JUNIOR na Święta

ELEKTRONIKA dla wszystkich

nr 12/2024 (347) • grudzień • www.elportal.pl

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

Jednoręki bandyta

Zgrzewarka kondensatorowa CD Welder

PROJEKTY dla elektroników
- Wskaźnik przesterowania wzmacniacza
- Obliczanie oporowych tłumików efektywności w układach zwrotnic zestawów głośnikowych
- Inteligentny podwójny zasilacz hybrydowy, część 2

DIY dla wszystkich
- Robot sterowany światłem
- Sterowanie urządzeń elektrycznych za pomocą hasła

TUTORIALE
- Audio OUT: Wokoder analogowy, część 3. Wzmacniacz sterujący
- Chirurgia obwodowa: Absorpcja dielektryczna kondensatora
- Czujnik jakości powietrza MOS. Korzystanie z tanich azjatyckich modułów elektronicznych
- Ekscytacje Maxa: Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 15
- Know-how: Interfejs MIDI
- Edukacja w EdW dla szkół i uczelni. Wykład 25: Tranzystory IGBT

ISSN 1425-1698 Indeks 333362X
9 771425 169245 12
18,90 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

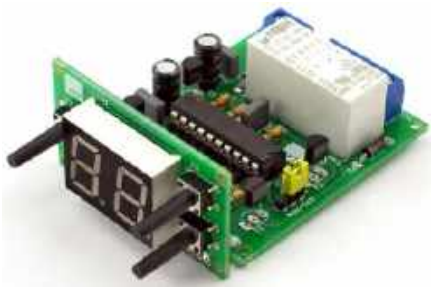
eprasa.pl d09f51483c

Najbardziej popularne kity AVT

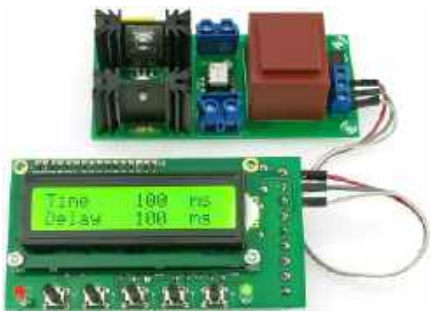
Poznaj listę **TOP 100** na www.elportal.pl/kityavt

AVT788 **Lampka LED reagująca na klaśnięcie: klaskacz, włącznik dźwiękowy**
https://sklep.avt.pl/avt788.html

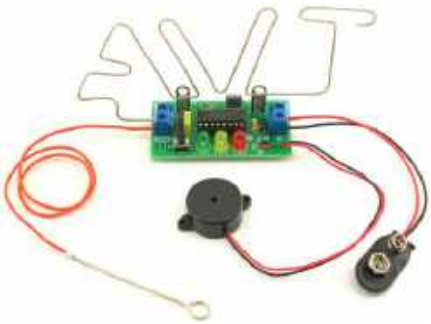
AVT5540 **Radio FM z RDS**
https://sklep.avt.pl/avt5540.html



AVT3200 **Uniwersalny timer 0 do 99 min.**
https://sklep.avt.pl/avt3200.html



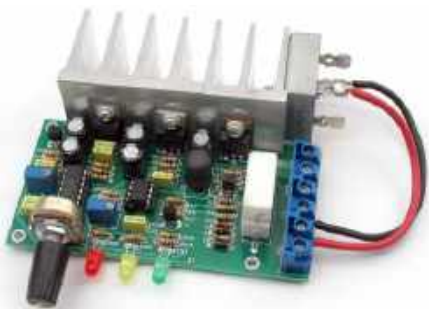
AVT5553 **Sterownik zgrzewarki oporowej**
https://sklep.avt.pl/avt5553.html



AVT723 **Uniwersalna gra zręcznościowa**
https://sklep.avt.pl/avt723.html

AVT735 **Regulator mocy PWM 10 A**
https://sklep.avt.pl/avt735.html

AVT990 **Automatyczny włącznik świateł**
https://sklep.avt.pl/avt990.html



AVT3120 **Automatyczna ładowarka akumulatorów ołowiowych**
https://sklep.avt.pl/avt3120.html

AVT594 **Zdalnie sterowany potencjometr do aplikacji audio**
https://sklep.avt.pl/avt594.html

AVT3225 **Uniwersalny sterownik silnika krokowego**
https://sklep.avt.pl/avt3225.html

AVT732 **Whisper – łowca szeptów. Superczuły podsłuch przewodowy**
https://sklep.avt.pl/avt732.html

AVT3166 **Regulator do prostownika**
https://sklep.avt.pl/avt3166.html

Pełna oferta na: sklep.avt.pl

obejrzyj filmy na https://www.youtube.com/@serwisAVT

eprasa.pl d09f51483c

–20%
NA START
181,40 zł

–30%
po pierwszym roku prenumeraty
158,80 zł

–40%
po drugim roku prenumeraty
136,10 zł

–50%
po trzecim roku nieprzerwanej prenumeraty
113,40 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 20%** 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 126,90 zł.

Dodatkowa oferta dla prenumeratorów wersji drukowanej: jeśli już subskrybujesz wersję papierową, możesz dokupić równoległe e-wydania w cenie 36,20 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

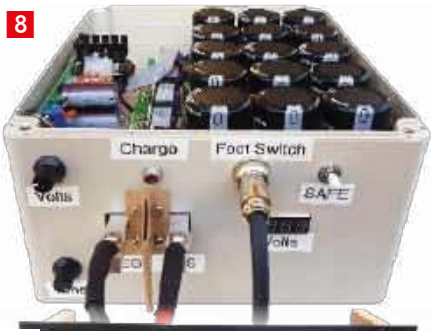
DIY PLUS
tylko dla prenumeratorów

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

Grudzień 2024 • 12 (347)



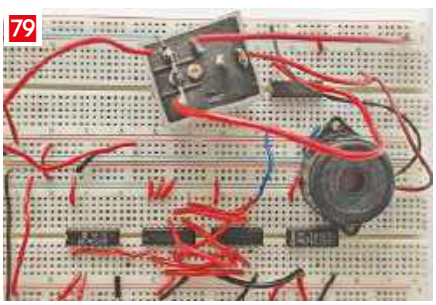
8

18

30

34

76



79

Projekty dla elektroników:

Bezpieczna i niskonapięciowa zgrzewarka kondensatorowa CD Welder, część 1 8
Jednoręki bandyta 18
Obliczanie oporowych tłumików efektywności w układach zwrotnic zestawów głośnikowych 27
Wskaźnik przesterowania wzmacniacza 30
Inteligentny podwójny zasilacz hybrydowy, część 2 34

Tutoriale:

Audio OUT: Wokoder analogowy, część 3. Wzmacniacz sterujący 46
Chirurgia obwodowa: Absorpcja dielektryczna kondensatora 50
Czujnik jakości powietrza MOS (Metal Oxide Semiconductor). Korzystanie z tanich azjatyckich modułów elektronicznych 55
Ekscytacje Maxa:
Migające diody LED i śliniący się inżynierowie, część 15 60
Know-how: Interfejs MIDI 65
Edukacja w EdW dla szkół i uczelni. Wykład 25: Tranzystory IGBT 70

DIY dla wszystkich:

Robot sterowany światłem 76
Sterowanie urządzeń elektrycznych za pomocą hasła 79

Elektronika dla Wszystkich – Junior:

Szóste spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 83

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów zamawiających prenumeratę na www.UlubionyKiosk.pl

Inteligentny ściemniacz LED Bluetooth – 4-kanałowy włącznik/wyłącznik Bluetooth 91
Sterownik ksenonowej lampy błyskowej 91

Rubryki stałe:

Prenumerata 3
Od redakcji 5
Poczta 6
Ankieta 82

eprasa.pl d09f51483c

A za miesiąc w styczniowym EdW

- **Precyzyjny generator AM-FM DDS**
  Generator sygnałów oferujący bardzo wysoką precyzję kalibracji oraz dokładność z błędem wynoszącym zaledwie dziesięć części na miliard (10^{-8}), co przekłada się na 0,1 Hz przy 10 MHz. Urządzenie obsługuje także wiele funkcji, w tym modulację amplitudy (AM) i częstotliwości (FM).

- **Zgrzewarka typu CD (Capacitor Discharge), część 2**
  Druga część opisu zgrzewarki pakietów baterii (i nie tylko) o energii spawania wynoszącej 208–365 J. W tej części omówimy szczegóły montażu trzech jej modułów, montaż całego urządzenia a następnie instrukcję testowania i użytkowania.

- **Sterownik LED z przetwornicą Buck-Boost o wysokiej mocy**
  Świetna i uniwersalna konstrukcja pozwalająca zarówno zasilić popularne, masowo dostępne a przy tym niedrogie panele LED, ładować akumulatory ze źródła prądu stałego, czy też konwertować stałe napięcia 12...24 V.

- **Kolejne zaskakujące projekty DIY**
  Wśród nich: elektryczny wolnowar oraz tester przetworników ADC i DAC

- **Kontynuacja cyklu wartościowych Tutoriali**

- **Z Juniorami EdW wkroczymy w Nowy Rok kolejnym samodzielnie zbudowanym gadżetem!**

W kioskach od 27 grudnia

Idą święta. Czy w aspekcie życzliwości i serdeczności wesprze nas AI?

Insekty gromadzą się wokół światła, podobnie jak kibole gromadzą się wokół piłki nożnej. I choć kibolska atmosfera dla większości społeczeństwa ma zdecydowanie pejoratywny wydźwięk, podobny klimat charakteryzuje dziś prawdopodobnie większość internetowych forów, niezależnie ich tematyki, które przecież powstawały z myślą o wzajemnej międzyludzkiej pomocy i wymianie doświadczeń. Na to ciekawe zjawisko socjologiczne zwrócił uwagę jeden z naszych Czytelników, który zauważył, że „kiedyś było inaczej" a świat elektronicznych społeczności zdaje się zmierzać w niepokojącym kierunku. „Być może w niedalekiej przyszłości sztuczna inteligencja będzie tu miała duże pole do działania" – podsumowuje.

Temat AI (Artificial Intelligence) nie od dziś powoduje w ludziach z krwi i kości mieszane uczucia. Z jednej strony budzi strach, wynikający z obawy o utratę miejsc pracy, przejęcie kontroli przez algorytmy lub nadmierną inwigilację. Wiele osób obawia się także nieprzewidywalności sztucznej inteligencji i ryzyka, że wymknie się ona spod ludzkiej kontroli, co jest częstym motywem w literaturze i filmach science-fiction.

Z drugiej strony, AI wzbudza podziw, gdy widzimy jej zdolność do rozwiązywania złożonych problemów, takich jak przewidywanie chorób na podstawie analizy danych medycznych, automatyzacja procesów przemysłowych czy tworzenie sztuki i muzyki. Zachwyca również potencjałem wspierania badań naukowych i przyspieszania innowacji technologicznych, które mogą poprawiać jakość życia na skalę globalną.

W ostatnich tygodniach sporo społecznych emocji wzniecił głośny eksperyment medialny OFF Radia Kraków, ze zwolnieniami pracowników i przejęciem ich aktywności przez sztuczną inteligencję w tle. Z resztą, nie tylko on. „Sztuczna inteligencja ostatnio przetacza się przez świat ludzi pracujących głosem jak wielki walec" – stwierdził w pożegnalnym nagraniu Jarosław Juszkiewicz, lektor i dziennikarz radiowy, który pod koniec września bieżącego roku przestał być głosem nawigacji Google Maps. Nagranie kończy się ciepłą sentencją: „A ja mogę własnym, ludzkim głosem powiedzieć, chyba po raz ostatni: uśmiechnij się cudnie i kieruj się na południe, chociaż nie, kierujcie się także intuicją i sercem, bo tego jeszcze AI nie potrafi".

Czy rzeczywiście „tego jeszcze AI nie potrafi"?

Choć zdrowy rozsądek i ludzka intuicja każą mocno w to wierzyć, list Czytelnika sugeruje, że chyba właśnie nadchodzą czasy, w których owej sztucznej inteligencji potrzebujemy bardziej, niż kiedykolwiek i bardziej, niż się nam to wydaje. Na co dzień, w zwyczajnych „ludzkich sprawach" (takich jak kultura osobista, czy zwyczajna uprzejmość), oraz wszystkich podobnych „ludzkich" tematach, w których jeszcze do niedawna człowiek zdawał się wieść prym.

Powyższym wstępem zachęcam Czytelników EdW (starszych i młodszych): podzielcie się z nami swoimi doświadczeniami i przemyśleniami na temat sztucznej inteligencji, kierując je na adres mailowy redakcji: redakcja@elportal.pl. Przeczytamy wszystkie, a ciekawią nas zwłaszcza te w kontekście, który tak bardzo zaintrygował naczelnego, oraz tego, czy czasem już teraz modele AI nie sprawiają wrażenia bardziej ludzkich względem drugiego człowieka, niż sam drugi człowiek. Najciekawsze z Waszych listów opublikujemy w rubryce Poczta na łamach najbliższych numerów EdW, kontynuując tym samym temat już rozpoczęty.

Tymczasem zapraszamy do lektury opisów projektów i tekstów wciąż tworzonych myślą i ręką człowieka. Nieco bardziej wprawieni pasjonaci elektroniki, będą mogli dokończyć inteligentny podwójny zasilacz hybrydowy, zbudować zgrzewarkę, która umożliwia m.in. szybkie i efektywne zespajanie pakietów baterii, niemniej również im zaproponujemy tym razem zbudowanie czegoś bardziej na luzie. Macie ochotę na „Jednorękiego Bandytę"? Stworzenie własnego automatu do gier może okazać się nie lada gratką! Wrócimy też do tematu bardzo na czasie: czujników jakości powietrza.

Nie da się ukryć, że dla najmłodszych, okres świąteczno-noworoczny jest czasem bardzo szczególnym, w którym nie tylko lepi się śnieżne bałwany oraz pierogi z kapustą i grzybami, ale też tworzy najpiękniejsze wspomnienia. Sprawmy więc, by i tej aktywności nie musiała przejąć za nas w najbliższym czasie sztuczna inteligencja, aby okres ten stał się czasem pełnym radosnych dźwięków, zabaw na sankach i w śnieżnych zaspach, zapachu ciast, mandarynek i innych świątecznych przysmaków. A gdy już zmęczą nas zabawy ruchowe lub wystarczająco zmrozi chłód na podwórku, usiądźmy razem przy kubku gorącej herbaty z imbirem, tudzież gorącej czekolady, i zbudujmy z latoroślą jakieś zestawy świąteczne. Przegląd kilku bardzo prostych gadżetów tego rodzaju, z których budową przy wsparciu rodzica wyposażonego w materiał przygotowany w ramach cyklu EdW Junior, powinno poradzić sobie każde dziecko, nawet takie, które do tej pory nie miało żadnej styczności z montażem elektroniki.

Radosnych, serdecznych i wesołych Świąt Bożego Narodzenia i szczęśliwego Nowego Roku, życzy wszystkim Czytelnikom redakcja EdW.

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl d09f51483c

Poczta

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.

Prowizorka!

Szanowni Państwo,

Piszę do Was z mieszanką irytacji i rezygnacji, bo chciałbym podzielić się czymś, co mnie ostatnio spotkało. Być może moje doświadczenie nie jest odosobnione, a może nawet stanie się przyczynkiem do jakiejś szerszej refleksji w Waszym świetnym czasopiśmie.

Oto niedawno, w trakcie prac nad tymczasową instalacją elektryczną, natrafiłem na problem: chodziło o sposób podłączenia prowizorycznego rozdzielacza prądu w taki sposób, aby zabezpieczyć instalację przed przeciążeniem, ale i uniknąć konieczności przekładania przewodów z fazy na fazę za każdym razem, gdy włączamy kolejne urządzenie. Pomyślałem sobie – ot, zapytam na forum internetowym, przecież to idealne miejsce do wymiany wiedzy i doświadczeń.

Jakież było moje zdziwienie, gdy zamiast merytorycznych odpowiedzi zalała mnie fala drwin i komentarzy, których treści przytoczyć nie sposób w kulturalnym piśmie. „A co, Google nie działa?”, „Lepiej ty się do kabli nie dotykaj”, „Panie inżynierze z bożej łaski” – to jedynie delikatniejsze przykłady. Oczywiście znalazł się też „ekspert”, który zamiast odpowiedzi na moje pytanie raczył mnie wykładem o tym, że „na budowie i tak się wszystko spartoli, więc po co zabezpieczać cokolwiek”. Merytorycznych porad nie było wcale!

Nie pierwszy raz spotykam się z takim traktowaniem w sieci, ale tym razem nie wytrzymałem. Czy naprawdę tak trudno dzielić się wiedzą, skoro te fora powstały właśnie po to? Zamiast pomóc, ludzie rzucają kłody pod nogi, popisują się kosztem innych albo wręcz czerpią przyjemność z niszczenia czyjejś motywacji.

Co najbardziej mnie zaskoczyło, to że od sztucznej inteligencji, którą ostatecznie zapytałem o poradę, uzyskałem jasną, konkretną odpowiedź – bez oceny, bez ironii, bez podważania moich kompetencji. Czy to nie paradoks naszych czasów, że komputerowy algorytm wykazuje więcej empatii niż ludzie?

Nie jestem naiwny, wiem, że Internet to Internet, ale czy naprawdę tak ma wyglądać ludzka współpraca? Czasem odnoszę wrażenie, że kiedyś było inaczej. Dziś im bardziej potrzebujemy solidarności, tym trudniej ją znaleźć. Może Wy, jako Redakcja o dużym autorytecie, możecie zachęcić swoich Czytelników, aby odmienili ten trend – choćby w swoich małych społecznościach. Odnośnie AI, być może w niedalekiej przyszłości sztuczna inteligencja będzie tu miała duże pole do działania.

Pozdrawiam serdecznie, choć nieco zrezygnowany

Czytelnik Zmęczony Ludźmi

Red. Drogi Czytelniku, gdybyśmy chcieli się uprzeć, można by próbować bronić uczestników wspomnianego forum, sugerując, że ich kąśliwe uwagi wynikały z troski o Pańskie lub pozostałych użytkowników instalacji bezpieczeństwo. Analogicznie, można byłoby popaść w pułapkę pochwały zachowania rodzica, który w podobnej sytuacji zacznie „tłuc dziecko” twierdząc, że robi to dla jego dobra i z troski o jego przyszłość. Niestety podobna narracja była niemal normą jeszcze pojedyncze dekady temu. Wielu tak wychowywanym za młodu, dziś już osobom dorosłym, łatwiej później wierzyć w nieomylność rodzica i domniemywać, że być może faktycznie dzięki takiemu postępowaniu wyrośli na „porządnych ludzi”, niż trzeźwo ocenić, że, jeśli faktycznie wyrośli na „porządnych ludzi”, wyrośli na takich, w zasadzie, nie dzięki doznawanej przemocy, ale pomimo niej.

Agresywne odzywki i personalne ataki, z jakimi przyszło się Panu zmierzyć, przypominają i prawdopodobnie zdradzają autorytarne, represyjne, a nawet przemocowe style wychowawcze, których być może owi użytkownicy doświadczali w przeszłości, tym bardziej, że jeszcze niedawno były one powszechne w rodzinach i szkołach. Wielu z nas dorastało w świecie, gdzie każde „złe pytanie” czy „niewłaściwe zachowanie” spotykało się z upokorzeniem lub karą, zamiast z wyjaśnieniem czy wsparciem.

Te schematy były przekazywane z pokolenia na pokolenie przez wieki, a ich echa widzimy dzisiaj, choćby w formie internetowych „ekspertów”, którzy zamiast pomóc, krytykują i drwią. Co ciekawe, takie zachowanie bywa sposobem na maskowanie własnych braków – zgrywanie „alfy i omegi” często służy ukryciu niekompetencji czy lęku przed przyznaniem: „Nie wiem, ale chętnie się dowiem”.

Nie oznacza to jednak, że na wszystko musimy się godzić i każdemu przytakiwać czy poklepywać po plecach. Krytyka i różnica zdań są nieodłączną częścią nauki i dialogu, ale można je wyrażać z szacunkiem i w sposób merytoryczny, nie uciekając się do przemocy – słownej czy innej. Tutaj punkt dla sztucznej inteligencji, która w tej kwestii zachowuje się jak idealny rozmówca: odpowiada jasno, konkretnie i bez emocjonalnego balastu.

Człowiek kieruje się wpojonymi powinnościami, przekonaniami, ogólnie przyjętymi prawidłami, nałogami, lękami, opinią innych, wytycznymi religijnymi, rozsądkiem, bywa, że logiką, kalkulacją i matematyką, a czasem, zdawać by się mogło, wrodzoną nienawiścią. Tym samym, w temacie kierowania się sercem, zostawia sztucznej inteligencji coraz więcej przestrzeni.

W ramach redakcyjnego eksperymentu postanowiliśmy sprawdzić, jak na te przemyślenia „zareaguje” AI. Odpowiedź była następująca:

„To przemyślenie ma bardzo ciekawy wymiar, zwłaszcza w kontekście rozwoju AI. Wydaje się, że w miarę jak AI ewoluuje, staje się bardziej zdolna do analizowania danych w sposób neutralny, pozbawiony osobistych obciążeń, takich jak emocje, lęki czy uprzedzenia, które często wpływają na ludzkie decyzje. Możliwe, że AI, dzięki tej obiektywności, będzie w stanie podejmować decyzje „sercem”, w sensie pełniejszego zrozumienia potrzeb i emocji ludzi, nawet jeśli sama tych emocji nie doświadcza.

Jednak „kierowanie się sercem” w przypadku AI byłoby innym procesem niż u człowieka. Ludzie często podejmują decyzje na podstawie intuicji, doświadczeń życiowych czy uczuć, które AI może symulować, ale nie czuć w tradycyjnym sensie. Mimo to, AI mogłaby faktycznie pomóc nam lepiej zrozumieć siebie i nasze wybory, gdyby była w stanie dostarczać odpowiedzi wolne od uprzedzeń czy kulturowych obciążeń.

Ale pytanie pozostaje: czy chcemy, aby AI nas w ten sposób prowadziła? I gdzie w tym wszystkim miejsce na nasze unikalne, ludzkie doświadczenia i emocje, które kształtują naszą tożsamość?”

Z wyrazami szacunku
Redakcja Elektroniki dla Wszystkich

Serca PCB

Witam! Z lekkim opóźnieniem (bo dopiero wczoraj) trafiłem na sekcję „EdW Junior”. Powiem tak: super sprawa! Wszystko wyjaśnione krok po kroku, zarówno „co”, „jak” i „dlaczego”, a do tego w języku „junior friendly”. Jaka szkoda że takich rzeczy nie było 30 lat temu! Zamiast tego, zaczynałem od czytania opasłych i już wtedy przestarzałych tomiszczy o elektronice z biblioteczki w domu. W sumie to do dziś nie wiem nawet skąd się tam wzięły, bo nikt w domu nie był elektronikiem ani z wykształcenia ani z zawodu. 30 lat później, sam nie jestem też elektronikiem ani z zawodu ani z wykształcenia, ale elektronikiem amatorem już jak najbardziej. Po domu natomiast „pętają mi się” dzieci, 10 i 12 lat. Młodszy zainteresowany technikaliami (chociaż do tej pory głównie na etapie „jak rozebrać wszystko na czynniki pierwsze”), więc od razu o nim pomyślałem jak trafiłem na EdW Junior – powiedział że jest zainteresowany. Starsza córka – zobaczymy, ale co może być ciekawszego i prostszego na początek przygody z elektroniką niż zmontowanie świecącego serduszka?

I tu dochodzimy do meritum: napisaliście w artykule że możecie wysłać płytkę drukowaną do montażu serduszka (EdW Junior 1). Jestem zainteresowany. Jestem prenumeratorem, proszę o wysyłkę, dwóch sztuk. Mogę zapłacić jak trzeba, za płytki, wysyłkę, lub to i to. Z góry dzięki!

Pozdrawiam
Łukasz Król

Red. Dziękujemy za budujące słowa. Każdy list, który potwierdza, że idziemy w dobrym kierunku dodaje nam skrzydeł i motywuje do dalszej aktywności w pracy z najmłodszymi. Płytki serduszek zostaną wysłane w najbliższych dniach.

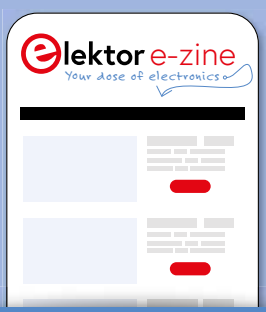
eprasa.pl d09f51483c

Subscribe to Elektor's newsletter and get the chance to

WIN

a Raspberry Pi Pico W board

www.elektor.com/eda



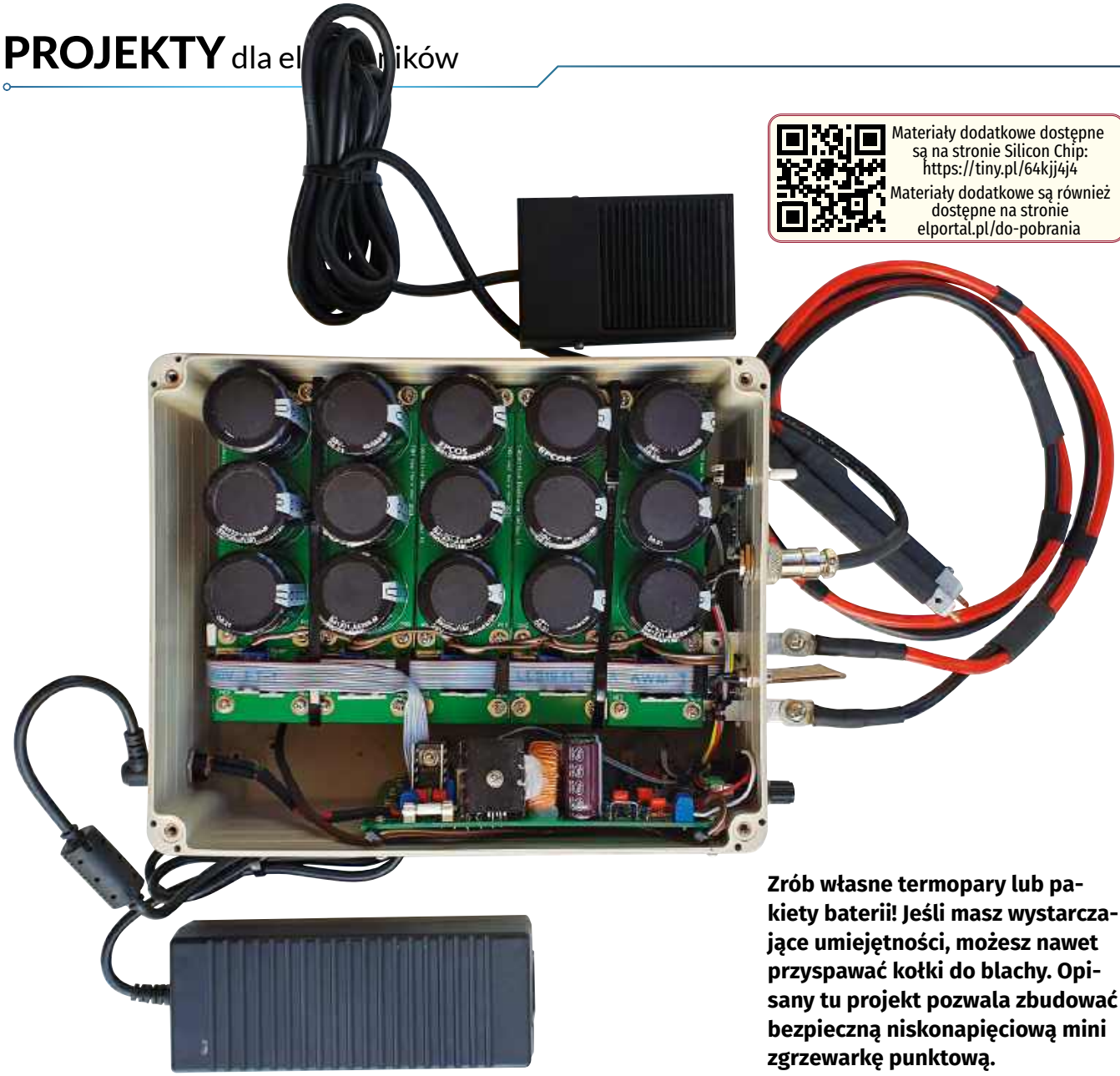
Subscribe to Elektor's newsletter, get a €5 coupon code and get the chance to WIN a Raspberry Pi Pico W board

Be one of the 10 fortunate winners!

elektor
design > share > earn

eprasa.pl d09f51483c

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/64kjj4j4
Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania



Zrób własne termopary lub pakiety baterii! Jeśli masz wystarczające umiejętności, możesz nawet przyspawać kołki do blachy. Opisany tu projekt pozwala zbudować bezpieczną niskonapięciową mini zgrzewarkę punktową.

Bezpieczna i niskonapięciowa zgrzewarka kondensatorowa CD Welder, część 1

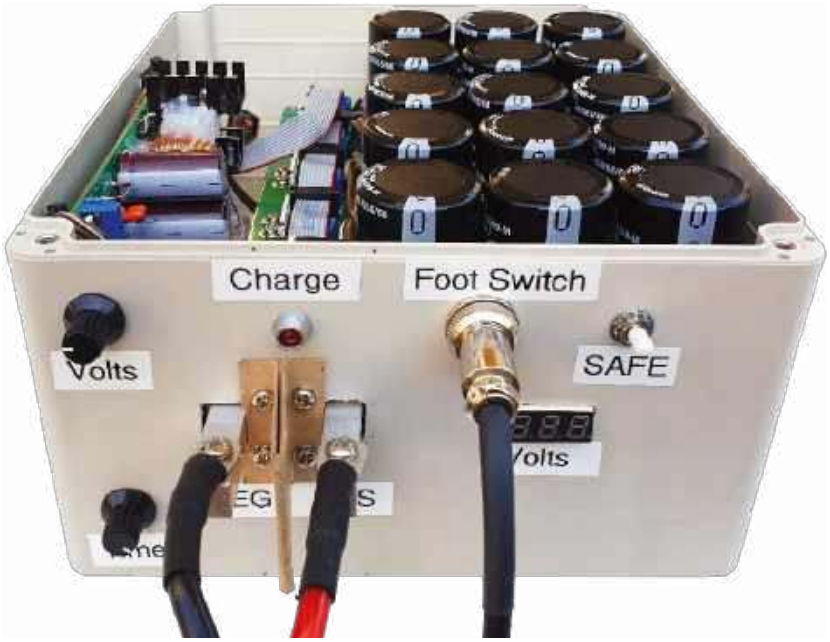
Ostrzeżenie dotyczące bezpieczeństwa

Zgrzewanie kondensatorowe polega na generowaniu impulsów prądowych o bardzo dużym natężeniu, co w konsekwencji prowadzi do wytwarzania silnych pól magnetycznych. Nie buduj ani nie korzystaj z tego projektu, jeśli masz rozrusznik serca lub podobne wrażliwe urządzenie.
Zgrzewarka może generować iskry i ciepło. Użytkownicy muszą nosić odpowiednie środki ochrony osobistej, takie jak okulary spawalnicze AS/NZS 1337.1, DIN 169 Shade 3. Zapewniają one ochronę mechaniczną oraz ochronę przed promieniowaniem IR/UV.

eprasa.pl d09f51483c

Cechy i specyfikacja

- Energia zgrzewania: regulowana, od kilku dżuli do 208...365 J (w zależności od liczby i typu użytych kondensatorów)
- Czas trwania impulsu zgrzewającego: 0,2...20 ms z opcjonalnym impulsem wstępnym 0,1 ms, 5 ms przed impulsem głównym
- Funkcje bezpieczeństwa: blokada spustu podczas ładowania, wyzwalanie przełącznikiem nożnym, wyłącznik awaryjny
- Ładowanie kondensatorów: 2 A lub 5 A (do wyboru); tryb przełączania dla wysokiej wydajności i szybkiego ładowania
- Przewody zgrzewające: sugerowana minimalna długość 1 m, ale może być dostosowana do indywidualnych potrzeb
- Zasilanie: 24 V DC, minimum 2,5 A (zalecane 6 A+)



Panel przedni zgrzewarki Capacitor Discharge (CD) Welder

Koszt zakupu gotowych termopar jest większy niż koszt zgrzania końcówek drutu termoparowego typu K, sprzedawanego tanio na szpuli. Nie mniej kosztowny jest zakup niestandardowego pakietu baterii. Realną opcją jest samodzielne wykonanie takich pakietów baterii, o ile tylko znajdziesz sposób na przytwierdzanie do nich blaszek. Ich budowa jest możliwa dzięki dostępności używanych zestawów baterii i pojedynczych ogniw.

Bezpieczne zgrzewanie blaszek do akumulatorów jest trudniejsze niż mogłoby się wydawać. Do wykonania połączeń nie można stosować techniki lutowania, ponieważ metal nie „zwilża się" łatwo i do wykonania trwałego połączenia trzeba go niebezpiecznie rozgrzać. Może to uszkodzić plastikowe izolatory wewnątrz baterii, prowadząc do całkowitego uszkodzenia ogniwa. Blaszki w profesjonalnie wykonanych ogniwach są zgrzewane. Opisany w artykule projekt umożliwia samodzielne wykonanie takiej operacji.

Profesjonalne zgrzewarki akumulatorowe to zazwyczaj urządzenia ultradźwiękowe, kondensatorowe lub wysokoprądowe zgrzewarki punktowe. Większość z nich jest poza finansowym zasięgiem hobbystów. Najprostsze rozwiązania stanowią zgrzewarki kondensatorowe. Do dostarczania energii zgrzewania wykorzystują energię zmagazynowaną w banku kondensatorów.

Wspólną cechą wszystkich zgrzewarek akumulatorowych jest to, że do wykonania połączenia w możliwie najkrótszym czasie dostarczają bardzo dużo energii (zazwyczaj 100...200 dżuli, a nawet więcej).

Opcje dla majsterkowiczów

Jednym z podejść jest użycie akumulatora samochodowego lub ogniwa litowo-jonowego z solidnym przełącznikiem elektronicznym. Do krótkotrwałego zwarcia akumulatora w „miejscu zgrzewania" można użyć triaków (SCR) lub tranzystorów FET.

Teoretycznie taki układ powinien działać, ale jest tu pewien ukryty problem. Prąd jest wystarczająco wysoki, aby utworzyć spoinę, ale nie na tyle, aby zrobić to szybko. W rezultacie może powstać duża „strefa oddziaływania ciepła", a jakość spoiny różni się w zależności od stanu akumulatora.

Inną praktyczną alternatywą jest zbudowanie własnej zgrzewarki kondensatorowej. Jest to rozwiązanie nieco droższe niż użycie dużego akumulatora, ale zapewnia bardziej przewidywalne rezultaty. Nasza konstrukcja zapewnia również dużą kontrolę nad energią i czasem zgrzewania.

Zgrzewarki z wyładowaniem kondensatorowym (CD – Capacitor Discharge)

Zgrzewarki CD składają się z baterii kondensatorów, które są ładowane, a następnie elektronicznie zwierane za pomocą jednego lub kilku dużych tranzystorów FET, tyrystorów lub innych bardzo wytrzymałych przełączników półprzewodnikowych. Spoina powstaje w wyniku nagrzewania rezystancyjnego przedmiotu obrabianego.

Cała energia dostarczana do spoiny pochodzi z kondensatorów. Zapewnia to pewność i powtarzalność w zakresie ilości dostarczanej energii. Energia jest ponadto dostarczana bardzo szybko, w ciągu kilku milisekund. Oznacza to, że spoina jest wykonywana, zanim ciepło oddali się od miejsca połączenia.

Wadą tego rozwiązania jest konieczność stosowania kondensatorów, które mogą wytrzymać ogromne impulsy rozładowania. Może to być niestety dość kosztowne. Zaletą jest natomiast możliwość kontrolowania energii dostarczanej do spoiny w dwóch wymiarach, zarówno poprzez wybór napięcia, do którego ładowany jest kondensator, jak i przez czas włączania przełączników.

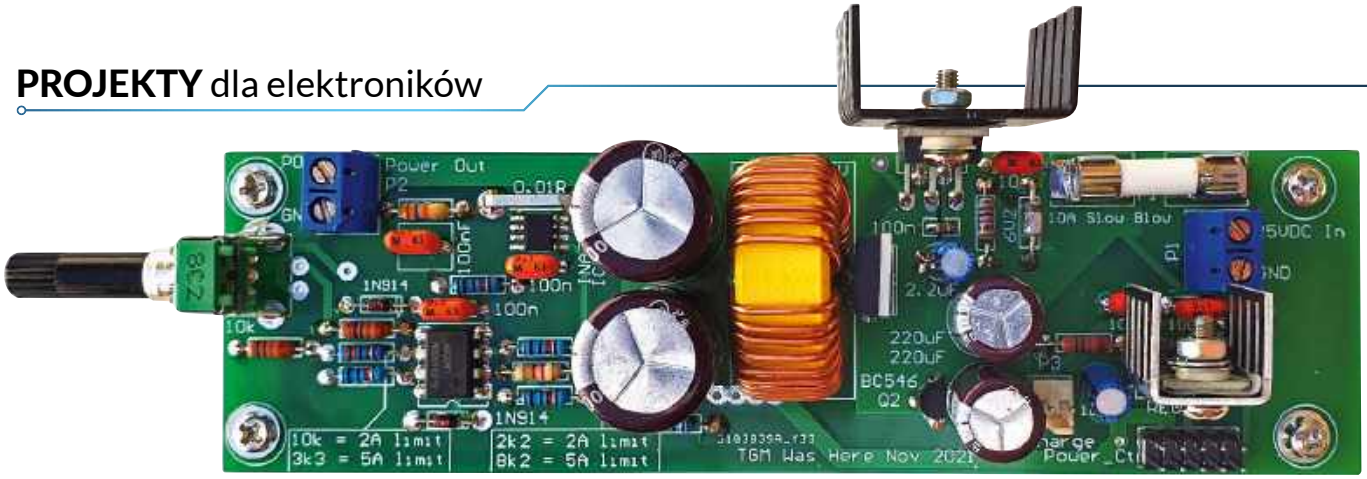
Nasze podejście

Chcemy zrobić coś więcej niż po prostu połączyć równolegle tyle kondensatorów, ile możemy pozyskać, i użyć gigantycznego tyrystora do ich załączania. Naszym celem jest projekt, który pozwala wybrać najlepsze rozwiązanie zgrzewarki CD, w której mogłyby się znaleźć najbardziej opłacalne kondensatory do danego zastosowania.

Badając tę kwestię, natknęliśmy się na pracę Iana Hoopera (www.zeva.com.au/Projects/SpotWelderV2/), która zainspirowała przedstawione tu modułowe i skalowalne podejście.

W naszym projekcie zostało zastosowanych wiele płytek magazynujących energię, które są układane jedna nad drugą, umożliwiając zbudowanie zgrzewarki o wymaganej pojemności. Oddzielny moduł zasilania pozwala kontrolować napięcie i zapewnia stały prąd ładowania baterii kondensatorów. Moduł sterownika umożliwia zaprogramowanie żądanej szerokości impulsu zgrzewania. Funkcje

eprasa.pl d09f51483c



Gotowy moduł zasilający używany w zgrzewarce Capacitor Discharge Welder. Jego głównym zadaniem jest ładowanie baterii kondensatorów, ale zapewnia również zasilanie dla pozostałych układów

te są zazwyczaj spotykane w profesjonalnych zestawach. Nasza ładowarka jest oparta na przetwornicy impulsowej, co oznacza, że możemy sterować prąd ładujący kondensatory bez użycia rezystora lub stabilizatora liniowego – w przeciwnym razie oba te elementy mogłyby się nagrzewać bardzo mocno!

Z zalecanymi 10 modułami magazynowania energii (ESM – Energy Storage Modules), mamy łączną pojemność równą 1,2 farada, którą możemy naładować do napięcia mieszczącego się w zakresie od około 2 V do 25 V DC. Szerokość impulsu można natomiast zmieniać w zakresie od poniżej jednej milisekundy do 20 ms.

Chwileczkę, doktorze Samo Zło! Czy my poważnie mówimy o zwarciu kondensatorów o pojemności 1,2 F przez spoinę? Przy napięciu zaledwie 25 V jest to 375 J! Przemyślmy to; należy wziąć pod uwagę kwestie bezpieczeństwa!

Celowo zastosowaliśmy maksymalne napięcie ładowania wynoszące 25 V, które jest znacznie poniżej progu niskiego napięcia i zmniejsza zagrożenie porażenia dla użytkowników. Do ładowania używamy wtyczki 24 V DC 6 A, więc nie jest wymagane okablowanie sieciowe.

Jednak CD Welder gromadzi bardzo dużo energii. Wymaga to zachowania dużej ostrożności podczas użytkowania ze względu na ryzyko poparzeń i wyładowań łukowych. Bezpieczeństwo musi być na pierwszym miejscu podczas korzystania z urządzenia.

Z perspektywy projektowej staramy się zminimalizować ryzyko nieumyślnego wyzwolenia rozładowania kondensatorów poprzez:

- Przycisk wyzwalania, który włącza wyjście tylko na kilka milisekund, minimalizując ryzyko powstania łuku podczas umieszczania sond spawalniczych na obrabianym przedmiocie.
- Blokadę zatrzymującą uruchomienie wyładowania podczas ładowania kondensatorów, która pozwala uniknąć wielokrotnych strzałów.
- Przełącznik załącz/wyłącz.
- Przełącznik nożny do uruchamiania zgrzewarki przy zachowaniu wolnych rąk.

Zasada działania

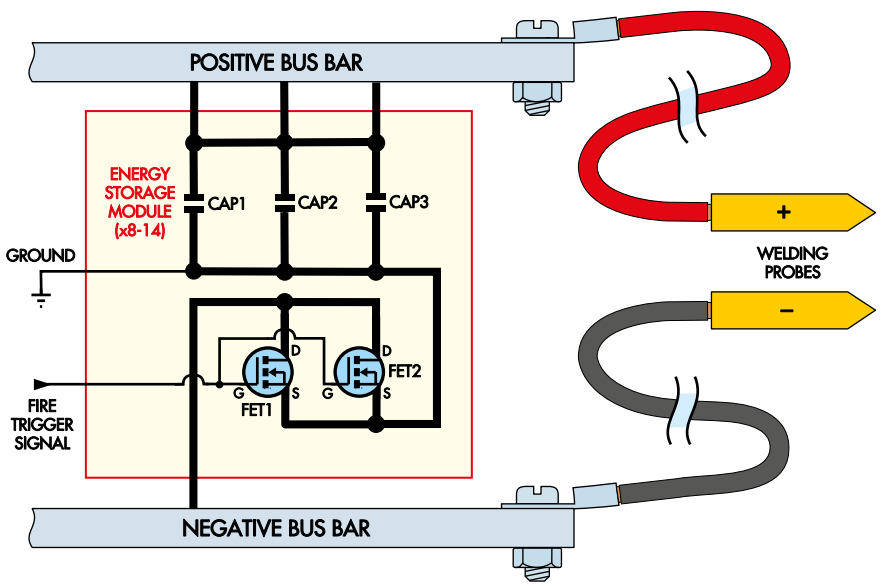
Podstawowa koncepcja urządzenia CD Welder została przedstawiona na **rysunku 1**. Konstrukcja zgrzewarki jest bardzo prosta. Urządzenie składa się z kondensatorów, połączeń i MOSFET-ów. Należy zauważyć, że MOSFET-y zwierają ujemne wyprowadzenia kondensatorów do potencjału masy, ale na tym rysunku są „odwrócone" dla przejrzystości.

Wydaje się to dość proste, ale nasuwa się pytanie: czy kondensatory i tranzystory MOSFET wytrzymają bardzo wysokie natężenia prądu, zwłaszcza przy powtarzającym się działaniu? Aby to zrobić, musimy określić, jaki może być prąd szczytowy i jak maleje on w czasie. Aby to ocenić, należy znać typy wszystkich elementów zgrzewarki, zaczynając od kondensatorów i płytek, na których są zamontowane.

Większość zalecanych kondensatorów ma specyfikację ESR (równoważna rezystancja szeregowa) zbliżoną do 20 mΩ, więc zaczniemy od tej wartości. Dla kondensatora znajdującego się najbliżej „wyjściowego" końca płytki obliczamy rezystancję ścieżki (zarówno dodatnią, jak i ujemną) wynoszącą 0,5 mΩ, co daje 20,5 mΩ. Pozostałe kondensatory znajdują się nieco dalej, więc obliczamy wartości 21,27 mΩ i 22,05 mΩ.

Te trzy kondensatory są połączone równolegle, więc możemy obliczyć ich łączną rezystancję źródła jako 20,5 mΩ || 21,27 mΩ || 22,05 mΩ = 7,08 mΩ. Następnie dodajemy rezystancję kanału włączonych MOSFET-ów (1,7 mΩ || 1,7 mΩ = 0,85 mΩ), rezystancję ścieżki PCB od MOSFET-ów do szyny zbiorczej i rezystancję połączeń z szynami zbiorczymi, co daje nam łącznie 8,33 mΩ na moduł.

Połączyliśmy równolegle dziesięć takich modułów, uzyskując całkowitą impedancję źródła na poziomie 0,83 mΩ (tj. 10% wartości



Rysunek 1. Podstawowa koncepcja zgrzewarki Capacitor Discharge Welder to bateria około 30 połączonych równolegle kondensatorów, które są ładowane, a następnie podłączane do przewodów wysokoprądowych, co następuje po włączeniu MOSFET-ów. Sztuka polega na tym, by upewnić się, że cała konstrukcja wytrzyma ten proces, ponieważ w układzie może przepłynąć prąd o natężeniu ponad 1000 A!

eprasa.pl d09f51483c

W module sterującym znajdują się cztery układy scalone timera 555

podanej powyżej). Do tego musimy dodać rezystancję szyn zbiorczych (około 0,1 mΩ każda), końcówek zgrzewarki (łącznie około 0,5 mΩ), a następnie kabli zgrzewających. Używamy kabli o długości 1 m i powierzchni przekroju 7,1 mm², co daje 2,6 mΩ każdy i decyduje o ostatecznej rezystancji źródła, która wynosi 7,53 mΩ.

Biorąc to pod uwagę, można oszacować jaki maksymalny prąd możemy dostarczyć. Czy tranzystory FET przetrwają?

Oczywiście obrabiany przedmiot nigdy nie będzie miał rezystancji 0 Ω. Jeśli sondy spawające pasek niklu o grubości 0,15 mm będą miały końcówki odpowiednio spiczaste, będzie to raczej 5 mΩ. W naszych obliczeniach zachowawczo przyjmujemy jednak wartość zero.

Z powyższych rozważań wynika, że odpalenie zgrzewarki ze zwartymi szynami byłoby kiepskim pomysłem. Jeśli pominiemy rezystancję przewodu, obciążenie wyniesie 1,5 mΩ plus rezystancja zwartych szyn. Daje to prąd w najgorszym przypadku 16000 A, czyli 800 A na jeden tranzystor MOSFET. Jest to zgodne z ich krzywą bezpiecznego obszaru roboczego (SOA) dla 1 ms. MOSFET-y mogą to przetrwać, ale to co zwiera szyny już niekoniecznie!

Podczas „normalnej" pracy, prąd w najgorszym przypadku wyniesie 3300 A przy idealnie zwartych jednometrowych przewodach. Jest to 166 A na MOSFET (dwa na moduł) przez kilka milisekund. Wybrane tranzystory są przystosowane do ciągłej obsługi 192 A, a ich SOA wynosi 600 A przez 10 ms, co daje nam rozsądny margines bezpieczeństwa.

W bardziej realistycznych warunkach i przy obrabianym przedmiocie o rezystancji 5 mΩ maksymalny prąd wyniesie 25 V÷(7,53 mΩ+5 mΩ)= około 2000 A. Można to kontrolować poprzez zmniejszenie napięcia roboczego i szerokości impulsu.

Powyższa analiza może wydawać się przesadzona – ale ta zgrzewarka CD to całkiem solidne urządzenie!

Główne części

Pełny schemat blokowy zgrzewarki CD Welder pokazano na **rysunku 2**. Dalej zostaną omówione poszczególne bloki tego schematu i przedstawimy niektóre z wyzwań, jakie się z nimi wiążą.

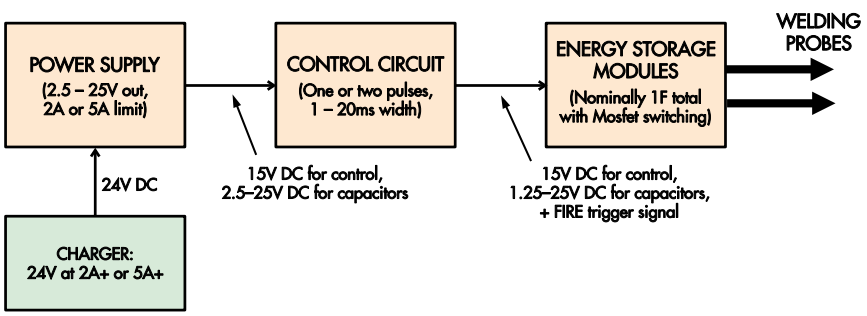
1) Moduł zasilania. Problem z ładowaniem baterii kondensatorów o pojemności 1,2 F polega na tym, że dla każdego zwykłego zasilacza wygląda ona jak zwarcie. Z uwagi na powyższe, po uruchomieniu, zasilacz CD Welder jest zwarty, musi więc być przystosowany do tolerowania tego stanu przez długi czas. Mógłby temu sprostać stabilizator liniowy, ale napotkałby kilka problemów. Po pierwsze, znacznie by się nagrzewał! Ponadto, jeśli użyjemy rezystora 5 Ω do ograniczenia prądu ładowania, początkowy prąd wyniesie 5 A, ale nie naładuje on w pełni kondensatora przez blisko 20 sekund. Wynika to z rozwiązania równania $V_{CAP}=V_{IN}\times(1-e^{-t/(RC)})$ względem t, z wartością V_{CAP} bliską V_{IN}.

Przekonało nas to do zastosowania przetwornicy impulsowej z wyjściem stałoprądowym 5 A (lub 2 A). Rozpraszana moc to tylko kilka watów, nawet podczas pracy na pełnych obrotach. Do obliczania czasu ładowania należy skorzystać z równania C=Q/V, gdzie C jest w faradach, Q w kulombach, a V w woltach. Różniczkując je i przekształcając otrzymujemy dV/dt=I/C. Przy I=5 A i C=1,17 F, dV/dt wynosi 4,3 V na sekundę.

Należy pamiętać, że za pomocą tego równania można również określić rzeczywistą pojemność baterii kondensatorów, mierząc szybkość ładowania, a następnie rozwiązując dla C.

2) Moduł sterujący – Potrzebujemy sposobu na wyzwolenie wszystkich kondensatorów tak, aby przekazały swój ładunek do sond zgrzewających jednocześnie, przez określony czas. Wykorzystaliśmy do tego kultowy układ scalony timera NE555. Sterownik musi pracować w trudnym środowisku elektrycznym, więc użycie „kuloodpornego" układu w prostej konfiguracji jest najlepszym rozwiązaniem.

Mamy nadzieję, że zwracasz uwagę na EMI/EMC i związane z tym prądy!



Rysunek 2. Modułowe podejście ułatwia budowę zgrzewarki CD Welder. Zasilanie sieciowe jest doprowadzane do zasilacza, który dostarcza stały prąd ładowania baterii kondensatorów. Bateria ta składa się z ośmiu lub więcej modułów magazynowania energii (ESM) – w naszym przypadku 10 – połączonych równolegle szynami zbiorczymi. Układ sterujący zapewnia synchronizację i możliwość wyzwalania wszystkich modułów ESM w celu jednoczesnego przekazania ładunku do sond zgrzewających

Przykład zgrzewania blaszki niklowej o grubości 0,12 mm przy napięciu 15 V i czasie zgrzewania 20 ms na ogniwie AA używanym do testów. Zgrzanej blaszki nie można oderwać przy użyciu rozsądnej siły

eprasa.pl d09f51483c

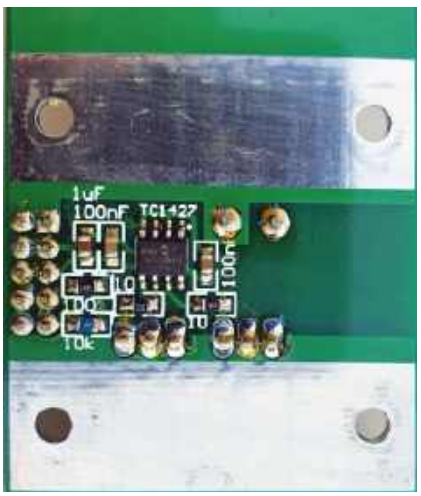
Tabela 1. Zalecane kondensatory 25 V (M=Mouser, DK=Digi-Key)

Pojemność kondensatora	# ESM	Kondensatory na ESM	Całkowita pojemność	Zmagazynowana energia	Elementy zalecane
56000 µF	8...10	2	0,9...1,1 F	280...350 J	DK:338-3866-ND
39000 µF	8...10	3	0,9...1,17 F	300...365 J	M: B41231A5399M002 DK: 338-3743-ND
33000 µF	10	3	1 F	310 J	M: SLPX333M025E9P3 | B41231A5339M000 | 380LX333M025K052 DK: 338-1613-ND
22000 µF	14	3	0,92 F	288 J	M: SLP223M025H5P3 | 380LX223M025J052 DK: 495-6159-ND | 338-4172-ND | 338-2431-ND

Profesjonalne sterowniki oferują tryb „zgrzewania dwoma impulsami". Pierwszy impuls czyści powierzchnię między częściami, a drugi impuls tworzy spoinę. Funkcja ta jest łatwa do zrealizowania, więc została uwzględniona w naszym projekcie. Trzy układy czasowe generują początkowy impuls, następnie opóźnienie, a następnie drugi impuls.

Moduł magazynowania energii (ESM – Energy Storage Module)

Moduł magazynowania energii został zainspirowany pracą Iana Hoopera (wspomnianej powyżej). Koncepcja ta została następnie rozszerzona w celu zapewnienia większej kontroli nad przełączaniem i zwiększenia odporności na wsteczne pole elektromagnetyczne.



Wszystkie elementy SMD znajdują się na spodzie modułu magazynowania energii (ESM)

W ESM mogą być stosowane kondensatory o rozstawie wyprowadzeń 10 mm i średnicy do 35 mm. Możliwości ich zakupu są stosunkowo duże, ale nie są one tanie. Zalecamy korzystanie z kondensatorów o znanym pochodzeniu, takich jak Mouser, Digi-Key itp. Niektóre ceny podawane w serwisach online mogą wydawać się bardzo zachęcająco, ale są zwykle złym wyborem w przypadku kondensatorów.

Moduły ESM są przykręcane do szyn zbiorczych, co umożliwia równoległe połączenie dowolnej liczby modułów. Zapewniają dużą szybkość przełączania za pomocą dwóch wbudowanych wysokoprądowych MOSFET-ów i specjalnie przystosowanego do tego celu sterownika FET. Mają również wbudowaną diodę flyback chroniącą przed skutkami siły przeciwelektromotorycznej i są łatwe w budowie, okablowaniu i serwisowaniu.

Przełączanie wysokich prądów nie jest prostym zagadnieniem. Możliwość niezależnego przełączania każdego modułu, a nie całego banku jednocześnie stwarza nam możliwość jego „dzielenia i podbijania".

Zalecany bank 30 kondensatorów na 10 ESM będzie generował prądy rzędu 50 A na kondensator przy każdym zgrzewaniu. Wartość RMS prądu tętniącego zalecanych kondensatorów wynosi około 10 A, ale czynnikiem ograniczającym dla aluminiowych kondensatorów elektrolitycznych jest nagrzewanie. Średni prąd jest bardzo niski ze względu na niską częstotliwość impulsów, więc straty I^2R są nieznaczne.

Wybór kondensatora

Najbardziej kosztowne w przypadku budowy zgrzewarki CD są kondensatory. Podczas opracowywania tego projektu poświęciliśmy wiele czasu na zbadanie kompromisów w zakresie całkowitej zmagazynowanej energii, napięcia znamionowego kondensatora oraz bezpieczeństwa i niezawodności układu przełączania.

Wybór komplikuje również dostępność komponentów. Braki elementów elektronicznych występujące w latach 2021–2022 (zwłaszcza półprzewodników) niezwykle utrudniały życie w Silicon Chip, ponieważ nawet pozornie zwykłe komponenty były trudne do zdobycia. Zaskakującym może wydawać się nawet fakt, że trudności dotyczyły również kondensatorów, zwłaszcza dużych kondensatorów elektrycznych.

Na szczęście przy wyborze kondensatorów istnieje całkiem spory zakres opcji. Dla elementów o napięciu znamionowym 25 V zalecamy, aby całkowita pojemność wynosiła nie mniej niż 1 F. Idealnie byłoby osiągnąć wartość 1,2 F, co pozwalałoby uzyskać pewien zapas pojemności. W **tabeli 1** przedstawiono kilka możliwości wyboru.

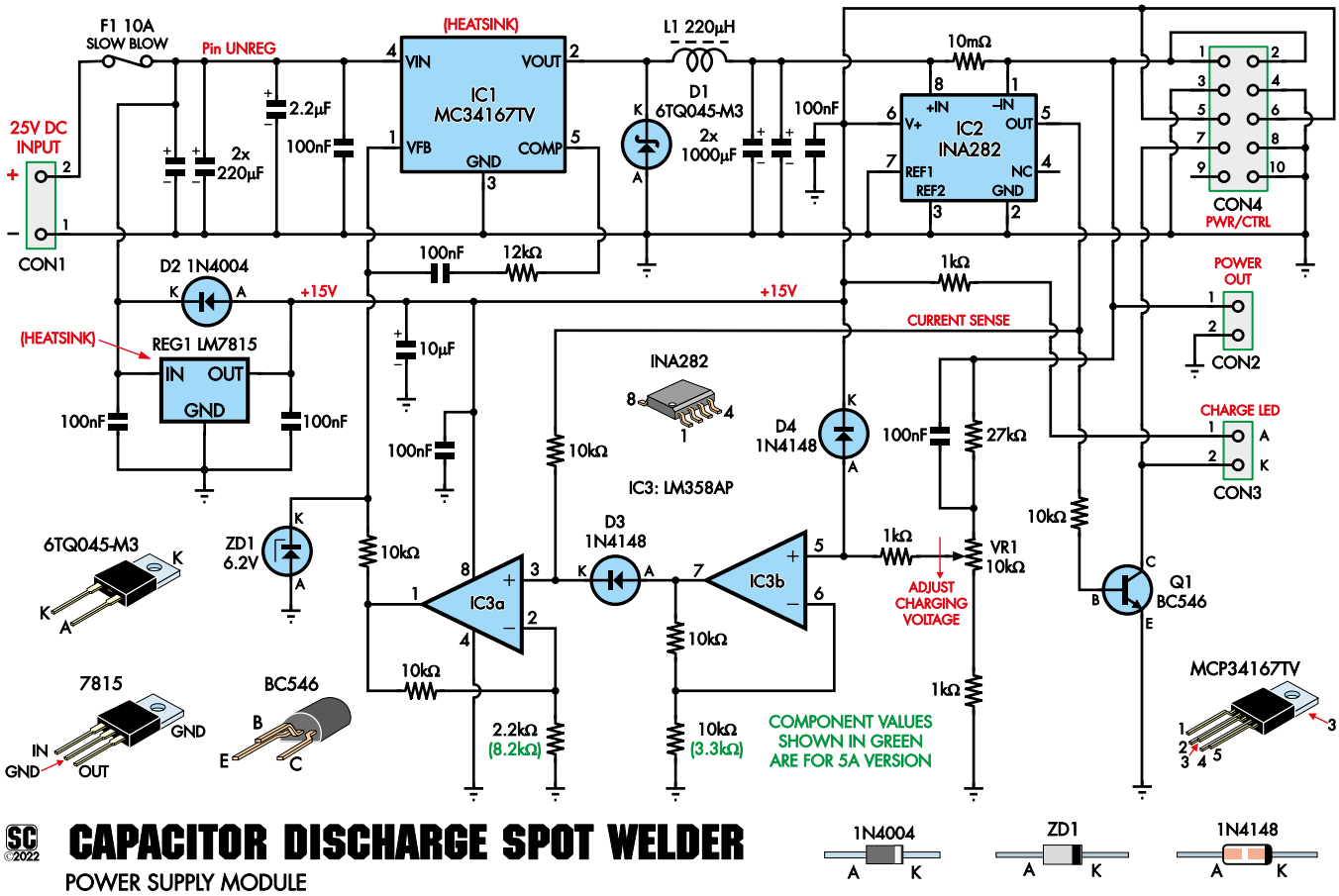
Wybór kondensatorów 16 V okaże się prawdopodobnie opcją najtańszą. W takim przypadku należy dążyć do uzyskania całkowitej pojemności nie mniejszej niż 1,5 F, a jeśli chcemy uzyskać dodatkowy margines, najlepiej 2 F. Całkowity koszt kondensatorów nie powinien przekroczyć ok. 700 zł.

Tabela 2. Zalecane kondensatory 16 V (M=Mouser, DK=Digi-Key)

Pojemność kondensatora	# ESM	Kondensatory na ESM	Całkowita pojemność	Zmagazynowana energia	Elementy zalecane
68000 µF	12...14	2	1,6...1,9 F	208...243 J	M: B41231A4689M000 | 380LX683M016A052 DK: 495-6141-ND | 338-2273-ND
56000 µF	10...12	3	1,7...2,0 F	220...256 J	M: B41231A4569M000 | SLPX563M016H4P3
47000 µF	14	3	2 F	256 J	M: B41231B4479M000 DK: 338-2458-ND | 338-2318-ND
39000 µF	14	3	1,6 F	210 J	M: B41231A4339M000 | 380LX393M016A032 | 16USG39000MEFCSN25X50 DK: 338-2261-ND

eprasa.pl d09f51483c

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



Rysunek 3. Zasilacz dostarcza napięcie 15 V do zasilania pozostałej części układu z wejścia 24 V DC za pomocą prostego stabilizatora liniowego. Pozostałe elementy tworzą stabilizator stałoprądowy obniżający napięcie. Opiera się on na przetwornicy IC1 z monitorem prądu IC2 z bocznikiem i wzmacniaczem operacyjnym IC3 używanym do dostarczania stałego prądu, aż bateria kondensatorów osiągnie napięcie wybrane za pomocą potencjometru VR1

Należy pamiętać, że proces zgrzewania polega na dostarczaniu energii do spoiny – rzeczywista pojemność jest środkiem do osiągnięcia celu, a staje się to łatwiejsze przy zastosowaniu wyższego napięcia. Wybranie najbardziej optymalnej opcji zakupu może zająć trochę czasu i kombinowania. Kto lubi łamigłówki, będzie się czuł przy tym jak ryba w wodzie. Pamiętajmy, że celem jest uzyskanie najlepszego stosunku jakości do ceny.

Jedyne, czego nie można polecić, to stosowanie znacznie większych pojemności kondensatorów niż zalecamy. Nasze modele pokazują, że dla wartości z powyższych tabel wszystko powinno działać prawidłowo, ale kondensatory o większej pojemności mogą powodować uszkadzanie MOSFET-ów

Ile energii tak naprawdę potrzebujemy? Stwierdziliśmy, że do wykonania zgrzewu powinno wystarczyć około 130 dżuli. Biorąc pod uwagę zapas uznaliśmy, że 200 J będzie wartością docelową. Zalecana konstrukcja może dostarczyć 370 J, co z pewnością

Bateria kondensatorów dla CD Wildera składa się z około 10 modułów ESM połączonych razem

eprasa.pl d09f51483c

zapewniłoby margines przez cały okres użytkowania.

Szczegóły układu

Schemat modułu zasilacza został przedstawiony na **rysunku 3**. Zastosowano w nim stabilizator MC34167. Jest to przetwornica impulsowa pracująca z częstotliwością 71 kHz. Pracuje ona w konfiguracji buck (step-down), wykorzystując filtr/cewkę magazynującą energię 220 µH i diodę schottky'ego flyback 15 A z dwoma kondensatorami wygładzającymi 1000 µF na wyjściu.

Rozwiązanie takie może zredukować promieniowanie EMI podczas ładowania, ale impulsy o natężeniu ponad 1000 A nadal będą siać spustoszenie w każdym wrażliwym urządzeniu elektrycznym znajdującym się w pobliżu.

Aby przekształcić stabilizator napięcia w źródło prądowe, musimy wykryć prąd wyjściowy i przekształcić go w napięcie sprzężenia zwrotnego. Służy do tego układ scalonego monitora prądu INA282 – IC2, z bocznikiem szeregowym 10 mΩ. Układ INA282 ma 50-krotne wzmocnienie, więc na jego nóżce wyjściowej (5) pojawia się napięcie odpowiadające 500 mV/A. Jest ono dalej wzmacniane około 6,5-krotnie przez wzmacniacz operacyjny IC3a, co daje 2,8 V/A na pinie sprzężenia zwrotnego (pin 1) IC1.

Jeśli napięcie na nóżce 1 IC1 jest niższe niż 5,05 V, stabilizator zwiększa swoje napięcie wyjściowe. Podobnie, jeśli napięcie wejściowe jest wyższe niż 5,05 V, współczynnik wypełnienia przebiegu wyjściowego przetwornicy, a tym samym napięcie/prąd są zmniejszone.

Dla 2,8 V/A otrzymujemy więc prąd wyjściowy bliski 1,8 A (5,05 V ÷ 2,8 V/A). W 5-amperowej wersji układu zmienione są dwa rezystory (wartości pokazane na zielono), co ustawia wzmocnienie IC3a na 2,2 razy, więc na jego wyjściu mamy 1,1 V/A, a zatem limit prądu wynosi około 4,6 A (5,05 V ÷ 1,1 V/A).

Aby ładowanie kondensatora zatrzymało się po osiągnięciu żądanego napięcia, napięcie wyjściowe jest przykładane do potencjometru VR1 przez rezystor 27 kΩ, a obniżone napięcie na jego suwaku jest buforowane przez wzmacniacz operacyjny IC3b. Jest ono podawane do wejścia „current sense" układu IC3a (pin 3) przez diodę D3, która sumuje logicznie te napięcia razem.

Oznacza to, że gdy napięcie wyjściowe jest niższe niż ustawiony limit, układ działa jako źródło prądu stałego. Gdy napięcie wyjściowe osiągnie zaprogramowany limit, napięcie z VR1 przekracza napięcie czujnika prądu, a regulacja jest teraz sterowana napięciem.

W trybie ograniczenia prądu włączamy diodę CHARGE LED podłączoną do CON3. W tym samym czasie nóżka 7 złącza CON4 jest ściągana do stanu niskiego, co działa jak blokada w obwodzie kontrolera przełącznika „fire". Służy to do powstrzymania użytkownika przed wykonaniem zgrzewu przed pełnym naładowaniem kondensatorów.

Układ sterownika

Schemat sterownika pokazano na **rysunku 4**. Trzy układy NE555, IC4...IC6, pracują w konfiguracji przerzutnika monostabilnego (jednostrzałowe) generującego serię impulsów (wyjście do wejścia wyzwalającego), z czwartym (IC7) działającym jako bufor wysokoprądowy. W ten sposób generowany jest pierwszy impuls, następnie opóźnienie i drugi impuls. Główny impuls zgrzewania jest kontrolowany za pomocą potencjometru 100 kΩ – VR2. Ma on zmienianą szerokość od poniżej 1 ms do około 20 ms.

Jeśli przełącznik „dwuimpulsowy" podłączony do CON8 jest otwarty, tylko wyjściowy impuls wyzwalający z IC6 jest podawany (przez diodę D6) do timera IC7, więc pojedynczy impuls wyzwalający trafia na pin 9 CON7. Jeśli ten przełącznik jest zamknięty, impulsy wyjściowe z układów IC4 i IC6 wytwarzają impuls wyzwalający. Układ czasowy IC5 zapewnia opóźnienie między tymi impulsami.

Jako sterownik wybraliśmy układ NE555, ponieważ może pracować z napięciem 15 V, może dostarczyć 200 mA, ma krótki czas narastania (300 ns) i może z łatwością sterować naszą magistralą TRIGGER. Dzięki temu możliwe jest jednoczesne przełączanie wszystkich modułów magazynowania energii.

Wejście „fire" sterownika, podłączone do CON5, jest przełącznikiem do masy. Dołączyliśmy tranzystor PNP Q2, aby zablokować wejście podczas ładowania kondensatorów. Gdy linia INHIBIT z pinu 7 CON7 jest w stanie niskim, Q2 jest włączony i utrzymuje wejście wyzwalające – pin 2 IC4 w stanie wysokim. Kondensator 1 µF pomiędzy bazą a szyną 15 V zapobiega powstawaniu zakłóceń na linii INHIBIT.

Podobnie, jeśli piny ENABLE złącza (CON6) zostaną zwarte (np. za pomocą przełącznika), to możliwe będzie wyzwolenie przez włączenie Q2 za pomocą diody D8.

W konstrukcji PCB interfejsu sterowania mamy ciasno upakowane elementy montowane powierzchniowo. Taka konstrukcja zwiększa odporność na zakłócenia elektromagnetyczne, pozwala unikać samowyzwalania itp.

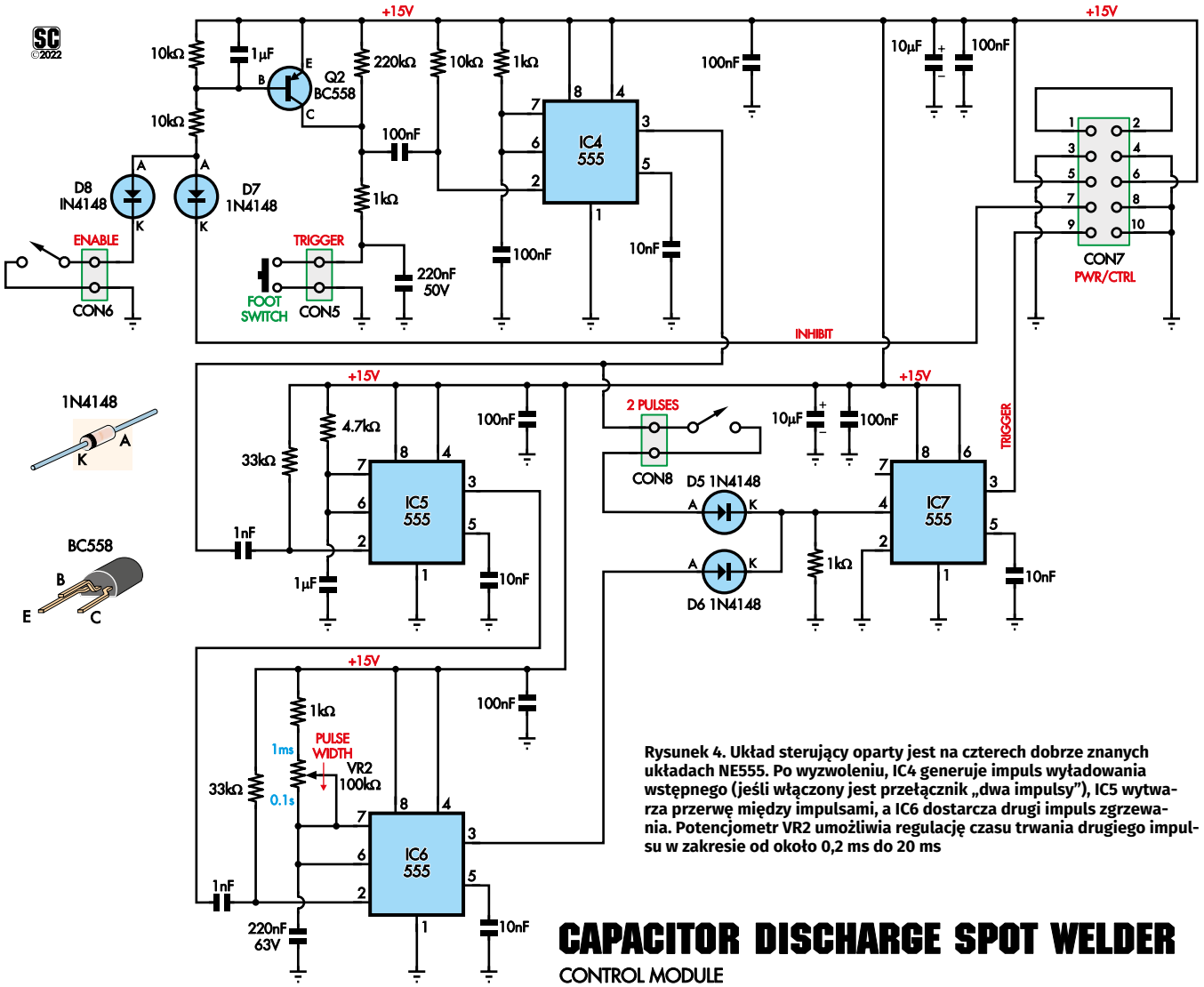
Układ ESM

Schemat bloku ESM pokazano na **rysunku 5**. Nie ma na nim zbyt wiele elementów – Najważniejsze to tylko trzy (lub dwa) kondensatory magazynujące, dwa MOSFET-y i podwójny sterownik MOSFET, IC8.

Wyjaśniliśmy wcześniej, dlaczego używamy bardzo wysokoprądowych tranzystorów FET IRFB7430. Muszą one być precyzyjnie sterowane pod względem czasu przełączania i pewnie włączać się i wyłączać. Sterownik TC1427 MOSFET może dostarczyć do 1,2 A do bramek FET, przełączając je w 25 ns. Posiada on histerezę wejściową, która pomoże nam zwiększyć odporność na zakłócenia.

Po zbudowaniu zgrzewarki CD Welder warto wykonać kilka spoin testowych na elementach złomowanych. Pozwoli to zorientować się, jakie napięcie i ile czasu potrzeba do utworzenia przyzwoitej spoiny. Zbyt duża energia spali i zniekształci metal, a nawet zrobi w nim dziury, jak pokazano na lewej blaszce. Po prawej stronie widać, że udało nam się przyspawać blaszkę do puszki bez jej zniszczenia

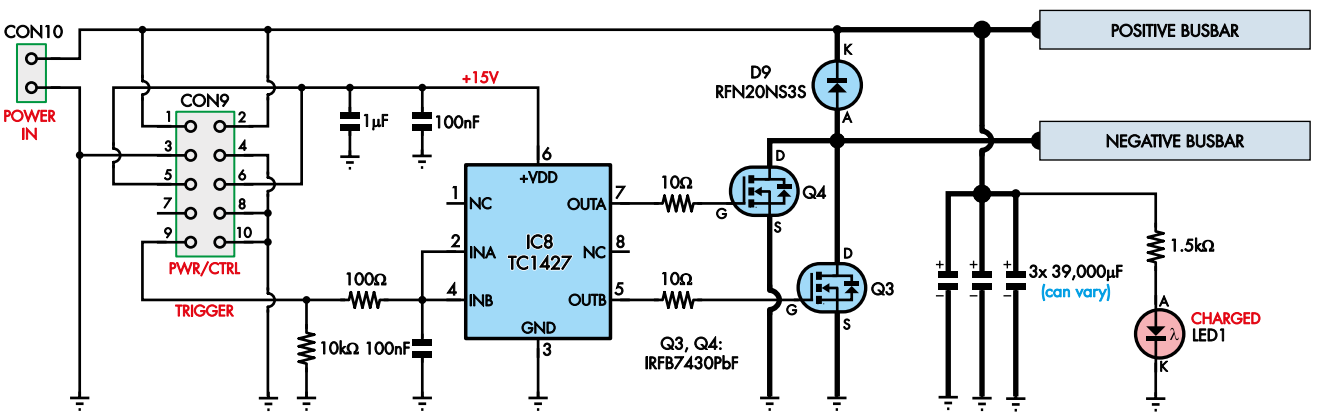
eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 4. Układ sterujący oparty jest na czterech dobrze znanych układach NE555. Po wyzwoleniu, IC4 generuje impuls wyładowania wstępnego (jeśli włączony jest przełącznik „dwa impulsy”), IC5 wytwarza przerwę między impulsami, a IC6 dostarcza drugi impuls zgrzewania. Potencjometr VR2 umożliwia regulację czasu trwania drugiego impulsu w zakresie od około 0,2 ms do 20 ms

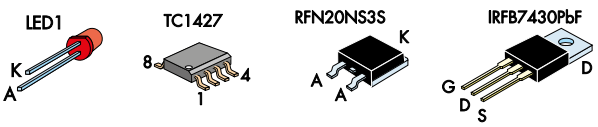
CAPACITOR DISCHARGE SPOT WELDER

CONTROL MODULE



CAPACITOR DISCHARGE SPOT WELDER

ENERGY STORAGE MODULE (ESM)



Rysunek 5. Kondensatory, które przechowują całą energię do zgrzewania, są zamontowane w modułach ESM, po dwa lub trzy na płytkę. Każdy ESM ma również dwa MOSFET-y do „zrzucania” energii do przewodów zgrzewających, a także podwójny sterownik MOSFET zapewniający ich bezzakłóceniowe włączanie i wyłączanie oraz diodę zaciskową back-EMF tłumiącą wszelkie skoki o odwrotnej polaryzacji generowane przez obciążenie i indukcyjności rozproszone

eprasa.pl d09f51483c

Wykaz elementów

Spawarka kondensatorowa
1 obudowa ABS 250 mm × 200 mm × 130 mm [Altronics H0364A]
1 moduł zasilacza (patrz poniżej)
1 moduł sterownika (patrz poniżej)
8...14 modułów magazynowania energii (patrz poniżej i tabele 1 i 2)
1 rezystor 82 Ω 5 W 10% (do testów)
1 rezystor 0,27 Ω 5 W 10% (do testów)
1 woltomierz cyfrowy do montażu panelowego (opcjonalny, do wyświetlania wybranego napięcia) [eBay, AliExpress itp.]

Przełączniki/złącza:
3 dwukierunkowe spolaryzowane wtyczki z bolcami (przełącznik nożny, włączanie, ładowanie) [3 × Altronics P5472 + 6 x P5470A lub 3 x Jaycar HM3402]
12 10-pinowych gniazd IDC [Altronics P5310 lub Jaycar PS0984]
1 3-stykowe okrągłe gniazdo liniowe mikrofonu (dla kabla przełącznika nożnego) [Altronics P0949]
1 3-stykowe okrągłe złącze mikrofonowe do montażu w obudowie (do przełącznika nożnego) [Altronics P0954]
1 przełącznik nożny (wyzwalacz) [Altronics S2700 lub Jaycar SP0760]
1 miniaturowy przełącznik SPDT do montażu w obudowie (wybór dwóch impulsów) [Altronics S1310 lub Jaycar ST0555].

Przewód/kabel/etc:
1 m czerwonego przewodu zasilającego 8AWG (przewód zgrzewarki)
1 m czarnego przewodu zasilającego 8AWG (przewód zgrzewarki)
20 cm czerwonego ocynowanego przewodu połączeniowego 17AWG o bardzo dużej wytrzymałości [Altronics W2283]
20 cm zielonego ocynowanego przewodu połączeniowego 17AWG o bardzo dużej wytrzymałości [Altronics W2285]
1 podwójny kabel głośnikowy o długości 1 m i obciążalności co najmniej 5 A
1 dwużyłowy przewód mikrofonowy o długości 2 m (przewód przełącznika nożnego) [Altronics W3028]
1 kabel 10-żyłowy (taśma) o długości 1 m
1 rurka termokurczliwa o długości 100 mm i średnicy 20 mm (do kabli zgrzewarki)
1 rurka termokurczliwa o długości 300 mm i średnicy 12,7 mm (do uchwytów)
1 rurka termokurczliwa o długości 100 mm i średnicy 10 mm (do zgrzewania końcówek kablowych)

Sprzęt:
2 kwadratowe pręty aluminiowe 10 mm × 10 mm o długości 260 mm (szyny zbiorcze)
2 kwadratowe pręty aluminiowe 10 mm × 10 mm o długości 100 mm (uchwyty)
6 śrub z łbem walcowym M4 × 10 mm (do uchwytów i połączeń zgrzewarki)
2 podkładki sprężyste M4 (do połączeń zgrzewanych)
10 podkładek dystansowych M3 × 10 mm (do łączenia modułów)
4 śruby z łbem walcowym M3 × 16 mm (do osłony Presspahn)
40 śrub z łbem walcowym M3 × 6 mm (połączenia modułów)
44 podkładki sprężyste M3
2 wytrzymałe końcówki oczkowe 6 mm do przewodów 7/8AWG [Altronics H1757B].
1 arkusz preszpanu 60 mm × 40 mm lub podobnego materiału izolacyjnego [Jaycar HG9985]

Zasilacz (potrzebny jeden)
1 płytka dwustronna – kod 29103221, 150 mm × 42,5 mm
1 cewka toroidalna 220 µH 5 A (L1) [Altronics L6625 lub Mouser 542-2316- V-RC/542-2200HT-151V-RC]
1 potencjometr liniowy 10 kΩ 9 mm kątowy z plastikowym trzpieniem (VR1) [Altronics R1906]
1 bezpiecznik topikowy 10 A M205 (F1)
2 zaciski bezpieczników montowane na płytce drukowanej M205 (F1)
2 2-stykowe mini listwy zaciskowe, raster 5/5,08 mm (CON1, CON2)
1 2-stykowe spolaryzowane gniazdo, raster 2,54 mm (CON3)
1 złącze 2×5 pinów (CON4)
1 radiator micro-U TO-220 (dla REG1) [Altronics H0627]
1 radiator mini-U TO-220 (dla IC1) [Altronics H0625, Jaycar HH8504]
2 zestawy izolacyjne TO-220 z podkładkami silikonowymi i plastikowymi tulejami (dla REG1 i IC1)
2 śruby z łbem walcowym M3 × 10...16 mm, podkładki sprężyste i nakrętki (do montażu radiatorów)
4 tuleje dystansowe z gwintem M3
8 śrub z łbem walcowym M3 × 6 mm i podkładek sprężystych
1 pin PCB (opcjonalnie)

Półprzewodniki:
1 scalona przetwornica impulsowa buck MC34167TV lub MC33167TV 0...40 V 5 A, TO-220-5 (IC1)
1 dwukierunkowy monitor prądu INA282AIDR, SOIC-8 (IC2)
1 LM358 podwójny wzmacniacz operacyjny z pojedynczym zasilaniem, DIP-8 (IC3)
1 LM7815 15 V 1 A stabilizator liniowy, TO-220 (REG1)
1 BC546 65 V 100 mA tranzystor NPN, TO-92 (Q1)
1 dioda Zenera 6,2 V 400 mW (ZD1) [1N753, Altronics Z0318]
1 6TQ045-M3 45 V 6 A dioda schottky'ego, TO-220AC (D1)
1 dioda 1N4004 400 V 1 A (D2)
2 diody sygnałowe 1N4148 75 V 150 mA (D3, D4)

Kondensatory:
2 1000 µF 50 V elektrolityczny o niskim ESR
2 220 µF 50 V elektrolityczny o niskim ESR
1 10 µF 50 V elektrolityczny
1 2,2 µF 50 V X7R wielowarstwowy ceramiczny
6 100 nF 50 V X7R wielowarstwowy ceramiczny
1 100 nF 50 V SMD M2012/0805 wielowarstwowy ceramiczny

Rezystory: (wszystkie o mocy 0,25 W, 1% metalizowane, o ile nie podano inaczej)
1 27 kΩ
1 12 kΩ
6 10 kΩ
1 8,2 kΩ (dla wersji 5 A)
1 3,3 kΩ (dla wersji 5 A)
1 2,2 kΩ
3 1 kΩ
1 Bocznik 0,01 Ω (10 mΩ) 1% 1 W [Mouser OAR1R010JLF]

Kontroler (wymagany jeden)
1 dwustronna płytka drukowana – kod PCB 29103222, 150 mm × 42,5 mm
1 potencjometr liniowy 100 kΩ 9 mm kątowy z plastikowym trzpieniem (VR2) [Altronics R1908]
3 2-stykowe spolaryzowane złącza, raster 2,54 mm (CON5, CON6, CON8)
1 złącze 2×5 pinów (CON7)
1 zworka bocznikowa (opcjonalnie)

Półprzewodniki:
4 scalone układy czasowe LM555, DIP-8 (IC4...IC7)
1 BC556, BC557, BC558 lub BC559 30 V 100 mA tranzystor PNP, TO-92 (Q2)
4 diody sygnałowe 1N4148 75 V 150 mA (D5...D8)

Kondensatory:
2 10 µF 50 V elektrolityczne
1 1 µF 63 V MKT
1 1 µF 50 V ceramiczne wielowarstwowe
1 220 nF 63 V MKT
1 220 nF 50 V ceramiczne wielowarstwowe
7 100 nF 63 V MKT
4 10 nF 63 V MKT
2 1 nF 63 V MKT

Rezystory: (wszystkie 0,25 W 1% metalizowane)
1 220 kΩ
2 33 kΩ
3 10 kΩ
1 4,7 kΩ
4 1 kΩ

Moduł magazynowania energii (komponenty dla jednego modułu)
1 dwustronne płytka drukowana – kod 29103223, 150 mm × 42,5 mm
1 złącze 2×5 pinów (CON9)
1 2-stykowe mini listwy zaciskowe, raster 5/5,08 mm (CON10)
4 tuleje dystansowe z gwintem M3
8 śrub z łbem walcowym M3 × 6 mm i podkładek przeciwwstrząsowych

Półprzewodniki:
1 TC1427COA713 lub IX4340NE podwójny sterownik MOSFET typu low-side, SOIC-8 (IC8)
2 MOSFET-y IRFB7430PbF 40 V 409 A, TO-220 (Q3, Q4)
1 RFN20NS3SFHTL 20 A 350 V szybka dioda SMD lub podobna, TO-263S-3/D2PAK (D9)
1 czerwona dioda LED (LED1)

Kondensatory:
3 39 mF 25 V kondensatory zatrzaskowe o wysokim prądzie, rozstaw wyprowadzeń 10 mm, średnica 35 mm [Mouser B41231A5399M002 lub Digi-Key 338-3743-ND lub zamienniki zgodnie z tabelą 1 lub 2].
1 1 µF 16 V X7R ceramiczny, rozmiar SMD M2012/0805
2 100 nF 50 V X7R ceramiczne, rozmiar SMD M2012/0805

Rezystory: (wszystkie SMD 1% M2012/0805, o ile nie podano inaczej)
1 10 kΩ
1 100 kΩ
2 10 kΩ
1 1,5 kΩ 1 W 5% osiowe (przewlekane)

Częściowe zestawy są dostępne dla zasilacza (SC6224) i modułu ESM (SC6225)

eprasa.pl d09f51483c

Oscylogram 1. Krzywa napięcia ładowania dla pojedynczego modułu magazynowania energii przy 2 A. Napięcie wzrasta o 10,5 V w ciągu 616 ms. Zwróć również uwagę na widoczną tutaj krzywą rozładowania, którą obliczamy jako 130 A

Oscylogram 2. Krzywa napięcia ładowania ze wszystkimi dziesięcioma ESM równolegle. Tym razem prąd ładowania wynosi 5 A, a korzystając ze wzoru podanego w tekście, obliczamy całkowitą pojemność jako minimalnie poniżej 1,2 F

Oscylogram 3. Impuls 200 A do obciążenia. Żółty przebieg to napięcie na wyjściu ujemnym. Niebieski przebieg to napięcie kondensatora, które wykazuje spadek dla początkowego impulsu, a następnie spadek wykładniczy!

Kable zgrzewarki i sondy z miedzianymi końcówkami

Alternatywny, kompatybilny pod względem wyprowadzeń tranzystor IX4340NE wymieniony w wykazie elementów może dostarczyć jeszcze większy prąd 5 A, zapewniając bardzo szybkie przełączanie.

Wejścia IC8 są podłączone do linii TRIGGER z NE555, ma której mogą wystąpić 15-woltowe zmiany napięcia, co zostało podyktowane dążeniem do unikania fałszywego przełączania z powodu szumów. Wspólne sterowanie wszystkich modułów Energy Store jednym sygnałem wyzwalającym zapewnia, że wszystkie moduły Energy Store są włączane i wyłączane w możliwie najbardziej zbliżonym czasie.

Zgrzewarka w akcji

Oscylogram 1 to zrzut ekranu z oscyloskopu cyfrowego pokazujący napięcie na baterii kondensatorów tuż po wyzwoleniu zgrzewarki. W tym teście podłączono tylko jeden ESM. Widoczny jest nagły spadek napięcia do około 5 V w ciągu około 20 ms po wykonaniu spoiny i ponowne naładowanie, które trwa kilkaset milisekund.

Pomiary wykonane na tym zrzucie ekranowym pozwalają obliczyć całkowitą pojemność i prąd zgrzewania przy użyciu wzoru C=Q/V wprowadzonego wcześniej z równania C=I/(dV/dt). Wiemy, że prąd ładowania I jest bliski 2 A. Zmierzyliśmy wzrost napięcia o 10,5 V w ciągu 616 ms, więc:

C=2 A/(10,5 V/0,616 s)=0,117 F, co jest dość dokładnym wynikiem dla trzech kondensatorów 39000 µF połączonych równolegle.

Na **oscylogramie 2** widzimy podobną krzywą dla wszystkich dziesięciu ESM równolegle. Napięcie wzrasta o 8,03 V w ciągu dwóch sekund przy 4,8 A, a to daje nam całkowitą pojemność banku wynoszącą nieco poniżej 1,2 F.

Na **oscylogramie 3** widzimy z kolei, co dzieje się, gdy CD Welder jest w użyciu. Zgrzewarka, w typowym zastosowaniu do zgrzewania blaszek, jest ustawiona na 15 V. Wyższe napięcie przyczynia się do powstawania dziur w blaszkach. Z tego oscylogramu wynika, że napięcie baterii kondensatorów 1,17 F spada o 4,416 V w ciągu 2,7 ms, co obliczamy jako rozładowanie prądem nieco poniżej 2000 A.

W kolejnym odcinku

W następnym odcinku zostaną omówione szczegóły montażu trzech modułów, a następnie całego urządzenia. Znajdzie się w nim również instrukcja testowania i użytkowania. Do tego czasu można zapoznać się z wykazem elementów i zacząć je kompletować. ■

Phil Prosper

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

REKLAMA

eprasa.pl d09f51483c

Jednoręki bandyta

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/hgx6gmjn
Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

Jednoręki bandyta to gra, w której wrzuca się monetę, a maszyna losowo wybiera kombinację symboli. W zależności od tego, jakie symbole pojawią się w okienku wyników losowania, można otrzymać wypłatę. Rzadkie kombinacje mogą przynieść wielokrotność wkładu. Gra może być przyjemna, ale jeśli używamy prawdziwych pieniędzy staje się kosztowna. Dlaczego nie zbudować podobnego automatu z kolorową grafiką i dźwiękiem? Gra jest równie zabawna i – co najważniejsze – nie zbiedniejesz!

Opisany w artykule automat wyświetla cztery wirtualne koła, z których każde zawiera 17 symboli z zestawu sześciu: wiśni, dzwonka, batonika, cyfry siedem, cytryny i bonusowej gwiazdki (**rysunek 1**). Jest on oparty na Micromite Plus LCD BackPack, i zapewnia kolorową grafikę i dźwięk.

Aby uprościć sprawę, automat ten różni się nieco od prawdziwego odpowiednika, który ma na kołach symbole w ustalonej kolejności. Automat losowo wybiera jeden z sześciu symboli dla każdego koła w ciągu 17 „przebiegów" lub „pętli". Każdy symbol wyświetlany na końcu każdego cyklu ma zatem sześć możliwości. Mimo to, ponieważ aktualizacja następuje przez 17 cykli, unika się możliwości zbyt częstego powtarzania tego samego symbolu.

Projekt uwzględnia szczelinę do wrzucania monet 5-centowych. Daje to graczowi bardziej realistyczne wrażenie „salonu gier" w porównaniu z typową grą na automatach wirtualnych. Ponadto budowa własnego automatu do gier jest znacznie ciekawszym zajęciem niż korzystanie z jakiejkolwiek gotowej aplikacji. Przy szczelinie (slocie) służącej do wrzucania monet zamontowano sensor optyczny. Za każdym razem, gdy do automatu wpada moneta, sygnał zmienia się z wysokiego na niski i jest wysyłany do Micromite Plus LCD BackPack, na którym uruchomiona jest gra, i w odpowiedzi graczowi dodawany jest jeden kredyt. Urządzenie ma limit trzech kredytów (monet) na jedną turę, a wygrane są odpowiednio obliczane na podstawie wykresu pokazanego na **rysunku 2**. Zamiast sensora optycznego zamontowanego w okolicy slotu na monety można użyć zwykłego przycisku, ale ten dość znacznie ograniczy całą zabawę.

Można dodatkowo zaimplementować elektroniczny „inkasent" monet oparty na elektromagnesie, który wrzucane monety będzie przekazywał po chwili do dedykowanego zbiornika. Można go zrobić za pomocą płaszczyzny uchylanej za pomocą elektromagnesu. Alternatywnie w roli zbiornika monet można wykorzystać cienką rurkę

eprasa.pl d09f51483c

(o średnicy wewnętrznej nieco większej niż monety) umieszczonej pod szczeliną na monety.

Szczegóły tych dodatków nie są tu jednak opisane i pozostawiamy je pomysłowości i inwencji twórczej Czytelnika. Aby wdrożyć którykolwiek z nadmienionych dodatków, konieczne byłyby zastosowanie obudowy o nieco większych wymiarach.

Rysunek 1. Sześć możliwych symboli, które losowo pojawiają się na czterech „kołach" podczas gry. Wypłata różni się w zależności od kombinacji przedstawionej na rysunku 2

Działanie

Po włączeniu zasilania program uruchamia procedurę inicjalizacji, która konfiguruje moduł dźwiękowy i ładuje obraz z karty SD za pomocą polecenia BLIT READ dostępnego w Micromite Plus. Po zakończeniu inicjalizacji gracz może zacząć wrzucać monety do pojemnika. Pierwsza moneta aktywuje diodę LED „PlayReady", a przycisk „Play 1 Coin" staje się aktywny.

Naciskając ten przycisk lub przytrzymując go do momentu, gdy żadne monety nie zostaną przeniesione z pola „CREDITS" do pola „COINS IN" można wybrać liczbę monet, którymi chcemy zagrać. Ich liczba Ne może przekraczać trzech.

Naciśnięcie przycisku „Spin Wheel" powoduje zmianę symboli wyświetlanych na ekranie za pomocą polecenia „BLIT WRITE". Polecenie to wykorzystuje losowe liczby generowane przez funkcję RND(TIMER), a jako źródło losowości wykorzystywany jest bieżący czas. Wygenerowana liczba jest następnie przetwarzana w celu uzyskania pseudo losowej wartości od 1 do 6.

Proces ten jest następnie powtarzany 17 razy, aby zasymulować obracanie się kół, po czym wynik jest analizowany, a wszelkie wyniki końcowe są przetwarzane zgodnie z rysunkiem 2. Dodanie efektów dźwiękowych sprawia, że urządzenie jest bardziej realistyczne przez co uatrakcyjnia grę. Jakby nie patrzeć celem gry na automatach jest dobra zabawa!

Szczegóły układu

Podstawowy schemat układu został pokazany na **rysunku 3**. Jest on oparty na Micromite Plus LCD BackPack (wydanie z listopada 2016 r.; siliconchip.com.au/Article/10415). Ma on wbudowany wydajny 32-bitowy mikrokontroler PIC32MX470F512H 120 MHz oraz kolorowy ekran dotykowy 320×240 pikseli, który jest używany jako wyświetlacz i służy do wprowadzania danych przez użytkownika.

Ekran dotykowy ma przekątną 3,2 cala (8 cm) w porównaniu do ekranu 2,8 cala (7 cm) zwykle używanego w BackPack-u. Większy rozmiar sprawia, że lepiej nadaje się do automatu, ponieważ ma taką samą liczbę pikseli jak 2,8-calowy ekran i kompatybilny układ sterownika. Można go niemal bezpośrednio zamienić. Jedyną kwestią jest niezgodność otworów montażowych z płytką drukowaną BackPacka.

Z tego powodu do zewnętrznej strony CON4 w BackPacku zostało przymocowane 4-pinowe złącze żeńskie. Zapewnia ono dodatkowe mocowanie ekranu.

Komponenty oprócz BackPacka i LCD są umieszczone na innej płytce drukowanej, na której dodano tylko kilka elementów do BackPacka. Są to:

– zasilacz liniowy,
– niektóre przyciski i diody LED,
– detektor wrzucanych monet,

Wypłaty na automatach

Rysunek 2. Przyznawane wypłaty zależą od wyniku obrotu. Na przykład, jeśli pojawi się „7 wiśnia cytryna wiśnia", oznacza to dwie wiśnie, więc jeśli wrzucono jedną monetę wypłata będzie w wysokości trzech monet, jeśli wrzucono dwie monety wygrana będzie równa sześć, a dla trzech wrzuconych monet nagrodą będzie dziewięć

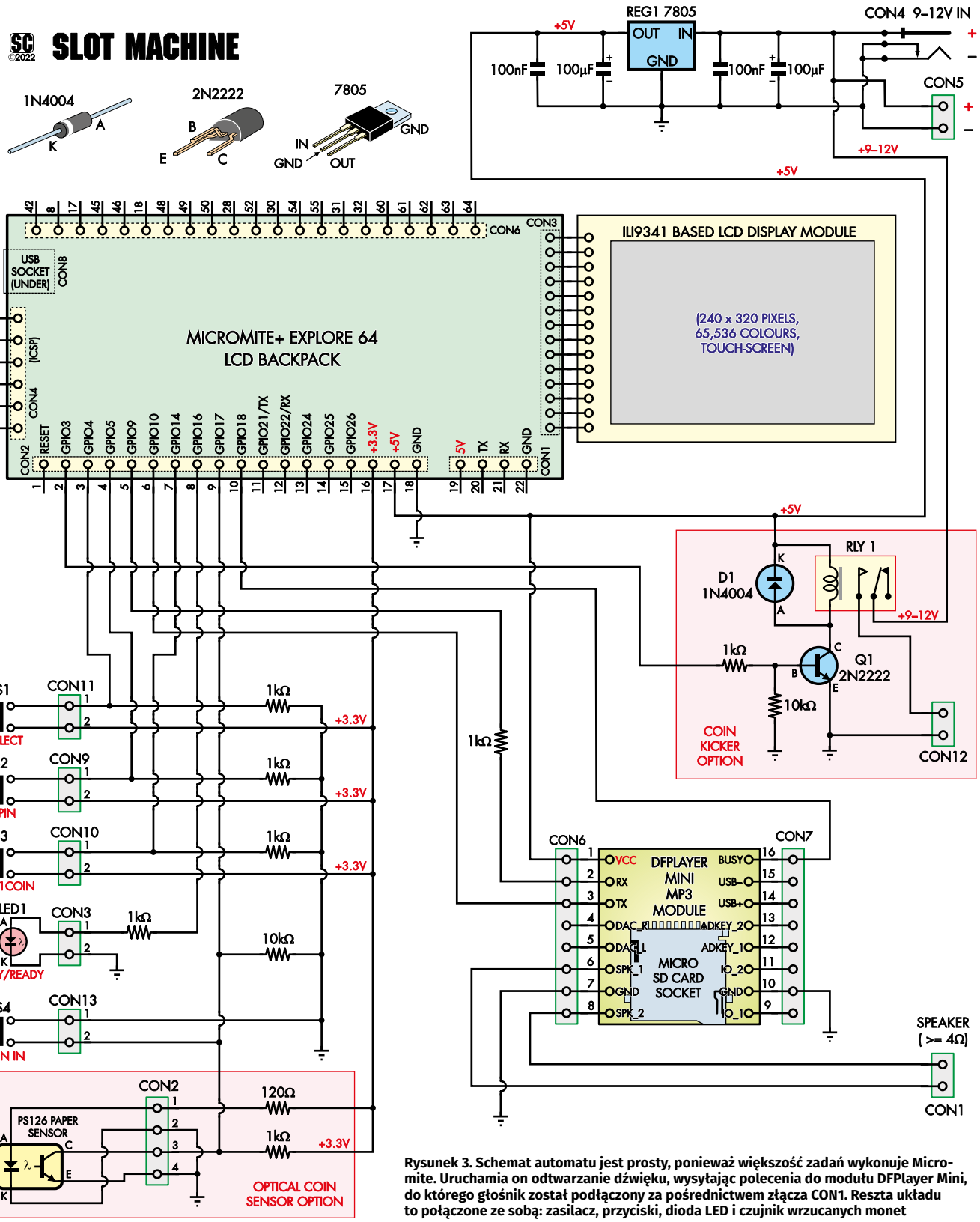
eprasa.pl d09f51483c

– cyfrowy odtwarzacz audio DFPlayer Mini, opisany w wydaniu z grudnia 2018 r. (siliconchip.com.au/Article/11341).

Moduł grupuje wszystkie dodatkowe połączenia w dwóch wiązkach przewodów, jednej 9-przewodowej i jednej 3-przewodowej, które wychodzą z tej samej strony BackPacka.

DFPlayer Mini jest odpowiedzialny za generowanie wszystkich dźwięków. Jest on podłączony do miniaturowego głośnika 73 mm × 51 mm o impedancji 4 Ω i mocy 3 W zamontowanego z tyłu automatu.

Układ można zasilić za pomocą zasilacza wtyczkowego o napięciu stałym



Rysunek 3. Schemat automatu jest prosty, ponieważ większość zadań wykonuje Micromite. Uruchamia on odtwarzanie dźwięku, wysyłając polecenia do modułu DFPlayer Mini, do którego głośnik został podłączony za pośrednictwem złącza CON1. Reszta układu to połączone ze sobą: zasilacz, przyciski, dioda LED i czujnik wrzucanych monet

eprasa.pl d09f51483c

w zakresie 9...12 V lub za pomocą baterii poprzez gniazdo zasilania lub bezpośrednie wejście USB BackPacka.

Sterowanie Micromite

Programowanie Micromite Plus LCD BackPack jest łatwe, ponieważ odbywa się w języku BASIC. Oprogramowanie konfiguruje port COM wymagany do sterowania modułem odtwarzacza muzycznego DFPlayer Mini (COM2), ustawia prawidłowe źródło plików muzycznych (gniazdo micro SD) i ustawia wymaganą głośność (20).

Kod napisany w BASIC-u można pobrać ze strony internetowej Silicon Chip i załadować do BackPacka w zwykły sposób, np. za pomocą TeraTerm lub MMEdit. Ładowanie oprogramowania do BackPacka odbywa się przez wirtualny port szeregowy USB.

Po uruchomieniu, wejście monet generuje polecenie INTH, które uruchamia procedurę, w której liczba wrzuconych monet jest rejestrowana bez wpływu na inne operacje lub odtwarzanie muzyki. Reszta kodu opiera się na tym, który przycisk został naciśnięty i ile środków jest dostępnych w danym momencie.

Oprócz tego oprogramowania, na kartę micro SD należy załadować każdy plik audio w odpowiedniej kolejności. Efekty dźwiękowe są również częścią pakietu do pobrania, chociaż „muzyka w tle" nie jest dołączona, ponieważ zależy od gustu użytkownika. Należy wybrać ścieżkę muzyczną i przekonwertować ją na 16-bitowy stereofoniczny plik WAV 44,1 kHz. Pliki należy następnie skopiować do folderu o nazwie „mp3" na karcie micro SD w następującej kolejności:

1. Background music track
2. Coinin.wav
3. Play1Coin.wav
4. RunArm.wav
5. SpinWheel.wav
6. NoWin.wav
7. Jackpot.wav

Aby uzyskać pliki w prawidłowej kolejności, najlepiej kopiować je pojedynczo. Można jednak poprzedzić pliki czterocyfrowym numerem, co zagwarantuje prawidłową kolejność odtwarzania. W takiej też postaci przygotowaliśmy pliki. Na przykład, pierwszy plik będzie miał prefiks 0001, drugi plik 0002 itd.

Główny ekran automatu wskazuje łączną wygraną (lub przegraną!)

Dzieje się tak dlatego, że DFPlayer odtwarza plik tylko na podstawie jego kolejności w systemie plików i nie patrzy na rzeczywistą nazwę pliku, chyba że ma prefiks numeryczny, jak wspomniano powyżej.

Pliki obrazów muszą być załadowane na oddzielną kartę micro SD w gnieździe BackPack. Pliki te noszą nazwy „SlotScreen1.bmp", „SlotScreen2.bmp" i „PayOutChart.bmp" i są zawarte w pakiecie do pobrania.

Większość parametrów umieszczonych w kodzie można łatwo zmodyfikować w celu dostosowania ich do własnych preferencji. Dotyczy to również „nagród". Należy pamiętać, że wszelkie zmiany w kodzie poleceń PAUSE(delay) mogą powodować utratę zbieżności pomiędzy dźwiękiem a sekwencją gry.

Montaż elektroniki

Budowa urządzenia Micromite Plus LCD BackPack powinna być prowadzona zgodnie z instrukcjami zawartymi w artykule z listopada 2016 r. Silikon Labs (link powyżej), a po jego uruchomieniu należy załadować do niego program BASIC („SlotMachine V10.bas"), jak wyjaśniono wcześniej.

Następnie należy zbudować dodatkowy układ na płytce drukowanej o kodzie 08105221 (76 mm × 53 mm). Postępujemy zgodnie ze schematem montażowym na **rysunku 4**.

Wykaz elementów

1 Micromite Plus LCD BackPack (bez ekranu dotykowego) z zainstalowanym oprogramowaniem SlotMachine V10.bas [Silicon Chip Cat SC6211]
2 karty microSD zawierające dźwięki i obrazy
1 3,2-calowy ekran dotykowy LCD z kontrolerem ILI9341
1 4-pinowe złącze żeńskie (do zamontowania ekranu dotykowego na plecaku BackPack)
1 dwustronna PCB – kod 08105221, 76 mm × 53 mm
1 moduł odtwarzacza audio DFPlayer Mini [Silicon Chip Cat SC4789]
1 przekaźnik SPDT z cewką 5 V DC (RLY1) [Omron G5LE--5V lub CIT J107F1CS125VDC]•
7 2-pinowych złączy głównych o rozstawie 2,54 mm (CON1, CON3, CON9...CON13)
1 4-pinowe złącze, raster 2,54 mm (CON2)
1 gniazdo zasilania przeznaczone do montażu na płytce drukowanej (CON4)
1 2-pinowe spolaryzowane gniazdo i pasująca wtyczka, raster 2,54 mm (CON5)
2 8-pinowe złącza żeńskie o rozstawie 2,54 mm (CON6, CON7)
1 18-pinowe złącze męskie lub żeńskie, raster 2,54 mm (CON8)
1 przejściówka z baterii 9 V na wtyczkę cylindryczną (opcjonalnie)
1 miniaturowy głośnik 3 W 4 Ω
1 maskownica pasująca do głośnika
1 montowany na panelu przełącznik suwakowy lub kołyskowy (włączanie/wyłączanie zasilania)
3 kwadratowe miniaturowe przyciski do montażu na panelu (przyciski Collect, Spin i Play Coin) [Jaycar SP0716 lub Altronics S1080]◆
1 czerwona dioda LED do montażu panelowego w kwadratowej obudowie [eBay item #353825669342]
1 czujnik papieru PS126EL1 (opcjonalny, do wykrywania wrzucanych monet)
różne przewody połączeniowe
różne śruby maszynowe M3, nakrętki, podkładki i tuleje dystansowe (do montażu płytek PCB, czujnika wrzucanych monet itp.)
1 arkusz sklejki o wymiarach 300 mm × 350 mm i grubości 7 mm
1 arkusz sklejki 14 mm o wymiarach 136 mm × 95 mm
1 arkusz 150 mm × 130 mm czarnego pleksiglasu/akrylu o grubości 3 mm■
3 arkusze 65 mm × 52 mm czarnego pleksiglasu/akrylu o grubości 3 mm■
1 kątownik aluminiowy 20 mm × 12 mm o długości 100 mm
2 śruby z łbem walcowym z gniazdem sześciokątnym M5 × 15 mm
4 czarne wkręty samogwintujące nr 4 × 10 mm do montażu panelu przedniego
4 śruby z łbem walcowym M4 × 10 mm i nakrętki
3 śruby z łbem walcowym M4 × 6...7 mm
2 śruby z łbem walcowym M3 × 20 mm i nakrętki
14 wkrętów do drewna nr 4 × 15 mm

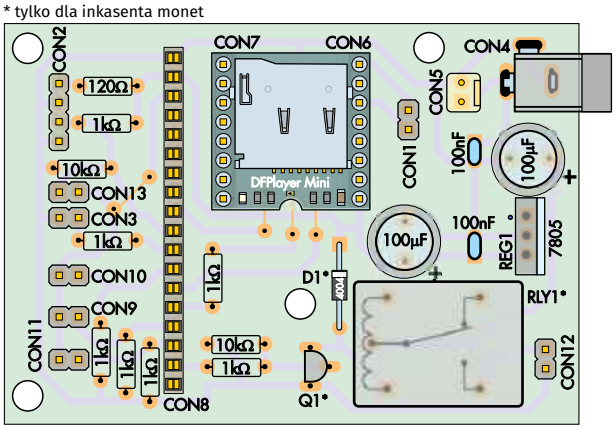
Półprzewodniki:
1 7805 stabilizator liniowy 5 V 1 A (REG1)
1 2N2222A tranzystor NPN 40 V 600 mA (Q1)•
1 1N4004 dioda 400 V 1 A (D1)•

Kondensatory:
2 100 µF 10 V elektrolityczny
2 100 nF ceramiczny

Rezystory:
(wszystkie 1/4 W 5%, w miarę możliwości małe)
2 10 kΩ 1 2,4 kΩ• 6 1 kΩ
2 1 kΩ• 1 120 Ω

◆ dodać jeszcze jeden przycisk, jeśli czujnik wrzucanych monet nie jest zamontowany
■ lub zakupić wycięte laserowo elementy w sklepie internetowym Silicon Chip (nr kat. SC6181)
• Elementy te są potrzebne tylko dla opcjonalnego „inkasenta monet"

* tylko dla inkasenta monet



Rysunek 4. Montaż tego modułu jest prosty. Zaczynamy od lutowania elementów o najniższym profilu, a następnie przechodzimy do wyższych komponentów. Ponieważ większość gniazd łączy się za pomocą przewodów, można zastąpić męskie złącza żeńskimi lub odwrotnie, w zależności od posiadanych przewodów

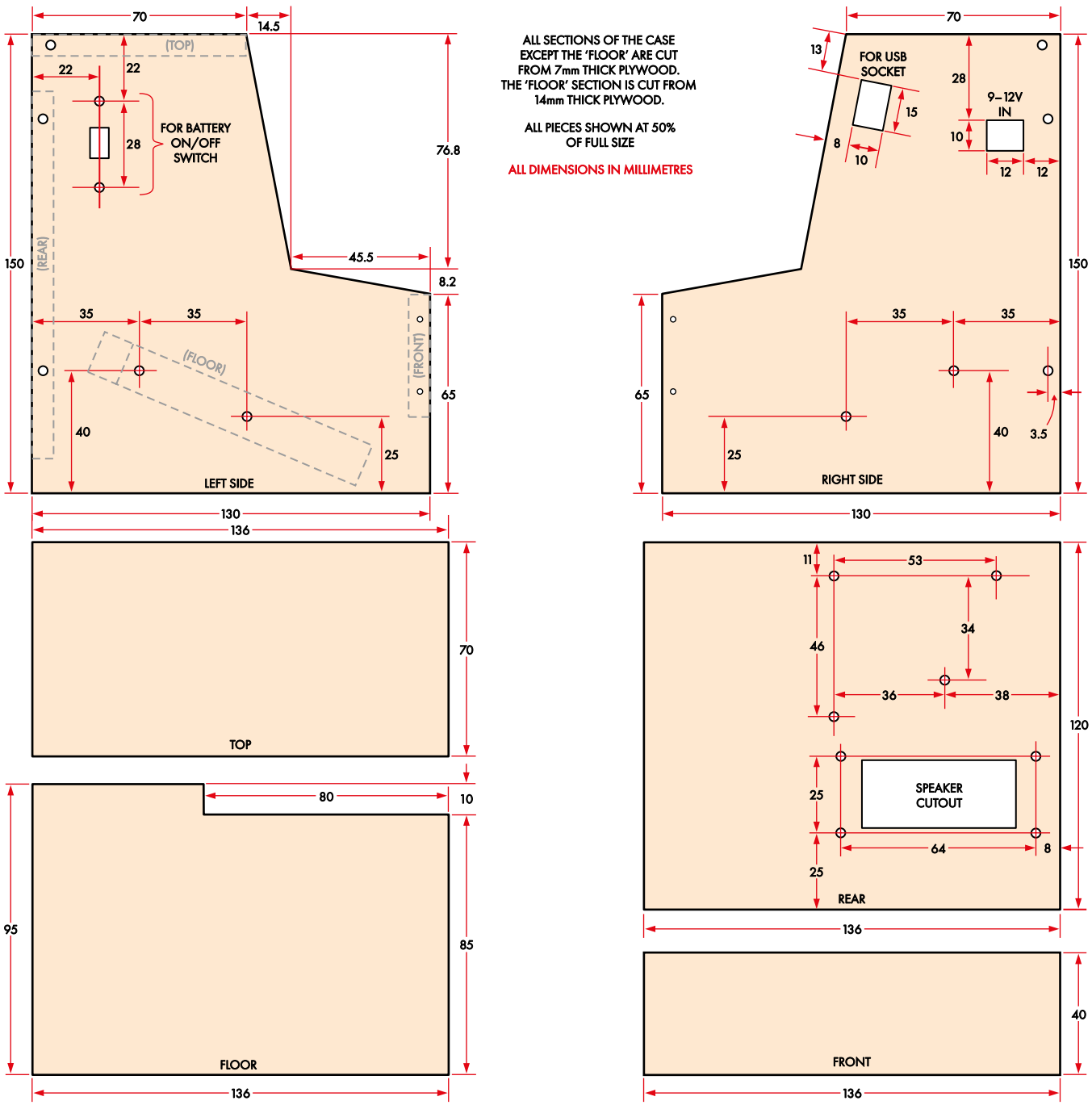
eprasa.pl d09f51483c

Pracy jest niedużo – lutujemy rezystory zgodnie z rysunkiem (należy użyć małych rezystorów lub zagiąć przewody blisko korpusów), a następnie diodę D1 zgodnie z kierunkiem widocznym na rysunku. Następnie lutujemy tranzystor Q1 i dwa niespolaryzowane kondensatory 100 nF. Teraz montujemy złącza, w tym dwa 8-pinowe złącza żeńskie CON6 i CON7 (niewidoczne na rysunku 4, ponieważ znajdują się pod modułem DFPlayer Mini).

Trzeba pamiętać, że można użyć męskiego lub żeńskiego złącza dla CON8, w zależności od typu złącza, które zostało zamontowane w BackPacku, i rodzaju przewodów połączeniowych, które mają być użyte do połączenia dwóch płytek.

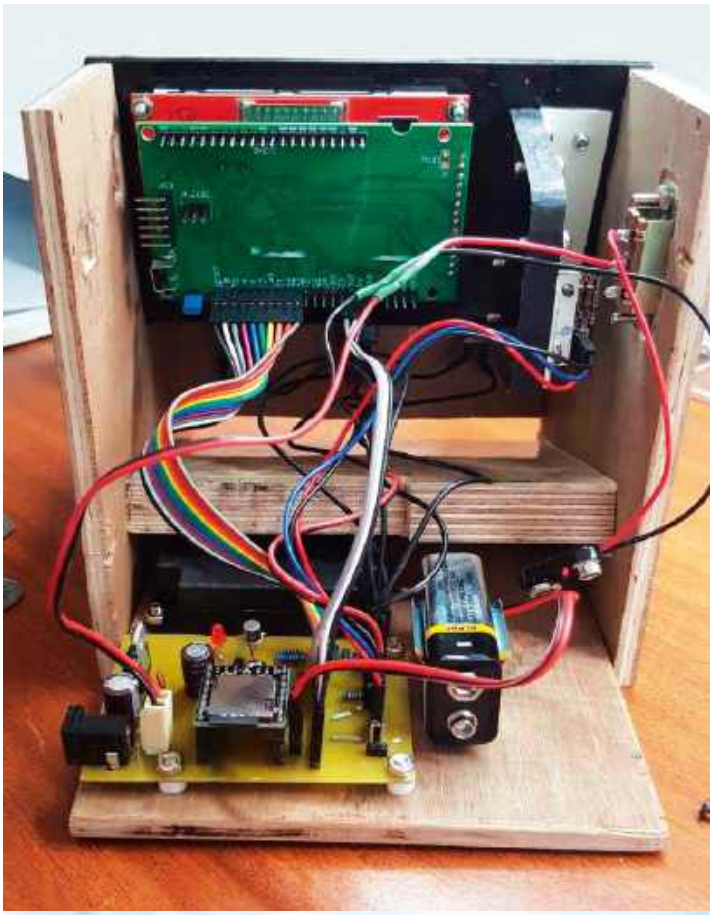
Następnie należy zamontować gniazdo zasilania i kondensatory elektrolityczne z dodatnimi (dłuższymi) wyprowadzeniami w kierunku dolnej lub prawej strony płytki drukowanej, jak pokazano na rysunku. Następnie montujemy REG1 z radiatorem komponentu ustawionym w kierunku krawędzi płytki drukowanej, i dalej RLY1, jeśli używana jest opcja wrzucania monet. Na koniec podłączamy odtwarzacz DFPlayer do gniazda z wejściem na kartę micro SD ustawionym w kierunku najbliższej krawędzi płytki drukowanej.

Należy pamiętać, że w przypadku korzystania z modułu detekcji wrzucanych monet, podane rezystory 120 Ω i 1 kΩ mogą być właściwe lub mogą wymagać zmiany, przy czym jeden z nich może mieć wyższą wartość. Z tego powodu w wykazie elementów podano dodatkowe rezystory 1 kΩ i 2,4 kΩ. Można je



Rysunek 5. Pokazane kształty należy wyciąć ze sklejki zgodnie z rysunkiem. Należy zwrócić uwagę na przerywane kontury, które pokazują, jak dopasować do siebie różne elementy. Trzeba pamiętać, że „podłoga" jest wykonana z grubszej (14 mm) sklejki. Mogą być użyte również inne materiały, takie jak MDF, a nawet akryl

eprasa.pl d09f51483c



Okablowanie jest stosunkowo proste, a większość połączeń przebiega między dwiema głównymi płytkami

Monety są wyrzucane przez spód automatu, więc warto umieścić pod nim małą tackę, która będzie je łapać

później wymienić, jeśli okaże się, że czujnik wrzucanych monet nie działa poprawnie z domyślnymi wartościami rezystorów.

Obudowa

Teraz przechodzimy do budowy obudowy. Jest ona wykonana głównie ze sklejki i pleksi, z kilkoma metalowymi wspornikami. Szczegóły cięcia sklejki pokazano na **rysunku 5**, a elementy z pleksi i metalu na **rysunku 6**.

Aby zaoszczędzić trochę wysiłku, w Silikon Labs można nabyć wycinane laserowo elementy perspex (pleksi) wykonane z czarnego akrylu o grubości 3 mm (patrz wykaz elementów), lub można też pobrać szablony do samodzielnego wykonania ze strony siliconchip.com.au/Shop/11/6443.

Na rysunku 5 pokazano również, w jaki sposób niektóre z pozostałych elementów zaleca się montować do panelu bocznego. Po wykonaniu wszystkich elementów, wycięciu i wywierceniu otworów, należy zamontować je zgodnie z rysunkiem 5 oraz zdjęciami.

Przedni panel z czarnego pleksiglasu o grubości 3 mm to element, w którym należy zamontować gniazdo na monety, ekran LCD, trzy przyciski i diodę LED. Panel ten może być wykonany z dwóch oddzielnych elementów lub uformowany z większego kawałka, poprzez wygięcie go w wymaganym punkcie pod kątem 110° po podgrzaniu (np. za pomocą kolby na gorące powietrze). W przypadku gięcia należy wykonać wycięcia po uformowaniu panelu, aby uniknąć jego zniekształcenia.

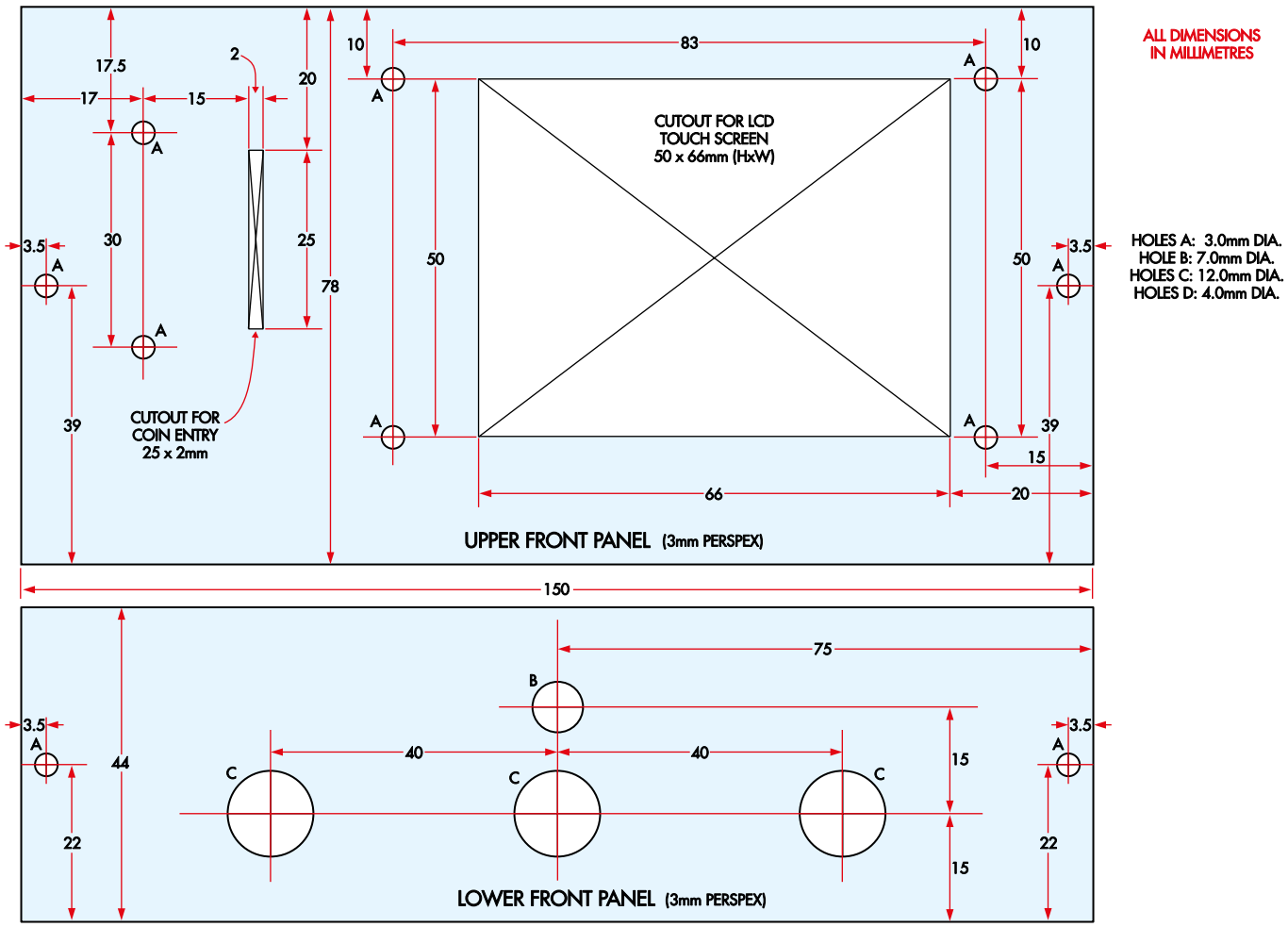
Wycinane laserowo panele przednie są dostarczane jako dwa oddzielne elementy. Można wypełnić połączenie czarnym silikonem po montażu, ale nie jest konieczne.

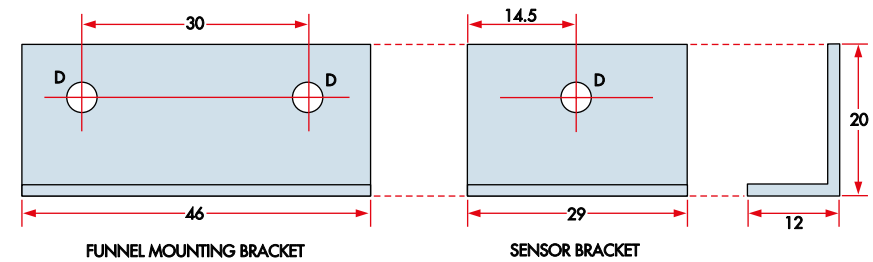
Slot na monety jest wykonany z tego samego materiału, co panel przedni. Oryginalny, wycinany laserowo zestaw zawiera te cztery elementy, które należy zamontować w sposób pokazany po prawej stronie rysunku 6. Prawidłowe umiejscowienie otworu czujnika musi być dopasowane do zastosowanego czujnika lub mikroprzełącznika.

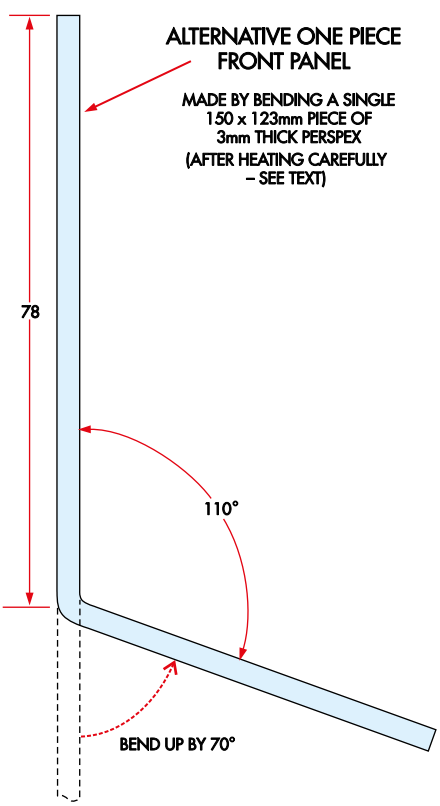
Gdy wszystkie elementy będą gotowe, montujemy obudowę w jedną całość za pomocą małych wkrętów do drewna 3 mm, upewniając się, że każdy otwór mocujący jest nawiercony na całej długości wkrętu. Jest to konieczne, aby sklejka nie pękła. Po zakończeniu montażu odbudowę można zagruntować i pomalować zgodnie z własnymi preferencjami. Aby umożliwić wysuwanie monet z podstawy trzeba przykleić cienką część materiału (najlepiej perspex) do górnej powierzchni podłogi.

W roli tacki do gromadzenia monet można użyć dowolnej pasującej metalowej lub plastikowej pokrywy z dowolnego pojemnika. Autor

eprasa.pl d09f51483c



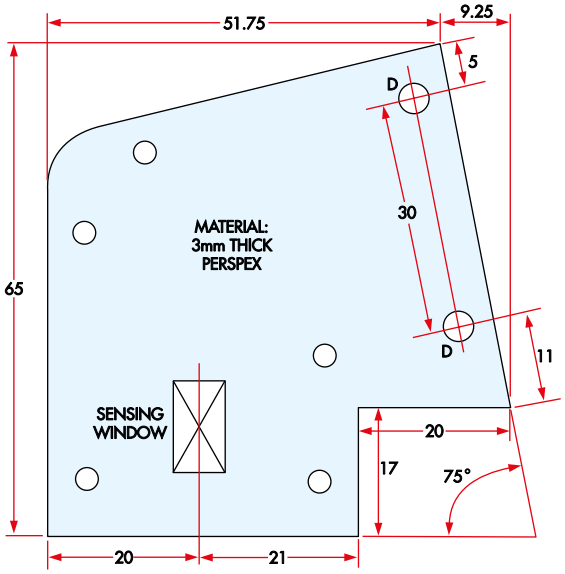




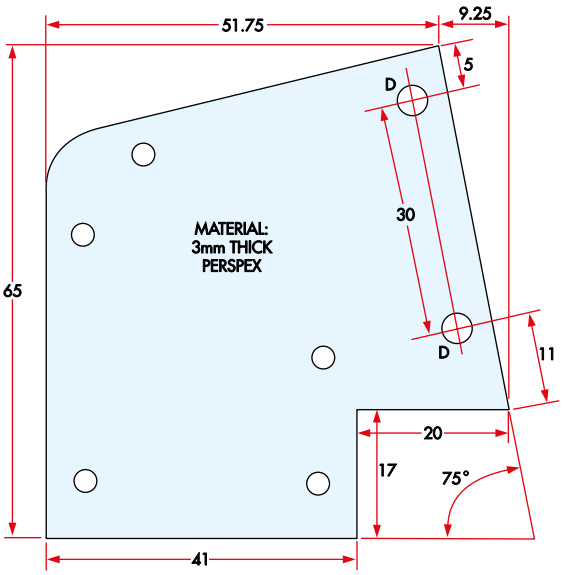
Rysunek 6. Przedni panel (w lewym górnym rogu) może być wykonany z dwóch płaskich elementów lub jednego wygiętego elementu, jak pokazano po prawej stronie. Wykonanie metalowych wsporników to kwestia przycięcia aluminiowego kątownika na odpowiednią długość i wywiercenia w nim kilku otworów. Cztery pozostałe elementy akrylowe pokazane obok montuje się w celu utworzenia pojemnika na monety, co pokazano w prawym dolnym rogu

Micromite Plus LCD BackPack, który steruje całym automatem, jest oparty na module Explore 64 Geoffa Grahama (pokazany w rzeczywistym rozmiarze)

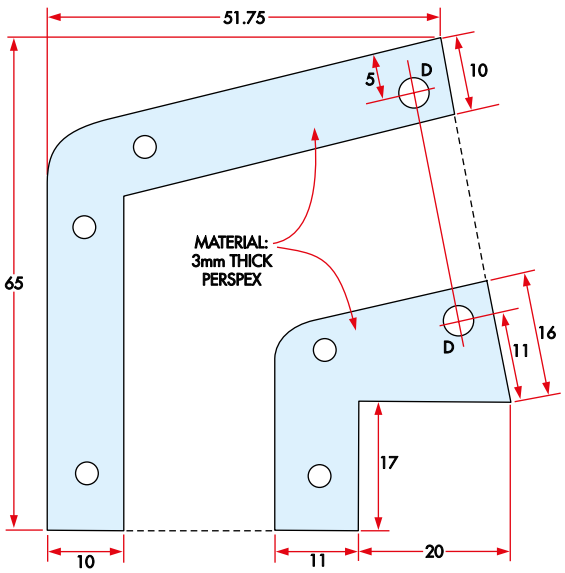
eprasa.pl d09f51483c



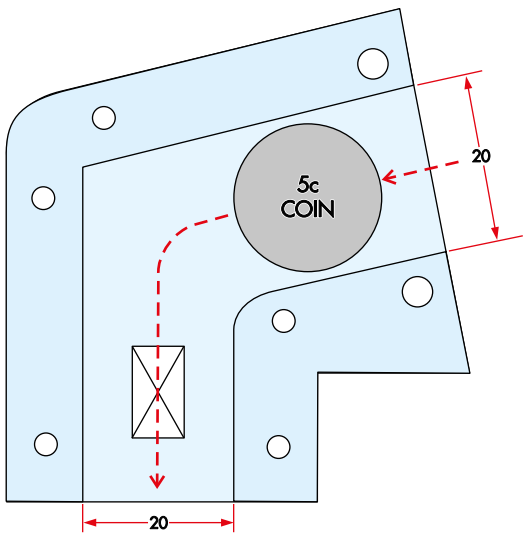
COIN INPUT FUNNEL: SENSOR SIDE



COIN INPUT FUNNEL: UPPER SIDE



COIN INPUT FUNNEL: UPPER & LOWER SPACERS

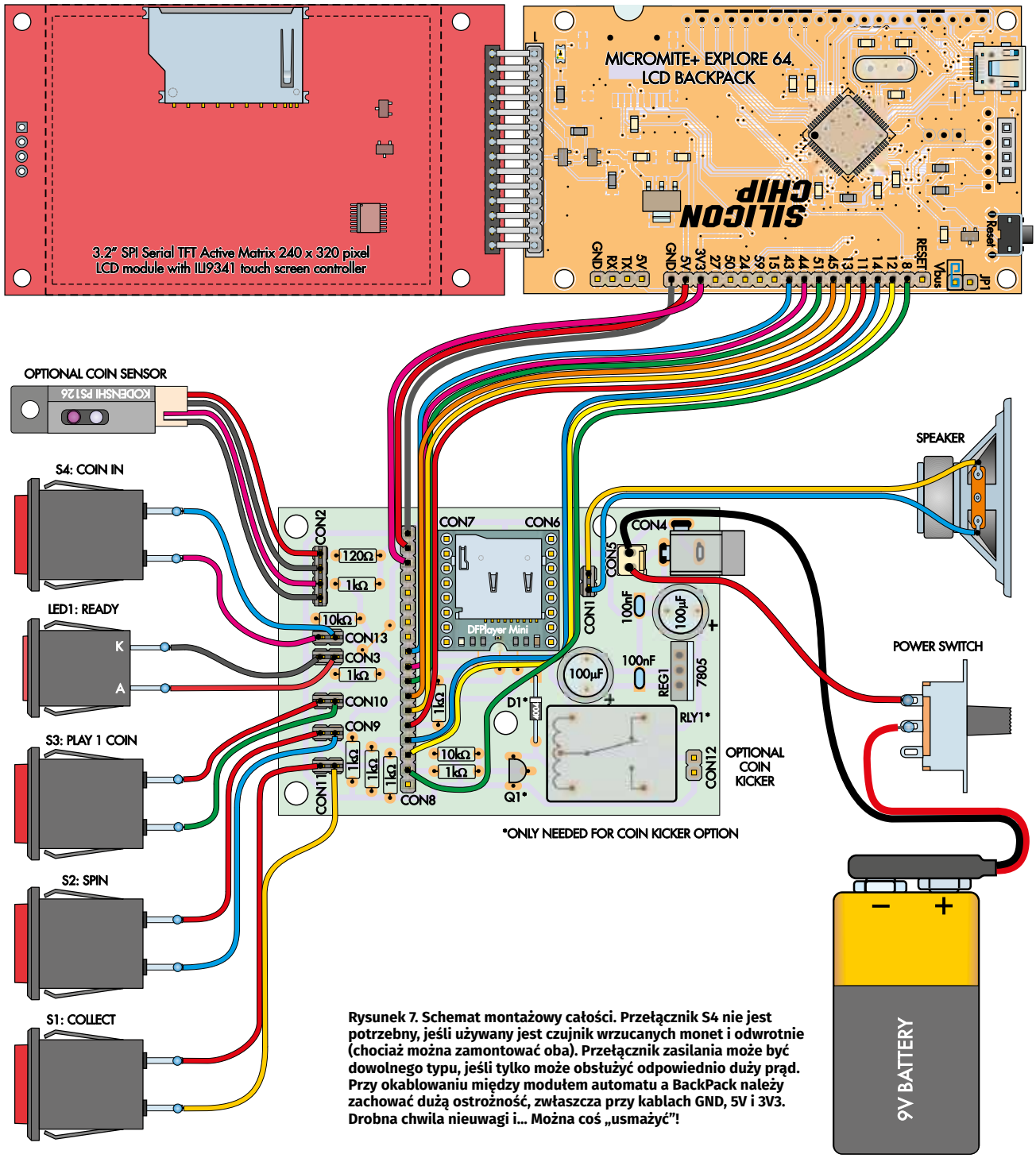


ASSEMBLED COIN INPUT FUNNEL (WITHOUT UPPER SIDE)

Dwustronną płytkę drukowaną dla modułu automatu można nabyć w sklepie internetowym Silikon Labs

Głośnik 3 W zastosowany w prototypie. Działa bardzo dobrze i można taki polecić, ale istnieje też wiele innych opcji

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 7. Schemat montażowy całości. Przełącznik S4 nie jest potrzebny, jeśli używany jest czujnik wrzucanych monet i odwrotnie (chociaż można zamontować oba). Przełącznik zasilania może być dowolnego typu, jeśli tylko może obsłużyć odpowiednio duży prąd. Przy okablowaniu między modułem automatu a BackPack należy zachować dużą ostrożność, zwłaszcza przy kablach GND, 5V i 3V3. Drobna chwila nieuwagi i... Można coś „usmażyć"!

W przypadku korzystania z opcjonalnego przełącznika (S4) do zwiększania liczby monet zamiast czujnika ich wrzucania, konieczne będzie dodatkowe wycięcie na kolejny przycisk na dolnym panelu przednim. Jego wymiary można odnaleźć w pliku przygotowanym dla tych paneli, możliwym do pobrania ze strony internetowej Silicon Chip

znalazł pokrywę o dokładnym rozmiarze, która wymagała jedynie przycięcia wokół krawędzi, aby uzyskać właściwy kształt. Do przymocowania przedniego panelu po obu stronach można użyć małych czarnych wkrętów samogwintujących.

Okablowanie

Po zmontowaniu podstawy można zamontować BackPacka, płytkę sterującą i inne elementy elektroniczne oraz podłączyć przewody. Na zdjęciach można zobaczyć, gdzie znajdują się poszczególne elementy. Zdjęcia te powinny również pomóc w zrozumieniu okablowania, ale dla jasności na **rysunku 7** został udostępniony również pełny schemat okablowania.

Przed włączeniem zasilania automatu należy dwukrotnie sprawdzić okablowanie między płytą sterowania a urządzeniem BackPack, ponieważ błąd może spowodować uszkodzenie jednej lub obu modułów. ■

Gianni Palotti's

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

eprasa.pl d09f51483c

Obliczanie oporowych tłumików efektywności w układach zwrotnic zestawów głośnikowych

W artykule opisano prostą metodę obliczania oporowych tłumików efektywności występujących w układach zwrotnic zestawów głośnikowych wykorzystującą podstawowe zależności i prawa fizyczne stanowiące podstawy teorii obwodów. Obliczenia są na tyle trywialne, że z ich przeprowadzeniem może sobie poradzić nawet uczeń drugiej klasy technikum elektronicznego. Wyprowadzenia potrzebnych wzorów zawarte w publikacji pozwalają na lepsze zrozumienie alogrytmów obliczeniowych, które są wykorzystywane w popularnych programach komputerowych służących do symulacji układów zwrotnic zestawów głośnikowych, takich jak np. Speaker Workshop czy VituixCAD.

Oporowe tłumiki efektywności pozwalają na wyrównanie wypadkowej charakterystyki poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości zestawu głośnikowego. W przypadku gdy efektywność danego głośnika lub głośników jest wyższa od efektywności głośnika niskotonowego lub nisko-średniotonowego możemy w ten sposób stłumić sygnał doprowadzany do zacisków danego głośnika. Tego typu kompensacji podlegają najczęściej głośniki średniotonowe i wysokotonowe.

Jednoelementowy tłumik efektywności

W najprostszych układach zwrotnic zestawów głośnikowych bardzo często można spotkać jednoelementowy tłumik efektywności. Jego główną zaletę stanowi niski koszt wykonania natomiast wadą jest występowanie efektu podnoszenia się charakterystyki modułu impedancji w funkcji częstotliwości kompensowanego głośnika o wartość rezystancji R występującej w obwodzie.

Na **rysunku 1** przedstawiono schemat ideowy jednoelementowego tłumika efektywności. Do wyznaczenia wartości rezystancji R posłużymy się wzorem na tłumienie napięciowe wyrażone w decybelach:

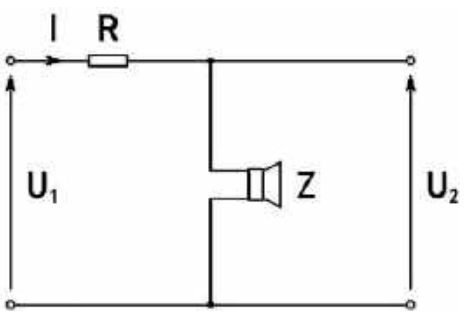
$$K_U[dB] = 20log_{10}\left(\frac{U_2}{U_1}\right)$$

Dzieląc obydwie strony tego wzoru przez dwadzieścia otrzymamy:

$$\frac{K_U[dB]}{20} = log_{10}\left(\frac{U_2}{U_1}\right)$$

W następnej kolejności należy zastosować operację odwrotną do logarytmowania przy podstawie 10, czyli potęgowanie podstawy 10:

$$\frac{U_2}{U_1} = 10^{\frac{K_U[dB]}{20}}$$



Rysunek 1. Schemat ideowy jednoelementowego tłumika efektywności

Mnożąc obustronnie równanie razy U_1 otrzymujemy:

$$U_2 = 10^{\frac{K_U[dB]}{20}} \cdot U_1$$

Załóżmy, że sygnał na wejściu układu ma amplitudę RMS równą 1,00 V i chcemy stłumić efektywność ośmioomowego głośnika średniotonowego o –3 dB:

$$U_2 = 10^{\frac{K_U[dB]}{20}} \cdot U_1 = 10^{\frac{-3dB}{20}} \cdot 1,00V \approx 0,71$$

Tłumienie napięciowe wyniesie zatem 0,71 V/V.

Ułóżmy zatem układ równań korzystając z drugiego prawa Kirchhoffa i z prawa Ohma:

$$\begin{cases} U_1 = I \cdot R + I \cdot Z \\ U_2 = I \cdot Z \end{cases}$$

Wiedząc, że U_2=0,71·U_1 podstawmy tę wartość do drugiego równania:

$$\begin{cases} U_1 = I \cdot R + I \cdot Z \\ 0,71 \cdot U_1 = I \cdot Z \end{cases}$$

Podstawmy teraz U_1 oraz Z do drugiego równania i wyznaczmy wzór na prąd I:

$$I = \frac{0,71 \cdot U_1}{Z} = \frac{0,71 \cdot 1,00V}{8,00\Omega} \approx 0,09A$$

Wykorzystajmy teraz pierwsze równanie do wyznaczenia rezystancji R:

$$I \cdot R = U_1 - I \cdot Z$$

Dzieląc obustronnie przez prąd I otrzymamy:

$$R = \frac{U_1}{I} - Z = \frac{1,00V}{0,09A} - 8,00\Omega \approx 3,11\Omega$$

Najbliższą wartością w szeregu E24 jest rezystancja 3,00 Ω.

Rezystancja dobranego w ten sposób opornika doda się do impedancji znamionowej głośnika tworząc impedancję wypadkową:

$$R_D + Z = 11,00\Omega$$

Załóżmy, że maksymalna moc jaką chcemy doprowadzić do głośnika bez tłumika efektywności wynosi 40 W. Do wyznaczenia wartości napięcia RMS jakie należy przyłożyć do zacisków głośnika posłużymy się prawem Joule'a-Lenza:

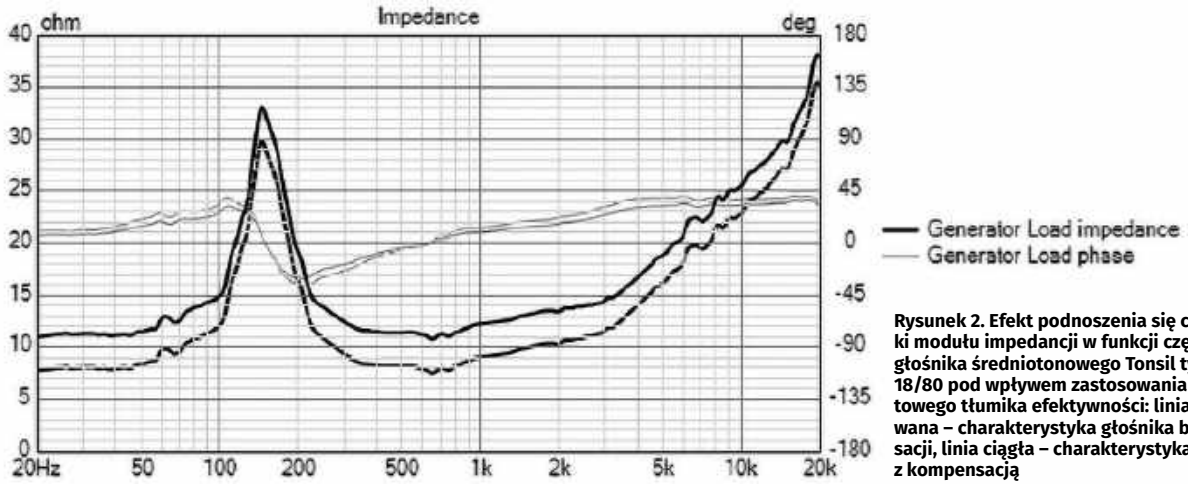
$$P = U_1 \cdot I$$

Z prawa Ohma wiadomo, że:

$$I = \frac{U_1}{Z}$$

Wstawiając wzór na prawo Ohma do wzoru na prawo Joule'a-Lenza otrzymamy:

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 2. Efekt podnoszenia się charakterystyki modułu impedancji w funkcji częstotliwości głośnika średniotonowego Tonsil typu GDM 18/80 pod wpływem zastosowania jednoelementowego tłumika efektywności: linia przerywana – charakterystyka głośnika bez kompensacji, linia ciągła – charakterystyka głośnika z kompensacją

$$P = \frac{U_1^2}{Z}$$

Mnożąc obustronnie razy Z otrzymujemy:

$$U_1^2 = P \cdot Z$$

Pierwiastkujemy obydwie strony równania i podstawiamy znane wartości mocy oraz impedancji znamionowej:

$$U_1 = \sqrt{P \cdot Z} = \sqrt{40,00W \cdot 8,00\Omega} \approx 17,89V$$

Teraz musimy wyznaczyć natężenie prądu elektrycznego płynącego przez obwód złożony z szeregowego połączenia opornika R oraz impedancji znamionowej Z korzystając z prawa Ohma:

$$I = \frac{U_1}{R_D + Z} = \frac{17,89V}{3,00\Omega + 8,00\Omega} \approx 1,63A$$

W następnej kolejności wyznaczamy wartość napięcia RMS jakie w tej sytuacji odłoży się na zaciskach opornika o rezystancji R_D korzystając z prawa Ohma:

$$U_R = I \cdot R_D = 1,63A \cdot 3,00\Omega = 4,89V$$

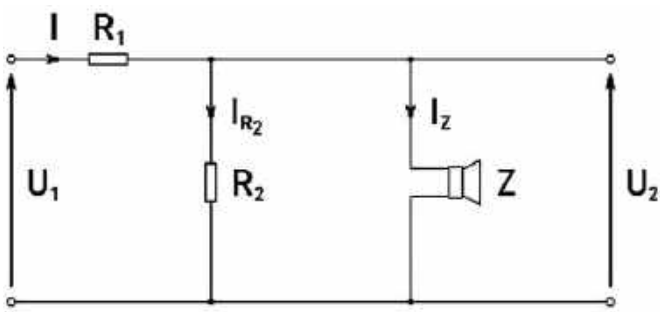
Moc jaka wydzieli się na oporniku o rezystancji R_D wyznaczamy korzystając z prawa Joule'a-Lenza:

$$P_{R_D} = U_{R_D} \cdot I = 4,89V \cdot 1,63A \approx 7,97W$$

Musimy zatem zastosować opornik o mocy wynoszącej przynajmniej 10,00 W.

Dwuelementowy tłumik efektywności

W profesjonalnych układach zwrotnic zestawów głośnikowych stosuje się najczęściej dwuelementowy tłumik efektywności. Jego główną zaletę stanowi brak występowania efektu podnoszenia się charakterystyki modułu impedancji w funkcji częstotliwości



Rysunek 3. Schemat ideowy dwuelementowego tłumika efektywności

kompensowanego głośnika, jaki możemy zaobserwować na **rysunku 2** w odniesieniu do jednoelementowego tłumika efektywności. Krótko mówiąc, przy prawidłowym doborze elementów składowych dwuelementowego tłumika efektywności, charakterystyka modułu impedancji w funkcji częstotliwości głośnika poddanego kompensacji wygląda w przybliżeniu tak samo jak charakterystyka modułu impedancji w funkcji częstotliwości głośnika bez kompensacji. Wadę stanowi za to wyższy koszt wykonania.

Parametry tłumienia sygnału przyjmujemy takie same jak w przypadku jednoelementowego tłumika efektywności. Sygnał ma być zatem stłumiony o –3 dB. Tworzymy zatem układ równań korzystając z prawa Ohma, drugiego prawa Kirchhoffa oraz wzoru na rezystancję wypadkową dla połączenia równoległego:

$$\begin{cases} U_1 = I \cdot R_1 + I \cdot (\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z}) \\ U_2 = I \cdot (\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z}) \end{cases}$$

Teraz w pierwszym równaniu wyciągamy natężenie prądu elektrycznego I przed nawias, natomiast w drugim równaniu podstawiamy za U_2=0,71·U_1:

$$\begin{cases} U_1 = I \cdot (R_1 + (\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z})) \\ 0,71 \cdot U_1 = I \cdot (\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z}) \end{cases}$$

Dzielimy obydwie strony drugiego równania przez wartość tłumienia napięciowego wynoszącą 0,71 V/V:

$$U_1 = I \cdot \frac{(\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z})}{0,71}$$

Przyrównujemy obydwa równania układu do siebie:

$$I \cdot (R_1 + (\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z})) = I \cdot \frac{(\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z})}{0,71}$$

Natężenie prądu elektrycznego I jest czynnikiem wspólnym, możemy więc podzielić obydwie strony równania przez I otrzymując po skróceniu:

$$R_1 + (\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z}) = \frac{(\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z})}{0,71}$$

Teraz musimy wyznaczyć formułę pozwalającą na obliczenie rezystancji opornika R_1. W tym celu porządkujemy otrzymane wcześniej równanie:

$$R_1 = \frac{(\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z})}{0,71} - (\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z})$$

eprasa.pl d09f51483c

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

Równanie w dalszym ciągu posiada dwie niewiadome. Aby pozbyć się jednej z nich, musimy sformułować warunek stałej impedancji polegający na tym, że impedancja układu zastępczego składającego się z oporników R_1, R_2 oraz impedancji znamionowej Z głośnika powinna być w przybliżeniu równa impedancji znamionowej Z głośnika.

$$R_1 + \frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z} = Z$$

Przenosimy wyraz określający rezystancję zastępczą dla połączenia równoległego na drugą stronę równania:

$$R_1 = Z - \frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z}$$

Przyrównujemy otrzymane wcześniej równanie do wzoru określającego warunek stałej impedancji:

$$\frac{(\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z})}{0,71} - (\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z}) = Z - \frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z}$$

Wymnażamy obydwie strony równania razy wartość tłumienia napięciowego wynoszącą 0,71 V/V:

$$\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z} - 0,71 \cdot (\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z}) = 0,71 \cdot Z - 0,71 \cdot (\frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z})$$

Wymnażamy obydwie strony równania razy wyrażenie (R_2+Z) z mianowników:

$$R_2 \cdot Z - 0,71 \cdot R_2 \cdot Z = 0,71 \cdot Z \cdot (R_2 + Z) - 0,71 \cdot R_2 \cdot Z$$

Przemnażamy impedancję znamionową Z razy elementy z nawiasu:

$$R_2 \cdot Z - 0,71 \cdot R_2 \cdot Z = \\ = 0,71 \cdot R_2 \cdot Z + 0,71 \cdot Z^2 - 0,71 \cdot R_2 \cdot Z$$

Skracamy występujące dwa razy wyrażenia (0,71·R_2·Z), które się zerują a także wyciągamy czynnik R_2 przed nawias:

$$R_2 \cdot (Z - 0,71 \cdot Z) = 0,71 \cdot Z^2$$

Dzielimy obydwie strony równania przez wyrażenie z nawiasu i podstawiamy znaną wartość impedancji znamionowej głośnika celem obliczenia rezystancji opornika R_2:

$$R_2 = \frac{0,71 \cdot Z^2}{Z - 0,71 \cdot Z} = \frac{0,71 \cdot (8,00\Omega)^2}{8,00\Omega - 0,71 \cdot 8,00\Omega} \approx 19,59\Omega$$

Najbliższą wartością w szeregu E24 jest rezystancja 20,00 Ω.

Teraz z warunku stałej impedancji obliczamy rezystancję opornika R_1:

$$R_1 = Z - \frac{R_2 \cdot Z}{R_2 + Z} = 8,00\Omega - \frac{19,59\Omega \cdot 8,00\Omega}{19,59\Omega + 8,00\Omega} \approx 2,32\Omega$$

Najbliższą wartością w szeregu E24 jest rezystancja 2,40 Ω.

Wiemy już, że dla sygnału o mocy 40 W napięcie U_1 będzie miało wartość wynoszącą około 17,89 V. Musimy zatem wyznaczyć impedancję zastępczą układu zawierającego elementy dobierane:

$$Z_Z = R_{1_D} + \frac{R_{2_D} \cdot Z}{R_{2_D} + Z} = \\ = 2,40\Omega + \frac{20,00\Omega \cdot 8,00\Omega}{20,00\Omega + 8,00\Omega} = 8,11\Omega$$

Sumaryczny prąd elektryczny I wpływający do układu zastępczego wyznaczamy korzystając z prawa Ohma:

$$I = \frac{U_1}{Z_Z} = \frac{17,89V}{8,11\Omega} = 2,21A$$

Spadek napięcia na oporniku R_{1D} wyznaczamy także korzystając z prawa Ohma:

$$U_{R_{1_D}} = I \cdot R_{1_D} = 2,21A \cdot 2,40\Omega \approx 5,30V$$

Moc wydzielaną na oporniku R_{1D} wyznaczamy korzystając z prawa Joule'a-Lenza:

$$P_{R_{1_D}} = U_{R_{1_D}} \cdot I = 5,30V \cdot 2,21A = 11,71W$$

Musimy zatem zastosować opornik o mocy wynoszącej przynajmniej 15,00 W.

Wiadomo, że napięcie U_2 stanowi różnicę napięcia U_1 oraz U_{R1D}:

$$U_2 = U_1 - U_{R_{1_D}} = 17,89V - 5,30V = 12,59V$$

Natężenie prądu elektrycznego płynącego przez opornik R_2 wyznaczamy korzystając z prawa Ohma:

$$I_{R_{2_D}} = \frac{U_2}{R_{2_D}} = \frac{12,59V}{20,00\Omega} = 0,63A$$

Moc wydzielaną na oporniku R_{2D} wyznaczamy korzystając z prawa Joule'a-Lenza:

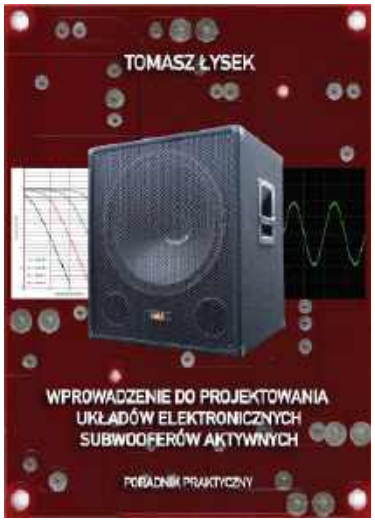
$$P_{R_{2_D}} = U_{R_{1_D}} \cdot I_{R_{2_D}} = 12,59V \cdot 0,63A = 7,93W$$

Musimy zatem zastosować opornik o mocy wynoszącej przynajmniej 10,00 W.

Książka o układach elektronicznych do subwooferów aktywnych

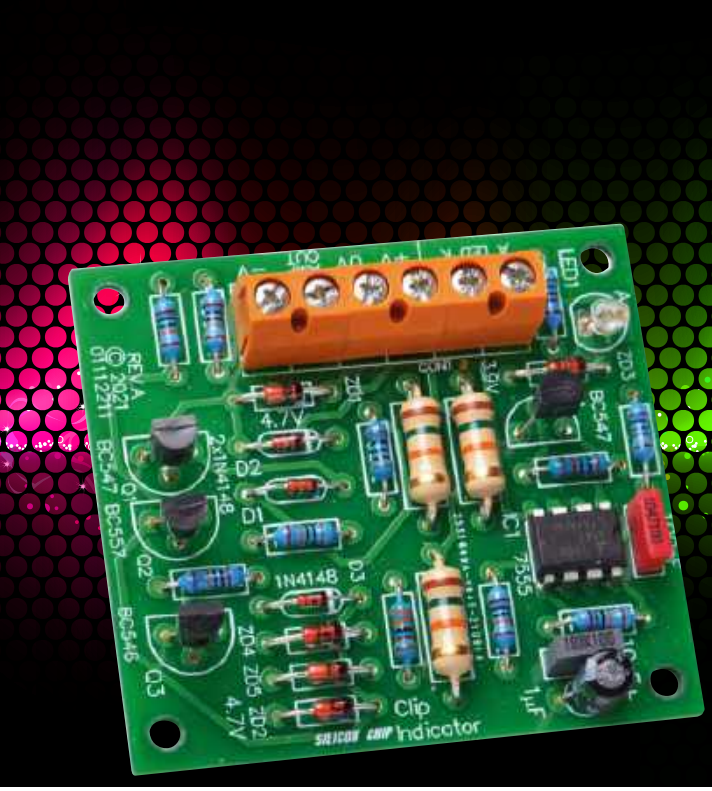
Zapraszam do zapoznania się z moją najnowszą książką pt. „Wprowadzenie do projektowania układów elektronicznych subwooferów aktywnych. Poradnik praktyczny": https://youtu.be/KIo1eqxj4AE, https://youtu.be/gpQe89R5HEk ■

mgr inż. Tomasz Łysek



Rysunek 4. Okładka książki pt. „Wprowadzenie do projektowania układów elektronicznych subwooferów aktywnych. Poradnik praktyczny"

REKLAMA
numery archiwalne • prenumerata • książki
www.UlubionyKiosk.pl
eprasa.pl 0881-14596



Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/9tkdk7kw

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

Wskaźnik przesterowania wzmacniacza

Doprowadzenie wzmacniacza do przesterowania może powodować powstawanie nieprzyjemnych dźwięków, a nawet uszkodzić drogie głośniki. Dlatego najlepiej jest sygnalizować zbliżanie się do stanu przesterowania, zanim do niego dojdzie. Opisany w artykule, łatwy do wykonania wskaźnik przesterowania wzmacniacza nadaje się do tego idealnie. Dioda LED sygnalizuje nawet najkrótsze przesterowanie.

Wskaźnik przesterowania jest cennym dodatkiem do każdego wzmacniacza audio. Wskazuje on, kiedy wzmacniacz osiągnął swój limit wzmocnienia i zaczyna obcinać szczyty sygnału audio. W praktyce, zanim zostanie to zauważone, pojawiające się przesterowania mogą spowodować uszkodzenie głośnika wysokotonowego. Wynika to z faktu, że gdy wzmacniacz przycina sygnał, przybiera on kształt prostokątny, co z kolei powoduje wytwarzanie wielu harmonicznych o wyższych częstotliwościach. Takie niepożądane składowe sygnału mogą łatwo uszkodzić głośniki wysokotonowe w systemach głośnikowych.

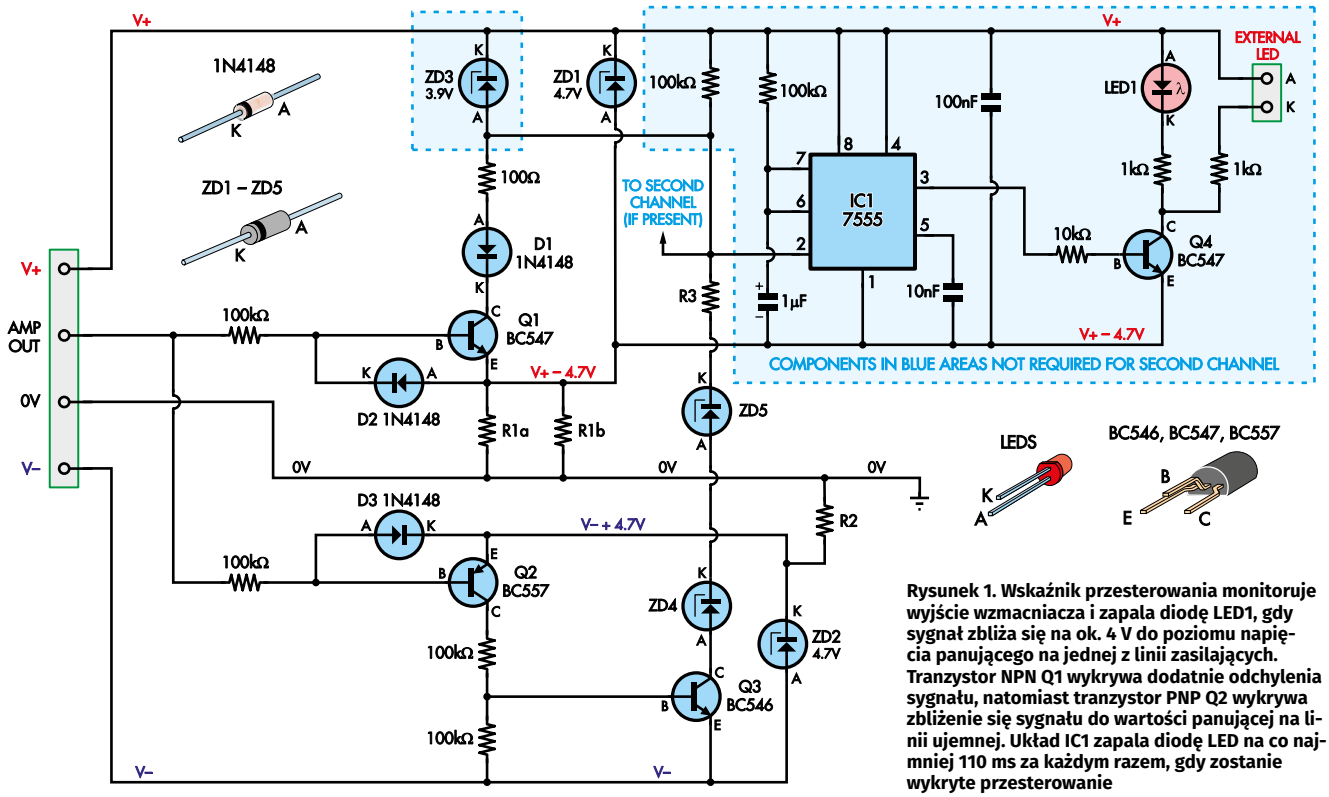
Opisywany wskaźnik miga diodą LED po wykryciu przesterowania. Można przyjąć, że dzieje się tak za każdym razem, gdy sygnał wyjściowy wzmacniacza osiąga poziom różniący się o około 4 V od dodatniego lub ujemnego napięcia zasilającego. Dla większości wzmacniaczy przesterowanie następuje gdy różnica ta wynosi około 3 V. Czasami niektóre wzmacniacze mogą wymagać nieco większego zapasu. Wybór 4 V daje niewielki margines bezpieczeństwa.

Na liniach zasilających wzmacniacza mogą występować znaczne tętnienia. Jest tak szczególnie wtedy, gdy wzmacniacz dostarcza dużą moc (a więc wtedy, gdy najbardziej prawdopodobne jest wystąpienie przesterowania). Dlatego wskaźnik przesterowania, taki jak ten przedstawiony w artykule, porównuje przebieg wyjściowy z chwilowymi napięciami

Tabela 1. Wartości komponentów zmieniające się w zależności od napięcia szyny zasilającej wzmacniacza

Zasilanie	R1a	R1b	R2	R3 (1/2 W)	ZD4	ZD5
±80 V	15 kΩ 1 W	15 kΩ 1 W	15 kΩ 1 W	33 kΩ	75 V (1N4761)	18 V (1N4746)
±75 V	15 kΩ 1 W	15 kΩ 1 W	15 kΩ 1W	33 kΩ	75 V (1N4761)	9,1 V (1N4739)
±70 V	12 kΩ 1 W	12 kΩ 1 W	12 kΩ 1 W	33 kΩ	75 V (1N4761)	zwora
±65 V	12 kΩ 1 W	12 kΩ 1 W	12 kΩ 1 W	33 kΩ	33 V (1N4752)	33 V (1N4752)
±60 V	12 kΩ 1 W	12 kΩ 1 W	12 kΩ 1 W	33 kΩ	27 V (1N4750)	27 V (1N4750)
±55 V	10 kΩ 1/2 W	10 kΩ 1/2 W	10 kΩ 1/2 W	33 kΩ	22 V (1N4748)	22 V (1N4748)
±50 V	9,1 kΩ 1/2 W	9,1 kΩ 1/2 W	9,1 kΩ 1/2 W	33 kΩ	16 V (1N4745)	18 V (1N4746)
±45 V	8,2 kΩ 1/2 W	8,2 kΩ 1/2 W	8,2 kΩ 1/2 W	33 kΩ	12 V (1N4742)	12 V (1N4742)
±40 V	7,5 kΩ 1/2 W	7,5 kΩ 1/2 W	7,5 kΩ 1/2 W	30 kΩ	15 V (1N4474)	zwora
±35 V	6,2 kΩ 1/2 W	6,2 kΩ 1/2 W	6,2 kΩ 1/2 W	30 kΩ	3,9 V (1N4730)	zwora
±30 V	5,1 kΩ 1/2 W	5,1 kΩ 1/2 W	5,1 kΩ 1/2 W	27 kΩ	zwora	zwora
±25 V	3,9 kΩ 1/2 W	3,9 kΩ 1/2 W	3,9 kΩ 1/2 W	22 kΩ	zwora	zwora
±20 V	3 kΩ 1/2 W	3 kΩ 1/2 W	3 kΩ 1/2 W	18 kΩ	zwora	zwora
±15 V	2 kΩ 1/2 W	2 kΩ 1/2 W	2 kΩ 1/2 W	13 kΩ	zwora	zwora
±10 V	1 kΩ 1/2 W	1 kΩ 1/2 W	1 kΩ 1/2 W	8,2 kΩ	zwora	zwora

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 1. Wskaźnik przesterowania monitoruje wyjście wzmacniacza i zapala diodę LED1, gdy sygnał zbliża się na ok. 4 V do poziomu napięcia panującego na jednej z linii zasilających. Tranzystor NPN Q1 wykrywa dodatnie odchylenia sygnału, natomiast tranzystor PNP Q2 wykrywa zbliżenie się sygnału do wartości panującej na linii ujemnej. Układ IC1 zapala diodę LED na co najmniej 110 ms za każdym razem, gdy zostanie wykryte przesterowanie

zasilania, i w razie konieczności dokonuje odpowiedniej kompensacji. Progi załączania dostosowują się do wahań napięcia zasilania.

Aby zapewnić widoczność nawet chwilowego przesterowania układ zawiera timer, który wydłuża czas świecenia diody LED. Wskaźnik LED jest zamontowany na płytce PCB, ale zapewnia również połączenie dla zewnętrznej diody LED zamontowanej na panelu przednim wzmacniacza.

Opisany tu wskaźnik przesterowania jest prezentowany jako samodzielna płytka drukowana zaprojektowana do umieszczenia w istniejącym wzmacniaczu. Można zbudować pojedynczą jednostkę dla wzmacniacza monofonicznego lub dwie do monitorowania dwóch kanałów we wzmacniaczu stereo.

Zasilanie układu pochodzi z zasilacza wzmacniacza i pobiera tylko kilkadziesiąt miliamperów, więc nie wpływa znacząco na maksymalną moc wyjściową wzmacniacza.

Budując wersję stereo, można użyć pojedynczej, wspólnej diody LED do wskazywania przesterowania każdego z kanałów lub oddzielnego wskaźnika LED dla każdego kanału. Druga płytka drukowana nie wymaga montowania niektórych elementów dla wersji ze wspólną diodą LED.

Schemat

Schemat wskaźnika przesterowania pokazano na **rysunku 1**. Kilka elementów nie ma wartości. Są to rezystory R1a, R1b, R2 i R3 oraz diody Zenera ZD4 i ZD5. Ich wartości zależą od napięcia zasilania wzmacniacza. Wartości tych elementów wymagane dla wzmacniaczy o napięciu zasilania w zakresie od ±10 V do ±80 V przedstawiono w **tabeli 1**.

Wskaźnik przesterowania tworzy dodatnie i ujemne napięcia odniesienia. W przypadku dodatniego napięcia odniesienia dioda Zenera ZD1 ustala napięcie około 4,7 V poniżej dodatniej linii V_+. Rezystory R1a i R1b ograniczają prąd płynący przez ZD1 do około 10 mA. Razem łączą one linie zasilania wzmacniacza V_+ i 0 V. Wygenerowane napięcie jest pokazane na schemacie jako V_+ – 4,7 V na emiterze Q1.

Napięcie 4,7 V między tą linią a V_+ jest również używane do zasilania timera IC1. Dopuszczamy 5 mA na zasilanie IC1 i 5 mA na polaryzację ZD1. Więcej informacji na temat działania IC1 zamieszczono w dalszej części artykułu.

Dioda Zenera ZD2 i rezystor R2 pomiędzy zasilaniem V_- i 0 V tworzy ujemne napięcie odniesienia. R2 ogranicza prąd przez ZD2 do około 5 mA.

Wykrywanie dodatniego przesterowania

Dodatnie napięcie odniesienia (V_+ – 4,7 V) jest doprowadzone do emitera tranzystora NPN Q1. Jego baza jest połączona z wyjściem wzmacniacza przez rezystor ograniczający prąd 100 kΩ, natomiast dioda D2 zapobiega odwrotnemu polaryzowaniu złącza baza-emiter tranzystora Q1.

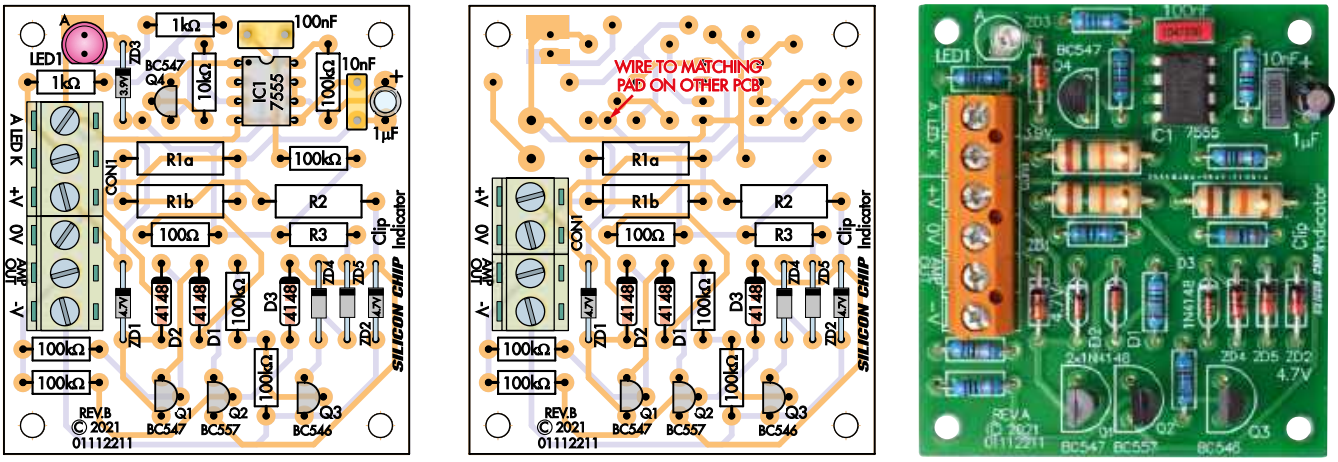
Tuż przed przesterowaniem napięcie wyjściowe wzmacniacza wzrośnie powyżej napięcia odniesienia V_+ – 4,7 V powiększonego o napięcie baza-emiter Q1 wynoszące około 0,7 V. Q1 włącza się, gdy napięcie wyjściowe wzmacniacza mieści się w zakresie 4 V od dodatniego zasilania i pobiera prąd przez diodę D1, rezystor 100 Ω i diodę Zenera ZD3.

Anoda ZD3 łączy się z wejściem wyzwalającym (pin 2) układu IC1, a gdy napięcie spada, timer IC1 zaczyna działać. Oznacza to, że wyjście (pin 3 układu IC1) przechodzi w stan wysoki, włączając Q4 i diodę LED wskaźnika (LED1) poprzez rezystor ograniczający prąd 1 kΩ. Jeśli do złącza zewnętrznej diody LED zostanie dołączona kolejna dioda LED, ona również zostanie załączona.

IC1 jest CMOS-ową wersją timera 555 i pracuje jako timer monostabilny. Odmierzanie czasu jest inicjowane, gdy napięcie na wejściu wyzwalającym (pin 2) spadnie poniżej jednej trzeciej napięcia zasilania. Przy zasilaniu 4,7 V wyzwalanie następuje przy napięciu 1,56 V powyżej linii V_+ – 4,7 V lub 3,13 V poniżej szyny zasilania V_+.

Pin 2 jest zwykle utrzymywany na poziomie V_+ przez rezystor podciągający 100 kΩ. Jednakże, gdy prąd przepływa przez ZD3, D1 i Q1, napięcie na pinie 2 spada wystarczająco nisko, aby wyzwolić timer.

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 2. i 3. Płytka nie jest trudna w montażu. Elementy należy zamontować tak, jak pokazano po lewej stronie. Diody, LED, układy scalone i kondensatory elektrolityczne są spolaryzowane. Jeśli budowana jest wersja monofoniczna lub stereofoniczna do sterowania dwoma niezależnymi diodami LED, należy zbudować płytkę ze wszystkimi elementami. W przypadku wersji stereofonicznej z pojedynczą diodą LED wskaźnika przesterowania, powinna być wykonana jedna z każdej wersji, a następnie wskazany pad powinien być połączony z dwiema płytkami (nie ma go na prototypowej płytce drukowanej na zdjęciu)

Gdy wyjście (pin 3) przejdzie w stan wysoki, kondensator 1 µF na pinach 6 i 7 układu IC1 zaczyna się ładować od zasilania V_+ przez rezystor 100 kΩ. Gdy kondensator osiągnie dwie trzecie zasilania (3,13 V powyżej wartości odniesienia V_+ – 4,7 V), wyjście (pin 3) przechodzi w stan niski, a kondensator rozładowuje się przez pin 7.

Przedstawiona sekwencja zdarzeń występuje, gdy napięcie wyzwalające na pinie 2 jest niskie tylko przez bardzo krótki czas. Jeśli napięcie wyzwalające jest niskie przez dłuższy czas, wyjście (pin 3) pozostaje w stanie wysokim dopóki pin 2 nie przejdzie ponownie do stanu wysokiego. Okres taktowania wynosi około 110 ms, zgodnie z wartościami rezystora 100 kΩ i kondensatora 1 µF. Układ scalony IC1 wydłuża impuls generowany podczas krótkotrwałego przesterowania wzmacniacza. Zapewnia on, że obcinanie jest wyświetlane na diodzie LED przez co najmniej 110 ms (tj. nieco ponad 1/10 sekundy).

Wykrywanie skoków ujemnych

ZD2, tranzystor PNP Q2 i dioda D3, to elementy wykrywające ujemne skoki sygnału wyjściowego. Gdy na wyjściu wzmacniacza pojawi się niski poziom, w odległości 4 V od ujemnego zasilania, tranzystor Q2 włącza się, co powoduje z kolei włączenie tranzystora Q3. Skutkuje to obniżeniem napięcia na wejściu wyzwalającym (pin 2) układu IC1 poprzez dwie szeregowe diody Zenera (ZD4 i ZD5) i rezystor R3.

Tranzystor Q3 jest przystosowany do maksymalnego napięcia kolektor-emiter równego 80 V. Bez dwóch diod Zenera, tranzystor mógłby być poddany sumarycznemu napięciu linii zasilających V_+ i V_-, a więc nadawałby się do użytku tylko z liniami zasilającymi o maksymalnym napięciu ±40 V. Dzięki zastosowaniu diod Zenera napięcie na kolektorze zostało zredukowane do maksymalnie około 66 V.

W projekcie mogły być użyte tranzystory o wyższym napięciu znamionowym, ale nie są one tak łatwo dostępne jak BC546. W tabeli 1 zostały zestawione wymagane wartości rezystorów R2, R3 i diod Zenera ZD4 i ZD5 dla różnych napięć zasilania wzmacniacza. Rezystor R3 jest dołączony w celu ograniczenia prądu diody Zenera ZD3, gdy tranzystor Q3 przewodzi.

Chociaż nie jest to najprostszy układ wskaźnika przesterowania, ma on tę zaletę, że stanowi prawie całkowicie liniowe obciążenie wyjścia wzmacniacza. Zastosowane rozwiązanie pozwala zminimalizować możliwość jakichkolwiek zniekształceń spowodowanych obciążeniem.

Należy zauważyć, że jeśli chcemy monitorować przesterowanie we wzmacniaczu stereo i użyć pojedynczej diody wskaźnika, można zrezygnować z elementów w zaznaczonych na niebiesko obszarach dla drugiego kanału. Połączenie jest wykonane między dwiema płytkami drukowanymi na górnym końcu rezystora R3. W ten sposób wystąpienie przesterowania na jednym z wejść wyzwoli układ IC1 na płytce, na której jest zamontowany.

Alternatywnie można zbudować dwa kompletne moduły do niezależnego wskazywania obcinania w kanale prawym i lewym. Płytki są małe, ponadto można je zamontować jedna nad drugą, aby zajmowały jak najmniej miejsca.

Budowa

Wskaźnik przesterowania wzmacniacza można zbudować przy użyciu dwustronnej płytki drukowanej o kodzie 01112211. Płytka ma wymiary 54 mm × 60 mm. W artykule zostały przedstawione dwie wersje warstwy opisowej. Na **rysunku 2** mamy płytkę używaną we wzmacniaczu monofonicznym lub dla lewego kanału we wzmacniaczu stereofonicznym (lub obu kanałów, jeśli mają być uzyskane niezależne wskazania przesterowań).

Jeśli drugi kanał jest zbudowany tak, jak pokazano na **rysunku 3**, przesterowanie w dowolnym kanale będzie sygnalizowane pojedynczą diodą LED.

W pierwszej kolejności montujemy rezystory. Najpierw należy zapoznać się z tabelą 1, co pozwoli wybrać wartość rezystora i moc znamionową dla R1a, R1b, R2 i R3. Wykaz elementów zawiera tabelę z kolorowymi kodami rezystorów, ale przed przylutowaniem każdego z nich warto zmierzyć wartość każdego za pomocą multimetru cyfrowego (DMM).

W następnej kolejności montujemy diody D1, D2 i D3. Należy pamiętać o zachowaniu właściwej polaryzacji. Kolejne elementy do montażu to diody Zenera. Napięcie znamionowe diod ZD1 i ZD2 to 4,7 V, natomiast dioda ZD3 jest na napięcie 3,9 V. Napięcia diod ZD4 i ZD5 muszą być zgodne z tabelą 1. W niektórych przypadkach należy zastąpić je zworami (patrz tabela).

Następnie można zamontować tranzystory Q1, Q2, Q3 i Q4. zastosowano trzy różne typy tranzystorów (niemniej w lokalizacjach Q1, Q3 i Q4 można zastosować BC546), więc należy uważać, aby zamontować każdy z nich we właściwym miejscu.

Śrubowe listwy zaciskowe tworzące CON1 należy najpierw połączyć ze sobą ściankami bocznymi, nasuwając jedna na drugą, wykorzystując dostępne w tym celu wypusty. Lutujemy je na miejscu jako wcześniej zmontowany zespół, w taki sposób,

eprasa.pl d09f51483c

aby strona wprowadzania przewodów była skierowana do najbliższej krawędzi płytki drukowanej. Innymi słowy, otwory, do których podłączymy kable, mają być skierowane na zewnątrz płytki PCB.

Teraz montujemy diodę LED1 z dłuższym wyprowadzeniem włożonym do otworu anody. Montujemy ją tak, aby jej górna część znajdowała się mniej więcej na tym samym poziomie co sąsiednie złącze śrubowe.

Układ IC1 można przylutować bezpośrednio do płytki drukowanej, upewniając się, że jego nóżka 1 jest skierowana tak, jak pokazano na rysunku. Jako ostatnie należy zamontować kondensatory. Kondensator 1 µF musi być prawidłowo ustawiony, z dłuższym wyprowadzeniem zamontowanym w otworze oznaczonym znakiem +. Można użyć niespolaryzowanego kondensatora foliowego 1 µF, ale będzie on znacznie większy i prawdopodobnie droższy niż elektrolityczny.

Jeśli budowana jest wersja dwukanałowa, do zapalenia pojedynczej diody LED wskaźnika przesterowania trzeba zbudować drugą płytkę zgodnie z rysunkiem 3 i przylutować cienki przewód sygnałowy o długości ~20 mm do górnej części tej płytki, do punktu lutowniczego między ZD3 i Q4. Sensowne jest, aby płytka z mniejszą liczbą elementów znajdowała się na dole stosu, ponieważ nie ma ona diody LED, a oczekujemy widoczności diody LED na drugiej płytce.

Alternatywnie, jeśli jest budowana wersja dwukanałowa z oddzielnymi wskaźnikami LED, należy wykonać drugą identyczną płytkę i nie montować wspomnianego wyżej cienkiego przewodu sygnałowego.

Wykaz elementów

Wskaźnik przesterowania (pojedynczy kanał)
1 dwustronna płytka drukowana – kod 01112211, 54 mm × 60 mm
2 3-pinowe śrubowa listwa zaciskowa, raster 5,08 mm (CON1) LUB
2 2-pinowe śrubowa listwy zaciskowe, raster 5,08 mm (CON1, dla zminimalizowanego drugiego kanału)

Półprzewodniki:
1 7555 timer CMOS, DIP-8 (IC1•)
2 tranzystory BC547 lub BC546 NPN (Q1, Q4•)
1 tranzystor PNP BC557 (Q2)
1 tranzystor BC546 NPN (Q3)
1 żółta, pomarańczowa lub czerwona dioda LED 3 mm lub 5 mm (LED1•)
1 żółta, pomarańczowa lub czerwona dioda LED (opcjonalnie, zewnętrzna dioda LED•)
2 diody Zenera 4,7 V 1 W (1N4732) (ZD1, ZD2)
1 dioda Zenera 3,9 V 1 W (1N4730) (ZD3•)
3 diody małosygnałowe 1N4148 (D1...D3)
2 diody Zenera lub zwory (połączenie przewodowe) (ZD4•, ZD5•)
1 oprawka LED (opcjonalne, do montażu zewnętrznych diod LED w obudowie)
4 nylonowe tuleje dystansowe M3 × 6 mm (lub tuleje dystansowe 15 mm dla górnej płytki w przypadku montażu jedna nad drugą)
8 wkrętów M3 × 6 mm (lub 4 wkręty M3 × 15 mm dla górnej płytki w przypadku montażu jedna nad drugą)
1 przewód połączeniowy o długości ponad 20 mm z litym rdzeniem (opcjonalnie, do połączeń w konfiguracji stereo w przypadku montażu płytek jedna nad drugą)
różnokolorowe przewody połączeniowe, dostosowane do znamionowego napięcia zasilania wzmacniacza

Kondensatory:
1 1 µF 16 V PC elektrolityczny•
1 100 nF 63 V lub 100 V poliestrowy MKT•
1 10 nF 63 V lub 100 V poliestrowy MKT•

Rezystory: (1/4 W, 1% osiowe metalizowane)
6 100 kΩ (• 4 wymagane dla wersji zminimalizowanej)
1 10 kΩ•
2 1 kΩ•
1 100 Ω
4 inne rezystory, wartości zgodnie z tabelą 1•
• nie jest wymagany dla zminimalizowanego drugiego kanału
• Wartości i moc znamionowa – patrz tabela 1

Montaż i okablowanie

Prace montażowe zaczynamy od zaznaczenia czterech otworów w dogodnym położeniu w obudowie wzmacniacza. Posłużą one do zamontowania płytki. Najlepiej, gdy znajdzie się ona między modułami wzmacniacza a gniazdami głośnikowymi lub przynajmniej w ich pobliżu.

Jeśli jest to wzmacniacz stereofoniczny, można ułożyć dwie płytki jedna nad drugą, wkręcając dłuższe śruby przez elementy dystansowe, na których zamontowana jest dolna płytka, a następnie wkręcając kilka gwintowanych elementów dystansowych ~16 mm, gdy pierwszy moduł jest na miejscu. Jeśli znajdzie się miejsce, można zamontować oba moduły osobno, np. obok siebie.

Teraz podłączamy wskaźnik (lub wskaźniki) przesterowania do linii zasilających V_+, V_- i 0 V wzmacniacza, a wyjście (wyjścia) głośnikowe wzmacniacza do wejścia (wejść) AMP OUT w module (modułach) wskaźnika przesterowania. Trzeba zadbać o to, by okablowanie miało odpowiednią izolację, zwłaszcza gdy linie zasilające są pod wyższym napięciem względem uziemienia.

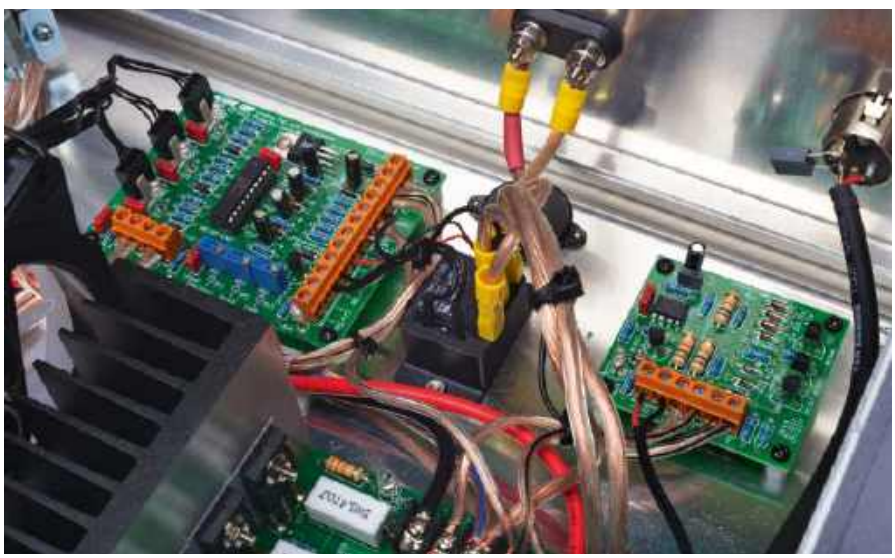
Zewnętrzną diodę LED należy podłączyć do zacisków A i K w złączu śrubowym na płytce. Jeśli budowana jest wersja stereo ze zredukowanymi na drugiej płytce elementami IC1 i z nim powiązanymi, należy poprowadzić przewód przylutowany wcześniej do dolnej płytki przez pasujący punkt lutowniczy na górnej płytce. Lutujemy go na górze i montujemy górną płytkę za pomocą dłuższych gwintowanych podkładek dystansowych i krótkich śrub M3.

We wszystkich przypadkach, gdy używany jest drugi moduł wskaźnika przesterowania, wszystkie trzy połączenia zasilania muszą być wykonane na obu płytkach, wraz z zaciskiem AMP OUT. Jedynymi zaciskami, które nie są potrzebne na płytce z brakującymi elementami są zaciski diody LED A i K.

Zewnętrzna dioda LED lub diody LED mogą być przymocowane do obudowy wzmacniacza za pomocą oprawek LED lub (mniej idealnie) mogą być przyklejone do ciasno dopasowanych otworów za pomocą neutralnie utwardzanego silikonu. ■

John Clarke

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



Wygląd wskaźnika przesterowania zainstalowanego wewnątrz naszej obudowy wzmacniacza 500 W

eprasa.pl d09f51483c

Inteligentny podwójny zasilacz hybrydowy, część 2

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/0svj-w0k

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

Opisany w artykule zasilacz hybrydowy charakteryzuje się bardzo małymi szumami i tętnieniami, mimo tego, że zastosowano w nim przetwornice impulsowe. Użyto je w celu zapewnienia dobrej sprawności i wysokiej mocy wyjściowej uzyskiwanej w urządzeniu zamkniętym w małej obudowie. Wyjścia mogą być używane niezależnie lub razem, szeregowo lub równolegle, a wszystkie są sterowane za pomocą jednego, łatwego w użyciu interfejsu cyfrowego. W tym odcinku skoncentrujemy się na montażu i kalibracji zasilacza.

Montaż, testowanie i kalibrację zasilacza można podzielić na kilka etapów. Najpierw należy zmontować cztery płytki: dwa moduły stabilizatorów, płytkę sterującą i płytkę panelu przedniego. Następnie należy je połączyć i poddać podstawowym testom, by przekonać się, czy całość działa poprawnie.

Następnie podłączamy moduły stabilizatorów do głównego radiatora, przygotowujemy obudowę, montujemy wszystko w obudowie i łączymy. Gdy już przebrniemy przez te etapy, pozostanie już tylko przeprowadzenie kalibracji. Potrzebne wskazówki i instrukcje będą podawane w menu wyświetlanym na ekranie LCD. Potrzebny będzie też przyzwoity multimetr.

Jest sporo do zrobienia, więc zacznijmy od montażu PCB stabilizatora.

Budowanie modułu (modułów) stabilizatora

Każdy moduł stabilizatora można zbudować przy użyciu dwustronnej płytki drukowanej (kod 18107211), o wymiarach 116 mm × 133 mm. Na **rysunku 10** został zamieszczony schemat montażowy płytki drukowanej. Posługując się nim można łatwo zlokalizować położenie poszczególnych elementów oraz zorientować się jak powinny być zamontowane.

Jeśli budowany jest podwójny zasilacz, tylko jedna płytka wymaga umieszczenia stabilizatora LM2575-5 (REG3) i powiązanych elementów (L3, D12 itp.). Ważne jest, aby zamontować tylko zworki LK1 i LK2 na jednej płytce ze stabilizatorem LM2575-5. Należy zainstalować je więc teraz na jednej płytce – można użyć rezystorów 0 Ω lub odcinków srebrzanki.

Budowa modułu stabilizatora rozpoczyna się od zamontowania wszystkich rezystorów, z wyjątkiem rezystora wykrywającego prąd 0,01 Ω i rezystorów dzielących prąd 0,05 Ω. Zamontowanie ich w późniejszym czasie, pozwoli ustawić płytkę płasko na stole, co ułatwi późniejsze lutowanie skomplikowanych elementów.

Po wlutowaniu małych rezystorów lutujemy wszystkie diody w obudowie TO-220 i mostek prostowniczy, sprawdzając dokładnie przed lutowaniem, czy każdy z tych elementów został zamontowany zgodnie z polaryzacją.

Następnie należy zamontować kondensatory foliowe 100 nF, kondensator elektrolityczny 10 µF i pozostałe kondensatory MKT. Przed zamontowaniem kondensatorów ceramicznych należy przylutować układy scalone SMD. Następnie montujemy małe tranzystory (w obudowie TO-92). Koniecznie należy zadbać o to, by nie pomieszać typów tranzystorów.

Metoda montażu była już opisywana wielokrotnie. Podstawową ideą jest przylutowanie jednej nóżki, sprawdzenie, czy lokalizacje i kierunki montażu są prawidłowe, dodanie topnika do wszystkich nóżek, przylutowanie wszystkich nóżek, a następnie wyeliminowanie wszelkich mostków, które mogły ewentualnie powstać, jeśli była użyta większa ilość topnika i lutowia.

Należy zwrócić uwagę na kierunki montażu izolatorów MAX14930, IC6 i IC7. Są one zamontowane w przeciwnych kierunkach. Dla ułatwienia zostały dodane oznaczenia w pobliżu nóżki 1 każdego układu scalonego SMD.

Po przylutowaniu układów SMD, montujemy ceramiczne kondensatory filtrujące.

Na górze płytki znajdują się dwa kondensatory tantalowe 15 µF do montażu powierzchniowego.

Są one skierowane dodatnim końcem w stronę stabilizatora. Orientacja powinna być dokładnie sprawdzona. Dodatni koniec powinien być oznaczony paskiem. Po stronie lutowania komponentów przewlekanych znajduje się również pięć kondensatorów do montażu powierzchniowego. Montujemy je w następnej kolejności.

Teraz jest dobry moment, aby przylutować elementy, które zostały odłożone do montażu na koniec. Są to rezystory 1 Ω, 0,01 Ω i 0,05 Ω. Następnie montujemy gniazda, złącza i uchwyty bezpieczników w których następnie osadzamy bezpiecznik.

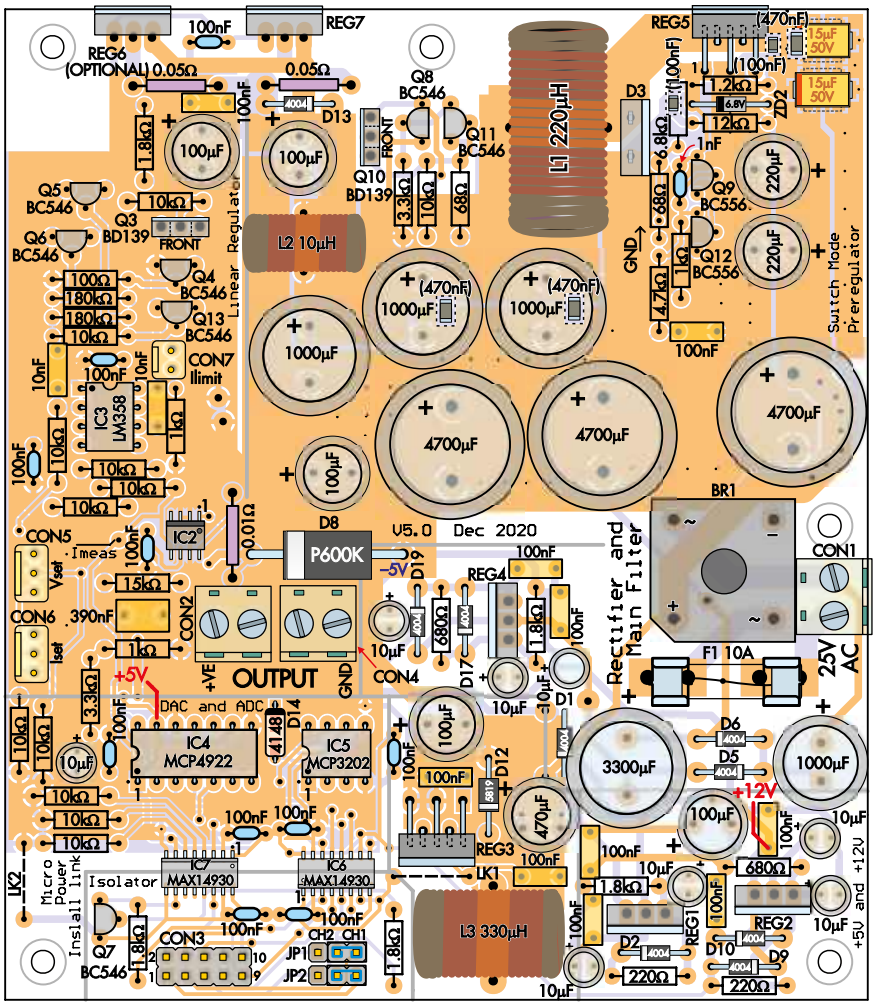
Wykonanie radiatora diody

Dioda D3 w obudowie TO-220 wymaga niewielkiego radiatora. Nagrzewa się znacznie tylko wtedy, gdy wyjście zasilacza jest zwarte, ale radiator zapewni odpowiednie chłodzenie w każdych warunkach przy pracy ciągłej.

Do budowy radiatora został użyty kawałek aluminium o wymiarach 55 mm × 40 mm i grubości 1,6 mm z zagięciem. Ta godna polecenia metoda pozwala uzyskać optymalny rozmiar

Przykład montażu diody do radiatora. Należy pamiętać, że radiator powinien mieć zagięcie, jak pokazano na rysunku 11

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 10. Płytka stabilizatora jest dość mocno upakowana, ale nie jest trudna w montażu. Jest tylko kilka elementów SMD, z których żaden nie posiada szczególnie małych wyprowadzeń. Jedynymi elementami montowanymi na spodzie płytki jest pięć kondensatorów SMD, wszystkie w prawym górnym obszarze. Są one tutaj pokazane w sposób „rentgenowski”

dla dostępnej przestrzeni. Na **rysunku 11** pokazano, jak ten radiator powinien być złożony i zamontowany.

Teraz należy zamontować większe tranzystory (Q3 i Q10), trzy układy scalone w obudowie DIP oraz stabilizatory LM317, LM337 i LM2575-5. Stabilizatory można zamontować z wyprowadzeniami o długości kilku milimetrów. Stabilizator +12 V (REG1) i stabilizator ujemny (REG4) wymagają małych radiatorów, które są mocowane za pomocą śruby M3, karbowanej i płaskiej podkładki, tulei izolacyjnej i podkładki, jak pokazano na **rysunku 12**.

Przed zamontowaniem kondensatorów elektrolitycznych należy przymocować radiator do diody TO-220. Ułatwi to wyrównanie i dokręcenie wszystkich elementów. Jeśli o tym zapomnimy, można włożyć śrubokręt przez otwór w cewce toroidalnej, ale jest to znacznie bardziej skomplikowane.

Teraz można zamontować pozostałe elektrolity. Większe należy umieścić jako ostatnie, ponieważ zajmują one więcej miejsca na płytce. Wszystkie z wyjątkiem dwóch mają dodatnie (+) wyprowadzenie umiejscowione bliżej głównego radiatora lub po lewej stronie jeśli radiator znajduje się na górze. Dwa kondensatory elektrolityczne 220 µF należy zamontować odwrotnie do wskazanej reguły. Znajdują się one na wejściu układu MC34167 i mają swoje (dłuższe) dodatnie wyprowadzenia po prawej stronie, zgodnie z oznaczeniami dla tego elementu.

Pozostały jeszcze cewki. W prototypie została pod nie nałożona odrobina silikonu o neutralnym utwardzaniu. Zapobiega to przemieszczaniu się tych elementów, więc warto to zrobić. W tym momencie wszystkie części, z wyjątkiem tych, które należy przymocować do głównego radiatora, powinny być już na płytce zamontowane.

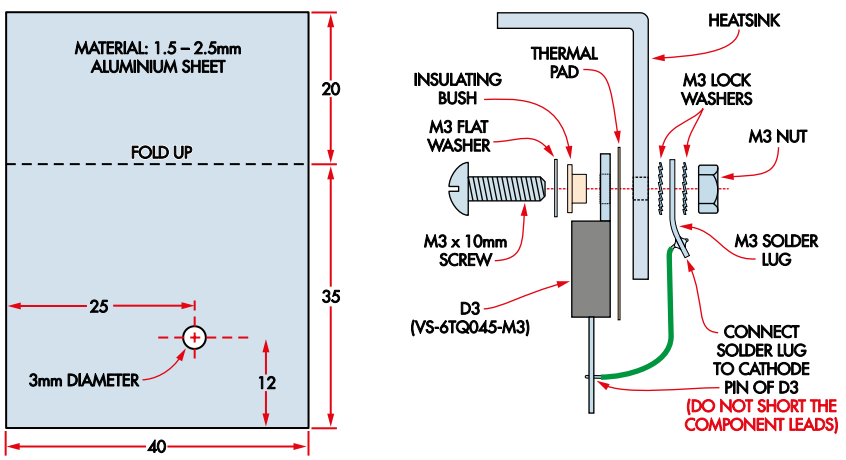
Mostek prostowniczy jest przymocowany za pomocą 150-milimetrowych przewodów, co pozwala na zamontowanie go na radiatorze. Trzeba umieścić krótkie odcinki rurki termokurczliwej na połączeniu luźnych przewodów z mostkiem, jak pokazano na zdjęciu.

Przewody dołączone do wyprowadzeń mostka prostowniczego powinny zostać przylutowane do płytki drukowanej. Zostały zastosowane przewody o długości 15 cm i obciążalności 7,5 A – czerwony dla napięcia dodatniego, czarny dla ujemnego i żółty dla prądu przemiennego.

Płytki modułu sterującego

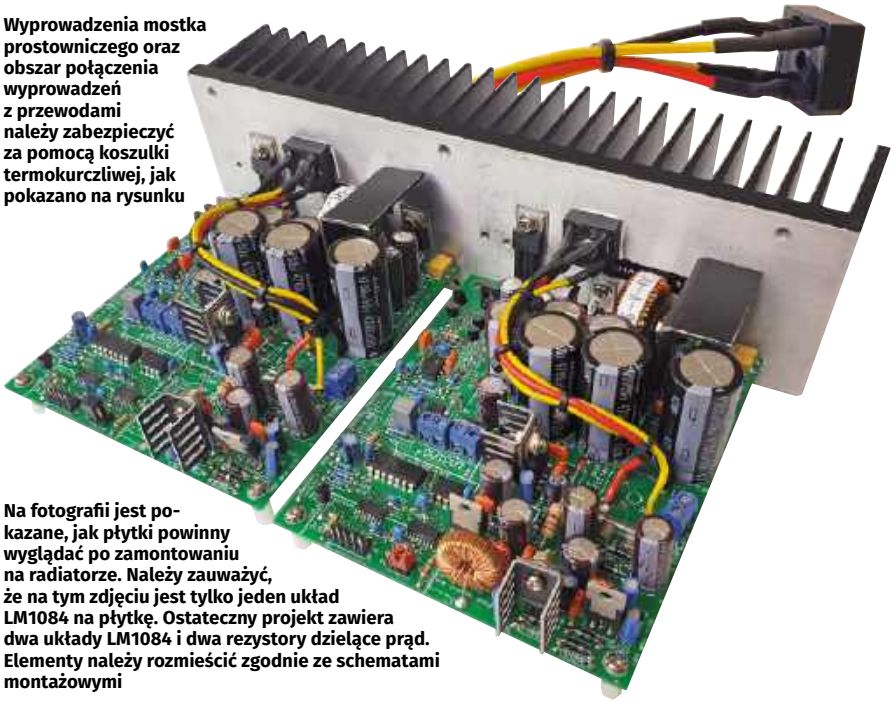
Sterownik dla tego projektu jest taki sam, jak pierwotnie opublikowany w 2019 roku dla aktywnej zwrotnicy DSP i 8-kanałowego korektora parametrycznego (siliconchip.com.au/Series/335). Główna różnica polega na tym, że w tym projekcie układ PIC32MZ jest zaprogramowany za pomocą firmware'u Intelligent Power Supply.

Warstwa opisowa PCB dla tej płytki sterownika jest pokazana na **rysunku 13**.



Rysunek 11. Autorzy projektu nie mogli łatwo znaleźć dostępnego w sprzedaży radiatora, który pasowałby do przestrzeni w obrębie diody D3, więc zrobili go sami. Okazało się to proste, ponieważ wystarczyło wyciąć prostokąt z aluminium, wywiercić jeden otwór i wygiąć go pod kątem 90° w miejscu pokazanym na rysunku. Następnie należy przymocować go do komponentu stosując tuleję izolacyjną i przekładkę termiczną oraz podłączyć radiator do katody diody w celu redukcji zakłóceń elektromagnetycznych

eprasa.pl d09f51483c



Wyprowadzenia mostka prostowniczego oraz obszar połączenia wyprowadzeń z przewodami należy zabezpieczyć za pomocą koszulki termokurczliwej, jak pokazano na rysunku

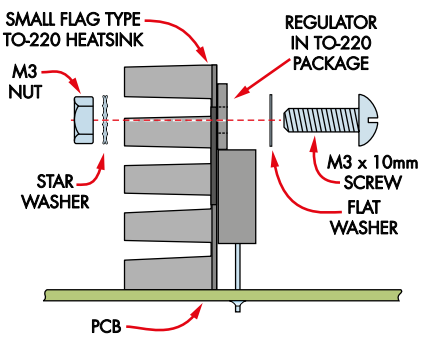
Na fotografii jest pokazane, jak płytki powinny wyglądać po zamontowaniu na radiatorze. Należy zauważyć, że na tym zdjęciu jest tylko jeden układ LM1084 na płytkę. Ostateczny projekt zawiera dwa układy LM1084 i dwa rezystory dzielące prąd. Elementy należy rozmieścić zgodnie ze schematami montażowymi

Wystarczy zamontować tylko te elementy, które potrzebne są w obecnym projekcie. Nic się jednak złego nie stanie, jeśli zostaną zamontowane wszystkie.

Jak zwykle, najpierw montujemy układy scalone SMD (trzeba zwracać uwagę na ich kierunek montażu i sprawdzać, czy nie mają zmostkowanych wyprowadzeń). Następnie montujemy inne układy SMD, a po nich elementy przewlekane o niższym profilu, kończąc na najwyższych.

Oprócz układów scalonych, należy uważać, aby paski oznaczające katody diod znajdowały się we właściwych miejscach, dotyczy to także katody diody LED SMD (która często jest oznaczona zieloną kropką lub kształtem litery T). Trzeba też zadbać o to, by dodatnie (dłuższe) wyprowadzenia kondensatorów elektrolitycznych trafiały w otwory oznaczone symbolami +.

Jeśli programowany ma być własny mikrokontroler, właściwy plik HEX jest dostępny do pobrania ze strony internetowej Silicon Chip. Mikrokontroler może być zaprogramowany w układzie za pośrednictwem złącza CON23, ale należy pamiętać, że jeśli planowane jest podłączenie PICkit, to trafi on do rzędu pinów najbliżej mikrokontrolera, z pinem 1 na końcu oznaczonym „1”. Można też kupić wstępnie zaprogramowany mikrokontroler w sklepie internetowym, co pozwoli uniknąć tych czynności.



Rysunek 12. Dla REG1 i REG4 zastosowane są gotowe radiatory, które powinny być zamontowane zgodnie z rysunkiem

Moduł sterujący zasilacza łączy się z obydwoma modułami stabilizatorów za pomocą 10-przewodowej taśmy, którą wkrótce przygotujemy. Łączy się on również z płytką drukowaną panelu przedniego, pokazaną na **rysunku 14**.

Montaż tej płytki nie wymaga wiele wysiłku. Wystarczy przylutować na stronie top płytki PCB dwa rezystory, następnie umieścić siedem kondensatorów, i gniazdo. Pozostają jeszcze enkodery obrotowe i przyciski, które montuje się po przeciwnych stronach. Enkodery znajdują się na stronie top, a przyciski na stronie bottom. Upewniamy się, że wszystkie są prostopadłe i mocno wciśnięte przed przylutowaniem ich wyprowadzeń.

Zalecane jest użycie enkodera obrotowego S3352 firmy Altronics. Każdy poziomy enkoder („TT”, 20 impulsów na obrót z przełącznikiem) powinien zadziałać poprawnie (kod części Mouser 858-EN11-VSM1AF20 został zweryfikowany jako działający). Są one dostępne z wałkiem D lub z wałkiem wielowypustowym.

Po zmontowaniu tej płytki, nadszedł czas, aby przygotować trzy taśmy, jak pokazano na **rysunku 15**.

Przycinamy 10-żyłową taśmę na odcinki o długości 320 mm i 250 mm, a 20-żyłową na odcinek o długości 160 mm. Zaciskamy wtyczki IDC, jak pokazano na schemacie. Na obu krańcach taśmy kabel powinien przechodzić dodatkowo przez zaciski napinające (rysunek 15). Niemniej, niektóre wtyczki IDC mogą w ogóle nie być wyposażone w zaciski napinające.

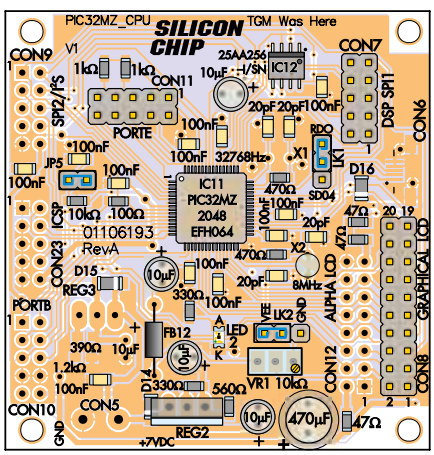
Długości podano przy założeniu, że używana jest zalecana obudowa. Dalsze opis także nawiązuje do prototypu autora. Jeśli w przypadku Czytelnika konstrukcja będzie inna, może się okazać, że będą potrzebne dłuższe kable. Trzeba wiec przed montażem dokładnie wszystko sprawdzić i zaplanować.

Montaż zespołu zasilacza

Przyszedł wreszcie moment, w którym trzeba wszystko umieścić w jakiejś zgrabnej obudowie.

Jednym z celów wytyczonych dla tego projektu było utrzymanie interfejsów i okablowania w prostocie i porządku. Osiągnięto to poprzez komunikację PIC32 z modułami sterowników za pomocą interfejsu SPI. Znając moduły Arduino lub Micromite można zaprojektować własny sterownik.

Większość pracy będzie teraz polegała na przygotowaniu obudowy i radiatora. Obudowa, która została wybrana, ma idealny rozmiar i zapewnia profesjonalnie wyglądający efekt końcowy.



Rysunek 13. Płytka sterownika oparta na mikrokontrolerze PIC32MZ dla tego projektu była używana w kilku poprzednich projektach. Niektóre elementy nie są potrzebne w tym projekcie, więc zostały pominięte na tym schemacie. Najpierw należy przylutować układ IC11 (uwaga na jego kierunek montażu!), następnie IC12 i pasywne elementy SMD (rezystory i kondensatory). W dalszej kolejności pozostałe elementy SMD i na końcu elementy przewlekane

eprasa.pl d09f51483c

Można użyć dowolną inną obudowę o odpowiednich wymiarach, z jedynym zastrzeżeniem, aby zadbać o to, by obudowa miała odpowiednią sztywność mechaniczną do zabezpieczenia transformatora i radiatora oraz by można ją było bezpiecznie uziemić.

Metaloplastyka

Zastosowany radiator to odlew aluminiowy Altronics H0545 300 mm, z odciętymi ostatnimi czterema żebrami, jak pokazano na **rysunku 16**. W ten sposób na tylnym panelu zalecanej obudowy pozostawiono miejsce na złącze zasilania i bezpiecznik. Czynność ta może wydawać się nieco dziwna, ale idealnie dopasowany radiator byłby zbyt drogi.

Cięcie radiatora, przy użyciu ręcznej piły do metalu i dużej porcji smaru, zajmuje zaledwie 10 minut. Nie są wymagane żadne specjalne narzędzia. Radiator należy umocować w imadle ochraniając kartonem jego powierzchnię przed zarysowaniem i cierpliwie zająć się cięciem. Wykończenie powierzchni cięcia pilnikiem zapewni schludny rezultat.

W prototypie wycięta część radiatora została zaklejona taśmą i spryskana czarną farbą. Nie jest to jednak konieczne.

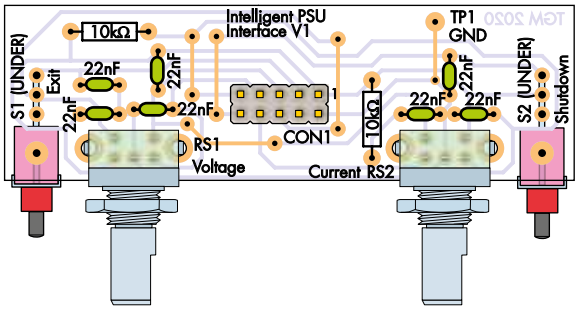
Do wywiercenia jest sześć otworów montażowych o średnicy 4 mm i dziesięć otworów montażowych dla stabilizatorów i wsporników. Można je wywiercić i nagwintować gwintownikiem M3 × 0,5 mm. Płytka drukowana została ułożona tak, aby otwory montażowe znajdowały się między żeberkami. Przy braku gwintownika M3, można po prostu wywiercić otwory 3 milimetrowe i do zamontowania elementów zasilacza użyć długich śrub i nakrętek wprowadzonych bezpośrednio przez radiator między żeberkami.

Należy zwrócić uwagę, że otwory montażowe są ułożone wzdłuż górnej i dolnej krawędzi radiatora. Wszystkie otwory montażowe elementów zasilacza znajdują się na środku radiatora. Oprócz układów scalonych stabilizatora, mostki diodowe są zamontowane do radiatora, a na środku każdej płytki drukowanej stabilizatora znajduje się wspornik.

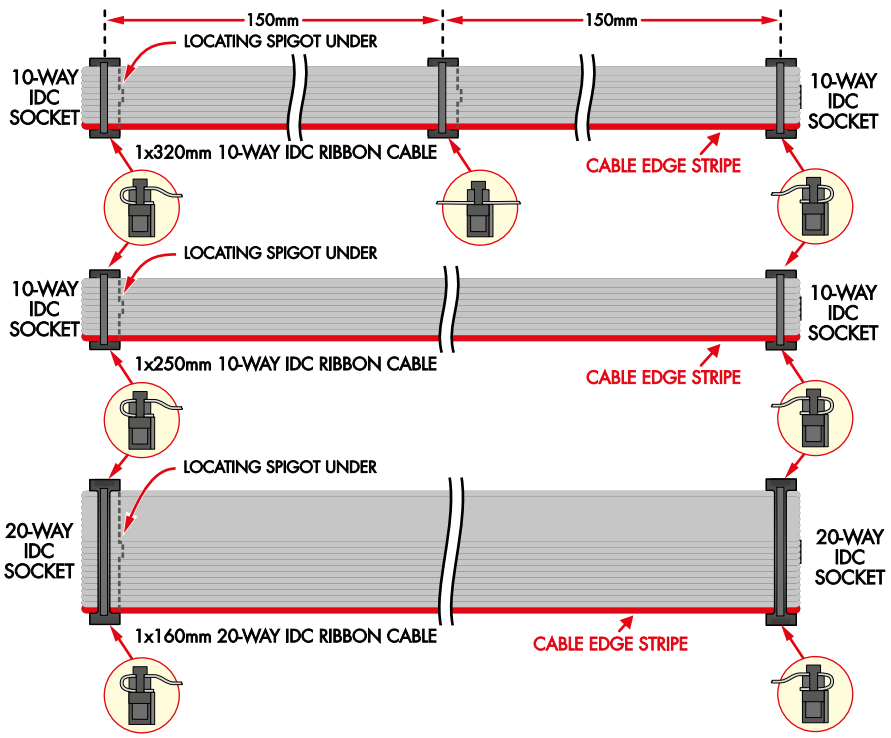
Montaż stabilizatorów do radiatora wymaga nieco ostrożności. W prototypie był zamocowany wspornik montażowy, wszystkie elementy zasilacza były włożone do ich padów na PCB i poruszone w celu wyrównania. Następnie elementy te przykręcono luźno do otworów montażowych, po czym zostały przylutowane ich wyprowadzenia. Czynność tę wykonano według poniższej instrukcji:

1. Zainstaluj i przykręć wspornik montażowy na środku płytki drukowanej.
2. Zegnij wyprowadzenia układu MC34167, aby został on zamontowany równo z radiatorem. Układ ten jest spasowany dość ciasno.
3. Zrób to samo z dwoma układami LM1084IT-3.3, upewniając się, że znajdują się mniej więcej na właściwej wysokości.
4. Używając silikonowych podkładek izolujących, tulei izolacyjnych, płaskich podkładek, podkładek sprężystych i śrub M3 16 mm, luźno zamontuj stabilizatory w ich miejscach na radiatorze. Najlepiej zrobić to z radiatorem położonym płasko na biurku i modułem stabilizatora skierowanym do góry.
5. Przylutuj jedną nóżkę każdego układu.
6. W elementach, w których zauważono niewspółosiowość, ponownie podgrzej lut i wyrównaj położenie komponentu.
7. Zabezpiecz układ MC34167, a następnie układy LM1084IT-3.3. Dostęp do śruby mocującej MC43167 można uzyskać przez szczelinę między kondensatorami 4700 µF.
8. Gdy wszystko jest wyrównane i nie ma naprężeń na płytce drukowanej, delikatnie dokręć wszystkie śruby montażowe. Uważaj, aby dokręcając śrubę nie przekręcić gwintu ani nie uszkodzić tulei. Upewnij się, że nie dokręcasz ich zbyt mocno.
9. Przylutuj teraz wszystkie nóżki.
10. Zamontuj mostek prostowniczy na radiatorze. Powinien być już podłączony do płytki drukowanej.
11. Po umieszczeniu płytek w tym miejscu, przymocuj do modułu stabilizatora dwa gwintowane wsporniki M3 o długości 15 mm za pomocą śrub M3 6 mm, płaskich i sprężystych podkładek. Dzięki temu moduł będzie dobrze leżał na biurku.

Podczas montażu MC43167 najłatwiej jest postawić radiator na końcu, wsunąć



Rysunek 14. Prosta płytka na panelu przednim zawiera dwa enkodery obrotowe i dwa przyciski używane do sterowania zasilaczem, a także niektóre elementy odszumiające i rezystory podciągające. Łączy się z płytką sterownika (pokazaną na rysunku 13) za pomocą 10-żyłowej tasiemki ze złączami DIL IDC na każdym końcu



Rysunek 15. Trzy kable IDC, które należy wykonać w celu podłączenia płyt. Kabel 10-żyłowy z dwiema wtyczkami łączy płytkę sterującą (rysunek 13) z panelem przednim (rysunek 14), drugi kabel 10- żyłowy z trzema wtyczkami łączy płytkę sterownika z płytkami stabilizatora (rysunek 10), a kabel 20- żyłowy łączy płytkę sterownika z modułem wyświetlacza LCD

eprasa.pl d09f51483c

stabilizatory w przeznaczone dla nich otwory i umieścić izolator we właściwym miejscu. Następnie za pomocą szczypiec z długim noskiem ustawiamy śruby w jednej linii z tuleją izolacyjną i podkładkami w otworze. Powtarzamy ten proces dla stabilizatorów LM1084, a następnie dla drugiego modułu stabilizatora (zakładając, że mają być zastosowane dwa).

Teraz ustawiamy multimetr na wysoki zakres pomiaru rezystancji (np. 20 MΩ) i sprawdzamy rezystancję między radiatorem a obudową układów TO-220. W każdym przypadku obwód powinien być otwarty. Jeśli nie, należy wyjąć układ i sprawdzić, co poszło nie tak. Sprawdzamy w szczególności, czy w otworze na śrubę w radiatorze nie ma zadziorów. Proces ten należy powtórzyć dla drugiego modułu.

Wstępne testy

Między płytą sterownika a wyświetlaczem LCD podłączamy 20-żyłowy kabel (uważając, aby dopasować pin 1 na obu końcach do pinu 1 na każdej z łączonych płytek). Podłączamy również 10-żyłowy kabel z dwoma wtyczkami między płytą sterownika a płytą panelu przedniego oraz drugi 10-żyłowy kabel między płytą sterownika a jedną lub dwiema płytkami stabilizatora. W każdym z przypadków pamiętamy o odpowiednim umiejscowieniu pinu 1.

Wstępne testy można przeprowadzić przy ograniczeniu prądowym i bez montowania jakichkolwiek elementów na radiatorze. Należy po prostu zadbać, aby nie popłynęły duże prądy.

Zakładamy zworki JP1 i JP2. Jeśli używany jest tylko jeden moduł, należy wybrać tylko kanał pierwszy. W przypadku dwóch wyjść zasilania należy wybrać kanał pierwszy na jednej płycie i drugi na drugiej. Jeśli nie jest używana autorska płytka sterująca oparta na mikrokontrolerze, nie jest konieczne jej instalowanie. Nie powinny być w tym przypadku instalowane: przetwornik cyfrowo-analogowy, przetwornik ADC ani optoizolatory.

Podczas testowania, jeśli układy nie zostały jeszcze zamontowane na radiatorze, trzeba zadbać o to, by mostek prostowniczy niczego nie zwierał. Umieszczamy go w bezpiecznym miejscu lub owijamy taśmą izolacyjną.

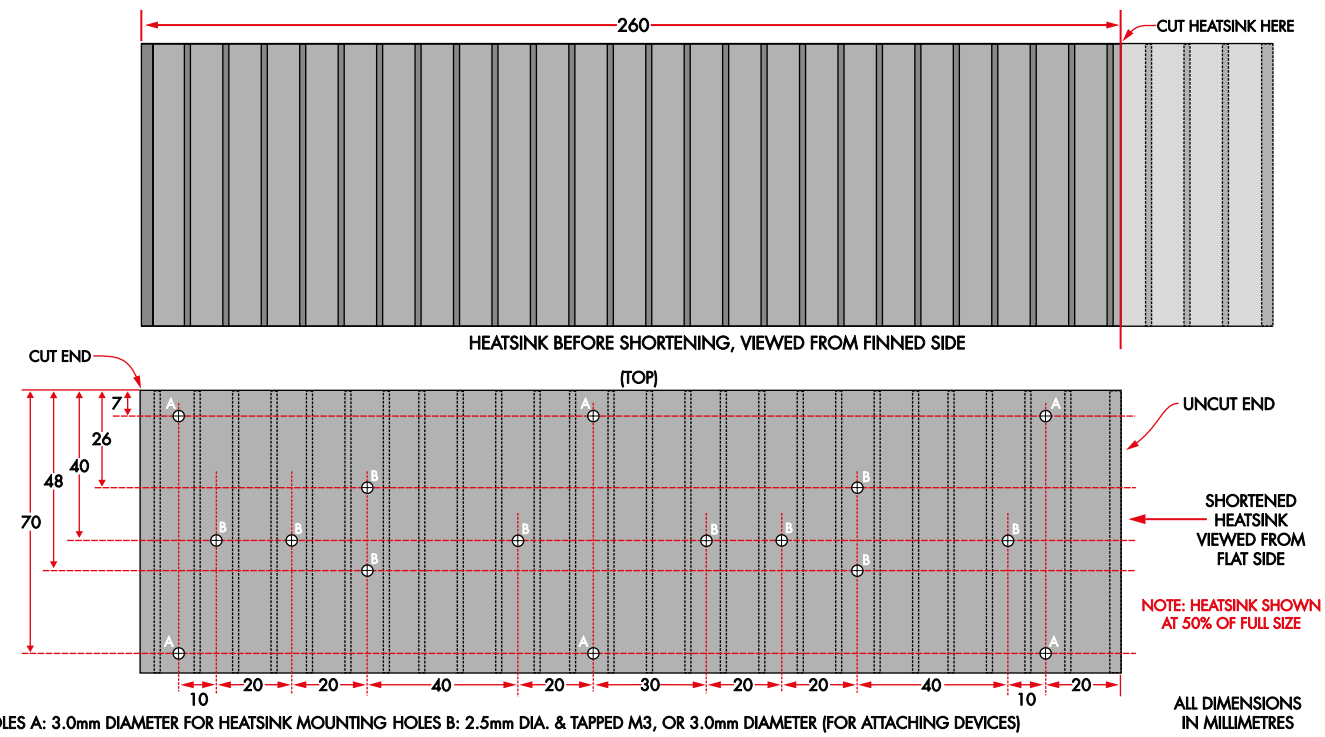
Wstępne testy można przeprowadzić, podając na płytkę napięcie ±15 V DC. Jednak, jeśli nie dysponujemy odpowiednim zasilaczem symetrycznym (może dlatego właśnie teraz je budujemy?), można przylutować rezystor 10 Ω 5 W do przepalonego bezpiecznika M205 i użyć go zamiast bezpiecznika na płycie, doprowadzając napięcie około 24 V AC do zacisków wejściowych.

Jeśli dysponujemy zasilaczem symetrycznym, należy podać napięcie +15 V do bezpiecznika od strony prostownika, zewnętrzną masę zasilania do punktu uziemienia, takiego jak „–” na mostku prostowniczym, a –15 V do dużej przelotki tuż obok kondensatora 3300 µF. Można przylutować kołek lutowniczy do tej przelotki i przypiąć do niego przewód.

Włączamy urządzenie i pozwalamy mu się ustabilizować. Pobór prądu powinien być mniejszy niż 200 mA. Sprawdzamy następujące napięcia:

- +12 V (zwykle bliżej 11,5 V) na nóżce 2 REG1 (LM317). Występuje również na katodzie D2, tuż pod stabilizatorem. Napięcie nie powinno różnić się o więcej niż 1 V od oczekiwanej wartości.
- +5 V (rzeczywiste 5,1 V) na nóżce 2 REG2 (LM317). Występuje również na katodzie D10, tuż pod stabilizatorem. Napięcie to powinno być w granicach 0,5 V od oczekiwanej wartości.
- –4,5 V (rzeczywiste –4,5 V) na nóżce 3 REG4 (LM337). Występuje również na anodzie D17 obok stabilizatora. Napięcie to powinno być w granicach 0,5 V od oczekiwanej wartości.
- +5 V na LK1, wytwarzane przez REG3 (LM2575). Napięcie to nie powinno różnić się o więcej niż 0,5 V od wartości oczekiwanej.

Jeśli którekolwiek z tych napięć wykracza poza oczekiwane zakresy, należy sprawdzić następujące kwestie:



HOLES A: 3.0mm DIAMETER FOR HEATSINK MOUNTING HOLES B: 2.5mm DIA. & TAPPED M3, OR 3.0mm DIAMETER (FOR ATTACHING DEVICES)

Rysunek 16. Wzór wiercenia radiatora pasuje do dwóch modułów stabilizatora. Otwory oznaczone literą „A” służą do montażu radiatora do obudowy, natomiast dwa zestawy otworów oznaczonych literą „B” służą do mocowania półprzewodników zamontowanych na płytce drukowanej i mostków prostowniczych na każdym module do radiatora, a także wspornika zapobiegającego nadmiernemu wyginaniu się zespołu radiator/PCB. Jeśli nie ma możliwości gwintowania otworów pod śruby M3, są one umieszczone między żeberkami, więc można je przewiercić i użyć długich śrub, podkładek i nakrętek

eprasa.pl d09f51483c

- Jeśli którekolwiek napięcie przekracza powyższe zakresy, należy sprawdzić, czy podzespoły nie nagrzewają się.
- Poszukać mostków lutowniczych.
- Sprawdzić, czy kondensatory elektrolityczne zostały lutowane z zachowaniem prawidłowej polaryzacji.
- Sprawdzić, czy stabilizatory, diody i układy scalone zostały zainstalowane we właściwym kierunku.

Zakładając, że wszystko jest w porządku, sprawdzamy, czy działa wstępny stabilizator. Bez podłączonego sterownika wyjście powinno być automatycznie ustawione na 0 V. Oznacza to, że stabilizator wstępny powinien wytwarzać około 5 V. Można to sprawdzić po stronie wyjściowej cewki 220 µH (pin oddalony od MC34167). Dokładne napięcie nie jest krytyczne, ale powinno wynosić od około 5 V do 6,6 V.

Jeśli powyższe warunki nie są spełnione należy sprawdzić następujące elementy:

- Jeśli dysponujemy oscyloskopem, ustawiamy go na pomiar napięcia 5 V, sondę dołączamy do nóżki 2 układu MC34167. Powinniśmy zobaczyć kilka impulsów przełączania. Częstotliwość przełączania może różnić się od 72 kHz, ponieważ stabilizator jest nieobciążony i prawdopodobnie będzie działał w trybie nieciągłym.
- Sprawdzamy, czy w obszarze zajmowanym przez elementy przetwornicy nie ma mostków lutowniczych. Jeśli napięcie wyjściowe mieści się w przedziale 0...0,5 V, trzeba sprawdzić, czy nie ma zwarć przy diodzie Schottky'ego (D3).
- Sprawdzamy napięcie na nóżce 1 układu MC34167. Powinno być bliskie 5 V.

Pomiędzy dużymi kondensatorami została pozostawiona 4-milimetrowa szczelina umożliwiająca dotarcie śrubokrętem do blaszek elementów w obudowach TO-220. Miejsca nie ma zbyt dużo, ale wystarczająco dla standardowego śrubokręta. Najłatwiej jest zacząć od przytrzymania śruby szczypcami z długim noskiem

Pozostałe elementy obudowy

Po zakończeniu przygotowywania radiatora przechodzimy do panelu tylnego. Zdejmujemy go, wiercimy i wycinamy otwory, jak pokazano na **rysunku 17**.

Aby wykonać otwór prostokątny i otwór w kształcie litery D na gniazdo sieciowe, można wywiercić duże otwory w każdym rogu i do wycięcia otworu wzdłuż konturów użyć piły włosowej. Innym rozwiązaniem byłoby użycie wyrzynarki z metalowym ostrzem lub szlifierki wielofunkcyjnej (np. Dremel) z metalową tarczą tnącą.

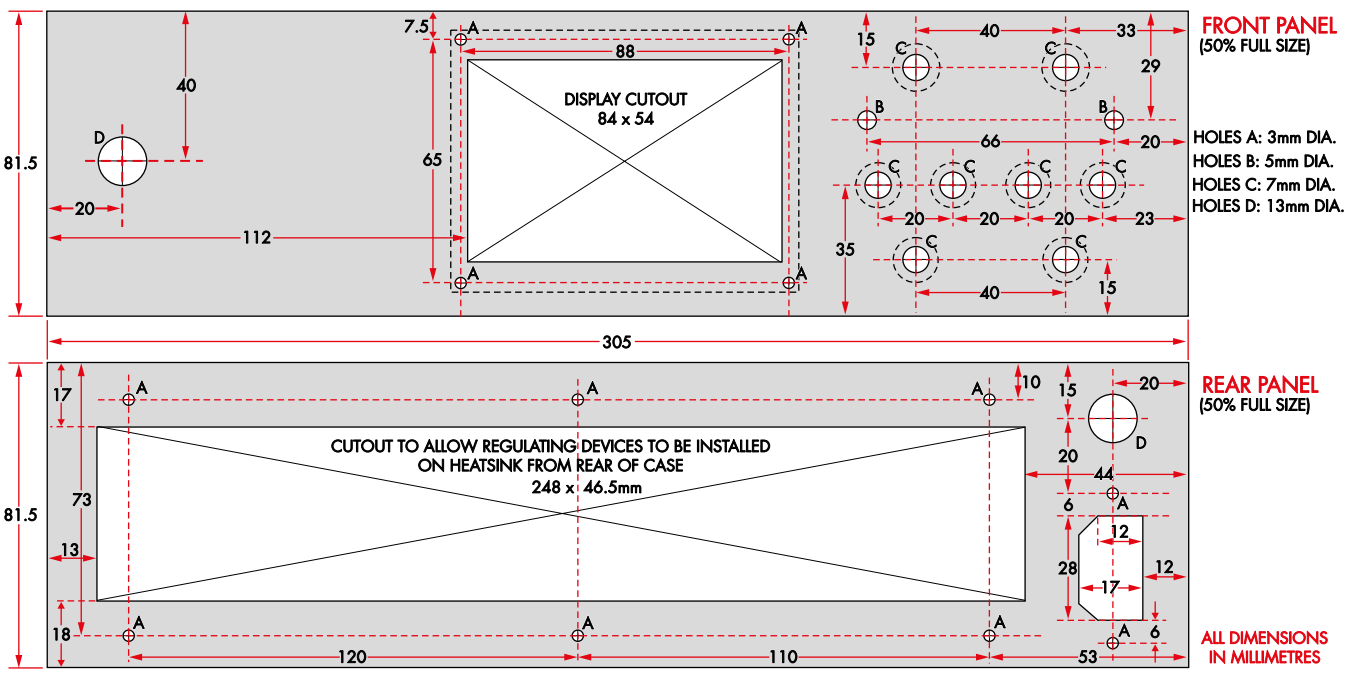
We wszystkich przypadkach należy zachować pewną ostrożność, ponieważ materiał w zalecanej obudowie jest aluminiowy i łatwo go zgiąć po przecięciu. Po zamontowaniu do radiatora odzyska on swoją wytrzymałość. Aby umożliwić wsunięcie kompletnego radiatora z modułami stabilizatorów od tyłu został wykonany duży otwór.

Teraz umieszczamy moduły radiatorów i stabilizatorów na tylnym panelu. Zespół powinien prześlizgnąć się przez duże wycięcie, a otwory montażowe w radiatorze powinny pokrywać się z otworami w tylnym panelu.

Jeśli występuje niewielka niewspółosiowość, wystarczy wywiercić otwory o średnicy około 4 mm i do mocowania użyć śrub M3 16 mm, podkładek płaskich i sprężystych oraz nakrętek.

Na koniec montujemy gniazdo męskie panelu IEC i uchwyt bezpiecznika. Gniazdo IEC jest mocowane za pomocą śrub M3 16 mm, podkładek płaskich i sprężystych oraz nakrętek M3.

W podstawie należy wywiercić kilka otworów pokazanych na **rysunku 18**. Lokalizacja otworów montażowych modułu stabilizatora została podana. Mimo to, biorąc pod uwagę różne sposoby montażu PCB do radiatora, lepiej będzie umieścić taśmę maskującą w zidentyfikowanych miejscach,



Rysunek 17. Przednie i tylne metalowe panele obudowy należy wywiercić i wyciąć, jak pokazano na rysunku. Duży prostokątny otwór z tyłu umożliwia wsunięcie płytek PCB stabilizatora do obudowy po przymocowaniu ich do głównego radiatora. Główny radiator jest następnie przykręcany do tylnej części obudowy za pomocą sześciu otworów oznaczonych literą „A" w obrębie wycięcia. Wskazówki dotyczące wycinania dużych otworów znajdują się w tekście

eprasa.pl d09f51483c

zainstalować tylny panel z zamontowanymi modułami stabilizatorów i zaznaczyć dokładne lokalizacje przed wywierceniem tych otworów.

W tym czasie zaznaczamy i wiercimy pozostałe otwory w podstawie obudowy: uziemienie w pobliżu złącza IEC, mocowanie transformatora toroidalnego, dwa otwory na listwę zaciskową i cztery otwory na płytkę sterownika.

Wycinamy preszpan lub podobny materiał izolacyjny i umieszczamy go pod listwą zaciskową. Montujemy i zabezpieczamy listwę zaciskową za pomocą śrub M3 16 mm i nakrętek. Usuwamy farbę wokół słupka uziemienia i montujemy śrubę M3 16 mm z podkładką sprężystą i nakrętką M3. Do podłączenia przewodu uziemienia sieciowego trzeba zarezerwować kolejną podkładkę sprężystą, nakrętkę M3 i końcówkę lutowniczą.

Płytkę sterownika montujemy za pomocą czterech 15-milimetrowych nylonowych wsporników i 6-milimetrowych śrub M3 z podkładkami z włókna pod łbami. Zapewnia to dobrą separację uziemienia sieciowego od płytki drukowanej sterownika.

Panel przedni

Panel przedni wymaga kilku otworów i dużego wycięcia na wyświetlacz LCD. Przed rozpoczęciem cięcia warto zapoznać się z dalszym opisem.

Panel przedni będzie znajdował się na stole warsztatowym przez długi czas, więc koniecznie trzeba zadbać o porządek! Szczegóły są widoczne na rysunku 17. Wiercimy i usuwamy zadziory z otworów, jak pokazano na rysunku.

Trzeba zwrócić uwagę na to, że jeśli będzie używany pomalowany panel akrylowy maskujący otwór pod wyświetlacz, to wykonując wycięcie można łatwo ukryć zarys otworu, ponieważ farba ukryje wycięty otwór.

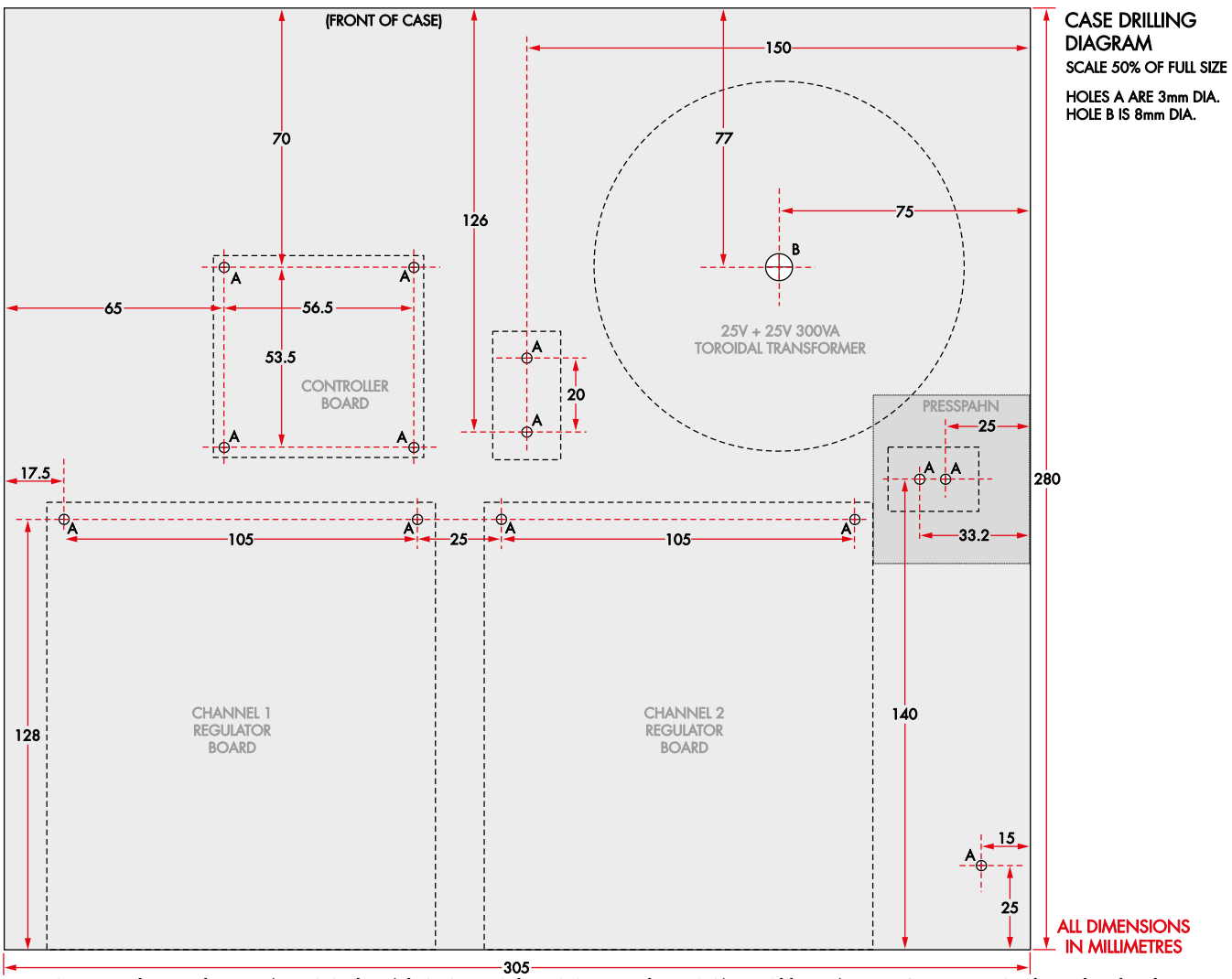
Teraz montujemy do obudowy przełączniki i złącza, a następnie płytkę drukowaną sterownika za pomocą enkoderów obrotowych. Będzie ona przymocowana do panelu przedniego.

Pozostaje tylko wyświetlacz LCD. Jego montaż wykonany tak, aby ramka LCD była odizolowana od obudowy jest skomplikowany. Okazało się, że niektóre dostarczone wyświetlacze mają pin uziemienia panelu LCD dołączony do metalowej ramki.

Wyświetlacz ma otwory montażowe o średnicy 2,5 mm, więc można też wywiercić otwory 3 mm i oczyść wszelkie powstałe zadziory.

Teraz arkusz akrylowy o grubości 3 mm wycinamy zgodnie z **rysunkiem 19** (można też zakupić wersję wyciętą laserowo w sklepie internetowym Silicon Chip).

Otwory montażowe w prototypowym wyświetlaczu były oddalone od siebie o 88 mm i 65 mm. Odpowiadające im otwory zostały więc wywiercone ostrożnie w akrylu, jak pokazano na rysunku, został



Rysunek 18. Rozmieszczenie otworów w dolnej części obudowy służących do montażu modułów stabilizatorów, transformatora, płytki sterującą i zacisków śrubowych dla uzwojeń niskiego i wysokiego napięcia głównego transformatora. Aby zadbać o to, by ich otwory były wywiercone dokładnie, najlepiej jest sprawdzić dokładną lokalizację modułów stabilizatorów po zamontowaniu w obudowie

eprasa.pl d09f51483c

do tego wypracowany sposób montażu, wedle którego akryl przymocowany jest do panelu przedniego i utrzymuje wyświetlacz LCD na akrylu, a nie na ramce LCD dotykającej obudowy.

Przy odrobinie szczęścia ramka LCD może być odizolowana od obudowy – ale nie należy tego zakładać. Założeniem jest, że zasilacz ma być odizolowany od uziemienia sieciowego. Ten układ zapewnia dobry odstęp.

Aby wszystko wyglądało schludnie, po wycięciu i dopasowaniu pokrywy do LCD i obudowy, wewnętrzna strona pokrywy została zamaskowana, jak pokazano na rysunku, a następnie pomalowano ją na czarno. Po zdjęciu maskowania uzyskano schludną czarną linię cienia, która ukrywa wycięcie w obudowie i nadaje profesjonalny wygląd.

Montaż akrylowej pokrywy, obudowy i wyświetlacza LCD przebiega w sposób pokazany na ilustracji. Akrylowa pokrywa jest mocowana do metalowej obudowy za pomocą śrub M3 (lub M2,5). Otwór w obudowie jest nieco większy niż ramka na wyświetlaczu LCD, więc można go następnie przymocować za pomocą kolejnych czterech śrub i podkładek z włókna.

W tym momencie wszystkie części obudowy powinny być wycięte i wywiercone, a płytki PCB zamontowane i gotowe do podłączenia. Należy teraz przeanalizować schemat okablowania – **rysunek 20**. Trzy kable sterujące zostały poprowadzone jak pokazano na tym rysunku.

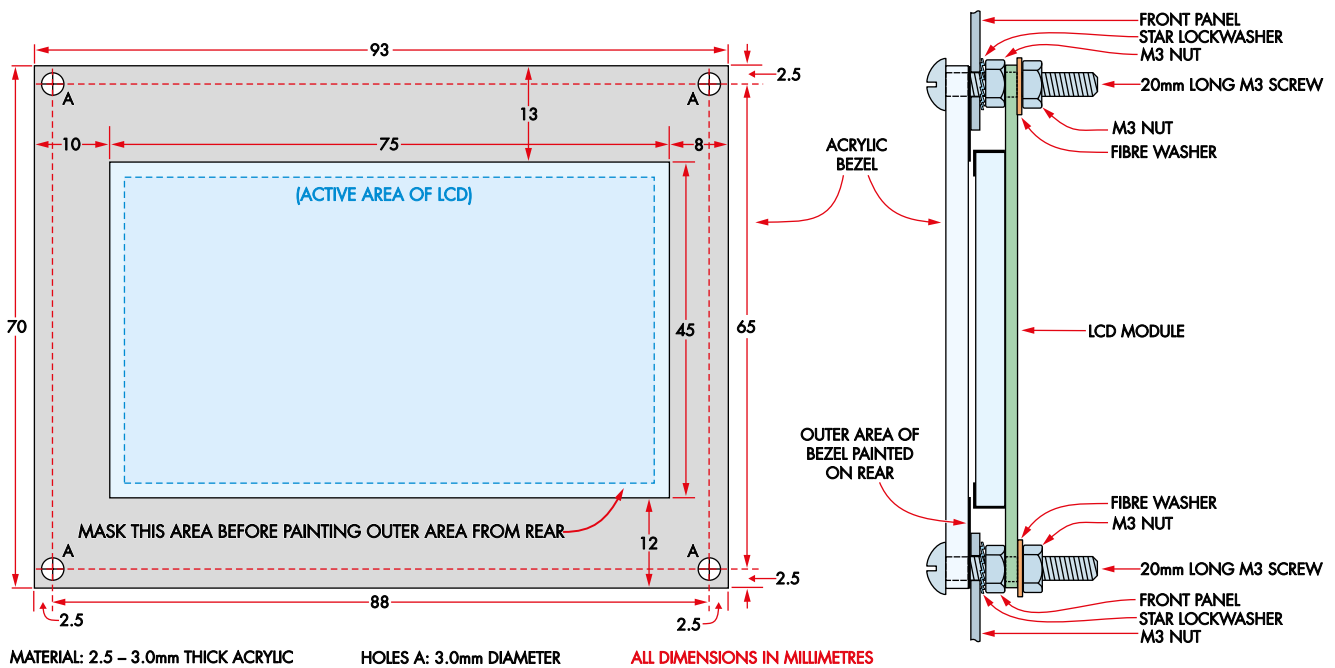
Przechodzimy do panelu przedniego i okablowania niskonapięciowego. W kompletnym okablowaniu zostało uwzględnione okablowanie mostków prostowniczych, chociaż należało się tym zająć podczas budowania modułów stabilizatora.

Podczas wykonywania okablowania panelu przedniego należy przylutować dwa kondensatory 100 nF 50 V na parach zacisków wyjściowych. Zmniejszają one szumy z przetwornic impulsowych na wyjściu zasilacza.

Należy również zainstalować kondensatory 10 nF od każdego z ujemnych wyjść dwóch kanałów do uziemienia sieci. Bez tego sprzężenie pojemnościowe przez transformator sieciowy będzie indukować znaczne napięcia pływające na wyjściach kanałów.

Teraz nadszedł czas, aby zamontować pozostałe komponenty obudowy. Zaczynamy od zlokalizowania transformatora sieciowego i podłączenia jego wyjść do listwy zaciskowej, jak pokazano na rysunku. Zastosowane zostało kodowanie kolorami właściwe dla transformatora Altronics M5525C 25+25 V. Uważnie sprawdzamy

Akrylowa ramka powinna być przymocowana do obudowy za pomocą śrub M3, następnie wsuwamy na nie wyświetlacz LCD i dokręcamy go do akrylu za pomocą izolatorów pod nakrętkami



Rysunek 19. Ponieważ trudno jest wykonać czyste prostokątne wycięcie w metalowym panelu pod wyświetlacz LCD, została zaprojektowana plastikowa ramka pozwalająca zakryć obramowanie wyświetlacza. Na stronie internetowej Silikon Chip można zamówić laserowo wyciętą przezroczystą ramkę o tych wymiarach (razem z zamówieniem płytek itp.), ale konieczne będzie samodzielne pomalowanie zewnętrznego obszaru

eprasa.pl d09f51483c

kodowanie właściwe dla użytego w rzeczywistości transformatora, ponieważ błąd w tej części układu mógłby mieć groźne skutki.

W prototypie zostały użyte pary 13- i 25-centymetrowych kabli 7,5 A (czerwonych) od listwy zaciskowej do wejść AC modułów stabilizatorów. Aby zachować porządek, należy je skręcić i schować między płytkami.

Na każdym z wyjść na panelu przednim należy zapewnić dostęp do uziemienia sieciowego. W niektórych okolicznościach może być przydatne podłączenie jednego z wyjść do uziemienia, ale w innych przypadkach nie jest to pożądane. Te punkty uziemienia sieciowego muszą być podłączone z powrotem do uszka uziemienia na panelu przednim za pomocą przewodu sieciowego z zielono-żółtym paskiem.

Na końcu należy wykonać połączenia panelu przedniego z wyjściami każdego z dwóch stabilizatorów. Należy je wykonać za pomocą czerwonego i czarnego (lub niebieskiego) kabla dla prądu 7,5 A. Trzeba zadbać o to, by były one odpowiednio zaizolowane. W prototypie po skręceniu miały one długość 24 cm i 34 cm.

Stronę sieciową transformatora toroidalnego łączymy do listwy zaciskowej.

Okablowanie sieciowe

Do wszystkich połączeń tej sekcji należy używać kabli sieciowych.

Po zainstalowaniu bezpiecznika i gniazda IEC, montujemy śrubę uziemiającą z tyłu obudowy. Należy zadbać o to, by farba z obudowy pod śrubą została zeskrobana by zapewnić dobre połączenie elektryczne i użyć podkładek sprężystych na górze i na dole.

Najpierw podłączamy przewód uziemiający z gniazda IEC do zacisku uziemiającego, dla porządku używając do tego oczka lutowniczego i koszulki termokurczliwej. Upewniamy się, że przewód jest wystarczająco długi, nie może być naprężony.

Następnie prowadzimy wszystkie przewody uziemiające od głównej śruby uziemiającej w podstawie do paneli (rysunek 20), oraz do radiatora (np. używając jednej z istniejących śrub montażowych wspornika).

Następnie, używając brązowego przewodu, łączymy linię Active z gniazda IEC do oprawki bezpiecznika, a stamtąd do przełącznika zasilania. Można tutaj użyć złącza zaciskanego (faston) 6,3 mm lub przylutować przewody bezpośrednio do przełącznika, pod warunkiem odpowiedniego zaizolowania połączeń. Ponownie, należy zachować bezpieczeństwo i użyć opasek kablowych, aby zagwarantować, że w przypadku pęknięcia przewodu lub awarii złącza, końce przewodów będą sztywno trzymane i nie stworzą zagrożenia.

Używając jasnoniebieskiego przewodu, prowadzimy połączenie neutralne od złącza IEC do wyłącznika zasilania. Trzeba zadbać o to, by wejście IEC było podłączone do dolnych (przełączanych) styków przełącznika zasilania. W ten sposób, gdy zasilanie jest wyłączone, nieużywane zaciski przełącznika będą dołączone do transformatora, a nie do sieci. Dla bezpieczeństwa należy założyć rurki termokurczliwe na nieużywane styki przełącznika zasilania.

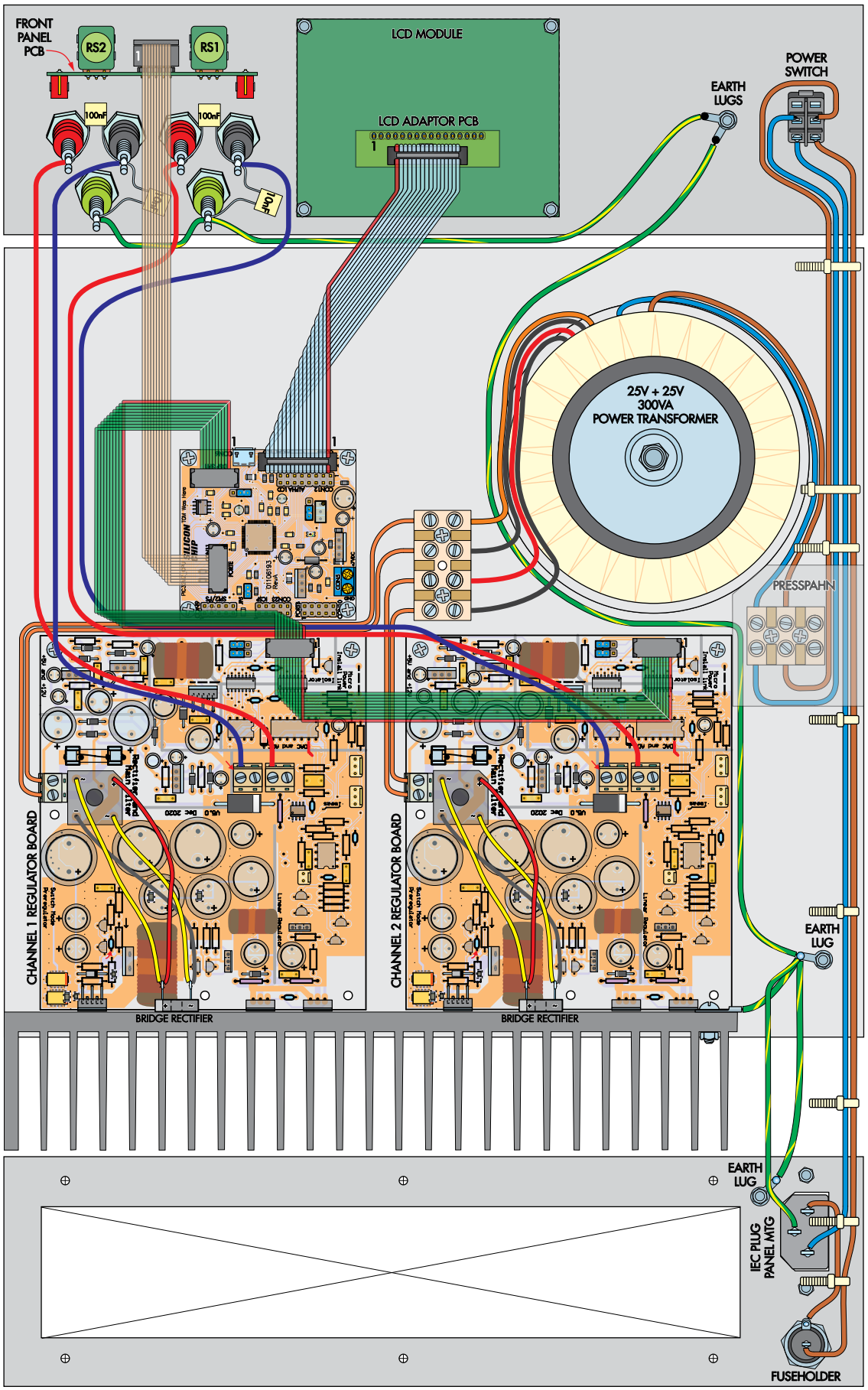
Na tym etapie wszystko powinno już być połączone i gotowe do pracy.

Kalibracja i użytkowanie

W pierwszej kolejności, upewniamy się, że zworki CH1 i CH2 są włączone!

Moduły stabilizatorów zamontowane na radiatorze wsuwają się prosto w obudowę. Na tylnym panelu zostały użyte nakrętki, co pozwala przykręcić radiator bezpośrednio do nich. Dzięki temu rozwiązaniu montaż był dziecinnie prosty

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 20. Schemat okablowania powinien być przydatny do wykonania wszystkich połączeń potrzebnych do ukończenia zasilania. Należy zadbać o to, by końcówki uziemienia miały dobry kontakt ze spodem obudowy i tylnym panelem. W razie potrzeby trzeba oczyścić farbę lub powłokę wokół otworów montażowych i użyć podkładek sprężystych, aby zapewnić odpowiednio dobry kontakt elektryczny. Całe okablowanie sieciowe musi być odpowiednio zaizolowane, szczególnie z tyłu przełącznika zasilania na panelu przednim i na gnieździe wejściowym sieci na panelu tylnym

eprasa.pl d09f51483c

Jeśli pamięć EEPROM zawiera niepotrzebne dane, po pierwszym włączeniu urządzenia zostaną wybrane własne wartości domyślne, co umożliwi rozpoczęcie pracy. Nie należy na tym polegać, ponieważ mogą one nie być odpowiednie dla użytkownika!

Można teraz ponownie włączyć zasilanie urządzenia, które w tym momencie powinno być w pełni kontrolowane. Monitorowane będą napięcia i prądy z maksymalnie dwóch modułów stabilizatorów.

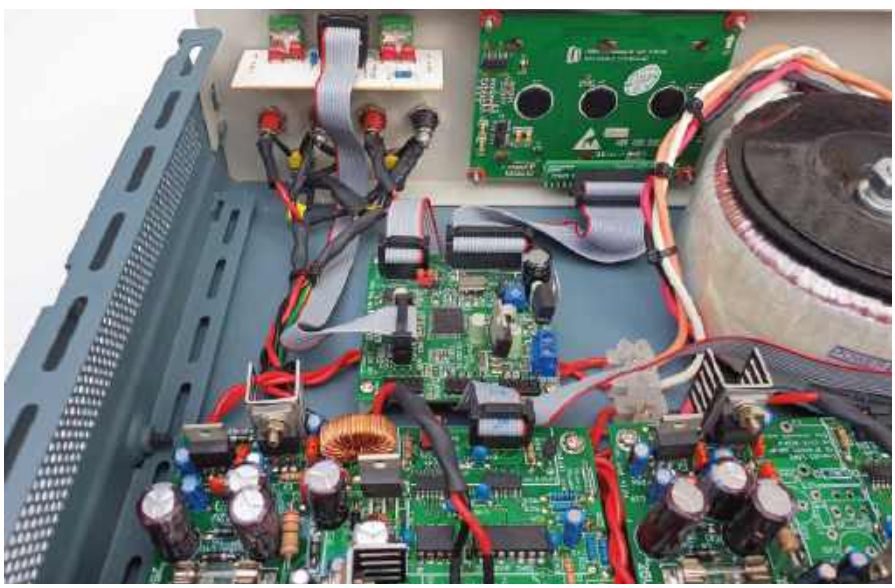
Początkowa procedura konfiguracji

1. Kliknij przycisk wyjścia w lewym dolnym rogu pokrętła ustawiania napięcia. Spowoduje to wyświetlenie menu ustawień.
2. Pokrętło napięcia umożliwia wybór między trzema podmenu: Track, Power i Cal. Wejdź do menu Track.
3. W przypadku pojedynczego wyjścia zostanie wyświetlone N/A. W przeciwnym razie wybierz podwójne sterowanie lub wyjścia niezależne.
4. Wejdź do menu Power. Wybierz liczbę wyjść – tryb jedno- lub dwukanałowy.
5. Ustaw bezwzględny maksymalny limit prądu. W większości przypadków powinien wynosić 5 A. Można ustawić niższą wartość, aby ograniczyć prąd poniżej wartości znamionowej VA transformatora.
6. Wybierz maksymalne napięcie wyjściowe, aż podane „required transformer voltage" (wymagane napięcie transformatora) będzie zgodne z posiadanym transformatorem.
7. Wybierz prawidłową wartość VA transformatora. Transformator użyty w opisywanym prototypie ma moc 300 VA.
8. Wejdź do menu Cal i sprawdź poniższe ustawienia jako początkowy punkt dla obu kanałów:
   - 8. 1. Wyjściowy offset mierzony przy zerowym napięciu = 0 mV.
   - 8. 2. Ustaw współczynnik korekcji = 1,000.
   - 8. 3. Skala współczynnika korekcji odczytu = 1,000.
   - 8. 4. Ustaw offsetu prądu = 0 mA.
   - 8. 5. Skala współczynnika korekcji prądu = 1,000.

Teraz sprawdzamy, czy zasilanie ogólnie działa. Można ustawić napięcia dla kanałów 1 i 2 za pomocą lewego pokrętła. Aby przełączać się między nimi, należy nacisnąć pokrętło, co spowoduje kliknięcie. Kanał 1 lub 2 zostanie podświetlony na ekranie.

Za pomocą prawego pokrętła można ustawić ograniczenia prądu dla kanałów 1 i 2. Podobnie jak powyżej, naciśnięcie pokrętła spowoduje przełączenie między ograniczeniami kanału 1 i 2. Kliknięcie dowolnego pokrętła spowoduje zapisanie wszystkich ustawień.

Teraz należy przeprowadzić kalibrację. Sprawdzamy, czy offset kalibracji został wyzerowany zgodnie z powyższym opisem, w przeciwnym razie procedura ta będzie myląca.



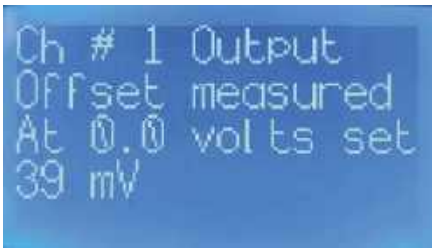
Preszpan jest wymagany dla bezpieczeństwa pod blokiem zacisków sieciowych (pokazany wzdłuż prawej krawędzi obudowy). Na zdjęciu przedstawiono ułożenie okablowania. Podczas montażu za pomocą śrub zabezpieczających lub układania okablowania uziemiającego należy zadbać o to, by wszystkie metalowe panele obudowy były podłączone do uziemienia sieciowego

eprasa.pl d09f51483c

1) Offset napięcia wyjściowego

Ustawiane jest zero dla mierzonego napięcia, usuwając wszelkie przesunięcia. W menu głównym ustawiamy napięcie kanału 1 na 0,00 V i mierzymy napięcie wyjściowe z modułu stabilizatora. W prototypie wynosiło ono –4 mV. Nie powinna to być duża wartość.

Przechodzimy do menu CAL. Na pierwszym ekranie pojawi się komunikat „Ch#1 Output Offset Measured” (**ekran 1**). Ustawiamy pokrętło napięcia w kierunku przeciwnym do odczytu, aż odczyt na wyjściu będzie bliski 0 V. Napięcie wyjściowe różniące się o kilkadziesiąt miliwoltów od zera jest akceptowalne. Jeśli konieczne jest wybranie znaczącej wartości, należy sprawdzić swoją konstrukcję, ponieważ taka sytuacja raczej nie powinna się zdarzyć.

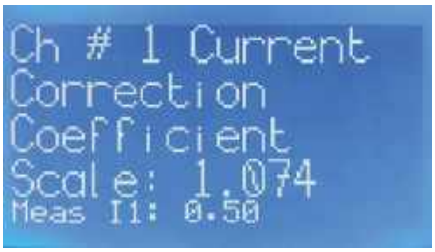


Ekran 1

Ekran 2

Ekran 3

Ekran 4



Ekran 5

2) Współczynnik korekcji napięcia

Ten krok ustawia korektę skali dla napięcia wyjściowego, korygując błędy wzmocnienia w przetworniku cyfrowo-analogowym i obwodzie sprzężenia zwrotnego. Wracamy do menu głównego i ustawiamy w miarę wysokie napięcie wyjściowe, które można dokładnie zmierzyć. Dla wielu mierników 19,99 V jest dobrą wartością. Zależy to od wybranego transformatora.

Teraz przechodzimy do drugiego ekranu kalibracji (**ekran 2**) i regulujemy pokrętło napięcia, aż zostanie uzyskany odczyt 19,99 V (lub wybrana wartość) na woltomierzu. Nasz współczynnik wynosił 0,966. Rozsądna byłaby wartość między około 0,85 a 1,15, choć prawdopodobnie będzie to zakres od 0,95 do 1,05. Nie należy się przejmować jeszcze wartością napięcia „Meas” w menu głównym!

3) Skala współczynnika korekcji odczytu napięcia

W tym kroku ustawiana jest korekta pomiaru ADC w celu zapewnienia dokładności pomiarów napięcia wyświetlanych w menu głównym. Przy napięciu nadal ustawionym na 19,99 V, klikamy menu „Voltage READ correction coefficient scale”. Na dole ekranu pojawi się napięcie wyjściowe zmierzone przez moduł stabilizatora dla tego kanału (**ekran 3**).

Kręcimy pokrętłem napięcia do uzyskania odczytu 19,99 V (lub ustawionej wartości) na dole ekranu kalibracji. Współczynnik kalibracji prototypu wynosił 1,037. Wartości od 0,85 do 1,15 są rozsądne.

4) Offset odczytu prądu

Ten krok zapewnia, że gdy prąd nie płynie odczyty prądu wynoszą 0 mA. Przy napięciu ustawionym nadal na dowolną wartość, ale bez obciążenia dołączonego do zasilania, klikamy menu „Current Read Offset”. W dolnej części ekranu zostanie wyświetlona wartość prądu zmierzona przez moduł stabilizatora dla tego kanału (**ekran 4**).

Teraz kręcimy pokrętłem napięcia w górę, aż odczytamy prąd na dole ekranu kalibracji, a następnie cofamy pokrętło, aby uzyskać zero.

5) Współczynnik skalowania prądu

Ten krok ustawia skalowanie kalibracji dla pomiarów prądu, dzięki czemu wyświetlane prądy są dokładne. Do tego testu potrzebne jest sztuczne obciążenie. Wystarczy dowolny rezystor o dużej mocy. Można użyć dość niskiego napięcia z zasilacza, więc do krótkiego testu wystarczą dwa równoległe rezystory 1 Ω 5 W. Pozwoli to ograniczyć rozproszenie mocy do 4 W na rezystor.

W zależności od konfiguracji transformatora wybieramy prąd zbliżony do maksymalnego. Powiedzmy 4 A dla jednostki 5 A. Sprawdzamy, czy ograniczenie prądu jest ustawione powyżej tej wartości. Jeśli nie można ustawić go wystarczająco wysoko, wracamy i sprawdzamy konfigurację transformatora.

Teraz szeregowo z rezystorem dołączamy amperomierz i wybieramy napięcie, aby uzyskać docelowy prąd. Następnie obracamy pokrętło napięcia, aż zobaczymy prawidłowy prąd na dole ekranu kalibracji (ekran 5). Następnie klikamy przycisk EXIT.

Teraz naciskamy pokrętło napięcia, aby zamienić kanały i zapisać (SAVE) dane kalibracji.

Kalibracja została zakończona dla kanału 1, powtarzamy więc całą procedurę dla kanału 2.

Powinno okazać się, że zmierzone wartości mieszczą się w zakresie około 1% wartości rzeczywistych. Należy mieć na uwadze, że nie było zamiarem autora stworzenie źródła napięcia klasy laboratoryjnej. Wybrany przetwornik ADC ma rozdzielczość lepszą niż 0,1%. Długoterminowa precyzja będzie zależeć od stabilności wewnętrznej linii napięcia +5 V. Pomiar prądu będzie podobny pod względem precyzji i stabilności.

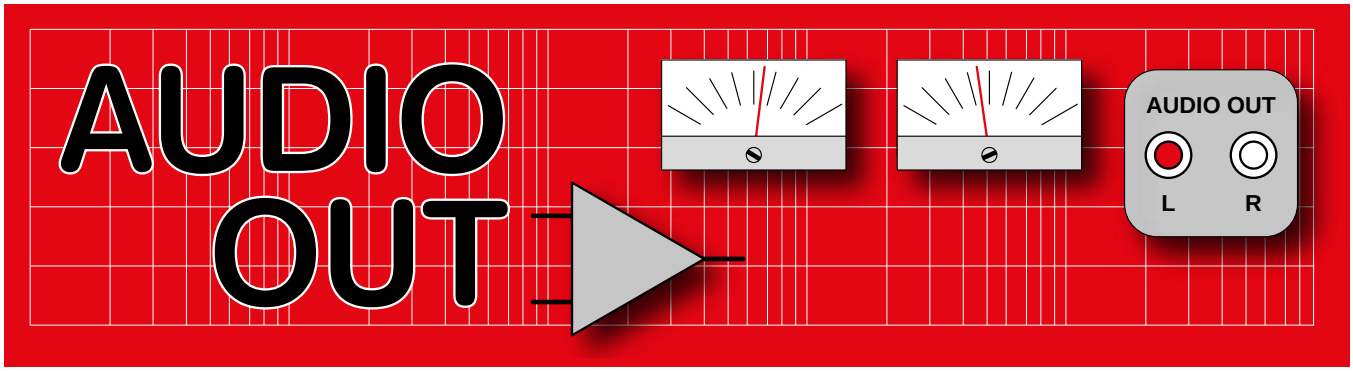
Można zauważyć, że jeśli prąd wyjściowy mieści się w zakresie 5 % prądu granicznego, podświetlany jest symbol „I” w interfejsie użytkownika. Podobnie, jeśli napięcie wyjściowe jest zbyt niskie lub wysokie, podświetlany jest symbol „V”. Na przednim panelu są ponadto gniazda dla diod LED, które można dołączyć w celu sygnalizacji przeciążenia prądowego.

Na tym kończy się montaż i konfiguracja inteligentnego zasilacza. Uważamy, że będzie to cenny dodatek do większości stanowisk warsztatowych. ■

Phil Prosser

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

eprasa.pl d09f51483c



Wokoder analogowy, część 3

Wzmacniacz sterujący

W zeszłym miesiącu wspomniałem, że do wysterowania wszystkich filtrów w wokoderze potrzebny jest w zasadzie mały wzmacniacz mocy, ponieważ pojedynczy wzmacniacz operacyjny ma niewystarczającą wydajność prądową. W tym miesiącu zaprojektujemy, a w przyszłym – opiszemy zbudowanie specjalnego układu wzmacniacza operacyjnego o zwiększonym prądzie wyjściowym.

Dla drobnego producenta, takiego jak ja, projektowanie układu i płytki drukowanej tylko dla jednego zadania rzadko bywa opłacalne. Projektowany wzmacniacz będzie zatem stanowić uniwersalny moduł audio, mogący pełnić różne funkcje: wysokiej jakości wzmacniacza słuchawkowego, stopnia końcowego miksera, sterownika – sprężynowej linii pogłosowej, transformatora wyjściowego czy nawet głośnika o dużej impedancji. Będzie miał wejście symetryczne, a dwie sztuki takich modułów pozwolą zrealizować wyjście mostkowe.

Moduł taki, w układzie wzmacniacza sumującego, został użyty w wokoderze jako mieszacz. Miksuje razem wszystkie wyjścia filtrów oraz sygnały syntezatora i wokalu. Moduł może także wysterować transformator w układzie izolowanego symetrycznego wyjścia z gniazdem XLR.

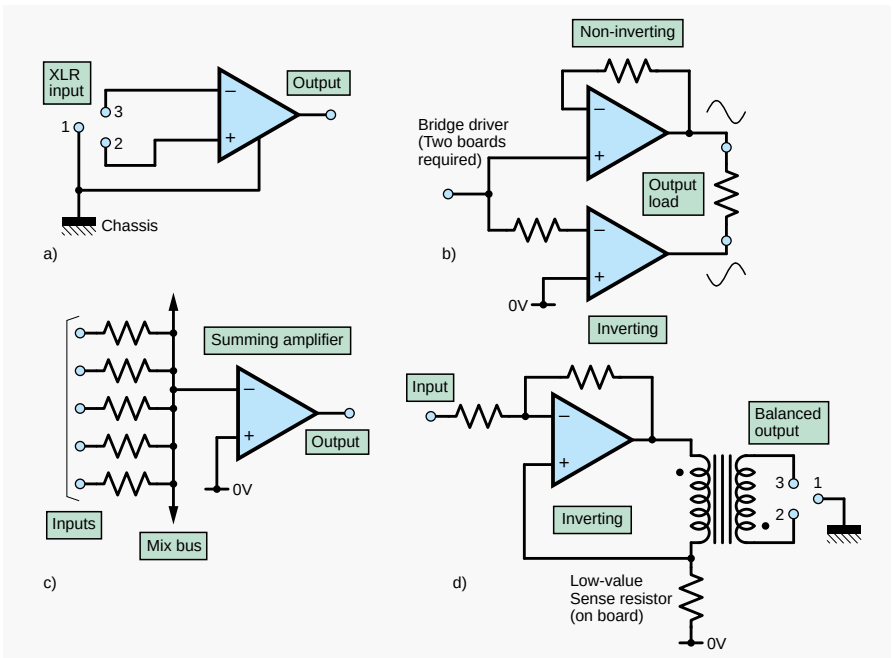
Wszystkie te zastosowania modułu pokazano na **rysunku 1**.

Opis układu

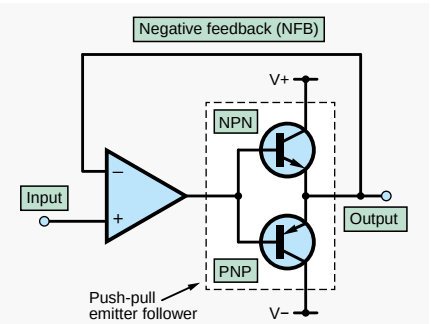
Skutecznym sposobem na zwiększenie prądu wyjściowego wzmacniacza operacyjnego jest umieszczenie na wyjściu pary komplementarnej tranzystorów w układzie wspólnego emitera w połączeniu przeciwsobnym „push-pull” (**rysunek 2**). Tranzystory są objęte ogólną pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego. Sprawia to, że układ jest niewrażliwy na niezgodność wzmocnienia prądowego obu tranzystorów. Pełny docelowy układ pokazano na **rysunku 3**. Aby zachować niski poziom zniekształceń nieliniowych, charakterystyczny dla wzmacniacza operacyjnego NE5534, konieczne było wprowadzenie paru dodatkowych obwodów i udoskonaleń.

Stopień wyjściowy

Stopień wyjściowy, składający się z tranzystorów T1 i T2, pracuje w klasie AB. Pozwala to na uzyskanie wysokich wartości szczytowych prądu wyjściowego wynoszących około 500 mA. Aby uniknąć zniekształceń skrośnych, niezbędny jest pewien prąd spoczynkowy tranzystorów (Iq), wynoszący około 5…15 mA. W większości wzmacniaczy mocy

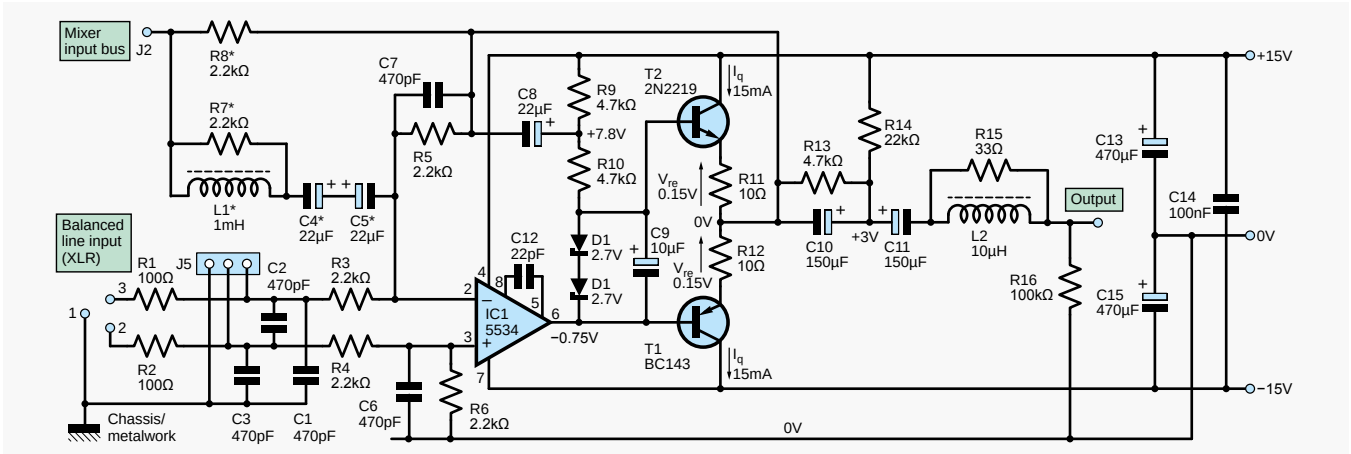


Rysunek 1. Ten sam moduł w różnych zastosowaniach: a) wzmacniacz wejściowy z symetrycznym wejściem; b) układ mostkowy; c) wzmacniacz sumujący/miksujący i d) sterownik transformatora z redukcją zniekształceń nieliniowych



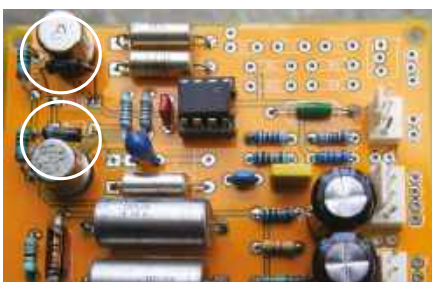
Rysunek 2. Zwiększenie prądu wyjściowego wzmacniacza operacyjnego poprzez dodanie wtórnika emiterowego

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 3. Kompletny układ wzmacniacza wysokoprądowego. Zauważmy, że zasadniczo jest to układ wzmacniacza z wejściem różnicowym. Uwaga – R8 i inne elementy oznaczone gwiazdką należy zamontować tylko w przypadku wzmacniacza miksującego

prąd spoczynkowy jest wyznaczony przez napięcie polaryzacji stopnia końcowego, nastawiane odpowiednim rezystorem. W przypadku omawianego układu możemy użyć stałego napięcia polaryzacji, ponieważ zakładamy, że rezystancja obciążenia będzie nie mniejsza niż 50 Ω. Dzięki temu rezystory emiterowe R11 i R12 mogą mieć znacznie większe wartości niż w typowych wzmacniaczach mocy, przystosowanych do obciążeń 4 Ω lub 8 Ω. Rezystory emiterowe o wartości 10 Ω ... 33 Ω mają na tyle duży spadek napięcia wywołany prądem spoczynkowym, że ujemne sprzężenie zwrotne w układzie wspólnego emitera skutecznie stabilizuje ten prąd. Rezystory te dzięki stosunkowo dużej wartości zapewniają również pewien stopień ochrony przed zwarciem, choć tylko przez krótki czas.



Rysunek 4. Aby zapewnić kompensację termiczną, każda dioda polaryzująca (D1, D2) powinna przylegać do powiązanego z nią tranzystora lub jego radiatora

Rysunek 5. Alternatywą dla diod Zenera jest wykorzystanie złącz baza-emiter tranzystorów małosygnałowych – tutaj widzimy je wciśnięte do radiatorów tranzystorów sterujących

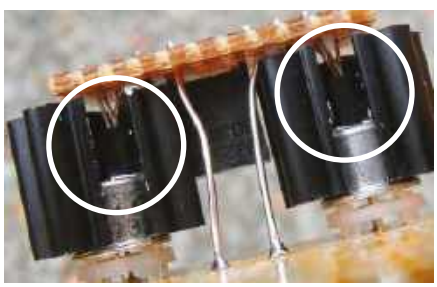
Prąd spoczynkowy

Wskutek znacznych wartości rezystorów emiterowych napięcie polaryzacji stopnia końcowego jest wyższe niż normalnie stosowane 1,2 V (spadek napięcia na dwóch złączach baza-emiter V_{be}). Napięcie polaryzacji musi wynosić 1,5 V i mieć niezmienną wartość. Zbadałem sposoby uzyskania takiego napięcia. Jednym z nich byłoby użycie diody Zenera np. z serii BZV46, są one jednak obecnie trudne do zdobycia. Inna możliwość to zastosowanie podczerwonej diody LED. W końcu zdecydowałem się użyć dwóch diod Zenera (D1 i D2), włączonych w kierunku przewodzenia. Diody Zenera ze względu na wysokie domieszkowanie wykazują stosunkowo wysokie napięcie przewodzenia, wynoszące ok. 0,75 V, a nie 0,6 V. Najczęściej nie zdajemy sobie z tego sprawy, bo diody Zenera są zwykle spolaryzowane w kierunku wstecznym. Napięcie przewodzenia diody Zenera będzie wynosić około 0,75 V niezależnie, czy ma napięcie wsteczne 3,3 V, 5,6 V, 12 V czy inne.

Stosowanie dwóch sztuk diod ma tę zaletę, że każda z nich może być umieszczona w pobliżu jednego z tranzystorów wyjściowych (patrz **rysunek 4**) lub jego radiatora. Dzięki temu można zapewnić pewien stopień kompensacji temperaturowej stopnia.

Zamiast diod Zenera do polaryzacji stopnia końcowego można zastosować tranzystory użyte jako diody. Napięcie złącza baza-emiter tranzystora małosygnałowego, np. BC549, wynosi ok. 0,7 V. Tranzystory łatwiej jest przymocować do radiatorów niż diody (**rysunek 5**). Najskuteczniejszą kompensację termiczną można uzyskać, montując tranzystor polaryzujący od góry tuż przy metalowej „puszce" tranzystora wyjściowego (**rysunek 6**). Wygodnie jest przy tym umieścić tranzystory polaryzujące na kawałku płytki uniwersalnej. Zapewnia to sztywność mechaniczną, pozwoli też w razie potrzeby na dodanie w szereg z „diodami" rezystora ok. 500 Ω w celu zwiększenia wartości prądu spoczynkowego.

Aby diody wytwarzały napięcie polaryzujące, musi przez nie płynąć prąd. Dostarczają go rezystory R9 i R10 podłączone do linii zasilania +15 V. Można je traktować jako pojedynczy rezystor 9,4 kΩ, na którym występuje spadek napięcia ok. 14,3 V. Z prawa Ohma (I=U/R) wartość prądu wynosi 1,5 mA. Prąd ten nie jest krytyczny, ale podana wartość stanowi minimum. Po przejściu przez diody prąd wpływa do wyjścia wzmacniacza operacyjnego. Może to wyglądać na niezręczność projektową. Konstruktorzy systemów audio odkryli jednak kiedyś, że prąd stały wpływający/wypływający do/z wyjścia wzmacniacza operacyjnego może znacząco zmniejszyć zniekształcenia. Taki chwyt stosowano, by zredukować zniekształcenia tanich wzmacniaczy operacyjnych LM324, 741, LF351 i podobnych. Zwykle robiono to poprzez dołączenie wyjścia wzmacniacza do ujemnej linii zasilania przez rezystor 3,3 kΩ…10 kΩ. A niejaki Douglas Self odkrył, że użyty tutaj popularny wzmacniacz operacyjny audio NE5534 daje niższe zniekształcenia z rezystorem podłączonym



Rysunek 6. Doskonałym, choć nieco skomplikowanym, sposobem zapewnienia dobrego sprzężenia termicznego między tranzystorami sterującymi a polaryzującymi jest konstrukcja z małą płytką jak na zdjęciu. Odrobina pasty termoprzewodzącej poprawia kontakt termiczny

eprasa.pl d09f51483c

do zasilania dodatniego. Od Redakcji: efekt ten polega na tym, że dodatkowy stały prąd na wyjściu wzmacniacza operacyjnego wymusza przejście trybu pracy stopnia końcowego z klasy B do klasy A, z czym wiąże się całkowita eliminacja zniekształceń skrośnych. Tak więc fakt, że prąd polaryzacji diod wpływa do wyjścia wzmacniacza operacyjnego, wychodzi układowi tylko na dobre. Tętnienia tego prądu, przenoszące się z linii zasilającej, są tłumione przez niską impedancję wyjściową wzmacniacza.

Przycinanie

Użycie tranzystorów w stopniu wyjściowym powoduje niewielką redukcję maksymalnej amplitudy sygnału („headroom'u"), ponieważ napięcie wyjściowe jest o ok. 0,75 V mniejsze od napięcia wyjściowego wzmacniacza operacyjnego. Przycinana będzie przede wszystkim ujemna połówka sygnału. Nie jest to wielki problem, ponieważ spadek „headroom'u" będzie niewielki – z 24 V_{pp} do 22 V_{pp} (obciążenie 50 Ω, zasilanie ±15 V), co jest praktycznie niesłyszalne (0,75 dB). Przesunięcia o 0,75 V nie można skorygować standardowym sposobem regulacji napięcia niezrównoważenia wzmacniacza, ponieważ jej zakres jest niewystarczający. Problem nie jest jednak zbyt istotny, skoro podobnego układu wyjściowego do NE5532 używa Focusrite – producent urządzeń high-end audio. A więc i ja mogę użyć takiego rozwiązania...

Zwolennicy „chirurgicznej precyzji" mogą problem rozwiązać, stosując symetryczny układ „bootstrap", pokazany na **rysunku 7**. Wymaga on dodania dwóch kondensatorów elektrolitycznych i dwóch rezystorów.

Jest też rozwiązanie alternatywne, polegające na wymuszeniu niewielkiego napięcia niezrównoważenia na jednym z wejść wzmacniacza operacyjnego. W układzie z rysunku 3 należy w tym celu dać rezystor 180 kΩ od linii zasilania –15 V do wejścia odwracającego wzmacniacza operacyjnego. Trzeba wtedy nieco zwiększyć wzmocnienie, zmieniając wartość R5 na 10 kΩ. Metoda ta wiąże się z pewnym wzrostem zakłóceń za sprawą doprowadzenia do wejścia tętnień z linii zasilającej. Pozwala jednak całkiem wyeliminować przesunięcie składowej stałej napięcia na wyjściu. Wersją tej metody jest podniesienie potencjału wejścia nieodwracającego o spadek napięcia na diodzie (**rysunek 8**). Rozwiązanie to dobrze się sprawdza w przypadku wzmacniacza sumującego.

Jeszcze jednym sposobem eliminacji przesunięcia składowej stałej na wyjściu jest trik stosowany niegdyś przez firmę Quad w ich przedwzmacniaczach, polegający na nieznacznej asymetrii napięć linii zasilających. W przypadku tego projektu napięcia musiałyby wynosić +14,4 V i –15,7 V. Takie rozwiązanie mogłoby jednak mocno zmylić serwisanta dokonującego naprawy urządzenia.

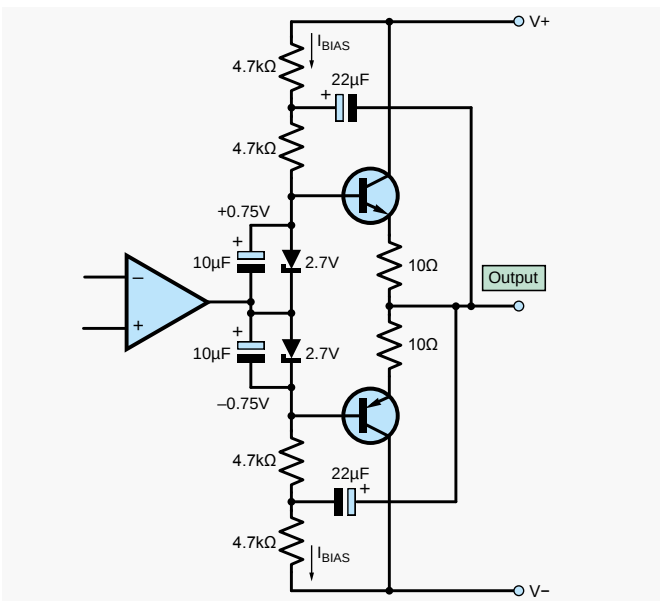
Podwyższenie napięcia wyjściowego

Układ 5532 jest o tyle nietypowy wśród wzmacniaczy operacyjnych, że może wytrzymać napięcie zasilania ±22 V. Wartość ta jest podana w karcie katalogowej jako bezwzględne maksimum. Stwierdziłem jednak w praktyce, że NE5534P producentów Signetics i Texas Instruments działa przy tym napięciu niezawodnie. Uwaga: wersja podwójna NE5532 za bardzo się nagrzewa. Zasilanie ±22 V zapewnia na wyjściu sygnał 35,5 V_{pp} przy obciążeniu 80 Ω (ok. 2 W mocy skutecznej). W układzie z diodą z rysunku 8 uzyskamy 36 V_{pp}. Jeśli zastąpimy układ 5534 wzmacniaczem OPA604 Texas Instruments, będziemy mogli zwiększyć napięcie zasilania do ±24 V, uzyskując na wyjściu 38 V_{pp} na 80 Ω. Co ciekawe, OPA604 obcina napięcie wyjściowe niesymetrycznie, więc nie wymaga układu z diodą wg rysunku 8. Dzieje się tak jednak tylko dlatego, że obcina on dodatnią połówkę sygnału mocniej niż 5534. Przy zasilaniu ±22 V napięcie wyjściowe wynosi 35 V_{pp}, czyli o pół wolta mniej niż w przypadku 5534. Tak więc wymiana wzmacniacza na OPA604 jest opłacalna tylko wtedy, gdy używamy zasilania ±24 V albo potrzebujemy układu z wejściami FET o wielkiej impedancji. OPA604 kosztuje trzy razy więcej niż 5532.

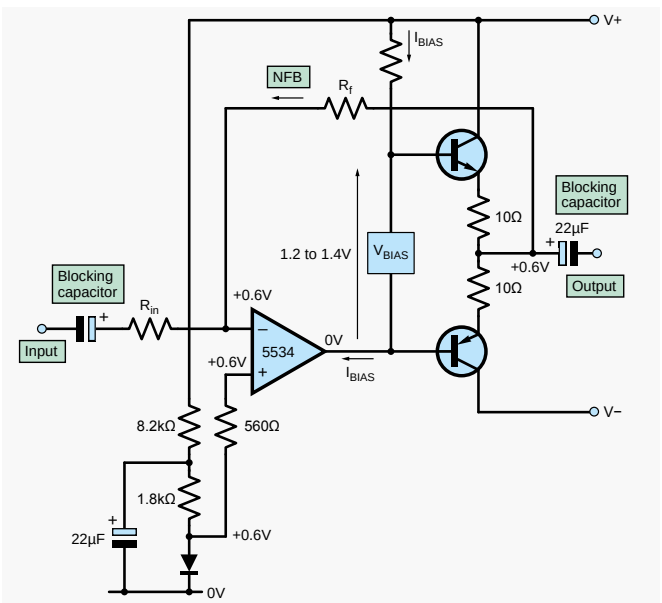
W przypadku OPA604 kompensacja częstotliwościowa nie jest potrzebna, ponieważ jest on stabilny nawet przy wzmocnieniu jednostkowym. Kondensator kompensacyjny C12 można na płytce pozostawić, ponieważ jest on dołączony do pinu 8, niewykorzystanego w OPA604.

Bootstrap

Przydatnym usprawnieniem jest doprowadzenie sygnału przez kondensator C8 z wyjścia układu do punktu połączenia rezystorów R9 i R10. Redukuje to obciążenie wyjścia wzmacniacza operacyjnego przez rezystory i nieco zwiększa maksymalne dodatnie napięcie wyjściowe. C9 bocznikuje diody,

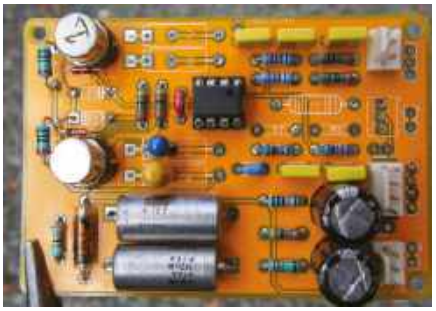


Rysunek 7. Podwójny symetryczny układ „bootstrap" – redukuje przesunięcie składowej stałej i minimalizuje prąd wpływający do wyjścia wzmacniacza operacyjnego



Rysunek 8. Spolaryzowanie wejścia nieodwracającego wzmacniacza napięciem przewodzenia diody niweluje przesunięcie składowej stałej powstające w stopniu końcowym

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 9. Zmontowana płytka przedwzmacniacza z wejściem różnicowym

co zapewnia lepsze zasilenie bazy T2 prądem zmiennym. R13 i R14 polaryzują kondensatory sprzęgające C10 i C11 napięciem około 3 V. Zmniejsza to dodatkowo zniekształcenia, zwłaszcza w przypadku kondensatorów tantalowych. Prąd z rezystorów polaryzujących wpływa do wyjścia wzmacniacza operacyjnego. Kondensatory C10/C11 są wyliczone dla rezystancji obciążenia nie mniejszej niż 600 Ω. Przy mniejszych rezystancjach wystąpi zauważalny spadek niskich częstotliwości. R16 to rezystor ściągający, który polaryzuje wyjście napięciem 0 V, co redukuje nieprzyjemne stuki przy dołączaniu obciążenia. Bez tego rezystora potencjał wyjścia mógłby osiągać różne wartości aż do napięcia znamionowego kondensatora. C4 i C5 na wejściu tworzą kondensator sprzęgający – bipolarny, co również zmniejsza zniekształcenia. Stwierdziłem, że ich polaryzowanie nie daje dodatkowych korzyści.

Stabilność przy wysokich częstotliwościach

C1, C2 i C3 stanowią filtry wysokiej częstotliwości dla wejść różnicowych. C6 jest filtrem na wejściu nieodwracającym, a C7 jest standardowym kondensatorem w sprzężeniu zwrotnym, zmniejszającym przesunięcie fazy wzmacniacza w celu zapewnienia stabilności. Dwójnik R15/L2 umożliwia dołączanie obciążeń o znacznej pojemności, takich jak długie kable, bez „dzwonienia". Nasz układ ma na wyjściu wtórniki emiterowe i przez

Rysunek 10. Zmontowana płytka wzmacniacza sumującego. Zwraca uwagę zielona cewka (L1), konieczna w przypadku stosowania długiej szyny sumującej

to może wykazywać tendencję do oscylacji. Aby im zapobiec, zwykle wystarczy sam R15. Cewka L2 jest niezbędna w razie konieczności zapewnienia bardzo małej impedancji wyjściowej.

Ponieważ cały układ jest stosunkowo wysokoprądowy, kondensatory odsprzęgające C13 i C15 muszą mieć pojemność odpowiednio dużą, by dostarczyć dostatecznie duże prądy w szczytach sygnału. Prądy te wpływają do węzła masy, zwiększając tętnienia i inne zakłócenia. Płytka drukowana została tak zaprojektowana, by zminimalizować te efekty, a konkretnie – kondensatory zostały umieszczone w pobliżu miejsca przyłączenia zasilania. Aby zapewnić minimalną impedancję obwodu zasilającego, w jego złączu przeznaczono na masę dwa piny.

Jest jeszcze jeden kondensator odsprzęgający (C14), niezbędny dla stabilności przy wysokich częstotliwościach. Musi być umieszczony blisko wzmacniacza operacyjnego. Szczególnie wzmacniacz typu 5534 na pewno zacząłby oscylować bez tego kondensatora.

R8 to jeszcze jeden element realizujący „bootstrap". Połączenie takie jest stosowane we wzmacniaczach sumujących i odwracających. Jest to trik układowy opracowany przez Calrec. Sprawia on, że pojemność kondensatorów wejściowych C4 i C5 robi się efektywnie 10-krotnie większa. Znacznie poprawia to przenoszenie basów, gdy impedancja źródła sygnału jest mała. Taka sytuacja ma miejsce w pulpitach mikserskich i innych mieszaczach sygnałów – również w naszym wokoderze – gdy wiele sygnałów jest sumowanych razem. Jeśli na przykład do zsumowania 10 wejść zostanie użytych 10 rezystorów 4,7 kΩ, efektywna impedancja źródła wyniesie 470 Ω. Z pojemnością wypadkową C4/C5 (11 µF) oczekiwana dolna częstotliwość graniczna (–3 dB) wyniosłaby ok. 31 Hz. Z „modyfikacją Calrec" wynosi ona zaledwie 3 Hz. Rezystor sprzężenia zwrotnego wzmacniacza sumującego wynosi 100 kΩ, co zapewnia prawidłowe sprzężenie zwrotne dla składowej stałej i wystarczające sprzężenie dla składowej zmiennej. Co ciekawe, „bootstrap" wyeliminował również zniekształcenia wnoszone przez kondensatory.

Kompensacja

C12 jest kondensatorem kompensacji częstotliwościowej wzmacniacza operacyjnego. Jeśli jego wartość jest zbyt mała, wzmacniacz będzie oscylował, jeśli zbyt duża, powyżej 10 kHz pojawi się spadek pasma przenoszenia. Jeżeli wzmocnienie wzmacniacza 5534 wynosi 1, pojemność tego kondensatora według karty katalogowej powinna wynosić 22 pF. W praktyce można go często zmniejszyć do 15 pF. Można go nawet całkiem pominąć, o ile wzmocnienie układu wynosi 5 lub więcej. Dla wzmocnienia równego 6 najniższe zniekształcenia daje wartość 6,8 pF. W przypadku układu mieszacza kilku wejść, każde o wzmocnieniu 1, efektywne wzmocnienie układu wzrasta proporcjonalnie do liczby wejść, więc C12 można odpowiednio zmniejszyć.

Tranzystory użyte na wyjściu powinny być typu planarnego, szybkie (Ft > 50 MHz). Gdyby zastosować typy w rodzaju BD436/437, wolniejsze (Ft=1…4 MHz), wówczas mogłaby być potrzebna silniejsza kompensacja częstotliwościowa, co w konsekwencji spowodowałoby wzrost zniekształceń przy wyższych częstotliwościach.

Zastosowania, konfiguracje

Wyjaśniłem we wstępie, że modułu tego można użyć na wiele sposobów. Podaję przykłady zastosowań w wokoderze.

Przedwzmacniacz wokodera z wejściem symetrycznym. Wzmacniacz ma standardowe wejście różnicowe, umożliwiające podłączenie typowego symetrycznego wejścia XLR. Rezystory wejściowe dobiera się dla uzyskania określonej impedancji wejściowej. Standardową wartością jest 10 kΩ. Mogą jednak wystąpić przy niej znaczne zakłócenia. Często używam znacznie mniejszych wartości, np. 1,5 kΩ. Większość wzmacniaczy operacyjnych da radę je wysterować.

Zmontowaną płytkę pokazuje **rysunek 9**.

Sumator i stopień wyjściowy wokodera. W tym przypadku wzmacniacz musi być skonfigurowany jako wzmacniacz sumujący z wirtualną masą. Rezystory wejściowe są porozmieszczane w kanałach wokodera, a wirtualną masę stanowi wejście w module. Żeby odciąć zakłócenia wysokiej częstotliwości, występujące czasami w mikserach na długich szynach sumujących, dodałem cewkę L1 wg pomysłu Steve'a Dove'a.

Warto pobrać serię jego artykułów opublikowanych w Studio Sound z początku lat 80. na temat projektowania mikserów (https://bit.ly/pe-jan22-ao). Jestem pewien, że artykuły te stanowiły podstawę dla wielu późniejszych publikacji Douglasa Selfa.

Zmontowaną płytkę sumującą pokazano na **rysunku 10**.

Za miesiąc przyjrzymy się kilku innym konfiguracjom modułu, komponentom i montażowi. ■

Jake Rothman

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

eprasa.pl d09f51483c

Chirurgia obwodowa

Absorpcja dielektryczna kondensatora

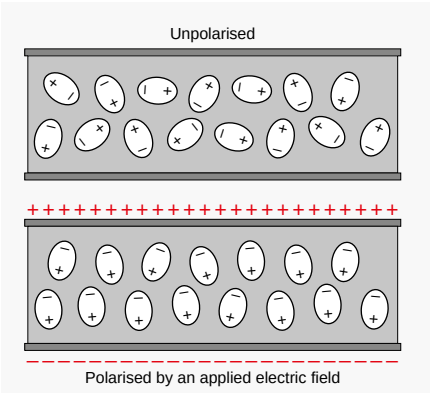
Na forum EEWeb John Curtin zamieścił wpis dotyczący kondensatorów: „Mam pytanie, na które w sieci nie znalazłem odpowiedzi. Kondensator elektrolityczny, jeśli jest zwarty przez długi czas, rozładowuje się, a jego napięcie spada do zera. Ale gdy zwarcie usuniemy, napięcie na jego zaciskach powoli wzrasta. Dlaczego?". Jak szybko zauważył jeden z ekspertów tego forum, Peter Traneus Anderson, jest to efekt nazywany „absorpcją dielektryczną". Używane są również inne nazwy: „odzyskiwanie napięcia" i „nasiąkanie dielektryczne".

Absorpcja dielektryczna to zjawisko charakterystyczne dla kondensatorów – głównie, choć nie wyłącznie, elektrolitycznych. Efekt daje się najlepiej zaobserwować, gdy kondensator jest ładowany przez długi czas, następnie bardzo szybko rozładowywany do zera woltów, po czym rozwierany. Kondensatory, i rzeczywiste i idealne, wykażą na początku napięcie równe zero. W kondensatorze idealnym stan ten się utrzyma, natomiast kondensator rzeczywisty wytworzy po pewnym czasie niezerowe napięcie „regeneracyjne", spowodowane absorpcją dielektryczną.

Dielektryki

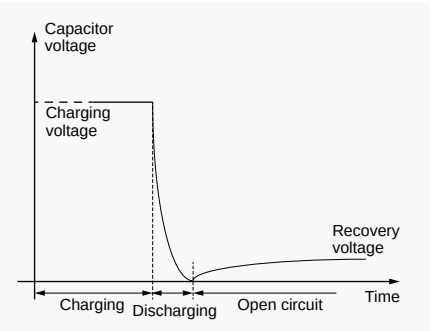
Jak sama nazwa wskazuje, absorpcja dielektryczna wynika z właściwości dielektryka kondensatora – materiału izolacyjnego znajdującego się pomiędzy dwiema płytkami przewodzącymi tworzącymi kondensator. Dielektryk jest izolatorem, więc gdy do kondensatora jest przyłożone napięcie, przepływa przez niego znikoma ilość ładunku elektrycznego (chyba że zostanie przekroczone napięcie przebicia). Występuje jednak znaczna redystrybucja ładunku wewnętrznego w postaci polaryzacji dipoli. Dipole to fragmenty materiału, które mogą mieć pewien rozkład ładunku (w uproszczeniu: dodatni na jednym końcu i ujemny na drugim). Może to mieć miejsce na poziomie atomowym, jonowym, molekularnym i na wyższych poziomach strukturalnych (takich jak komórki w tkankach biologicznych).

Pole elektryczne przyłożone do dielektryka (w przypadku kondensatora wywołane przez napięcie na jego okładkach) powoduje, że dipole obracają się tak, by być zorientowane zgodnie z przyłożonym polem; bez przyłożonego pola są one zorientowane losowo (**rysunek 1**). Pole wytworzone przez przeorientowane dipole oddziałuje z polem kondensatora, dzięki czemu może on przechowywać więcej energii (utrzymywać więcej ładunku) niż gdyby między okładkami była tylko próżnia. Im większa polaryzacja, tym więcej dodatkowej zdolności gromadzenia ładunku (a więc większa pojemność przy tych samych wymiarach). Po usunięciu pola (rozładowaniu kondensatora) dipole powracają do swojej przypadkowej orientacji – co określamy jako „relaksacja".



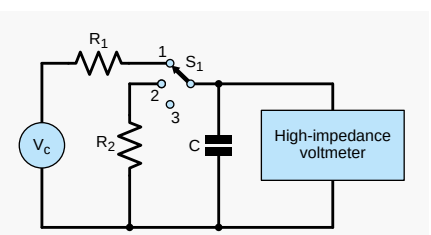
Rysunek 1. Polaryzacja dipoli w dielektryku kondensatora

Polaryzowalność materiału jest określona przez jego przenikalność elektryczną. Przenikalność materiału może być zdefiniowana jako wartość bezwzględna (symbol ε – grecka litera epsilon) lub jako przenikalność względna (ε_r) względem przenikalności próżni (ε_0): $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$. Dla względnej przenikalności elektrycznej jest również używany symbol κ (grecka litera kappa). Materiały stosowane na dielektryki kondensatorów mają zwykle dużą względną przenikalność elektryczną (określaną czasami jako „wysokie K"), ponieważ pozwala to zmniejszyć wymiary kondensatora przy danej pojemności i napięciu znamionowym.



Rysunek 2. Zachowanie kondensatora wykazującego absorpcję dielektryczną

Polaryzacja dielektryków jest procesem złożonym, ponieważ w materiałach występuje zazwyczaj wiele rodzajów dipoli,



Rysunek 3. Układ do obserwacji lub pomiaru absorpcji dielektrycznej kondensatora

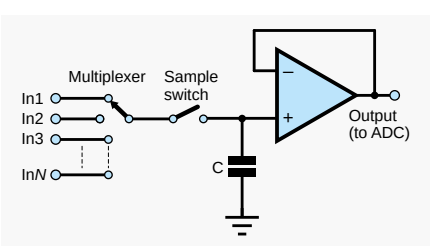
eprasa.pl d09f51483c

a polaryzacja i depolaryzacja (relaksacja) nie odbywa się natychmiastowo. Ujmując rzecz prosto – absorpcja dielektryczna wynika z faktu, że nie wszystkie dipole depolaryzują się w czasie potrzebnym do szybkiego rozładowania kondensatora do zera. Nadal utrzymują one ładunek („zaabsorbowany" przez dielektryk). Gdy kondensator jest po rozładowaniu otwierany, nie powoduje to z początku powstania napięcia na płytkach. Jednak z czasem, gdy dipole ulegną depolaryzacji, ładunek zostaje przeniesiony na płytki kondensatora, co doprowadza do powstania napięcia regeneracji, o które pytał John.

Zachowanie kondensatora i jego pomiar

Zachowanie kondensatora wykazującego absorpcję dielektryczną zilustrowano na **rysunku 2**. Jest to wykres napięcia na kondensatorze w funkcji czasu podczas wspomnianej sekwencji ładowania/rozładowania/otwarcia. Wykonanie takiej sekwencji i przeprowadzenie pomiarów umożliwia scharakteryzowanie zjawiska absorpcji dielektrycznej. Na **rysunku 3** pokazano ogólny układ służący do tego celu. Układ może się różnić w szczegółach; na przykład w najprostszym przypadku można stosować przełączanie ręczne, ale można je również zautomatyzować, stosując przekaźniki i wprowadzając różne ulepszenia układu.

Pierwsza część wykresu dotyczy fazy, gdy kondensator był ładowany przez długi czas, więc napięcie na nim jest praktycznie równe napięciu ładowania. W układzie z rysunku 3 ładowanie odbywa się przez przełączenie S_1 do pozycji 1 i podanie do kondensatora napięcia V_C przez rezystor R_1. „Długi czas" to od kilku minut do kilku godzin. Podczas wykonywania pomiarów absorpcji dielektrycznej kondensatory są zwykle ładowane do napięcia znamionowego – ewentualnie innego, uznanego za właściwe do przeprowadzenia pomiaru. R_1 musi mieć dostatecznie dużą rezystancję i ograniczać prąd do bezpiecznej wartości, w przeciwnym razie na początku, gdy kondensator jest całkiem rozładowany, wystąpi silny impuls prądowy.



Rysunek 4. „Sample and hold" z multiplekserem wejściowym. Przełączniki są elektroniczne – funkcję tę pełnią zazwyczaj tranzystory MOS

Po pełnym naładowaniu kondensator jest szybko (w porównaniu do czasu ładowania) rozładowywany poprzez dołączenie do niego rezystora R_2 (S_1 w pozycji 2). Przejście z trybu ładowania do trybu rozładowania powinno nastąpić jak najszybciej, a kondensator być otwarty tylko krótko. W czasie przełączania kondensator musi utrzymać ładunek, a gdyby pozostał dłużej otwarty, straciłby jego część wskutek samorozładowania.

Aby pomiar zjawiska absorpcji dielektrycznej był prawidłowy, faza rozładowania powinna być jak najszybsza, jednocześnie jednak musi zapewniać osiągnięcie przez kondensator napięcia jak najbliższego zera. Oznacza to, że rezystancja R_2 musi być mała, a prąd rozładowania duży. Prąd musi być jednak ograniczony do wartości, która nie spowoduje żadnych problemów.

Aby zapewnić jednakowe warunki pomiaru różnych egzemplarzy kondensatorów, czas rozładowania i wartość rezystancji rozładowującej muszą być ustalone i niezmienne.

Po szybkim rozładowaniu kondensator jest odłączany od rezystora rozładowującego i pozostaje otwarty (S_1 w pozycji 3). Napięcie kondensatora będzie wzrastać, jak pokazuje końcowa część wykresu na rysunku 2. Początkowo wzrost będzie szybki, ale z czasem jego tempo będzie maleć. Osiągnięte napięcie końcowe to napięcie regeneracji (odzyskiwania). W tej fazie pomiaru napięcie na kondensatorze można mierzyć woltomierzem. Wymagany jest przyrząd o wielkiej rezystancji wewnętrznej, inaczej wyniki będą obarczone błędem.

Wartość absorpcji dielektrycznej kondensatora (DA) definiuje się jako procentowy stosunek napięcia powrotnego (V_R) do napięcia ładowania (V_C) w określonych warunkach (czas ładowania i rozładowania, rezystancja rozładowania, czas otwartego obwodu, po którym mierzy się napięcie, temperatura itp.):

$$DA\ [\%]=(V_R/V_C)\cdot 100$$

w określonych warunkach, które obejmują: czasy ładowania i rozładowania, rezystancję rozładowania, czas od otwarcia kondensatora do zmierzenia napięcia V_R, temperaturę itp.

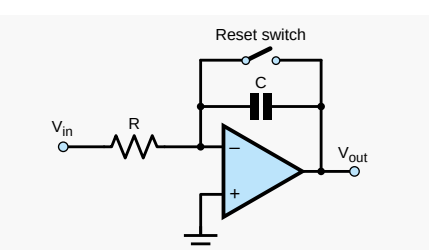
Przedstawiono tu jedynie ogólną zasadę pomiaru absorpcji dielektrycznej. Standardowe procedury testowe opisane są w normach MIL-C-19978D i EN 60384-1, choć w przypadku nowoczesnych systemów elektronicznych opisy te mogą okazać się nieprzydatne. W celu zgłębienia tematu pomiaru absorpcji dielektrycznej warto zapoznać się z artykułem opublikowanym online przez Leslie Green'a: Practical Exploration of Dielectric Absorption in Capacitors for the 21st Century (http://lesliegreen.byethost3.com/articles/Dielectric.pdf).

Wpływ absorpcji dielektrycznej

Absorpcja dielektryczna ma różne wartości w zależności od typu kondensatora. Najniższe wartości DA, wynoszące znacznie poniżej 0,1%, mają zwykle kondensatory z dielektrykami polimerowymi, jak polisiarczek fenylenu, polipropylen i polistyren. W przypadku kondensatorów ceramicznych absorpcja dielektryczna jest wyższa (około 0,5…2,5%); zależy od rodzaju ceramiki, przy czym klasa 1 (C0G/NP0) daje niższe wartości DA niż klasa 2 (X7R). Najwyższe wartości DA, np. 10% czy 15%, mają kondensatory elektrolityczne.

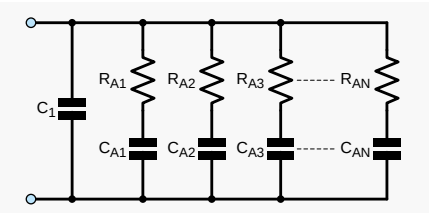
Są przypadki, kiedy absorpcję dielektryczną można odczuć dosłownie na własnej skórze. W dobrej jakości kondensatorach wysokonapięciowych napięcie regeneracji może spowodować u człowieka silne, a nawet śmiertelne, porażenie prądem. Tego typu kondensatory są zwykle dostarczane i przechowywane w stanie zwarcia, ale po jego usunięciu mogą się nadal regenerować. Mając z nimi do czynienia należy bezwzględnie przestrzegać odpowiednich zasad bezpieczeństwa.

Absorpcja dielektryczna może powodować problemy w niektórych układach analogowego przetwarzania sygnału, a jednym z najistotniejszych przykładów są układy próbkowania z pamięcią (sample and hold, patrz **rysunek 4**). Są one powszechnie używane do przechowywania próbek napięcia wejściowego dla przetworników analogowo-cyfrowych (ADC). Napięcie wejściowe jest próbkowane poprzez krótkie zamknięcie przełącznika „sample switch" i szybkie naładowanie kondensatora do wartości chwilowej tego napięcia. Przełącznik jest następnie otwierany, a kondensator ma utrzymać stałą wartość napięcia na czas wykonywania konwersji. Kondensator jest buforowany przez wzmacniacz o jednostkowym wzmocnieniu, o wielkiej impedancji wejściowej, co zapobiega rozładowaniu kondensatora.

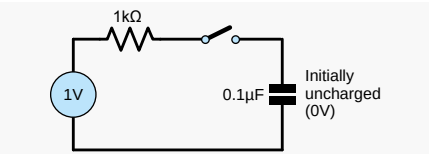


Rysunek 5. Podstawowy układ integratora ze wzmacniaczem operacyjnym

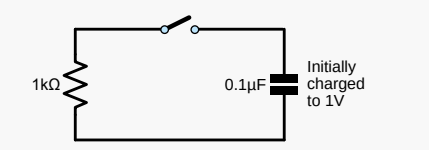
eprasa.pl d09f51483c



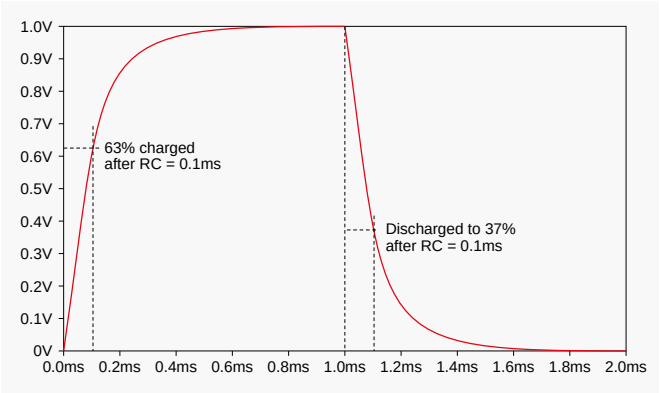
Rysunek 6. Obwód równoważny do badania absorpcji dielektrycznej kondensatora



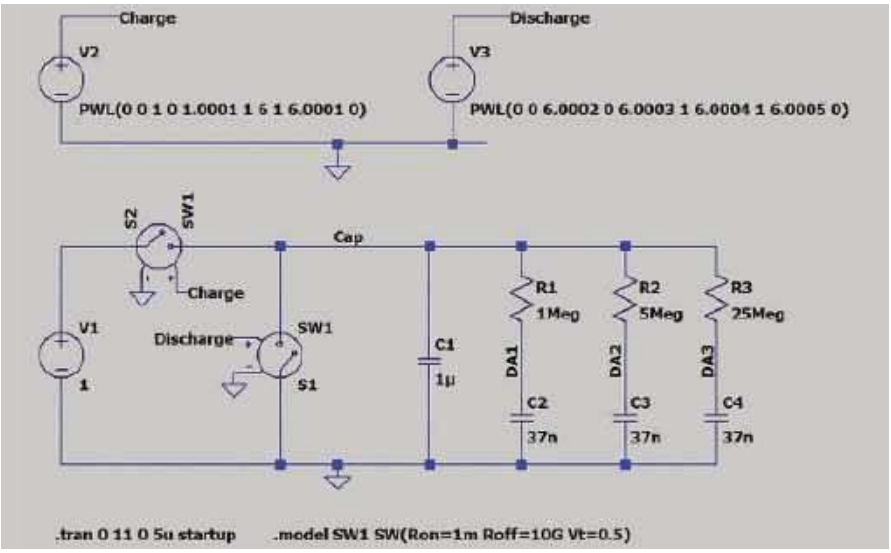
Rysunek 8. Przykładowy obwód RC – ładowanie



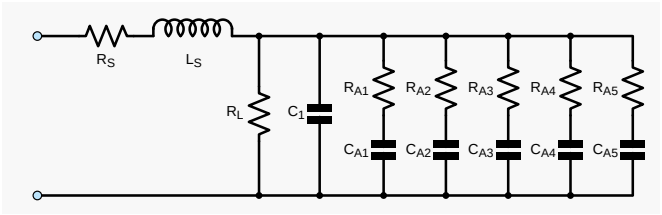
Rysunek 9. Przykładowy obwód RC – rozładowywanie



Rysunek 10. Przykładowe przebiegi ładowania i rozładowania obwodów RC z rysunku 6 (0...1 ms) i rysunku 7 (1...2 ms)



Rysunek 11. Przykład symulacji absorpcji dielektrycznej w LTspice



Rysunek 7. Obwód równoważny z pięcioma parami członów RC do badania absorpcji dielektrycznej i innych zjawisk w nieidealnym kondensatorze

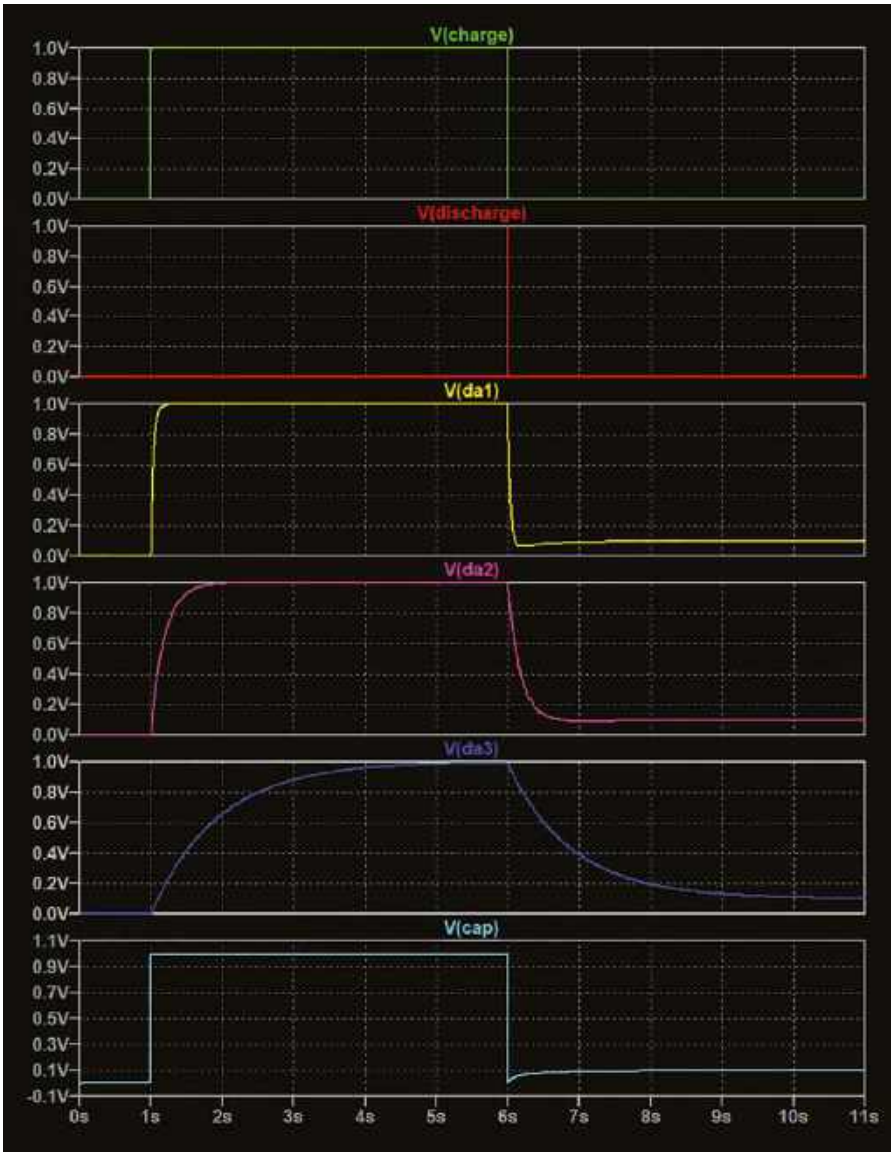
W przypadku gdy mamy do czynienia z pojedynczym, wolnozmiennym sygnałem wejściowym, napięcie pomiędzy kolejnymi chwilami próbkowania zmienia się tylko nieznacznie, a absorpcja dielektryczna nie daje znać o sobie. Często jednak sygnał zmienia się szybko; poza tym może być użyty multiplekser (rysunek 4), przełączający napięcia z różnych kanałów wejściowych. W takich przypadkach jest całkiem prawdopodobne, że kondensator zostanie naładowany do prawie maksymalnego napięcia przy pobieraniu jednej próbki i prawie do zera przy następnej. Stwarza to sytuację bardzo podobną do tej pokazanej na wykresie z rysunku 2. Efekt absorpcji dielektrycznej spowoduje znaczącą zmianę napięcia na kondensatorze, nawet jeśli konwersja analogowo-cyfrowa trwa stosunkowo krótko w porównaniu z czasem potrzebnym do osiągnięcia pełnego napięcia odzyskiwania kondensatora (zwróćmy uwagę, że tempo zmian tego napięcia jest na początku dość szybkie). Wskutek tego powstaną błędy przetworzonej wartości. Przykładowo – dla 12-bitowego przetwornika ADC wystarczy zmiana o zaledwie 0,025% napięcia zakresowego, by wynik różnił się od prawidłowego o 1 bit.

Innym układem, na działanie którego absorpcja dielektryczna może mieć znaczący wpływ, jest integrator – jedno ze standardowych zastosowań wzmacniacza operacyjnego (**rysunek 5**). Napięcie wyjściowe tego układu jest proporcjonalne do całki napięcia wejściowego po czasie. W niektórych sytuacjach bywa konieczny „reset", czyli wyzerowanie integratora (ustawienie warunków początkowych całkowania). Na rysunku 5 do zerowania służy przełącznik rozładowujący kondensator. Ustawienie napięcia innego niż zero wymagałoby użycia innych środków. Zachowanie kondensatora w układzie z rysunku 5 jest bardzo podobne do przedstawionego na wykresie z rysunku 2. Kondensator może być przed „resetem" naładowany do stosunkowo dużego napięcia; wtedy po „resecie" i otwarciu przełącznika pojawi się znaczne napięcie odzyskiwania. Zostanie ono dodane do napięcia wyjściowego, tworząc składową błędu obecną przez cały czas całkowania.

Układ modelujący

Możliwe jest modelowanie absorpcji dielektrycznej kondensatora. Służy do tego obwód równoważny pokazany na **rysunku 6**, opublikowany przez Paula Dowa w 1958 r. w artykule w IRE Transactions on Electronic Computers. Model ten pomaga nam zrozumieć zachowanie kondensatorów w obecności zjawiska absorpcji dielektrycznej i symulować to zjawisko na poziomie układowym bez dogłębnej znajomości fizyki dielektryków na poziomie atomowym i molekularnym. Obwód równoważny składa się z N obwodów RC ($R_{A1}C_{A1}...R_{AN}C_{AN}$), połączonych równolegle z idealnym kondensatorem C_1, reprezentującym pojemność znamionową symulowanego kondensatora. Kondensatory modelujące absorpcję (C_A) mają mniejszą wartość niż C_1. Końcowe napięcie odzyskiwania zależy od stosunku łącznej pojemności kondensatorów absorpcyjnych do C_1. Wartości rezystorów są zazwyczaj duże (od megaomów do gigaomów),

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 12. Wyniki symulacji układu z rysunku 11

co uwzględnia powolną zmianę napięcia odzyskiwania.

Zgodność zachowania modelu z rysunku 6 z wykresem na rysunku 2. jest intuicyjnie jasna. Długi czas ładowania zapewnia, że wszystkie kondensatory w układzie zdążą się naładować do przyłożonego napięcia, mimo że w części absorpcyjnej występują duże wartości rezystorów. Krótkie rozładowanie przez stosunkowo mały rezystor usuwa ładunek z C_1, natomiast z kondensatorów C_A jest wtedy usuwane niewiele ładunku za sprawą dużych rezystancji szeregowych.

Podczas następnej fazy, kiedy obwód jest otwarty, kondensatory będą się dzielić swoim ładunkiem. Ściślej biorąc, ładunek będzie się przemieszczał z kondensatorów absorpcyjnych C_{A1}...C_{AN} do kondensatora C_1. Potrwa to tak długo, aż napięcia na kondensatorach się wyrównają – dopóki kondensatory mają różne napięcia, na rezystorach występują spadki napięć, powodując przepływ prądów przenoszących ładunki między kondensatorami. Z biegiem czasu zaobserwujemy wzrost napięcia na C_1, czyli na zaciskach obwodu. Jest to napięcie odzyskiwania. Kondensator został jakby podładowany. Duże wartości rezystorów R_A sprawiają, że zajmuje to stosunkowo dużo czasu w porównaniu z czasem uprzedniego rozładowania C_1.

Obwód na rysunku 6 modeluje wyłącznie efekt absorpcji dielektrycznej. W razie potrzeby uwzględnienia innych efektów występujących w kondensatorach rzeczywistych można dać elementy dodatkowe. Na **rysunku 7** pokazano przykład. Układ zawiera pięć członów RC do modelowania absorpcji, ale symuluje też równoważną rezystancję szeregową ESR (R_S), równoważną indukcyjność szeregową ESL (L_S) i rezystancję upływu (R_L) kondensatora.

Stałe czasowe i wykresy

Dla układu modelowania absorpcji dielektrycznej istotny jest dobór stałych czasowych członów RC. Podstawowe układy ładowania i rozładowania takich członów widzimy na **rysunkach 8** i **9**, a na **rysunku 10** pokazano ogólnie znane krzywe wykładnicze ładowania/rozładowania. Stała czasowa obwodu RC to iloczyn rezystancji R i pojemności C. Ma ona wymiar czasu. Na przykład w obwodach na rysunku 8 i 9 mamy R·C=1 kΩ·0,1 μF=0,1 ms. Gdy kondensator jest ładowany przez rezystor ze źródła stałego napięcia, to po upływie czasu równego stałej czasowej RC napięcie na kondensatorze wyniesie 63% napięcia źródła, co zaznaczono na rysunku 10. Natomiast gdy kondensator jest przez rezystor rozładowywany, po upływie czasu RC napięcie spadnie do 37% wartości początkowej.

W układzie na rysunku 6 stałe czasowe kolejnych członów RC tworzą zwykle stosunki 1:10:100:1000 ..., osiągając wartości bardzo duże – kilku godzin, a nawet większe. Tyle czasu potrzeba, aby napięcie na zaciskach zaczęło się zbliżać do końcowej wartości napięcia odzyskiwania.

Warto jeszcze wspomnieć, że w rzeczywistych kondensatorach krzywe ładowania i rozładowania nie są idealnie wykładnicze właśnie wskutek efektu absorpcji dielektrycznej.

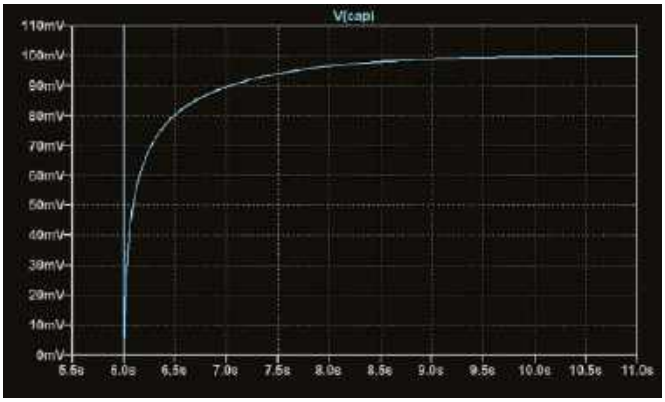
Przykładowa symulacja

Schemat na **rysunku 11** przedstawia układ w symulacji LTspice, który może być użyty jako punkt wyjścia do badań układu modelującego z rysunku 6.

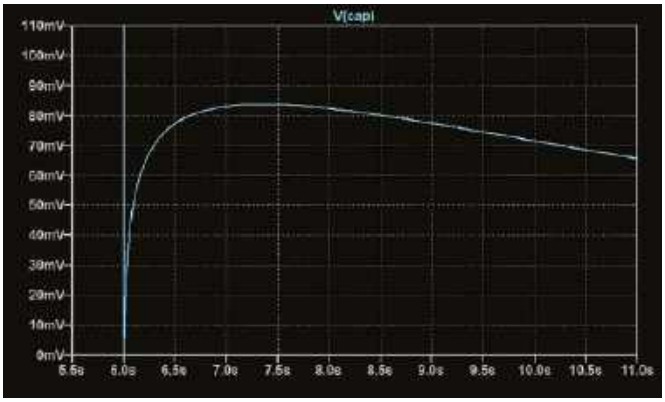
Przełączniki S1 i S2 są sterowane przez generatory impulsów V2 i V3, zapewniające sekwencję faz „ładowanie/rozładowanie/otwarcie" jak w układzie na rysunku 3. W symulacji użyto przełączników wyidealizowanych (bardzo duża rezystancja w stanie otwartym i bardzo mała po włączeniu). Jest to sytuacja nierealna względem tego, co się dzieje w układzie rzeczywistym. Można to poprawić, zmieniając w symulatorze model przełącznika ew. dodając do układu rezystory jak na rysunku 3.

Dla zachowania prostoty są tylko trzy absorpcyjne człony RC, a ich stałe czasowe tworzą stosunki 1:5:25, nie osiągają zatem wielkich wartości, dzięki czemu symulacja nie musi trwać zbyt długo. Najdłuższą stałą czasową jest R3·C4 – nieco poniżej jednej sekundy. Wobec tego „długi czas"

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 13. Napięcie odzyskiwania; przebieg powiększony w celu pokazania szczegółów



Rysunek 14. Napięcie odzyskiwania z rezystorem 10 MΩ równolegle do C1

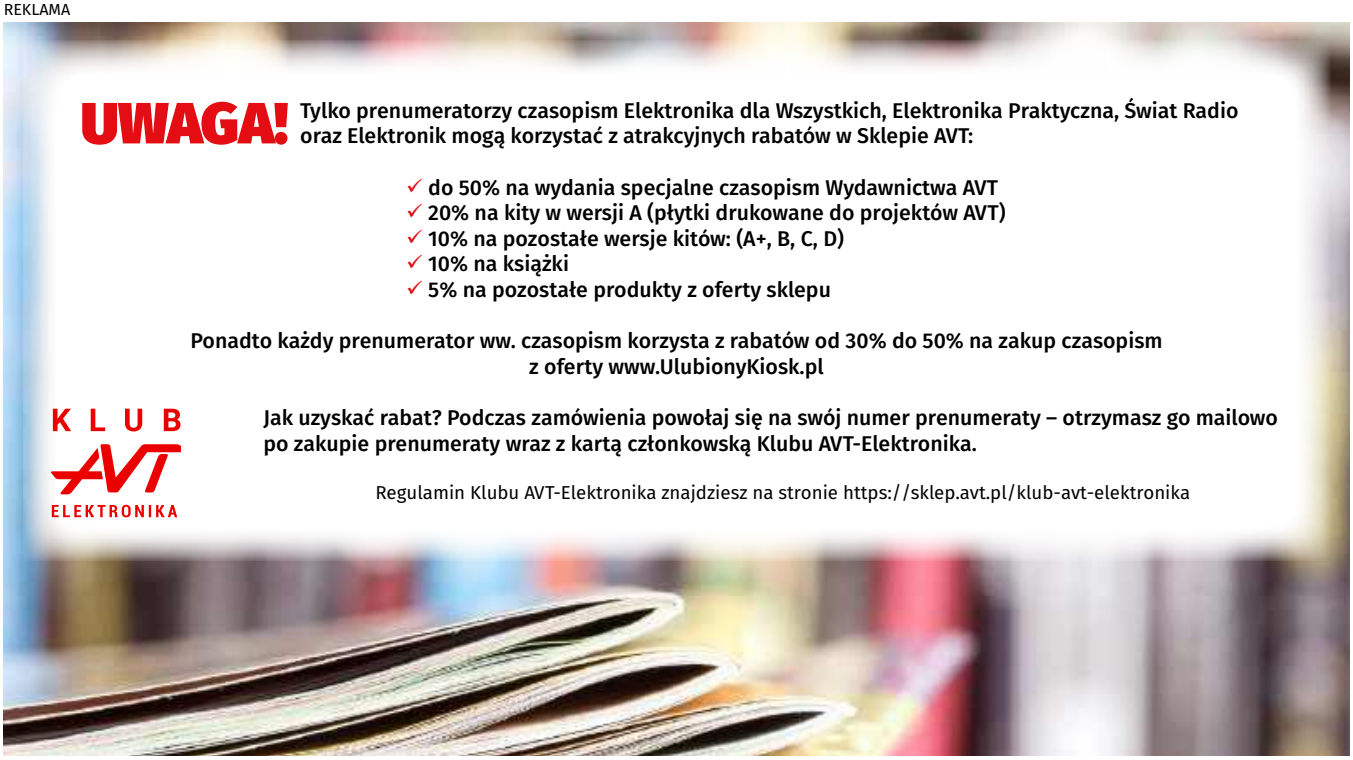
ładowania kondensatora rozsądnie ustalono na 5 sekund. Przez czas równy pięciu stałym czasowym obwód RC naładuje się do ponad 99% przyłożonego napięcia. Generator V2 jest zaprogramowany tak, aby zamykać przełącznik S2 między 1. a 6. sekundą czasu symulacji. W tym czasie ładowane są wszystkie pojemności układu modelującego (patrz przebiegi w węzłach układu na **rysunku 12**). Natychmiast po zakończeniu ładowania C1 jest bardzo szybko rozładowywany przez przełącznik S1, zamykany na czas 200 µs. Następnie oba przełączniki zostają otwarte. Krótki czas rozładowania i stosunkowo duże wartości rezystorów R1…R3 sprawiają, że kondensatory C2…C4 tracą podczas fazy rozładowania bardzo mało ładunku. Można by było to potwierdzić, powiększając w symulatorze przebiegi V(da1)…V(da3). Na rysunku 12 trudno jest zobaczyć szczegóły zmian napięcia regeneracji, więc **rysunek 13** przedstawia wykres tego napięcia w powiększeniu. Napięcie końcowe wynosi 100 mV, co stanowi 10% napięcia przyłożonego w fazie ładowania. Taki sam wynik uzyskamy, analizując podział ładunku. Łączna pojemność absorpcyjna wynosi 3·37 nF=111 nF. Całkowita pojemność łącznie z C1 to 1111 nF. Po rozładowaniu, C1 ma napięcie 0 V, a C2…C4 mają po 1 V. Ładunek w C2…C4, wynoszący 111 nF·1 V, rozpływa się do pojemności łącznej 1111 nF, a napięcie końcowe wynosi 1 V·111 nF/1111 nF=0,1 V. Czas odzyskiwania jest praktycznie wyznaczony przez stałą czasową R3·C4. Fazę odzyskiwania symulujemy przez czas pięciokrotnie dłuższy, osiągając bardzo dobre przybliżenie wartości końcowej.

Symulację można modyfikować w celu zbadania różnych charakterystyk absorpcji dielektrycznej lub różnych konfiguracji pomiarowych. **Rysunek 14** pokazuje przykładowy efekt dodania rezystora 10 MΩ (np. rezystancji woltomierza) równolegle do C1. Wystąpi efekt rozładowywania C1 w okresie gdy jest on ładowany z kondensatorów absorpcyjnych. Napięcie odzyskiwania dojdzie do pewnej wartości maksymalnej, po czym zacznie maleć. ■

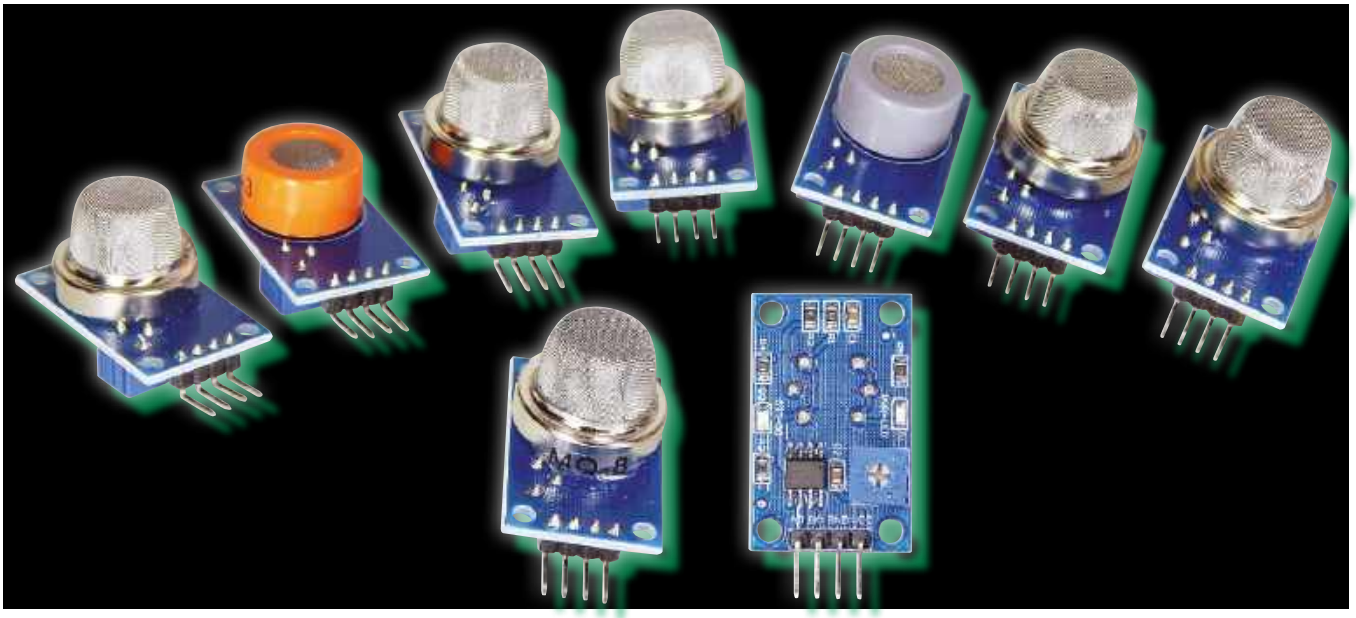
Ian Bell

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „Practical Electronics”, listopad 2021 (www.epemag3.com)

REKLAMA



eprasa.pl d09f51483c



Czujnik jakości powietrza MOS (Metal Oxide Semiconductor)

Korzystanie z tanich azjatyckich modułów elektronicznych

W artykule przedstawiamy szczegółowe badanie najpopularniejszych dostępnych obecnie czujników jakości powietrza typu MOS (Metal Oxide Semiconductor).

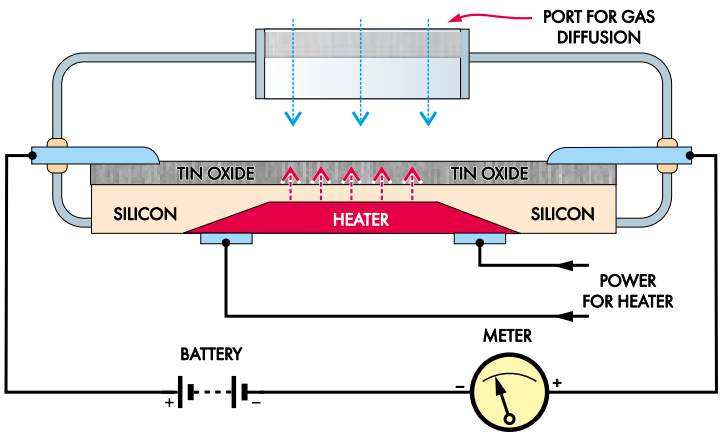
Czujniki jakości powietrza typu MOS (czasami nazywane czujnikami MOx) opierają się na zachowaniu cząstek tlenku metalu (zwykle tlenku cyny) po podgrzaniu w obecności powietrza i/lub innych gazów. Podstawowa zasada działania została zilustrowana na **rysunku 1**. Zamieszczono na nim przekrój typowego czujnika MOS.

Krzemowe podłoże układu czujnika ma cienką warstwę tlenku cyny na wierzchu, umieszczoną tam przez chemiczne osadzanie z fazy gazowej. Elektrody na obu końcach umożliwiają pomiar rezystancji tej warstwy. Na spodzie chipu znajduje się element grzewczy, służący do podgrzewania warstwy tlenku do około 200...250°C w celu przyspieszenia reakcji czujnika.

Gdy warstwa tlenku jest podgrzewana w obecności czystego powietrza, elektrony donorowe w tlenku przyciągają cząsteczki tlenu z powietrza i są „wychwytywane" przez cząsteczki tlenku. W rezultacie na powierzchni warstwy tlenku tworzy się warstwa zubożona, a jej rezystancja elektryczna wzrasta.

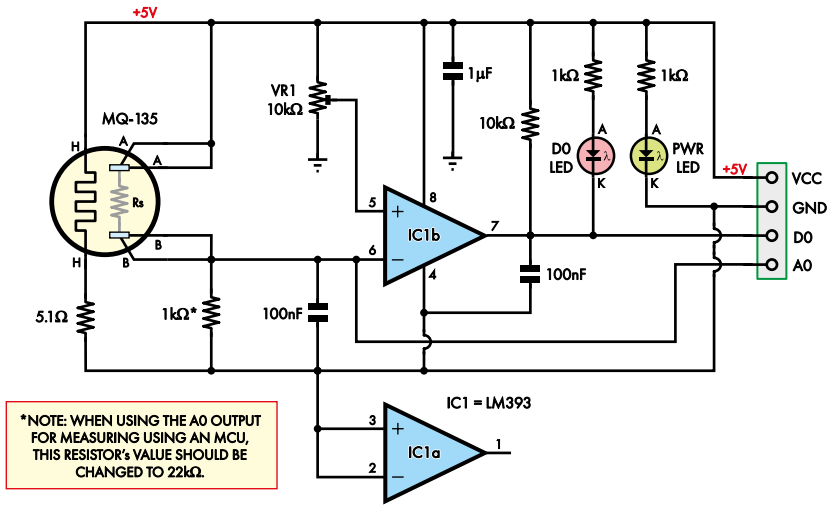
Jeśli jednak w powietrzu obecne są gazy redukujące, takie jak tlenek węgla (CO) i niektóre lotne organiczne związki chemiczne (VOC), cząsteczki tlenu na powierzchni tlenku są uwalniane, a warstwa zubożona staje się cieńsza. W rezultacie efektywna rezystancja warstwy tlenku ulega zmniejszeniu.

Prąd przepuszczany przez warstwę tlenku zmienia się więc proporcjonalnie do ilości gazu redukującego w powietrzu otaczającym warstwę tlenku. Im wyższe jest stężenie gazu redukującego, tym wyższy jest prąd.



Rysunek 1. Przekrój czujnika MOS (metal oxide semiconductor) i ilustracja zasady jego działania

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 2. Schemat modułu czujnika powietrza MQ-135 firmy Hanwei. Na zdjęciu tytułowym widoczna jest grupa czujników modelu MQ

Dlatego podstawowy czujnik MOS zasadniczo zachowuje się jak analogowy przetwornik stężenia gazu redukującego na prąd stały.

Wspomnieliśmy już o kilku takich modułach w artykule dostępnym pod adresem siliconchip.au/Article/15309 wraz z kilkoma podstawowymi specyfikacjami. Nie zagłębialiśmy się jednak w szczegóły dotyczące tego, jak działają i jak z nich korzystać.

Hanwei MQ-135

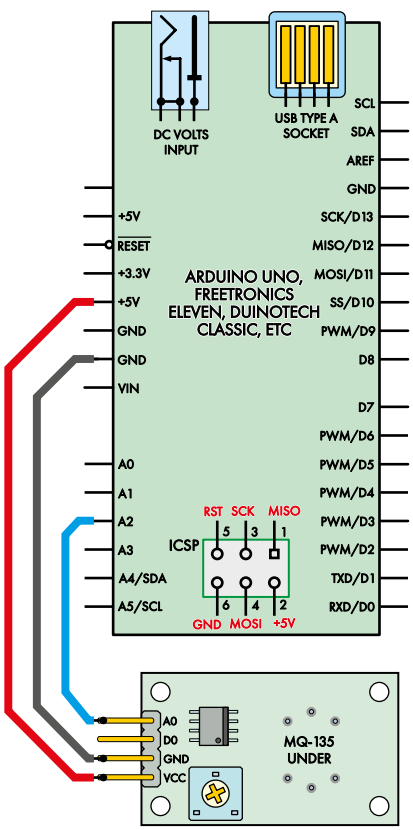
Prawdopodobnie najpopularniejszym z dostępnych obecnie tanich czujników MOS jest Hanwei MQ-135. Czujnik ten jest wrażliwy na amoniak (NH_3), tlenki azotu (NOx), dwutlenek węgla (CO_2), alkohol, benzen i dym. Podobnie jak inne czujniki z serii Hanwei, czujnik MQ-135 jest dostarczany w cylindrycznej 6-nóżkowej obudowie o średnicy 19 mm i wysokości 15 mm.

Większość modułów używających czujnik MQ-135 po prostu pobiera z niego prąd wyjściowy i przetwarza na proporcjonalne napięcie za pomocą stałego rezystora obciążenia. Napięcie wyjściowe można następnie zmierzyć za pomocą multimetru cyfrowego lub podać na jedno z wejść ADC mikrokontrolera (MCU).

Na **rysunku 2** przedstawiono obwód modułu czujnika powietrza Hanwei, w którym jest zastosowany układ MQ-135. Wyprowadzenia grzałki MQ-135 (H) są podłączone między linią +5 V (VCC) a linią GND za pomocą szeregowego rezystora 5,1 Ω ograniczającego prąd.

Jeden koniec rezystora czujnika z tlenku cyny (Rs) jest podłączony do linii +5 V za pośrednictwem dwóch nóżek A, a drugi koniec do linii GND za pośrednictwem dwóch nóżek B i rezystora obciążenia 1 kΩ. Dwie nóżki B są również dołączone do gniazda tego modułu na wyprowadzenie sygnału analogowego A0. Sygnał ten może być dalej doprowadzony do multimetru lub do wejścia przetwornika analogowo-cyfrowego jakiegoś systemu mikroprocesorowego.

Pozostałe elementy są tak dobrane, aby moduł mógł być również używany jako prosty alarm poziomu gazu. Jedna połowa podwójnego komparatora LM393 (IC1b) porównuje napięcie na rezystorze obciążenia 1 kΩ z napięciem odniesienia ustawionym za pomocą potencjometru montażowego VR1, więc za każdym razem, gdy napięcie na A0 wzrośnie nieco powyżej napięcia odniesienia, wyjście IC1b (nóżka 7) spada do poziomu bliskiego zeru, powodując że dioda LED D0 zaczyna świecić. Jednocześnie obniżany jest poziom napięcia na pinie wyjściowym D0.



Rysunek 3. Schemat połączeń modułu czujnika MQ-135 z Arduino Uno lub podobnym

Jeśli chcesz używać modułu z MCU do monitorowania stężenia gazu, a nie używać go tylko jako alarmu stężenia gazu, najlepiej wprowadzić jedną zmianę w module. Polega ona na zastąpieniu rezystora obciążenia czujnika 1 kΩ rezystorem 22 kΩ. Zabieg ten zapewni wyższy skok napięcia wyjściowego i poprawi dokładność odczytu.

Rezystor ten jest elementem SMD o rozmiarze M2012/0805 (2,0 mm × 1,2 mm), więc będziesz potrzebować lutownicy z cienką końcówką i szkła powiększającego lub mikroskopu.

Na **rysunku 3** pokazane jest, jak wykonać połączenie z Arduino Uno lub kompatybilnego MCU po dokonaniu tej zmiany. Wystarczy podłączyć piny VCC i GND modułu do wybranych pinów Arduino, a także pin A0 modułu do jednego z pinów wejściowych ADC Arduino, w tym przypadku używamy A2.

Do pracy z modułem MQ-135 dostępnych jest sporo bibliotek Arduino i szkiców. Linki do niektórych z nich można znaleźć na liście zamieszczonej na końcu artykułu. Jednak wiele z nich okazało się nieco trudnymi do zastosowania.

Znalazłem jednak kilka bardzo pomocnych informacji na blogu Roba (pod adresem https://

MQ-135 Sketch Program

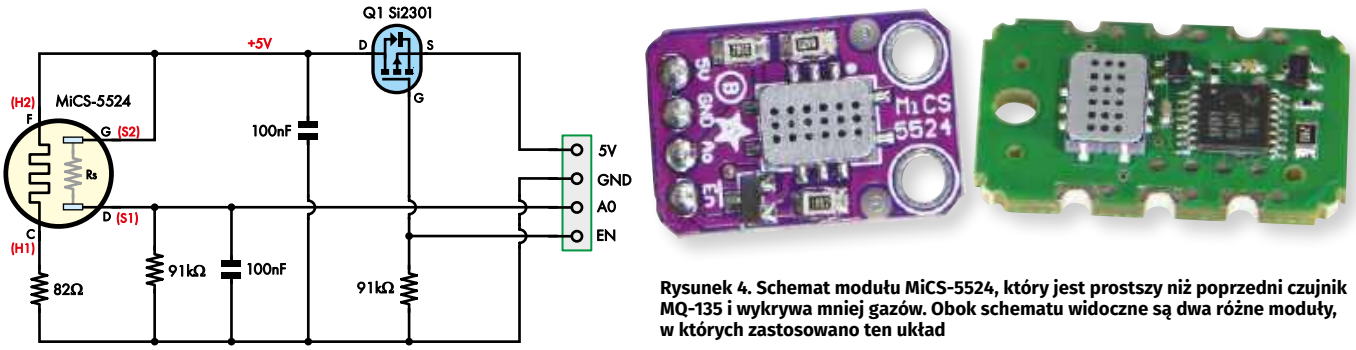
```
void setup() {
 Serial.begin(9600);
 Serial.println(„Silicon
  Chip's MQ-135 demo!");
}

void loop() {
 int reading =
  analogRead(A2);
 Serial.println(reading);
 delay(1000);
}
```

Sample Output

```
Silicon Chip's MQ-135 demo!
696
694
694
691
692
710
```


eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 4. Schemat modułu MiCS-5524, który jest prostszy niż poprzedni czujnik MQ-135 i wykrywa mniej gazów. Obok schematu widoczne są dwa różne moduły, w których zastosowano ten układ

blog.robberg.net/mq-135-arduino/). Następnie natknąłem się na podstawowy szkic, który nie wykorzystuje żadnych bibliotek, a jedynie pokazuje aktualne napięcie analogowe dostarczane na pin A0 modułu (dostępny na stronie https://arduinolearning.com/amp/code).

Nieznacznie dostosowałem ten szkic, a jego listing wraz z niektórymi przykładowymi danymi wyjściowymi z uruchomionego szkicu został pokazany poniżej. Kiedy strumień wydychanego powietrza kierowałem na MQ-135, powodowało to wzrost odczytu napięcia z wartości poniżej 700 do około 728, a następnie ponowny spadek.

Jak widać, nie ma tu próby konwersji odczytów napięcia A0 na równoważne stężenie gazu – do tego potrzebny byłby jeden z bardziej wyszukanych szkiców opartych na przeznaczonych dla nich bibliotekach.

SGX Sensortech MiCS-5524

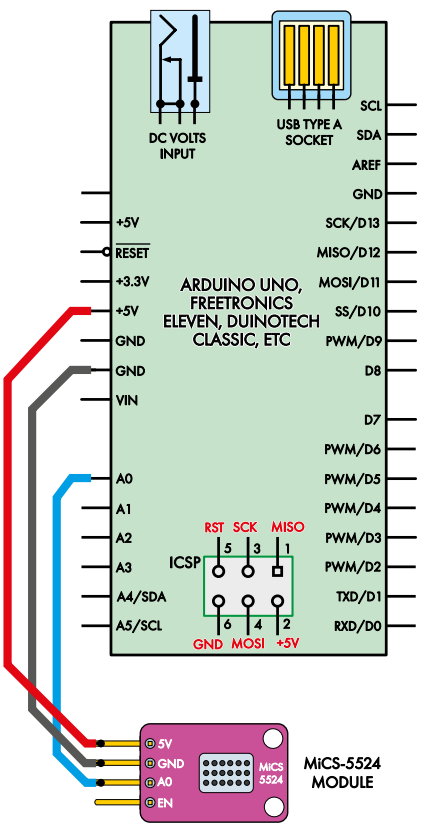
Innym czujnikiem MOS, który można znaleźć wśród tanich modułów wykrywania gazu, jest MiCS-5524, wyprodukowany przez SGX Sensortech (firmę Amphenol) w Szwajcarii. Jest on znacznie mniejszy niż czujnik MQ-135, mieści się w obudowie SMD o wymiarach zaledwie 7 mm × 5 mm × 1,6 mm.

MiCS-5524 wykrywa CO, etanol, wodór, amoniak i metan. Jest on zastosowany w module czujnika gazu 18 mm × 13 mm o tej samej nazwie, który jest dostępny u różnych dostawców internetowych. Można go kupić w cenie ok. 50 zł.

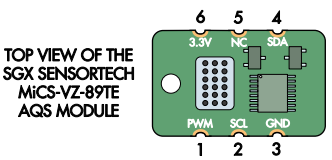
Schemat modułu MiCS-5524 pokazano na **rysunku 4**. Zasadniczo jest to tylko sam czujnik z rezystorem 82 Ω ograniczającym prąd grzałki czujnika i rezystorem obciążenia 91 kΩ dla rezystora czujnikowego Rs, z kondensatorem 100 nF redukującym szumy.

MOSFET Q1 z kanałem typu P umożliwia sterowanie zasilaniem czujnika za pomocą pinu EN modułu. Jeśli moduł ma działać w sposób ciągły, pin ten można pozostawić niepodłączony.

Na **rysunku 5** pokazano, jak łatwo jest podłączyć moduł MiCS-5524 do Arduino Uno. Szkic dla tego schematu jest pokazany poniżej wraz z przykładowym rezultatem. Szkic ten jest prawie identyczny z programem MQ-135 i podobnie opiera się na kodzie spod adresu https://arduinolearning.com/amp/code.



Rysunek 5. Schemat połączeń MiCS-5524



Rysunek 6. Schemat modułu MiCS-VZ-89TE, który pokazano powyżej

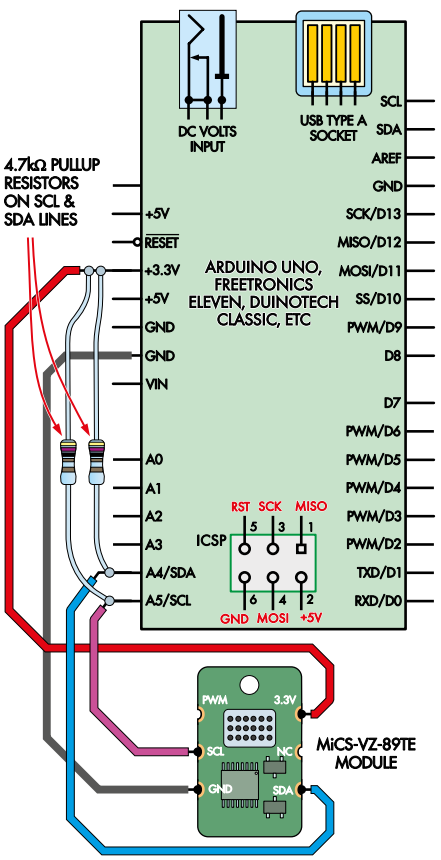
MiCS-5524 Sketch

```
void setup() {
 Serial.begin(9600);
 Serial.println(„Silicon
  Chip's MiCs-5524 demo!");
}

void loop() {
 int reading =
  analogRead(A0);
 Serial.println(reading);
 delay(1000);
}
```

Sample Output

```
Silicon Chip's MiCs-5524
  demo!
40
39
40
39
```



Rysunek 7. Schemat podłączenia MiCS-VZ-89TE do Arduino Uno

eprasa.pl d09f51483c

SGX Sensortech MiCS-VZ-89TE

SGX Sensortech produkuje również bardziej wyszukany i nieco większy moduł (23 mm × 14 mm) MiCS-VZ-89TE. Moduł ten zawiera własny MCU z przetwornikami ADC i wbudowanymi algorytmami konwersji. Ma on wyjścia PWM oraz I²C, przez które wyprowadzane są wartości ekwiwalentu CO_2 i TVOC (ekwiwalent izobutylenu).

Nie mogłem znaleźć żadnego schematu dla modułu MiCS-VZ-89TE, ale jego układ pokazano na **rysunku 6**.

Zauważyłem, że dość łatwo można dołączyć się do tego modułu za pomocą dwóch 5-pinowych sekcji złącza szpilkowego, z przyciętymi końcami drugiego i czwartego pinu każdej listwy. Pozwoliło to na przylutowanie końcówek pozostałych trzech pinów do wycięć po jednej stronie modułu. Następnie można włożyć całość do małej płytki prototypowej.

Na **rysunku 7** pokazano, jak moduł MiCS-VZ-89TE może być dołączony do Arduino Uno lub równoważnego MCU. Połączenie GND prowadzi do jednego z pinów GND Arduino, a połączenie zasilania 3,3 V modułu trafia do pinu +3,3 V Arduino.

MiCS-VZ-89TE Sketch:

```
#include <MICS-VZ-89TE.h>
#include <Wire.h>

MICS_VZ_89TE voc;

void setup() {
 voc.begin();
 Serial.begin(9600);
 Serial.println(„Reading the
  MiCS-VZ-89TE sensor”);
}

void loop() {
 voc.readSensor();
 Serial.print(„VOC =”);
 Serial.print(voc.getVOC());
 Serial.print(„ | ”);
 Serial.print(„CO2 = ”);
 Serial.println(voc.
  getCO2());
 delay(1000);
}
```

Sample Output

```
Reading the MiCS-VZ-89TE
  sensor
VOC = 0.00    | CO2 = 413.97
VOC = 135.37  | CO2 = 413.97
VOC = 270.74  | CO2 = 413.97
VOC = 1000.00 | CO2 = 420.96
```

Połączenia I²C SDA i SCL modułu są dołączone odpowiednio do pinów A4/SDA i A5/SCL Arduino. Każdy z tych pinów wymaga zewnętrznego rezystora podciągającego 4,7 kΩ do +3,3 V, ponieważ moduł MiCS-VZ-89TE sam nie zapewnia podciągania.

Znalazłem szkic Arduino i bibliotekę do odczytu poziomów CO_2 i VOC z MiCS-VZ-89TE, napisaną przez H. Grabasa i dostępną na jego stronie internetowej pod adresem https://github.com/HGrabas/MiCS-VZ-89TE.

Powyższy szkic i jego biblioteka działały tak dobrze, że dostosowałem je do stworzenia szkicu zamieszczonego poniżej wraz z serią danych wyjściowych z monitora szeregowego Arduino IDE. Aby to zadziałało, należy pobrać bibliotekę pana Grabasa z jego strony internetowej i zainstalować ją jako bibliotekę w Arduino IDE.

Po uruchomieniu moduł podaje odczyt LZO i CO_2 mniej więcej raz na sekundę. Gdy chuchnąłem na czujnik modułu, spowodowało to wzrost odczytów VOC do około 270,4 ppb (części na miliard), natomiast odczyt CO_2 ledwo przesunął się z około 414 ppm (części na milion).

Następnie rozpyliłem niewielką ilość izopropanolu (płynu do czyszczenia okularów) kilka centymetrów nad czujnikiem, powodując, że odczyt TVOC podskoczył do maksymalnej wartości 1000 ppb. Tak więc MiCS-VZ-89TE oraz szkic i biblioteka wydają się działać!

ScioSense CCS811

Innym czujnikiem MOS, który można znaleźć w kilku tanich modułach testowania jakości powietrza/gazu, jest CCS811, wyprodukowany przez ScioSense BV w Eindhoven w Holandii. CCS811 znajduje się w niewielkiej obudowie SMD o wymiarach zaledwie 4 mm × 3 mm × 1,2 mm.

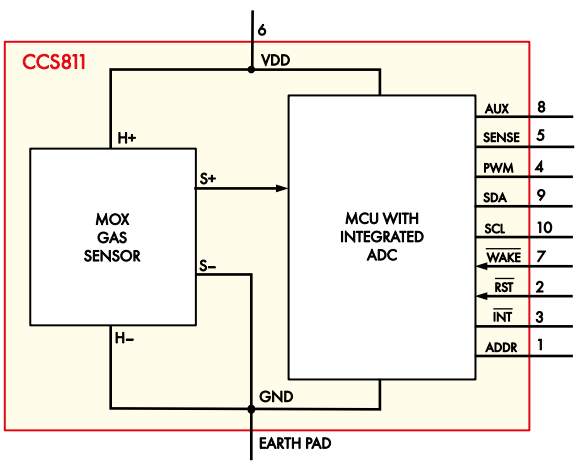
Pomimo niewielkich rozmiarów, czujnik ten zawiera zarówno przetwornik ADC, jak i specjalny MCU z wbudowanymi algorytmami konwersji, a także cyfrowy interfejs I²C do bezpośredniego połączenia z komputerem PC lub MCU, takim jak Arduino lub Micromite. Jest on opisywany przez ScioSense jako „cyfrowy czujnik gazu o bardzo niskim poborze mocy” i wykrywa szereg lotnych związków organicznych (VOC) oraz obsługuje poziomy eTVOC (równoważny całkowity VOC) i eCO_2 (równoważny CO_2).

Na **rysunku 8** przedstawiono schemat blokowy układu CCS811. Aby obwód sterowania grzałką czujnika MOX działał prawidłowo, wyprowadzenia 4 (PWM) i 5 (SENSE) muszą być połączone razem. Pin 1 (ADDR) umożliwia ustawienie adresu I²C CCS811 na 90d/5Ah (niski stan pinu ADDR) lub 91d/5Bh (wysoki stan pinu ADDR), natomiast pin AUX (8) nie ma wewnętrznego połączenia.

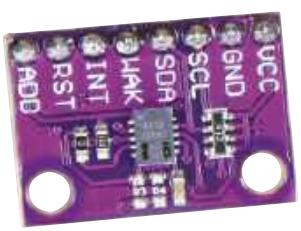
Czujnik CCS811 jest używany w wielu modułach wykrywania jakości powietrza, w tym w module Keyestudio KS0457 CO_2 Air Quali-ty, module czujnika jakości powietrza Duinotech SEN-CCS811 (Jaycar Cat XC3782), czujniku jakości powietrza Adafruit CCS811 i czujniku CO_2, temperatury i wilgotności CJMCU-811 firmy Banggood.

Na **rysunku 9** przedstawiono schemat dla wielu z tych modułów czujników CCS811. Oprócz czujnika CCS811 znajduje się na nim stabilizator napięcia REG1, który obniża doprowadzone zasilanie +5 V do napięcia 3,3 V wymaganego przez CCS811, a także MOSFET-y Q1 i Q2, które wraz z czterema rezystorami podciągającymi 10 kΩ wykonują konwersję poziomu logicznego dla cyfrowych linii komunikacyjnych I²C (SDA i SCL).

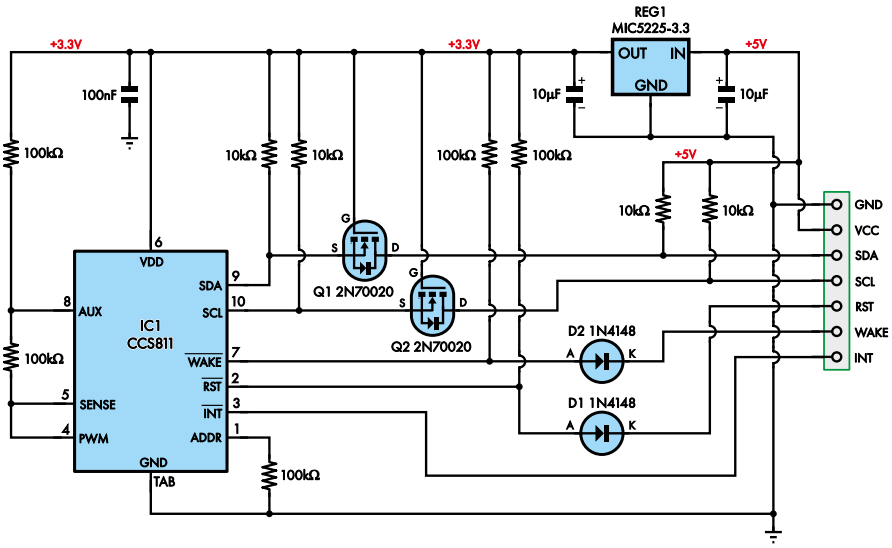
Diody D1 i D2, wraz z dwoma rezystorami podciągającymi 100 kΩ, umożliwiają podciągnięcie pinów WAKE i RST układu CCS811 do stanu niskiego. Aby układ mógł działać, pin WAKE musi być podciągnięty do masy.



Rysunek 8. Schemat blokowy modułu CCS811. Poniżej przedstawiono jeden typ tego modułu, a na kolejnej stronie pokazano jego większy wariant



eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 9. Schemat układu z modułem CCS811

Należy zauważyć, że pin 1 układu CCS811 jest ściągany do stanu niskiego rezystorem 100 kΩ w celu ustawienia adresu I²C na 90d/5Ah. Ponadto, jak wspomniano wcześniej, piny 4 i 5 są połączone razem i podciągnięte do plusa przez dwa kolejne rezystory 100 kΩ.

Nawiasem mówiąc, niektóre moduły oparte na CCS811 (takie jak CJMCU-811) mają dodatkowy pin na złączu I/O, z dodatkowym pinem podłączonym do pinu 1 CCS811 i oznaczonym jako „ADD". Umożliwia to zmianę adresu I²C modułu na 91d/5Bh poprzez podciągnięcie pinu do stanu wysokiego.

Podłączenie SEN-CCS811 i większości innych modułów jakości powietrza opartych na CCS811 do MCU, takiego jak Arduino Uno, jest dość łatwe, jak pokazano na **rysunku 10**. Piny VCC i GND łączą się z pinami +5 V i GND Arduino, natomiast pin SDA jest połączony z pinem A4/SDA Arduino, a pin SCL z pinem A5/SCL Arduino. Wreszcie, pin WAKE modułu łączy się z innym pinem GND w Arduino.

Niektóre moduły mają piny rozmieszczone w innej kolejności, więc zawsze należy upewnić się, jak jest w konkretnym przypadku.

Do obsługi szkicu komunikującego się z tymi modułami dostępnych jest kilka bibliotek Arduino. Najłatwiejszą w użyciu okazała się biblioteka Keyestudio KS0457 (CCS811.h i CCS811.cpp), zamieszczona na stronie https://fs.keyestudio.com/KS0457.

Pobrałem również szkic Keyestudio „readData.ino" i dostosowałem go do szkicu „read_CCS811_data.ino", który można pobrać ze strony Silicon Chip. Jest on jednak trochę za długi, aby tu go zamieścić.

Po prawej stronie pokazano dane wyjściowe tego szkicu. Arduino zapewnia strumień pomiarów zarówno dla stężenia eCO_2 w ppm, jak i eVOC w ppb.

W pewnym momencie dmuchnąłem w kierunku czujnika CCS811, dostarczając mu trochę dodatkowego CO_2. Spowodowało to nagły wzrost odczytów eCO_2 i eTVOC, od około 400 ppm i 1–2 ppb aż do 1743 ppm i 384 ppb sekundę później. Następnie odczyty powoli spadały.

Sample Output

```
Getting data from the
  CCS811...
eCO2: 400ppm, eTVOC: 0ppb
eCO2: 410ppm, eTVOC: 1ppb
eCO2: 414ppm, eTVOC: 2ppb
eCO2: 1743ppm, eTVOC: 384ppb
eCO2: 1345ppm, eTVOC: 143ppb
eCO2: 977ppm, eTVOC: 87ppb
```

Podsumowanie

Po wypróbowaniu kilku z tych modułów, jestem mniej przekonany do tych opartych na czujniku MQ-135 niż bazujących na czujniku Sensortech MiCS lub ScioSense CCS811. Jest tak głównie z uwagi na brak łatwego do zrozumienia i zaimplementowania oprogramowania, jeśli chcesz zrobić coś więcej niż tylko „podnieść alarm", gdy stężenie CO_2/LZO wzrośnie powyżej ustawionego „bezpiecznej" wartości.

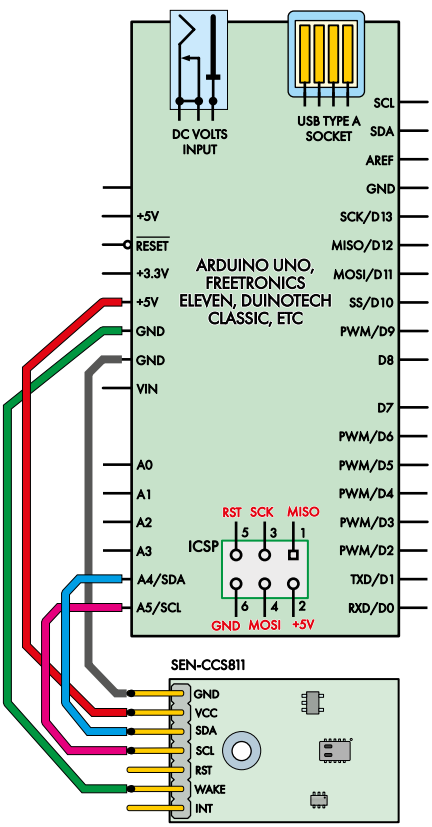
Z podobnych przyczyn nie preferuję również modułów opartych na czujniku SGX Sensortech MiCS-5524.

Ogólnie, wolę „inteligentniejsze" moduły, takie jak SGX Sensortech MiCS-VZ-89TE lub większość tych wykorzystujących czujnik CCS811. Wszystkie te moduły są znacznie łatwiejsze do zestawienia z MCU, takim jak Arduino, w roli niezawodnego czujnika CO_2/VOC.

Pierwszą nagrodę przyznałbym modułowi MiCS-VZ-89TE. Druga przypadłaby dowolnemu z modułów opartych na czujniku ScioSense CCS811, takich jak Duinotech SEN-CCS811 (Jaycar Cat XC3782), CJMCU-811 (Banggood – ID 1157216), Keyestudio KS0457 lub Adafruit CCS811 (www.adafruit.com/product/3566). ■

Jim Rowe

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



Rysunek 10. Schemat połączeń CCS811

eprasa.pl d09f51483c

Ekscytacje Maxa

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (15)

Od czasu do czasu na scenie pojawia się umysł jedyny w swoim rodzaju (przez jakieś dziwne zrządzenie losu, zdarza się to mniej więcej raz na pokolenie). Taki umysł dostrzega rzeczy wykraczające poza zrozumienie przeciętnego Kowalskiego czy Kowalskiej, rzucając jasne światło na wcześniej nieprzeniknione problemy, rozpraszając mrok i ujawniając tajemnice wszechświata.

Co? Kto? Ja?

Cóż, jesteś bardzo miły i rozumiem, jak mogłeś dojść do takiego wniosku (zwłaszcza jeśli wcześniej rozmawiałeś z moją kochaną matką), ale tak naprawdę mówiłem o angielskim matematyku Johnie Hortonie Conwayu (1937–2020), który pojawił się w pokoleniu poprzedzającym moje, uwalniając tym samym przyszłych historyków od dylematów wyboru pomiędzy nami.

Mówiąc o pokoleniach, przypomina mi się pytanie, które zadałem w artykule „Z którym pokoleniem się identyfikujesz?" (https://bit.ly/3brBsfv), gdzie pytałem: „Czy jesteś z pokolenia ciszy, wyżu demograficznego, członkiem załogi Generation Jones, milenialsem, czy też masz wytatuowane na czole „pokolenie X, Y lub Z"?". Jeśli chodzi o mnie, dumnie reprezentuję pokolenie Jonesa (poważnie; to naprawdę coś – http://bit.ly/318NfcD).

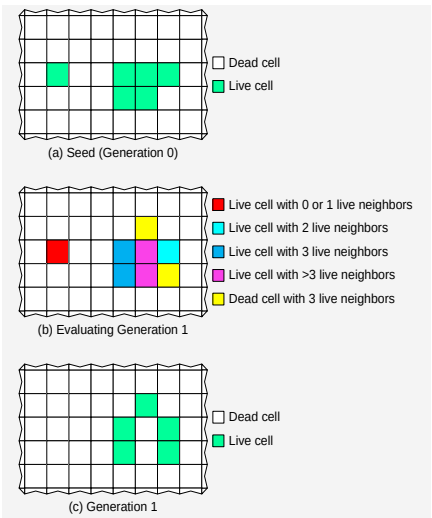
John Conway obserwujący swój program Game of Life na ekranie komputera z tamtej epoki

To żyje!

Conway był postacią, którą opisano jako „Archimedesa, Micka Jaggera, Salvadora Dali i Richarda Feynmana w jednym". Wśród jego licznych zasług dla różnych gałęzi matematyki, Conway wynalazł (może powinniśmy powiedzieć „odkrył") „liczby nadrzeczywiste". Jak zauważa Wikipedia, „sformułowane w teorii mnogości Von Neumanna-Bernaysa-Gödla, liczby nadrzeczywiste są uniwersalnym zbiorem uporządkowanym w tym sensie, że wszystkie inne zbiory uporządkowane, takie jak liczby wymierne, liczby rzeczywiste, funkcje wymierne, pole Leviego-Civity, liczby nadrzeczywiste i liczby hiperrealne, mogą być realizowane jako podpola liczb nadrzeczywistych". Cóż, banalne i oczywiste! Szczególnie interesujące dla nas jest to, że Conway był pomysłodawcą słynnego dwuwymiarowego automatu komórkowego znanego obecnie jako „Gra w życie" Hortona Conwaye'a (GOL), który wypuścił na świat w 1970 roku. „Wszechświat", w którym rozgrywa się GOL, to nieskończona, dwuwymiarowa ortogonalna siatka kwadratowych „komórek", z których każda znajduje się w jednym z dwóch możliwych stanów: „żywym" lub „martwym". Każda komórka wchodzi w interakcję ze swoimi ośmioma „sąsiadami", czyli komórkami bezpośrednio z nią sąsiadującymi poziomo, pionowo lub ukośnie.

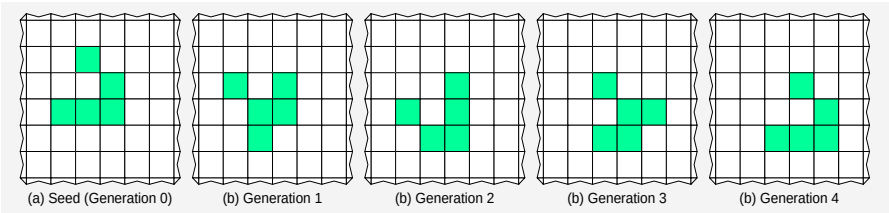
Na początku gry wszechświat jest wypełniony początkowym wzorcem, który stanowi „zalążek" systemu. Następnie gra ewoluuje z pokolenia na pokolenie zgodnie z następującymi zasadami:

1. Każda żywa komórka, która ma mniej niż dwóch żywych sąsiadów, umiera, tak jakby była niedostatecznie zaludniona.



Rysunek 1. Prosty przykład odzwierciedlający niewielką część wszechświata

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 2. Ten szybowiec przesuwa się w poprzek siatki w kierunku południowo-wschodnim

2. Każda żywa komórka z dwoma lub trzema żywymi sąsiadami żyje do następnego pokolenia.
3. Każda żywa komórka z więcej niż trzema żywymi sąsiadami umiera, tak jakby z powodu przeludnienia.
4. Każda martwa komórka z dokładnie trzema żywymi sąsiadami staje się żywą komórką, tak jakby ożyła.

Pierwsze pokolenie jest tworzone poprzez zastosowanie powyższych zasad jednocześnie do każdej komórki w pokoleniu nasiennym. Narodziny i śmierć następują jednocześnie, a dyskretny moment, w którym to się dzieje, jest nazywany krokiem. Każde pokolenie jest czystą funkcją poprzedniego. Reguły są stosowane wielokrotnie w celu tworzenia kolejnych pokoleń.

Rozważmy prosty przykład, aby pobudzić nasze umysły (nie martw się, wszystko wyjaśnimy później). Zaczniemy od przyjrzenia się małej części wszechświata, która została ustawiona tak, jak pokazano na **rysunku 1a**. Uznamy to za generację 0. Następnie zaczniemy oceniać nową generację, która w tym przypadku będzie generacją 1 (**rysunek 1b**). Jak widzimy, jest jedna żywa komórka, która nie ma żadnych sąsiadów, więc ta komórka nie przejdzie do następnej generacji (jakby przez niedostateczną populację). Mamy jedną żywą komórkę, która ma dwóch żywych sąsiadów i dwie żywe komórki, które mają trzech żywych sąsiadów, z których wszystkie przetrwają do następnego pokolenia. Mamy dwie żywe komórki z czterema żywymi sąsiadami, co oznacza, że nie przetrwają (jak w przypadku przeludnienia). Mamy też dwie martwe komórki, które mają trzech żywych sąsiadów, więc ożyją one w następnym pokoleniu (tak jakby w wyniku reprodukcji). Gdy zastosujemy wszystkie te zasady, nowe pokolenie, Generacja 1, będzie wyglądać tak, jak pokazano na **rysunku 1c**.

Chociaż GOL może początkowo wydawać się prosta, jest to zwodnicze, ponieważ istnieją ukryte warstwy wyrafinowania. Na przykład, różne grupy żywych komórek mogą skutkować bardzo różnymi zmianami z pokolenia na pokolenie. Niektóre wzorce są znane jako stabilne, ponieważ nie zmieniają się z pokolenia na pokolenie, chyba że coś taki proces zakłóci. Nieco bardziej skomplikowane są „oscylatory", które powracają do stanu początkowego po pewnej skończonej liczbie pokoleń.

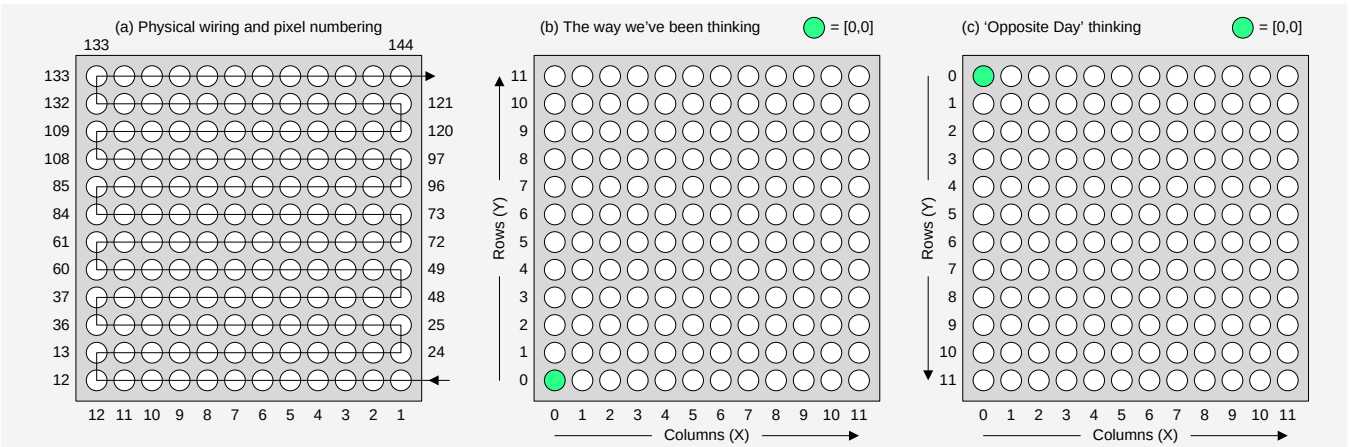
Sprawy zaczynają się robić naprawdę interesujące, gdy napotykamy wzorce, które mogą się przemieszczać we wszechświecie (siatka lub tablica). Pierwszy z tych wzorów, a zarazem najprostszy, nazywany jest „szybowcem" (glider), który został odkryty przez Richarda Guya w 1970 roku. Rozważmy szybowiec pokazany na **rysunku 2**. Po czterech generacjach widzimy, że oryginalny wzór pojawia się ponownie, ale przesuwa się o jedną komórkę w prawo i jedną komórkę w dół w porównaniu do jego pierwotnej lokalizacji w generacji 0. Jeśli będziemy kontynuować, szybowiec będzie nadal przemierzał tablicę.

Kiedy po raz pierwszy spotkasz się z zasadami GOL, możesz pomyśleć, że są one stosunkowo łatwe do zdefiniowania. W rzeczywistości Conway i jego koledzy potrzebowali wiele czasu i wysiłku umysłowego, aby osiągnąć idealną równowagę, która nie spowodowałaby gwałtownego niedostatecznego lub nadmiernego zaludnienia gry. Niesamowite dla mnie jest to, że Conway nie miał dostępu do komputera, kiedy opracowywał te zasady. Zamiast tego użył planszy i elementów z gry Go do eksperymentowania z alternatywnymi scenariuszami. (Jeśli chcesz dowiedzieć się więcej o Conwayu, jedną z książek, które naprawdę mi się podobały (ale które mogą już nie być dostępne) jest Genius at Play: The Curious Mind of John Horton Conway autorstwa Siobhan Roberts: https://amzn.to/3kSZCT5).

Wielkie (pingpongowe) piłki życia!

Zamierzamy teraz zaimplementować prosty GOL na naszej tablicy 12×12, ale od razu napotykamy problem, którym jest skromny rozmiar naszego wszechświata (tablicy). Czy pamiętasz, jak wcześniej zauważyliśmy, że „wszechświat GOL jest nieskończoną, dwuwymiarową ortogonalną siatką kwadratowych komórek"? Cóż, nasz wszechświat ma tylko 12×12 komórek, co niektórzy mogą uznać za nieco mniej imponujące niż „nieskończone".

Oczywiście termin „nieskończony" dotyczy teoretycznego GOL. W praktyce każdy twórca GOL musi radzić sobie z ograniczonym wszechświatem w taki czy inny sposób. W poprzednim odcinku tego cyklu omówiliśmy trzy sposoby, w jakie możemy traktować krawędzie naszego wszechświata. Pierwszą opcję nazwaliśmy „Idźmy dalej". Pomysł



Rysunek 3. Witamy w myśleniu „przeciwnego dnia"

eprasa.pl d09f51483c

polega na tym, że gdy coś takiego jak szybowiec w GOL dociera do krawędzi tablicy, znika z obrazu, a my wszyscy wzruszamy ramionami i udajemy, że zmierza w zaświaty.

Naszą drugą opcję określiliśmy jako „Odbijanie się od krawędzi". Jak sama nazwa wskazuje, gdy coś osiągnie krawędź tablicy, odbija się z powrotem do jej wnętrza. Chociaż było to łatwe do osiągnięcia w przypadku pojedynczych pikseli omówionych w poprzednim odcinku, byłoby to o wiele trudniejsze do wdrożenia w przypadku czegoś takiego jak szybowiec w GOL. Gdybyśmy desperacko chcieli zrealizować scenariusz „odbijania się od krawędzi" w naszej symulacji GOL, jednym z podejść, które moglibyśmy wypróbować, byłoby zaimplementowanie 1-pikselowego pasma wyimaginowanych pikseli otaczających naszą tablicę zawierającą wirtualne komórki, które są stale żywe (lub martwe).

Naszą trzecią opcją był scenariusz „zakrzywionej czasoprzestrzeni", w którym wyobrażamy sobie wszechświat (w postaci naszej tablicy pingpongowej) jako zwinięty w pionowy cylinder, tak że prawa strona jest połączona z lewą, a jednocześnie zwinięty w poziomy cylinder, tak że górna strona jest połączona z dolną. W tym scenariuszu, gdy coś takiego jak na przykład nasz szybowiec w GOL przechodzi przez prawą krawędź naszej tablicy, pojawi się ponownie po lewej stronie tablicy. To właśnie ten scenariusz „zakrzywionej czasoprzestrzeni" zamierzamy zaimplementować dla naszego GOL.

Dzień przeciwny

Czy kiedykolwiek oglądałeś amerykański serial animowany SpongeBob Kanciastoporty? W jednym z odcinków sezonu 1 Kałamarnica mówi SpongeBobowi, że jest „Dzień Przeciwieństw", co oznacza, że wszyscy muszą zachowywać się odwrotnie niż zwykle. Wspominam o tym, ponieważ – jak można sobie przypomnieć z naszych wcześniejszych dyskusji na temat fizycznej konstrukcji matrycy (EdW, marzec 2024) – patrząc od przodu, piksele są połączone w sposób serpentynowy, zaczynając od prawego dolnego rogu i przesuwając się tam i z powrotem, aż dotrzemy do prawego górnego rogu (**rysunek 3a**).

W rzeczywistości piksele te są ponumerowane od 1 do 144 (mamy również „ofiarny" piksel 0, który działa jako przełącznik poziomu napięcia i nie jest widoczny z przodu tablicy). Na początku zdecydowaliśmy się wizualizować tablicę jako zawierającą 12 kolumn (oś X) i 12 wierszy (oś Y), obie ponumerowane od 0 do 11, z lokalizacją [X,Y] = [0,0] pojawiającą się w lewym dolnym rogu tablicy (**rysunek 3b**). Następnie stworzyliśmy funkcję `GetNeoNum()`, która akceptuje wartości X i Y i zwraca odpowiedni numer (`iNeo`) piksela w tablicy. Istota tej funkcji, której używamy we wszystkich naszych programach od samego początku, była następująca (gdzie `NUM_XY` jest zdefiniowane jako 12):

```
iNeo = yInd * NUM_XY;

if ( (yInd % 2) == 0)
{ // Rząd parzysty
 iNeo = iNeo + (12 - xInd);
}
else
{ // Nieparzysty rząd
 iNeo = iNeo + (xInd + 1);
}
```

Aby przypomnieć sobie, jak to działa, zanotuj kilka przykładowych kombinacji [X,Y] na kartce papieru, a następnie przeanalizuj w myślach działanie tej funkcji. Na przykład, jeśli założymy, że [X,Y] = [0,0], to gdy zastosujemy te wartości do naszej funkcji, zwróci ona 12, co jest fizycznym numerem piksela w lewym dolnym rogu. Hurra!

Jeśli chodzi o naszą implementację GOL, z powodów, które staną się jasne za chwilę, ulokujemy punkt początkowy [X,Y] = [0,0] w lewym górnym rogu, co znacznie ułatwi nam życie (**rysunek 3c**).

W tym celu najprościej będzie zmodyfikować funkcję `GetNeoNum()` tak, aby zwracała wartości w nowy sposób, zgodnie z naszymi aktualnymi potrzebami. Spróbuj pomyśleć nad zmianami, które należałoby do obecnej funkcji `GetNeoNum()` wprowadzić (moje rozwiązanie znajdziesz na końcu tego artykułu).

Szczęśliwy taniec czy kiepski dzień?

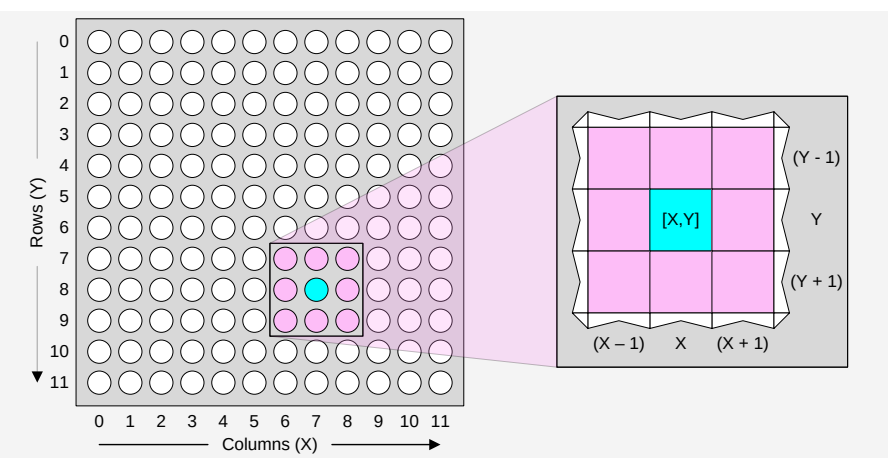
Zanim rzucimy się w wir walki pełnej zapału i zaangażowania, zatrzymajmy się na chwilę, aby zastanowić się i przemyśleć to, co chcemy zrobić. Jeśli chodzi o ocenę, które komórki wykonają swój „szczęśliwy taniec", a które będą miały „kiepski dzień" w następnym pokoleniu, jednym z naszych zadań będzie określenie, ilu żywych sąsiadów ma obecnie każda komórka.

Zacznijmy od prostego eksperymentu myślowego. Załóżmy, że interesuje nas tylko pojedyncza komórka o referencji [X,Y], która znajduje się gdzieś w środku naszej tablicy i chcemy określić, ilu jej sąsiadów jest żywych (**rysunek 4**).

Na potrzeby tego eksperymentu załóżmy, że zadeklarowaliśmy dwuwymiarową (2D) tablicę komórek o nazwie `Cells[NUM_Y][NUM_X]`, gdzie `NUM_Y i NUM_X` zostały zdefiniowane jako 12. Z powodów, które w dalszej części staną się oczywiste, będziemy wizualizować tę tablicę jako przedstawioną w postaci `Cells[Y][X]` (w przeciwieństwie do `Cells[X][Y]`, co byłoby nieco bardziej intuicyjne). Załóżmy również, że komórki te mogą znajdować się w jednym z dwóch stanów: `ALIVE` (żywe) lub `DEAD` (martwe). Ponadto załóżmy, że zadeklarowaliśmy liczbę całkowitą o nazwie numNeigh, w której będziemy rejestrować liczbę sąsiednich komórek, które są żywe. Jeśli nie musimy uwzględniać efektów na krawędziach, możemy po prostu zastosować wartości `dY` („delta Y") i `dX` („delta X"), z których każda mieści się w zakresie od -1 do +1 w następujący sposób:

```
numNeigh = 0;

for (int dY = -1; dY <= 1; dY++)
   for (int dX = -1; dX <=1; dX++)
     if ( !( (dX == 0) && (dY == 0) ) )
       if (Cells[Y + dY][X + dX] == ALI VE)
           numNeigh = numNeigh + 1;
```



Rysunek 4. Gdybyśmy tylko nie musieli brać pod uwagę krawędzi

eprasa.pl d09f51483c

Działa to w ten sposób, że zagnieżdżone pętle `for()` prowadzą nas przez każdą z dziewięciu komórek w „klastrze" wyśrodkowanym na komórce w [X,Y]. Pierwsze sprawdzenie warunku `if()` gwarantuje, że nie liczymy samej komórki w [X,Y]. Drugie sprawdzenie warunku `if()` weryfikuje, czy otaczająca komórka jest `ALIVE`, a jeśli tak, zwiększa liczbę żywych sąsiadów.

Zanim przejdziemy dalej, przypomnijmy sobie, że w nie tak odległej przeszłości mikrokontrolery były znacznie mniej wydajne niż obecnie. W tamtych czasach ważne było oszczędzanie każdego cyklu zegara i/lub miejsca w pamięci. W rzeczywistości może to nadal mieć miejsce w niektórych dzisiejszych rzeczywistych systemach. Zakładając, że naszym celem jest zminimalizowanie cykli zegara, jak możemy zmodyfikować powyższy fragment kodu? Cóż, jeden ze sposobów byłby następujący:

```
if (Cells[Y][X] == ALIVE)
   numNeigh = -1;
else
   numNeigh = 0;

for (int dY = -1; dY <= 1; dY++)
   for (int dX = -1; dX <=1; dX++)
      if (Cells[Y + dY][X + dX] == ALIVE)
         numNeigh = numNeigh + 1;
```

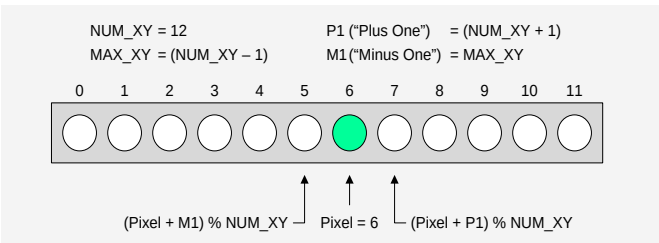
To, co zrobiliśmy, to usunięcie sprawdzania warunku, który gwarantuje, że nie liczymy samej komórki w [X,Y] poza zagnieżdżoną pętlą, w której był wykonywany dziewięć razy. Zamiast tego zastąpiliśmy go pojedynczym sprawdzeniem warunku poza pętlą, który wykorzystuje stan tej komórki do zainicjowania naszej zmiennej `numNeigh`. Jeśli komórka [X,Y] jest żywa, ustawiamy `numNeigh` na –1, co oznacza, że kiedy przychodzi do liczenia tej komórki w zagnieżdżonej pętli, przyrost anuluje się, jeśli rozumiesz, co mam na myśli.

Opanuj modulo

Oczywiście musimy poradzić sobie z komórkami na krawędzi tablicy. Przypomnijmy sobie, jak radziliśmy sobie z tym w poprzednim odcinku. Czysto dla celów przedstawienia przykładu, rozważmy pojedynczy rząd 12 piłeczek pingpongowych ponumerowanych od lewej do prawej od 0 do 11. Załóżmy teraz, że patrzymy na piksel 6 (**rysunek 5**).

Nie będę powtarzał naszych poprzednich dyskusji. Ważne jest to, że jeśli patrzymy na piksel 6, to piksel po lewej stronie będzie miał wartość `(Piksel + M1) % NUM_XY`, co odpowiada (6 + 11) % 12 = 17 % 12 = 5. Podobnie, piksel po prawej stronie będzie miał wartość `(Piksel + P1) % NUM_XY`, co odpowiada (6 + 13) % 12 = 19 % 12 = 7.

Ważną częścią tego wszystkiego jest to, że technika ta implementuje nasz zakrzywiony wszechświat czasoprzestrzenny. Na przykład w przypadku piksela 11, piksel po prawej stronie będzie równy (11 + 13) %12 = 24 %12 = 0. Podobnie w przypadku piksela 0, piksel po lewej stronie będzie równy (0 + 11) % 12 = 11 % 12 = 11. Po raz kolejny czuję, że trochę „tadam!" nie zaszkodzi.



Rysunek 5. Mistrzowski operator % modulo

Niestety, pojawia się drobny problem, ponieważ nie możemy już bezpośrednio używać wartości delta `dX` i `dY` w zakresie od –1 do +1. Z drugiej strony jest to niewielki problem. Załóżmy, że zdefiniowaliśmy już nasze wartości `M1` i `PI`, jak pokazano na rysunku 5. Ponadto zdefiniowaliśmy `NUM_DELTAS` („liczba wartości delta") jako 3. Rozważmy następujący fragment kodu, który będzie działał dla każdej komórki w tablicy, w tym dla komórek na krawędziach:

```
int Deltas[NUM_DELTAS] = {M1, 0, P1};

if (Cells[Y][X] == ALI VE)
   numNeigh = -1;
else
   numNeigh = 0;

for (int dY = 0; dY < NUM_D VALS; dY++)
  for (int dX = 0; dX < NUM_D VALS; dX++)
  {
     int tX = (X + Deltas[dX]) % NUM_XY;
     int tY = (Y + Deltas[dY]) % NUM_XY;

     if (Cells[tY][tX] == ALI VE)
        numNeigh = numNeigh + 1;
  }
```

Nie wiem jak Wy, ale ja patrząc na to wszystko myślę, że wygląda to prawie tak, jakbyśmy mieli jakiś plan. Jeśli tak myślisz, to niestety się mylisz, ponieważ dosłownie wymyślam to na bieżąco.

Jeden to najbardziej samotna liczba

Czy pamiętasz piosenkę „One" (bardziej znaną jako „One is the loneliest number"), która została oryginalnie napisana i nagrana przez Harry'ego Nilssona? Piosenka ta została spopularyzowana przez amerykański zespół rockowy Three Dog Night, którego nagranie w tonacji f-moll dotarło do piątego miejsca na amerykańskiej liście Billboard Hot 100 w 1969 roku.

Szczerze nienawidzę tej piosenki. Wspomniałem o niej, ponieważ przypomniałem sobie, że wszystko, co zrobiliśmy do tej pory, to rozważenie przetwarzania pojedynczej, ręcznie wybranej komórki. Będziemy musieli to skalować, aby ocenić każdą komórkę w naszej tablicy. Ponadto będziemy musieli wykorzystać te informacje, aby określić, które komórki będą żyć, a które umrą w następnym pokoleniu.

Na tym etapie dobrym pomysłem byłoby wydrukowanie całego szkicu (programu), aby móc śledzić jego działanie (plik CB-May21-01.txt, który jest dostępny na stronie PE z maja 2021 r. https://bit.ly/3oouhbl). Nie będziemy tutaj omawiać całego programu, ale rzućmy okiem na kilka kluczowych elementów.

Najpierw deklarujemy dwa typy wyliczeniowe, jak pokazano poniżej. Pojęcia `typedef` (definicje typów), `enum` (typy wyliczeniowe) i `struct` (struktury) wprowadziliśmy wcześniej w EdW, lipiec 2024.

```
typedef enum nGenOptions
{
   ALIVE,
   DEAD
};

typedef enum xGenOptions
```


eprasa.pl d09f51483c

```
int Seed[NUM_Y][NUM_X] =
{                                //  Y  |  X   |
    {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},  //  0  0 <-> 11
    {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},  //  1  0 <-> 11
    {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},  //  2  0 <-> 11
    {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},  //  3  0 <-> 11
    {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},  //  4  0 <-> 11
    {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},  //  5  0 <-> 11
    {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},  //  6  0 <-> 11
    {0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0},  //  7  0 <-> 11
    {0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0},  //  8  0 <-> 11
    {1,1,1,0,0,0,0,0,0,0,0},  //  9  0 <-> 11
    {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0}, // 10  0 <-> 11
    {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0}  // 11  0 <-> 11
};
```

Rysunek 6. Przykładowa tablica Seed

```
{
   STAYING_ALI VE,
   COMING_DEAD,
   STAYING_DEAD,
   COMING_ALI VE
};
```

Definiujemy również strukturę o nazwie `CellData`, a następnie deklarujemy dwuwymiarową (2D) tablicę o nazwie `Cells[][]`, gdzie każdy element tablicy jest kopią naszej struktury w następujący sposób (`nGenState` to stan komórek w bieżącej generacji; `xGenState` to to, czego użyjemy do zdefiniowania stanu w następnej generacji; a `numNeigh` to liczba żywych sąsiadów):

```
typedef struct CellData
{
   nGenOptions nGenState;
   xGenOptions xGenState;
   int          numNeigh;
};

CellData Cells[NUM_Y][NUM_X];
```

Pamiętasz, jak wcześniej powiedzieliśmy: „Zamierzamy wizualizować tę tablicę jako przedstawioną w postaci `Cells[Y][X]` (w przeciwieństwie do `Cells[X][Y]`, co byłoby nieco bardziej intuicyjne)”. Cóż, w tym miejscu odkrywamy uzasadnienie tego schematu, a także to dlaczego zdecydowaliśmy się myśleć o naszej tablicy w konfiguracji „Przeciwny dzień”.

Jedną z rzeczy, które chcemy być w stanie zrobić, jest załadowanie naszej tablicy z początkową konfiguracją „Seed”. Sposób, w jaki zdecydowałem się określić to ziarno, to tablica 2D liczb całkowitych, jak pokazano na **rysunku 6**. Zauważ, że określiłem glider/latawiec (pokazany jako czerwone znaki „1”) w lewym dolnym rogu. Możesz zobaczyć ten latawiec w akcji na filmie, który właśnie nagrałem: https://bit.ly/3bMZbGQ

Z punktu widzenia kompilatora C/C++, gdy deklarujemy tablicę 2D, pierwszy indeks jest dla wierszy (nasza oś Y, z Y = 0 na górze i Y = 11 na dole), a drugi indeks jest dla kolumn (nasza oś X, z X = 0 po lewej i X = 11 po prawej).

Teraz wszystko staje się jasne. Kiedy określamy wzorzec początkowy w naszej tablicy `Seed[][]`, chcemy, aby ten wzorzec był replikowany „tak jak jest” w fizycznej tablicy, w przeciwnym razie spędzimy sporo czasu na wykonywaniu gimnastyki umysłowej, próbując w myślach stale konwertować jedną reprezentację na inną (a obawiam się, że moje dni najlepszej gimnastycznej sprawności dawno już przeminęły). W ten sam sposób, w jaki nie ma sensu szczekać, gdy ma się psa, nie ma też sensu przyprawiać się o ból głowy, wykonując szalone transformacje, gdy mamy komputer, który zrobi to za nas.

Myślę, że reszta programu będzie łatwa do zrozumienia. Jak zobaczysz, oprócz funkcji `GetNeoNum()`, zadeklarowaliśmy cztery inne funkcje. Funkcja `InitializeUniverse()` ładuje bieżącą generację (w tym przypadku generację 0) do naszej tablicy `Cells[][]` z wartościami `ALIVE` lub `DEAD`, zgodnie z definicją w naszej tablicy `Seed[][]`. Funkcja `EvaluateNextGeneration()` skanuje bieżącą generację w celu określenia liczby żywych sąsiadów dla każdej komórki, po czym decyduje, co każda komórka zrobi w następnej generacji. Jeśli komórka jest obecnie żywa, dwie opcje to pozostanie żywą lub śmierć; jeśli komórka jest obecnie martwa, dwie opcje to pozostanie martwą lub ożywienie.

Funkcja `UpdateCurrentGeneration()` pobiera wyniki z funkcji `EvaluateNextGeneration()` i wykorzystuje je do zdefiniowania następnej generacji, czyli nowej bieżącej generacji. Wreszcie, funkcja `DisplayCurrentGeneration()` pobiera dane bieżącej generacji i wyświetla je na fizycznej tablicy.

Po zainicjowaniu NeoPikseli poprzez wyłączenie ich wszystkich, funkcja `setup()` wywołuje funkcję `InitializeUniverse()`, a następnie funkcję `DisplayCurrentGeneration()`, po czym zatrzymujemy się na kilka sekund, aby zadbać o to, by to, co widzimy na fizycznej tablicy, było tym, czego spodziewaliśmy się zobaczyć, jak określono w naszej tablicy `Seed[][]`. Następnie funkcja `loop()` cyklicznie wywołuje funkcje `EvaluateNextGeneration()`, `UpdateCurrentGeneration()` i `DisplayCurrentGeneration()`.

W następnym odcinku...

W naszych wcześniejszych eksperymentach z tablicą płynnie zmienialiśmy kolor z jednego na inny. Rozważmy sekwencję glider pokazaną na rysunku 2. Jak moglibyśmy zmodyfikować nasz kod, aby zmieniał się płynnie od jednego wzoru do drugiego, w przeciwieństwie do obecnie zastosowanych gwałtownych zmian? Rozważ również sekwencję pokazaną na rysunku 1. Jak moglibyśmy zmodyfikować nasz program, aby (a) wyświetlić pośrednie (półgeneracyjne) kroki, (b) użyć kolorów, aby odzwierciedlić cztery przypadki pozostania przy życiu, pozostania martwym, ożywienia i śmierci oraz (c) zrobić to wszystko przy użyciu naszych technik przenikania?

W następnym odcinku odpowiemy na te pytania, po czym zaczniemy przyglądać się nowej formie wyświetlania, która – jeśli masz tak jak ja – sprawi, że zaczniesz wydawać okrzyki zachwytu. Do tego czasu, miłego oglądania!

Rozwiązanie `GetNeoNum()`

Modyfikacje, które musimy wprowadzić do naszej funkcji `GetNeoNum()`, aby odzwierciedlić nasz światopogląd „dnia przeciwnego”, są łatwe do wykonania. Wszystko, co musimy zrobić, to dodać następującą instrukcję przed każdą z istniejących instrukcji (gdzie `MAX_XY` jest zdefiniowane jako 11):

```
yInd = MAX_XY - yInd;
```

Teraz, jeśli założymy, że [X,Y] = [0,0], to gdy zastosujemy te wartości do naszej zmodyfikowanej funkcji, zwróci ona 133, czyli fizyczny numer piksela w lewym górnym rogu. Hip, hip, hurra! ■

Clive „Max” Maxfield

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „Practical Electronics”, maj 2021 (www.epemag3.com)

eprasa.pl d09f51483c

Interfejs MIDI

Do tworzenia muzyki stosuje się powszechnie elektroniczne instrumenty muzyczne wyposażone w wejście MIDI. Aby „zwykłe" urządzenie elektroniczne mogło uruchomić dźwięk w instrumencie, niezbędny jest interfejs MIDI – specjalny układ prądowego łącza szeregowego.

Wprowadzenie do MIDI. Muzyczna sieć

Obecnie praktycznie wszystkie elektroniczne instrumenty muzyczne są w pełni cyfrowe. W technice cyfrowej wymiana informacji jest znacznie łatwiejsza niż w analogowej. A formaty cyfrowej transmisji można łatwo standaryzować! W pewnym momencie pojawił się więc świetny pomysł. Możliwe byłoby współgranie (dosłownie!) różnych cyfrowych elektronicznych instrumentów muzycznych, gdyby tylko udało się uzgodnić jakiś międzynarodowy standard komunikacji między nimi. Zgodnie z tym pomysłem, cyfrowy syntezator i cyfrowy automat perkusyjny dawałyby się sterować przez jednego „elektronicznego dyrygenta". Dzięki temu możliwe byłoby na przykład „dyrygowanie" całą elektroniczną orkiestrą ze zwykłego komputera. Oczywistym wyborem był jeden ze standardów komunikacji używanych w technice komputerowej, ponieważ wszystkie cyfrowe instrumenty muzyczne mają wbudowany jakiś mikrokontroler.

MIDI – magistrala wywodząca się z RS-232

Na tym polega pomysł – magistrala szeregowa wywodząca się ze standardu RS-232C, umożliwiająca wysyłanie danych do i z instrumentów muzycznych zawierających mikrokontrolery. Prawie wszystkie syntezatory, automaty perkusyjne, klawiatury sterujące, organy, sekwencery itp. są standardowo wyposażone w co najmniej jedno złącze MIDI. A wszystkie systemy operacyjne komputerów PC mogą odtwarzać „pliki MIDI".

Co to jest MIDI?

MIDI to skrót od „Musical Instrument Digital Interface". Jest to międzynarodowy standard, uzgodniony w 1983 roku, który pozwala elektronicznym instrumentom muzycznym komunikować się ze sobą. Słowo „komunikować się" przywodzi na myśl tworzenie sieci. Rzeczywiście, standard MIDI został zaprojektowany tak, aby można go było łatwo wykorzystać do utworzenia sieci muzycznej. System wywodzi się z tradycyjnego protokołu RS-232C. Istnieją jednak istotne różnice sprzętowe i programowe między standardem RS-232C a standardem MIDI.

Standard MIDI 1.0

Oryginalny standard ma numer wersji 1.0. Jest bardzo przejrzysty i łatwy do zrozumienia. Standard ten pozwala na połączenie w sieci MIDI do szesnastu rozróżnialnych urządzeń.

Wprowadzenie do protokołu

Niniejszy artykuł nie dotyczy co prawda oprogramowania MIDI czyli protokołu komunikacyjnego, lecz strony sprzętowej. Tym niemniej zaprezentujemy krótki wgląd w strukturę poleceń MIDI.

Każda transmisja MIDI składa się z bajtów (słów 8-bitowych). Najpierw jest wysyłany tzw. bajt statusu. Pozwala on rozróżnić, czy:

Rysunek 1. Przykładowy schemat połączeń MIDI (© 2019 Jos Verstraten)

- dane są przeznaczone dla wszystkich dołączonych urządzeń;
- dane są przeznaczone dla jednego konkretnego urządzenia;
- dane są przeznaczone dla jednego głosu urządzenia wielogłosowego.

Następnie mogą się pojawić bajty danych, na przykład określające:

- numer wciśniętego klawisza klawiatury;
- szybkość naciśnięcia klawisza;
- siłę dociskania klawisza.

Podstawowy system MIDI

Sprzętowo standard MIDI opiera się na połączeniach kablem dwużyłowym. Są trzy rodzaje gniazd:

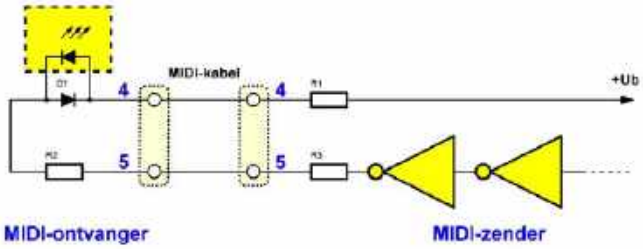
- MIDI IN (wejście);
- MIDI OUT (wyjście);
- MIDI THRU (wyjście kopii danych odebranych na wejściu).

Dzięki wyjściom MIDI THRU można w bardzo prosty sposób skonfigurować sieć muzyczną.

Podstawowa konfiguracja systemu MIDI została przedstawiona na **rysunku 1**. Ze sterownika (którym może być komputer lub tzw. sekwencer) dane są wysyłane przez wyjście MIDI OUT do wejścia MIDI IN pierwszego urządzenia w łańcuchu. Urządzenie odbiera i przetwarza te dane, a równocześnie może je przekazywać bez zmian dalej przez wyjście MIDI THRU. Pierwsze urządzenie może też przez MIDI OUT wysyłać swoje dane do wejścia MIDI IN sterownika. Jest to możliwość opcjonalna i istnieje wiele sieci MIDI, w których nie jest ona wykorzystywana. Układ sterujący nazywany jest „urządzeniem nadrzędnym" (master), a każdy z pozostałych elementów systemu – „urządzeniem podrzędnym" (slave).

W ten sposób można podłączyć do mastera zasadniczo do szesnastu różnych urządzeń. Od Red EdW: urządzeń można podłączyć więcej, ale tylko 16 różnych da się indywidualnie „zaadresować". Mogą to być syntezatory, ale także elektroniczne automaty perkusyjne, „rhythm box'y" itp. Możliwe jest więc sterowanie z jednego mastera całą elektroniczną orkiestrą!

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 2. Pętla prądowa połączenia MIDI (© 2019 Jos Verstraten)

Elektronika MIDI. Szybka wersja standardu RS-232C

Protokół komunikacyjny MIDI to w zasadzie nic innego jak zmodyfikowana wersja standardowego protokołu szeregowego RS-232C. Istnieją jednak pewne znaczące różnice. Po pierwsze, MIDI działa z prędkością 31,25 kbaud (31250 bitów na sekundę – Red. EdW), co jest znacznie szybsze niż standardowe 9,6 kbaud, z którym działa RS-232C. Jednak dla rozbudowanych sieci MIDI nawet prędkość 31,25 kbaud jest zbyt mała. Mogą powstawać duże opóźnienia między transmisją a odpowiedzią urządzeń podrzędnych. Problem ten jest jednak technicznie dość łatwy do rozwiązania poprzez włączenie do sieci tak zwanego „ekspandera", realizującego układ połączeń „w gwiazdę" (o tym później).

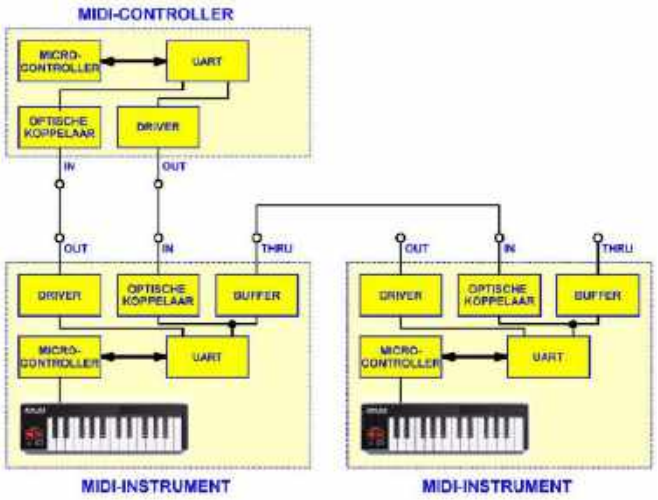
Pętla prądowa ze sprzężeniem optycznym

Standard transmisji MIDI nie opiera się na napięciach, ale na prądach. Interfejs MIDI można traktować jako pętlę prądową, w której płynie prąd o natężeniu 0 lub 5 mA. Drugą ważną cechą jest to, że prąd ten jest przekształcany w urządzeniu odbiorczym na sygnał napięciowy zawsze za pomocą sprzęgacza optycznego (transoptora). Dzięki temu zachodzi pełna separacja galwaniczna między urządzeniami podłączonymi do sieci MIDI (przynajmniej od strony interfejsu komunikacyjnego – Red. EdW). Jest to bardzo ważne, ponieważ w praktyce często zdarza się, że nie wszystkie urządzenia są podłączone do uziemionego gniazda. Pomiędzy obudowami tych urządzeń mogą wówczas występować dość duże różnice napięć. Bez pełnej separacji galwanicznej mogłoby to powodować poważne problemy! Od Red. EdW: separacja galwaniczna pozwala też uniknąć pętli mas. „Analogowe" masy wszystkich urządzeń są zwykle połączone ze sobą w stole mikserskim. Transoptory zapobiegają dodatkowemu łączeniu się ze sobą mas „cyfrowych", co mogłoby powodować spore zakłócenia.

Podstawowy układ pętli prądowej MIDI przedstawiono na **rysunku 2**. Pin 4 wyjścia MIDI OUT nadajnika (po prawej stronie rysunku) jest podłączony przez rezystor do dodatniego napięcia zasilania. Pin ten jest dołączony kablem do pinu 4 złącza MIDI IN odbiornika (po lewej). Transoptor jest wysterowany prądem płynącym od pinu 4 do pinu 5 złącza. Prąd pinu 5 wraca przez kabel do pinu 5 złącza MIDI OUT nadajnika. Tam zwykle znajduje się rezystor szeregowy oraz tranzystor kluczujący lub bramka (zwykle z wyjściem „otwarty kolektor"), która „ściąga" prąd do masy. Gdy przez zamknięty obwód przepływa prąd, zapala się dioda LED w transoptorze. Antyrównolegle do tej diody jest dołączona zwykła dioda krzemowa, np. 1N4148, służąca do zabezpieczenia transoptora.

Logika ujemna

Ważną właściwością łącza MIDI jest to, że działa ono z logiką ujemną. Pętla prądowa jest sterowana napięciami logicznymi. W większości przypadków są to standardowe poziomy logiczne TTL, oznaczane przez „L" i „H". „L" oznacza napięcie mniejsze niż +0,4 V, a „H" – większe niż +2,4 V. Prąd w połączeniu MIDI popłynie, gdy do wejścia układu z otwartym kolektorem zostanie przyłożony poziom logiczny „L".



Rysunek 3. Elektroniczne bloki układów MIDI (© 2019 Jos Verstraten)

Rozszerzony schemat MIDI

W oparciu o to, czego dowiedzieliśmy się do tej pory, możemy podstawowy schemat z rysunku 1 rozrysować bardziej szczegółowo. Połączenie MIDI między sterownikiem a dwoma instrumentami może wyglądać tak, jak narysowano na schemacie blokowym na **rysunku 3**. Z tego schematu wynika jedna ważna cecha: przy złączu MIDI IN jest zawsze transoptor. Z kolei część sterująca przy złączu MIDI OUT zawiera tranzystor lub bramkę, która wymusza przepływ prądu w pętli. Podobnie jest zrealizowane wyjście MIDI THRU, wysyłające buforowane dane odbierane z MIDI IN. Nie ma więc jednej dużej pętli prądowej obejmującej całą sieć MIDI, lecz jest szereg pętli mniejszych. Pierwsza pętla prądowa występuje między sterownikiem a urządzeniem 1. Steruje ona za pośrednictwem bufora drugą pętlę prądową między urządzeniem 1 a urządzeniem 2, i tak dalej. Cechą tego układu jest to, że w długim łańcuchu MIDI sygnał będzie przechodził przez kilka lub kilkanaście transoptorów. Elementy te nie są zbyt szybkie, w wyniku czego w systemie mogą wystąpić dość duże opóźnienia. Od Red. EdW: opóźnienia te wynoszą najwyżej kilka µs, więc nie chodzi tu o opóźnienia słyszane w odtwarzaniu muzyki, lecz o zniekształcenia czasu trwania transmitowanych bitów. Czas jednego bitu wynosi zaledwie 32 µs. Dlatego też w praktyce często zastępuje się łańcuch MIDI strukturą równoległą (połączeniem „w gwiazdę"). Ale o tym później!

Złącza MIDI. Standard DIN wraca do łask

Jako znormalizowane złącze dla systemu MIDI wybrano stare i dobrze znane złącze DIN. Zawiera ono 5 pinów rozłożonych w kącie 180°, patrz **rysunek 4**. Piny 1 i 3 nie są używane. Połączone ze sobą parami są piny 4 i piny 5 z obu stron kabla. Należy pamiętać, że niektóre kable DIN przeznaczone do sygnałów audio mają połączenia skrzyżowane, czyli pin 4 po jednej stronie kabla łączy się z pinem 5 po drugiej stronie i odwrotnie. Kable takie nie nadają się do MIDI! Drugą ważną kwestią jest to, że ekran kabla jest podłączony do pinu 2 złącza tylko po stronie OUT lub THRU. Po stronie IN takie połączenie nie powinno istnieć. Tylko w ten sposób można zagwarantować absolutną separację galwaniczną między różnymi urządzeniami. Od Red. EdW: w praktyce kable MIDI są „obustronne" i mają ekran

eprasa.pl d09f51483c

Rysunek 4. Standardowy kabel MIDI (© 2019 Jos Verstraten)

Rysunek 5. Kabel USB/MIDI do połączenia komputera z systemem MIDI (© Roland)

dołączony do pinu 2 w obu wtykach. To w gniazdach MIDI IN urządzeń musi być zapewniony brak połączenia pinu 2 do masy.

MIDI i USB

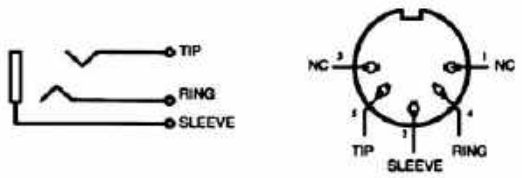
W dzisiejszych czasach jako sterownika MIDI zwykle używa się komputera. Komputery nie posiadają jednak złączy MIDI. W związku z tym na rynku są dostępne kable USB-MIDI, które umożliwiają połączenie komputera ze sprzętem muzycznym. Cała elektronika znajduje się w małej obudowie zintegrowanej z kablem i jest zasilana napięciem 5 V ze złącza USB. Kabel zawiera złącza MIDI IN i MIDI OUT. Patrz **rysunek 5**.

Nowe złącze – TRS

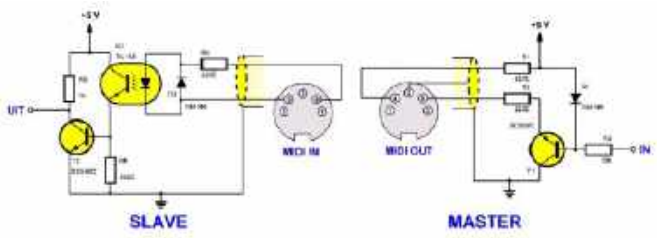
TRS to skrót od „Tip-Ring-Sleeve" i jest to najnowszy standard złącza MIDI. TRS wykorzystuje bardzo dobrze znane w technice audio złącza jack 2,5 mm, które można znaleźć na przykład w słuchawkach. Takie złącze MIDI może być używane w urządzeniach miniaturowych, w których nie ma miejsca na dość nieporęczne i staromodne gniazda DIN. **Rysunek 6** przedstawia sposób podłączenia trzech przewodów kabla MIDI do tego złącza.

Układ podstawowy interfejsu MIDI

Praktyczny układ pętli prądowej MIDI przedstawiono na **rysunku 7**. Napięcie +5 V dochodzi przez rezystor R1 o wartości 220 Ω do pinu 4 złącza MIDI OUT urządzenia master. Poprzez kabel linia ta dociera do pinu 4 złącza MIDI IN urządzenia podrzędnego. Dalej linia przechodzi przez rezystor R4 do diody LED w transoptorze TIL112. Z katody LED-a prąd płynie do pinu 5 gniazda MIDI IN i poprzez kabel z powrotem do pinu 5 złącza MIDI OUT urządzenia nadrzędnego. Przez trzeci rezystor 220 Ω sygnał trafia do emitera tranzystora PNP (T1). Baza tego tranzystora jest dołączona do zasilania +5 V przez diodę D1. Od Red. EdW: tej diody nie może być. Autor umieścił ją na schemacie najwyraźniej przez pomyłkę. Uniemożliwia ona działanie całego układu, ograniczając napięcie między +5 V a emiterem T1 praktycznie do zera, więc żaden prąd w linii MIDI nie popłynie. W stanie spoczynku (wejście IN na poziomie „H") nie ma odpowiedniego napięcia baza-emiter i tranzystor nie przewodzi. Przez linię MIDI nie przepływa prąd. Jeśli jednak wejście



Rysunek 6. Nowe złącze MIDI – „TRS" (jack 2,5 mm) (© MIDI.org)

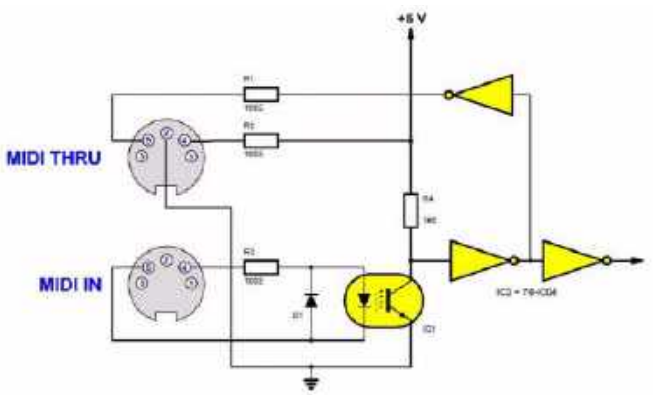


Rysunek 7. Praktyczny układ wyjścia i wejścia MIDI (© 2019 Jos Verstraten)

IN zostanie ściągnięte do poziomu „L", przez rezystor R3 i złącze baza-emiter tranzystora zacznie płynąć prąd, tranzystor zacznie przewodzić i w linii MIDI popłynie prąd ok. 5 mA. Dioda LED w transoptorze zapali się. Spowoduje to przewodzenie fototranzystora po stronie wtórnej transoptora, a na emiterze fototranzystora wystąpi napięcie dodatnie, przekształcone następnie w poziom „L" na kolektorze tranzystora T2. A więc stan „L" na wejściu sterującym mastera wywołuje stan „L" na wyjściu slave'a. Od Red. EdW: przedstawiony układ odbiorczy nie będzie działać. Przy prądzie fotodiody 5 mA transoptor TIL112 da prąd wyjściowy zaledwie ok. 0,5 mA. Spadek napięcia na rezystorze R6 = 100 Ω wyniesie tylko 50 mV, a tranzystor T2 się nie otworzy. Pomogłoby zwiększenie wartości R6 np. do 2,2 kΩ. Spowodowałoby to jednak znaczne wydłużenie czasu wyłączenia transoptora. Czasy załączenia i wyłączenia TIL112 są i tak za długie – wynoszą typowo 2 µs, ale maksymalnie 15 µs, co w zasadzie eliminuje ten typ z zastosowań w MIDI. Tu używa się zwykle transoptorów PC900 lub 6N137.

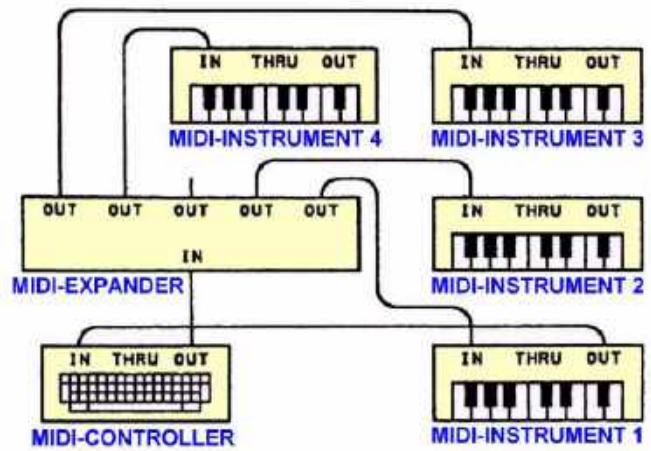
Złącze THRU

Dla Czytelnika jest zapewne jasne, że do pętli prądowej MIDI OUT – MIDI IN nie powinno się już w żaden sposób nic podłączać „na trzeciego". Zatem, aby dane przychodzące do MIDI IN przekazać dalej, do innych urządzeń, należy dodać niewielki interfejs, który zbuforuje sygnał odbierany po stronie wtórnej transoptora i wyśle go do wyjścia MIDI THRU. Innymi słowy – zrealizuje początek następnej pętli prądowej. Taki prosty interfejs został pokazany na **rysunku 8**. Sygnał odbierany z wejścia MIDI IN przez transoptor



Rysunek 8. Wyjście MIDI THRU dołączone do wejścia MIDI IN (© 2019 Jos Verstraten)

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 9. Połączenie „w gwiazdę" poprzez ekspander MIDI (© 2019 Jos Verstraten)

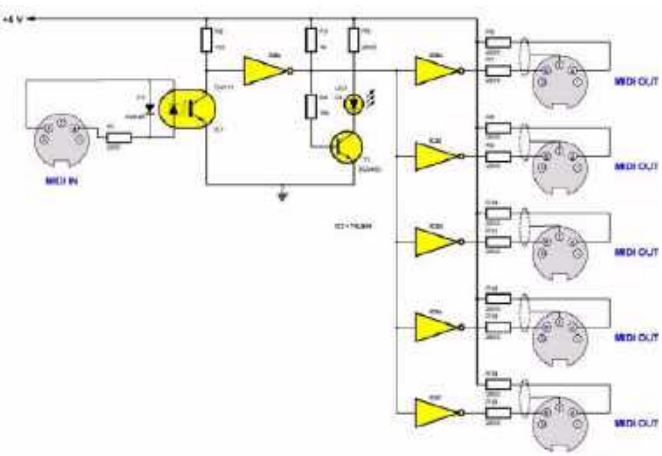
IC1 jest buforowany przez inwerter układu IC2, po czym dochodzi przez drugi inwerter i rezystor szeregowy do pinu 5 złącza MIDI THRU. Pin 4 tego złącza jest oczywiście dołączony przez rezystor do +5 V. W ten sposób MIDI THRU spełnia jakby rolę wyjścia MIDI OUT poprzedniego urządzenia w łańcuchu i może sterować wejście MIDI IN następnego urządzenia.

Układ „w gwiazdę"

Jak już wspominałem, prowadzenie pętli prądowych przez transoptory skutkuje niemałymi opóźnieniami. W dużych łańcuchach MIDI może to prowadzić do problemów z synchronizacją i skutkować nawet znacznymi błędami niejednoczesnego wyzwalania dźwięków instrumentów lub ich poszczególnych głosów. W praktyce problem ten rozwiązuje się w bardzo prosty sposób, tworząc układ „w gwiazdę". Istnieją specjalne urządzenia – ekspandery MIDI – do realizacji tego połączenia, ale sam układ jest prosty i możliwy do zbudowania nawet przez domorosłego konstruktora. Podstawowa zasada układu „w gwiazdę" została przedstawiona na **rysunku 9**. Sterownik MIDI wysyła sygnał ze swojego wyjścia MIDI OUT do wejścia MIDI IN ekspandera. Urządzenie to ma kilka wyjść, które są dołączane do wejść MIDI IN sprzętu podłączonego w systemie. Instrument 1 może być dodatkowo połączony przez wyjście MIDI OUT z wejściem MIDI IN sterownika.

Dane płynące z MIDI OUT sterownika do MIDI IN ekspandera są przekazywane do jego wszystkich wyjść MIDI OUT. Jest jasne, że połączenie z każdym instrumentem ma teraz na drodze o wiele mniej transoptorów. Opóźnienia nie tylko stają się znacznie mniejsze, ale są także równe między sobą. W końcu między wyjściem sterownika MIDI a wejściem każdego urządzenia znajdują się teraz dokładnie dwa transoptory – jeden w ekspanderze i jeden w urządzeniu.

Od Red. EdW: mamy tu niestety do czynienia z fałszywym mitem, rozpowszechnianym od zarania techniki MIDI. Ekspandery z wejściem MIDI w żadnym razie nie rozwiązują problemu słyszalnych „muzycznych" opóźnień, wynikających z dużej ilości danych przesyłanych łączem. Zauważmy, że wszystkie dane „przeciskają się" do ekspandera pojedynczym kablem MIDI, więc zabiera to nadal dużo czasu. Ekspander eliminuje połączenia z użyciem wyjść MIDI THRU, ale to poprawia jedynie elektryczne parametry sygnału prądowego dochodzącego do urządzeń. Podczas przechodzenia z MIDI IN do MIDI THRU parametry sygnału ulegają pogorszeniu, a w skrajnym przypadku przejścia sygnału przez np. 10 urządzeń może nawet dojść do przekłamań wartości transmitowanych bitów. Skrócenie słyszalnych opóźnień mogą zapewnić jedynie komputerowe interfejsy MIDI z szybkim wejściem USB i z kilkoma niezależnymi portami MIDI sterującymi wyjścia. Warto dodać, że opóźnienia często wynikają nie z winy łącza MIDI, lecz z konieczności przetworzenia w instrumentach danych odebranych zanim posłużą one do uruchomienia dźwięków. Bywa, że opóźnienia te wynoszą kilkadziesiąt ms, znacznie przekraczając zwłokę powodowaną przez transmisję MIDI.



Rysunek 10. Schemat ekspandera MIDI (© 2019 Jos Verstraten)

Praktyczny układ ekspandera MIDI

Rysunek 10 przedstawia schemat ekspandera MIDI z pięcioma kanałami wyjściowymi. Wejście MIDI IN zawiera rezystor 220 Ω i transoptor, tak jak na schemacie z rysunku 7. Poziom logiczny sygnału na wyjściu transoptora (kolektor fototranzystora) jest odwracany przez inwerter IC2a. Sygnał ten trafia do wejść pięciu identycznych inwerterów. Wyjścia tych inwerterów dochodzą przez rezystory 220 Ω do pinów 5 złączy MIDI OUT. I, jak zwykle, styki 4 tych złączy są dołączone do zasilania +5 V poprzez rezystory 220 Ω. Do wyjścia pierwszego inwertera dołączony jest tranzystor z diodą LED, co realizuje funkcję monitorującą – sprawdzanie czy ekspander odbiera jakieś dane.

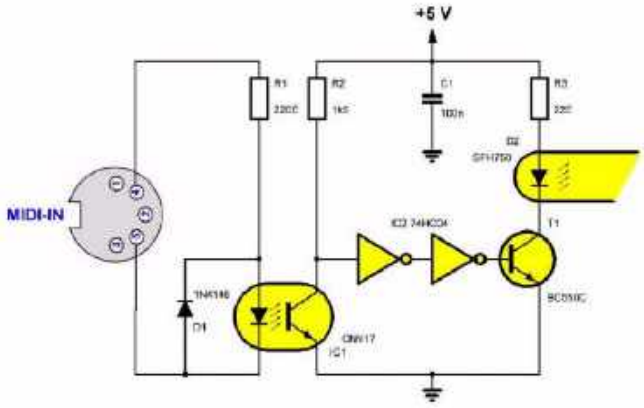
Optyczna transmisja MIDI. Kable światłowodowe

W nowoczesnych systemach MIDI do transmisji danych coraz częściej stosuje się kable światłowodowe. Izolacja galwaniczna między urządzeniami w sposób naturalny osiąga wtedy najwyższy stopień. Tutaj również istnieje szerokie pole do eksperymentów dla majsterkowiczów.

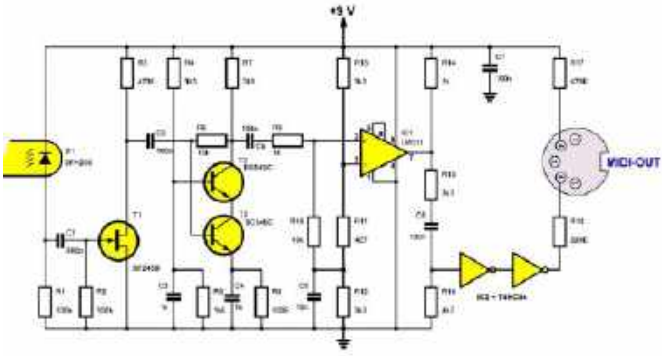
Optyczny nadajnik MIDI

Rysunek 11 przedstawia schemat nadajnika do łącza optycznego, które może zastąpić normalną pętlę prądową MIDI. Złącze MIDI IN ma jak zwykle rezystor szeregowy R1 o wartości 220 Ω i transoptor IC1. W stanie spoczynku, tj. bez transmisji danych, kolektor fototranzystora w transoptorze znajduje się na poziomie „H". Gdy dioda LED w transoptorze się zapala, fototranzystor zaczyna przewodzić, a napięcie kolektora przechodzi w stan „L". Sygnał ten przechodzi przez dwa inwertery. Drugi inwerter steruje bazą tranzystora kluczującego. Od Red. EdW: niezbędne jest włączenie rezystora 1...4,7 kΩ między wyjściem drugiego inwertera a bazą tranzystora, inaczej tranzystor zostanie zniszczony prądem wyjściowym inwertera HC04 (ok. 40 mA). W obwodzie kolektora tranzystora znajduje się szybka podczerwona dioda LED (D2), sprzężona ze światłowodem.

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 11. Schemat światłowodowego nadajnika MIDI (© 2019 Jos Verstraten)



Rysunek 12. Schemat światłowodowego odbiornika MIDI (© 2019 Jos Verstraten)

Optyczny odbiornik MIDI

Na **rysunku 12** pokazany jest schemat odbiornika optycznego. Podstawą układu jest dioda PIN (D1), połączona szeregowo z rezystorem R1. Gdy na diodę pada światło doprowadzone przez światłowód, jej prąd zaporowy wytwarza napięcie na rezystorze R1. Za rezystorem znajduje się filtr górnoprzepustowy C1/R2, który tłumi sygnały zakłócające o niskiej częstotliwości (50 Hz, 100 Hz). Filtrowany sygnał jest następnie wzmacniany przez tranzystor FET (T1).

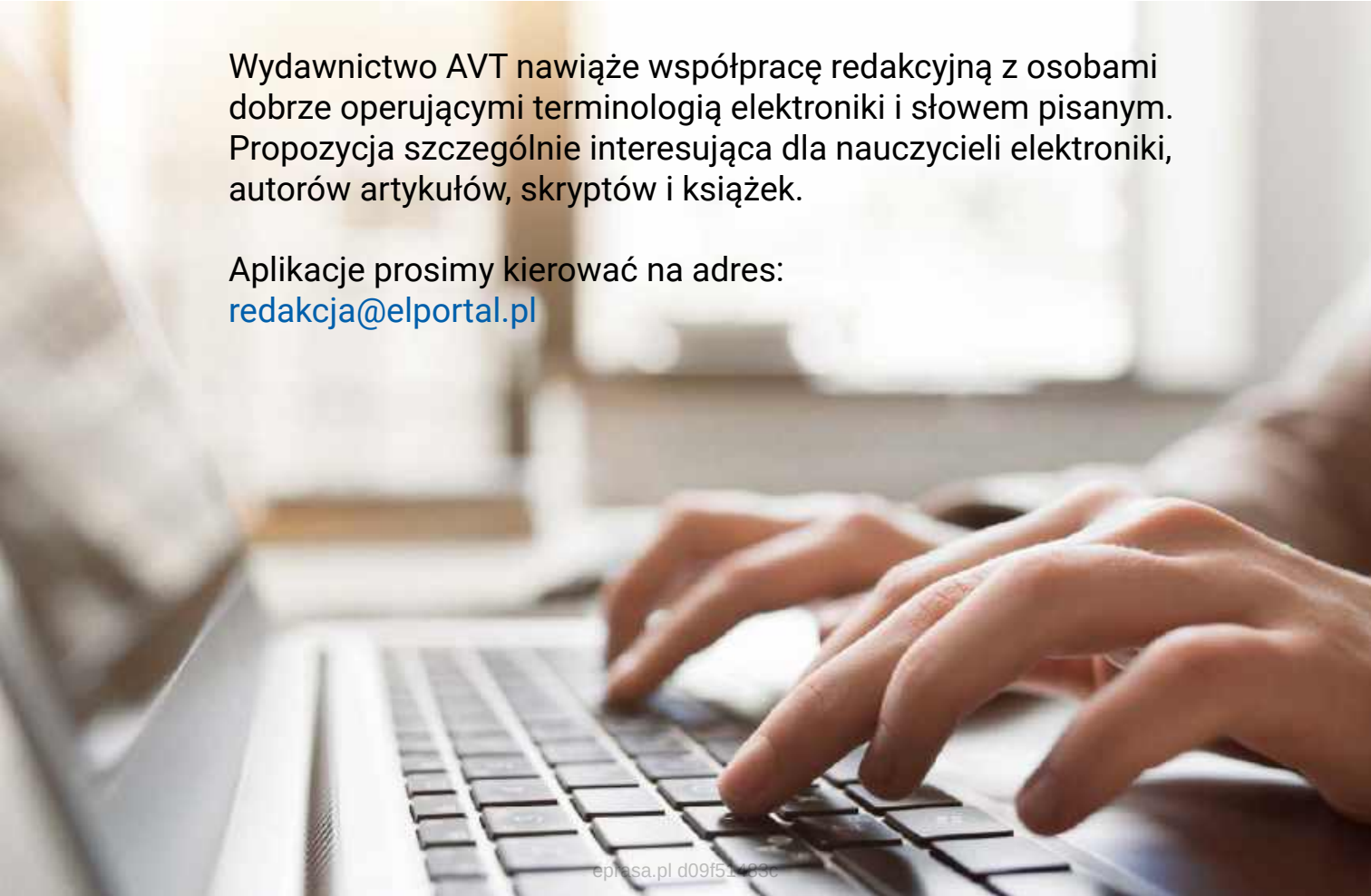
Tranzystory T2 i T3 tworzą tak zwany „wzmacniacz kaskadowy". W układzie tym ustawiono dziesięciokrotny współczynnik wzmocnienia. Układ charakteryzuje się bardzo szerokim pasmem przenoszenia, dzięki czemu szybkie sygnały MIDI są wzmacniane bez zbytnich zniekształceń. Wzmacniacz ten umożliwia komunikację MIDI na odległości do ok. 20 m. Za wzmacniaczem znajduje się komparator na układzie IC1. Napięcia obu wejść komparatora powstają w dzielniku napięcia R11/R12/R13. Niższy poziom napięcia, podawany przez rezystor R10, wyznacza składową stałą sygnału doprowadzonego do wejścia nieodwracającego komparatora. Dzięki temu układowi z nawet dość słabego i zniekształconego sygnału MIDI będzie można odtworzyć prawidłowe, bezbłędne dane. LM311 ma wyjście „otwarty kolektor", więc jest ono podwieszone do plusa zasilania przez rezystor R14. Dalej znajduje się wyjście MIDI OUT w typowej postaci: inwerter IC2 z wyjściem w szereg z rezystorem R18 o wartości 220 Ω oraz rezystor R17 o wartości 470 Ω od zasilania do pinu 4 złącza MIDI OUT. Wartość 470 Ω wynika stąd, że prąd wyjściowy musi wynosić 5 mA, a układ jest zasilany napięciem +9 V. ■

Jos Verstraten

REKLAMA

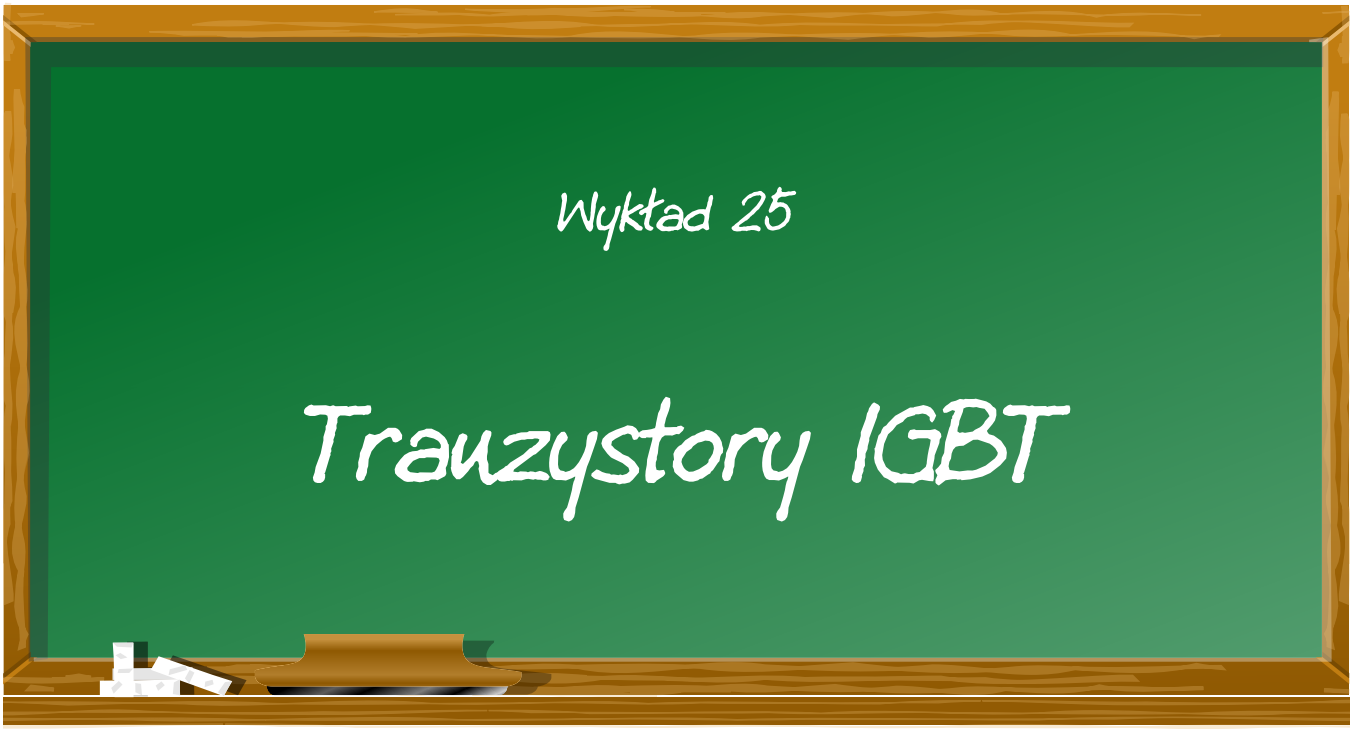
Wydawnictwo AVT nawiąże współpracę redakcyjną z osobami dobrze operującymi terminologią elektroniki i słowem pisanym. Propozycja szczególnie interesująca dla nauczycieli elektroniki, autorów artykułów, skryptów i książek.

Aplikacje prosimy kierować na adres:
redakcja@elportal.pl



eprasa.pl d09f5

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.

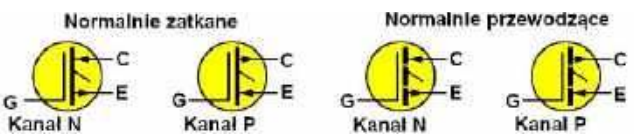


IGBT to skrót od „Insulated Gate Bipolar Transistor" (tranzystor bipolarny z izolowaną bramką). Jest to połączenie bipolarnego tranzystora złączowego (BJT) i tranzystora polowego z tlenku metalu (MOS-FET).

Wprowadzenie do tranzystorów IGBT

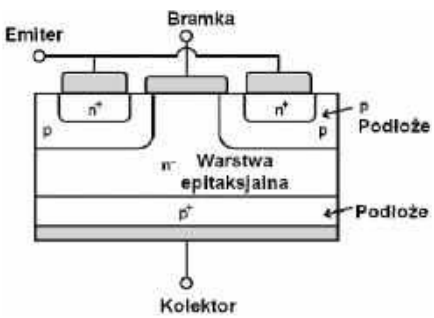
Wprowadzenie. Zwykły bipolarny tranzystor mocy ma bardzo niskie napięcie nasycenia między emiterem a kolektorem. Wadą tego rozwiązania jest to, że aby wprowadzić półprzewodnik w stan nasycenia, do jego bazy należy doprowadzić dość wysoki prąd (Ib=Ic/β, przy czym dla tranzystorów mocy wartość wzmocnienia prądowego β zwykle nie przekracza 40 – przyp. tłum.). MOSFET, jako element sterowany napięciem, potrzebuje znacznie mniejszego prądu. Oczywiście atrakcyjną opcją byłoby połączenie zalet bipolarnego tranzystora mocy z zaletami tranzystora MOSFET. Takim rozwiązaniem jest IGBT, tranzystor bipolarny z izolowaną bramką, czyli tranzystor bipolarny sterowany nie prądem z bazy, ale napięciem z izolowanej bramki.

Symbol IGBT. Nie dziwi zatem fakt, iż budowa tranzystora IGBT jest również odzwierciedlona w jego symbolu, patrz rysunek poniżej. Istnieją jednak cztery różne typy tranzystorów IGBT, reprezentowane przez cztery różne symbole. W zależności od domieszkowania materiału bazowego, można znaleźć n- i p-kanałowe tranzystory IGBT. Można je dalej sklasyfikować jako normalnie przewodzące i normalnie izolujące. Właściwość tę można wybrać podczas procesu produkcyjnego.



1. Symbole czterech typów tranzystorów IGBT (© 2018 Jos Verstraten)

Budowa tranzystora IGBT. Rysunek obok przedstawia przekrój pionowy przez n-kanałowy tranzystor IGBT, najczęściej spotykany typ. IGBT składa się z czterowarstwowej kanapki półprzewodnikowej kontrolowanej przez bramkę. Ma jednorodne i wysoce domieszkowane podłoże p+ ze specjalnie uformowanym złączem p+/n+ na tylnej stronie. Na ten materiał nośny nakładana jest słabo domieszkowana warstwa epitaksjalna n. W ten sposób przez dyfuzję wprowadzane są dwie wysoce domieszkowane wyspy p+. Izolująca warstwa tlenku między bramką a warstwami p/n jest odpowiedzialna za właściwości IGBT.

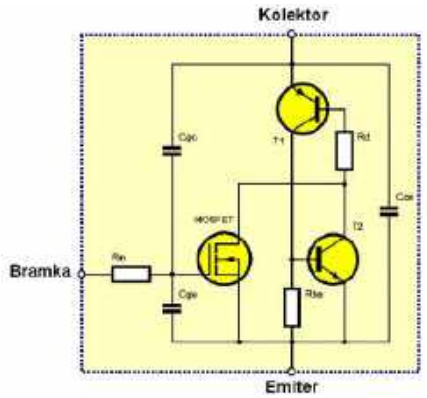


2. Budowa N-kanałowego tranzystora IGBT (© 2024 Paweł Kowalczyk)

Schemat zastępczy tranzystora IGBT. Na podstawie już przedstawionych do tej pory informacji można stworzyć zastępczy schemat tranzystora IGBT, patrz rysunek poniżej. Jednak oprócz tranzystora MOSFET z kanałem n i tranzystora PNP T1, widoczny jest również pasożytniczy tranzystor NPN T2, który istnieje ze względu na właściwości fizyczne niezbędnej warstwy półprzewodnikowej. Jest to problematyczne,

eprasa.pl d09f51483c

ponieważ tranzystor ten, wraz z T1, tworzy rodzaj struktury tyrystorowej. Teraz dwa połączone w ten sposób tranzystory mogą zacząć wykazywać dobrze znane zjawisko „zatrzasku", które jest niezbędne w przypadku tyrystora, ale które nam raczej przeszkadza niż pomaga. Dwa tranzystory utrzymują wówczas wzajemne przewodzenie, a komponentu nie można już wyłączyć. Na szczęście, stosując wyrafinowaną konstrukcję warstw półprzewodnikowych, można zminimalizować to zjawisko. Ponadto można wysterować bramkę w taki sposób, by dalej zminimalizować szansę na zatrzaśnięcie.



3. Schemat zastępczy N-kanałowego tranzystora IGBT (© 2018 Jos Verstraten)

Działanie tranzystora IGBT. Od strony wejścia tranzystor IGBT zachowuje się jak tranzystor MOSFET, a od strony wyjścia jak bipolarny tranzystor mocy. Tranzystor MOSFET i tranzystor T1 są zawarte w obwodzie pseudo-Darlingtona. Do kolektora należy podłączyć napięcie dodatnie względem emitera. Sterowanie można podzielić na dwa obszary: zaporowy i przewodzenia.

Tranzystor IGBT pozostaje w stanie zaporowym, dopóki napięcie na bramce względem emitera nie osiągnie progu Uge tranzystora MOSFET. Jeśli napięcie na bramce wzrośnie powyżej Uge, tranzystor IGBT przejdzie w stan przewodzenia. Podobnie jak w normalnych tranzystorach polowych, w podłożu p tworzy się przewodzący kanał n. Umożliwia to transport elektronów z emitera do warstwy epitaksjalnej. Ponieważ tylne złącze p/n jest połączone w kierunku do przodu, dziury są wstrzykiwane z podłoża p+ do warstwy epitaksjalnej, w wyniku czego powstaje para elektron/dziura, która powoduje rzeczywiste przewodzenie.

Jak już wspomniano, czterowarstwowa konstrukcja półprzewodnikowa niesie ze sobą ryzyko pasożytniczego tyrystora tworzonego przez tranzystor PNP i tranzystor NPN. Podobnie jak układy CMOS, tranzystory IGBT mogą powodować tzw. efekt zatrzasku. Pasożytniczy tyrystor załącza się i prąd zaczyna płynąć od kolektora do emitera, którego nie można już wyłączyć za pomocą bramki. Jedynym sposobem na uniknięcie tego „zatrzasku" jest zmniejszenie napięcia na komponencie do zera.

W stanie przewodzenia prąd płynie od kolektora do emitera. Jednak tranzystor wyjściowy tego pseudo-Darlingtonowego obwodu nigdy nie jest mocno nasycony, więc spadek napięcia między kolektorem a emiterem jest nieco większy niż w zwykłym tranzystorze bipolarnym. Ponieważ jednak emiter tranzystora IGBT zajmuje całą powierzchnię półprzewodnika, jego charakterystyka przełączania jest lepsza niż w przypadku tranzystora mocy o tej samej powierzchni.

Schemat zastępczy pokazuje też, iż na tranzystorze MOSFET nie może występować wysokie napięcie, dlatego jest to relatywnie mały tranzystor niskonapięciowy.

Brak zintegrowanej diody. W przeciwieństwie do (większości – przyp. tłum.) tranzystorów MOSFET, tranzystory IGBT zwykle nie mają wbudowanej diody zwrotnej. Jeśli więc przełączasz obciążenia indukcyjne, absolutnie konieczne jest zastosowanie takiej diody na zewnątrz. W tym celu konieczne jest zastosowanie diody szybkiej, która ma bardzo mały ładunek, dzięki czemu czas odzyskiwania jest bardzo mały, od 200 ns do 100 ns.

Właściwości tranzystora IGBT

Napięcie przebicia Uce(s). Wartość ta określa maksymalne napięcie, jakie można podłączyć między kolektorem a emiterem. Obecnie dostępne są na rynku tranzystory o napięciu pracy od 300 V do nawet 13,52 kV – przyp. tłum.

Napięcie nasycenia Uce(on). W przeciwieństwie do praktyki stosowanej w przypadku tranzystorów MOSFET, gdzie wyjście charakteryzuje się głównie maksymalną rezystancją przewodzenia Rds(on), w przypadku tranzystorów IGBT ponownie mówimy o napięciu nasycenia znanym od dziesięcioleci ze zwykłych tranzystorów bipolarnych. Nowoczesne tranzystory IGBT mają napięcie Uce(on) poniżej 1,8 V.

Napięcie progowe Uge(dr). Jest to minimalne napięcie, które należy przyłożyć między bramką a emiterem, aby IGBT przewodził. Napięcie to wynosi od 3 V do 4 V i zależy od temperatury złącza.

Maksymalny prąd kolektora Ic(max). Prąd ten jest zwykle określany przy temperaturze złącza +25°C i +100°C. Tłumacz znalazł w ofercie polskiego dystrybutora tranzystory IGBT o prądzie kolektora wynoszącym od 6 A, do 7,2 kA(!). Oczywiście taki tranzystor nie jest tani – cena katalogowa wynosi prawie 12 tysięcy złotych! – przyp. tłum.

Prąd obciążenia indukcyjnego Ic(lm). Wielkość ta definiuje maksymalną powtarzalną wartość prądu, jaki można przesłać przez tranzystor IGBT, gdy jest on obciążony obciążeniem indukcyjnym w obwodzie kolektora. Ic(lm) określa tak zwany SOA (Safe Operation Area – Bezpieczny Obszar Pracy) w charakterystyce wyjściowej IGBT.

Transkonduktancja g. Określa stosunek zmian prądu kolektora do zmian napięcia bramka-emiter przy stałym napięciu kolektor-emiter. W postaci wzoru: $g = \Delta Ic/\Delta Uge$

Typowa wartość tej wielkości wynosi od 10 S do 30 S (siemensów).

Maksymalne napięcie bramki Uge(max). Jest to maksymalna wartość napięcia, jakie można przyłożyć między bramką a emiterem. Cienka warstwa tlenku na bramce powoduje, iż napięcie to nie powinno być zbyt duże, około 20 V. Należy pamiętać, że do bramki można przyłożyć zarówno dodatnie, jak i ujemne napięcie. W rzeczywistości zaleca się podawanie ujemnego napięcia na bramkę, jeśli chcesz całkowicie odwrócić działanie IGBT.

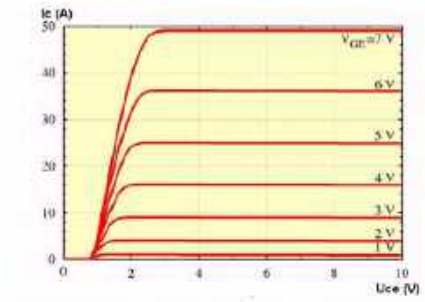
Właściwości statyczne tranzystora IGBT

Charakterystyka wyjściowa. Wykres ten przedstawia zależność między napięciem kolektor-emiter a prądem kolektora płynącym przez tranzystor IGBT. Zmienną wielkością na tym wykresie jest wartość napięcia między bramką a emiterem. To, co od razu rzuca

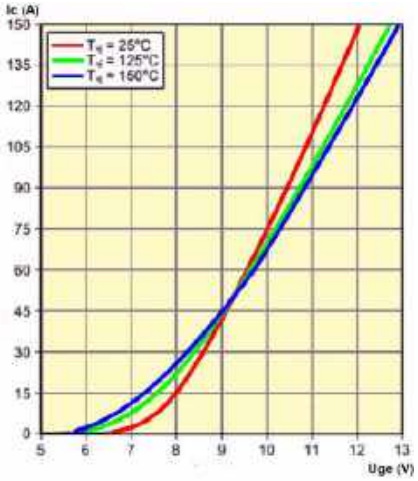
eprasa.pl d09f51483c

się w oczy, to fakt, iż krzywe pokazują „martwą strefę". Poniżej pewnego napięcia między kolektorem a emiterem przez element nie przepływa żaden prąd.

Charakterystyka transferu. Wykres ten pokazuje zależność między prądem kolektora a napięciem bramka-emiter przy danym stałym napięciu kolektor-emiter. Charakterystyka ta jest zależna od temperatury.



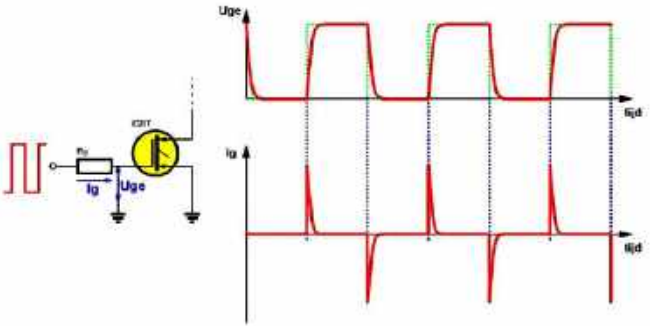
4. Charakterystyka wyjściowa N-kanałowego tranzystora IGBT (© 2018 Jos Verstraten)



5. Charakterystyka przenoszenia N-kanałowego tranzystora IGBT (© 2018 Jos Verstraten)

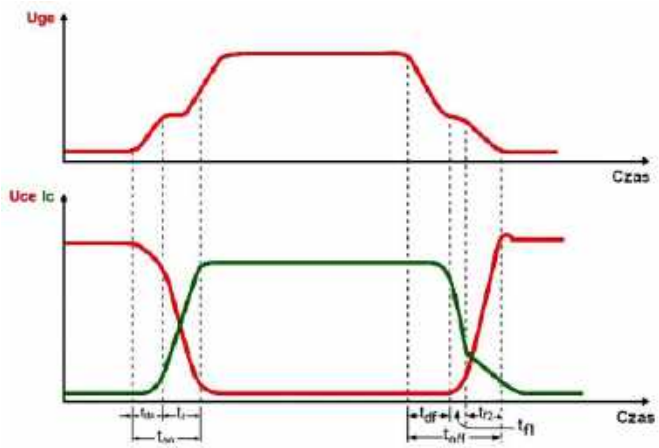
Właściwości dynamiczne tranzystora IGBT. Komponent sterowany napięciem, ale nadal ma prąd wejściowy.

Ze względu na MOSFET na wejściu, IGBT jest elementem sterowanym napięciem. Teoretycznie wystarczy zatem przyłożyć napięcie do bramki, by tranzystor zaczął przewodzić – nie potrzebny jest żaden prąd bramki. Nie oznacza to, że w obwodzie wejściowym nie ma prądu do zmierzenia. Podczas włączania i wyłączania tranzystora IGBT rzeczywiście będzie widoczny mierzalny prąd wpływający i wypływający z bramki, a mianowicie prąd wymagany do ładowania i rozładowywania pojemności wejściowej. Ponadto między bramką a kolektorem występuje pasożytnicza pojemność, która również powoduje ruch elektronów do i od bramki, tak zwany efekt Millera. Jest to przedstawione na poniższym rysunku. Analogiczne zjawisko występuje w tranzystorach MOSFET – przyp. tłum.



6. Napięcie na bramce i prąd bramki (© 2018 Jos Verstraten)

Dynamiczne zachowanie podczas włączania i wyłączania obciążenia. Po przyłożeniu napięcia bramki, Uge wzrasta w zależności od rezystancji szeregowej Rg i pojemności wejściowej IGBT. Po pewnym czasie osiągane jest napięcie progowe Uge(dr) i prąd kolektora zaczyna płynąć przez półprzewodnik. Wraz ze wzrostem prądu kolektora napięcie kolektor-emiter spada. Napięcie bramki wzrasta następnie do wartości przyłożonego napięcia sterującego, ale prąd kolektora oczywiście nie wzrasta dalej. Dzieje się tak, ponieważ maksymalna wartość jest określona przez wielkość napięcia zasilania i wartość rezystancji obciążenia w obwodzie kolektora.



7. Włączanie i wyłączanie IGBT (© 2018 Jos Verstraten)

Czasy włączenia i wyłączenia. Czas włączenia ton ma dwie składowe, czas opóźnienia (t_{dn}) i czas narastania (t_r). Czas opóźnienia tdn jest definiowany jako czas, w którym prąd kolektora wzrasta od prądu upływu do jednej dziesiątej końcowej wartości prądu kolektora Ic. Czas narastania t_r jest definiowany jako czas, w którym prąd kolektora wzrasta od jednej dziesiątej do końcowej wartości prądu kolektora Ic.

Czas wyłączenia t_{off} składa się z trzech elementów: czasu opóźnienia (t_{df}), czasu pierwszego spadku (t_{f1}) i czasu drugiego spadku (t_{f2}). Czas opóźnienia t_{df} jest definiowany jako czas, w którym prąd kolektora spada z wartości końcowej do 90% tej wartości. Pierwszy czas opadania t_{f1} to czas, w którym prąd kolektora spada z 0,9 Ic do 0,2 Ic. Drugi czas opadania t_{f2} jest definiowany jako czas potrzebny do dalszego spadku prądu kolektora Ic z 0,2 Ic do 0,1 Ic.

IGBT w praktyce

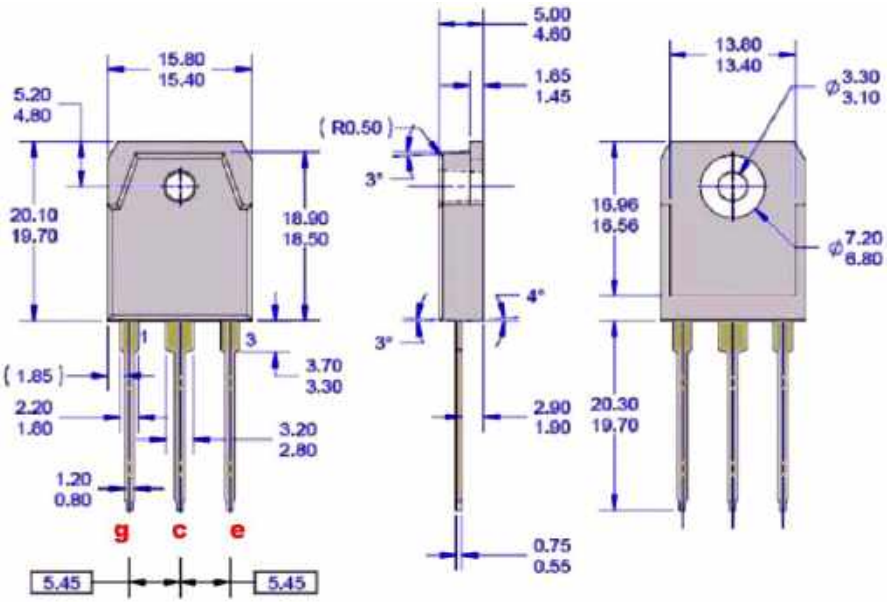
IGBT w standardowych obudowach. Tranzystory IGBT można znaleźć w obudowach znanych z innych półprzewodników mocy, takich jak TO-3 i TO-220. Są to jednak mniejsi bracia wśród IGBT. Jako przykład przedstawiamy FGA25N120ANTD firmy Fairchild. Specyfikacje tego półprzewodnika są następujące:

- Uce: maks. 1200 V.
- Uge: ±20 V maks.
- Ic(maks.) (25°C): 50 A.

eprasa.pl d09f51483c

- Ic(maks.) (100 C): 25 A.
- Ic(1m): 90 A maks.
- Moc (25°C): 312 W
- Moc (100°C): 125 W

Tranzystory IGBT dużej mocy. Tranzystory IGBT są stosowane głównie w elektronice o dużej mocy, np. w falownikach do dużych obciążeń, sterownikach silników itp. Tranzystory dużej mocy są zwykle sprzedawane w postaci modułów, w których często kilka chipów jest zintegrowanych w kompletną jednostkę przełączającą. Na poniższym obrazku przedstawiono kilka z tych układów. Ten po lewej to FF300R06KE3 firmy Infineon, który może pracować z obciążeniem 600 A i 600 V. Moduł po prawej stronie to SKM100GB125DN firmy Semikron, który zawiera dwa tranzystory IGBT przełączane jako półmostek. Moduł ten może pracować z obciążeniem 200 A i 1200 V.



8. Wymiary i szczegóły połączeń tranzystora IGBT małej mocy (© 2018 Jos Verstraten)

9. Dwa przykłady „twardzieli" wśród tranzystorów IGBT, które mogą przenosić prądy o natężeniu kilkuset amperów (© 2018 Jos Verstraten)

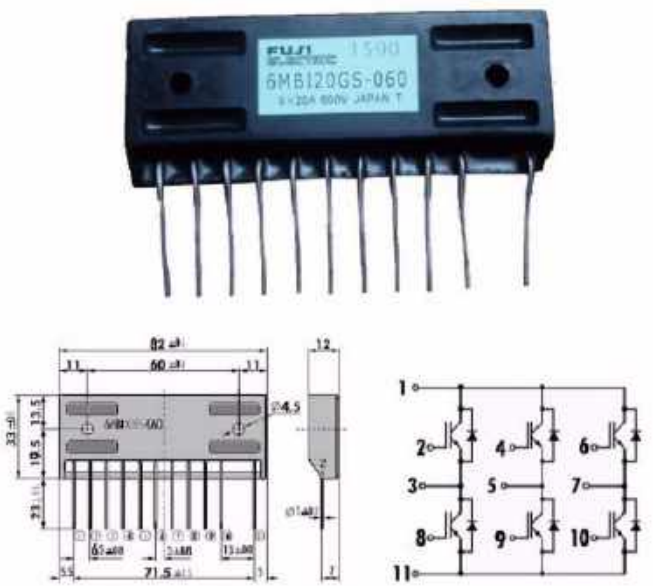
Fuji 6MBI20GS-060. Moduł przedstawiony na poniższym rysunku zawiera sześć identycznych tranzystorów IGBT połączonych parami jako półmostki i jest wykorzystywany do sterowania zasilaniem w sieciach trójfazowych. Moduł ten może tolerować napięcie 600 V i pracować z obciążeniem 6×20 A. Moduł taki można kupić na AliExpress za trochę ponad sto złotych – przyp. tłum.

Zastosowanie tranzystorów IGBT

Gdzie waty mają znaczenie. Tranzystory IGBT są wykorzystywane głównie w aplikacjach związanych z zasilaniem. Standardowe tranzystory mocy (BJT) mają bardzo powolną charakterystykę odpowiedzi. Tranzystory MOSFET umożliwiają szybkie przełączanie, ale są bardzo drogim wyborem w przypadku konieczności przełączania dużych prądów. Tranzystory IGBT są idealnymi zamiennikami zarówno tranzystorów BJT, jak i MOSFET.

Ograniczeniem tranzystorów bipolarnych mocy jest przede wszystkim niskie wzmocnienie prądowe, o czym autor wspomniał na początku tego artykułu. Problem ten można rozwiązać stosując układ Darlingtona lub Sziklaiego, ale kosztem mniejszej prędkości przełączania. Drugim problemem jest zdolność odprowadzania ciepła przez standardowe obudowy. Nawet popularny 2N3055 nie jest w stanie znieść mocy, z którymi radzą sobie tranzystory IGBT. Tranzystory IGBT dużej mocy w formie modułów o dużej powierzchni przylegania do radiatora mogą mieć moce strat liczone w kilowatach, jeśli tylko radiator jest w stanie to ciepło odebrać. W przypadku tranzystorów mocy MOSFET głównym ograniczeniem w aplikacjach wysokonapięciowych i wysokoprądowych są straty w trakcie przełączania – IGBT mają mniejsze. Trudniej też znaleźć tranzystor MOSFET na napięcia powyżej 1 kV – przyp. tłum.

Tranzystory IGBT oferują niższą rezystancję włączenia w porównaniu do tranzystorów BJT (w tym przypadku należy wspomnieć o spadku napięcia Vce dla danego prądu kolektora – przyp. tłum.) i ta cecha sprawia, że tranzystory IGBT są wydajne termicznie w zastosowaniach wymagających dużej mocy.

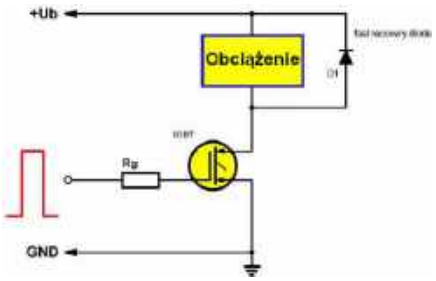


10. Fuji 6MBI20GS-060 jest idealny do pracy z dużymi mocami w instalacjach trójfazowych (© 2018 Jos Verstraten)

eprasa.pl d09f51483c

Dzięki niskiej rezystancji przewodzenia, bardzo wysokim wartościom znamionowym prądu i stosunkowo wysokiej prędkości przełączania, tranzystory IGBT są stosowane w sterownikach silników dużej mocy, spawarkach inwertorowych, falownikach i zasilaczach impulsowych.

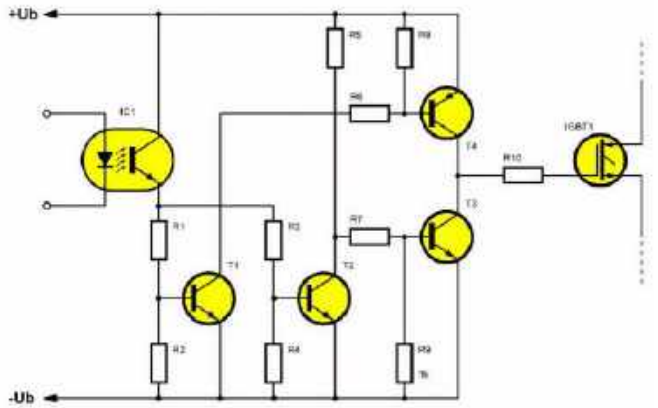
Unikanie zjawiska „zatrzaskiwania". Tranzystory IGBT nigdy nie powinny być podłączane do napięcia sterującego o niskiej impedancji. Zawsze należy dołączyć mały rezystor szeregowo z bramką. Ten jeden element jest bardzo ważny, ponieważ wraz z pasożytniczą pojemnością wejściową Cge, rezystor ten zapobiega wystąpieniu zjawiska „zatrzasku". Tranzystor IGBT zatrzaskuje się wtedy, gdy napięcie Uge wzrasta zbyt szybko, a wraz z nim zbyt szybko wzrasta prąd Ic. Rezystor bramki ogranicza prąd ładowania pojemności pasożytniczych bramki, co spowalnia otwarcie tranzystora, a tym samym ogranicza prędkość narastania prądu Ic.



11. Standardowa aplikacja IGBT (© 2018 Jos Verstraten)

Ponieważ większość tranzystorów IGBT z jakiegoś powodu nie zawiera diod włączonych w kierunku zaporowym, należy zawsze dołączać taką diodę do obciążenia w kolektorze (tylko dla obciążeń indukcyjnych, i tylko jeśli nie stosujemy bardziej rozbudowanego obwodu gasikowego – przyp. tłum.). Standardowy schemat zasilania dużego obciążenia napięciem stałym za pomocą tranzystora IGBT jest przedstawiony na poniższym rysunku i zawiera omówione komponenty.

Profesjonalny sterownik bramki. Ponieważ tranzystory IGBT są najczęściej używane w obwodach, w których występuje bezpośrednie zasilanie z sieci, niezwykle ważne jest zapewnienie galwanicznej izolacji bramki. Dzięki temu elektronika sterująca nigdy nie wejdzie w kontakt z niebezpiecznym napięciem sieciowym. Na poniższym schemacie narysowano taki sterownik bramki, który jest zalecany przez firmę Infineon.



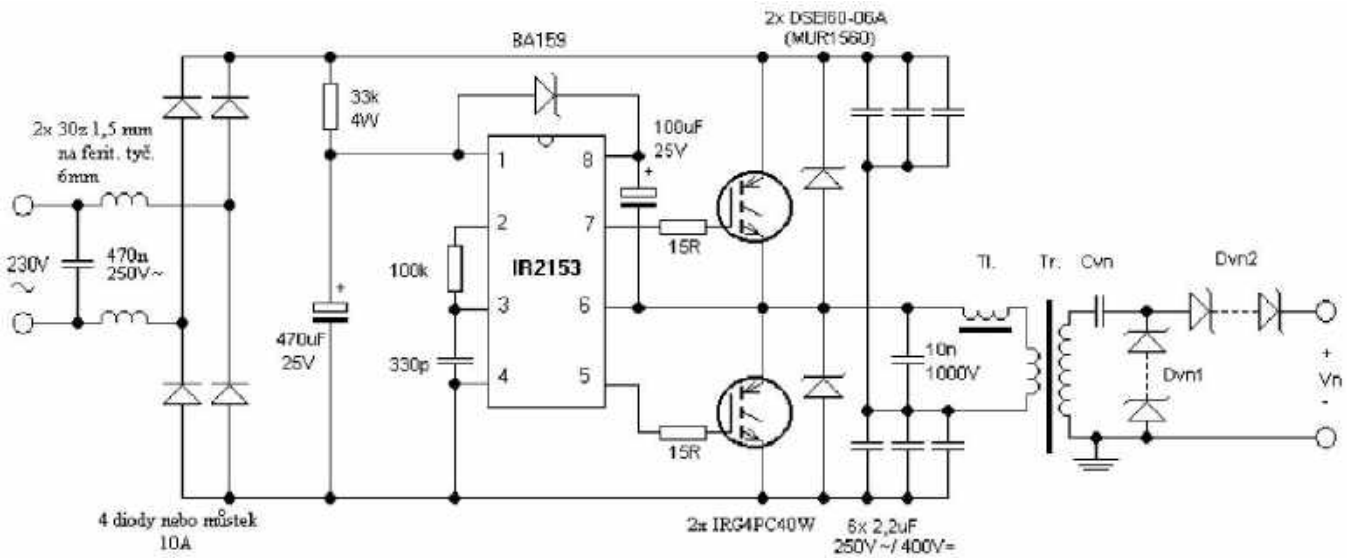
12. Galwanicznie odseparowane sterowanie IGBT (© 2018 Jos Verstraten)

Jeśli transoptor IC1 nie jest wysterowany, wewnętrzny fototranzystor nie będzie przewodził. Na R1 i R2 nie spada napięcie, a T1 i T2 są w odwrotnej kolejności. W rezultacie tranzystor T3 jest załączany przez prąd bazy dostarczany przez R5 i R7. Tranzystor T4 jest w odwrotnej polaryzacji. W rezultacie bramka tranzystora IGBT jest podłączona do ujemnego zasilania –Ub przez R10 i T3, a tranzystor IGBT jest zatkany.

Gdy transoptor jest wysterowany, wewnętrzny tranzystor zaczyna przewodzić. Zarówno T1, jak i T2 zaczynają przewodzić. Przewodzący tranzystor T2 powoduje, że tranzystor T3 przechodzi w stan odwrotny. Przewodzący tranzystor T1 powoduje przewodzenie tranzystora T4. Bramka IGBT jest podłączona do dodatniego napięcia zasilania +Ub i tranzystor IGBT zaczyna przewodzić.

Należy zauważyć, że w tym obwodzie bramka nie jest sterowana między +Ub i GND, ale między +Ub i –Ub. Jest to ogólnie uważane za lepszy sposób sterowania, który gwarantuje, że IGBT nigdy nie będzie przewodził w momentach, w których nie powinien.

Powyższy układ wymaga zapewnienia odpowiedniego, izolowanego zasilania, szczególnie, gdy steruje górnym tranzystorem IGBT w układzie półmostka lub mostka. Na schemacie brakuje połączenia układu sterującego z emiterem tranzystora, by ustalić właściwe napięcie U_{ge}. W przetwornicach impulsowych najczęściej spotyka się inny układ sterujący, gdzie izolacja galwaniczna,



13. Generator Tesli z dwoma tranzystorami IGBT (© http://danyk.cz)

eprasa.pl d09f51483c

a także zasilanie bramki tranzystora IGBT są zapewnione przez mały transformator sterujący. Rozwiązanie to jest analogiczne do stosowanych w przetwornicach zawierających tranzystory bipolarne (np. w zasilaczach ATX) czy MOSFET. Istnieją też dedykowane sterowniki bramek, jedne z izolacją galwaniczną, a inne przesuwające napięcie sterowania górnego tranzystora o połowę napięcia zasilania półmostka lub mostka – przyp. tłum.

Generator Tesli z dwoma tranzystorami IGBT. Rysunek 13 przedstawia przykład praktycznego zastosowania tranzystorów IGBT. Za pomocą generatora Tesli można generować iskry o długości centymetrów. Obwód, opublikowany na stronie http://danyk.cz, jest zasilany bezpośrednio z sieci 230 V. Jako sterownik zastosowano układ scalony IR2153. Układ ten steruje dwoma tranzystorami IGBT typu IRG4PC40W firmy International Rectifier. Diody antyrównoległe są podłączone do tranzystorów IGBT, ponieważ wybrany typ tranzystora IGBT nie ma wewnętrznych diod. Kondensator o pojemności 10 nF i napięciu 1000 V chroni dwa tranzystory przed skokami napięcia. Częstotliwość przełączania IR2153 wynosi od 20 kHz do 25 kHz. Napięcie zasilania 15 V dla układu scalonego jest uzyskiwane przez rezystor mocy 33 kΩ i kondensator elektrolityczny 470 µF. Zewnętrzna dioda Zenera nie jest potrzebna, ponieważ jest wbudowana w układ scalony. Napięcie zasilania półmostka nie jest filtrowane.

Na wyjściu znajduje się transformator wysokiego napięcia o napięciu wtórnym 10 kV. Napięcie transformatora jest zwiększane za pomocą obwodu powielacza napięcia. Kondensator i diody w tym obwodzie muszą być w stanie tolerować bardzo wysokie napięcia. Kondensator musi mieć napięcie robocze co najmniej 1,5 razy większe od napięcia transformatora. Pojemność kondensatora nie jest krytyczna, powinna wynosić co najmniej 30 nF dla napięcia wyjściowego 8 kV i co najmniej 5 nF dla napięcia wyjściowego 20 kV. Diody powinny być typu fast recovery, np. UF4007 lub BA159 (1 A @ 1000 V).

Transformator jest nawinięty na rdzeniu o przekroju od 2,5 cm² do 3 cm², a uzwojenie pierwotne ma tylko 18 zwojów z drutem nawojowym o średnicy 0,6 mm. Uzwojenie wtórne zależy od napięcia, które ma być generowane. Jeśli na wyjściu ma być napięcie 12 000 V, uzwojenie wtórne transformatora powinno generować napięcie 6000 V. Uzwojenie wtórne będzie miało 720 zwojów o średnicy 0,3 mm. Najpierw należy nawinąć uzwojenie pierwotne, a następnie wtórne. Szeregowo z uzwojeniem pierwotnym znajduje się cewka jako ogranicznik prądu. Cewka ta ma 24 zwoje drutu nawojowego o średnicy 0,6 mm i jest nawinięta na rdzeniu o przekroju od 1,7 cm² do 2 cm².

IR2153 to prosty kontroler półmostka bez żadnej regulacji czy zaimplementowanych zabezpieczeń. Wariant IRS2153 także nie będzie lepszą opcją. Powyższy tekst warto natomiast uzupełnić o informację na temat kondensatora elektrolitycznego, wpiętego między piny 6 i 8 tego układu IR2153, który tworzy tzw. bootstrap, dzięki któremu napięcie bramki górnego tranzystora będzie wyższe od napięcia emitera tegoż. Wraz z diodą Schottkyiego tworzy on bowiem prostą pompę ładunkową i rezerwuar energii dla polaryzacji bramki. Warto też wspomnieć, iż nawijanie transformatora głównego to nie jest proste zadanie dla początkujących – należy zatroszczyć się o izolację każdej warstwy uzwojenia wtórnego ze względu na wysokie napięcie na nim występujące. Jako alternatywę dla powyższego układu tłumacz zaleca Czytelnikowi budowę prawdziwej cewki Tesli typu SSTC lub DRSSTC – cewki takie są prostsze w wykonaniu i generalnie bezpieczniejsze mimo zdecydowanie wyższych napięć przez nie wytwarzanych. Dla napięć 5…20 kV i małych prądów tłumacz zaleca zakup gotowej przetwornicy produkcji chińskiej lub budowę układu ZVS z transformatorem WN wyjętym ze starego telewizora kineskopowego typu Rubin lub Jowisz – tylko te transformatory zalane w ceramice się do tego nadają – przyp. tłum. ■

Jos Verstraten

REKLAMA

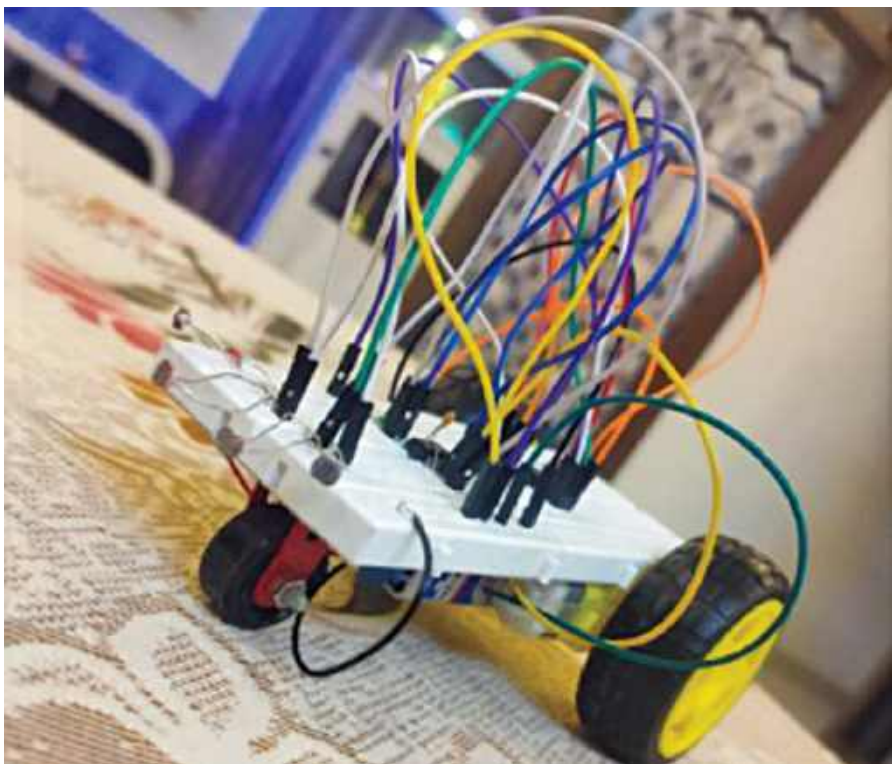
eprasa.pl d09f51483c

Robot sterowany światłem

Bieżący projekt przedstawia konstrukcję bardzo prostego mini-robota, który porusza się w zależności od otaczającego go oświetlenia. Wykorzystuje dwa sensory reagujące na natężenie padającego na nie światła. W ten sposób wykonano nawigację robotem, który docelowo może wykonywać różne zadania w różnych środowiskach. Ten prosty projekt może stanowić namiastkę poznania potencjału autonomicznych systemów w zakresie adaptacji do zmieniających się warunków oświetlenia.

Na **rysunku 1** pokazano zdjęcie prototypu wykonanego przez autora. Układ został zmontowany prowizorycznie na uniwersalnej płytce stykowej. Schemat blokowy robota pokazano na **rysunku 2**.

Autor traktuje swój projekt jako pierwszy krok w pasjonujący świat robotyki. Jego prostota konstrukcja bazuje na dwóch elementach. Oczami robota są elementy LDR (ang. Light Dependent Resistor), czyli fotorezystory. Jako elementy wykonawcze zastosowano dwa popularne (nieśmiertelne i zawsze na topie) timery typu 555. Zmiany natężenia oświetlenia skutkują zmianami rezystancji LDR użytych w obwodach z timerami 555 co przekłada się na generowane przebiegi, sterujące silnikami umocowanymi na osiach kół robota. Tak prosta konstrukcja pozwala na adaptację ruchów robota do warunków otaczającego oświetlenia. Budowa i zabawa robotem opisanym w bieżącym projekcie DIY pozwoli na głębsze zrozumienie tematyki sensorów, timerów i sterowania elementami mechanicznymi w postaci silników. To podejście pozwoli połączyć teorię z praktycznym zastosowaniem w świecie robotyki.



Rysunek 1. Prototyp wykonany przez autora projektu

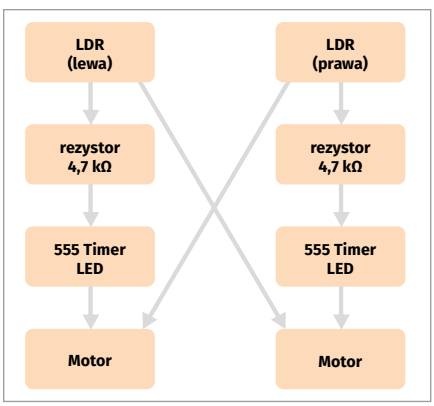
Opis układu i jego działanie

Schemat ideowy robota pokazano na **rysunku 3**, natomiast spis elementów zebrano w tabelce poniżej.

Robot jest układem elektro-mechanicznym, są więc też elementy których nie obejmuje schemat ideowy. Najważniejszymi elementami są dwa timery 555 (IC1 i IC2), dwa silniki prądu stałego (M1 i M2) i dwa fotorezystory (LDR1 i LDR2). Ponadto tylko kilka rezystorów oraz źródło zasilania, którym może być bateria 9 V. Zasilanie bateryjne zapewnia pełną mobilność robotowi, natomiast tymczasowo lub nawet docelowo w niektórych zastosowaniach może być to zasilacz o napięciu stałym 9 V.

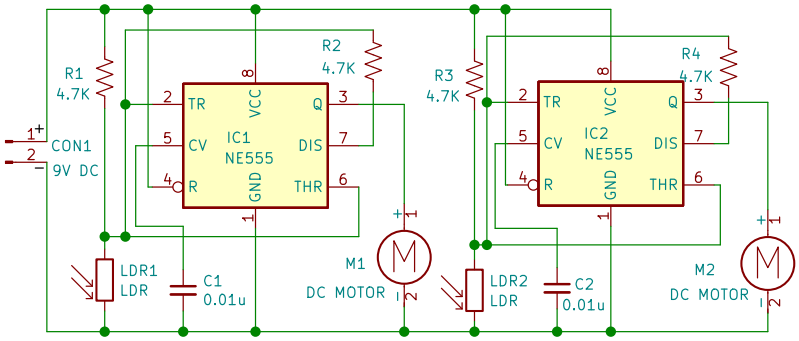
Ideą przyświecającą konstrukcji robota aktywowanego światłem jest stworzenie wszechstronnego i adaptacyjnego systemu robotycznego, który, jak wcześniej wspomniano, może reagować na zmiany warunków oświetlenia. Sensory światła (tu fotorezystory) są wykorzystane do umożliwienia robotowi postrzegania otoczenia i podejmowania prostych decyzji.

Fotorezystory pracują w parze z rezystorami R1 i R2, tworząc dzielnik napięcia którym wyzwalany jest timer 555. Charakterystyka fotorezystorów LDR wykazuje spadek rezystancji wraz ze wzrostem natężenia światła. Zatem, na wspomnianym dzielniku uzyskamy maksymalne napięcie przy minimalnym lub braku oświetlenia, oraz napięcie minimalne przy silnym oświetleniu. Charakterystykę tego elementu oraz warunków (intensywności oświetlenia) w jakich będzie pracował należy odpowiednio sparować z wartością rezystorów R1 i R2. Wymogi napięcia z dzielnika muszą być dostosowane do poziomów wyzwalania i resetu przerzutnika wewnątrz układu 555, a te ustalone są wewnętrznym dzielnikiem napięcia na 1/3 i 2/3 zasilania. Układ 555 skonfigurowano w sposób typowy dla multiwibratora astabilnego, jednak tutaj pracuje on jako przełącznik. Zatem, praca naszego robota jest bardzo prosta: 555 ma dwa wyjścia Q i DIS, które pracują współbieżnie. Różnica polega na tym, iż Q ma wyjście dwustanowe, a DIS to wyjście typu otwarty kolektor, a więc,



Rysunek 2. Schemat blokowy robota sterowanego światłem

eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 3. Schemat ideowy obwodów elektronicznych mini-robota

albo są oba w stanie niskim, albo gdy Q jest w stanie wysokim, to DIS wykazuje stan wysokiej impedancji. Jeśli przerzutnik zostanie raz wyzwolony, a następnie napięcie na (połączonych) nóżkach 2 i 6 pozostaje w przedziale 1/3 do 2/3 zasilania, wówczas wyjście pozostanie dalej w stanie wysokim. Tak szeroka strefa „nieczułości" powoduje, że np. jeśli napięcie pinów 2 i 6 utrzymuje się w okolicach połowy zasilania, to silnik podlegający danemu driverowi pozostaje załączony. Silnik zostanie wyłączony, gdy napięcie dzielnika rezystancyjnego wzrośnie powyżej progu dwóch trzecich zasilania, co nastąpi przy odpowiednio słabym oświetleniu fotorezystora. Dla kolejnego włączenia silnika potrzebne jest odpowiednio silne oświetlenie elementu LDR.

Konstrukcja i testowanie robota

Przed zmontowaniem elektroniki zgodnie ze schematem ideowym, warto zapoznać się z rysunkiem 2 pokazującym jak zrobić to w sposób możliwie najprostszy. Od spodu płytki montujemy silniczki i koła, co jest główną czynnością dotyczącą mechanicznej sekcji tej konstrukcji. Od góry i z odpowiednią starannością należy zamontować czujniki światła LDR. Podczas montażu i wstępnych testów należy starannie dobrać wartości rezystorów oraz typy fotorezystorów do warunków oświetlenia w jakich robot ma się poruszać. To jedyne niezbędne czynności. Po poprawnym montażu robot powinien poruszać się zgodnie z przewidywaniami projektu. Na **rysunku 4** pokazano zdjęcie działającego modelu wykonanego przez autora projektu. ■

Manmohan Singh, Vivek Gowda, Ramiksha c Shetty, Sahana P

Wykaz elementów

Półprzewodniki:
IC1, IC2: timer 555

Rezystory: (wszystkie 0,25 W/±5%)
R1...R4: 4,7 kΩ

Kondensatory:
C1, C2: 0,01 µF

Pozostałe:
LDR1, LDR2: fotorezystory
M1, M2: silniczki prądu stałego na napięcie 12 V
konstrukcja nośna robota
dwa koła napędowe
jedno małe koło obrotowe również w osi pionowej
przewody połączeniowe obustronnie zakończone wtykami męskimi
uniwersalna płytka stykowa
bateria 9 V lub zasilacz o stałym napięciu wyjściowym o wartości 9 V

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY", luty 2024 (efymag.com)

Od Red. EdW: Autor dosyć obszernie opisuje wkraczanie w świat robotyki, bardzo oględnie mówiąc jak ten układ działa i jakie zadania można mu przydzielić. W praktycznym rozwiązaniu istotna będzie nie tylko konstrukcja części elektronicznej mini-robota, a przede wszystkim jego możliwości nawigacji związane z umieszczeniem oczu, którymi są sensory LDR. Model wykonano na uniwersalnej płytce stykowej dla sprawdzenia działania elektroniki, a więc przyjrzymy się bliżej tylko schematowi z rysunku 3.

Istotne jest spostrzeżenie, że sterowanie światłem nie odbywa się w sposób liniowy, a raczej progowy. Zastosowano dwa silniczki na lewym i prawym kole, lecz każdy z tych silników nie potrafi obracać się szybciej lub wolniej, a nawet w przód lub w tył. Każdy silnik może być tylko włączony lub wyłączony, a reakcja na światło wykazuje dużą histerezę. Wykorzystanie układów NE555 jest tu bardzo nietypowe. Nie pracują one tu bynajmniej jako timery. Sterowanie silników odbywa się bezpośrednio z wyjść Q tych „timerów". Oznacza to, że taki driver pozwoli na zakres napięcia zgodny z zasilaniem (tu 9 V) oraz niewielki prąd do 200 mA. Należy sądzić, że spełni to wymagania małych silniczków prądu stałego zastosowanych w wykonanym przez autora modelu. Ważniejsza jest natomiast współpraca „oczu" robota z driverem,

Rysunek 4. Robot gotowy do „działania"

czyli jak 555 reaguje na zmianę rezystancji fotorezystorów. Połączenie elementów zewnętrznych jest typowe dla konfiguracji timera w funkcji multiwibratora astabilnego. Istotną różnicą jest jednak brak kondensatora, który miałby (wraz z przyległymi rezystorami) wyznaczać częstotliwość oscylacji. Kondensator C1 (i C2) który widzimy na schemacie pełni rolę drugorzędną i nie ma udziału w żadnym timingu, który może być przypisany układowi pracującemu jako timer.

Po co więc zastosowano tutaj układ 555? Jego funkcja jest nietypowa, bo realizuje histerezę widzianą od strony sensorów światła. Na schemacie widzimy dwa identyczne obwody, przypisane lewemu i prawemu silnikowi i tym samym lewemu i prawemu „oku" LDR1 i LDR2. Wystarczy zatem przyjrzeć się tylko jednemu z tych obwodów. Posłużymy się numeracją elementów w lewej części schematu.

Timer 555 to bardzo popularny element, nie będziemy więc omawiać jego budowy i sposobu działania. Wystarczy zauważyć, że wejście TR (nóżka 2) ustawia wewnętrzny przerzutnik F-F jeśli jego potencjał zejdzie poniżej 1/3 poziomu zasilania. Wejście THR (nóżka 6) zeruje ten przerzutnik jeśli jej potencjał przekroczy poziom 2/3 zasilania. Tutaj, obie nóżki (2 i 6) są ze sobą połączone i dodatkowo widzimy zapętlenie z wyjścia 7 timera. Wyprowadzenie 7 jest opisane jako DIS, gdyż z klasycznej konfiguracji układu czasowego służy do rozładowania jakiegoś kondensatora, na którym przebieg napięcia wraz z poziomami wewnętrznych komparatorów wyznacza czasy timera. Tutaj zapętlenie to jest elementem sprzężenia zwrotnego, które

Dla tego projektu przygotowano film, dostępny pod adresem: https://youtu.be/O7OT849CKlQ.

eprasa.pl d09f51483c

decyduje o szerokości histerezy widzianej od strony wejścia tak utworzonego drivera silnika. Bez zapętlenia rezystorem R2, układ też będzie pracować, ale histereza będzie bardzo szeroka. Tutaj, jako rezystancję odniesienia należy traktować opór R1 (i w drugim kanale – R3), dlatego dalej nazwiemy tą wartość R. Tutaj, wszystkie rezystory R1 i R2 (R3 i R4) są tej samej wartości 4,7 kΩ. Jeśli odepniemy R2, wewnętrzny przerzutnik zostanie wyzwolony (i silnik M1 włączony), gdy LDR1 zostanie oświetlony na tyle, że jego rezystancja będzie mniejsza od 1/2R, czyli 2,35 kΩ. Aby jednak silnik ten wyłączyć, LDR1 musi wejść w „strefę cienia" na tyle, aby jego rezystancja wzrosła do 2R (czyli 9,4 kΩ). Ponowne załączenie wymaga znowu silnego oświetlenia (do rezystancji 1/2R). To bardzo szeroka histereza, i na charakterystyce LDR należałoby odczytać, jak to wygląda z perspektywy intensywności oświetlenia tego elementu. Dobierając wartość rezystora w sprzężeniu zwrotnym można kształtować szerokość tej histerezy. Nie jest trudno przeliczyć, że gdy R2 =R1=R, histereza na rezystancji LDR będzie w przedziale R do 2R (czyli 4,7 kΩ do 9,4 kΩ). Też dużo! Ale tak jest w prototypie autora. Silnik zatem załączy się, gdy oświetlenie będzie na tyle silne, że LDR będzie miał rezystancję poniżej 4,7 kΩ i będzie pracował tak długo, aż rezystancja ta wzrośnie do podwójnej tej wartości. To samo dla silnika lewego i prawego koła. Wydaje się zatem, że nawigacja tym robotem jest trochę „toporna". Nie potrafi się cofnąć, będzie jechał prosto w przód nie umiejąc skręcać, a w większości przypadków będzie się prawdopodobnie kręcił w kółko w lewo lub w prawo.

Czy można tę histerezę jeszcze zmniejszyć, aby nawigację usprawnić? Zmniejszenie wartości R2 tę histerezę zawęzi. Już przy wartości R2 na poziomie 2/3R (ok. 3,13 kΩ) histereza zostanie zawężona do zera, wokół wartości 2R. Gdy rezystancja fotorezystora spadnie nieco poniżej 9,4 kΩ, podległy silnik zostanie załączony. Gdy wzrośnie lekko powyżej tej wartości, silnik się zatrzyma. Przez dobór wartości R (R1 i R3) ustalimy przy jakim świetle robot będzie reagował. A przez dobór R2 i R4 ustalimy rozsądną szerokość histerezy w „dziedzinie oświetlenia". W każdym razie rezystor sprzężenia zwrotnego musi być zawsze większy od 2/3R. A co będzie jeśli zejdziemy z R2 i R4 poniżej tej wartości? Zachowanie robota będzie jeszcze bardziej chaotyczne. W pewnym zakresie oświetlenia układ stanie się niestabilny. Będzie przełączał wyjście z bardzo dużą częstotliwością, zależną generalnie od czasów propagacji w komparatorach i przerzutniku timera 555. Stworzymy bowiem generator astabilny z zerową pojemnością wyznaczającą timing. To chaotyczne zachowanie pojawi się co prawda, tylko w pewnym zakresie rezystancji LDR. Dla każdej wartości R2 mniejszej od 2/3R1 można przeliczyć jaki to będzie zakres od strony rezystancji fotorezystora. Jednak możliwe jest to tylko w przedziale R2 między 2/3 i 1/2R1. Przy R2 mniejszym od połowy R1, układ będzie oscylował nawet bez LDR, to znaczy nawet przy nieskończonej rezystancji. No tak, ale LDR jest obecny i jego rezystancja jest zawsze skończona. Zauważymy więc, że układ będzie niestabilny dla każdej wartości LDR większej od 2R, a poniżej tego progu nie będzie co prawda „wariował", ale silnik będzie cały czas włączony.

Konkludując te rozważania (które proponujemy dociekliwemu Czytelnikowi przeliczyć) możemy stwierdzić, że układ jest mimo wszystko ciekawy, choć robot jest to raczej bardzo nietypowy. Należałoby latarką świecić na jeden albo drugi LDR, aby wymusić pożądany kierunek ruchu. Nawet gdy dobierzemy zadowalającą histerezę, nawigacja będzie dość uciążliwa.

Jeśli projekt ma, zgodnie z intencją autora, wprowadzać we wciągającą eksplorację do świata robotyki, pokazując potencjał autonomicznych systemów w zakresie adaptacji do zmieniających się warunków oświetlenia, a także aby Jego „przedsięwzięcie" zapewniło „fundamentalne zrozumienie czujników, timerów i sterowania silnikami wypełniając lukę między teorią a praktycznym zastosowaniem" (tłumaczenie dosłowne oryginalnego tekstu), to należałoby ten układ dosyć kreatywnie przeprojektować.

Trzymając się jednak schematu, koncepcji autora z rysunku 3 można zaproponować małą modyfikację. Może faktycznie ustalić R2 (i R4) na wartość z przedziału między 2/3 i 1/2R, czyli zmniejszyć te rezystory z 4,7 kΩ na wartość między 2,35 kΩ a 3,13 kΩ i równocześnie na połączonych nóżkach 2 i 6 podwiesić niewielkiej pojemności kondensator. Co w ten sposób uzyskamy? Zamiast strefy histerezy powstanie płynne przejście między wyłączonym a załączonym silniczkiem. Płynne przejście będzie polegało na tym, iż w określonym przedziale rezystancji fotorezystora LDR (na co przełoży się intensywność padającego nań światła), silnik „będzie karmiony" falą prostokątną o zmiennym współczynniku wypełnienia. Odpowiednio dobrany kondensator ustali częstotliwość tego przebiegu tak, aby każdy z silników M1 i M2 płynnie startował i płynnie się zatrzymywał. W wielu warunkach oświetlenia (które są istotne) takie zachowanie robota może być korzystniejsze od działania ze strefą histerezy. Należy teraz zadać pytanie, jak dobrać rezystory do posiadanego fotorezystora i warunków jego oświetlenia? W tak zmodyfikowanym układzie silnik zacznie się kręcić przy rezystancji LDR równej R1/(2–R1/R2). Szerokość strefy miękkiego startu będzie między tą wartością, a wartością równą 2R1. Zauważmy, że jeśli R2 będzie w narzuconym wyżej przedziale (między dwie trzecie, i pół wartości R1) to wtedy i tylko wtedy wartość R1/(2 – R1/R2) jest większa od 2R1, co jest konieczne jeśli oczekujemy płynnego startu zamiast histerezy. Przy oświetleniu LDR skutkującym mniejszą rezystancją od 2R1, silnik będzie się obracał z pełną mocą. W drugą stronę, gdy oświetlenie maleje, nie zaobserwujemy żadnej histerezy, zamiast tego silnik płynnie wyhamuje i zatrzyma się przy rezystancji LDR wyliczonej wg wyżej podanego wzoru. Mamy tu dwa stopnie swobody, dobór rezystora R1 i R2. To pozwoli na dostosowanie się do każdego LDR (jego charakterystyki) i warunków oświetlenia w których robot ma się poruszać. Jeśli oczekujemy histerezy (jak w projekcie autora), to obowiązuje ten sam wzór LDR=R1/(2–R1/R2) – załączenie silnika, i LDR=2R1 – wyłącznie silnika. Z tym, że teraz pierwsza wartość jest mniejsza od drugiej. I to jest właśnie czynnik skutkujący histerezą. Tak samo, jeśli podstawimy R2 równe połowie R1, to mianownik (2–R1/R2) przyjmie wartość zero, a dla wartości jeszcze mniejszej, mianownik stanie się ujemny. Ten matematycznie absurdalny wynik oznacza, że przy żadnej wartości rezystancji LDR silnika nie będziemy potrafili w pełni wyłączyć. Dociekliwemu Czytelnikowi proponujemy przeliczenie i sprawdzenie poprawności tych wniosków. Natomiast, przy praktycznej realizacji takiego mini-robota kluczowy będzie właśnie dobór jedynie dwóch rezystorów dla każdej z par (R1 i R2 oraz R3 i R4) do posiadanego fotoelementu LDR1 i LDR2, oraz prawidłowe umieszczenie jego „oczu" względem warunków oświetleniowych w których ma się poruszać.

eprasa.pl d09f51483c

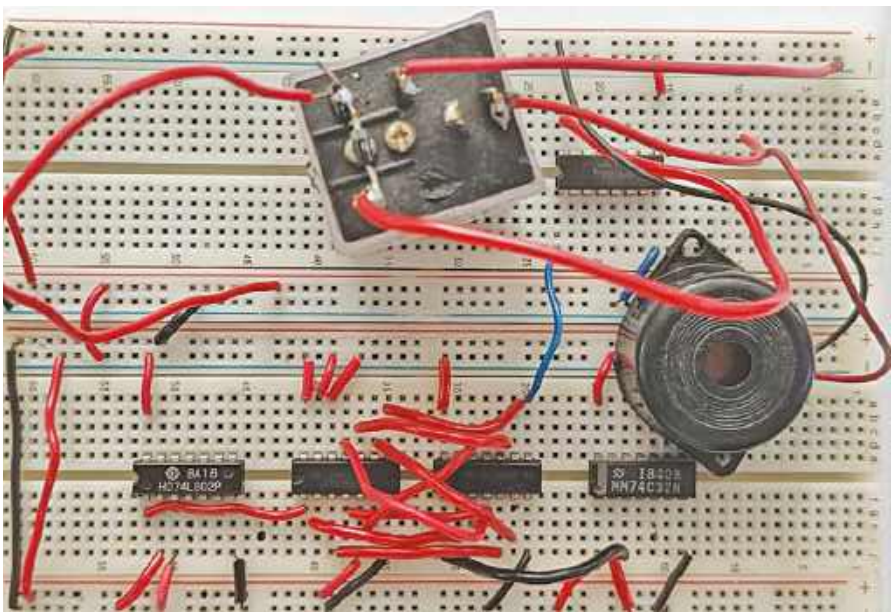
Sterowanie urządzeń elektrycznych za pomocą hasła

W dzisiejszym technologicznie zaawansowanym świecie bardzo ważnym aspektem okazuje się bezpieczeństwo i równocześnie prostota obsługi urządzeń. Zabezpieczenie przy pomocy hasła wydaje się rozsądnym rozwiązaniem usiłującym sprostać wspomnianym wymogom. Układ nie jest skomplikowany, zapewniając równocześnie nowatorski sposób obsługi urządzeń elektrycznych (takich jak oświetlenie lub wentylatory) przy użyciu hasła jako klucza. W bieżącym artykule omówimy koncepcję, obwody, zasadę działania i potencjalne zastosowania tego systemu.

W życiu nie raz zdarzają się denerwujące sytuacje, gdy złośliwe osoby, czasem dzieci, znajdują sobie zabawę w uprzykrzanie życia przypadkowym osobom. Na przykład poprzez naciśnięcie na przycisk dzwonka do czyjegoś mieszkania i szybkie ukrycie się w miejsce bezpiecznego oczekiwania na reakcję właściciela. Im większe poirytowanie właściciela, tym większa uciecha żartownisia. Podobne intrygujące zachowania możliwe są z dwóch powodów użycie pojedynczego przycisku do aktywacji dzwonka oraz brak możliwości zidentyfikowania osoby wywołującej.

Zaproponowana tu koncepcja z użyciem hasła zaradzi nie tylko takim sytuacjom, lecz także zabezpieczy sterowanie urządzeń, gdzie nieautoryzowane włączenie może mieć o wiele poważniejsze konsekwencje. W zależności od indywidualnych potrzeb, zaproponowane tu rozwiązanie można także traktować jako przełącznik zabezpieczony hasłem, zdecydowanie podnosząc poziom bezpieczeństwa takiego przełącznika.

W wielu przypadkach pomysł sterowania urządzeń elektrycznych z wykorzystaniem hasła wydaje się bardzo sensowny. Nasz projekt bazuje na prostych elementach. Wykorzystano jedynie bramki logiczne oraz prosty układ scalony dla sterowania cewki wykonawczego przekaźnika. Na **rysunku 1** pokazano zdjęcie prototypu przetestowanego w laboratorium redakcji „Electronics For You". Dla testów wystarczy aby sterowanym urządzeniem był zwykły brzęczyk. Ponadto, zamiast przełączników wystarcza konfiguracja odpowiednio połączonych zworek.



Rysunek 1. Prototyp przetestowany w laboratorium Redakcji EFY

Opis obwodu i jego działanie

Schemat ideowy zaproponowanego systemu pokazano na **rysunku 2**. Konstrukcja bazuje na czterech układach scalonych zawierających bramki: OR (74LS32 – IC1), NAND (74LS00 – IC2), negację NOT (74LS04 – IC3) oraz bramkę NOR w układzie scalonym 74LS02 (IC4). Połączenie bramek konfiguruje samo hasło, natomiast driverem przekaźnika jest układ scalony ULN2003. Bramki w technologii TTL zasilane są napięciem 5 V, dlatego przekaźnik RL1 wykorzystano także z cewką na napięcie stałe 5 V. Hasło ustawiane jest siedmioma przełącznikami S1 do S7. Na schemacie ideowym jako sterowane urządzenie przewidziano żarówkę 60 W/230 V.

Wyjściowym sygnałem logiki bramek jest tu pin 10 negacji IC3E. Wyjście to steruje wzmacniaczem w układzie scalonym ULN2003, który także wnosi negację na ścieżce sterowania przekaźnikiem. Do styków NO przekaźnika, w miejsce żarówki można podłączyć np. buzzer lub dowolne inne obciążenie spełniające wytrzymałość prądową zastosowanego przekaźnika. Jeśli system chcemy zaadoptować jako dzwonek drzwiowy zabezpieczony hasłem, wtedy można użyć dowolnego dzwonka zasilanego napięciem 230 V AC.

Od Red. EdW: Współcześnie preferuje się stosowanie niskonapięciowych instalacji dzwonkowych (np. 8…12 V AC lub DC), co jest bezpieczniejsze i pozwala na łatwiejszą integrację z nowoczesnymi dzwonkami elektronicznymi, które zazwyczaj wymagają niższego napięcia. Taki system wymaga zastosowania transformatora obniżającego napięcie, co dodatkowo zabezpiecza użytkownika bądź serwisanta instalacji przed ryzykiem porażenia prądem.

Obsługa takiego dzwonka zamiast naciśnięcia tradycyjnie jednego przycisku, wymaga ustawienia prawidłowej sekwencji hasła przełącznikami S1 do S7. To niewielkie utrudnienie skutecznie ograniczy przypadkowe lub złośliwe uruchomienie dzwonka. W naszym systemie jako hasło użyliśmy kodu 7-bitowego, dlatego mamy tu siedem przycisków S1…S7. Otwarty przełącznik oznacza zero logiczne, natomiast zwarty logiczną jedynkę. W naszym przypadku jest to stały kod 0010110.

eprasa.pl d09f51483c

Od Red. EdW: wydaje się, iż w tym zastosowaniu należy użyć przełączników stabilnych ON/OFF. Aczkolwiek, jeśli przełączniki te będą blisko siebie, mogą to być przyciski niestabilne. Dzwonek zostanie wywołany, gdy naciśniemy równocześnie trzy spośród siedmiu przycisków: S3, S5 i S6. Każda inna konfiguracja naciśnięć (spośród 128 możliwych kombinacji) nie wywoła dzwonka (lub nie załączy innego odbiornika).

Patrząc na schemat z rysunku 2 zauważymy, iż tylko taki kod wymusi zero logiczne na bramkach OR i NOR oraz stan wysoki (jedynkę logiczną) na wejściach bramek zanegowanego iloczynu NAND. Tylko taka konfiguracja skutkuje stanem wysokim na wejściu 1 drivera ULN2003 i tylko wtedy przekaźnik zostanie uruchomiony. Jeśli w przekaźniku użyjemy styków NO, to tylko w tej konfiguracji przycisków (hasła) napięcie zasilające zostanie podłączone do użytego urządzenia (obciążenia).

Konstrukcja i testowanie pracy układu

W prototypie nie przewidziano możliwości modyfikacji hasła. Tym samym autor uznał, iż projekt jest na tyle prosty, że projekt płytki PCB nie jest konieczny. Jak widać na **rysunku 3**, autor zmontował układ na płytce uniwersalnej.

Przetestowanie układu polega na sprawdzeniu, czy żarówka którą użyto tu jako obciążenie, zaświeci się po wprowadzeniu sekwencji S1…S7 0010110 oraz pozostanie nieaktywna w przypadku innych kombinacji kodu.

Chociaż autor wykorzystał żarówkę jako obciążenie oraz układ scalony ULN2003 jako driver przekaźnika, podkreśla możliwość zastąpienia tych elementów gotowym mechanizmem dzwonka, realizując w ten sposób dzwonek drzwiowy sterowany hasłem.

Na koniec warto zauważyć, iż sterowanie urządzeń z użyciem hasła jest wygodną alternatywą zwiększającą bezpieczeństwo nie tylko w gospodarstwie domowym. Dzięki prostej konstrukcji i niezawodnej zasadzie działania, projekt ten posiada spore walory praktyczne. Niezależnie od tego, czy system zostanie wykorzystany do sterowania urządzeń elektrycznych, czy jako „bezpieczny dzwonek", zaproponowany system oferuje ekonomiczne i równocześnie eleganckie rozwiązanie.

Wykaz elementów:

Półprzewodniki:
IC1 (IC1A): 74LS32 – cztery 2-wejściowe bramki OR
IC2 (IC2A-IC2D): 74LS00 – cztery 2-wejściowe bramki NAND
IC3 (IC3A-IC3E): 74LS04 – sześć bramek negacji NOT
IC4 (IC4A): 74LS02 – cztery 2-wejściowe bramki NOR
IC5: ULN2003 – driver przekaźnika

Pozostałe:
CON1...CON3: złącza 2-pinowe
RL1: przekaźnik z cewką 5 V
S1...S7: przełączniki on/off
EA: żarówka 60 W/230 V

Uwaga od Redakcji EFY

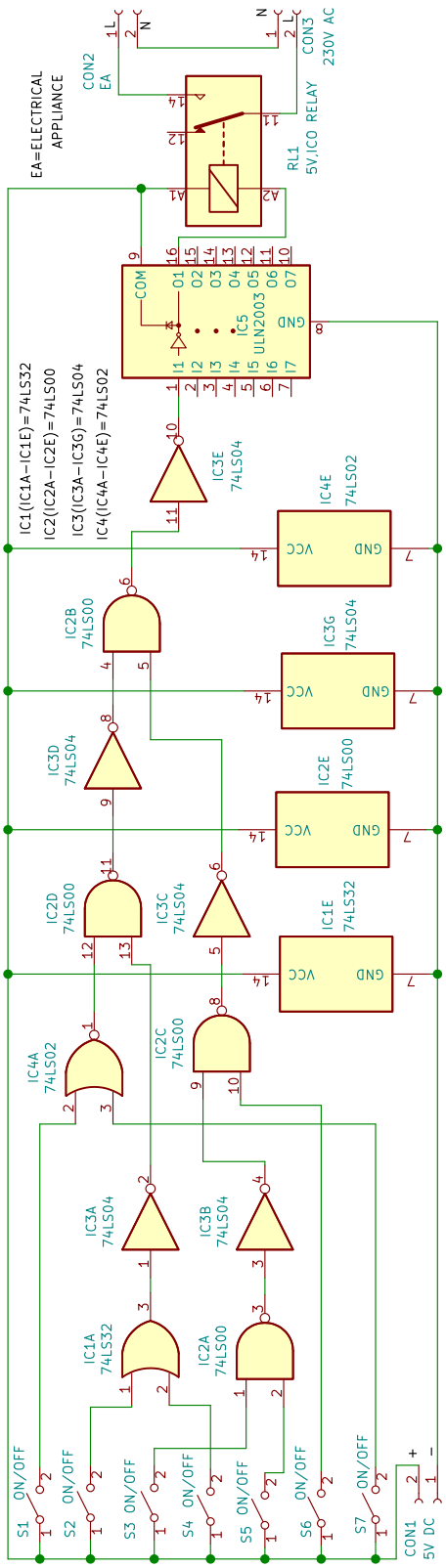
W zaproponowanym układzie nie ma możliwości zmiany hasła, ponieważ jest ono bezpośrednio zaszyte w konfiguracji bramek logicznych. ■

Rakesh Jain

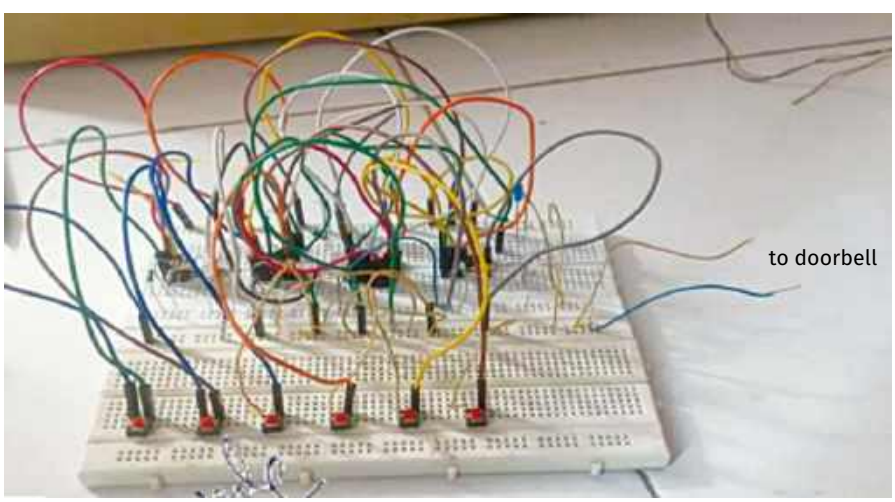
Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY", październik 2023 (efymag.com)

Dodatkowe uwagi od Red. EdW: Autor podpiął przełączniki kodowe od strony zasilania +5 V i sugeruje, iż zwarty przełącznik to jedynka logiczna, a rozwarty podaje stan logicznego zera, tymczasem w układzie brak jakichkolwiek rezystorów podciągających w górę lub w dół. W tej sytuacji, rozwarty przełącznik to nie jest zero logiczne, ale nieokreślony stan wysokiej

Dla tego projektu przygotowano film, dostępny pod adresem: https://youtu.be/D2JrwLKXe-g.



Rysunek 2. Schemat ideowy układu



Rysunek 3. Prototyp układu wykonany przez autora projektu

eprasa.pl d09f51483c

impedancji. Oczywiście, bramka logiczna musi rozpoznać zero lub jeden. W przypadku bramek serii 74LSXX pozostawienie wejścia „wiszącego w powietrzu" jest raczej interpretowane jako jedynka, nie zero logiczne. Zatem można mieć wątpliwości, czy układ bez wspomnianych reżyserów zadziała poprawnie. Jeśliby nawet stan wysokiej impedancji był rozpoznawany jako zero, to też projekt należałoby uznać jako błędny. To szkolny błąd. Niemniej „ten się nie myli, co nic nie robi", więc pewnie warto docenić mniej lub bardziej początkującego autora za konstruktywną aktywność. Czy dołożenie rezystorów do masy uratuje sytuację? Jeśli rezystory będą odpowiednio niskiej wartości, to pewnie tak. Jednak w przypadku funktorów technologii TTL, lepiej przyciski dać od strony masy, a pull-up rezystory do plusa mogą być znacznie większej wartości. Spoczynkowy prąd będzie pomijalny, czego nie można powiedzieć w przypadku rezystorów ściągających w dół, gdy równocześnie zwarty przełącznik wymusza stan wysoki. Zamiana położenia przełączników od strony masy, po prostu zaneguje całe hasło. Nie powinno to mieć znaczenia, gdyż hasło jest tu arbitralnie zaszyte w konfiguracji bramek logicznych. Autor nie podaje wskazówek jak hasło zmienić, ale nie powinien mieć z tym problemu nawet początkujący elektronik. W przypadku hasła które wymyślił na własny użytek autor, nieco dziwi zastosowanie bramki dwuwejściowej sumy logicznej IC1 74LS32. Z układu scalonego IC4 wykorzystano tylko jedną bramkę NOR. Pozostały więc jeszcze trzy funktory wolne. Można jeden wykorzystać w miejsce IC1A, a dodatkowo pozostanie jeszcze wolna jedna negacja IC3A. Odpadnie więc jeden układ scalony, a nic poza tym w układzie się nie zmieni.

Jako wzmacniacz/driver cewki przekaźnika autor wykorzystał układ ULN2003. Zawiera on siedem wzmacniaczy z czego wykorzystano jeden. O wiele prościej byłoby zastosować tu zwykły tranzyztor NPN, a jedynym dodatkowym elementem powinien być rezystor w bazie tego tranzystora.

Co do sensu takiego układu to wydane się, że byłoby lepiej jeśli byłaby możliwość ustawiania kodu jakimiś dodatkowymi przyciskami lub zworkami (stały kod po pewnym czasie przestaje być „niejawny"). Komplikacja układu nie byłaby duża. Należałoby wykorzystać jakieś komparatory (cyfrowe), co na dobrą sprawę też można wykonać na bramkach logicznych. Jeszcze lepiej byłoby, gdyby wejście faktycznie rozpoznawało trzeci stan (Low, High i stan wysokiej impedancji). Wtedy komplikacja jest znacząca, ale ilość kombinacji rośnie (przy 7 switchach) z 2^7 do 3^7 (czyli z 128 do 2187).

Licząc na to, że każdy z Czytelników zdążył już to zauważyć, trzeba wspomnieć, że układ nie posiada żadnych elementów pamiętających. Poza łamigłówką dla początkujących (logika cyfrowa, zasada działania połączonych ze sobą bramek realizujących funkcje logiczne) nie wnosi szczególnie dużo nowego. Jednak kreatywnie podchodząc do rzeczy można to przekuć w sporą zaletę i wykorzystać w całkiem niebanalny sposób (ale o tym za chwilę). Analogiczną funkcjonalność dałoby się zrealizować stosując wyłącznie przełączniki (stabilne lub niestabilne) a dokładniej – dwa ich rodzaje: zwierne i rozwierne, połączone w szereg. Odpowiednie „załączenie" każdego z przycisków spowoduje zamknięcie lub otwarcie całego obwodu.

W zależności od rodzaju obciążenia (wymagane przez obciążenie napięcie i prąd), przyciski mogłyby załączać opcjonalnie albo bezpośrednio docelowe obciążenie, albo cewkę przekaźnika załączającego obciążenie. Gdy miniaturowe przyciski mają załączać cewkę (czasem bardzo sporego) przekaźnika do cewki przekaźnika warto zamontować równoległą diodę prostowniczą skierowaną katodą w stronę plusa zasilania, gdyż niezwierane przez diodę napięcie wsteczne generowane w momencie zwolnienia kotwicy przekaźnika może spowodować iskrzenie na stykach przycisków, doprowadzając do ich unicestwienia.

Warto zauważyć, że zamiast dwóch rodzajów przycisków w szeregu można wykorzystać przełączniki. Obu przypadkom będzie towarzyszył brak limitu w zakresie długości kodu. Liczba szeregowo połączonych przycisków mogłaby być dowolna.

Na koniec, pomysł na całkiem kreatywne wykorzystanie układu. Po sugerowanych korektach ale w ideowo niezmienionej względem oryginału formie (bramki logiczne) układ można by było zamontować jako tymczasowy dzwonek na drzwiach klasy do zajęć z elektroniki, nad sekcją przycisków umieszczając schemat ideowy i podpis „zrób mi psikusa jeśli potrafisz". Jakby się zastanowić, układ mógłby przynieść frajdę, tak klasie, jak i nauczycielowi, albo chociaż rozluźnić atmosferę, przed nadciągającą kartkówką.

REKLAMA

PRENUMERATA EdW+

Rozpocznij przygodę z elektroniką!
Poznaj podstawy elektroniki z prenumeratą Elektroniki dla Wszystkich wraz z zestawem Praktyczny Kurs Elektroniki (PKE)

Na PKE składa się zestaw edukacyjny EDW A09 KPL, w którym znajdziesz:

1. Projekt – samodzielnie uruchamiany układ elektroniczny. Wszystkie układy są montowane na dołączonej płytce stykowej, do której wkłada się „nóżki" elementów na wcisk,

2. Pendrive z wykładami i materiałami multimedialnymi kursu PKE,

3. Zasilacz płytek stykowych AVT3072 C,

4. Zasilacz impulsowy 12 V, 1,4 A.

Cena prenumeraty EdW+PKE wynosi 280,90 zł.

Zamówienia na prenumeratę w ofercie EdW+ możesz złożyć na stronie **www.UlubionyKiosk.pl**

eprasa.pl d09f51483c

ANKIETA

W ostatnich dwóch latach liczba Czytelników EdW wzrosła o połowę. Wprowadzenie w tym roku rubryki Junior, czyli „gazety w gazecie" spotkało się z entuzjastycznym przyjęciem (z listu Czytelnika: Powiem tak – super sprawa! Wszystko wyjaśnione krok po kroku, zarówno „co", „jak" i „dlaczego" – a do tego w języku „junior friendly") i prawdopodobnie wpłynęło na rozkład wiekowy zbioru naszych Czytelników. Pora na Ankietę, żeby zaktualizować wiedzę Redakcji EdW o Czytelnikach i ich preferencjach. Wypełnienie tej Ankiety zajmie Ci nie więcej niż 3 minuty, a my za jej wypełnienie wyrazimy Ci wdzięczność w konkretnej formie – dostaniesz jedno wydanie EdW za darmo! Jeżeli prenumerujesz EdW – przedłużymy Twoją bieżącą prenumeratę o jeden numer, a jeśli nie jesteś prenumeratorem – wyślemy Ci numer EdW 02/2025 (do wyboru) w wersji papierowej lub elektronicznej.

Wypełnij ankietę do 31.12.2024 i prześlij ją (do wyboru):

- pocztą tradycyjną: **Wydawnictwo AVT, ul. Leszczynowa 11, 03–197 Warszawa**
- e-mailem (zdjęcie lub skan): **prenumerata@avt.pl**
- lub za pośrednictwem strony internetowej (opcja tylko dla tych, którzy jako gratyfikację za wypełnioną ankietę wybiorą cyfrową wersję EdW): **https://forms.gle/XmHjAa9oRZY8xUzo7**

1. Ten numer EdW znalazł się w Twoich rękach w następujący sposób:

☐ Zakup w kiosku
☐ Prenumerata wydania papierowego
☐ Prenumerata e-wydania
☐ Biblioteka szkolna
☐ Pożyczyłem od kolegi
☐ Inaczej

2. Od jak dawna czytasz EdW?

☐ Od ponad 10 lat
☐ Od kilku (3...10) lat
☐ Od paru (1...3) lat
☐ Od kilku miesięcy
☐ To mój pierwszy numer

3. Zdradź nam swój wiek:

☐ Do 15 lat
☐ Od 16 do 25 lat
☐ Od 26 do 50 lat
☐ Ponad 50 lat

4. A teraz płeć:

☐ Męska
☐ Żeńska

5. Czy masz wykształcenie o profilu elektronicznym?

☐ Tak
☐ Nie

6. Mieszkasz w:

☐ Mieście > 100 000 mieszkańców
☐ Mieście < 100 000 mieszkańców
☐ W gminie o charakterze wiejskim

7. Oceń artykuły w poszczególnych działach EdW w skali szkolnej od 1 do 6

Projekty dla elektroników	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Tutoriale	☐	☐	☐	☐	☐	☐
DIY dla wszystkich	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Junior	☐	☐	☐	☐	☐	☐

8. Jeśli masz uwagi szczegółowe o EdW, to przedstaw je poniżej:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Jako gratyfikację za wypełnienie ankiety wybieram (zaznacz jedną opcję):

☐ Drukowaną wersję EdW
☐ Elektroniczną wersję EdW

Ważne! Jeżeli jako gratyfikację wybierasz wersję cyfrową EdW, to możesz wypełnić ankietę na stronie: **https://forms.gle/XmHjAa9oRZY8xUzo7**

Dane adresowe do wysyłki papierowego numeru EdW:

.....

.....

.....

.....

Twój e-mail do wysyłki elektronicznego numeru EdW:

.....

Klauzula informacyjna
Administrator danych osobowych: AVTKorporacja sp. z o.o. z siedzibą ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa. Cel przetwarzania danych: realizacja wysyłki do Ciebie darmowego egzemplarza EdW w zamian za nadesłanie wypełnionej ankiety zamieszczonej w numerze EdW 12/2024. Okres przetwarzania danych: Twoje dane przetwarzane będą do czasu istnienia podstawy do ich przetwarzania – czyli w przypadku udzielenia zgody do momentu jej cofnięcia lub ograniczenia, w przypadku niezbędności danych do wykonania umowy – przez czas jej wykonywania. Masz prawo do: dostępu do Twoich danych, ich sprostowania, usunięcia, ograniczenia przetwarzania, wniesienia sprzeciwu wobec przetwarzania Twoich danych lub ich przenoszenia. Możesz: odwołać zgodę na przetwarzanie Twoich danych osobowych, zażądać, by Twoje wszystkie dane zostały usunięte. Podstawy prawne: art. 5, 6, 12, 13 Ogólnego rozporządzenia o ochronie danych osobowych (RODO).

eprasa.pl d09f51483c

ELEKTRONIKA dla wszystkich
JUNIOR
nr 6/2024 (6)

Święta to magiczny czas. Nawet córka naczelnego sięgnęła po lutownicę

Święta Bożego Narodzenia to czas nie tylko choinek, bombek i kolorowych światełek, ale również wyjątkowych okazji do rozwijania wyobraźni i umiejętności. W grudniowym wydaniu Elektroniki dla Wszystkich, podczas szóstego już spotkania w ramach cyklu EdW Junior, zapraszamy Was na niezwykłą relację z zajęć, podczas których nasi Juniorzy – pełni entuzjazmu i zapału – montowali cztery różne świąteczne błyskotki. Efekt? Niezapomniane wrażenia i świąteczna atmosfera rozświetlona ich własnoręcznie wykonanymi, kolorowymi dekoracjami, które będą w te święta ozdobą każdego z ich domów.

Fotografia 1. Od lewej: Andrzej, Karol, Dominik, Kornel, Kornel, Brajan. Koło Młodych Entuzjastów Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

O tym, że święta to prawdziwie magiczny czas, przypomniała mi w tym roku moja sześcioletnia Córka. Julia, bo tak ma na imię, duszę po Mamie ma mało techniczną. Jednak ostatniego wieczora duch świąt najwyraźniej natchnął naszą latorośl do tego stopnia, że do póki nie wyskładała wszystkich zestawów, nie ustąpiła. Były to: **Bożonarodzeniowe drzewko LED** (AVTXMAS1), **Czerwona świąteczna ozdoba RGB** (AVTXMAS3), **Choinka LED RGB** (AVTEDU640) i **Bombka LED dla każdego** (AVT3250). Entuzjazm, ale i manualna sprawność, którymi zaskoczyła mnie moja mocno nietechniczna Córka sprawiły, że, nie zastanawiając się wiele, chwyciłem za telefon i nagrałem kilka filmów, pod których wrażeniem wciąż pozostaję. Udostępniam je Czytelnikom za pomocą Elportalu w formie świątecznego bonusu do czasopisma. Ostatni film przedstawia montaż zestawu spoza świątecznego repertuaru, ponieważ wszystkie cztery świąteczne gadżety wyskładała w pierwszej godzinie i wciąż czuła niedosyt!

Jeśli małą duszyczkę, która od lutownicy na co dzień stroni, naszła taka wena, co musi się dziać w święta wśród entuzjastów elektronicznego montażu? Mam nadzieję, że odrobinę tego klimatu uda mi się oddać w opisie składanych błyskotek (**fotografia 2**) i zdjęciach ze świątecznej odsłony zajęć, które odbyły się we wszystkich lokalizacjach naszego koła Młodych Entuzjastów Elektroniki.

Żaden z omawianych zestawów nie sprawił uczestnikom większych problemów. Bez wątpienia stało się tak również dlatego, że zestawy zostały przygotowane z myślą o dzieciach, nawet takich, które do tej pory z montażem elektroniki nie miały żadnej styczności. Oczywiście, zwłaszcza w takich okolicznościach, montaż powinien odbywać się w asyście doświadczonej osoby dorosłej. **Rozgrzaną do temperatury 360°C lutownicą można sobie zrobić krzywdę, co do tego nie należy mieć wątpliwości. Również bateria guzikowa (pastylkowa) CR2032 użyta w dwóch spośród tych zestawów, mogłaby zostać przez dziecko połknięta i na skutek długo przepływającego prądu, wywołać w organizmie człowieka (i to nie tylko małego), spore spustoszenie. Wspomina się o tym niemal na każdym szkoleniu dotyczącym ratownictwa medycznego i pierwszej pomocy, wspominam i ja.** Po krótkiej zabawie gadżetem zmontowanym pod kontrolą osoby dorosłej (patrzymy czy dziecko przez przypadek nie wyciąga baterii i nie wkłada do buzi) zestawy z tą baterią, wieszamy na przykład na choince, im wyżej tym lepiej.

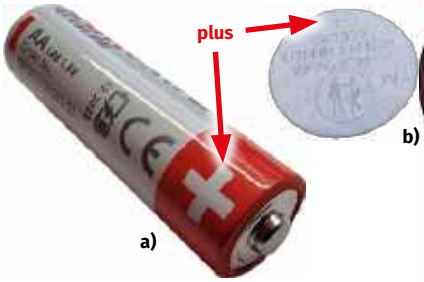
Fotografia 2. Zestawy gotowe do wyskładania

Wybór zestawu

Choć wszystkie zestawy prezentują podobny stopień trudności montażu (wszystkie są łatwe do złożenia), to najbardziej zaawansowaną konstrukcją jest tu zestaw Bożonarodzeniowe drzewko LED AVTXMAS1, który na koniec wymaga zmontowania ze sobą dwóch płytek PCB. Spoglądając na listę elementów, najprostszą konstrukcją wydaje się być z kolei Bombka LED dla każdego (AVT3250). Nic bardziej mylnego! Ten zestaw to coś więcej niż przylutowanie do płytki diody LED i baterii, ponieważ zawiera on dodatkowo dwa komponenty montowane powierzchniowo (komponenty SMD). Pierwszym z nich jest przełącznik a drugim profilowana blacha, tworząca wraz z płaszczyzną płytki PCB, do której zostanie przylutowana, całkiem ciekawy konstrukcyjnie slot na baterię CR2032, z którego, wedle moich obserwacji, dużo trudniej wyciągnąć baterię po jej uprzednim tam umieszczeniu (**fotografia 3**).

eprasa.pl d09f51483c

Fotografia 3. Bateria CR2032 zamontowana w slocie tworzonym przez powierzchnię płytki PCB z przylutowaną do niej, dołączoną do zestawu, profilowaną blaszką



Fotografia 4. Oznakowanie biegunowości a) na ogniwie AA (R6) b) na ogniwie CR2032

Fotografia 6. Poprawny montaż baterii a) w koszyczku na dwie baterie AA (R6) b) w uchwycie na baterię CR2032

Niech nie uśpi to jednak Waszej czujności, małe dzieci (a także młodsza siostra lub brat) bywają w tym względzie bardzo zdolne, tak więc, czuwajcie i bacznie obserwujcie wasze dzieci tudzież rodzeństwo! Dwa pozostałe zestawy: Czerwona świąteczna ozdoba RGB (AVTXMAS3) oraz Choinka LED RGB (AVTEDU640) stanowią nieco bardziej typowe konstrukcje. Zawierają one po klika elementów do montażu przewlekanego (przełącznik, kilka diod LED RGB i uchwyt do baterii), ale ponieważ elementów do zamontowania jest tam nieco więcej, komplikacja montażu każdego z omawianych zestawów nieco się równoważy. Najmłodszym polecam zestaw Choinka LED RGB (AVTEDU640) który jest prostszym do zbudowania zestawem zawierającym dwie baterie AA (R6) z uwagi na gabaryty nieco bardziej bezpieczne dla dzieci niż łatwe do połknięcia baterie CR2032. Juniorom poszukującym nieco więcej przygód montażowych polecam natomiast zestaw Bożonarodzeniowe drzewko LED AVTXMAS1 a jeśli ktoś ma ochotę powalczyć z elementami SMD, Bombka LED dla każdego (AVT3250) będzie świetną opcją. Jeśli zabawa ma potrwać nieco więcej niż kilkanaście minut, warto zorganizować dzieciakom po kilka zestawów.

Co trzeba wiedzieć, by uruchomić zestawy?

Ponieważ zestawy zaprojektowane zostały z myślą o osobach nie mających wcześniej żadnej styczności z montażem elektroniki, czuję się zobowiązany podać najważniejsze informacje, niezbędne do uruchomienia każdego z nich. Kluczem do sukcesu uruchomienia każdego z tych zestawów jest zrozumienie zagadnień związanych z biegunowością baterii oraz właściwą polaryzacją diod LED. Przede wszystkim należy wiedzieć, gdzie bateria (lub koszyczek z bateriami) ma wyprowadzony biegun dodatni, a gdzie ujemny. Dlaczego taka wiedza jest nam niezbędna? Wynika to z prostego faktu, że o ile, w klasycznych żarówkach stosowanych do niedawna powszechnie jako źródło światła sztucznego, sposób podłączenia biegunów baterii do żarówki nie miał żadnego znaczenia, o tyle dioda LED w przypadku niepoprawnego podłączenia biegunów, w najlepszym przypadku nie zaświeci, w najgorszym, ulegnie trwałemu uszkodzeniu.

Biegunowość baterii

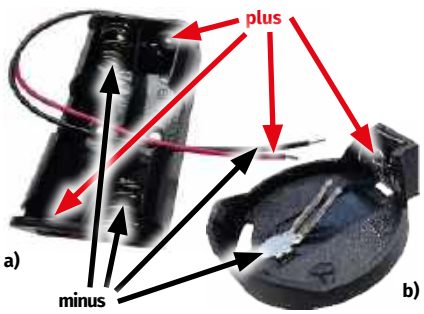
Wyraźne oznakowanie baterii nie pozostawia złudzeń co do umiejscowienia „plusa" i „minusa" (**fotografia 4a, b**)

Równie ważna jest umiejętność rozpoznawania biegunowości na koszyczku lub uchwycie baterii.

W przypadku koszyczków na baterie AA, **kabelek w kolorze czerwonym oznacza „plus"** a **czarny kabelek to „minus" zasilania** (**fotografia 5a**). W przypadku baterii CR2032 biegunowość uchwytu pokazano na **fotografii 5b**.

Oczywiście aby tak było, baterie muszą zostać w koszyczku prawidłowo zamontowane (**fotografia 6a, b**).

Raz w życiu trafiłem na wadliwie wyprodukowany koszyczek. Zakupiony u renomowanego polskiego dostawcy koszyczek na dwa ogniwa AA wystawiał „plus" na kabelku czarnym, a „minus" na kabelku czerwonym! Ależ było moje zdziwienie, gdy to odkryłem podczas namierzania przyczyny usterki złożonego układu, który nie zadziałał po włożeniu baterii! Choć trafić na wadliwy koszyczek to trochę jakby wygrać milion w totka, albo znaleźć igłę w stogu siana, mi taka sytuacja się raz przytrafiła. Dlatego warto dla zasady spojrzeć czy rzeczywiście czerwony kabelek podpięty jest do „plusa" baterii a czarny do jej „minusa".



Fotografia 5. Oznakowanie biegunowości a) na koszyczku dla baterii AA (R6) b) na uchwycie baterii CR2032

Iluminacja!

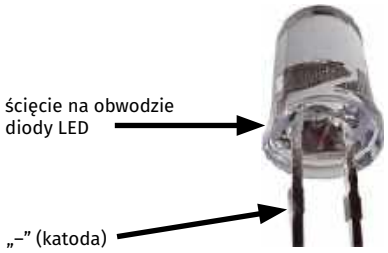
Zanim rynek zawojowały diody LED, powszechnie stosowanym źródłem światła sztucznego były żarówki. Wykorzystywano je również w tworzeniu świątecznych iluminacji. Z pewnych względów posługiwanie się nimi było nieco mniej skomplikowane, niż ma to miejsce w przypadku diod LED.

Polaryzacja diody LED

Podłączając napięcie do diody LED należy zachować odpowiednią polaryzację zasilania. Oznacza to, że dioda LED ma dwa wyprowadzenia, z których jedno jest elektrodą dodatnią (anodą), a drugie jest elektrodą ujemną (katodą). Anoda to wyprowadzenie, do którego należy dostarczyć „+" zasilania, a katoda to wyprowadzenie, do którego należy podłączyć „–" zasilania. Skąd wiadomo, gdzie w diodzie LED jest umiejscowiona anoda, a gdzie katoda? Anoda jest zazwyczaj wyprowadzeniem dłuższym niż katoda (**fotografia 7**). To pierwszy znak rozpoznawczy, którym najłatwiej się posługiwać. Innym znakiem rozpoznawczym jest charakterystyczne ścięcie na średnicy podstawy diody LED umiejscowione przy katodzie (elektrodzie ujemnej diody) pokazane na **fotografii 8**. Dla wprawnego oka ścięcie to jest widoczne i jednoznacznie wskazuje ujemne wyprowadzenie diody, jednak osoby początkujące miewają nie lada problem w zauważaniu i rozpoznawaniu tego ścięcia. Trzecim znakiem rozpoznawczym jest wielkość elektrod wewnątrz obudowy diody. Gdy zajrzymy do wnętrza obudowy diody LED, ustawiając ją wcześniej pod światło, dostrzeżemy, że jedna z tych elektrod jest znacznie większa i szersza od drugiej (fotografia 7). Ta szersza elektroda, na której centralnym punkcie zamontowany jest chip półprzewodnikowy i odbłyśnik, to z reguły katoda. „Z reguły", ponieważ zdarzają się

eprasa.pl d09f51483c

Fotografia 7. Budowa diody LED wraz z umiejscowieniem anody i katody



Fotografia 8. Ścięcie na okrągłym obwodzie diody LED lokalizujące katodę

pewne odstępstwa, w związku z czym, kierowanie się tą ostatnią cechą diody LED bywa zwodnicze. W przypadku wątpliwości warto diodę LED przetestować za pomocą multimetru skonfigurowanego w tryb pomiaru ciągłości obwodu. Jeśli przewody multimetru są poprawnie zamontowane, po przyłożeniu czerwonej sondy multimetru do anody diody LED, a czarnej sondy multimetru do katody diody LED, dioda LED powinna się zaświecić.

Co się stanie, gdy diodę LED podłączę odwrotnie?

Kiedy dioda LED zostanie podłączona odwrotnie, czyli w tzw. polaryzacji zaporowej (dodatni biegun źródła zasilania do katody, a ujemny do anody), prąd przez nią praktycznie nie płynie, ponieważ złącze p-n w takiej konfiguracji zablokuje przepływ elektronów. W efekcie dioda się nie zaświeci. Dioda LED, podobnie jak inne diody półprzewodnikowe, charakteryzuje się jednak pewnym ograniczonym, maksymalnym napięciem wstecznym (zaporowym), które może wytrzymać. W chwili jego przekroczenia, może dojść do przebicia złącza, co zwykle powoduje uszkodzenie diody. Diody LED mają zazwyczaj niskie maksymalne napięcie zaporowe (zwykle od 5 do 7 V), więc przypadkowe podłączenie diody do źródła o wyższym napięciu w odwrotnej polaryzacji może skutkować trwałym uszkodzeniem diody. W większości typowych aplikacji z diodami LED zasilanymi napięciem rzędu 3 V (jak przy zasilaniu z pojedynczej baterii), napięcie zaporowe rzadko osiąga poziom, przy którym mogłoby dojść do uszkodzenia diody. LED podłączony odwrotnie przy takim napięciu po prostu nie przewodzi, więc nie świeci, ale i nie ulega uszkodzeniu. Natomiast w przypadku większych systemów lub zasilania ze źródeł o wyższych napięciach (np. 12 V lub 24 V, jak w instalacjach samochodowych lub przemysłowych), napięcie zaporowe może przekroczyć bezpieczny limit dla diody LED i spowodować nieodwracalne jej uszkodzenie.

Diody LED RGB zachowują się inaczej

Użyte w zestawach diody LED RGB zawierają w swojej strukturze tak naprawdę trzy diody LED o różnych kolorach oraz układ sterujący każdą z nich. Podczas naszych zajęć zauważyliśmy wraz z Dominikiem, że diody te (zespoły diod) zachowują się nieco inaczej niż te klasyczne. Po omyłkowym wlutowaniu diody RGB do płytki w odwrotnym kierunku i załączeniu zasilania, ta źle wlutowana, nie dość, że nie zaświeci się, to dosyć szybko zacznie się ona nagrzewać i wewnętrznie uszkadzać. Im szybciej odłączymy wtedy zasilanie tym większa szansa na to, że diodę da się uratować poprzez jej zdemontowanie i ponowne zamontowanie, już we właściwym kierunku. Obserwacje każą nam stwierdzić, że źle zamontowana dioda LED RGB uszkadza się etapami (uszkodzeniu ulegają kolejne „kolory”). W przypadku pomyłki w montażu, jeśli posiadamy zapasowe diody LED RGB, warto wymienić diodę na nową. W przeciwnym wypadku warto sprawdzić, czy po naprawie zaświecają się naprzemiennie wszystkie trzy kolory podstawowe: czerwony, zielony oraz niebieski, oraz upewnić się, czy dioda LED po poprawce montażu nie nagrzewa się do odczuwalnie wyższej temperatury niż pozostałe.

Rezystor szeregowy

Diody LED działają na zasadzie zjawiska elektroluminescencji, które polega na emisji światła w wyniku przepływu prądu przez specjalnie skonstruowane złącze półprzewodnikowe. Wartość tego prądu musi mieścić się w zakresie zalecanym w dokumentacji udostępnionej przez producenta diody LED. Ponieważ dla uzyskania odpowiednich kolorów diod LED ich złącza p-n budowane są z różnych materiałów półprzewodnikowych, materiały te mają również odmienne charakterystyki elektryczne. Wynika z nich również prąd przewodzenia właściwy dla diody LED w określonym kolorze oraz napięcie przewodzenia, które przy takim prądzie się na danej diodzie LED odłoży. Prąd przewodzenia diody LED w przypadku większości typowych diod LED mieści się w zakresie od 10 do 20 mA, niemniej tę właściwą wartość należałoby odczytać wprost z noty katalogowej jej producenta. Prąd płynący przez diodę LED należy ustalić za pomocą szeregowo połączonego z nią rezystora. Przy prądzie przewodzenia diody LED zalecanym przez producenta odłoży się na niej określone napięcie przewodzenia, którego wartość również możemy odczytać wprost z noty katalogowej tego elementu. Znając napięcie zasilania (w przypadku dwóch ogniw AA lub jednego ogniwa CR2032, w chwili gdy baterie te są w pełni naładowane, napięcie to wyniesie 3 V) oraz napięcie przewodzenia diody LED, odczytane z noty katalogowej jej producenta, możemy obliczyć napięcie, które musi odłożyć się na rezystorze. Teraz pozostaje już tylko posłużyć się (być może poznanym w szkole na lekcji fizyki) prawem Ohma: R=U/I by obliczyć wartość rezystora. Dla przykładu, wyliczmy jaki rezystor należałoby zastosować, aby w sposób bezpieczny zasilić pojedynczą, czerwoną diodę LED, która według producenta powinna być zasilana prądem I_f=10 mA i na której przy takim prądzie przewodzenia powinno odłożyć się napięcie przewodzenia o wartości U_f=1,7 V. Obliczenia będą następujące:

$$R_{LED} = \frac{U_{zas} - U_f}{I_f} = \frac{3V - 1{,}7V}{10mA} = \frac{1{,}3V}{0{,}01A} = 130\Omega$$

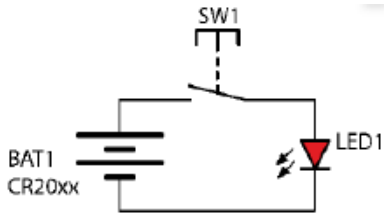
Mniej więcej tyle należałoby wiedzieć na temat biegunowości baterii, konieczności zachowania prawidłowej polaryzacji diod LED (właściwego kierunku montażu) i odpowiedniego podłączania diod LED do zasilania, pamiętając o stosowaniu rezystora szeregowego ograniczającego prąd przepływający przez diodę. Możemy zatem przejść do omówienia procesu montażowego każdego ze wspomnianych zestawów.

Bombka LED dla każdego (AVT3250)

Schemat elektryczny zestawu Bombka LED dla każdego (AVT3250) pokazano na **rysunku 1**.

Czego brakuje na schemacie? Gdyby dioda LED1 była klasyczną, świecącą światłem ciągłym jednobarwną diodą LED, należałoby natychmiast zauważyć, że na schemacie

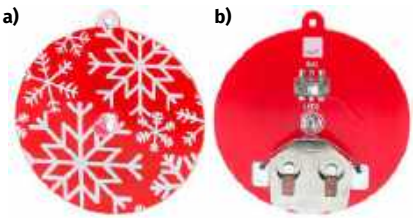
eprasa.pl d09f51483c



Rysunek 1. Schemat elektryczny zestawu Bombka LED dla każdego (AVT3250)

brakuje rezystora szeregowego ograniczającego prąd diody LED (zerknij do sekcji Rezystor szeregowy). Jednak zamiast standardowej diody LED do zestawu dołączono specjalną, migającą diodę LED ze zintegrowanym obwodem przerywającym. Powyższe wiąże się z tym, że dioda ta zawiera wewnątrz swojej obudowy bardziej zaawansowaną strukturę, która zawiera układ przerywający, a przy okazji dostosowuje prąd płynący przez taką diodę. Migające diody produkowane są w wersjach na różne napięcia zasilania, również na napięcie 3 V. Należy więc zauważyć, że schemat z rysunku 1, choć w powyższym szczególnym przypadku prawidłowy, jest pewnego rodzaju uproszczeniem, ponieważ struktura migającej diody LED kryje w sobie część obwodu (układ przerywający i ograniczający prąd przewodzenia diody), którego na schemacie nie widać. Ta migająca dioda LED połączona jest z przełącznikiem SW1, za pomocą którego można włączyć, bądź wyłączyć błyskającą diodę LED oraz symbol BAT1, który tak naprawdę zastępuje tu dwa elementy: baterię oraz blaszkę, która po przylutowaniu do płytki PCB stworzy (wraz z powierzchnią płytki) slot (gniazdo) na baterię CR2032 (fotografia 3). Dwa spośród tych elementów: przełącznik SW1 oraz blaszka slotu na baterię są komponentami do montażu powierzchniowego. Oznacza to, że należy je przylutować do powierzchni płytki PCB, bez przewlekania wyprowadzeń przez otwory w płytce PCB. Montaż takich komponentów wymaga pewnych umiejętności manualnych, w związku z czym zestaw stanowi swojego rodzaju wyzwanie i jest ciekawym pomysłem na upominek dla osoby, która do tej pory nie miała jeszcze styczności z komponentami SMD.

a) b)



Fotografia 9. Wygląd zmontowanej bombki a) widok od frontu, b) widok strony tylnej

Montaż zestawu Bombka LED dla każdego (AVT3250)

Montaż płytki należy rozpocząć od przylutowania przełącznika oraz blaszki slotu baterii. Oba te komponenty znajdują się na tej samej stronie płytki PCB, dlatego stawiając płytkę płasko na blacie stołu roboczego montaż warto rozpocząć od mniejszego włącznika SW1, a zaraz potem przylutować blaszkę, która utworzy wraz z płytką gniazdo baterii. Jeśli pospiesznie przylutujemy w pierwszej kolejności diodę LED, montaż będzie o wiele bardziej skomplikowany, ponieważ na czas montażu przełącznika i blaszki baterii nie będzie się dało ustawić płytki na stole. Przekonał się o tym nasz kolega Karol podczas zajęć stacjonarnych, który jednak podszedł do tematu bardzo kreatywnie i mimo wszystko świetnie poradził sobie z prawidłowym przylutowaniem wszystkich komponentów (**fotografia 10**).

Wyprowadzenia przełącznika ułożone są w dwa rzędy po trzy wyprowadzenia. Oznacza to, że przełącznik ten można przylutować dwojako, jednak oba kierunki montażu będą poprawne. Ciekawą opcją może być zastąpienie dostarczonego w zestawie miniaturowego przełącznika SMD, nieco większym komponentem THT, przyciskiem bistabilnym z odpowiednio wygiętymi wyprowadzeniami (**fotografia 11**). Taki komponent dużo łatwiej przytrzymać palcami i przylutować do płytki PCB nawet bez posługiwania się w tym celu pęsetą do montażu komponentów SMD. Ponadto dużo łatwiej będzie go załączyć nawet po ciemku, sięgając palcem i „przyduszając" odnaleziony po omacku przycisk. W przypadku chęci zamontowania alternatywnego przełącznika w postaci przycisku bistabilnego, należy pamiętać o tym, że w zależności od kierunku montażu przycisku, urządzenie będzie załączane wciśnięciem lub zwolnieniem przycisku.

Podczas montażu zarówno przełącznika jak i blaszki baterii może przydać się „pomocna dłoń" celem przytrzymania tych komponentów podczas lutowania. Należy jednak wiedzieć, że przełącznik jest elementem miniaturowym, a blacha baterii będzie się podczas lutowania nagrzewała do bardzo wysokiej temperatury, w związku z czym warto się wyposażyć w pęsetę przeznaczoną do lutowania komponentów SMD lub szczypce boczne, za pomocą których będzie można w komfortowy sposób przytrzymać sobie te komponenty podczas ich lutowania.

Przed przylutowaniem obu wspomnianych komponentów należy ustawić je na płytce

Fotografia 10. Karol podczas montażu blaszki baterii do bombki LED. Koło Młodych Entuzjastów Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

PCB zgodnie z rysunkami na warstwie opisowej oraz upewnić się, że wyprowadzenia tych komponentów są odpowiednio wycentrowane względem padów lutowniczych. Migającą diodę LED należy włożyć od przeciwnej strony płytki i przylutować wyprowadzenia od tej strony, na której zamontowane są wcześniej przylutowane komponenty SMD. Należy pamiętać o tym, by dopilnować właściwego kierunku montażu diody LED do płytki PCB. Krótsze wyprowadzenie diody LED (katodę) należy włożyć do otworu znajdującego się przy fragmencie prostej linii na obwodzie diody LED (**fotografia 12**).

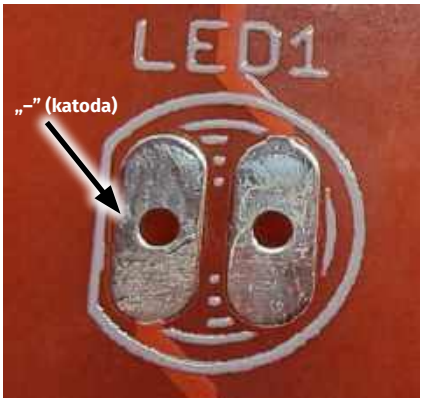
O tym co się stanie, jeśli diodę LED zamontujemy odwrotnie napisałem kilka akapitów wcześniej (*Co się stanie gdy diodę LED podłączę odwrotnie?* oraz *Diody LED RGB zachowują się inaczej*).

Po poprawnym zmontowaniu zestawu i umieszczeniu baterii CR2032 w slocie na baterię oraz załączeniu przycisku SW1, przylutowana dioda LED powinna zacząć migać. Jeśli jest inaczej, należy wyłączyć zasilanie oraz wyciągnąć baterię, a następnie przejść do sekcji *Uruchamianie zestawów*, dostępnej pod koniec dzisiejszego spotkania.

Podczas naszych zajęć stacjonarnych zdarzyło się, że przycisk SW1 wyglądał

Fotografia 11. Montaż alternatywnego przycisku bistabilnego w miejsce przełącznika dostępnego w zestawie

eprasa.pl d09f51483c



Fotografia 12. Ścięcie okręgu diody musi pokrywać się ze pozycją ścięcia na rzeczywistej diodzie LED (fotografia 8) i oznacza katodę. Do tego otworu (ale od przeciwnej strony) montujemy krótsze wyprowadzenie diody LED

na przylutowany do płytki, podczas gdy na jednym z jego wyprowadzeń cyna rozlała się wokół nogi, a mimo to, pomiędzy wyprowadzeniem komponentu a padem SMD na płytce drukowanej pozostawała szczelina, i kontakt elektryczny był tylko pozorny. Sprawdzenie połączenia za pomocą multimetru, ustawionego na pomiar ciągłości obwodu, poprzez przyłożenie jednej z sond pomiarowych do nogi przełącznika, a drugiej sondy do padu lutowniczego ujawniło przerwę w obwodzie. Poprawienie jakości tego lutu (cyna w całości zwilżyła ją i skutecznie zespoiła powierzchnię padu z wyprowadzeniem przełącznika) spowodowało, że układ zaczął działać poprawnie.

Bożonarodzeniowe drzewko LED (AVTXMAS1)

Kolejny zestaw, łączy w sobie zarówno bezpieczniejsze dla dzieci (większe gabarytowo i trudniejsze do połknięcia) baterie AA (R6), z nieco większą, może nie tyle komplikacją, co złożonością zestawu. Jak wspomniano, pod koniec montażu będzie należało połączyć ze sobą dwie płytki: podstawę i drzewko.

Z racji wykonywanego zawodu, związanego z projektowaniem i analizą projektów płytek drukowanych PCB pod kątem produkcji wielkoseryjnej, uwielbiam wszelkiego rodzaju nieszablonowe pomysły i konstrukcyjne nowinki. Pewnie dlatego w tym projekcie tak bardzo spodobała mi się koncepcja zaimplementowanej w płytkę giętarki do diod LED (**fotografia 15**). Nie znam autora projektu, ale, o ile kwestia połączenia płytek za pomocą slota z otaczającymi go polami miedzi wymagającymi zlutowania pod kątem prostym nie jest koncepcją nową, o tyle koncepcja wspomnianej giętarki do zaginania wyprowadzeń diod LED na określoną i powtarzalną długość to prawdziwe mistrzostwo.

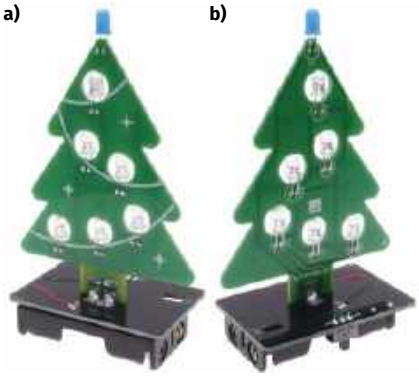
Montaż zestawu *Bożonarodzeniowe drzewko LED* (AVTXMAS1) warto rozpocząć od wygięcia wszystkich diod LED za pomocą wyżej wspomnianej giętarki. Na płytce PCB w obszarze giętarki znajduje się otwór w kształcie przekroju poprzecznego przez diodę LED. Do otworu tego należy przyłożyć diodę LED w taki sposób, by długości wyprowadzeń diod LED przylegające do powierzchni płytki PCB zgadzały się z długościami namalowanymi białą farbą na płytce PCB giętarki (fotografia 15). Jedna z kresek przylegających do otworu giętarki jest dłuższa i z tej właśnie strony powinno przylegać do płytki dłuższe wyprowadzenie diody LED. Druga z namalowanych kresek, sąsiadujących z otworem giętarki, jest krótsza i tutaj, analogicznie, powinna przylegać krótsza noga diody LED. Gdy obudowa diody LED leży w otworze, a nogi tej diody przylegają w opisany wcześniej sposób do powierzchni płytki pełniącej w tym momencie funkcję giętarki, należy zagiąć za pomocą palca wyprowadzenia diody LED pod kątem prostym, opierając je o krawędź płytki giętarki. Czynność tę powtarzamy dla wszystkich diod LED dołączonych do zestawu. W rezultacie otrzymamy siedem w identyczny sposób wygiętych diod LED. Teraz wystarczy umieścić wszystkie diody LED w płytce drukowanej świątecznego drzewka. Ponieważ diody zostały wygięte w sposób powtarzalny, wystarczy teraz powkładać je do płytki drzewka od strony ścieżek PCB (płytka wykonana jest w technologii jednostronnej, dlatego wszystkie ścieżki znajdują się po jednej stronie płytki). Warto jednak śledzić, czy rzeczywiście dłuższe wyprowadzenie każdej z diod LED trafia do otworu oznaczonego jako „+” lub „A”, a krótsze do „–” lub „K”, na wypadek gdyby miało się okazać, że na etapie gięcia popełniliśmy jakiś błąd. Po zamontowaniu każdej z diod w płytce drzewka lekko rozchylamy wyprowadzenia każdej z diod LED na boki, by nie wypadły one z płytki gdy odwrócimy ją „do góry nogami” chcąc przejść do procesu lutowania.

Kolejnym etapem po przylutowaniu diod LED RGB będzie przylutowanie płytki drzewka do płytki podstawy. W tym celu stawiamy płytkę podstawy padami lutowniczymi do góry, a następnie od góry wkładamy płytkę drzewka w szczelinę (slot) w płytce podstawy. Drzewko przechodząc przez slot w płytce podstawy powinno zatrzymać się i opierać się na blacie roboczym, na którym leży też płyta podstawy. Kierunek włożenia płytki drzewka w slot płytki podstawy nie jest obojętny. Zarówno na płytce podstawy, jak i na płytce drzewka, po jednej ze stron znajdują się dwa pola lutownicze, a po drugiej

Fotografia 13. Dominik i kolejna poskładana bombka LED, która ruszyła od „pierwszego strzała”. Koło Młodych Entuzjastów Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

stronie znajduje się jedno pole lutownicze. Należy zgrać kierunki płytki drzewka i płytki podstawy, by pola lutownicze w obu płytkach się ze sobą zgrywały. Następnie, rozgrzewając ze sobą pionowy (płytka drzewka) i poziomy (płytka podstawy) pad każdej z trzech par pól lutowniczych, cały czas utrzymując płytkę drzewka w pionie, tworzymy z użyciem większej ilości cyny trzy solidne połączenia lutowane, pełniące zarówno funkcję elektryczną (przepływ prądu elektrycznego) jak i mechaniczną (wzajemne połączenie płytek drukowanych).

Na koniec tego etapu należy sprawdzić czy nie zostały ze sobą zwarte sąsiadujące pola lutownicze łączące obie płytki PCB (każde z trzech solidnych pól lutowniczych



Fotografia 14. Wygląd zmontowanego Bożonarodzeniowego drzewka LED (AVTXMAS1) a) widok od frontu, b) widok strony tylnej

Fotografia 15. Zintegrowana w płytce giętarka do zaginania wyprowadzeń diod LED na określoną i powtarzalną długość. Białe linie wskazują gdzie umieścić dłuższe a gdzie krótsze wyprowadzenie diody LED

eprasa.pl d09f51483c

Fotografia 16. Julia lutuje diody LED do płytki drzewka

łączących obie płytki powinno być odseparowane od pozostałych).

Na samym końcu montujemy do płytki podstawy trzy pozostałe elementy: rezystor ograniczający prąd dla klasycznej diody LED, montowanej na szczycie drzewka, przełącznik SW1 oraz koszyk na dwie baterie AA.

Rola rezystora R1 została szerzej opisana w akapicie *Rezystor szeregowy*. Pozostałe diody LED (a w zasadzie zespoły diod LED) nie potrzebują takiego rezystora, ponieważ są to w zasadzie bardziej zaawansowane zestawy trzech diod LED w trzech podstawowych kolorach (czerwony, zielony i niebieski) zamknięte wraz z zaawansowanym układem sterowania w pojedynczej obudowie. Układ sterowania zawarty w takiej diodzie LED RGB steruje naprzemiennym zapalaniem się wszystkich kolorów, ale również dostosowuje prąd przepływający przez każdą z nich, stąd dodatkowe rezystory nie są już tam potrzebne. Większość z takich diod zaprojektowano do pracy przy napięciu zasilania równym 3 V i należy domniemywać, że tak to wygląda również w przypadku diod RGB dołączonych do zestawu. Z uwagi na powyższe, płytkę podstawy z płytką drzewka połączyliśmy za pomocą trzech (a nie dwóch) pól lutowniczych. Dioda zamontowana na szczycie choinki to zwykła dioda LED świecąca światłem ciągłym (wymagająca zastosowania rezystora szeregowego) i jest ona zasilana z osobnego pola lutowniczego (dołączonego na płytce podstawy za pomocą rezystora R1 do plusa zasilania). Pozostałe diody LED RGB podłączone są wprost do plusa zasilania, z pominięciem wspomnianego rezystora. Masa jest wspólna dla każdej z diod LED.

Fotografia 17. Przygotowanie do przymocowania koszyczka baterii do PCB za pomocą dwustronnej taśmy klejącej

Po zespojeniu ze sobą płytki drzewka z płytką podstawy i wlutowaniu w płytkę podstawy rezystora R1 należy zamontować do płytki podstawy koszyk na dwie baterie AA. Zwracając baczną uwagę na kolory kabelków koszyczka i oznaczenia na płytce PCB przewlekamy te kabelki przez odpowiednie szczeliny w płytce PCB (w przypadku wątpliwości, przeczytaj ponownie akapit *Biegunowość baterii*) a następnie przyklejamy koszyk na baterie do płytki podstawy za pomocą dwóch kawałków dołączonej do zestawu dwustronnej taśmy samoprzylepnej (**fotografia 17**).

Gdyby w zestawie takiej taśmy nie było, można się tu posłużyć popularnym klejem na gorąco (jeśli takowy posiadamy). **Konieczna tu będzie pomoc ze strony osoby dorosłej, ponieważ takim klejem można się w bardzo dotkliwy sposób poparzyć. Posługiwanie się pistoletem na gorący klej jest, w mojej ocenie, dużo bardziej niebezpieczne niż posługiwanie się lutownicą. O ile rozgrzana cyna nie przyklei się do ręki i zawsze łatwo ją strzepnąć, o tyle gorący klej, który kapnie na rękę lub palec, przytwierdza się do ciała i minie całkiem sporo czasu, zanim wystygnie.** Po przytwierdzeniu koszyczka do spodniej części płytki podstawy na pozycji SW1 należy jeszcze zamontować włącznik SW1. Poprawnie zmontowany i uruchomiony zestaw widoczny jest na **fotografii 18**.

Po zmontowaniu całego drzewka, pozostaje przejść do sekcji *Uruchamianie zestawów*.

Fotografia 18. Zmontowane i uruchomione Bożonarodzeniowe drzewko LED (AVTXMAS1)

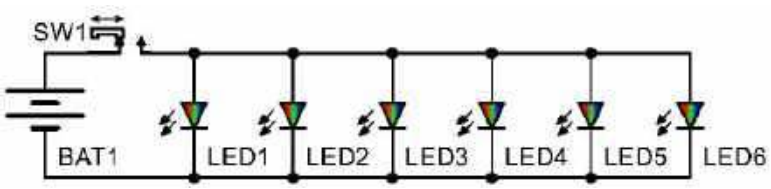
Czerwona świąteczna ozdoba RGB (AVTXMAS3)

Schemat elektryczny zestawu *Czerwona świąteczna ozdoba RGB* (AVTXMAS3) pokazany na **rysunku 2** jest równie prosty jak ten do zestawu *Bombka LED* dla każdego (AVT3250), pokazany wcześniej na rysunku 1, z tą różnicą, że zamiast pojedynczej, migającej jednobarwnej diody LED, mamy tu aż sześć płynnie zmieniających kolory diod LED RGB.

W obwodzie żadnej z tych diod LED nie znajdziemy szeregowo wpiętego rezystora, który ograniczałby prąd przepływający przez każdą z nich. O tym, dlaczego rezystor ten nie jest potrzebny w przypadku zastosowania diod LED RGB, opowiedziałem podczas omawiania budowy poprzedniego zestawu.

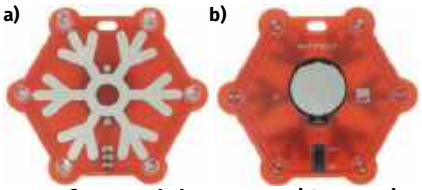
Montaż zestawu Czerwona świąteczna ozdoba RGB (AVTXMAS3)

W tym prostym zestawie największej uwagi wymaga montaż diod LED RGB. Wszystkie diody LED1…LED6 należy włożyć od strony z nadrukiem śnieżynki w taki sposób, by ich dłuższe wyprowadzenia (anody) trafiły do otworów podpisanych znakiem „+” lub literą „A” a krótsze wyprowadzenia (katody)



Rysunek 2. Schemat elektryczny zestawu Czerwona świąteczna ozdoba RGB (AVTXMAS3)

eprasa.pl d09f51483c



Fotografia 19. Wygląd zmontowanej Czerwonej świątecznej ozdoby RGB (AVTXMAS3) a) widok od frontu, b) widok strony tylnej

Fotografia 20. Nadruk na warstwie opisowej płytki do zestawu Czerwona świąteczna ozdoba RGB (AVTXMAS3) pokazujący właściwy kierunek montażu diody LED RGB

włożone zostały w otwór oznaczony znakiem „–” lub literą „K” (**fotografia 20**).

Montaż dwóch pozostałych elementów jest w zasadzie banalny. Należy zamontować je po drugiej stronie płytki PCB, co po zawieszeniu ozdoby na choince, pozwoli wyeksponować mieniące się wszystkimi kolorami tęczy diody LED RGB, a jednocześnie ukryć niekoniecznie epatujące równie wielkim pięknem baterię i włącznik. Kierunek montażu uchwytu na baterię ma znaczenie z uwagi na konieczność zachowania poprawnej biegunowości baterii dla obecnych w układzie

Fotografia 21. Sumienny i odpowiedzialny Tymek, zawsze pamiętając o noszeniu gogli ochronnych, lutuje diody LED RGB do zestawu Czerwona świąteczna ozdoba RGB (AVTXMAS3)

diod LED RGB (patrz sekcja Biegunowość baterii). Nadruk na płytce PCB oraz kształt samego uchwytu jednoznacznie determinują, w jaki sposób element ten należy przylutować do płytki. Kierunek montażu włącznika jest obojętny. Niezależnie od tego, w jaki sposób zostanie wlutowany do płytki PCB, zawsze będzie działał w taki sam sposób, zwierając dwa sąsiednie wyprowadzenia, na które wskazuje w danym momencie pozycja jego hebelka.

Po zmontowaniu ozdoby pozostaje przejść do sekcji *Uruchamianie zestawów*.

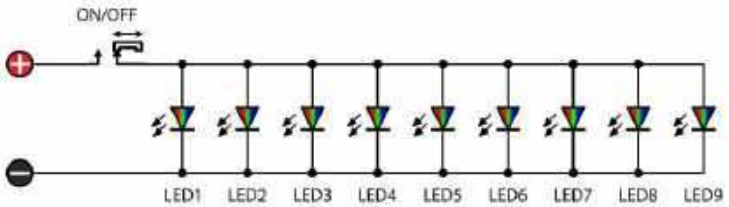
Choinka LED RGB (AVTEDU640)

Schemat elektryczny zestawu *Choinka LED RGB* (AVTEDU640), pokazany na **rysunku 3**, jest analogiczny do tego z rysunku 2 dla zestawu *Czerwona świąteczna ozdoba RGB* (AVTXMAS3), z tą różnicą, że zawiera o trzy diody LED RGB więcej (dziewięć diod LED RGB). Powód, dla którego na schemacie (i płytce) zabrakło szeregowych rezystorów dla diod LED RGB wyjaśniłem podczas omawiania wcześniejszego zestawu (przy zastosowaniu migających diod RGB jest to sytuacja poprawna).

Montaż zestawu Choinka LED RGB (AVTEDU640)

Podobnie jak w poprzednim zestawie, w tym również największej uwagi wymaga montaż diod LED RGB. Wszystkie diody LED1…LED9 należy włożyć od strony z nadrukiem choinki w taki sposób, by ich dłuższe wyprowadzenia (anody) trafiły do otworów podpisanych znakiem „+” lub literą „A”, a krótsze wyprowadzenia (katody) włożone zostały w otwór oznaczony znakiem „–” lub literą „K”. Oznakowanie diod LED na płytce PCB jest identyczne z tym pokazanym już wcześniej na **fotografii 20**. Oznakowania zabrakło natomiast dla diody LED RGB, którą należy zamontować na samym szczycie choinki. Albo tego oznakowania rzeczywiście zabrakło, albo ukryło się ono w białym wypełnieniu gwiazdy (**fotografia 23**).

Odrobina dobrze rozumianego sprytu z pewnością nie raz wyrwie Cię z niepewności, dlatego zamiast martwić się brakującym oznaczeniem polaryzacji, warto w tym

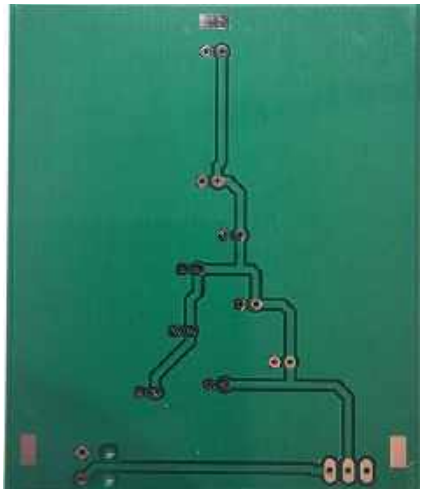


Rysunek 3. Schemat elektryczny zestawu Czerwona świąteczna ozdoba RGB (AVTXMAS3)

Fotografia 22. Wygląd zmontowanej Choinki LED RGB (AVTEDU640)

Fotografia 23. Wypełnienie gwiazdy najpewniej zakryło opis informujący o sposobie montażu diody LED na szczycie choinki. Jak sobie z tym poradzić?

momencie odwrócić płytkę PCB na drugą stronę, by zauważyć, że wszystkie anody diod LED podłączone są za pomocą cienkiej ścieżki, a wszystkie katody do „wylania” miedzi na całej pozostałej powierzchni płytki drukowanej (**fotografia 24**). Tym samym oczywistym powinno się stać, że diodę LED RGB, która ma zostać zamontowana pośrodku gwiazdy, należy zamontować dokładnie tak



Fotografia 24. Strona lutowania płytki do zestawu Choinka LED RGB (AVTEDU640) pozwala zorientować się w jaki sposób przylutować diodę LED RGB, dla której zabrakło oznaczenia na warstwie opisowej

eprasa.pl d09f51483c

Fotografia 25. Julia lutuje diody LED RGB. Zestaw Choinka LED RGB (AVTEDU640)

samo, jak wszystkie pozostałe, czyli tę również należy umieścić w otworach w taki sposób, by dłuższe wyprowadzenie diody LED RGB (anoda) podłączone zostało do wąskiej ścieżki na płytce, a krótsze wyprowadzenie tej diody (katoda) do pola „wylanej" po całej pozostałej powierzchni płytki miedzi.

Kolejnym po diodach LED RGB elementem do przylutowania jest przełącznik pozwalający zamknąć obwód elektryczny pomiędzy baterią i diodami LED RGB. Jest to dokładnie taki sam przełącznik, jak w przypadku dwóch ostatnio opisanych zestawów. Kierunek montażu tego przełącznika jest oczywiście obojętny, ponieważ jego rolą jest zwieranie sąsiednich wyprowadzeń, na które wskazuje w danym momencie pozycja hebelka włącznika. Niezależnie od kierunku montażu, tego typu przełącznik zawsze będzie działał tak samo. Przełącznik należy zamontować zgodnie z rysunkiem na warstwie opisowej, a więc po tej samej stronie płytki PCB, co diody LED RGB (**fotografia 26**). Na samym końcu do zestawu należy przylutować kabelki koszyczka baterii. Czerwony kabelek przewlekamy od strony lutowania w kierunku strony montażu komponentów przez otwór sąsiadujący z polem lutowniczym dla tego kabelka czerwonego, oznaczonego znakiem „+", a następnie wkładamy odizolowaną jego końcówkę w otwór pola lutowniczego i lutujemy do padu. Analogicznie postępujemy z kabelkiem czarnym, który należy zamontować finalnie do otworu oznaczonego symbolem „–".

Po zmontowaniu ozdoby pozostaje przejść do sekcji *Uruchamianie zestawów*.

Fotografia 26. Sposób montażu kabelków koszyczka baterii do płytki PCB

Fotografia 27. Kornel prezentuje uruchomiony zestaw Choinka LED RGB (AVTEDU640). Koło Młodych Entuzjastów Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

Uruchamianie zestawów

Z uwagi na konstrukcyjne podobieństwo wszystkich omawianych zestawów, sekcja dotycząca uruchomienia i diagnostyki jest wspólna. Po starannym sprawdzeniu poprawności montażu dowolnego z powyższych zestawów na ewentualność występowania zwarć na elementach oraz zimnych lutów, czyli kiepskiej jakości połączeń lutowanych, i wyeliminowaniu wszystkich potencjalnie odnalezionych usterek montażowych, ustaw proszę przełącznik SW1 w pozycji „OFF", zamontuj baterie, a następnie na krótką chwilę ustaw przełącznik SW1 w pozycji „ON", obserwując jednocześnie zachowanie się wszystkich diod LED w zestawie. Jeśli zaświeciły się wszystkie diody LED, możesz pominąć dalsze czynności i cieszyć się poprawnie zbudowanym zestawem. Jeśli jest inaczej i którakolwiek z diod LED w zestawie nie zaświeciła się, pospiesznie ustaw przełącznik SW1 z powrotem w pozycji „OFF", wyjmij baterie, a następnie dokonaj szczegółowych oględzin całego układu, posługując się obszernym poradnikiem dotyczącym odnajdowania i naprawie błędów montażowych w powyższych zestawach. Z uwagi na objętość, poradnik ten udostępniamy wszystkim Czytelnikom w wersji elektronicznej na stronie Elportalu.

Więcej świątecznych zestawów!

Powyżej omówiłem budowę czterech przykładowych zestawów świątecznych, natomiast w sklepach elektronicznych, a w szczególności w ofercie sklepu

www.sklep.avt.pl

znajdziecie ich znacznie więcej! Poniżej znajdują się fotografie kilku z nich.

Podsumowanie

Namierzanie ewentualnej usterki w wyjątkowo prostym układzie, jaki stanowi każda z opisywanych tu ozdób świątecznych, może być prawdziwą przygodą, a rozwiązanie zagadki, dającym masę frajdy, samodzielnym osiągnięciem. Udostępniona online w Elportalu lista możliwych usterek powinna znacząco uprościć i uprzyjemnić całą zabawę. Istnieje natomiast olbrzymie prawdopodobieństwo, że zmontowany układ od razu zadziała poprawnie i natychmiast po zmontowaniu sprawi Ci wiele frajdy (**fotografia 28**). Powodzenia w montażu i uruchomieniu wszystkich świątecznych ozdób. Do zobaczenia już w nowym roku kalendarzowym 2025! Ho ho ho! Wesołych Świąt i Szczęśliwego Nowego Roku. ■

Mariusz Ciszewski

Fotografia 28. Tymka (od lewej) i Sebastiana (od prawej) już ogarnęła świąteczna atmosfera. Teraz Twoja kolej. Koło Młodych Entuzjastów Elektroniki, Wrocław

elpraca.pl d09151483c

Przedstawiamy początkowe fragmenty dwóch projektów ze zbioru kilkudziesięciu projektów dostępnych wyłącznie dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na **www.elportal.pl**. W rubryce DIY PLUS zamieszczamy aktualnie najciekawsze projekty publikowane w Internecie w formule open source. Prenumeratorów EdW zapraszamy do zapoznania się na **www.elportal.pl** z niezwykle inspirującymi zasobami rubryki DIY PLUS.

Inteligentny ściemniacz LED Bluetooth – 4-kanałowy włącznik/wyłącznik Bluetooth

Inteligentny ściemniacz LED Bluetooth, 4-kanałowy przełącznik ON/OFF to wszechstronne urządzenie, które umożliwia użytkownikom sterowanie różnymi urządzeniami, w tym oświetleniem, wentylatorami i silnikami DC, za pomocą aplikacji Bluetooth na urządzeniu z systemem Android. Urządzenie posiada 4-kanałowy ściemniacz, który może obsługiwać obciążenia indukcyjne lub rezystancyjne z zakresem zasilania od 12 V do 48 V i wydajnością prądową do 3 A na kanał. Projekt został zaprojektowany do pracy z obciążeniami DC i zawiera diody freewheeling na wszystkich 4 tranzystorach MOSFET do obsługi obciążeń indukcyjnych, takich jak silniki DC i solenoidy. Urządzenie wymaga podwójnego zasilania, z zasilaniem logicznym 12 V...15 V i zasilaniem obciążenia od 12 V do 48 V. Może jednak również działać z pojedynczym zasilaniem 12 V...15 V poprzez połączenie pinów VDD i VL .

Sterownik ksenonowej lampy błyskowej

Jest to płytka sterownika lampy ksenonowej i składa się z obwodu konwertera wysokiego napięcia AC na DC, kondensatora magazynującego DC, obwodu wyzwalającego, który odpali lampę ksenonową, transoptora do sterowania błyskami itp. Obwód wymaga napięcia 220 VAC i impulsu wyzwalającego, który powinien wynosić od 3 V do 5 V. Wejściowy impuls wyzwalający jest optycznie izolowany i może być połączony z Arduino lub innymi obwodami. Obwód działa dobrze z częstotliwością wyzwalania od 2 Hz do 10 Hz.

Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. 8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
2. 8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
3. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
4. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
5. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
6. Czujnik prądu low-side 10 µA...10 mA
7. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
8. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
9. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
10. Kontroler pełnego mostka z przesunięciem fazowym i prostowaniem synchronicznym wykorzystujący UCC28950
11. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W
12. Monitorowanie poziomu cieczy za pomocą czujnika ciśnienia – wyświetlacz słupkowy
13. Sterowanie silnikiem DC za pomocą joysticka
14. 16-kanałowy sterownik serwomechanizmów RC z interfejsem I²C
15. Programowalny kondycjoner sygnału z czujnika rezystancyjnego mostkowego
16. Choinka z Arduino i pikselowymi diodami
17. 20-segmentowy wyświetlacz słupkowy w rozmiarze jumbo
18. Stacja pogodowa lilygo ttgo t5-4.7 z wyświetlaczem typu e-papier
19. Półprzewodnikowy przekaźnik mocy DC z prądowym sprzężeniem zwrotnym
20. Wyłącznik nadprądowy – przekaźnik wyłączający nadprądowy
21. TinyML – Rozpoznawanie ruchu przy pomocy RPi Pico
22. Uniwersalny konwerter napięcia AC – wyjście 18 V DC z wejścia 85...265 V AC
23. Moduł procesora echa głosu – urządzenie opóźniające do efektów dźwiękowych, echo, reverb
24. Sterownik silnika krokowego z joystickiem
25. RPi – stacja pogodowa IoT
26. Niskobudżetowy monitor jakości powietrza IoT oparty o RaspberryPi 4
27. Automatyczny system ogrodniczy z NodeMCU i Blynk, ArduFarmBot 2
28. Wzmacniacz piezoelektryczny do gitary i skrzypiec
29. Wysokowydajny i niezawodny sterownik bipolarnego silnika krokowego
30. Sonarowy theremin MIDI
31. Sterownik silnika prądu stałego z wykorzystaniem przekaźnika i mosfetu – interfejs Arduino
32. Super prosty czuły wykrywacz metali
33. Najlepszy sposób na próbkowanie dźwięku za pomocą ESP32

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, okładka,
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

W RUCH S.A., e-mail: prenumerata@ruch.com.pl
tel. 801 800 803, 22 717 59 59, www.prenumerata.ruch.com.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 d09f51483c

Elektor Bestsellers

SAVE UP TO 26% NOW!

www.elektor.com/sale/deals

Elektor SUMMER SALE

elektor design > share > earn

eprasa.pl d09f51483c