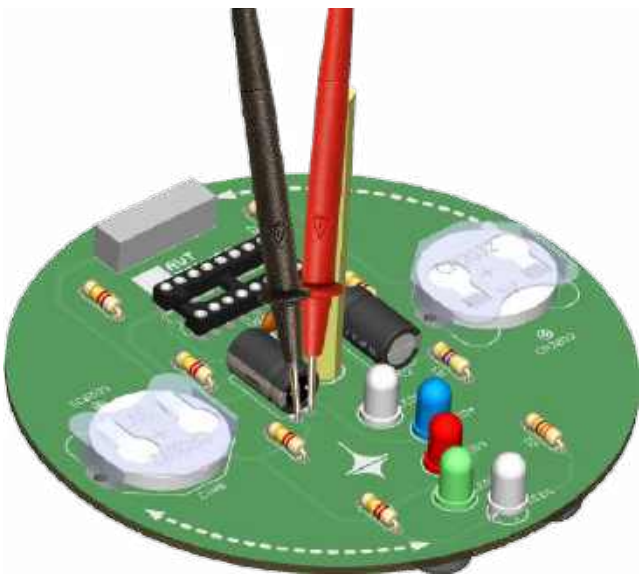
Drugą, obok ostrożności podczas montażu sprawą, o jaką należy zadbać, to właściwy kierunek montażu układu scalonego w podstawce. W tym celu należy przypilnować, by kropka lub wycięcie na układzie scalonym, wskazujące kierunek montażu, pokrywało się z pozostałymi znacznikami w podstawce oraz na warstwie opisowej PCB (**rysunek 17**). Gdy lokalizacja znacznika na układzie scalonym zgadza się z pozostałymi, można przystąpić do wciśnięcia układu w podstawkę.

Podsumowanie montażu

Po ukończeniu montażu sprawdź, proszę, czy wszystkie połączenia lutowane są błyszczące i nie ma zimnych lutów oraz czy żadne sąsiednie pola lutownicze nie są ze sobą błędnie połączone.

W przypadku wątpliwości dotyczących poprawności wykonanych połączeń lutowanych skorzystaj z poradnika *Lutowanie komponentów przewlekanych do płytki drukowanej*

https://elportal.pl/files/2026/02/15/3678-lutowanie-komponentow-przewlekanych-do-plytki-drukowanej.pdf



Rysunek 15. Pomiar napięcia zasilania na wyprowadzeniach kondensatora C3. Pamiętaj, aby przed pomiarem zewrzeć wyprowadzenia włącznika SW1 oraz zamontować baterie

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 16. Pomiar napięcia zasilania na wyprowadzeniach podstawki pod układ scalony US1. Pamiętaj, aby przed pomiarem zewrzeć wyprowadzenia włącznika SW1 oraz zamontować baterie

Ale właściwie... dlaczego to działa?

Uważny Czytelnik zapewne zauważy, że nie jest to nasze pierwsze spotkanie z układem 4060. Tę niezwykle ciekawą kostkę CMOS wykorzystywaliśmy już wcześniej podczas budowy stroboskopu dyskotekowego LED AVTEDU641, opisanego w numerze 4/2025 magazynu „Elektronika dla Wszystkich".

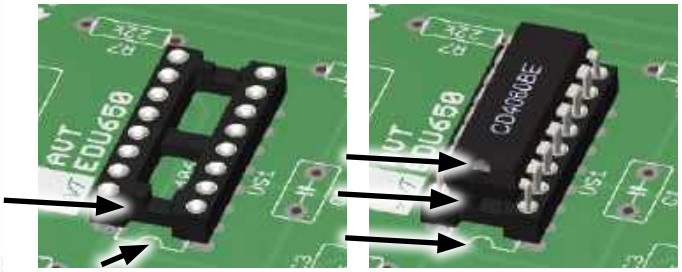
Tamten projekt był bardziej rozbudowany i koncentrował się na generowaniu sekwencji błysków świetlnych oraz praktycznym wykorzystaniu wyjść licznika 4060 do tworzenia różnych rytmów świecenia diod LED.

W artykule poświęconym stroboskopowi układ 4060 został omówiony znacznie szerzej i bardziej „od podszewki". Czytelnicy mogli tam znaleźć dokładniejsze wyjaśnienie działania generatora RC, zasad podziału częstotliwości oraz sposobu pracy licznika binarnego. Pojawiły się również bardzo ciekawe tabele pokazujące zmiany stanów logicznych na kolejnych wyjściach Q układu, czyli w praktyce coś w rodzaju „tabeli prawdy" dla poszczególnych sekwencji pracy licznika.

Szczególnie interesująca była analiza sposobu, w jaki kolejne wyjścia Q4...Q10 zmieniają stan z różnymi częstotliwościami oraz jak z prostego licznika binarnego można uzyskać złożone efekty świetlne. W materiale znalazły się również przykładowe tabele stanów logicznych oraz omówienie zależności pomiędzy liczbą zliczonych impulsów a stanami wyjść licznika.

Warto więc sięgnąć do tamtego numeru EdW i potraktować oba projekty jako pewną całość. Stroboskop dyskotekowy pokazywał układ 4060 od strony klasycznej elektroniki cyfrowej i generatorów sekwencji świetlnych, natomiast wirujący bączek pozwala zobaczyć, jak dokładnie te same zasady można wykorzystać do uzyskania zupełnie innych efektów – tym razem związanych z ruchem obrotowym, bezwładnością wzroku i optycznym „rysowaniem światłem" na płaszczyźnie.

Tym razem układ nie jest stroboskopem, a wirującym bączkiem świetlnym, który podczas obrotu tworzy efektowne kolorowe pierścienie i smugi światła. Jego schemat pokazano na **rysunku 18**.



Rysunek 17. Przed zamontowaniem układu scalonego w podstawce należy upewnić się, że znaczniki kierunku montażu – na płytce, w podstawce i obudowie układu – znajdują się w tej samej pozycji

Najbardziej nietypową cechą urządzenia jest sposób jego załączania. Włącznik SW1 nie jest klasycznym przełącznikiem obsługiwanym palcem, lecz specjalnym wyłącznikiem odśrodkowym. Gdy bączek stoi nieruchomo, styki pozostają rozwarte i układ praktycznie nie pobiera energii z baterii. Dopiero po rozpędzeniu bączka pojawia się siła odśrodkowa powodująca zwarcie styków SW1 i automatyczne włączenie zasilania.

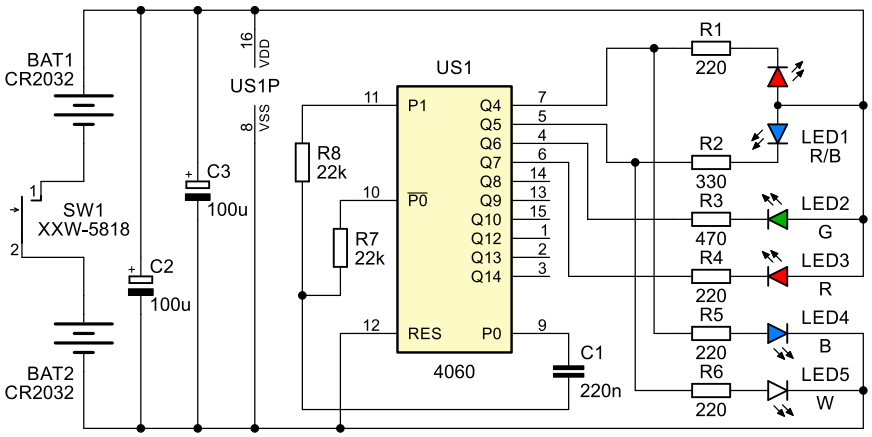
To bardzo ciekawe rozwiązanie, ponieważ elektronika uruchamia się wyłącznie podczas wirowania. Dzięki temu baterie nie rozładowują się wtedy, gdy urządzenie leży nieużywane.

Po uruchomieniu zasilania zaczyna pracować układ US1 – licznik-generator CD4060. Wewnątrz tego układu znajduje się generator RC oraz wielostopniowy licznik binarny. Elementy R7, R8 i C1 wyznaczają częstotliwość generatora, czyli tempo zmian stanów na wyjściach Q układu scalonego.

Generator utworzony z układu 4060 oraz zewnętrznych elementów R7, R8 i C1 wytwarza impulsy taktujące licznik. W tym projekcie nie wykorzystano jednak wszystkich wyjść Q4...Q14, lecz tylko wybrane wyjścia układu. To one sterują diodami LED, ale w nieco sprytniejszy sposób niż zwykle.

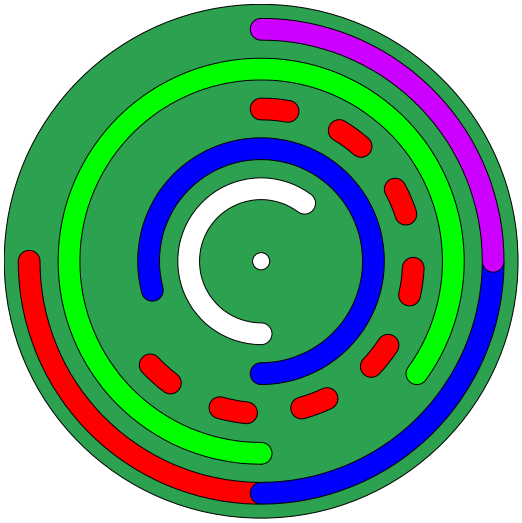
Część diod jest załączana stanem niskim, a część stanem wysokim. Dwukolorowa dioda LED1 ma wspólną anodę, dlatego jej wewnętrzne struktury świecą wtedy, gdy odpowiednie wyjście układu 4060 zostanie ściągnięte do stanu niskiego. Z kolei diody LED4 i LED5 są podłączone przeciwnie – świecą przy stanie wysokim na tych samych liniach sterujących. Dzięki temu z jednego przebiegu logicznego można uzyskać dwa przeciwne efekty świetlne: gdy jedna dioda gaśnie, druga może się zapalać.

Warto też zauważyć, że rezystory R1...R6 nie mają jednakowych wartości. Wynika to z różnych napięć przewodzenia i jasności diod LED o różnych kolorach. Dobierając inne rezystancje, można wyrównać prądy oraz subiektywną jasność poszczególnych kolorów.



Rysunek 18. Schemat ideowy układu

eprasa.pl 39bd2886e9



Rysunek 19. Wzór wyświetlanych pasków świetlnych

Obracające się diody kreślą na płaszczyźnie świetlne łuki i pierścienie. Ponieważ diody są rozmieszczone w różnych miejscach płytki, każda z nich rysuje okrąg o innym promieniu.

Dodatkowo diody nie świecą światłem ciągłym, lecz migają z różnymi częstotliwościami. Powoduje to powstawanie przerywanych kolorowych okręgów, fragmentów łuków oraz zmieniających się wzorów świetlnych. Ludzkie oko, dzięki zjawisku bezwładności wzroku, odbiera szybko poruszające się punkty światła jako ciągłe linie lub pierścienie.

Szczególnie interesująco wygląda dwukolorowa dioda LED1. W zależności od aktualnych stanów wyjść układu CD4060 może świecić na czerwono lub niebiesko, a podczas wirowania tworzy wielobarwne łuki świetlne. Pozostałe diody – zielona, czerwona, niebieska i biała – generują dodatkowe pierścienie o różnych średnicach i jasnościach.

W praktyce efekt wizualny stale się zmienia. Wraz ze zmianą prędkości obrotowej zmienia się także sposób postrzegania wzorów świetlnych. Przy wolniejszych obrotach można dostrzec pojedyncze błyski LED, natomiast przy szybszym wirowaniu pojawiają się niemal ciągłe świetlne okręgi przypominające grafikę generowaną komputerowo.

Układ jest bardzo dobrym przykładem połączenia elektroniki cyfrowej z efektami optycznymi i mechaniką ruchu obrotowego. Pokazuje również kilka ciekawych zjawisk fizycznych:

- działanie siły odśrodkowej,
- bezwładność wzroku,
- generację przebiegów taktujących,
- podział częstotliwości w liczniku binarnym,
- wpływ częstotliwości migania LED na postrzegany obraz.

Ciekawych eksperymentów można wykonać naprawdę dużo. Warto na przykład:

- zmieniać prędkość wirowania i obserwować wpływ na wygląd pierścieni,
- eksperymentować z wartościami R7, R8 i C1,
- obserwować różnice pomiędzy diodami umieszczonymi bliżej środka i bliżej krawędzi płytki,
- nagrywać filmy oraz fotografować wirujący bączek przy różnych czasach naświetlania, aby zaobserwować różnice pomiędzy rejestracją efektu przez kamerę cyfrową a sposobem, w jaki odbiera go ludzkie oko.

Zmiana wartości elementów generatora wpływa na szybkość migania diod, ponieważ częstotliwość pracy zależy od stałej czasowej obwodu RC:

$$\tau = R \times C$$

Większa pojemność lub rezystancja powoduje wolniejsze zmiany stanów wyjść, a więc także inne wzory świetlne podczas wirowania. Już niewielkie zmiany wartości elementów mogą wyraźnie zmienić wygląd efektów optycznych.

Efekty świetlne

Bączek generuje efekt świetlny zbliżony do tego pokazanego na **rysunku 19**.

Efekty zarejestrowane za pomocą aparatu fotograficznego można zobaczyć na **fotografiach 4a…4f**.

Podsumowanie

Bączek to jedna z najstarszych zabawek świata. Znali go nasi dziadkowie, pradziadkowie, a być może nawet ludzie żyjący setki lat temu. Zasada działania właściwie się nie zmieniła – trzeba nadać mu ruch obrotowy i obserwować, jak wiruje. Tym razem jednak do tej prostej, dobrze znanej zabawki dołożyliśmy odrobinę elektroniki.

Zastosowanie wyłącznika odśrodkowego sprawia, że układ „ożywa" dopiero podczas wirowania. Generator i licznik 4060 sterują diodami LED, a obracający się bączek zamienia pojedyncze błyski światła w kolorowe okręgi i świetlne wzory. Nagle okazuje się, że coś tak prostego jak migająca dioda LED może podczas ruchu wyglądać zupełnie inaczej niż na nieruchomej płytce leżącej na stole.

Połączenie kilku prostych zjawisk daje efekt, który wydaje się znacznie bardziej skomplikowany, niż jest w rzeczywistości. Trochę elektroniki, trochę światła i ruchu obrotowego… a efekt końcowy potrafi przyciągać wzrok znacznie skuteczniej niż niejeden bardziej rozbudowany układ.

A gdyby zamiast kilku diod zastosować ich więcej? A może zmienić kolory, rozkład elementów albo sposób sterowania? Lub zbudować własny wirujący efekt świetlny z wykorzystaniem prostych migających diod LED – jednokolorowych albo RGB – zamontowanych wraz z bateriami na lekkim plastikowym krążku wydrukowanym na drukarce 3D? Od takich pytań bardzo często zaczynają się własne konstrukcje i eksperymenty, do czego serdecznie zachęcam!

Do zobaczenia w następnym numerze! ■

Mariusz Ciszewski



Fotografia 4. Efekty świetlne zarejestrowane aparatem fotograficznym

eprasa.pl 39bd2886e9

TAWOIA Glass (szkło kwarcowe)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/tawoia-glass-4505.html



BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

3 unikalne serie gniazdek i włączników

Rabat dla Czytelników EdW
przy zakupie podaj kod EdW2505GW

Kod ważny do 30.09.2025

-5%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-10%

Ceramic Loft (ceramika)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/seria-ceramic-loft-4190.html



Retro PRL (bakelit)

https://sklep.avt.pl/pl/series/retro-prl-3237.html



eprasa.pl 39bd2886e9



Klucz do Kosmosu

Program „Klucz do Kosmosu” jest prawdopodobnie jedną z największych w ostatnich latach polskich inicjatyw popularyzujących elektronikę i technikę kosmiczną wśród młodzieży szkolnej. Projekt, realizowany przez Polską Agencję Kosmiczną w ramach programu edukacyjnego misji IGNIS, ma zachęcać uczniów do praktycznego poznawania podstaw elektroniki, lutowania oraz komunikacji sygnałowej.



Fotografia 1. Zestaw edukacyjny udostępniony w ramach programu „Klucz do Kosmosu” Polskiej Agencji Kosmicznej po zmontowaniu

Zamiast suchej teorii uczestnicy otrzymują rzeczywiste zestawy do samodzielnego montażu, dzięki którym mogą własnoręcznie zbudować prosty układ elektroniczny związany tematycznie z techniką kosmiczną.

Motywem przewodnim projektu uczyniono alfabet Morse’a oraz klasyczny klucz telegraficzny – rozwiązania, które przez dziesięciolecia stanowiły podstawę łączności radiowej. Dzięki temu program łączy nowoczesną tematykę kosmiczną z historią techniki i krótkofalarstwa. Organizatorzy podkreślają edukacyjny charakter przedsięwzięcia: młodzi uczestnicy nie tylko lutują urządzenie, ale także poznają zasadę jego działania oraz podstawowe pojęcia związane z elektroniką i komunikacją zdalną.

Istotnym elementem programu jest jego powiązanie z polską misją kosmiczną IGNIS oraz z udziałem polskiego astronauty Sławosza Uznańskiego-Wiśniewskiego w misji na Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Powiązanie projektu z rzeczywistym programem kosmicznym nadaje mu dodatkowy wymiar edukacyjny i pozwala zainteresować uczniów nowoczesnymi technologiami, inżynierią oraz naukami ścisłymi.

Technik, fizyk i informatyk – tak tworzą się legendy

Podobne inicjatywy to cenna kontra wobec „filozofii odpuszczania”, zwłaszcza, że typowy szkolny materiał nie zawsze jest atrakcyjny. Jak zauważył jeden z uczniów, który nie brał udziału w programie:

Mam wrażenie, że ostatnio wszędzie trafiam na teksty typu „po co ci nauka?”, „matura nic nie daje” albo „studia to strata czasu”. Czasami mówią to ludzie w Internecie, czasami starsi, którzy niby chcą dobrze doradzić. Tylko że jak ktoś trochę interesuje się elektroniką, komputerami, fizyką czy programowaniem, to takie gadanie potrafi mocno zniechęcić. Ja na przykład lubię wiedzieć, jak coś działa, lubię coś zbudować albo samemu sprawdzić w praktyce, a po takich tekstach człowiek zaczyna się zastanawiać, czy w ogóle warto robić cokolwiek.

I rzeczywiście, w ostatnich latach coraz częściej można usłyszeć modne dziś hasła podważające sens nauki, matury czy studiów. Młodym ludziom próbuje się czasem wmówić, że zdobywanie wiedzy i rozwijanie ambicji to „cringe”, a zainteresowanie techniką, fizyką czy informatyką nie ma dziś większego znaczenia. Tego rodzaju przekaz bywa nie tylko zniechęcający, ale wręcz krzywdzący – szczególnie wobec młodzieży, u której dopiero rodzą się pasje, ciekawość świata i chęć tworzenia czegoś wartościowego. To niepokojące, że takie podejście coraz częściej pojawia się nie tylko wśród starszych kolegów, ale czasem także u dorosłych, którzy często są dla młodzieży wzorem – pytanie tylko, czy pozytywnie inspirującym.

Na szczęście rzeczywistość wygląda znacznie ciekawiej niż internetowe slogany. To właśnie z zainteresowań technicznych, eksperymentów, lutowania, programowania i zwykłej ciekawości świata bardzo

eprasa.pl 39bd2886e9



Fotografia 2. Zmontowany podczas zajęć zestaw edukacyjny programu „Klucz do Kosmosu" Polskiej Agencji Kosmicznej



Fotografia 3. Zestawy edukacyjne programu „Klucz do Kosmosu" po rozpakowaniu, tuż przed rozpoczęciem zajęć montażowych

często rodzą się później konstruktorzy, inżynierowie, naukowcy i twórcy nowych technologii. Jedni kierują się pasją, inni zwykłą ciekawością, jeszcze inni po prostu chcą robić w życiu coś, co daje satysfakcję i poczucie sprawczości. A że przy okazji takie kompetencje potrafią po latach całkiem dobrze rezonować również z zawartością portfela – to już zupełnie inna historia.

Warto pamiętać o jednej rzeczy: to, że matura czy studia nie są absolutnie konieczne do przetrwania na rynku pracy, wcale nie oznacza, że są zakazane.

Na szczęście własne zdanie na temat edukacji nadal wolno mieć. Każdy ma prawo żyć po swojemu i rozwijać się w kierunku, który daje mu satysfakcję. Jeśli ktoś chce zdobywać wiedzę, rozwijać zainteresowania, zdać maturę, skończyć studia albo zostać inżynierem, fizykiem czy informatykiem – to naprawdę nic nikomu do tego. A jeśli ktoś naprawdę ma pasję i chce się rozwijać, to prędzej czy później i tak znajdzie swoją drogę – i raczej nikt go nie zatrzyma.

Bądźmy też uczciwi – choćby sami wobec siebie. Wyższe wykształcenie po prostu daje większe możliwości i szerszy wybór – zarówno pod względem charakteru pracy, jak i potencjalnych pracodawców. Doktor, magister czy inżynier bez większego problemu może podjąć pracę fizyczną, jeśli będzie chciał. Dodatkowy kurs zawodowy albo zdobycie praktycznych umiejętności manualnych zwykle nie stanowią większej przeszkody. W drugą stronę bywa już znacznie trudniej.

I podkreślmy raz jeszcze ukończenie studiów nie jest obowiązkowe. Ale wciąż jest legalne. I tego się trzymajmy!

Od lutownicy do komunikacji – odkrywanie techniki sprzed ery Internetu

Nie każdy projekt edukacyjny kończy się działającym układem. Jeszcze rzadziej takim, który faktycznie coś komunikuje. W przypadku „Klucza do Kosmosu" od Polskiej Agencji Kosmicznej było inaczej – od początku było wiadomo, że będzie lutowanie, montaż i efekt, który da się sprawdzić w praktyce.

W Szkole Podstawowej nr 257 im. prof. Mariana Falskiego w Warszawie czterech ósmoklasistów – Gustaw Szwed, Antoni Figiel, Robert Basiewicz oraz Piotr Komorowski – wzięło na warsztat klasyczne zagadnienie komunikacji technicznej: klucz telegraficzny i alfabet Morse'a. Projekt realizowano w ramach koła technicznego „Inżynierium" pod opieką Tadeusza Lichuty, który pełnił rolę koordynatora i prowadzącego zajęcia. Całość trwała od końca stycznia do początku kwietnia i miała wyraźnie warsztatowy charakter.

Zestaw to dopiero początek

Organizator projektu – Polska Agencja Kosmiczna – dostarczył kompletne zestawy do montażu kluczy telegraficznych oraz materiały instruktażowe, w tym tutorial prowadzący krok po kroku przez proces składania.

Dopiero tu zaczyna się właściwa część pracy – nie powinno bowiem dziwić, że nawet



Fotografia 4. Uczniowie (od lewej: Piotr Komorowski, Robert Basiewicz, Gustaw Szwed, Antoni Figiel podczas prelekcji na temat zasady działania alfabetu Morse'a. Zajęcia realizowane na przełomie lutego i marca bieżącego roku w ramach programu edukacyjnego „Klucz do Kosmosu" w Szkole Podstawowej nr 257 im. prof. Mariana Falskiego w Warszawie

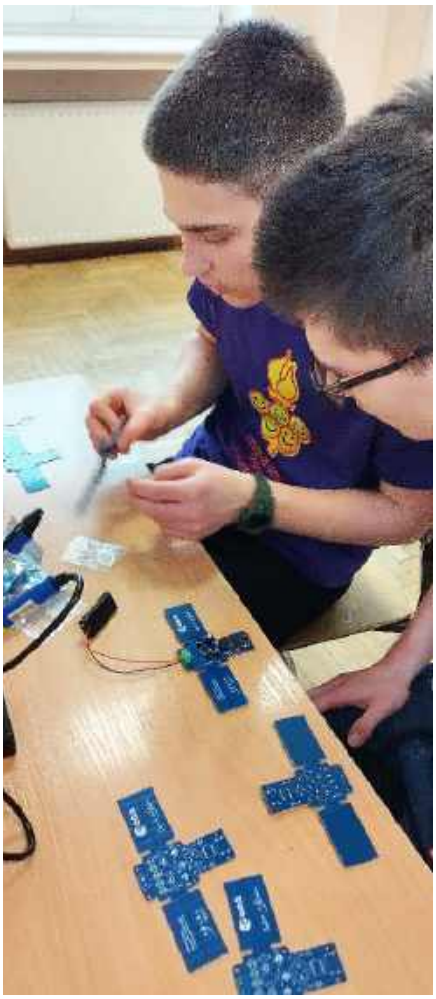


Fotografia 5. Uczniowie (od przodu: Piotr, Robert, Gustaw, Antoni) podczas montażu zestawu edukacyjnego

eprasa.pl 39bd2886e9



Fotografia 6. Gustaw Szwed (z lewej) oraz Piotr Komorowski (z prawej) podczas montażu zestawu edukacyjnego udostępnionego przez organizatorów programu „Klucz do Kosmosu" Polskiej Agencji Kosmicznej. Szkoła Podstawowa nr 257 im. prof. Mariana Falskiego w Warszawie



Fotografia 7. Antoni Figiel (z lewej) oraz Piotr Basiewicz (z prawej) podczas montażu zestawu edukacyjnego udostępnionego przez organizatorów programu „Klucz do Kosmosu" Polskiej Agencji Kosmicznej. Szkoła Podstawowa nr 257 im. prof. Mariana Falskiego w Warszawie



Fotografia 8. Uczeń Piotr Basiewicz podczas montażu zestawu edukacyjnego udostępnionego przez organizatorów programu „Klucz do Kosmosu" Polskiej Agencji Kosmicznej. Szkoła Podstawowa nr 257 im. prof. Mariana Falskiego w Warszawie

najlepiej przygotowany zestaw wymaga zrozumienia schematu, precyzji i cierpliwości.

Lutowanie bez taryfy ulgowej

Pierwsze spotkania to klasyczna „elektroniczna rzeczywistość": elementy na stole, lutownica w ręku i próby, które nie zawsze kończą się od razu sukcesem.

Trzech uczestników miało już doświadczenie w lutowaniu, zdobyte wcześniej podczas zajęć techniki.

Naturalnie przejęli rolę wsparcia dla kolegi, który dopiero zaczynał swoją przygodę z elektroniką. Bez formalnych podziałów – raczej w trybie warsztatowym: pokaż, popraw, spróbuj jeszcze raz.

Wsparciem od strony teoretycznej był nauczyciel fizyki, Mariusz Łubik, który pomagał uporządkować wiedzę i wyjaśniać zasady działania układów.

Odnośniki:
Polska Agencja Kosmiczna – Klucz do Kosmosu
https://plinspace.pl/edukacja/program-edukacyjny-ignis/zostan-kosmicznym-inzynierem/klucz-do-kosmosu

POLSA – Otwieramy kluczem kosmos
https://polsa.gov.pl/wydarzenia/otwieramy-kluczem-kosmos-zapraszamy-szkoly-do-projektu-klucz-do-kosmosu-czas-na-zgloszenia-tylko-do-konca-roku/

Ministerstwo Edukacji – Nabór szkół do projektu „Klucz do Kosmosu"
https://www.gov.pl/web/edukacja/nabor-szkol-do-projektu-klucz-do-kosmosu--zbuduj-wlasnego-satelite-z-polsa



Fotografia 9. Uczeń Gustaw Szwed podczas testowania zestawu edukacyjnego „Klucz do Kosmosu". Naciśnięcie przycisku S1 powoduje generowanie sygnałów alfabetu Morse'a

eprasa.pl 39bd2886e9



Fotografia 10. Uczeń Antoni Figiel podczas odczytu nadawanego kodu Morse'a

Druk 3D – narzędzie, nie ciekawostka

Przy wykonaniu elementów mechanicznych kluczy pojawił się kolejny istotny wątek. Dzięki wsparciu nauczycielki informatyki, Adrianny Kowalczyk-Kurach, możliwe było wykorzystanie szkolnej pracowni do druku 3D oraz konsultacje metodologiczne.

Część elementów powstała w szkole, część w warunkach domowych. W praktyce pokazało to coś ważnego: dla części młodych konstruktorów druk 3D jest już naturalnym narzędziem pracy, a nie dodatkiem do zajęć.

Kiedy układ zaczyna „mówić"

Zmontowany klucz telegraficzny to dopiero połowa sukcesu. Druga zaczyna się wtedy, gdy trzeba go użyć.

Tu wchodzi alfabet Morse'a – system opracowany przez Samuela Morse'a, oparty na sekwencjach krótkich i długich sygnałów.

Najpierw trzeba było nauczyć się zapisu, potem odczytu. Później przyszła pora na komunikację w parach, a z czasem doszedł jeszcze sygnał dźwiękowy i świetlny. I wtedy wielu uczestników odkrywało, że alfabet Morse'a to nie żadna „stara ciekawostka", ale coś, co naprawdę wymaga skupienia, wsłuchania się w sekwencję i dokładności.

Dlaczego to działa

Ten projekt dobrze pokazuje jedną rzecz: nie potrzeba skomplikowanej elektroniki, żeby uczyć rzeczy naprawdę ważnych:

- działający układ,
- konkretne zadanie,
- sytuacja, w której coś musi zadziałać.

Reszta – czyli myślenie, współpraca i poprawianie błędów – pojawia się naturalnie.

Wiedza, która wraca do obiegu

Projekt „Klucz do Kosmosu" w Szkole Podstawowej nr 257 im. prof. Mariana Falskiego w Warszawie formalnie się już zakończył, ale jego efekty nie trafiają do szuflady.



Fotografia 11. Kadra pedagogiczna (od lewej: Tadeusz Lichuta – technika, Adrianna Kowalczyk-Kurach – informatyka, Mariusz Łubik – fizyka) wspomagająca uczniów w realizacji programu edukacyjnego „Klucz do Kosmosu" na przełomie lutego i marca bieżącego roku w Szkole Podstawowej nr 257 im. prof. Mariana Falskiego w Warszawie

Podczas szkolnego festynu w czerwcu uczestnicy projektu przejmą rolę prowadzących warsztaty. Będą uczyć młodszych:

- podstaw alfabetu Morse'a, oraz
- praktycznych umiejętności lutowania.

To naturalne domknięcie całego procesu – od zdobywania wiedzy do jej przekazywania dalej. ■

Mariusz Ciszewski

REKLAMA



numery archiwalne • prenumerata • książki
www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl 39bd2886e9

Moduł elektronicznej wagi do OLEDUINO v2

Ta kompaktowa płytka oparta jest na przetworniku analogowo-cyfrowym HX711, zaprojektowanym specjalnie do współpracy z czujnikami wagowymi i tensometrycznymi. Można ją połączyć z OLEDUINO-V2, tworząc w ten sposób miniaturową elektroniczną wagę.



Płytka sterująca silnikami elektromagnetycznymi i prądu stałego do OLEDUINO v2

Płytka OLEDUINO-V2 może zasilać silniki i elektromagnesy prądem do 3,7 A przy napięciu 24 V. Sterowanie PWM z trybami uśpienia i hamowania siłą przeciwdziałającą.



Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. Wszechstronny odbiornik światłowodowy Versatile Link
2. Wszechstronny nadajnik światłowodowy Versatile Link
3. Bezprzewodowy kontroler samochodu-robota Bluetooth
4. Kontroler ramienia robotycznego wykorzystujący bezprzewodowego pada z konsoli PS3
5. 7-segmentowy mini zegar wykorzystujący PIC16F628A i DS1307 RTC
6. Światło LED oparte na czujniku zbliżeniowym
7. OLEDUINO – wyświetlacz OLED kompatybilny z Arduino
8. Inteligentny regulator lutownicy – precyzyjny regulator grzałki
9. Wskaźnik poziomu paliwa z wyświetlaczem OLED
10. Bezprzewodowy odbiornik wilgotności i temperatury
11. Przerwania zewnętrzne (sprzętowe) i przerwania zegara w MicroPython
12. Laserowy czujnik odległości z wyświetlaczem OLED i RP2040
13. Inklinometr z 17-segmentowym wyświetlaczem słupkowym
14. Izolowany repeater USB – USB 2.0
15. Knight Rider Light – 16 diod LED dużej mocy (kompatybilny z Arduino)
16. Dźwięk do kolorowych efektów świetlnych (kompatybilny z Arduino)
17. Nowy i ulepszony licznik Geigera – teraz z Wi-Fi!
18. Detektor zalania
19. Lampa nastrojowa LED o dużej mocy
20. Kontroler dzwonów kościelnych
21. Arduino Nano – włączanie/wyłączanie urządzeń za pomocą pilota na podczerwień (dwa kanały)
22. Lampa sufitowa LED z czujnikiem ruchu PIR – kompatybilna z Arduino
23. Inteligentny ściemniacz LED z Bluetooth – 4-kanałowy włącznik/wyłącznik Bluetooth
24. Czterokanałowy izolator cyfrowy, wzmocniony, szybki, o niskim poborze mocy
25. Sterowanie prędkością, kierunkiem i zatrzymaniem silnika DC z modułem RF NRF24L01
26. Nadajnik zdalnego sterowania z pojedynczym joystickiem wykorzystujący NRF24L01
27. 8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
28. 8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
29. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
30. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
31. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
32. Czujnik prądu low-side 10 µA...10 mA
33. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
34. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
35. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
36. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W

Miesięcznik „**Elektronika dla Wszystkich**"
(12 numerów w roku) jest wydawany we współpracy z kilkoma redakcjami zagranicznymi

Wydawnictwo:
AVTKorporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Redaktor naczelny:
Mariusz Ciszewski
mariusz.ciszewski@elportal.pl

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: edw@elportal.pl, www.elportal.pl

Dział reklamy:
Katarzyna Gugała
katarzyna.gugala@elportal.pl, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański
jakub.sobanski@elportal.pl

Sekretarz redakcji:
Dariusz Welik
dariusz.welik@elportal.pl

DTP, redakcja strony internetowej www.elportal.pl:
MAD Sp. z o.o.

Prenumerata:
W Wydawnictwie AVT, e-mail: prenumerata@avt.pl
tel. 22 257 84 22, (godz. 10:00–14:00)
www.ulubionykiosk.pl

Copyright AVTKorporacja Sp. z o.o., Warszawa, ul. Leszczynowa 11. Projekty publikowane w „Elektronice dla Wszystkich" mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki dla Wszystkich". Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice dla Wszystkich" jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu pisemnej zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice dla Wszystkich".

eprasa.pl 39bd2886e9



TRZECIARĘKA ZD-11P
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką, ZD11P



TRZECIARĘKA ZD-11P-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką i lupą, ZD11P-1



TRZECIARĘKA SN-394
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk z lupą 50 mm, przykręcany do blatu Proskit SN-394

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Trzecia ręka

Rabat dla Czytelników EdW
przy zakupie podaj kod **EdW2505TR** **-3%**

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty **-6%**



TRZECIARĘKA ZD-11M-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – z uchwytem na szpulkę cyny, ZD11M-1



TRZECIARĘKA ZD-11M-2
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD11M-2



TRZECIARĘKA ZD-11M-3
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD-11M-3



TRZECIARĘKA ZD-11M
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt ZD11M



TRZECIARĘKA SN-392
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 90 mm, Proskit SN-392



TRZECIARĘKA
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 60 mm

eprasa.pl 39bd2886e9

KURS PRAKTYCZNY AI

Praktyczne podejście. Zero marketingowej mgły!





Zamów na UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl 39bd2886e9