Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 24 – analogowe filtry pasmowe

ELEKTRONIKA dla wszystkich JUNIOR strona 83

ELEKTRONIKA dla wszystkich

nr 11/2024 (346) • listopad • www.elportal.pl

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

Inteligentny podwójny zasilacz hybrydowy

PROJEKTY dla elektroników
- Sterownik wentylatorów chłodzących i zabezpieczenie głośników
- Modyfikacja fabrycznego odbiornika radiowego ELTRA 820U JOWITA
- Wzmacniacz mocy 500 W, część 3

DIY dla wszystkich
- „Dyskoteka" mrugających diod w 5 kolorach
- Alarm z czujką dymu i układem scalonym UM3562
- Alarm deszczowy

TUTORIALE
- Audio OUT: Wokoder analogowy, część 2
- Chirurgia obwodowa: Ochrona układów przed przeciążeniami elektrycznymi
- Czujniki jakości powietrza
- Ekscytacje Maxa: Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (14)
- Podzespoły: czujniki PIR
- Pokój Nauczycielski: Bezpieczny zamek szyfrowy

ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
9 771425 169245 11
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

OLED
artronic
OPTOELEKTRONIKA
www.artronic.pl

eprasa.pl 261515f3ed

Najbardziej popularne kity AVT

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

AVT1476 Automatyczny włącznik zmierzchowy
https://sklep.avt.pl/avt1476.html

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

AVT1066 Miniaturowy zasilacz uniwersalny z LM317
https://sklep.avt.pl/avt1066.html

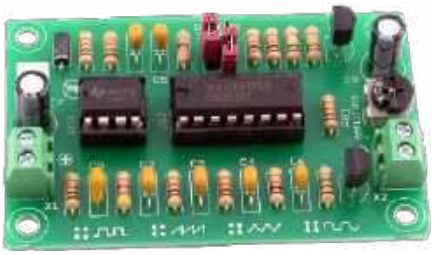
AVT1569 Generator akustyczny 20 Hz...20 kHz
https://sklep.avt.pl/avt1569.html

AVT1023 Przedwzmacniacz gramofonowy o charakterystyce RIAA
https://sklep.avt.pl/avt1023.html

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

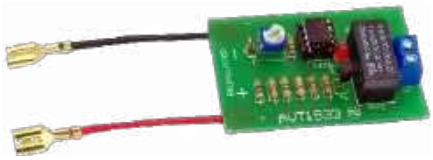
AVT1594 Wzmacniacz mocy 2×45 W z STK4182
https://sklep.avt.pl/avt1594.html

AVT1459 Uniwersalny układ czasowy
https://sklep.avt.pl/avt1459.html



AVT1327 Mini generator funkcyjny
https://sklep.avt.pl/avt1327.html

AVT1597/3 Wzmacniacz audio z układem TDA2050 35 W
https://sklep.avt.pl/wzmacniacz-audio-z-ukladem-tda2050-zestaw-do-samodzielnego-montazu.html



AVT1533 Zabezpieczenie akumulatora 12 V przed rozładowaniem
https://sklep.avt.pl/avt1533.html

AVT1661 Elektroniczna kostka do gry
https://sklep.avt.pl/avt1661.html

Pełna oferta na: sklep.avt.pl

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

eprasa.pl 261515f3ed

prenumerata

–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 | AVT-Korporacja sp. z o.o. ul. Leszczynowa 11, 03-197 Warszawa
rachunek bankowy: 18 1050 1012 1000 0024 3173 1013

ELEKTRONIKA dla wszystkich

listopad 2024 • 11 (346)

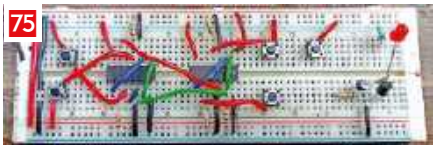
8

20

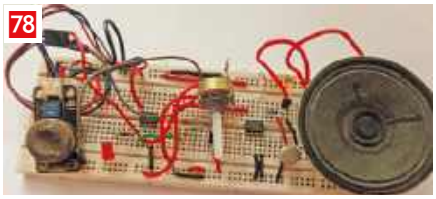
29

71

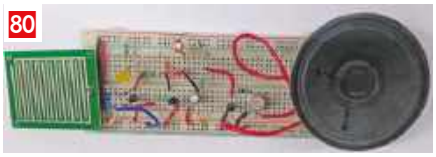
75



78



80



Projekty dla elektroników:

Inteligentny podwójny zasilacz hybrydowy, część 1 8
Sterownik wentylatorów chłodzących i zabezpieczenie głośników 20
Modyfikacja fabrycznego odbiornika radiowego ELTRA 820U JOWITA 29
Wzmacniacz mocy 500 W, część 3 30

Tutoriale:

Audio OUT: Wokoder analogowy, część 2 40
Chirurgia obwodowa:
Ochrona układów przed przeciążeniami elektrycznymi 44
Czujniki jakości powietrza 48
Wykład 24: Analogowe filtry pasmowe 54
Ekscytacje Maxa:
• Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (14) 60
• Sprytne porady i sztuczki cyklu Ekscytacje Maxa dotyczące kodowania .. 64
Podzespoły: czujniki PIR 66
Pokój Nauczycielski: Bezpieczny zamek szyfrowy 71

DIY dla wszystkich:

„Dyskoteka" mrugających diod w 5 kolorach 75
Alarm z czujką dymu i układem scalonym UM3562 78
Alarm deszczowy 80

Elektronika dla Wszystkich – Junior:

Piąte spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 83

Na zdjęciu na okładce Karol, Szkoła Podstawowa nr 86, koło zainteresowań „Młodych Entuzjastów Elektroniki", Wrocław

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

8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym 91
8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym 91

Rubryki stałe:

Prenumerata 3
Od redakcji 5
Poczta 6

eprasa.pl 261515f3ed

A za miesiąc w grudniowym EdW

- **Jednoręki Bandyta**

  Bezpieczny hazard nie jest możliwy? A jednak! Przenieś się do czasów obwoźnych budek z automatami do gier! Zbuduj kultowego jednorękiego bandytę, wrzuć monetę i zgarnij wygraną! Automat równie grywalny jak ten prawdziwy, ale, co ważne, z tym nie zbiedniejesz!
- **Inteligentny podwójny zasilacz hybrydowy, część 2**

  Montaż i kalibracja opisanego w bieżącym numerze zasilacza warsztatowego 2×0...25 V DC, 2×5 A, dającego możliwość łączenia wyjść, prezentacji wyników na wyświetlaczu graficznym i sterowania za pomocą dwóch obrotowych selektorów oraz dwóch przycisków.
- **Spawarka typu CD (Capacitor Discharge)**

  Przedstawiamy projekt spawarki CD o energii spawania wynoszącej 208...365 J. Spawarki tego typu gromadzą znaczną energię w kondensatorach, a następnie uwalniają ją w krótkim czasie w postaci prądu elektrycznego, co umożliwia szybkie i efektywne spawanie, na przykład pakietów baterii.
- **Czujniki jakości powietrza**

  Kontynuując temat, tym razem zagłębiamy się w szczegóły. Bierzemy pod lupę nowoczesne moduły czujników typu MOS (metal-tlenek-półprzewodnik), które mogą okazać się kluczowym narzędziem w walce o czystsze powietrze.
- **Kolejne zaskakujące projekty DIY**
- **Kontynuacja cyklu wartościowych Tutoriali**
- **Następna porcja zabawy i wiedzy dla najmłodszych Czytelników, Juniorów EdW**

W kioskach od 29 listopada

Wodni włamywacze, czyli listopad i Kevin w natarciu

Kiedy pisałem poprzedniego wstępniaka, na motyw przewodni wybrałem niespotykanie ciepłą jesień. Zdążyłem co prawda wspomnieć o pogodzie żyjącej ostatnimi czasy własnym życiem, ale że w połowie września zagra nam na nosie w wiadomy dziś sposób, tego nie przewidziałem.

Żywioł potrafi zaskoczyć, a woda, choć bez niej nie byłoby życia na Ziemi, potrafi w dotkliwy sposób pokazać również swą niszczycielską moc. Powodziom o takiej skali trudno przeciwdziałać za pomocą amatorsko budowanych konstrukcji elektronicznych, niemniej odpowiednio wcześnie wykrywając te mniejsze zalania, można uratować wiele drogocennych domowych sprzętów i elementów wyposażenia. Jeśli w porę zorientujemy się, że mamy wyciek wody na przykład z uszkodzonych sprzętów w łazience, mamy szansę szybko zakręcić główny zawór wody w budynku i uratować choćby bukowy parkiet w salonie (klepki bukowe po narażeniu na wodę łatwo pęcznieją, odkształcają się i tracą swe mechaniczne właściwości). Ten przykład pokazuje, że nawet mały układzik, na przykład AVT1433 złożony z rezystora, tranzystora i buzzera, pracujący przez wiele lat na jednej baterii, ma potencjał uratować niemały majątek.

Zaskoczyć mogą też inne zdarzenia, albowiem zagrożeniem potrafi bywać nie tylko żywioł, ale też drugi człowiek! Mimo całkiem wysokiego rozwoju cywilizacyjnego człowieka w świecie zwierząt (na polu nauki i techniki na pewno, ale wydawać by się mogło, że również na polu świadomości, wrażliwości i inteligencji emocjonalnej), nasz gatunek wciąż nie jest wolny od wielu bardzo wątpliwych instynktów. Bez wątpienia może dziwić, a nawet szokować, że w XXI wieku ludzkości wciąż zdarza się sięgać po rozwiązania militarne w celach innych niż obronne. To, co na kartach zamierzchłej, prymitywnej przeszłości mogło wydawać się nieuniknione i rozwojowo przejściowe, dzisiaj naprawdę ma prawo czynić konsternację.

Jednak po etycznie wątpliwe rządze wcale nie trzeba sięgać aż tak daleko. Już niebawem okres świąteczno-noworoczny, a ten nieodzownie łączy się z wyjazdami na świąteczne spotkania rodzinne. Nawet jeśli popularna stacja telewizyjna nie nada w te święta Kevina, który został sam w domu, nie musi to wcale gwarantować, że tym razem nie odwiedzą Cię włamywacze. Tfu, odpukać... Niemniej warto wziąć przykład z Kevina i jakoś na taką ewentualność się przygotować. Najrozsądniejszą opcją wydaje się być ubezpieczenie posesji poprzez zakup stosownej polisy, jednak na łamach EdW wielokrotnie opisywaliśmy różnego typu systemy zabezpieczeń, w które zawsze warto dodatkowo wyposażyć nasze domostwa. Jedną z centralek miałem okazję popełnić osobiście czternaście lat temu (AVT5252), a jej głównym założeniem było wyeliminowanie najbardziej zawodnego ogniwa każdego systemu alarmowegoczyli „czynnika ludzkiego", a ściślej, operatora w postaci człowieka. W tym numerze przyjrzymy się bliżej najistotniejszemu elementowi każdej czujki ruchu na podczerwień, czyli sensorowi PIR. Temat jest dosyć ciekawy, związany niejako z kynarem, który lwiej części z nas miał prawo kojarzyć się do tej pory głównie z drutem do wykonywania zworek na płytkach PCB.

Kiedy jest już bezpiecznie i niestraszna nam mała woda oraz mniej lub bardziej niezdarni włamywacze, można na spokojnie oddać się lekturze tekstów z bieżącego numeru, w ramach którego prezentujemy między innymi pierwszą część artykułu opisującego użyteczny, podwójny zasilacz z pływającymi wyjściami, umożliwiający pracę w trybie śledzenia napięcia, bądź z wyjściami regulowanymi niezależenie. Jego parametry są całkiem przyzwoite (dwa niezależne kanały o napięciu stałym do 25 V i prądzie obciążenia do 5 A) a fakt, że wyjścia można szeregowo bądź równolegle połączyć, jeszcze bardziej poszerza horyzonty jego wykorzystania. Sympatyków audio ucieszą z pewnością teksty dotyczące finalizacji budowy wzmacniacza 500 W, opisywanego w poprzednich numerach EdW, opis modułu sterownika wentylatorów chłodzących, przy okazji zabezpieczającego głośniki, a także druga część tekstu poświęconego budowie wokodera analogowego. Przed wyjściem na spacer w sezonie grzewczym warto zerknąć na wskazania miernika jakości powietrza. W tym numerze opisane zostały popularne moduły sensorów stosowanych w podobnych urządzeniach, a do tematu jakości powietrza powrócimy jeszcze w przyszłym miesiącu.

Zaawansowanym konstruktorom proponujemy zapowiedzianą w ubiegłym miesiącu garść wiedzy w zakresie ochrony układów przed przeciążeniami elektrycznymi, a najmłodszych Czytelników zapraszamy, jak zwykle, do kącika EdW Junior, gdzie czeka na Nich kolejna niespodzianka.

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl 261515f3ed

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.

Problemy z działaniem wideodomofonu IP z PoE po kablu domofonowym – rozwiązanie

W numerze 10/2024 odpowiedzieliśmy Czytelnikowi na pytanie w temacie problemów ze stabilnością domofonów IP zasilanych tylko jedną parą skrętki z uwagi na 6 przewodowy kabel w ścianie. Poniżej przytaczamy kontynuację tej korespondencji.

Dzień dobry. Dziękuję za wyczerpującą odpowiedź, na moje zapytanie. Uzyskane informacje wzbogaciły moją wiedzę na temat sieci, a sama publikacja z pewnością pomoże innym, którzy napotkają podobne problemy. Podsumowując – zmiana switcha rozwiązała problem. Zamiast Hikvision (dołączonego do zestawu) zainstalowałem 4-portowy switch PoE (plus 2 porty uplink) firmy BCS, który stosuję w monitoringu IP.

Z poważaniem,

Konrad

Warto nadmienić, że instalacja działająca stabilnie na jednej parze skrętki przeznaczonej na PoE, to wciąż instalacja wykonana w sposób inny, niż zaleca producent (zgodnie ze sztuką powinien zostać zastosowany 8-żyłowy kabel Ethernet i do transmisji zasilania po infrastrukturze LAN powinny zostać wykorzystane, dwie pary skrętki. Cieszymy się, że Czytelnik zaspokoił ciekawość i sugerujemy wykonanie instalacji zgodnie ze sztuką. Warto nadmienić, że w sprzedaży dostępne są przyzwoicie wyglądające korytka kablowe, które pozwalają na ukrycie przewodów wzdłuż podłogi, ścian czy sufitów, zachowując estetykę wnętrza bez konieczności większych prac budowlanych. Niektóre z nich wyposażone są w specjalną samoprzylepną, dwustronną taśmę montażową. Takie rozwiązanie pozwala na instalację nowego okablowania w sposób pewny, szybki i czysty, bez wykonywania jakiegokolwiek dodatkowego otworu w ścianie.

Projekty Czytelników

Dzień dobry,

Na imię mam Paweł i jestem bardziej modelarzem niż elektronikiem, jednak natchniony ciekawymi rozwiązaniami w motoryzacji jednocześnie zafascynowany elektronicznymi zegarami w samochodach z lat 80., chciałem do swojego samochodu zamontować wyświetlacz HUD. Okazało się jednak, że gotowe urządzenia nie współpracują z moim samochodem. Po dłuższych poszukiwaniach odkryłem zestawy AVT2711 a przy okazji jeszcze AVT1848, czyli prędkościomierz i wskaźnik temperatury, które posłużyły jako podstawa do zbudowania wymyślonego przeze mnie urządzenia. Czy byliby państwo zainteresowani artykułem o moim urządzeniu jako sposób wykorzystania istniejących zestawów dla innych hobbystów?

Pozdrawiam

Paweł Tarczyński

Odpowiadając na zapytanie, pozostaje nam zauważyć, że o ile zestaw AVT2711 to rzeczywiście obrotomierz (prędkościomierz), o tyle zestaw AVT1848 to „Uniwersalny zasilacz diod LED mocy z układem PT4115". Być może chodzi o kit AVT1484 „Wskaźnik temperatury silnika"?

Projekty przesyłane przez Czytelników mają dla nas ogromną wartość. Z wielką satysfakcją opublikujemy każdy ciekawy projekt Czytelnika, wraz z ewentualnym zdjęciem i informacją o Autorze. Z pewnością niejeden fascynujący projekt autorski, za którym nie kryją się dziś (lub też nigdy nie kryły) daleko idące komercyjne plany siłą rzeczy trafił „do szuflady". Jeśli którykolwiek z Czytelników chciałby pochwalić się swoim dziełem na łamach naszej gazety, przy okazji opowiadając kilka słów o sobie i nadając projektowi drugie życie, serdecznie zapraszamy do kontaktu. Czekamy na Wasze pomysły. Z przyjemnością podzielimy się nimi z resztą naszej społeczności.

Instrukcje robocze do zajęć z elektroniki

Szanowna Redakcjo,

Z wielką radością obserwuję, jak młode pokolenie coraz chętniej angażuje się w elektronikę, szczególnie dzięki materiałom z serii EdW Junior. Mam od pewnego czasu w głowie pomysł, by przenieść te działania na grunt mojego lokalnego środowiska, do szkolnego koła zainteresowań. Pomysły są, a materiały, w tym kity AVTEDU, są łatwo dostępne. Myślę, że przy odpowiednim wsparciu finansowym udałoby się zorganizować takie zajęcia. Planuję też wykorzystać kolejne odcinki EdW Junior jako gotowe, sprawdzone scenariusze.

Skompletowałam już kilka numerów EdW Junior z myślą o stworzeniu bazy zestawów, które mogłyby służyć jako punkt wyjścia do zajęć świetlicowych. Jednakże w takiej świetlicowej pracy spodziewam się sporej rotacji uczestników, co pewnie oznacza konieczność wielokrotnego tłumaczenia tych samych zagadnień. Tu pojawia się moje pytanie: jak radzicie sobie z taką sytuacją? Może macie jakieś samouczki lub inne materiały pomocnicze, które mogłyby wesprzeć nauczyciela? Myślę o czymś w rodzaju listy najczęściej zadawanych pytań czy poradnika dla początkujących. Podejrzewam, że dzieci nie będą prowadzić zeszytów z notatkami, więc takie wsparcie mogłoby być nieocenione.

Z wyrazami szacunku,

Anna

Dzień dobry Pani Anno.

Ponieważ temat prowadzenia podobnych zajęć sam w sobie jest bardzo szeroki i wiele spraw trzeba zapewnić i o wiele zadbać, proszę pozwolić, że skoncentruję się na odpowiedzi wprost na zadane pytanie.

Nasze zajęcia są „lekkie", i dobrowolne. Dużo na nich tzw. „spontanu". Nie mamy podziału na teorię i praktykę, nikt też nie prowadzi notatek. Nie byłoby na to czasu. Spotykamy się głównie po to, żeby się kreatywnie pobawić i dobrze spędzić czas.

Prawdą jest, że dzieciaki potrafią „zamęczyć" pytaniami. Ich aktywność bardzo cieszy, ale stanowi również wielkie wyzwanie. Chciałoby się pomóc każdemu, do każdego w tej samej chwili podejść, i każdemu dać tyle czasu i uwagi ile indywidualnie potrzebuje. Czasem zwyczajnie nie jest to od razu możliwe, i uczestnik zajęć musi swoje odczekać. Liczba dzieciaków biorących udział w zajęciach ma kluczowe znaczenie. Przekłada się ona nie tylko na komfort zajęć, ale też na bezpieczeństwo (pracując z dziećmi, na wszystko trzeba mieć oko). Bazując na własnych doświadczeniach powiem, że dobrze pracuje się z czwórką dzieciaków, dla ośmiorga, przydałaby się już druga osoba wspierająca. Byłoby świetnie, gdyby do pomocy znalazł się drugi nauczyciel lub wolontariusz. Uczestnicząc w miarę regularnie w zajęciach dzieciaki nabierają wprawy, z czasem zaczynają pomagać sobie nawzajem. Bywają jednak tematy, które wracają jak bumerang. Jednym z nich jest pomiar rezystancji oporników. Czynność, zdawać by się mogło banalna, a jednak trzeba umieć nastawić multimetr na funkcję omomierza i wybrać jeden z kilku dostępnych zakresów pomiarowych przed wykonaniem pomiaru.

Ponadto nie zawsze wiadomo, jakiej wartości rezystora się spodziewamy. Wysypując na stół rezystory dostarczone w danym zestawie można, co prawda, spojrzeć na listę elementów dostępną w zestawie, nastawić omomierz na zakres odpowiadający poszukiwanemu rezystorowi i kupkę rezystorów przeszukiwać pod kątem odnalezienia tego właściwego, niemniej dużo efektywniej będzie umieć zmierzyć dowolny „wylosowany" z kupki rezystor, umiejętnie manipulując zakresami pomiarowymi, a następnie zamontować ten rezystor względem zmierzonej wartości na odpowiednim desygnatorze na płytce PCB. A jeszcze trzeba wiedzieć, jak chwycić sondy pomiarowe, solidnie przyłożyć je do badanego rezystora a przy tym nie wprowadzić do obwodu pomiarowego dodatkowej rezystancji. Ciało człowieka to też rezystor, i przytrzymując w wygodny sposób rezystor i sondy pomiarowe, palcami po obu stronach, wprowadzamy do mierzonego obwodu dodatkową równoległą rezystancję, która potrafi w znaczący sposób zafałszować wykonany pomiar. Dlatego o ile z jednej strony rezystora śmiało sondę pomiarową do nogi rezystora możemy docisnąć wprost palcem, o tyle z drugiej strony sondę dociskamy do drugiego wyprowadzenia rezystora już tylko trzymając sondę za plastikową rękojeść.

To wszystko są rzeczy banalne, a opowiedzenie o tym zajęło, jak widać, kilka długich wierszy. Dzieciaki bywają bardzo pojętne. Wiele rzeczy chwytają i zapamiętają niemal natychmiast. Z jakiegoś powodu obsługa multimetru wymaga często wielokrotnego powtarzania, i tłumaczenie tego samego po kilkakroć co każde zajęcia bywa bardzo obciążające. Żeby tego uniknąć przygotowaliśmy instrukcję roboczą „Pomiar wartości rezystorów za pomocą multimetru", która podczas trwania naszych zajęć dostępna jest na stołach w formie drukowanej. Instrukcja napisana jest dużą czcionką, zawiera tabelę ze zdjęciami nastaw multimetru i opisem zakresów, w kilku zdaniach opisane są metody pomiarowe, jak też znajdują się tam fotografie poprawnego przykładania sond do rezystorów podczas wykonywania pomiaru. Na tę chwilę to jedyna (ale niekoniecznie ostatnia) instrukcja robocza, którą wdrożyliśmy, i którą intensywnie posługujemy się podczas zajęć. Z chęcią udostępnimy ją szerszemu gronu by mogła służyć i pomagać w efektywnej realizacji zajęć.

Dziękujemy za list, ponieważ cykliczne udostępnianie w ramach cyklu EdW Junior instrukcji roboczych, gotowych do wydrukowania i stosowania podczas zajęć wydaje się być dobrym kierunkiem.

eprasa.pl 261515f3ed

Elektor Bestsellers

SAVE UP TO 26% NOW!

www.elektor.com/sale/deals

Elektor SUMMER SALE

elektor
design > share > earn

eprasa.pl 261515f3ed

Inteligentny podwójny zasilacz hybrydowy, część 1

Opisany w artykule zasilacz ma dwa oddzielne wyjścia, z których każde może dostarczać napięcie stałe o wartości do 25 V przy prądzie 5 A. Można je łączyć szeregowo, tworząc zasilacz z podwójnym śledzeniem. Oba wyjścia są sterowane i monitorowane z użyciem graficznego wyświetlacza LCD, dwóch pokręteł enkodera obrotowego i dwóch przycisków.

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

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

Oba wyjścia są zasilane oddzielnym uzwojeniem tego samego transformatora i mogą być używane niezależnie lub w konfiguracji połączonej w celu utworzenia podwójnego napięcia (dodatniego i ujemnego) lub zasilania single-ended o wyższym prądzie.

W konstrukcji został zastosowany tryb hybrydowy (switchmode/linear), zapewniający przyzwoitą sprawność oraz niskie tętnienia i szumy wyjściowe. Ze względu na wysoką sprawność, zasilacz nie potrzebuje wentylatorów, nie wytwarza więc hałasu nie gromadzi też kurzu.

Można zastanawiać się nad sensownością budowy pary zasilaczy liniowych 45 V, 8 A (np. opisanych w październikowym i listopadowym wydaniu z 2019 r.: siliconchip.com.au/Series/339) i łączenia ich ze sobą. Z pewnością można tak robić, ale opisywany tu zasilacz jest znacznie bardziej kompaktowym i tańszym rozwiązaniem. Dodaje cenne funkcje, takie jak monitorowanie napięć i prądów na jednym ekranie oraz wyłączanie lub zmniejszanie napięcia na obu wyjściach w przypadku przekroczenia limitu prądu.

Nieco mniejsze możliwości napięciowe i prądowe (25 V zamiast 45 V i 5 A zamiast 8 A) nadal będą wystarczające dla większości zastosowań. Chociaż zasilacz nie pozwoli na testowanie modułu wzmacniacza o mocy 100 W przy jego pełnym wysterowaniu, z pewnością wystarczy do testowania go przy niższych poziomach mocy. Takie sprawdzenie pozwoli zorientować się, czy wzmacniacz działa przed podłączeniem docelowego zasilania. A gdy nie jest on używany jako zasilacz śledzący, można całkowicie uniezależnić oba wyjścia i sterować nimi oddzielnie.

Kolejną zaletą cyfrowego sterowania jest to, że wewnętrzne okablowanie zasilacza jest względnie proste i estetyczne. Składa się głównie z kilku tasiemek przenoszących sygnały sterujące oraz kilku przewodów dostarczających zasilanie stałoprądowe.

Zastosowanie mikrokontrolera do sterowania zasilaczem i interfejsem użytkownika pozwala na inteligentne kontrolowanie ograniczeń. Może on określać limity napięcia i prądu w oparciu o moc znamionową transformatora i jego napięcie wtórne. Dzięki temu możliwe jest stosowanie szerokiej gamy transformatorów.

W zasilaczu są zastosowane dwie takie same płytki stabilizatorów dla dwóch linii wyjściowych. Jeśli potrzebna jest tylko jedno napięcie wyjściowe, można go zbudować z pojedynczą płytką – interfejs użytkownika może obsługiwać implementacje z jedną lub dwiema liniami.

Możliwa jest też konfiguracja bez mikrokontrolera. Płytka stabilizatora zezwala na taką konfigurację pracy. Potrzebne są wówczas tylko dwa potencjometry. Konieczne będzie wtedy jednak opracowanie własnej metody monitorowania napięcia i prądu. Pozwoli to pominąć sporo droższych elementów, takich jak układy konwersji analogowo-cyfrowej, izolatory, mikrokontroler i wyświetlacz.

Interfejs zasilacza jest jednak prosty w użyciu. Najczęściej regulować będziemy zaledwie dwa najważniejsze parametry: napięcie wyjściowe i ograniczenie prądu. W razie potrzeby, w menu ustawień uwzględniono więcej szczegółów, w tym ekrany kalibracji i konfiguracji.

Interfejs jest sterowany za pomocą dwóch enkoderów obrotowych ze zintegrowanymi przyciskami oraz dwóch dodatkowych przycisków. Enkodery regulują ograniczenia napięcia i prądu, podczas gdy naciśnięcie jednego z nich przełącza sterowanie między dwoma wyjściami.

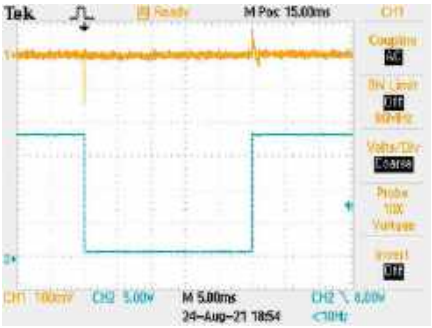
Jeden z dodatkowych przełączników pozwala przejść do trybu konfiguracji, natomiast drugi przycisk to przycisk „zatrzymania awaryjnego", który natychmiast wyłącza wyjście zasilacza. Będzie to przydatne, jeśli niespodziewany dym zacznie wydobywać się z zasilanego urządzenia. Ponowne naciśnięcie przywraca aktywność wyjścia.

Efektywność

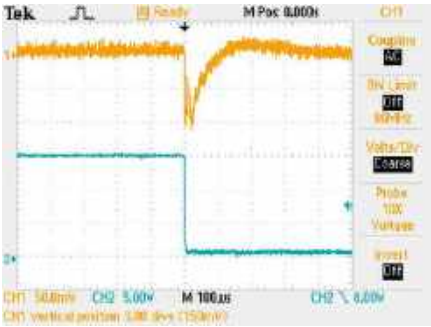
Podczas pomiaru oscyloskopem, szumy i przydźwięk związane z siecią zasilającą nie są wykrywalne (**rysunek 1**), podobnie jak szumy przełączania. Szum wyjściowy jest zwykle mniejszy od 20 mV_{pp} i mniejszy niż 5 mV RMS. Wartość ta jest prawie stała w całym zakresie zmian obciążenia.

Reakcja zasilacza na zmianę obciążenia jest dobra. Na **rysunkach 2** i **3** zostały przedstawione przypadki, w których napięcie wyjściowe

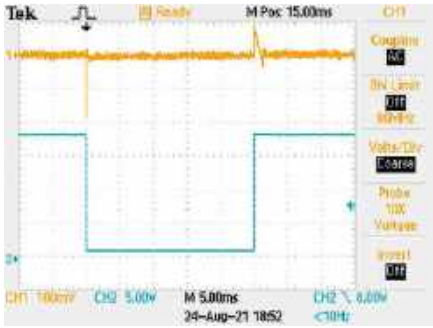
eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 1. Niebieski przebieg to 2-amperowy skok obciążenia z napięciem zasilania ustawionym na 15 V. Żółty przebieg przedstawia zmiany napięcia wyjściowego, z powiększeniem dla lepszej widoczności. Skala pionowa wynosi 50 mV na działkę. Jak widać, przy zmianie obciążenia napięcie wyjściowe zmienia się tylko o niewielką wartość



Rysunek 2. Widok podobny do rysunku 1, ale z szybszą podstawą czasu (100 µs na działkę). Początkowy skok napięcia o wartości 100 mV jest charakterystyczny dla układu LM1084. Układ LM1084 oraz pętla sprzężenia zwrotnego odpowiadają za przywrócenie napięcia wyjściowego do 15 V w ciągu 100 µs.



Rysunek 3. Ten sam scenariusz, co na rysunku 2, z tą różnicą, że tym razem napięcie wyjściowe zostało ustawione na 18 V, a skok obciążenia wynosi 4 A. Zmiana napięcia wyjściowego jest nieco większa przy spadku szczytowym 200 mV i powraca do wartości wyjściowej w ciągu 100 µs. Na zboczu narastającym napięcie wyjściowe zmienia się o 75 mV i powraca do wartości wyjściowej w ciągu 2 ms. Szczyt ten, dla tak dużego kroku obciążenia, jest niewielki przy minimalnej pojemności wyjściowej

powraca w ciągu 100 µs przy skoku obciążenia 5 A, z maksymalnym przesunięciem wynoszącym zaledwie 200 mV w ciągu 40 µs.

Zachowanie się urządzenia podczas przechodzenia do stanu ograniczenia prądu 5 A, a także podczas wychodzenia z niego przedstawiono na **rysunku 4**. W odpowiedzi na zwarcie na wyjściu, napięcie spada do osiągnięcia zaprogramowanego limitu prądu niemal natychmiast i pozostaje stabilne. Przywrócenie trwa około 5...10 ms i ma bardzo małe przeregulowanie.

Zasilacz nie ma problemów termicznych przy zwarciu. Przy obu kanałach dostarczających 5 A ciągłego prądu do zwarcia, radiator będzie dość gorący w dotyku, ale ustabilizuje się na poziomie około 60°C.

Konstrukcja hybrydowa

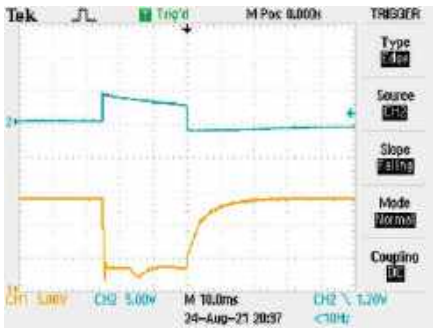
W zasilaczu zostały zastosowane zarówno stabilizatory impulsowe, jak i liniowe, podobnie jak zasilacz impulsowy/liniowy, którego opis był zamieszczony w Silicon Chip – wydanie kwiecień-czerwiec 2014 (siliconchip.com.au/Series/241) i nowszy hybrydowy zasilacz laboratoryjny z Wi-Fi (maj i czerwiec 2021; siliconchip.com.au/Series/364).

Kilka szybkich obliczeń pokazuje, że czysto liniowy zasilacz dostarczający ±25 V i 5 A wymagałby ogromnego radiatora, rozpraszającego ponad 125 W na linię lub 250 W łącznie. Dzięki zastosowaniu wstępnej przetwornicy impulsowej, która generuje nieco większe napięcie niż potrzebuje stabilizator liniowy na swoim wejściu, wymagania te zostały znacznie zmniejszone. Założeniem tego projektu było uzyskanie około 5 V nadwyżki. Jeśli uda się to osiągnąć, rozproszenie mocy stabilizatora liniowego wyniesie maksymalnie 5 V × 5 A = 25 W przy regularnej pracy na jedną linię, co daje łącznie 50 W w najgorszym przypadku. Jest to nadal rozsądna ilość ciepła konieczna do rozproszenia. Stabilizator wstępny i mostek prostowniczy również rozpraszają trochę mocy, co doda około 10 W.

Wadą jest to, że zasilacze impulsowe mają reputację trudnych do zaprojektowania. Ze względu na sposób ich działania są źle postrzegane, gdyż odpowiadają za wprowadzanie szumów do układów. Założeniem było zbudowanie urządzenia ze standardowych elementów, który „po prostu będzie działać".

W trakcie prac konstrukcyjnych testowane były dwa alternatywne układy stabilizatorów wstępnych, zanim została wybrana ostateczna wersja zastosowana w opisywanym zasilaczu.

W rezultacie założenia projektowe zostały spełnione i w obudowie zasilacza zgrabnie zmieszczono dwa niezależne stabilizatory. Urządzenie może dostarczać prąd 5 A w zakresie 2...25 V w sposób ciągły na linię, bez potrzeby stosowania wentylatorów i otworów.

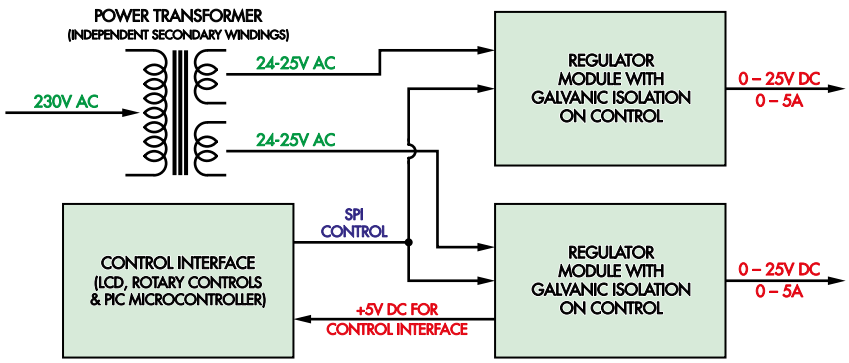


Rysunek 4. Na wykresie zostało pokazane zachowanie urządzenia podczas włączania i wyłączania ograniczenia prądu. W idealnym przypadku reakcja powinna być szybka i z niewielkim przeregulowaniem. W odpowiedzi na zwarcie, napięcie wyjściowe jest szybko redukowane. Po usunięciu zwarcia napięcie wyjściowe wraca do normy po około 20 ms, bez widocznego przeregulowania

Implementacja

Inteligentny zasilacz składa się z czterech podstawowych elementów: transformatora, jednego lub dwóch modułów stabilizatorów i sterownika (**rysunek 5**). Umożliwia to budowę zasilaczy jedno- lub dwunapięciowych.

Prawdopodobnie większość konstruktorów zbuduje zasilacz w wersji z dwoma napięciami. Każdy moduł stabilizatora może działać niezależnie – wyjścia są pływające względem siebie. Aby uzyskać zasilacz symetryczny z podwójną regulacją, należy połączyć „+" linii



Rysunek 5. Schemat blokowy inteligentnego zasilacza. Dwa oddzielne uzwojenia wtórne transformatora zasilają dwa moduły stabilizatorów. Jeden z nich dostarcza również napięcie 5 V do interfejsu sterującego, który wykorzystuje magistralę szeregowego interfejsu peryferyjnego (SPI) do sterowania i monitorowania obu płytek regulatora

eprasa.pl 261515f3ed

ujemnej do „–” linii dodatniej i wybrać w ustawieniach opcję „Dual Tracking”.

Można również ustawić tryb na „independent” w interfejsie użytkownika i niezależnie ustawić limity napięcia i prądu dla każdej linii.

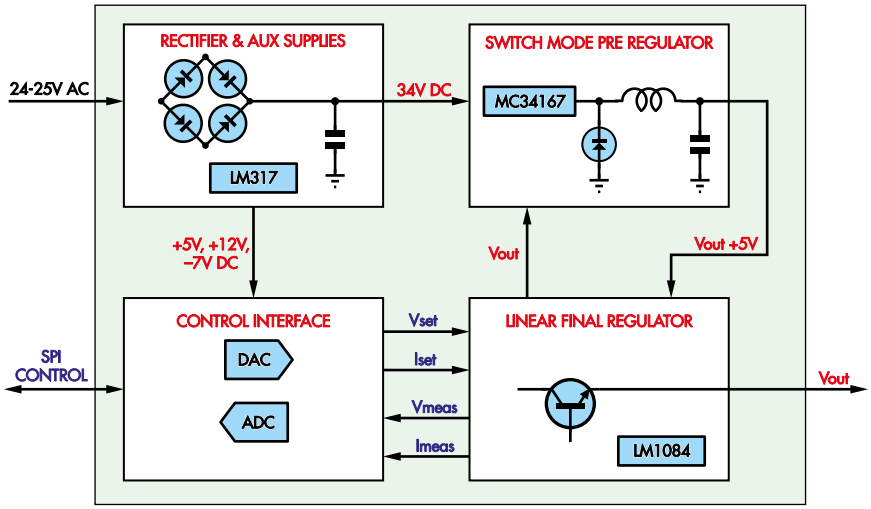
Aby uprościć konstrukcję, w modułach stabilizatorów zostały wbudowane zasilacze napięcia stałego +5 V dla interfejsu sterowania. Dzięki temu mikrokontroler sterujący może być zasilany bez potrzeby stosowania oddzielnych płytek lub transformatorów. Należy zamontować i podłączyć tylko jeden z tych zasilaczy.

Funkcjonalny schemat blokowy modułu stabilizatora został przedstawiony na **rysunku 6**. Stabilizator pobiera nominalne napięcie wejściowe 24...25 V AC, a następnie stabilizuje i reguluje napięcie stałe zgodnie z poleceniami.

Oprogramowanie steruje jednym lub dwoma modułami stabilizatorów za pośrednictwem pojedynczego 10-pinowego złącza w każdym z nich. Teoretycznie można zbudować więcej niż dwa moduły, pod warunkiem zmodyfikowania kodu programu lub napisania własnego interfejsu użytkownika. Będzie to wyjaśnione w dalszej części artykułu.

Jak widać na zdjęciach, rozmiar modułu (zbudowanego na płytce PCB o wymiarach 116 mm × 133 mm) jest dość skromny jak na zasilacz tego typu. W proponowanej obudowie zmieszczą się obok siebie dwa takie moduły.

Radiator jest umiejscowiony z tyłu modułu (modułów) stabilizatora. Dołączone są do niego dwa stabilizatory liniowe, mostek prostowniczy i przetwornica impulsowa.



Rysunek 6. Rozmieszczenie modułów stabilizatorów. Wejściowe napięcie zmienne jest prostowane, filtrowane i stabilizowane w celu zapewnienia trzech linii zasilających dla pozostałych układów na płytce stabilizatora. Surowe napięcie stałe jest również podawane do wstępnej przetwornicy impulsowej, która dostarcza napięcie o 5 V większe niż wybrane napięcie wyjściowe do końcowego stopnia stabilizatora liniowego opartego na układzie LM1084. Napięcie i prąd wyjściowy są ustawiane przez dwukanałowy przetwornik cyfrowo-analogowy i monitorowane przez dwukanałowy przetwornik ADC

Opis układu

Opis układu zaczniemy od wyjścia i będziemy podążać wstecz. Kompletny schemat jednego modułu stabilizatora pokazano na **rysunku 7**, a stabilizatory wyjściowe znajdują się po prawej stronie środka schematu.

Stopień wyjściowy jest oparty na jednym lub dwóch układach LM1084IT-3.3. Są to liniowe stabilizatory 3,3 V o niskim spadku napięcia w obudowie TO-220. Przy obciążeniu 5 A, spadek napięcia między wejściem a wyjściem tego układu wynosi 1,5 V. Tak niskie napięcie dropout jest wymagane, aby umożliwić niewielką różnicę napięć dla stabilizacji wstępnej i uzyskać na wyjściu stałe napięcie 25 V przy zastosowaniu transformatora dostarczającego zmiennego napięcia 24...25 V.

Układ Texas Instruments LM1084IT-3.3 może działać poprawnie dla różnicy napięcia wejściowego i wyjściowego wynoszącej 25 V. W tym układzie różnica ta wynosi jednak zwykle około 5 V. Wyjątkiem jest sytuacja, w której włącza się ograniczenie prądowe, kondensatory wstępnego stabilizatora rozładowują się, a na LM1084 zostanie podane zwiększone napięcie wejściowe.

W zasilaczu zostały zastosowane dwa równoległe stabilizatory LM1084IT-3.3 z rezystorami 0,05 Ω rozdzielającymi napięcia wyjściowe. Zapewniają one wyrównanie prądu wyjściowego i pozwalają zoptymalizować rozkład wydzielanego ciepła.

Napięcie wyjściowe jest ustawiane za pomocą wzmacniaczy operacyjnych LM358 IC3a i IC3b. Układ IC3b monitoruje napięcie wyjściowe, podzielone przez rezystory 15 kΩ i 1 kΩ, i porównuje je z napięciem z pinu 14 układu IC4, przetwornika cyfrowo-analogowego (DAC), oznaczonego jako V_{SET}.

Jeśli napięcie wyjściowe spadnie poniżej V_{SET}, wyłącza się tranzystor NPN Q6, co pozwala na wzrost napięcia na nóżkach „GND” układów LM1084 (niepodłączonych do GND...). Odwrotna sytuacja ma miejsce, gdy napięcie wyjściowe jest zbyt wysokie.

Wzmacniacz operacyjny działa jako integrator, ustalając powoli ogólne napięcie wyjściowe. Szybką stabilizację zapewniają układy LM1084.

Regulacja prądu jest realizowana w ten sam sposób, ale zamiast monitorować napięcie wyjściowe, sprawdzane jest napięcie wyjściowe wzmacniacza czujnika prądu INA282. Napięcie to jest porównywane z napięciem wyjściowym przetwornika cyfrowo-analogowego I_{SET} (z nóżki 10 układu IC4). Jeśli zmierzony prąd przekracza ustawione ograniczenie prądu, tranzystor NPN Q5 jest włączany, ściągając pin „GND” układu LM1084s do masy.

Jak uzyskać napięcie wyjściowe 0 V, biorąc pod uwagę, że minimalne napięcie wyjściowe układu LM1084IT-3.3 wynosi 3,3 V? W naszym zasilaczu ujemne napięcie zasilania wzmacniacza operacyjnego i emiterów tranzystorów Q5 i Q6 jest połączone z linią –4,5 V, umożliwiając podciągnięcie pinów GND układu LM1084IT-3.3 do napięć ujemnych. W rezultacie napięcie wyjściowe spada do 0 V.

Ta część układu jest bardzo podobna do opublikowanej we wspomnianym wcześniej projekcie liniowego zasilacza laboratoryjnego 45 V z listopada 2019 roku. Podobnie jak w oryginalnym projekcie, mamy tu źródło prądu stałego składające się z dwóch tranzystorów NPN zapewniające minimalne obciążenie układu LM1084.

Stabilizator wstępny

Jako stabilizator wstępny został wybrany układ MC34167. Jest to przetwornica impulsowa buck (step-down) działająca z częstotliwością około 72 kHz. Przetwornica buck podaje napięcie wejściowe (pin 4) do cewki wyjściowej (pin 2) przechodząc szybko ze stanu włączenia do wyłączenia. W stabilizatorze obniżającym występują dwie odrębne fazy działania:

- Gdy przełącznik przetwornicy jest włączony, prąd płynie z linii wejściowej (34 V DC), zwiększając prąd cewki i ładując kondensator wyjściowy. Cewka magazynuje energię w swoim polu magnetycznym w funkcji przepływającego przez nią prądu.
- Gdy przełącznik przetwornicy jest wyłączony, prąd nadal przepływa przez cewkę, gdyż jest w niej zgromadzona energia. Po „stronie wejściowej” cewki, w węźle, w którym łączy się z nią wyjście układu MC34167, nadal płynie prąd. Ale przełącznik MC34167 jest wyłączony. W rezultacie węzeł ten próbuje przyjąć wartość ujemną.

eprasa.pl 261515f3ed

Dioda „catch" (D3) ogranicza to napięcie do około –0,5 V, ponieważ jest to dioda typu Schottky'ego. Podczas tej fazy prąd nadal płynie do kondensatora wyjściowego, ale energia jest dostarczana z zanikającego pola magnetycznego cewki.

Podczas projektowania przetwornicy buck należy pamiętać o kilku ważnych kwestiach:

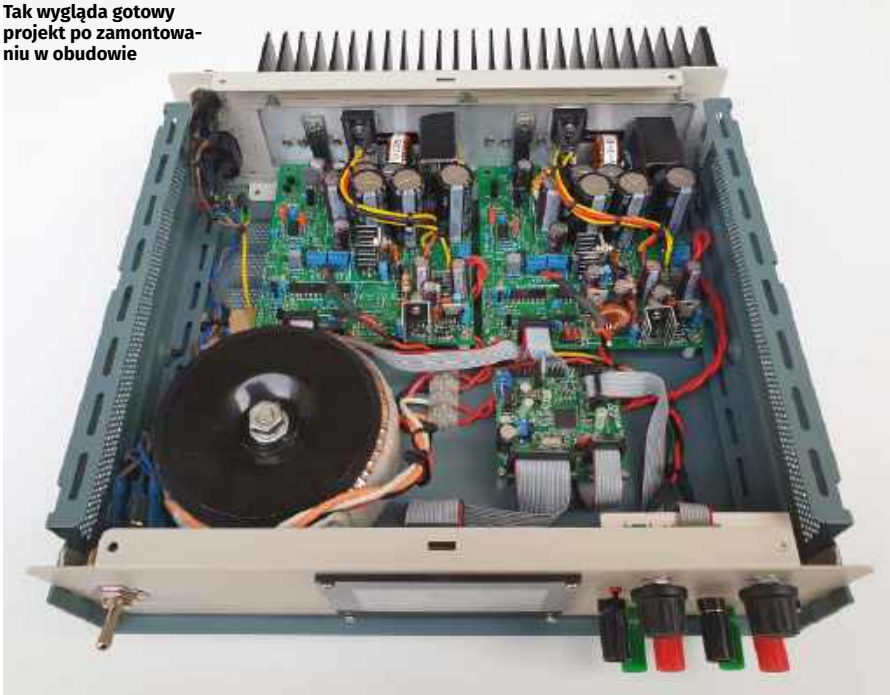
- Węzły przełączające (wejście, wyjście, dioda, kondensatory wejściowe i ścieżki masy między nimi) zapewniają przełączanie prądu z częstotliwością 72 kHz. Impulsy te mają bardzo krótkie czasy narastania i opadania, co oznacza, że musimy być świadomi indukowania się napięć na nóżkach elementów i ścieżkach. Musimy także liczyć się z możliwością sprzęgania się tych impulsów z innymi elementami układu, a nawet z nimi samymi.
- Wyjście przetwornicy jest przełączane bardzo szybko między linią wejściową a –0,5 V i jest znaczącym źródłem zakłóceń EMI.
- Dioda „catch" przewodzi znaczny prąd. Współczynnik wypełnienia generowanego przebiegu zależy od napięcia i prądu wyjściowego. Najgorszym przypadkiem jest niskie napięcie wyjściowe i duży prąd.
- Indukcyjność cewki i pojemność kondensatora mają duży wpływ na tętnienia wyjściowe.

Główne straty w tego typu przetwornicach impulsowych są związane z przełącznikiem. Układ MC34167 ma maksymalny spadek napięcia 1,5 V przy pełnym prądzie. Dioda „catch" przestaje przewodzić przy napięciu 0,5 V, a w cewce indukcyjnej występują straty rezystancyjne i rdzeniowe. Straty te sięgają kilku watów, co w najgorszym przypadku przekłada się na sprawność przekraczającą 70%, a w przypadku wyższych prądów zbliżoną do 90%.

Funkcją przetwornicy wstępnej w tym układzie jest więc wydajne obniżanie nieregulowanego napięcia wejściowego, zapewniając, że stabilizatory liniowe będą musiały obniżać tylko około 5 V. W ten sposób można pobierać prąd 5 A z zasilacza bez nadmiernego rozpraszania mocy w końcowym stopniu stabilizatora.

Elementy w otoczeniu stabilizatora wstępnego (REG4) tworzą układ bardzo podobny do tego z noty aplikacyjnej ON Semiconductor (OnSemi), ale z kilkoma ważnymi różnicami.

Napięcie wyjściowe układu MC34167 jest ustawiane końcówką sprzężenia zwrotnego (nóżka 1). Jeśli jest ono niższe niż 5 V, wzrasta współczynnik wypełnienia przełączania, co ma na celu podwyższenie napięcia wyjściowego. I odwrotnie, jeśli wartość ta jest wyższa niż 5 V, współczynnik wypełnienia maleje.


Tak wygląda gotowy projekt po zamontowaniu w obudowie

W dzielniku sprzężenia zwrotnego zostały zastosowane rezystory 6,8 kΩ i 1,2 kΩ, które normalnie ustawiłyby wyjście na 33 V (5,05 V × [6,8 kΩ + 1,2 kΩ] ÷ 1,2 kΩ). To więcej niż jest potrzebne i należy zmniejszyć tę wartość tak, aby utrzymać ją na poziomie o 5 V wyższym od napięcia wyjściowego stabilizatora liniowego. Jest to realizowane za pomocą tranzystora PNP BC556 – Q9 i rezystora sprzężenia zwrotnego 6,8 kΩ, w połączeniu z rezystorami 4,7 kΩ i 1 kΩ zapewniającymi sprzężenie zwrotne z wyjścia zasilacza.

Rezystory 4,7 kΩ i 1 kΩ dzielą różnicę napięć między stabilizatorem wstępnym a stabilizatorem liniowym, a napięcie to steruje tranzystorem BC556 działającym jako wzmacniacz sprzężenia zwrotnego.

Gdy napięcie wyjściowe stabilizatora wstępnego jest zbyt niskie, napięcie baza-emiter tranzystora BC556 jest niższe niż 0,6 V. Źródło prądowe wyłącza się, a sprzężenie zwrotne do MC34167 jest zmniejszone. Gdy napięcie wyjściowe stabilizatora wstępnego jest zbyt wysokie, napięcie baza-emiter BC556 jest wyższe niż 0,6 V, więc źródło prądowe włącza się, tworząc napięcie 5 V na rezystorze 1,2 kΩ i zwiększając sprzężenie zwrotne do MC34167.

Rezystor 68 Ω ustawia maksymalny prąd z tego źródła prądowego, ograniczając prąd, który jest wstrzykiwany do pinu czujnika MC34167, aby nie uszkodzić go w warunkach błędu.

Należy zwrócić uwagę, że aby uzyskać nominalny spadek 5 V dla stabilizatora wyjściowego, jako napięcia odniesienia dla BC556 używamy typowej wartości V_{BE} równej 0,6 V. Zmienia się to nieco w zależności od temperatury i ogólnego napięcia wyjściowego, ale nie ma to znaczenia. Stabilizator wstępny zawsze będzie dostarczał około 5 V więcej niż stabilizator liniowy.

Układ MC34167 pracuje w pełni zgodnie ze specyfikacją, ponieważ jest zasilany z wyprostowanego napięcia 25 V AC (około 33 V za BR1) z marginesem na nieobciążony transformator i wahania napięcia sieciowego, nie wymagając od układu pracy poza określonym zakresem.

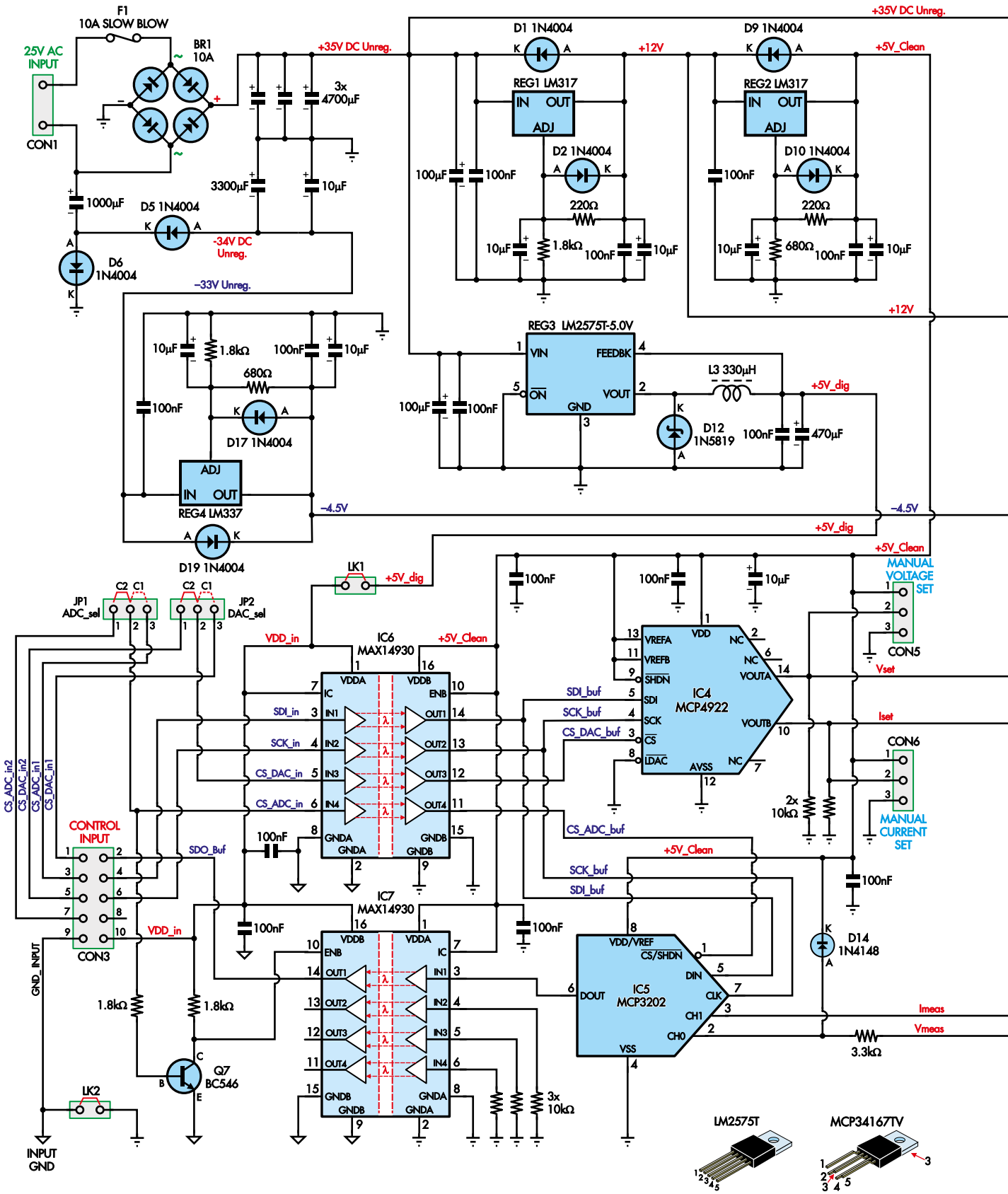
Zaletą korzystania z przetwornicy napięciowej jako stabilizatora wstępnego jest to, że przy niższych napięciach wyjściowych system będzie w stanie dostarczyć więcej prądu niż wymagany prąd wejściowy. Oprogramowanie tego zasilacza na to pozwala.

Sterowanie i monitorowanie

Sterowanie i monitorowanie inteligentnego zasilacza odbywa się za pośrednictwem interfejsu szeregowego SPI znajdującego się na każdej płytce. Umożliwia to dostęp do optycznie izolowanych układów DAC i ADC. Są to układy dwukanałowe, które umożliwiają programowanie napięcia wyjściowego i ograniczenia prądu wyjściowego (poprzez DAC) oraz monitorowanie rzeczywistego napięcia i prądu wyjściowego (poprzez ADC).

Wymagane sygnały cyfrowe są przesyłane przez 10-przewodowy interfejs z powrotem do płyty sterującej, z wyprowadzeniami pokazanymi w **tabeli 1**.

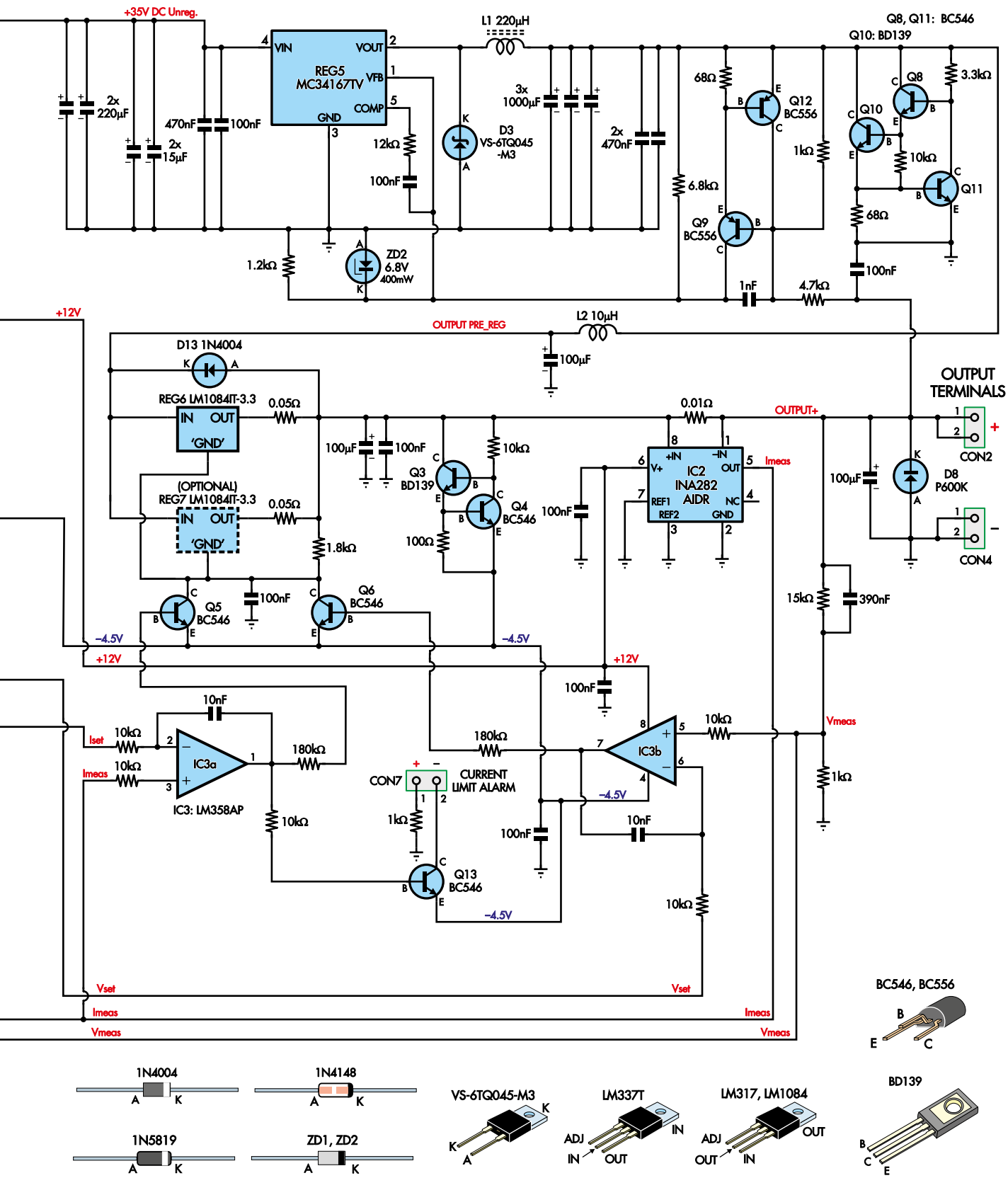
eprasa.pl 261515f3ed



DUAL HYBRID POWER SUPPLY

REGULATOR CIRCUIT

eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 7. Kompletny schemat modułu stabilizatora. Prostownik, filtr i stabilizatory tworzące linie +12 V, +5 V i -4,5 V znajdują się w lewym górnym rogu. Przetwornik ADC, DAC i układy izolujące znajdują się w lewym dolnym rogu. Przetwornica wstępna znajduje się w prawym górnym rogu, a końcowy stopień stabilizatora liniowego i układy monitorowania prądu znajdują się w środkowym/dolnym prawym rogu

eprasa.pl 261515f3ed

Wykaz elementów

podwójny zasilacz hybrydowy
1 metalowa obudowa, minimum 305 mm × 280 mm × 88 mm [np. Jaycar HB5556].
1 płytka CPU (patrz poniżej)
1 płytka LCD (patrz poniżej)
1 płytka interfejsu panelu przedniego (patrz poniżej)
2 zespoły stabilizatorów (patrz poniżej)
1 transformator toroidalny 230 V AC na 24-0-24 lub 25-0-25 160-300 VA (T1) [np. Altronics M5325C lub M5525C].
1 gniazdo wejściowe IEC 10 A montowane w obudowie [np. Altronics P8320B].
1 bezpiecznik panelowy 3AG o prądzie znamionowym 10 A [Altronics S6000].
1 bezpiecznik bezzwłoczny 3AG 10 A
1 aluminiowy radiator odlewany ciśnieniowo o wymiarach 300 mm × 75 mm × 46 mm [Altronics H0545].
24 śruby z łbem walcowym M3 × 16 mm
16 śrub z łbem walcowym M3 × 6 mm
14 nakrętek sześciokątnych M3
12 płaskich podkładek o średnicy wewnętrznej ~3,2 mm (pasujących do śrub M3)
22 podkładki sprężyste o średnicy wewnętrznej ~3,2 mm (pasujące do śrub M3)
12 podkładek z włókna lub nylonu o średnicy wewnętrznej ~3,2 mm (pasujących do śrub M3)
3 końcówki lutownicze o średnicy wewnętrznej 3,2 mm (pasujące do śrub M3)
2 20-pinowe gniazda IDC [np. Altronics P5320]
5 10-pinowych gniazd IDC [np. Altronics P5310]
1 4-pinowa listwa zaciskowa 17,5 A z zasilaniem sieciowym [np. wycięte z Altronics P2135A].
2 kondensatory MKT 100 nF 63 V
2 kondensatory MKT 10 nF 63 V

Przewody, kable itp.
1 czerwony przewód połączeniowy 7,5 A o długości 2 m
1 1 m czarnego przewodu połączeniowego 7,5 A
1 żółty przewód zasilający 7,5 A o długości 1 m
1 1 m przewodu zasilającego 7,5 A w zielono-żółte paski*
1 1 m brązowego przewodu zasilającego 7,5 A*
1 1 m jasnoniebieskiego przewodu zasilającego 7,5 A*
1 20-żyłowy kabel taśmowy o długości 200 mm
1 10-żyłowy kabel taśmowy o długości 600 mm
1 arkusz presspahn 45 mm × 50 mm lub podobnego materiału izolacyjnego
1 arkusz aluminium o wymiarach 40 mm × 45 mm i grubości 1,5...2,5 mm
2 arkusze aluminium o wymiarach 10 mm × 20 mm i grubości 1,5...2,5 mm
1 arkusz przezroczystego akrylu/perspexu o wymiarach 90 mm × 70 mm i grubości 3 mm
* całość można odizolować od 1-metrowego przewodu zasilającego lub zużytego kabla sieciowego.

Wykaz elementów do montażu CPU
1 dwustronna PCB kod 01106193, 60,5 mm × 62,5 mm
1 2-pinowe złącze zaciskowe, raster 5,08 mm (CON5; opcjonalnie)
2 złącza 5×2 pin (CON7, CON9...CON11, CON23)
1 złącze 10×2 pin (CON8)
2 3-pinowe złącza (LK1, LK2)
1 2-pinowe złącze (JP5)
3 zworki (LK1, LK2, JP5)
1 koralik ferrytowy (FB12)
1 miniaturowy rezonator kwarcowy 8 MHz (X2) LUB
1 standardowy rezonator kwarcowy 8 MHz z podkładką izolacyjną (X2)
1 pionowy potencjometr montażowy 10 kΩ (VR1)

Półprzewodniki
1 PIC32MZ2048EFH064-250I/PT 32-bitowy mikrokontroler zaprogramowany kodem 0110619A.HEX, TQFP-64 (IC11)
1 25AA128-I/SN I²C EEPROM, SOIC-8 (IC12) #
1 LD1117 V regulowany stabilizator o niskim spadku napięcia 800 mA, TO-220 (REG2) #
1 stabilizator 1A LM317T, TO-220 (REG3)
1 niebieska dioda LED SMD, SMA lub SMB (LED2)
3 diody Schottky'ego 1 A SGL41-40/BTM13-40 lub podobne, MELF (MLB) (D14-D16)

Kondensatory
1 470 µF 10 V elektrolityczny
5 10 µF 50 V elektrolityczny
11 100 nF SMD 2012/0805 50 V X7R
4 20 pF SMD 2012/0805 50 V C0G/NP0

Rezystory (wszystkie SMD 2012/0805 1%)

1 10 kΩ	1 1,2 kΩ	2 1 kΩ	1 560 Ω	2 470 Ω	1 390 Ω
2 330 Ω	1 100 Ω	3 47 Ω			

Wykaz elementów do montażu wyświetlacza LCD
1 graficzny wyświetlacz LCD o rozdzielczości 128×64 pikseli ze sterownikiem KS0107/KS0108 i 20-pinowym złączem
1 dwustronna płytka drukowana, kod 01106196, 51 mm 13 mm
1 złącze 10×2 pin
1 złącze 20-pinowe

Wykaz elementów interfejsu panelu przedniego
1 dwustronna PCB kod 18107212, 74,5 mm × 23 mm
2 enkodery obrotowe montowane pod kątem prostym na płytce drukowanej z wbudowanymi przyciskami (RE1, RE2) [Altronics S3352 lub Mouser 858-EN11- VSM1BQ20].
2 chwilowe przełączniki przyciskowe prostokątne, montowane na płytce drukowanej, subminiaturowe, (S1, S2) [Altronics S1498].
1 5×2-pinowe złącze IDC (CON1)
7 kondensatorów ceramicznych 22 nF 50 V
2 cienkowarstwowe rezystory osiowe 10 kΩ 1/4 W 1%

Wykaz elementów dla jednego modułu stabilizatora (podwoić liczbę dla dwóch modułów)
1 dwustronna PCB kod 18107211, 116 mm × 133 mm
1 toroidalna cewka 220 µH 5 A z rdzeniem ferrytowym (L1)
1 toroidalna cewka 10 µH 6,6 A z rdzeniem ferrytowym (L2) [Bourns 2000-100- V-RC]
1 toroidalna cewka 330 µH 3 A z rdzeniem ferrytowym (L3) (wymagane tylko dla jednego modułu)
1 bezpiecznik zwłoczny 10 A M205 (F1)
2 uchwyty bezpiecznikowe M205 do montażu na płytce drukowanej (dla F1)
3 2-pinowe zaciski śrubowe, raster 5,08 mm (CON1, CON2, CON4)
1 5×2-pionowe złącze pionowe (CON3)
2 3-pinowe pionowe spolaryzowane gniazda z pasującymi obudowami wtyczek i stykami (opcjonalnie – do sterowania ręcznego) (CON5, CON6)
1 2-pinowe gniazdo pionowo (CON7)
2 3-pinowa listwa ze zworkami (JP1, JP2)
2 radiatory micro-U (dla REG1 i REG2) [Altronics H0627].
6 silikonowych zestawów izolacyjnych TO-220 (podkładki i tuleje)
4 nylonowe tuleje dystansowe o długości 15 mm z gwintem M3
9 śrub z łbem walcowym M3 × 16 mm
4 śruby z łbem walcowym M3 × 6 mm
9 nakrętek sześciokątnych M3
13 płaskich podkładek o średnicy wewnętrznej ~3,2 mm (pasujących do śrub M3)
13 podkładek sprężystych o średnicy wewnętrznej ~3,2 mm (pasujących do śrub M3)

Półprzewodniki
1 Dwukierunkowy bocznikowy monitor prądu INA282AIDR, SOIC-8 (IC2) #
1 LM358 podwójny wzmacniacz operacyjny z pojedynczym zasilaniem, DIP-8 (IC3)
1 MCP4922-E/P podwójny DAV 12-bitowy, DIP-14 (IC4) #
1 MCP3202-BI/P podwójny 12-bitowy przetwornik ADC, DIP-8 (IC5) #
2 4-kanałowe izolatory MAX14930EASE+, SOIC-16 (IC6, IC7) #
2 regulowane stabilizatory LM317 1,5 A, TO-220 (REG1, REG2)
1 LM2575T-5.0V 5 V 1 A przetwornica buck, TO-220-5 (REG3) [Altronics Z0587] (potrzebna tylko dla jednego modułu)
1 regulowany stabilizator napięcia ujemnego LM337 1,5 A, TO-220 (REG4)
1 MC34167TV 0...40 V 5 A zintegrowana przetwornica buck, TO-220-5 (REG5) #
2 stabilizatory LM1084IT-3.3 5 A low-dropout, TO-220 (REG6, REG7) #
2 tranzystory BD139 80 V 1 A NPN, TO-126 (Q3, Q10)
7 BC546 80 V tranzystory NPN 100 mA, TO-92 (Q4...Q8, Q11, Q13)
2 tranzystory PNP BC556 80 V 100 mA, TO-92 (Q9, Q12)
1 mostek prostowniczy 400 V 10 A z metalową podstawą (BR1) [np. Compchip MP1004G-G] #
9 diod 1N4004 400 V 1 A (D1, D2, D5, D6, D9, D10, D13, D17, D19)
1 dioda Schottky'ego 6TQ045-M3 45 V 6 A, TO-220AC (D3) #
1 dioda P600K (lub -M) 6 A 800 V (D8) [Altronics Z0121]
1 dioda Schottky'ego 1N5819 40 V 1 A (D12)
1 dioda sygnalizacyjna 1N4148 (D14)
1 dioda Zenera 6,8 V 400 mW (ZD2) [np. 1N754]

Kondensatory
3 4700 µF 50 V 105°C elektrolityczny, raster 10 mm, średnica ≤20 mm [np. Nichicon UVZ1H472MRD]
1 3300 µF 50 V elektrolityczny [Altronics R4917]
3 1000 µF 50 V elektrolityczny o niskim ESR
1 1000 µF 50 V elektrolityczny ≤13 mm dia [Altronics R4887]
1 470 µF 25 V elektrolityczny o niskim ESR
2 220 µF 50 V elektrolityczny o niskim ESR
5 100 µF 50 V elektrolityczny o niskim ESR
2 15 µF 50 V tantal stały, SMD obudowa E [np. Mouser 581-TPSE156M050H0250 lub 80-T495X156M50ATE200].
7 10 µF 50 V 105°C elektrolityczny
1 1 µF 63 V MKT
3 470 nF 50 V X7R SMD ceramiczny, rozmiar M3216/1206
12 100 nF 63 V MKT
10 100 nF 50 V X7R ceramiczny wielowarstwowy [Altronics R2931]
2 100 nF 50 V X7R ceramiczny SMD, rozmiar M2012/0805
1 1 nF 50 V X7R ceramiczny wielowarstwowy [np. Altronics R2900A]

Rezystory (cienkowarstwowe osiowe 1/4 W 1%, o ile nie podano inaczej)

2 180 kΩ	5 1,8 kΩ
1 15 kΩ	1 1,2 kΩ
1 12 kΩ	3 1 kΩ
12 10 kΩ	2 680 Ω
1 6,8 kΩ	2 220 Ω
1 4,7 kΩ	1 100 Ω
2 3,3 kΩ	2 68 Ω

2 boczniki 0,05 Ω (50 mΩ) 1% 1 W [TT Electronics OAR1R050FLF] #
1 bocznik 0,01 Ω (10 mΩ) 1% 1 W [TT Electronics OAR1R010JLF] #
2 0 Ω lub odcinki ocynowanego drutu miedzianego o średnicy 0,7 mm (LK1, LK2) (potrzebne tylko dla jednego modułu) # [Mouser, Digi-Key itp.]

eprasa.pl 261515f3ed

Tabela 1. Rozmieszczenie pinów złącza sterującego

Pin	Funkcja	Komentarz
1	Wybór układu 1DAC #1	aktywny stan niski
2	SPI SDO (do mikrokontrolera)	Znane również jako MISO
3	Wybór układu ADC #1 (chip select)	aktywny stan niski
4	SPI SDI (z mikrokontrolera)	Znany również jako MOSI
5	Wybór układu DAC #2 (chip select)	aktywny stan niski
6	SPI SCK (z mikrokontrolera)	Mikrokontroler jest urządzeniem nadrzędnym SPI
7	ADC #2 wybór układu (chip select)	aktywny stan niski
8	SPARE	nieużywane
9	GND	
10	VDD	z mikrokontrolera lub do mikrokontrolera – patrz tekst

Aby zwiększyć uniwersalność w sytuacjach, w których sterowanie mikroprocesorowe nie jest wymagane, zostały przewidziane zewnętrzne potencjometry służące do ustawiania ograniczenia napięcia i prądu (przez CON5 i CON6). Jeśli rozwiązanie to ma być zastosowane, po prostu należy odłączyć wszystkie elementy w optycznie izolowanej sekcji, a także odłączyć układy ADC i DAC.

Protokół tego interfejsu jest prosty. Wartości cyfrowe są zapisywane do przetwornika cyfrowo-analogowego w celu ustawienia napięcia i prądu wyjściowego oraz ograniczeń, a wartości cyfrowe są odczytywane z przetwornika ADC. W przypadku tworzenia własnego interfejsu pomocna będzie ramka obok.

ADC i DAC

Podwójny 12-bitowy przetwornik ADC i podwójny 12-bitowy przetwornik DAC to odpowiednio układy Microchip MCP4922 i MCP3202. Ich bardzo proste interfejsy cyfrowe są opisane w notach katalogowych.

Kalibracja jest wymagana do konwersji wartości cyfrowych na napięcia i prądy oraz do konwersji odwrotnej. Realizuje to dostarczony kod sterujący.

Układy izolujące pozwalają jednemu modułowi mikrokontrolera sterować i monitorować wiele niezależnych modułów stabilizatorów, których masy mogą być podłączone do różnych potencjałów (poprzez złącza wyjściowe).

Dwa złącza, LK1 i LK2 umożliwiają zwrotne doprowadzenie zasilania z jednego z modułów stabilizatora do interfejsu sterowania. Jeśli używany będzie zalecany mikrokontroler, powinny być instalowane na jednym, i tylko jednym module stabilizatora. Nie ma znaczenia którym. Dzięki temu przetwornica LM2575 na tej płytce może zasilać mikrokontroler. Mikrokontroler jest połączony z masą tego modułu przetwornicy, ale jest to konfiguracja poprawna, ponieważ oba potencjały będą pływać razem, ale niezależnie od drugiego modułu przetwornicy.

Układy 12-bitowe mają 4096 kroków napięcia. Liniowy stabilizator wyjściowy porównuje napięcie DAC z napięciem wyjściowym podzielonym przez 16 (15 kΩ ÷ 1 kΩ + 1). Oznacza to, że napięcie wyjściowe jest sterowane w krokach co 19,5 mV (5,0 V × 16 ÷ 4095).

Układ scalony INA282, który monitoruje prąd wyjściowy przez rezystor 10 mΩ ma 50-krotne wzmocnienie. Zatem pełna skala wyjściowa układu INA282 wynosi 2,5 V (5 A × 0,01 Ω × 50), co przekłada się na rozdzielczość pomiaru ADC wynoszącą 2,4 mA (1 A × 0,01 Ω × 50 × [5 V ÷ 2,5 V] ÷ 4095).

W celu ustawienia ograniczenia prądu, przetwornik cyfrowo-analogowy będzie miał taki sam nominalny prąd na bit. Oprogramowanie interfejsu użytkownika uwzględnia kalibrację dla wszystkich tych ustawień i pomiarów, więc nie trzeba instalować precyzyjnych elementów podczas jego budowania.

Pozostała część układu

Napięcie zmienne z transformatora jest prostowane przez 10-amperowy mostek prostowniczy BR1. Przy prądzie większym niż 3 A wymaga zastosowania radiatora, jest więc zamontowany na radiatorze za pomocą luźnych przewodów. Istnieje możliwość zamontowania go na płytce drukowanej w przypadku zastosowań o niższym natężeniu prądu.

Układ tworzący napięcie dla ujemnej linii zasilającej zbudowany jest z diod D5 i D6 oraz dwóch kondensatorów, 3300 μF i 1000 μF. Zastosowanie tych wartości pozwala uniknąć stanów nieustalonych na wyjściu po wyłączeniu. Tworzone w ten sposób napięcie ujemne jest potrzebne dla wzmacniaczy operacyjnych, dzięki czemu napięcie wyjściowe może spaść do 0 V, jak opisano wcześniej. Ujemna linia jest następnie doprowadzana do układu REG4 w celu wytworzenia stabilizowanego zasilania –4,5 V.

W pobliżu przetwornicy impulsowej znajdują się trzy kondensatory 4700 μF 50 V. Są one wymagane ze względu na spodziewane tętnienia prądu i zapewnienie bardzo niskiej impedancji zasilania tego stabilizatora. Można użyć kondensatorów o niższej pojemności, ale maksymalne napięcie wyjściowe zostanie zmniejszone.

W górnej części płytki znajdują się dwa kondensatory tantalowe 15 μF do montażu powierzchniowego, a od spodu kondensatory ceramiczne SMD 470 nF i 100 nF. Są one umieszczone w pobliżu pinów zasilania i uziemienia układu MC34167 zapewniając niską impedancję źródła zasilania układu MC34167 przy wysokich częstotliwościach. Zmniejszane jest w ten sposób ryzyko indukowania się skoków napięcia na ścieżkach zasilania.

Wartości znamionowe 50 V tych elementów zostały wybrane nie bez powodu. Jak wspomniano wcześniej, kondensatory ceramiczne o wyższym napięciu znamionowym działają lepiej nawet po naładowaniu do niższych napięć.

W filtrze wyjściowym są trzy kondensatory elektrolityczne 1000 μF 50 V o niskim ESR połączone równolegle z kondensatorami ceramicznymi 470 nF. Są one konieczne ze względu na prąd tętnień dochodzący do 5 A. Napięcie wyjściowe jest ponownie filtrowane za pomocą cewki 10 μH i kondensatora 100 μF low-ESR.

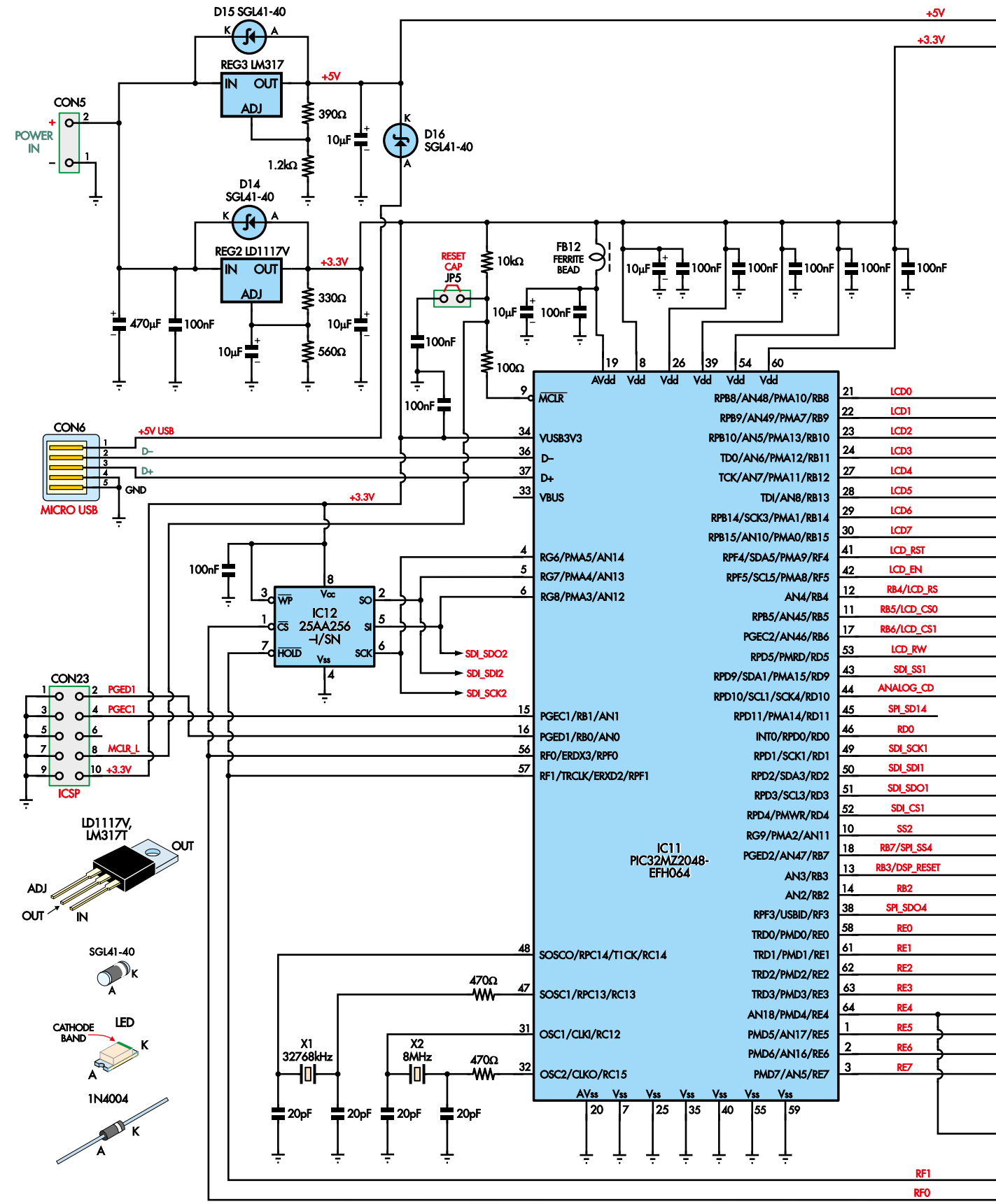
Na płycie znajdują się cztery inne stabilizatory pomocnicze, z których żaden nie jest skonfigurowany w nietypowy sposób:

- Linia +12 V (w rzeczywistości 11,5 V) tworzona przez REG1 (LM317) dla wzmacniaczy operacyjnych.
- Linia +5 V (w rzeczywistości 5,1 V), tworzona przez REG2 (LM317) z linii +12 V, dla układów ADC i DAC.
- –4,5 V (w rzeczywistości –4,5 V), tworzona przez REG4 (LM337), dla wzmacniaczy operacyjnych.
- Linia +5 V tworzona przez REG3 (LM2575-5), druga przetwornica impulsowa, która zasila interfejs sterujący i opcjonalnie mikrokontroler/interfejs użytkownika. Zastosowano tu wydajną przetwornicę impulsową, która pozwala interfejsowi sterującemu pobierać prąd o natężeniu kilkuset miliamperów bez wytwarzania dodatkowego ciepła.

Wybór transformatora

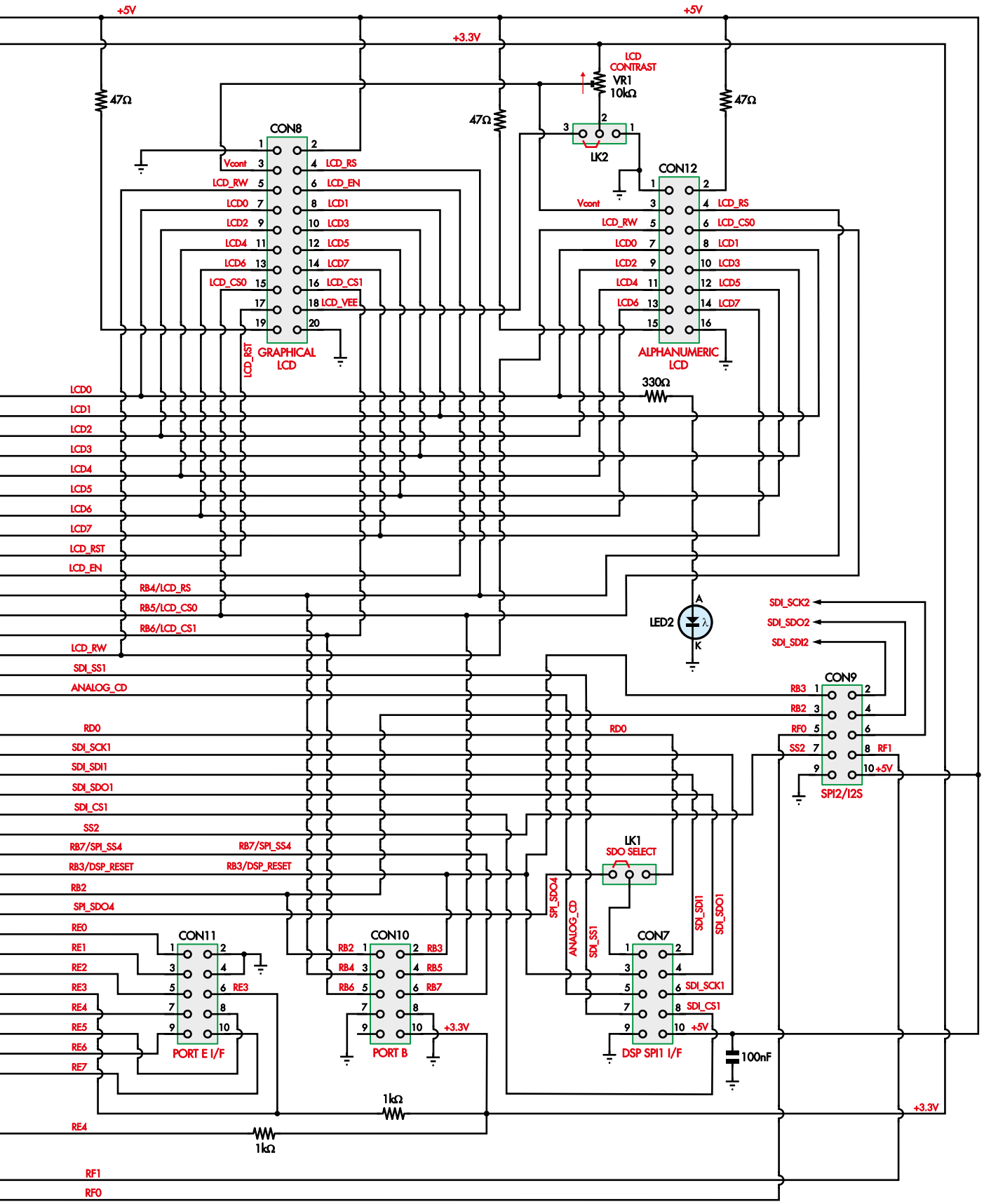
Idealny transformator do tego zasilacza powinien mieć moc 300 VA z dwoma niezależnymi uzwojeniami wtórnymi 25 V AC. Wybór padł na Altronics M5525C – transformator

eprasa.pl 261515f3ed



DUAL HYBRID POWER SUPPLY CPU BOARD CIRCUIT

eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 8. Widoczny tu schemat sterowania CPU był używany w kilku projektach. Obejmuje on potężny 32-bitowy mikrokontroler PIC32MZ, rezonator 8 MHz, opcjonalny rezonator 32768 Hz używany do wyznaczania czasu, stabilizatory 5 V i 3,3 V, pamięć EEPROM SPI oraz liczne złącza. Rezonator pomiaru czasu i stabilizator 5 V nie są potrzebne w tym projekcie. Złącze CON7 służy do podłączenia płytek stabilizatorów, CON11 do podłączenia płytki sterowania panelu przedniego, a CON12 wyświetlacza LCD. Pozostałe złącza są nieużywane

eprasa.pl 261515f3ed

25+25 V AC, 300 VA. Konstrukcja ta jest bardzo wszechstronna i z powodzeniem będzie działać przy napięciu powyżej 15 V. Jedyną istotną cechą jest to, że uzwojenia wtórne nie są wewnętrznie połączone.

Należy pamiętać, że transformator Altronics ma uzwojenie przystosowane do sieci 240 V AC. Dla instalacji 230 V AC, napięcie wyjściowe jest więc o około wolt niższe od specyfikacji w „normalnych" warunkach pracy transformatora.

W rezultacie przy bardzo wysokich prądach (powyżej 4,7 A) zasilacz traci stabilizację przy 24,5 V. Aby tego uniknąć, należy nawinąć kilka dodatkowych zwojów, co spowoduje zwiększenie napięcia wyjściowego o jeden wolt. Ostatecznie można też wybrać inny transformator. W przypadku większości zastosowań ograniczenie, o którym jest mowa, nigdy nie będzie miało znaczenia.

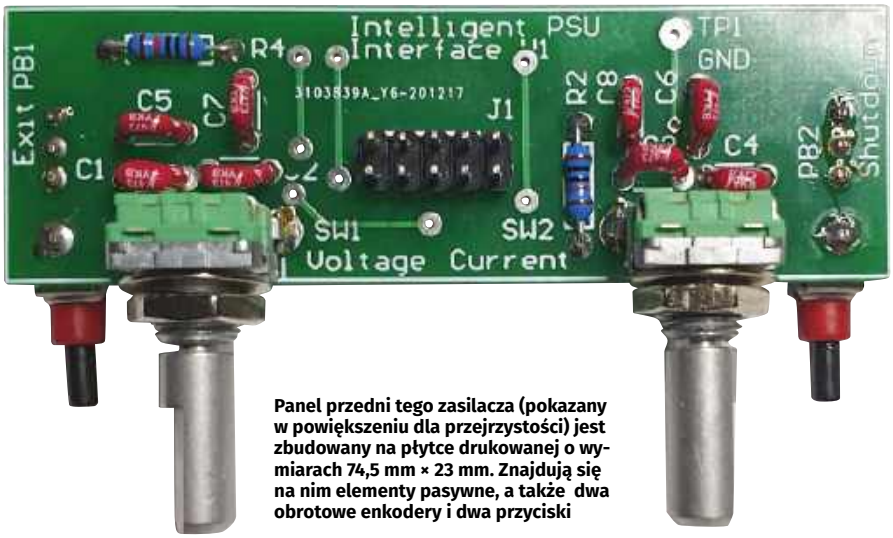
Ograniczenie prądu zasilacza zostało ustawione na 5 A dla każdej linii, a maksymalne napięcie wyjściowe na 25 V DC. Ważne jest, aby podczas konfigurowania sterownika wprowadzić prawidłową wartość znamionową VA transformatora i jego nominalne napięcie AC. Służą one do obliczania ograniczeń prądu, które są używane do ochrony transformatora przed przeciążeniem.

Układ sterowania

Układ sterujący był zastosowany w kilku poprzednich projektach, począwszy od „DSP Active Crossover & 8-channel Parametric Equaliser" (wydania maj–lipiec 2019; siliconchip.com.au/Series/335). Podobnie jak w tamtym projekcie, interfejs jest wyświetlany na monochromatycznym graficznym wyświetlaczu LCD. Wyświetlacz ten, płytka sterująca na panelu przednim i płytki stabilizatorów są podłączone do płytki sterującej za pomocą kabli taśmowych i wielopinowych złączy.

Układ sterujący został przedstawiony na **rysunku 8**. Układ IC11 to 32-bitowy mikrokontroler PIC32MZ2048 z 2 MB pamięci flash i 512 KB pamięci RAM, który może pracować z częstotliwością do 252 MHz. Posiada on interfejs USB wyprowadzony do gniazda mikroUSB typu B, CON6, chociaż nie zostało użyte w tym projekcie – jest tam „na wszelki wypadek" dla innych projektów.

PIC jest również wyposażony w kwarc 8 MHz dla głównego przebiegu zegarowego (X2). Na płytce drukowanej (i pokazanej na schemacie) przewidziano kwarc 32,768 kHz do ewentualnej przyszłej rozbudowy, ale nie jest on używany w tym projekcie i można go pominąć. Jest też szeregowa pamięć EEPROM, która służy do przechowywania wartości kalibracyjnych, ustawień napięcia i prądu. Należy ją zamontować.

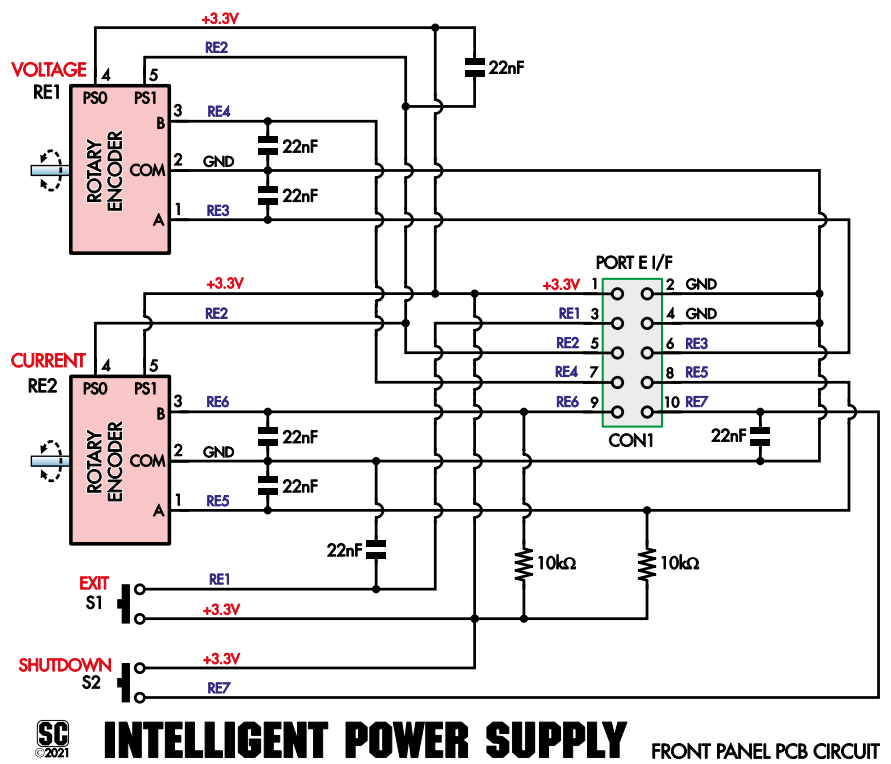


Panel przedni tego zasilacza (pokazany w powiększeniu dla przejrzystości) jest zbudowany na płytce drukowanej o wymiarach 74,5 mm × 23 mm. Znajdują się na nim elementy pasywne, a także dwa obrotowe enkodery i dwa przyciski

Elementy sterujące na panelu przednim są podłączone z powrotem do 10-stykowego złącza CON11 (i do portu E mikrokontrolera). Płytki stabilizatora są podłączane do 10-stykowego złącza CON7. Pozostałe gniazda i złącza są nieużywane w tym projekcie. Zasilanie 5 V dla tej płytki jest doprowadzane do pinów 10 i 9 złącza CON7 jednej z płytek stabilizatora.

Interfejs użytkownika jest wyświetlany na graficznym wyświetlaczu LCD, podłączonym tasiemką do CON8 na płytce mikrokontrolera. Umożliwia to standardowy 8-bitowy równoległy interfejs wyświetlacza LCD. Osiem linii danych LCD (DB0...DB7) jest sterowanych z szeregu wyjść cyfrowych IC11 (RB8...RB15). Pozwala to na przesłanie bajtu danych do wyświetlacza za pomocą zaledwie kilku linii kodu i przy minimalnym opóźnieniu.

Pozostałe linie sterujące LCD są sterowane przez wyjścia cyfrowe RB4, RB5, RB6, RD5, RF4 i RF5, a ekran jest zasilany z linii 5 V, z jasnością podświetlenia ustawioną za pomocą



Rysunek 9. Schemat panelu przedniego zawiera dwa enkodery obrotowe ze zintegrowanymi przyciskami, a także dwa dodatkowe przyciski i kilka kondensatorów niwelujących drgania styków w trakcie przełączania. 10-pinowe złącze CON1 na tej płytce jest dołączone do CON11 (rysunek 8), dzięki czemu mikrokontroler może odczytywać, kiedy enkodery są obracane, a przyciski naciskane

eprasa.pl 261515f3ed

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

rezystora 47 Ω. Kontrast LCD jest regulowany za pomocą potencjometru VR1, który łączy się z CON8 przez LK2.

CON23 to nieco nietypowe gniazdo do programowania szeregowego ICSP. Ma podobny układ pinów do PICkit 3/4, ale nie jest bezpośrednio kompatybilny. Został zaprojektowany do pracy na dłuższym kablu. Ponieważ każda linia sygnałowa ma co najmniej jeden przewód uziemiający, integralność sygnału powinna być lepsza.

Do jednorazowego połączenia z zestawem PICkit w celu zaprogramowania mikrokontrolera można wykorzystać przewody połączeniowe. Można też podłączyć 10-stykowe złącze IDC do końca tasiemki, a następnie przylutować odpowiednie przewody na drugim końcu kabla do 5-pinowego złącza SIL tworząc bardziej trwały kabel do programowania.

Na płytce znajdują się dwa stabilizatory, ale REG3 nie jest potrzebny w tym przypadku, ponieważ linia 5 V jest utworzona na płytce stabilizatora. REG2 jest jednak wymagany do wytworzenia napięcia +3,3 V z linii 5 V za pośrednictwem diody Schottky'ego D15, zasilającej mikrokontroler IC11.

Dioda LED2 jest połączona z linią danych LCD LCD0 do masy za pomocą rezystora 330 Ω ograniczającego prąd, przez co będzie ona migać podczas aktualizacji wyświetlacza LCD.

Płyta panelu przedniego

Na **rysunku 9** pokazano schemat płytki panelu przedniego dedykowanego dla tego projektu. Nie ma w nim zbyt wiele do zrobienia. Enkodery obrotowe RE1 i RE2 generują „kody Graya" poprzez zwieranie styków przełączających między pinami 1 i 3 oraz pinem 2 (wspólnym). Mają również zintegrowane przełączniki przyciskowe, które po naciśnięciu łączą styki 4 i 5, a także dwa oddzielne chwilowe przyciskowi S1 i S2.

Sterowanie modułem stabilizatora przez SPI

Ustawianie napięcia wyjściowego i ograniczenia prądowego odbywa się przez wpis do przetwornika DAC (napięcie: kanał 1, prąd: kanał 2). Najpierw należy ustawić niski poziom na linii Chip Select (CS) dla wybranego przetwornika cyfrowo-analogowego. Następnie należy do niego wpisać daną 0x7000 (28672 dziesiętnie) + 0x0 do 0xFFF (4095 dziesiętnie) jako wartość DAC dla żądanego napięcia. Dla ograniczenia prądu wpisujemy 0x9000 + 0x0 do 0xFFF. Po dokonaniu zapisu należy ponownie ustawić CS w stan wysoki.

Na przykład, aby ustawić wyjście na 5,1 V należy: ustawić CS przetwornika DAC w stan niski, wysłać 601 do kanału 1 (czyli 0x7259), a następnie ponownie ustawić CS w stan wysoki. Należy pamiętać, że wiele mikrokontrolerów wymaga odczytu bufora SPI po zapisaniu słowa SPI.

Aby odczytać rzeczywiste napięcie i prąd dla każdego kanału, należy wysłać zapytanie do przetwornika ADC. Należy utrzymywać rozsądne prędkości zapisu – w projekcie przyjęto 100 kHz, co pozwala na dobrą dokładność przetwornika ADC i zapewnia łatwy czas konfiguracji i podtrzymania.

Ustawiamy więc niski stan na linii CS dla wybranego przetwornika ADC, a następnie wysyłamy bajt polecenia odczytu: 0x01. Czekamy, aż cały bajt SPI zostanie wysłany z mikrokontrolera do ADC, a następnie odczytujemy bajt i odrzucamy go.

Następnie należy wysłać polecenie odczytu 0xA0 dla napięcia lub 0xE0 dla prądu. Czekamy, aż cały bajt SPI zostanie wysłany z mikrokontrolera do ADC, a następnie odczytujemy i zapisujemy następny bajt. Wysyłamy 0x00 do ADC, czekamy, aż cały bajt SPI zostanie wysłany z mikrokontrolera do ADC, a następnie odczytujemy kolejny bajt.

Ostatni odczytany bajt zawiera 8 najmłodszych bitów wyniku, natomiast najstarsze 4 bity 12-bitowego wyniku znajdują się w dolnych 4 bitach poprzedniego odczytanego bajtu. W języku C można więc obliczyć odczytaną wartość jako:

```
unsigned short value = (byte1 & 0x0F)*256 + byte2;
```

Wszystkie styki przełącznika są ściągane do masy za pomocą kondensatorów 22 nF. Może wydawać się, że jeden przełącznik zintegrowany z RE2 nie ma kondensatora, ale jest umieszczony na równoległym drugim przełączniku, więc oba dzielą jeden kondensator wspólny.

Wyjścia kodu Graya enkodera obrotowego RE2 podciągane są do zasilania za pomocą dodatkowych rezystorów, natomiast wyjścia RE1 podciągne są do zasilania wewnętrznie przez mikrokontroler.

Wszystkie styki przełącznika są włączone między wejścia mikrokontrolera i masę, albo między wejścia mikrokontrolera a linię +3,3 V, w zależności od tego, co jest najwygodniejsze dla oprogramowania. Połączenia z wejściami mikrokontrolera realizuje złącze CON1.

Co w następnym odcinku?

Na tym można zakończyć opis inteligentnego zasilacza. W następnym odcinku zostaną przedstawione szczegóły trzech głównych płytek PCB, znajdzie się opis tego jak je złożyć, zamontować w obudowie oraz podłączyć a następnie przetestować cały zasilacz.

Zostanie także przedstawiona metoda korzystania z urządzenia i sterowania nim za pomocą interfejsu graficznego LCD i elementów sterujących na panelu przednim. ■

Phil Prosser

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

REKLAMA

Publikujemy dla projektantów i programistów elektroniki

ELPORTAL.pl

Znajdziesz nas również na Facebooku: facebook.com/ElportalPL

eprasa.pl 261515f3ed

Sterownik wentylatorów chłodzących i zabezpieczenie głośników

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/78p-5wfm

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

Opisana w artykule płytka steruje maksymalnie trzema wentylatorami chłodzącymi. Są one włączane przy zadanej temperaturze, a wraz z jej wzrostem zwiększana jest również prędkość. Zapobiega to przegrzaniu i minimalizuje hałas. Płytka może również chronić głośniki przed uszkodzeniem, a także zapobiegać trzaskom przy włączaniu i wyłączaniu zasilania. Sterownik może być używany ponadto do chłodzenia innych urządzeń, które wymagają zabezpieczenia przed nadmiernym nagrzewaniem się.

Wiele urządzeń wymaga podczas intensywnej pracy wymuszonego chłodzenia powietrzem. Gdy jednak są bezczynne lub pracują pod niewielkim obciążeniem praca wentylatorów nie jest wymagana. Do tej grupy można zaliczyć duże zasilacze, wzmacniacze audio, regulatory prędkości silnika, a więc niemal wszystkie urządzenia, które nagrzewają się pod obciążeniem.

Ponadto automatycznie włączające się wentylatory mogą wydłużyć żywotność urządzeń dla których pasywne chłodzenie jest wystarczające. Możliwe jest, że wentylatory te będą załączały się tylko latem, gdy temperatury otoczenia są wysokie. Idealnie byłoby, gdyby wentylatory zatrzymywały się lub zmniejszały obroty, kiedy aktywne chłodzenie przestaje być potrzebne. Zapobiegałoby to irytującemu ciągłemu hałasowi wentylatora, a także gromadzeniu się kurzu.

Jedną z prostych metod automatycznego załączania wentylatorów chłodzących jest termostat podłączony do radiatora. Włącza on wentylator (wentylatory), gdy temperatura przekroczy określony próg. Jednak po włączeniu, wentylatory pracują z pełną prędkością i wytwarzają znaczny hałas. Jest to szczególnie niekorzystne dla wzmacniacza audio, ponieważ może mieć negatywny wpływ na doznawane wrażenia słuchowe.

Mniej uciążliwą metodą jest dostosowanie prędkości wentylatora (lub wentylatorów) w taki sposób, aby następował stopniowy wzrost prędkości wraz ze wzrostem temperatury. Gdy radiator przekroczy określoną temperaturę, wentylatory pracują powoli, co zwykle zapewnia wystarczający ruch powietrza, aby obniżyć temperaturę panującą wewnątrz wzmacniacza. Jeśli temperatura będzie nadal rosnąć, wentylator zwiększy obroty nawet do wartości maksymalnej.

Odpowiednio dobierając wentylatory, można osiągnąć skuteczne chłodzenie aktywne, jednocześnie utrzymując cichą pracę dzięki obniżeniu prędkości obrotów. W projekcie wykorzystano wentylatory komputerowe z silnikami bezszczotkowymi sterowane przebiegiem PWM. Są one łatwo dostępne w różnych przedziałach cenowych, począwszy od kilku dolarów za sztukę. Zazwyczaj są one wystarczająco ciche przy niskich obrotach,

Specyfikacja:
- Czas reakcji na błąd offsetu DC: 75 ms
- Częstotliwość sterowania PWM wentylatora: 25 kHz
- Wykrywanie offsetu DC wzmacniacza: <–2 V lub >+2 V
- Opóźnienie włączenia przekaźnika: zazwyczaj 6 s po wykryciu wentylatorów
- Alarm dźwiękowy odłączenia/awarii wentylatora: seria 264 ms sygnałów 3,875 kHz powtarzanych co 1 sekundę
- Konwersja temperatura/napięcie: 10 mV/K (2,73 V = 273 K = 0°C)
- Alarm dźwiękowy przekroczenia temperatury lub offsetu DC: seria 264 ms sygnałów 3,875 kHz powtarzana co 2 sekundy
- Zakres termistora NTC: 0...100°C (reaguje na najwyższą temperaturę, gdy używane są dwa)
- Potrójna regulacja potencjometrem: próg włączenia wentylatora, zakres prędkości wentylatora i alarm przekroczenia temperatury
- Zakres ustawień temperatury: 0...100°C (273...373 K)
- Histereza przekroczenia temperatury: 4°C (4 K)
- Próg wykrywania zaniku napięcia AC: 9 V AC

eprasa.pl 261515f3ed

Cechy
- Świetnie nadaje się do monofonicznych i stereofonicznych wzmacniaczy audio lub innych urządzeń wymagających aktywnego chłodzenia.
- Wbudowany układ ochrony głośników z funkcją eliminacji trzasków przy włączaniu i wyłączaniu zasilania
- Głośniki są odłączone po wykryciu przegrzania.
- Jeden lub dwa termistory do wykrywania temperatury.
- Sterowanie PWM dla od jednego do trzech wentylatorów.
- Alarmy przekroczenia temperatury i awarii wentylatora.
- Zakres regulacji temperatury 0...100°C.
- Wskaźniki LED wykrycia obecności wentylatora i włączenia przekaźnika.

a przy pełnej prędkości potrafią przemieszczać dużą ilość powietrza.

Płytka nadaje się idealnie do użycia we wzmacniaczach mocy, z tego względu zostało do niej dodanych kilka przydatnych w tym zastosowaniu funkcji. Wzmacniacze mocy powinny być wyposażone w zabezpieczenie głośników, które odłącza głośniki w przypadku awarii wzmacniacza. Awaria wzmacniacza dużej mocy może zniszczyć głośniki, a nawet wywołać pożar. Wynika to z faktu, że jeden z najczęstszych przypadków awarii obejmuje zwarcie jednego lub więcej tranzystorów wyjściowych, co może skutkować podaniem na głośnik całego napięcia stałego linii zasilającej (do około 80 V). Biorąc pod uwagę ich niską rezystancję dla prądu stałego, każdy podłączony do takiego napięcia głośnik zostanie szybko zniszczony.

W najlepszym przypadku cewka głośnika spali się bez dalszych uszkodzeń. Gorszym scenariuszem jest jednak to, że membrana głośnika może zapłonąć, zapalając przy okazji obudowę głośnika i wszystko co znajduje się w pobliżu. Wbudowany układ zabezpieczenia głośników zapobiega uszkodzeniu głośnika poprzez odłączenie go od wzmacniacza w przypadku wystąpienia tego typu usterki.

Ponieważ istnieje możliwość odłączenia głośnika od wzmacniacza, można zapewnić funkcję tłumienia trzasków. Po włączeniu zasilania wzmacniacz może generować krótki, niekontrolowany skok napięcia do momentu ustabilizowania się zasilania. Powoduje to słyszany w głośnikach trzask. Efekt ten został wyeliminowany przez dodanie obwodów opóźniających podłączenie głośnika.

Podobny dźwięk może wystąpić przy wyłączaniu. Dlatego odłączamy głośnik natychmiast po utracie zasilania prądem przemiennym, zanim jakiekolwiek skoki napięcia ze wzmacniacza będą w stanie spowodować trzask.

Sterowanie wentylatorem za pomocą przebiegu PWM

Sterownik współpracuje z 4-pinowymi wentylatorami PWM. Mają one wewnętrzny układ regulacji prędkości przez zastosowanie przebiegu modulowanego szerokością impulsu (PWM).

Przy małych wypełnieniach przebiegu sterującego wentylator kręci się powoli i zwiększa prędkość wraz ze wzrostem wypełnienia. Sterownik może obsługiwać do trzech wentylatorów. Wentylatory PWM mają cztery złącza: dwa do zasilania (+12 V i 0 V), jedno do regulacji prędkości i jedno do sprzężenia zwrotnego prędkości (wykrywanie RPM). Są one oznaczone jako Control i Sense.

Zacisk czujnika wytwarza dwa impulsy na obrót wentylatora, gdy ma on rezystor podciągający dołączony do zasilania 5 V. Impulsy te dostarczają informacji o prędkości wentylatora, a w szczególności o tym, czy wentylator pracuje. Jeśli rezystor podciągający nie jest dołączony, wentylator zawsze pracuje z pełną prędkością po dołączeniu zasilania.

Czwarty pin jest zaciskiem Control i służy do ustawiania prędkości wentylatora za pomocą przebiegu PWM. Zastosowany przebieg PWM musi dostarczać tylko niewielki prąd, ponieważ nie napędza on bezpośrednio silnika wentylatora. Wewnętrznie, każdy wentylator zawiera obwód sterowania silnika, który działa w oparciu o zastosowany przebieg PWM.

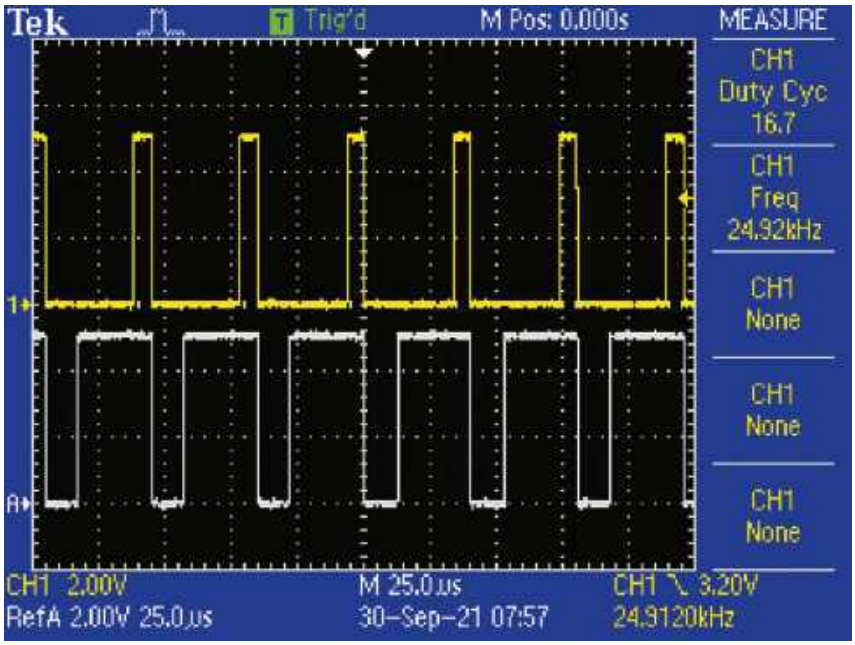
Na **oscylogramie 1** widzimy przebieg PWM 25 kHz, który steruje wentylatorem. Górny żółty przebieg ma mały współczynnik wypełnienia (16,7%). Po jego zastosowaniu wentylator kręci się powoli. Dolny biały przebieg ma zwiększone wypełnienie do około 70%. Sterowany nim wentylator działa szybciej, ale wciąż poniżej pełnej prędkości, która wymaga zastosowania ciągłego napięcia.

Więcej szczegółów na temat tego sposobu sterowania wentylatorem z użyciem przebiegu PWM można znaleźć w dokumencie PDF na stronie siliconchip.com.au/link/abc3.

Cechy

Jak wspomniano wcześniej, opisywany moduł posiada szerokie spektrum zastosowań, ale ponieważ idealnie nadaje się do wzmacniaczy audio, skoncentrujemy się na tym zastosowaniu.

Sterownik może być używany ze wzmacniaczem mono lub stereo z jednym lub dwoma radiatorami. Przekaźnik przełączający głośnik należy dobrać odpowiednio do mocy znamionowej wzmacniacza. Jeśli będzie używany ze wzmacniaczami o dużej mocy (100 W lub więcej), będzie wymagał dużego prądu znamionowego. Zostało to omówione w sekcji „Wybór przekaźnika". Każdy używany przekaźnik musi mieć styk dwupozycyjny (SPDT lub DPDT), co zostanie wyjaśnione nieco dalej.



Oscylogram 1. Dwa przebiegi sterowania wentylatorem PWM, u góry przebieg żółty z niskim współczynnikiem wypełnienia (łopatki wentylatora obracają się powoli) i poniżej przebieg biały z wysokim współczynnikiem wypełnienia, dla wyższych obrotów wentylatora, ale wciąż wolniejszych niż w przypadku pełnego wysterowania

eprasa.pl 261515f3ed

Moduł jest przeznaczony do zamontowania wewnątrz wzmacniacza. Jest on zasilany napięciem stałym 12 V, przy czym pobór prądu może zbliżać się do 750 mA, w zależności od typu i liczby użytych wentylatorów. Chociaż napięcie 12 V może pochodzić z istniejącego zasilacza wzmacniacza, prawdopodobnie uzasadnione jest zastosowanie oddzielnego zasilacza, zwłaszcza gdy używany jest więcej niż jeden wentylator.

Realizując moduł warto pamiętać, że wszystkie możliwe funkcjonalności wcale nie muszą być potrzebne, w związku z tym, można się ograniczyć do implementacji tych, z których rzeczywiście zamierzamy korzystać. Jeśli nie są potrzebne dwa termistory, montaż jednego z nich można pominąć. Jeżeli używana będzie tylko funkcja ochrony głośnika i dethumpingu, montaż wentylatorów nie będzie konieczny.

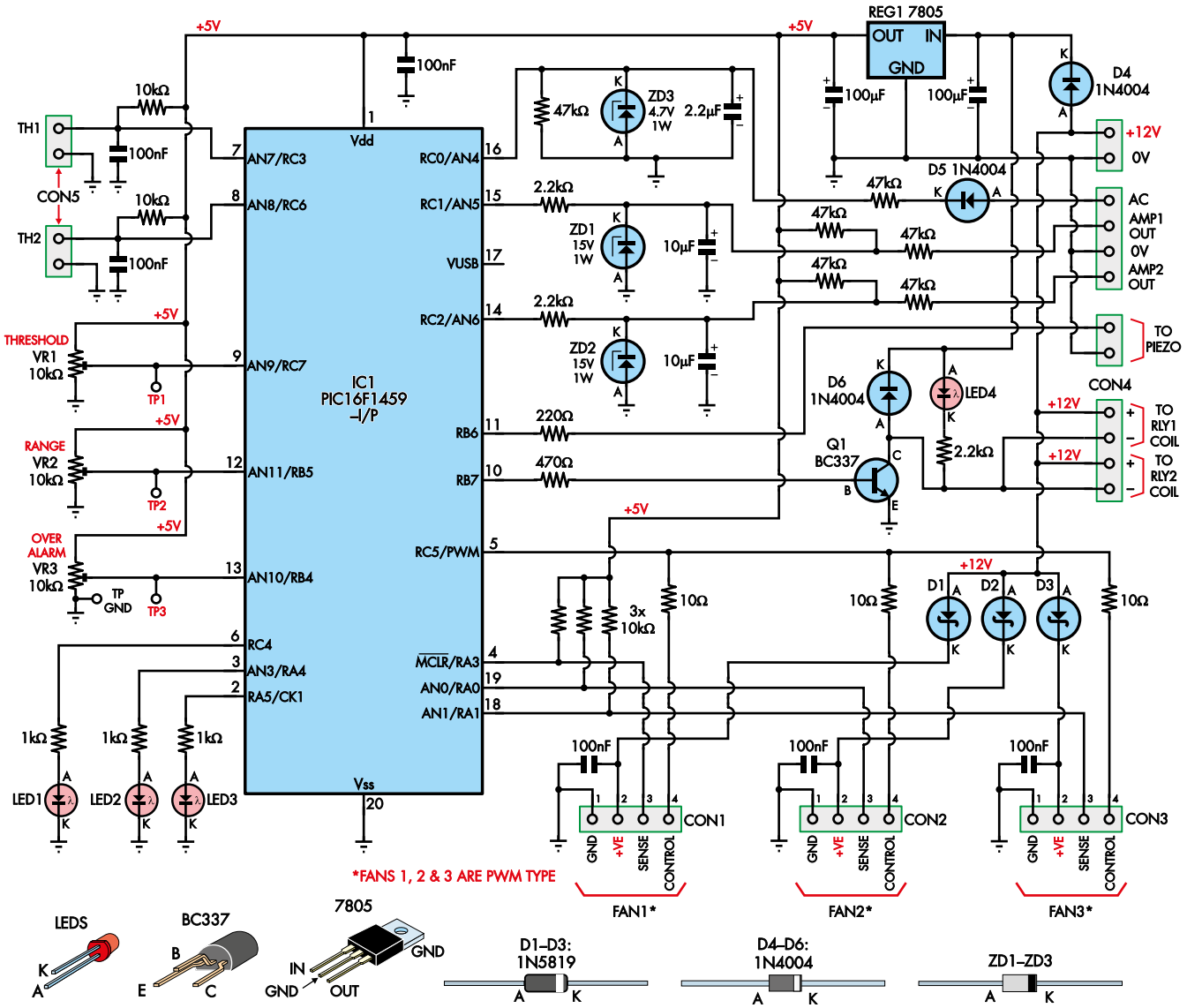
Jeśli uderzenia lub stuki podczas załączanie i wyłączania zasilania wzmacniacza nie są problemem, to na wejście zasilania można podać napięcie stałe 12 V. Jeśli funkcja ochrony głośników nie będzie używana lub jest potrzebny jest tylko jeden kanał ochrony, nieużywane wejścia detekcji należy podłączyć do zacisku 0 V.

Wreszcie, jeśli planowane jest korzystanie tylko z funkcji ochrony głośników/detumpingu, należy użyć zworki do mostkowania styków 3 i 4 jednego ze złączy wentylatora. Zapobiegnie to wyświetlaniu przez sterownik błędu „odłączenia/awarii wentylatora", który w przeciwnym razie uniemożliwiłby działanie modułu.

Szczegóły układu

Cały układ sterownika został pokazany na **rysunku 1**. Jest on oparty na mikrokontrolerze IC1. Monitorowanych jest kilka wejść, w tym dwa termistory NTC służące do pomiaru temperatury, dwa napięcia wyjściowe wzmacniacza i wejście AC z transformatora mocy. Wejście AC służy do wykrywania, kiedy wzmacniacz jest włączony lub wyłączony.

Sterownik ma również trzy wejścia analogowe dołączone do suwaków



Rysunek 1. Układ sterownika nie jest zbyt rozbudowany, ponieważ większość funkcji jest obsługiwana przez firmware mikrokontrolera IC1. W prawym górnym rogu widoczny jest układ kondycjonowania sygnału, dzięki któremu sygnały wyjściowe wzmacniacza mogą być podawane do przetwornika ADC mikrokontrolera, z układem sterującym przekaźnikiem poniżej. Elementy w prawym dolnym rogu tworzą interfejsy wentylatorów PWM, natomiast wejścia termistorów, potencjometry regulacyjne i diody LED wskaźników znajdują się po lewej stronie

eprasa.pl 261515f3ed

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

potencjometrów montażowych w celu ustawienia parametrów kontroli temperatury, a także trzy wejścia cyfrowe wykrywające częstotliwość do monitorowania prędkości wentylatora (RPM – obrotów na minutę).

Układ IC1 steruje alarmem piezoelektrycznym, wskaźnikami LED dla każdego wentylatora oraz sterownikiem przekaźnika/wskaźnikiem LED. W normalnych warunkach przekaźnik włącza się po około sześciu sekundach od włączenia zasilania. Łączy on wyjście (wyjścia) wzmacniacza z głośnikiem (głośnikami).

Wejścia termistora NTC zostały wyprowadzone na złącze CON5. Termistor TH1 podłączony jest do wejścia analogowego na nóżce 7 układu IC1, a TH2 na nóżce 8. Każdy termistor został włączony pomiędzy masę (szyna 0 V), a wejście analogowe mikrokontrolera. Wejścia te są podciągnięte za pomocą rezystorów podciągających 10 kΩ do zasilania +5 V. Jak sama nazwa wskazuje, termistory o ujemnym współczynniku temperaturowym (NTC) zmniejszają rezystancję wraz ze wzrostem temperatury.

W przypadku zastosowanych termistorów ich rezystancja w temperaturze 25°C wynosi 10 kΩ, więc w połączeniu z rezystorem podciągającym 10 kΩ dają one w tej temperaturze napięcie wypadkowe 2,5 V. Wraz ze wzrostem temperatury napięcie to spada. Rezystancja, a tym samym napięcie w funkcji temperatury, nie jest liniowa, podąża za krzywą wykładniczą. Wartość β termistora wynosi 3970, co pozwala obliczyć oczekiwaną rezystancję, a tym samym napięcie w różnych temperaturach. Można do tego celu użyć kalkulatora online, na przykład takiego jak umieszczony na stronie siliconchip.com.au/link/aaj1.

W pamięci mikrokontrolera IC1 została zapisana wstępnie obliczona tabela wartości od 0 do 100°C.

Układ IC1 konwertuje napięcia na 8-bitowe wartości cyfrowe za pomocą wewnętrznego przetwornika analogowo-cyfrowego (ADC), a następnie wykorzystuje tabelę odnośników do konwersji na temperaturę. Temperatury poniżej 0°C są traktowane jako 0°C, podobnie temperatury powyżej 100°C są traktowane jako 100°C.

Gdy podłączone są dwa termistory, używana jest najwyższa temperatura jednego z nich. W ten sposób, w przypadku wzmacniacza stereo z dwoma radiatorami, prędkość wentylatora i inne aspekty będą zależały od tego, który z nich jest cieplejszy.

Jeśli używany jest tylko jeden termistor, nieużywane wejście pozostaje otwarte, a rezystor podciągający utrzymuje to wejście na poziomie 5 V. Gwarantuje to, że nieużywane wejście będzie miało niższy odczyt temperatury.

Nastawy potencjometrów

Potencjometry montażowe (trimpoty) VR1, VR2 i VR3 służą do ustawiania sposobu sterowania wentylatorami. Ustawienie napięcia na suwaku każdego trimpota jest bezpośrednio związane z temperaturą w Kelwinach (K). Różnica 1 K odpowiada różnicy 1°C, ale 0°C = 273,15 K. Aby przeliczyć °C na K, wystarczy dodać 273,15, a przeliczenie K na °C polega na odjęciu tej samej wartości.

Współczynnik przetwarzania napięcia na temperaturę w naszym układzie wynosi 10 mV/K. Ustawienie napięcia 2,73 V odpowiada temperaturze 273 K, czyli 0°C. W przypadku innych temperatur należy dodać wymaganą wartość °C do 273, podzielić przez 100, a następnie dostosować napięcie. Na przykład, dla ustawienia 50°C, należy uzyskać na TP1, TP2 lub TP3 napięcie 3,23 V ([273 + 50] ÷ 100).

VR1 dostosowuje ustawienie progu, czyli najniższej temperatury, przy której wentylatory zaczynają działać. Do sprawdzenia tego ustawienia można użyć punktu testowego TP1. Napięcie na pinie 9 układu IC1 jest konwertowane na 10-bitową wartość cyfrową, a następnie na wartość temperatury w °C.

VR2 ustawia zakres temperatur, w których wentylatory pracują od minimalnego do maksymalnego współczynnika wypełnienia.

Na przykład, jeśli jest ustawiony próg 50°C i zakres 10°C (VR2 dostosowany do 2,83 V na TP2), wentylatory zaczną pracować z minimalnym wypełnieniem, gdy temperatura termistora osiągnie 50°C. Współczynnik wypełnienia będzie wzrastał liniowo wraz ze wzrostem temperatury, aż do 60°C i powyżej, gdzie będą pracować z pełną prędkością.

Ponieważ VR2 ustawia zakres temperatury, w przypadku zmiany ustawienia temperatury progowej za pomocą VR1 nie ma potrzeby ponownego regulowania VR2.

VR3 ustawia próg alarmu przekroczenia temperatury i można monitorować to ustawienie na TP3. Za każdym razem, gdy zmierzona temperatura przekroczy to ustawienie, uruchomi się alarm piezoelektryczny i wyłączy przekaźnik (przekaźniki), które dołączają głośnik (głośniki). Odłączenie głośników pozwala wzmacniaczowi ostygnąć, ponieważ nie jest już obciążony.

Gdy alarm się włączy, wentylatory są ustawiane na maksymalną prędkość (jeśli jeszcze nie są). Pozwala to na schłodzenie wzmacniacza. Normalna praca nie zostanie wznowiona, dopóki temperatura nie spadnie o 4°C od temperatury progowej.

Wykaz elementów

wentylatorowy układ zabezpieczenia głośnika
1 dwustronna płytka PCB (kod 01102221), 95 mm × 74 mm
1...3 4-pinowe wentylatory PWM spełniające wymagania dotyczące rozpraszania ciepła przez radiator*
1...2 termistory NTC, 10 kΩ przy 25°C, β 3970 (TH1, TH2) [Altronics R4112] LUB
1...2 termistory NTC z oddzielnymi zaciskami zabezpieczającymi (TH1, TH2) [Jaycar RN3440].
1...2 wysokoprądowe przekaźniki 12 V SPDT lub DPDT (patrz tekst)
1 przetwornik piezoelektryczny (PIEZO1) [Jaycar AB3442, Altronics S6109].
3 4-pinowe spolaryzowane złącza wentylatorów PWM o rozstawie 2,54 mm (CON1...CON3) [SC6071, Digi-Key WM4330-ND, Mouser 538-47053-1000] LUB
3 4-pinowe spolaryzowane złącza, raster 2,54 mm, (CON1...CON3, patrz tekst) [Jaycar HM3414, Altronics P5494]
4 3-pinowe zaciski śrubowe, raster 5,08 mm (CON4)
2 2-pinowe zaciski śrubowe, raster 5,08 mm (CON5)
4 podkładki dystansowe M3 o długości 6 mm
5 śrub z łbem walcowym M3 × 6 mm
1 nakrętka sześciokątna M3
4 kołki PCB (opcjonalnie)
1 20-pinowa podstawka DIL IC (opcjonalne dla IC1)
* W prototypie zostały użyte wentylatory PWM EZDIY 120 mm zakupione w Amazon (B07X25CJT5). Są one niedrogie (23 USD za trzy sztuki) i ciche, choć nie należą do najmocniejszych, jakie były testowane. Można wypróbować wentylatory Corsair „maglev", Noctua lub BeQuiet 4-pinowe PWM do zastosowań wymagających większego przepływu powietrza. Wentylatory umożliwiające realizację projektu powinny być dostępne we wszystkich sklepach komputerowych.

Półprzewodniki
1 PIC16F1459-I/P zaprogramowany programem 0110222A.HEX, DIP-20 (IC1)
1 7805 stabilizator liniowy 5 V 1 A, TO-220 (REG1)
1 BC337 tranzystor NPN 500 mA, TO-92 (Q1)
4 czerwone diody LED 3 mm o wysokiej jasności (LED1...LED4)
3 diody schottky'ego 1N5819 40 V 1 A (D1...D3)
3 diody 1N4004 400 V 1 A (D4...D6)
2 diody Zenera 15 V 1 W (ZD1, ZD2)
1 dioda Zenera 4,7 V 1 W (ZD3)

Kondensatory
2 100 µF 16 V PC elektrolityczny
2 10 µF 16 V PC elektrolityczny
1 2,2 µF 16 V PC elektrolityczny
6 100 nF poliester MKT

Rezystory (wszystkie 1% 0,5 W osiowe metalizowane)
6 47 kΩ 5 10 kΩ
3 2,2 kΩ 3 1 kΩ
1 470 Ω 1 220 Ω
3 10 Ω
3 10 kΩ wieloobrotowe potencjometry montażowe ze śrubką od góry (VR1...VR3)

Połączenia wzmacniacza

Sterownik monitoruje stronę AC zasilania wzmacniacza, a także napięcie offsetowe wyjścia wzmacniacza. Są one podłączone do CON4. Napięcie zasilania AC trafia do wejścia analogowego AN4 układu scalonego IC1 na nóżce 16, natomiast wyjścia wzmacniacza trafiają do AN5 (nóżka 15) i AN6 (nóżka 14).

Wykrywanie prądu przemiennego odbywa się poprzez prostowanie półokresowe napięcia z uzwojenia wtórnego transformatora. Dioda D5 prostuje prąd zmienny, a wynikowe napięcie jest podawane przez filtr dolnoprzepustowy składający się z rezystora 47 kΩ i kondensatora 2,2 µF.

eprasa.pl 261515f3ed

Bez napięcia AC, wejście analogowe AN4 na nóżce 16 układu IC1 jest utrzymywane na poziomie 0 V poprzez rezystor 47 kΩ ściągający potencjał do masy. Po przyłożeniu napięcia co najmniej 9 V AC, napięcie na pinie 16 przekroczy 2,5 V. Napięcie to jest ograniczone do 4,7 V przez diodę Zenera ZD3.

Stała czasowa filtra została dobrana tak, aby zapewnić usunięcie wystarczającej ilości tętnień napięcia z wyprostowanego prądu przemiennego przy jednoczesnym zminimalizowaniu okresu wykrywania utraty prądu przemiennego.

Wyjścia wzmacniacza są monitorowane przez pary rezystorów 47 kΩ, które ograniczają prąd doprowadzany do układu. Działają one również w celu przesunięcia poziomu sygnałów wyjściowych ze wzmacniacza do średniego poziomu DC 2,5 V. Dwa kondensatory 10 μF, w połączeniu z tymi rezystorami, odfiltrowują sygnał AC ze wzmacniacza, pozostawiając jedynie poziom DC.

Próg wykrywania przepięcia na wyjściu głośnika został ustawiony na 2 V po obu stronach 0 V. Ponieważ pary rezystorów 47 kΩ dzielą poziom sygnału przez dwa i dodają 2,5 V, normalny zakres napięć na nóżkach 14 i 15 układu IC1 wynosi od 1,5 V do 3,5 V. Wszystko poza tym zakresem wskazuje na błąd offsetu DC we wzmacniaczu.

Należy pamiętać, że kondensatory 10 μF są naprawdę skuteczne w usuwaniu prądu przemiennego tylko dla częstotliwości sygnału powyżej około 100 Hz. Poniżej tej częstotliwości, coraz większa część napięcia AC będzie obecna na wejściach mikrokontrolera. Poziom napięcia AC zależy również od poziomu wyjściowego wzmacniacza, więc przy niskich częstotliwościach bliskich 20 Hz może przekroczyć próg wykrywania offsetu, szczególnie w przypadku wzmacniacza o dużej mocy.

Jest to pokazane na **oscylogramie 2**. Górny żółty przebieg to sygnał wyjściowy ze wzmacniacza 500 W przy częstotliwości 20 Hz, z napięciem RMS około 49,1 V i napięciem międzyszczytowym 142 V. Dolny niebieski przebieg występuje na wejściu AN5 układu IC1. Międzyszczytowe napięcie przemienne wynosi 2,36 V, a napięcie stałe w połowie zasilania wynosi 2,56 V.

Linie poziome reprezentują progi 1,5 V i 3,5 V. Pokazuje to, że przy niskich częstotliwościach i wysokich poziomach wyjściowych wzmacniacza przebieg może w szczytowych punktach przekraczać limity progu przesunięcia.

Każdy standardowy obwód detektora offsetu wykorzystujący tranzystory do wykrywania offsetu wyłączy przekaźnik za każdym razem, gdy sygnał AC przekroczy limity. Aby to obejść, należałoby zwiększyć filtrowanie poprzez zastosowanie kondensatora większego niż 10 μF. Jednak zwiększenie kondensatora filtra zwiększy również opóźnienie od początkowego wykrycia offsetu ze wzmacniacza do wyłączenia przekaźnika. Nie jest to idealne rozwiązanie, ponieważ jeśli wystąpi usterka, głośniki muszą zostać odłączone przez przekaźnik tak szybko, jak to możliwe.

Zamiast tego używamy logiki programowej do określenia, czy występuje offset DC, czy tylko wysokie napięcie AC. Przebieg jest próbkowany około 1000 razy na sekundę, a po przekroczeniu napięcia offsetu uruchamiany jest licznik 75 ms. Jeśli wykryte napięcie offsetu spadnie do progu napięcia offsetu, oznacza to, że nie ma offsetu DC, więc przekaźnik nie jest wyłączany.

Prawdziwy offset DC będzie nadal wykrywany jako przekroczenie progu offsetu. Jeśli offset DC jest nadal widoczny pod koniec okresu, spowoduje to wyłączenie przekaźnika i włączenie alarmu.

Diody Zenera ZD1 i ZD2 ograniczają napięcia na kondensatorach o napięciu 16 V. Przekroczenie napięcia może się zdarzyć, jeśli układ jest podłączony do wzmacniacza, gdy IC1 nie jest włożony do podstawki. Gdy IC1 jest w układzie, wewnętrzne diody zabezpieczające ograniczają napięcie na wejściu do 0,3 V powyżej 5 V zasilania i 0,3 V poniżej 0 V.

ZD1 i ZD2 zapewniają dodatkową ochronę, ograniczając napięcia na kondensatorach do maksymalnie 15 V i −0,6 V. Rezystory szeregowe 2,2 kΩ dodatkowo ograniczają prąd do diod zabezpieczających w układzie IC1.

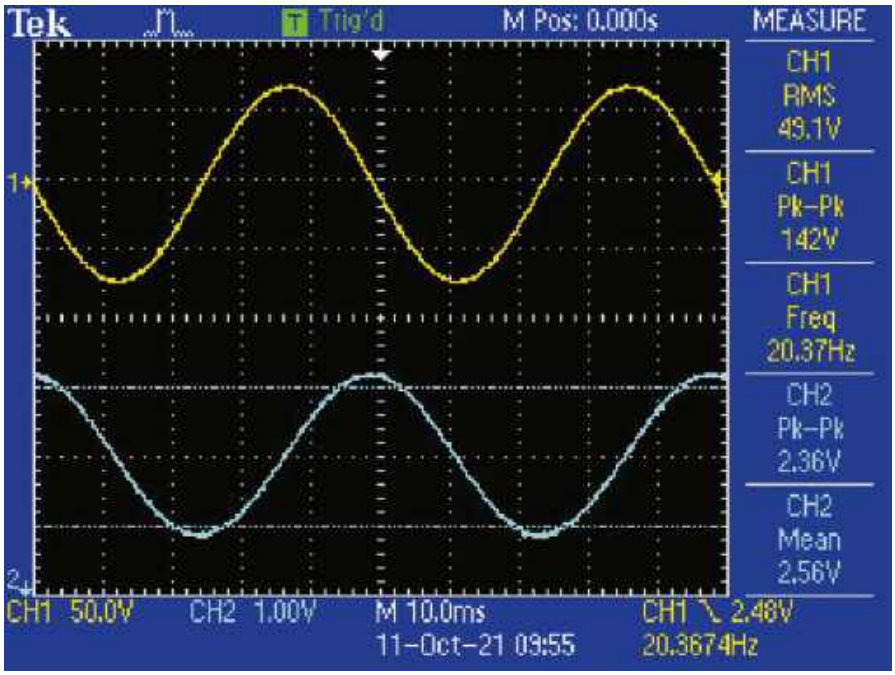
Ze względu na prąd upływu użyte zostały diody Zenera 15 V zamiast 4,7 V, mimo że zasilanie wynosi 5 V. Dioda Zenera 15 V przy napięciu do 5 V będzie przewodzić tylko około 0,05 μA w porównaniu do 100 μA lub więcej dla diody Zenera 4,7 V przy napięciu tylko 1 V. Prąd upływu drastycznie wpłynąłby na napięcie połowy zasilania ustawione przez pary rezystorów 47 kΩ, które powodują przepływ prądu tylko 53 μA w warunkach spoczynku.

Warto pamiętać, że jeśli jedno z tych dwóch wejść nie jest podłączone do wzmacniacza (np. wzmacniacz ma jeden kanał), wejście to musi być połączone do 0 V, w przeciwnym razie zostanie wykryte jako offset DC.

Alarm piezoelektryczny

Zewnętrzny przetwornik piezoelektryczny alarmu jest sterowany przez wyjście RB6 układu IC1 (nóżka 11) za pośrednictwem rezystora 220 Ω. Rezystor ten jest częścią filtra dolnoprzepustowego, aby wygładzić dźwięk i dostosować głośność do akceptowalnego poziomu.

Filtr wykorzystuje pojemność przetwornika do odfiltrowania niektórych harmonicznych z przebiegu prostokątnego. Częstotliwość sterowania wynosi około 3,9 kHz i jest generowana w seriach 264 ms co dwie sekundy zarówno dla alarmów przekroczenia temperatury,



Oscylogram 2. Żółty przebieg przedstawia wysoki poziom sygnału 20 Hz ze wzmacniacza 500 W, a cyjanowy poniżej to sygnał na pinie 14 IC1. Chociaż jest to skrajny przypadek, pokazuje on, jak sygnał może wyjść poza 2-woltowe okno wykrywania (linie przerywane) nawet bez przekroczenia offsetu DC. Dlatego oprogramowanie zostało zaprojektowane tak, aby wykrywać i ignorować ten przypadek i reagować tylko na prawdziwe błędy offsetu DC

eprasa.pl 261515f3ed

jak i offsetu wzmacniacza. Częstotliwość alarmu błędu wentylatora wynosi 1 Hz.

Przekaźniki

Istnieje możliwość dołączenia dwóch przekaźników, RLY1 i RLY2. Są one sterowane równolegle przez tranzystor Q1. Wysoki poziom z wyjścia RB7 układu IC1 podany na bazę tego tranzystora włącza przekaźnik lub przekaźniki. Dioda D6 zwiera napięcia wsteczne, gdy cewka przekaźnika wyłącza się, zapobiegając w ten sposób uszkodzeniu tranzystora.

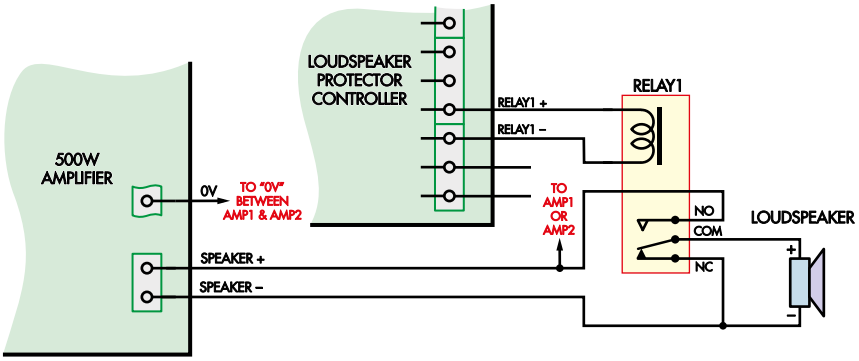
Dodatnie wyjście głośnika wzmacniacza łączy się z normalnie otwartym (NO) stykiem przekaźnika, natomiast zacisk dodatni głośnika łączy się wyprowadzeniem wspólnym (COM) przekaźnika. Normalnie zamknięty (NC) styk przekaźnika łączy się z ujemnym zaciskiem głośnika (zwykle uziemieniem) oraz ujemnym zaciskiem wyjścia głośnikowego wzmacniacza – (**rysunek 2**). Po włączeniu przekaźnika wyjście wzmacniacza jest podłączone do dodatniego zacisku głośnika.

Jeśli wzmacniacz działa prawidłowo, styki odłączą głośnik bez żadnych problemów po wyłączeniu przekaźnika. Nie jest to jednak takie proste, gdy występuje usterka wzmacniacza, a na wyjściu głośnika ze wzmacniacza występuje wysokie dodatnie lub ujemne napięcie DC.

Ze względu na stosunkowo wysokie napięcie DC, próba przerwania połączenia głośnika poprzez otwarcie styków może spowodować powstanie łuku elektrycznego, a prąd będzie nadal płynął przez głośnik. W tym miejscu do gry wkracza styk NC, który zamyka się, aby zewrzeć głośnik, zazwyczaj przerywając łuk elektryczny. Jeśli łuk pozostaje i prąd nadal przepływa przez przekaźnik, przepali się bezpiecznik zasilania DC wzmacniacza.

Sterowanie wentylatorem

Sterowanie wentylatorami wymaga zaawansowanej logiki. Wynika to z faktu, że wiele wentylatorów PWM wymaga osiągnięcia minimalnego wypełnienia sygnału sterującego, aby uzyskać minimalne obroty. Choć specyfikacje tych wentylatorów zazwyczaj podają minimalny wymagany współczynnik wypełnienia na poziomie 20%, w praktyce większość z nich może działać przy niższych wartościach tego parametru. W rzeczywistości, podczas testów prototypu, używane wentylatory obracały się z prędkością 540 obr./min nawet przy wypełnieniu wynoszącym 0%. Być może wiązało się to z obecnością podświetlenia LED w łopatkach wentylatora, które obracając się tworzą efekt świetlnej ściany. Wentylatory pozbawione podświetlenia LED prawdopodobnie zatrzymałyby się przy zerowym wypełnieniu sygnału. Podświetlenie LED nie



Rysunek 2. Instrukcja dołączenia jednego z przekaźników zabezpieczających głośniki. Jeśli są dwa kanały wzmacniacza, można użyć przekaźnika DPDT. W rym przypadku okablowanie jest podobne, ale dla drugiego zestawu styków przekaźnika okablowanie głośnika i wzmacniacza jest duplikowane, i drugi zacisk SPEAKER + jest dołączany do drugiego zacisku AMP1/AMP2. W przypadku dwóch oddzielnych przekaźników SPST należy zrobić to samo, ale trzeba podłączyć drugą cewkę przekaźnika z powrotem do drugiej pary zacisków przekaźnika na płytce kontrolera

było założeniem autorów projektu – było ono domyślnym „ficzerem" tanich, ale też dobrych jakościowo wentylatorów. Wentylator (wentylatory) podłącza się do złączy CON1...CON3, przy czym co najmniej jeden wentylator musi być podłączony, aby układ działał. Można go jednak oszukać za pomocą zwory między zaciskami Control i Sense (piny 3 i 4), aby (układ) „myślał", że wentylator jest podłączony.

Zasilanie każdego wentylatora jest dostarczane z zasilania 12 V poprzez diodę Schottky'ego (D1, D2 lub D3), a ich linie 12 V są filtrowane kondensatorami 100 nF. Diody służą do ochrony przed odwrotną polaryzacją zasilania. Wspólne wyjście PWM z nóżki 5 układu IC1 jest dołączone do wejścia sterującego każdego wentylatora poprzez rezystor 10 Ω.

Rezystory podciągające są uwzględnione dla pinów Sense na każdym wentylatorze, a piny te łączą się z wejściami RA3, RA0 i RA1 w IC1. Dzięki temu może on sprawdzić, czy każdy wentylator działa.

Diody LED sterowane przez wyjścia cyfrowe RC4, RA4 i RA5 układu IC1 za pomocą rezystorów 1 kΩ pokazują, który wentylator jest podłączony i migają, jeśli żaden wentylator nie jest dołączony.

Mikrokontroler określa minimalny cykl pracy dla sygnału PWM, który spowoduje uruchomienie wszystkich podłączonych wentylatorów przy pierwszym uruchomieniu układu. Po znalezieniu minimalnego współczynnika wypełnienia liczba i pozycje dołączonych wentylatorów są przechowywane w pamięci Flash, dzięki czemu kontroler uruchamia się szybciej.

Zapisane ustawienia są używane pod warunkiem, że wentylatory pracują z zapisanym minimalnym wypełnieniem przy każdym włączeniu zasilania. Sprawdzenie minimalnego współczynnika wypełnienia, przy którym wszystkie wentylatory będą działać, jest wykonywane ponownie tylko w przypadku zmiany liczby dołączonych wentylatorów, zmiany pozycji dołączenia wentylatorów lub gdy jeden

eprasa.pl 261515f3ed

z wentylatorów nie działa po zastosowaniu zapisanego minimalnego cyklu pracy.

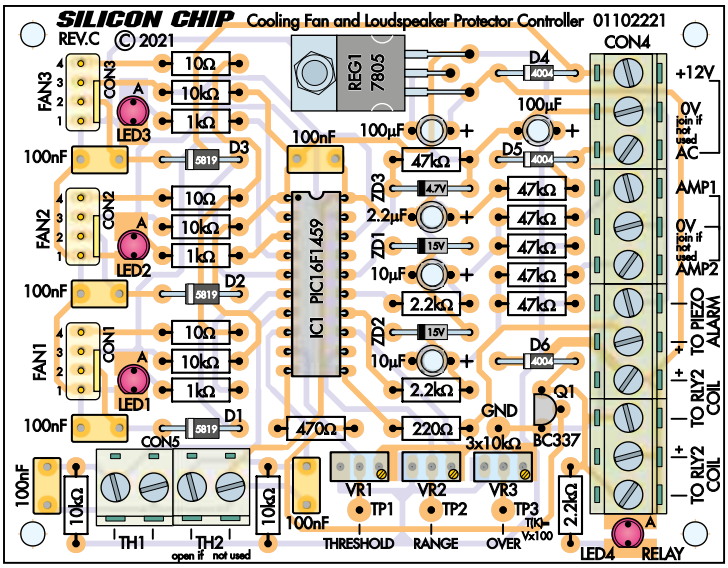
Procedura konfiguracji najpierw stosuje sygnały PWM przy około 80% wypełnieniu do wentylatorów przez 10 sekund, a następnie sprawdza, które wentylatory zarejestrowały się jako obracające się. Na tym etapie wszystkie diody LED wentylatorów będą migać z częstotliwością 1 Hz. Jeśli nie zostaną wykryte żadne wentylatory, błąd zostanie zasygnalizowany miganiem wszystkich diod LED wentylatorów i włączeniem się alarmu piezoelektrycznego. Przekaźniki pozostają wyłączone do momentu podłączenia działającego wentylatora.

Jeśli wentylatory zostaną znalezione, zostaje określone minimalne wypełnienie, które spowoduje obrót wszystkich wentylatorów. Następnie zapalane są diody LED funkcjonalnie powiązane z dołączonymi wentylatorami. Liczba wentylatorów, ich pozycje i minimalny współczynnik wypełnienia są zapisywane w pamięci, co jest sygnalizowane krótkim miganiem wszystkich zapalonych diod LED wentylatorów. Następnie program kontynuuje działanie ze zwykłym sześciosekundowym opóźnieniem przed włączeniem przekaźnika (przekaźników), ale tylko wtedy, gdy wszystkie testy temperatury, offsetu wzmacniacza i zasilania AC zakończą się pomyślnie.

Następnie, gdy obwód zostanie włączony, niemal natychmiast rozpocznie sześciosekundowe opóźnienie, pod warunkiem, że połączenia wentylatora nie uległy zmianie. Dołączony wentylator lub wentylatory są zwykle wykrywane w ciągu jednej sekundy.

Zasilanie

Układ wymaga zasilania napięciem stałym 12 V, które jest doprowadzane do wentylatorów przez diody D1...D3 zabezpieczające przed odwrotną polaryzacją. Zasilanie przechodzi również do 5 V dla IC1 przez stabilizator REG1 za pośrednictwem diody D4, również w celu ochrony przed odwrotną polaryzacją. Zasilanie 5 V działa również jako napięcie odniesienia 5 V dla potencjometrów montażowych.



Rysunek 3. Montaż sterownika jest prosty. Elementy powinny być dopasowane tak, jak pokazano na tym rysunku, poczynając od niższych elementów osiowych i przechodząc do wyższych tranzystorów. Należy zwrócić uwagę na kierunek montażu IC1, diod (w tym LED), potencjometrów montażowych i kondensatorów elektrolitycznych

Budowa

Sterownik można zbudować przy użyciu dwustronnej płytki drukowanej o wymiarach 95 mm × 74 mm oznaczonej kodem 01102221. Szczegóły montażu zostały przedstawione na **rysunku 3**.

Rozpoczynamy od zamontowania rezystorów. W wykazie elementów została umieszczona tabela kodów kolorów rezystorów, ale przed ich montażem należy również sprawdzić każdą sztukę za pomocą multimetru, ponieważ kolorowe paski mogą być czasami mylące.

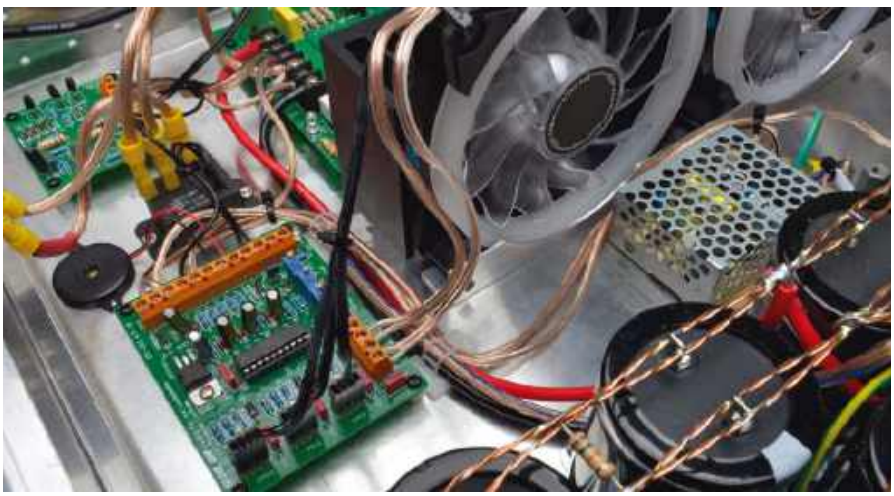
Po wlutowaniu rezystorów należy zamontować diody, zwracając uwagę na ich kierunek montażu pokazany na rysunku 3. Diody D1, D2 i D3 to diody Schottky'ego typu 1N5819, natomiast diody D4, D5 i D6 to standardowe diody 1N4004. Diody Zenera ZD1...ZD2 są typu 15 V, 1 W, natomiast ZD3 jest typu 4,7 V, 1 W.

Można teraz zamontować opcjonalną podstawkę dla IC1. Przed lutowaniem warto zadbać o to, by była ona prawidłowo skierowana. Następnie montujemy kondensatory, uważając na kondensatory elektrolityczne wymagające zachowania odpowiedniej polaryzacji, które muszą być umieszczone dłuższymi wyprowadzeniami w kierunku symboli +.

Następne w kolejności są potencjometry montażowe. Wszystkie są wieloobrotowe i powinny być ustawione tak, aby śruba regulacyjna była ustawiona zgodnie z rysunkiem. Następnie montujemy tranzystor Q1.

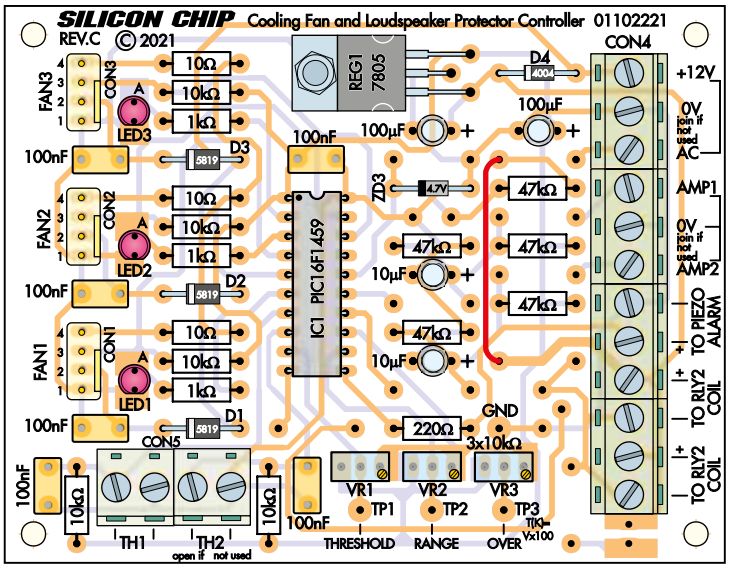
Cztery 3-pinowe złącza śrubowe tworzące CON4 przed ich włożeniem do płytki należy najpierw wzajemnie ze sobą połączyć. Do tego celu służą wypustki i zagłębienia w obudowie każdego z tych złączy. Przed lutowaniem należy zadbać o to, by strona wprowadzania przewodów była skierowana w stronę najbliższej krawędzi płytki drukowanej. Podobnie, dwa 2-pinowe złącza śrubowe dla CON5 muszą być połączone i zamontowane z wejściem przewodu od strony krawędzi.

Jeśli do podłączenia wentylatorów używane są standardowe 4-pinowe złącza z kodowaniem (poka-yoke), zamiast sugerowanych złączy Molex, należy zadbać o to, aby można było poprawnie włożyć wtyczki wentylatorów.



Pojedynczy moduł może sterować nawet trzema wentylatorami

eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 4. Jeśli potrzebna jest tylko kontrola prędkości wentylatora, można pominąć niektóre elementy, jak pokazano na rysunku. Aby układ wykrywania prądu przemiennego umożliwiał normalne działanie po dołączeniu zasilania potrzebny jest izolowany czerwony przewód

Może wymagać to przecięcia tylnej zakładki polaryzującej w celu usunięcia sekcji za pinami 3 i 4. Do wycięcia plastiku używamy cążek bocznych.

Podczas montażu CON1...CON3 należy pamiętać o prawidłowym ustawieniu tych złączy, z wypustem kodującym skierowanym w głąb płytki drukowanej.

Teraz można zamontować diody LED, wkładając dłuższe wyprowadzenia do otworów oznaczonych jako anody (A). Montujemy je w taki sposób, aby ich wierzchołki znajdowały się mniej więcej na tym samym poziomie, co sąsiednie diody LED1...LED3 i złącze śrubowe dla diody LED4.

Opcjonalnie instalujemy kołki/piny PCB w punktach testowych TP1...TP3 i TP GND lub po prostu zostawiamy je i używamy sond multimetru bezpośrednio do padów PCB. W prototypie były użyte piny PCB w punkcie testowym GND, ale nie używano ich dla punktów TP1...TP3 (Red: Trudno jest uzasadnić lutowanie czegokolwiek w miejscach traktowanych jako punkty testowe. Pomiar dokonywany jest zazwyczaj poprzez przyłożenie sondy pomiarowej lub igły testowej do powierzchni punktu testowego w postaci padu na płytce PCB. Sam otwór w punkcie testowym jest również sprawą mocno dyskusyjną a w projektach przeznaczonych do produkcji seryjnej zazwyczaj bardzo kłopotliwą).

Stabilizator REG1 jest montowany na płytce poziomo. Najpierw należy wygiąć jego wyprowadzenia, aby przeszły przez otwory THT, a następnie przymocować radiator komponentu do płytki drukowanej za pomocą śruby M3 × 6 mm i nakrętki, po czym można przylutować wyprowadzenia.

Przed zainstalowaniem układu IC1 należy sprawdzić napięcie wyjściowe stabilizatora, przykładając napięcie 12 V do zacisków +12 V i 0 V złącza CON4. Sprawdzamy, czy napięcie między radiatorem stabilizatora a prawym pinem wyjściowym jest bliskie 5 V. Zazwyczaj napięcie tych stabilizatorów mieści się w zakresie 100 mV od 5 V. Jeśli napięcie jest nieprawidłowe, należy sprawdzić, czy napięcie wejściowe na lewym wyprowadzeniu REG1 wynosi co najmniej 6 V.

Jeśli układ PIC został zakupiony w sklepie internetowym Silikon Chip, będzie on zaprogramowany. W przeciwnym razie, jeśli dysponujemy niezaprogramowanym mikrokontrolerem PIC, należy pobrać plik HEX (0110222A.HEX) ze strony internetowej Silikon Chip i załadować go do układu za pomocą programatora PIC. Teraz wyłączamy zasilanie i montujemy lub podłączamy układ IC1, pamiętając o właściwym kierunku montażu.

Konfiguracja

Po dołączeniu zasilania należy potencjometrami VR1, VR2 i VR3 wyregulować założone ustawienia temperatury, jednocześnie monitorując odpowiednio napięcia w punktach TP1, TP2 i TP3. Zalecane jest rozpoczęcie regulacji od potencjometru VR1. W punkcie TP1 powinniśmy uzyskać napięcie 3,03 V. Odpowiada to temperaturze początkowej wentylatora 30°C (303 K). Następnie ustawiamy VR2 (zakres) na 2,83 V w punkcie TP2, zapewniając zakres zmiany obrotów na 10°C. W ten sposób wentylatory osiągną pełną prędkość w temperaturze 40°C.

Początkowo można ustawić graniczną temperaturę dla VR3 na 50°C. To 323 K, więc w punkcie TP3 ustawiamy potencjometrem VR3 napięcie na 3,23 V.

Ustawienia te mogą wymagać dostosowania pozwalającego zoptymalizować sposób, w jaki prędkość wentylatora zmienia się w zależności od temperatury. Weźmy pod uwagę, że jeśli w upalny dzień urządzenie nie znajduje się w klimatyzowanym pomieszczeniu przy temperaturze początkowej 30°C, wentylatory zaczną działać natychmiast po jego włączeniu. W upalny dzień, gdy temperatura osiągnie 40°C, wentylatory będą pracować z pełną prędkością przez cały czas (co może być konieczne!).

Zależy to od chłodzonego tranzystora i jego wrażliwości na temperaturę. Warto pamiętać, że ponieważ jest to tranzystor zewnętrzny, termistor będzie mierzył niższą temperaturę niż ta, która panuje w samym złączu półprzewodnika, która generuje ciepło.

Temperaturę progową włączenia można znacznie podnieść, jeśli tranzystor jest wystarczająco efektywnie chłodzony przez konwekcję, gdy nie działa z maksymalną mocą. Wentylatory mogłyby wtedy działać tylko przy wyższych obciążeniach i temperaturach.

Podczas ustawiania zakresu nie jest zalecane schodzenie poniżej 10°C, ponieważ wentylatory

REKLAMA

eprasa.pl 261515f3ed

będą działać w trybie załącz/wyłącz, bez zauważalnej regulacji obrotów, szczególnie przy ustawieniu zakresu poniżej 2°C.

Jeśli temperatura nie może być kontrolowana przy użyciu tych ustawień lub jeśli wentylatory pracują z pełną prędkością przez większość czasu, może być potrzebna większa liczba wentylatorów (maksymalnie trzy dla tego sterownika), większe wentylatory lub wentylatory pracujące z większą prędkością przy 100% wypełnieniu. Warto pamiętać, że istnieją wentylatory zoptymalizowane pod kątem przepływu i wentylatory zoptymalizowane pod kątem ciśnienia (o różnych kształtach łopatek).

Dokładność

Dokładność ustawienia temperatury zależy od tego, czy linia zasilająca 5 V jest bliska 5,00 V. Jeśli różnica wynosi tylko kilkadziesiąt miliwoltów, nie będzie to miało zbyt dużego wpływu na dokładność ustawień. Jeśli potrzebna jest precyzja ustawień temperatury, można pomnożyć wymagane napięcie temperatury (tj. wartość 10 mV/K) przez rzeczywiste napięcie zasilania, a następnie podzielić przez 5. Następnie trzeba wyregulować obliczone napięcie potencjometrem montażowym.

Na przykład, jeśli napięcie zasilania wynosi 4,95 V, należy pomnożyć wymagany sygnał napięciowy czujnika temperatury przez 4,95 i podzielić przez 5 (lub pomnożyć przez 0,99 [4,95 ÷ 5]). Jeśli przykładowo próg ma być ustawić na 330 K (57°C), ale napięcie zasilania wynosi 4,95 V to, aby uzyskać dokładne ustawienie, należy ustawić go na 3,267 V (330 × 0,99).

Wybór przekaźnika

Wybór przekaźnika zależy od mocy wzmacniacza i tego, czy układ jest używany ze wzmacniaczem monofonicznym czy stereofonicznym. We wszystkich przypadkach przekaźnik musi być typu DT (Double Throw), czyli zapewniać funkcję przełączania.

W przypadku wzmacniaczy stereo o mocy do 200 W można użyć przekaźnika Altronics S4310 12 V z cewką i stykami 10 A DPDT z podstawą S4318A lub przekaźnika Jaycar SY4065 12 V z cewką i stykami 10 A DPDT z podstawą SY4064.

W przypadku wzmacniacza monofonicznego o mocy do 200 W można nadal używać przekaźnika DPDT z dwoma stykami przełączającymi połączonymi równolegle lub użyć tylko jednego styku przełączającego. W przypadku wzmacniaczy o większej mocy, do około 600 W, można użyć przekaźnika Altronics S4211 12 V 30 A SPDT dla wzmacniacza mono lub dwóch z nich dla wzmacniacza stereo (można również użyć Altronics S4335A).

Wybór zasilacza

Jeśli zasilacz wzmacniacza ma już linię zasilającą napięcia stałego 12 V, można rozważyć zasilanie z niej płytki tego sterownika. Należy przetestować, jaki prąd jest pobierany przy maksymalnej prędkości wentylatora (wentylatorów) i sprawdzić, czy zasilacz wzmacniacza może bezpiecznie taki prąd dostarczyć.

Dobrą alternatywą jest użycie oddzielnego zasilacza impulsowego, takiego jak Jaycar MP3296 (lub Altronics M8728), o napięciu znamionowym 12 V i natężeniu 1,3 A (pokazany powyżej). Jest on zasilany z sieci i powinien być włączany i wyłączany za pomocą tego samego przełącznika zasilania, co sam wzmacniacz. Należy trzymać go z dala od wrażliwej elektroniki analogowej, takiej jak stopnie wejściowe wzmacniacza i przedwzmacniacze, ponieważ może on emitować pewne zakłócenia elektromagnetyczne (chociaż nie powinno to być zbyt odczuwalne, ponieważ jest ekranowany).

Wybór wentylatorów

Dostępnych jest wiele wentylatorów PWM ze złączem 4-pinowym (zaprojektowanych głównie do chłodzenia komputerów), a z naszym sterownikiem można użyć do trzech, a nawet mieszać różne typy, jeśli jest to pożądane. Zazwyczaj wentylatory o większej średnicy generują większy przepływ powietrza przy mniejszym hałasie, podobnie jak wiele wentylatorów poradzi sobie z tym zadaniem lepiej niż pojedynczy wentylator pracujący na szybkich obrotach. Kilka sugestii można znaleźć w wykazie elementów. Wentylatory te są często dostępne w wielopakach w całkiem rozsądnych cenach.

Najpopularniejszym rozmiarem wentylatorów PWM jest 120 mm × 120 mm, chociaż są one również dostępne w mniejszych rozmiarach, takich jak 80 mm × 80 mm lub 92 mm × 92 mm, a także w większych rozmiarach, takich jak 140 mm × 140 mm.

Jeśli chłodzony tranzystor wymaga silnego chłodzenia, należy użyć największych wentylatorów, które zmieszczą się w jego obudowie i sprawdzić ich specyfikację dotyczącą ruchu powietrza w litrach na minutę (l/min). Upewniamy się, że w obudowie znajdują się otwory wentylacyjne, aby ruch powietrza nie był ograniczony przez żebra radiatora.

Należy pamiętać, że jeśli nie jest używana żadna sekcja sterowania wentylatorem, styki 3 i 4 CON1, CON2 lub CON3 muszą być zmostkowane za pomocą zworek. Wymagana jest tylko jedna taka zwora.

Zakończenie

Płytkę sterownika montujemy w odpowiednim miejscu w obudowie wzmacniacza za pomocą gwintowanych elementów dystansowych i śrub (aby zachować kompaktowość, w prototypie były użyte 6 mm elementy dystansowe, ale można użyć innych długości). Podłączamy zasilanie, w tym linię wykrywania prądu przemiennego z uzwojenia wtórnego transformatora, lub zwieramy wejście prądu przemiennego do +12 V, jeśli funkcja ta nie jest używana.

Następnie podłączamy termistor(y) do CON5 (nie są spolaryzowane, więc można je dołączyć w dowolny sposób), a przekaźnik (przekaźniki), przetwornik piezoelektryczny i wyjścia wzmacniacza (jeśli są) do CON4. Dołączamy wentylatory, włączamy zasilanie płytki i sprawdzamy, czy układ zachowuje się zgodnie z oczekiwaniami. Można podgrzać termistor na przykład za pomocą stacji hot-air i sprawdzić, czy wentylatory uruchamiają się, wzrasta ich prędkość obrotowa, a następnie zwalniają i zatrzymują się po pewnym czasie od momentu ustania oddziaływania czynnika grzejącego. ■

John Clarke

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

REKLAMA

numery archiwalne • prenumerata • książki
www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl 261515f3ed

Modyfikacja fabrycznego odbiornika radiowego ELTRA 820U JOWITA

Artykuł zawiera opis techniczny prostej modyfikacji fabrycznego odbiornika radiowego ELTRA 820U JOWITA. Czytelnicy mający dostęp do drukarki 3D mogą w prosty sposób zwiększyć funkcjonalność tego urządzenia a także poprawić komfort jego użytkowania. Rozwiązanie to można polecić szczególnie czytelnikom pragnącym używać tego odbiornika w kuchni.

1. Wygląd zewnętrzny fabrycznego odbiornika radiowego ELTRA 820U JOWITA
Źródło: https://eltra.pl

Kilka lat temu kupiłem odbiornik radiowy ELTRA 820U JOWITA. Odbiornik jest bardzo ładny i ma przyjemną barwę dźwięku.

Niestety produkt ten został zmontowany z elementów produkcji chińskiej i o ile projekt układu elektronicznego został dość dokładnie przemyślany, o tyle w projekcie mechanicznym i w montażu jest kilka niedociągnięć. Przede wszystkim obwody drukowane zostały zmontowane przy użyciu spoiwa bezołowiowego, w wyniku czego już po kilku użyciach wyłamują się z padów: gniazdo USB oraz gniazdo karty SD. Można to jednak poprawić zdejmując tylną atrapę, odkręcając górną płytkę odpowiedzialną za odtwarzanie plików MP3 i przelutowując wszystkie nóżki tych złącz oraz włączników chwilowych spoiwem ołowiowym. Warto także na głównym obwodzie drukowanym wymienić kondensatory elektrolityczne, ponieważ oryginalne są dość niskiej jakości. Należy jednak lutować je bardzo ostrożnie ze względu na delikatny druk, z którego łatwo odklejają się ścieżki. Po pewnym czasie śniedzieją także styki przełącznika rodzaju pracy, który trzeba rozebrać i wyczyścić preparatem „Kontakt".

Opis modyfikacji

Pozostaje jeszcze kwestia obsługi. Producent najwyraźniej nie przewidział tego, że odbiornik będzie użytkowany w kuchni. Pomijam fakt bardzo niskiej jakości sitodruku. Napisy sukcesywnie się wycierają i po pierwszym czyszczeniu obudowy da się je praktycznie całkowicie usunąć. Główna wada fabryczna polega na tym, że oryginalne pokrętła mają obły kształt i są gładkie, w wyniku czego pojawia się problem ich obsługi przy pomocy grubych, tłustych lub mokrych palców. Dotyczy to szczególnie pokrętła wyboru rodzaju pracy umożliwiającego wyłączenie urządzenia, włączenie odbioru fal ultrakrótkich, włączenie odbioru fal długich i włączenie odtwarzania plików MP3 z Pendrive'a lub z karty SD. Dodatkowo pokrętła te mają nieprawidłowe wymiary, w wyniku czego są luźne i łatwo wypadają. Chińczycy załatwili tę sprawę podkładając pomiędzy otwory pokręteł a osie potencjometrów i przełącznika cienkie papierki, które miały za zadanie skasować ten luz ale z moich obserwacji wynika, że rozwiązanie to nie spełnia swojej roli.

Pewnym rozwiązaniem może być wykonanie z czarnego tworzywa sztucznego nowych pokręteł z odpowiednim moletowaniem na drukarce 3D. Są trzy rodzaje pokręteł: pokrętło „A" (2 szt.) z kołnierzem, do regulacji głośności i barwy dźwięku, pokrętło „B" (1 szt.) bez kołnierza, do przełączania rodzaju pracy oraz pokrętło „C" (1 szt.) do strojenia odbiornika. Przygotowane pliki do drukarki 3D są do pobrania ze strony https://tiny.pl/d44d8.

Nowe pokrętła mają prostszy kształt po to, aby można je było łatwo wydrukować. Zastosowanie moletowania zwiększa współczynnik tarcia pomiędzy palcami a pokrętłami, co rozwiązuje problem związany z obsługą. Dodatkowo wymiary pokręteł zostały dobrane w taki sposób aby dało się je zamontować na lekki wcisk bez konieczności podkładania dodatkowych papierków.

2. Wygląd zewnętrzny modeli nowych pokręteł wykonanych na drukarce 3D

3. Wygląd zewnętrzny ścianki frontowej odbiornika radiowego ELTRA 820U JOWITA po zamontowaniu nowych pokręteł

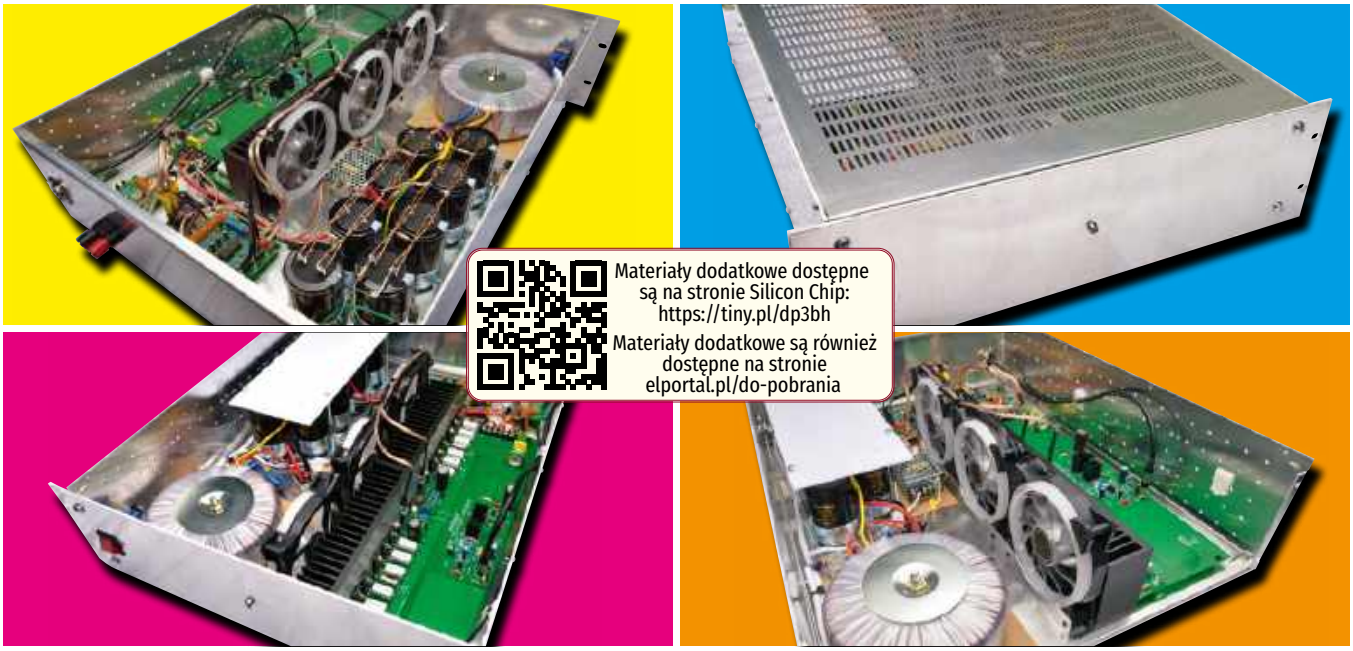
Książka o układach elektronicznych do subwooferów aktywnych

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

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

eprasa.pl 261515f3ed



Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/dp3bh

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

Wzmacniacz mocy 500 W, część 3

Do zakończenia projektu wzmacniacza 500 W pozostał jeszcze opis konfiguracji zasilacza i szczegóły montażu. Dotyczy to wszystkich modułów, elementów obudowy i okablowania. Cykl artykułów zakończy opis sprawdzenia działania oraz wykonania regulacji i kalibracji.

Moduł wzmacniacza 500 W, który był opisany w poprzednich dwóch częściach, nie może działać samodzielnie. Potrzebuje zasilacza i dodatkowych układów zabezpieczających głośnik i zapewniających chłodzenie. Do tych zadań zostały wykorzystane dwa projekty: wskaźnik przesterowania wzmacniacza (opis tego modułu został opublikowany w Silicon Chip z marca 2022 siliconchip.com.au/Article/15240, w EdW ukaże się za miesiąc) oraz sterownik wentylatora chłodzącego i zabezpieczenie głośnika (Silicon Chip z lutego 2022; siliconchip.com.au/Article/15195 oraz bieżący numer EdW).

Ostatnim układem, który należy opisać, jest zasilacz wzmacniacza. Jego schemat pokazano na **rysunku 9.** Jak można się spodziewać w przypadku tego wzmacniacza, w zasilaczu został zastosowany duży transformator o mocy znamionowej 800 VA.

Transformator ma dwa niezależne uzwojenia pierwotne 115 V i dwa niezależne uzwojenia wtórne 55 V. Dwa uzwojenia 115 V są połączone szeregowo, dzięki czemu mogą być zasilane napięciem nominalnym sieci 230 V AC. Podobnie, dwa uzwojenia 55 V są połączone szeregowo z odczepem środkowym, dzięki czemu po wyprostowaniu i przefiltrowaniu otrzymujemy około ±80 V DC.

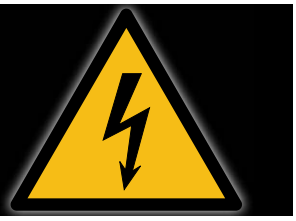
Do filtrowania zasilania DC zastosowano znaczną pojemność, z czterema kondensatorami na napięcie 100 V o pojemności 10000 µF, filtrującymi dodatnie zasilanie i kolejnymi czterema dla napięcia ujemnego. Ma to na celu minimalizację tętnień występujących na linii zasilania DC. Jest to szczególnie istotne dla dużych obciążeń zasilacza, gdy pobierany jest duży prąd.

Po wyłączeniu wzmacniacza kondensatory są rozładowywane przez trzy rezystory 15 kΩ 1 W połączone równolegle między obydwiema liniami zasilającymi a masą. Diody LED są połączone szeregowo z jednym rezystorem po każdej stronie zasilania pełniąc funkcję wskaźników obecności napięcia. Rezystory te zapewniają, że kondensatory nie pozostają naładowane wysokim napięciem zbyt długo po wyłączeniu zasilania. Jest to podyktowane względami bezpieczeństwa, ponieważ łączne napięcie około 160 V DC stanowi ryzyko porażenia prądem. Dodatkowo, przed przypadkowym kontaktem z okablowaniem wysokiego napięcia i zaciskami kondensatorów zapobiega plastikowa osłona nad kondensatorami (usunięta na niektórych zdjęciach dla przejrzystości).

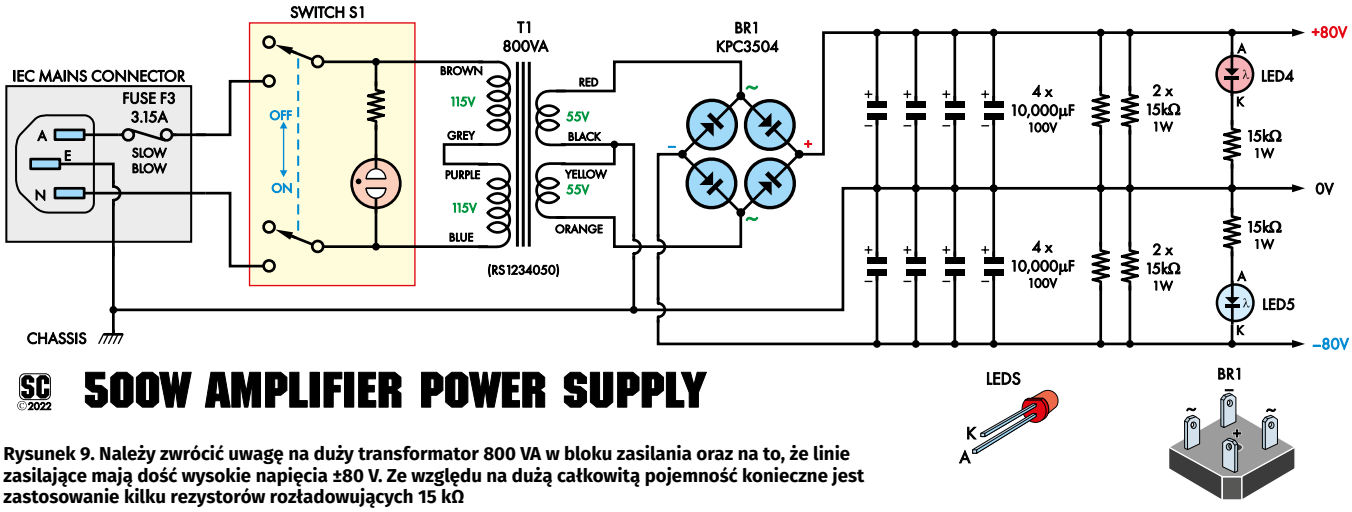
Użyto mostek prostowniczy na prąd znamionowy 35 A i napięcie 400 V. Taka wartość wystarczy żeby obsłużyć początkowy prąd rozruchowy, który ładuje kondensatory przy włączaniu zasilania. Szczytowe wartości

Niebezpieczeństwo: Wysokie napięcie

Obecne w baterii kondensatorów i utrzymujące się na szynach zasilania wzmacniacza napięcie stałe o wartości 160 V jest potencjalnie śmiertelne! Po zakończeniu montażu okablowania zasilającego i przed podłączeniem zasilania, należy zabezpieczyć się przed przypadkowym kontaktem z tym napięciem montując przezroczystą płytę Perspex nad baterią kondensatorów! Należy pamiętać, że rozładowanie kondensatorów po wyłączeniu zasilania zajmuje trochę czasu.



eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 9. Należy zwrócić uwagę na duży transformator 800 VA w bloku zasilania oraz na to, że linie zasilające mają dość wysokie napięcia ±80 V. Ze względu na dużą całkowitą pojemność konieczne jest zastosowanie kilku rezystorów rozładowujących 15 kΩ

prądu ładowania pojawiają co 10 milisekund, czyli co połowę okresu napięcia sieciowego.

We wzmacniaczu został zastosowany transformator toroidalny, a do zabezpieczenia jego uzwojeń wymagany jest bezpiecznik zwłoczny. Wynika to z faktu, że prąd rozruchowy po włączeniu zasilania może być bardzo wysoki. W przypadku tego transformatora zalecany jest bezpiecznik 3,15 A M205. Jest on zamontowany w obudowie złącza zasilania IEC zawierającego gniazdo bezpiecznika. Dostęp do niego nie jest jednak możliwy, dopóki przewód zasilający IEC nie zostanie odłączony.

Zasilacz jest zamontowany i okablowany w obudowie rack 3U, w której znajduje się moduł wzmacniacza, wentylatory radiatora, detektor przesterowania wzmacniacza, zabezpieczenie głośników i sterownik prędkości wentylatora oraz inne niezbędne komponenty.

Rozplanowanie obudowy

Wewnętrzny układ wzmacniacza oraz pracujących w nim elementów i modułów pokazano na **rysunku 10**. Wzmacniacz jest umieszczony w obudowie typu rack 3U z solidną podstawą i perforowaną górną pokrywą. Taki układ umożliwia zamontowanie radiatora wzmacniacza wewnątrz obudowy z trzema wentylatorami chłodzącymi, które zasysają powietrze z jednej strony pokrywy i przepuszczają je przez żebra radiatora. Wymusza to przepływ powietrza w górę, pozwalający usunąć ciepło z radiatora.

Wentylatory są wyższe niż radiator, więc powietrze przedostające się przez żeberka jest wydmuchiwane na boki, a następnie wydostaje się przez perforowaną pokrywę po drugiej stronie.

W obudowie należy wykonać sporo otworów, potrzebnych do montażu wszystkich elementów: przełącznika zasilania, gniazd XLR i IEC, zacisków głośnikowych i diody LED wskaźnika przesterowania. Lokalizacje tych elementów pokazano na rysunku 10, a zbliżenia na **rysunkach 11...13**.

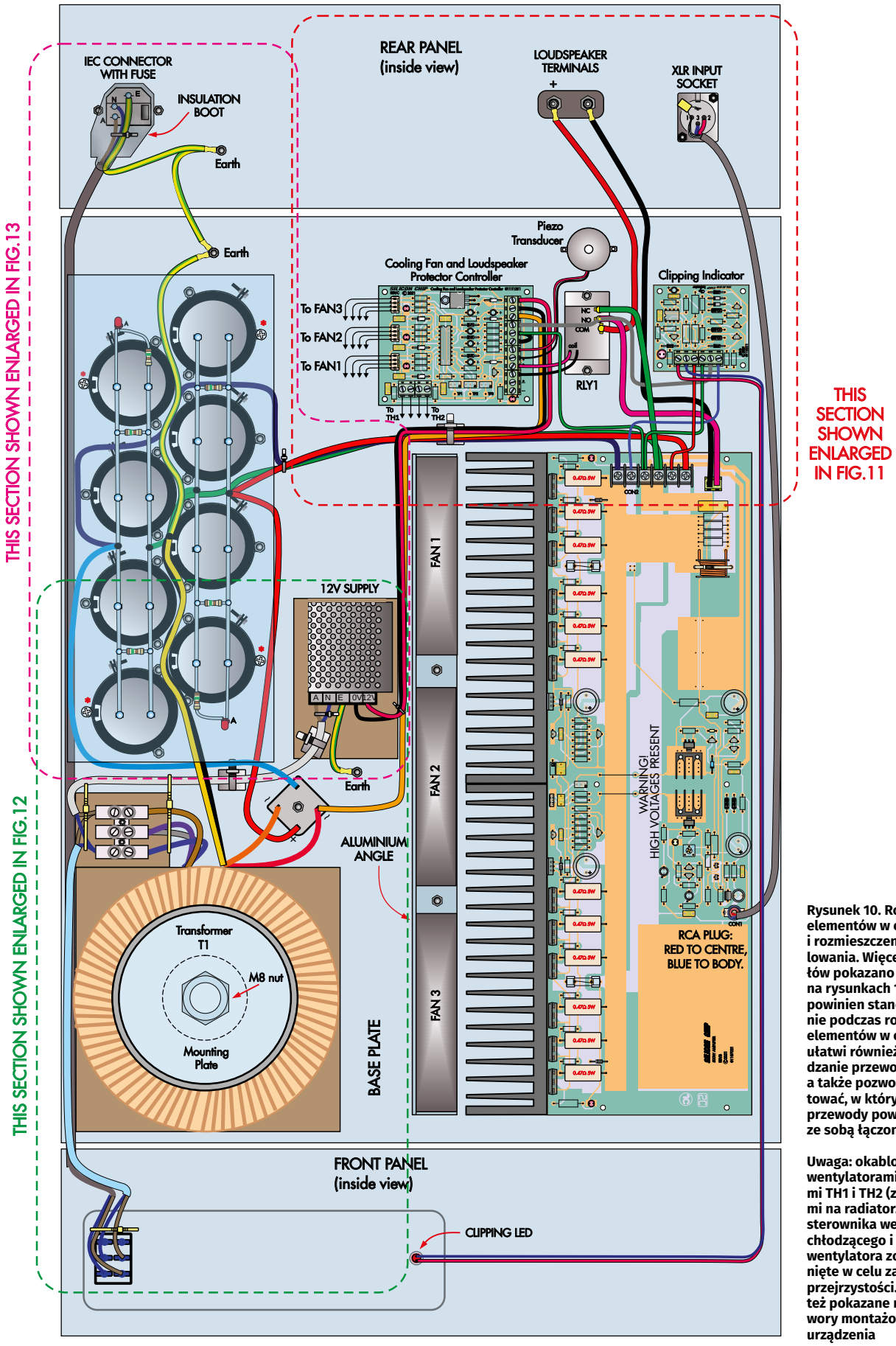
Zaczynamy od panelu przedniego i tylnego. Niektóre z wymaganych wycięć nie są okrągłe. Można je wyciąć, wiercąc serię małych otworów po wewnętrznej stronie wymaganego obwodu, wybijając kawałek metalu i nadając mu właściwy kształt.

Należy pamiętać, że można zrezygnować z gniazda wejściowego XLR i po prostu użyć izolowanego, montowanego na panelu pojedynczego gniazda RCA. Zależy to od zamierzonego zastosowania. XLR lepiej nadaje się do użytku profesjonalnego, podczas gdy RCA może być bardziej uniwersalne w dla zastosowań domowych. W przypadku korzystania z gniazda RCA, do wewnętrznego połączenia z wejściem modułu wzmacniacza wystarczy jednożyłowy kabel ekranowany.

W specyfikacji zostało umieszczone izolowane gniazdo RCA, ponieważ połączenia muszą być odizolowane od obudowy. W przeciwnym razie powstanie pętla przydźwięku tworzona przez uziemienie masy sygnału do obudowy w dwóch miejscach, ponieważ jest ona już uziemiona przez moduł wzmacniacza.

Na zdjęciu po lewej stronie widoczna jest sekcja zasilania wzmacniacza, obok mamy pozostałe elementy, transformator i inne

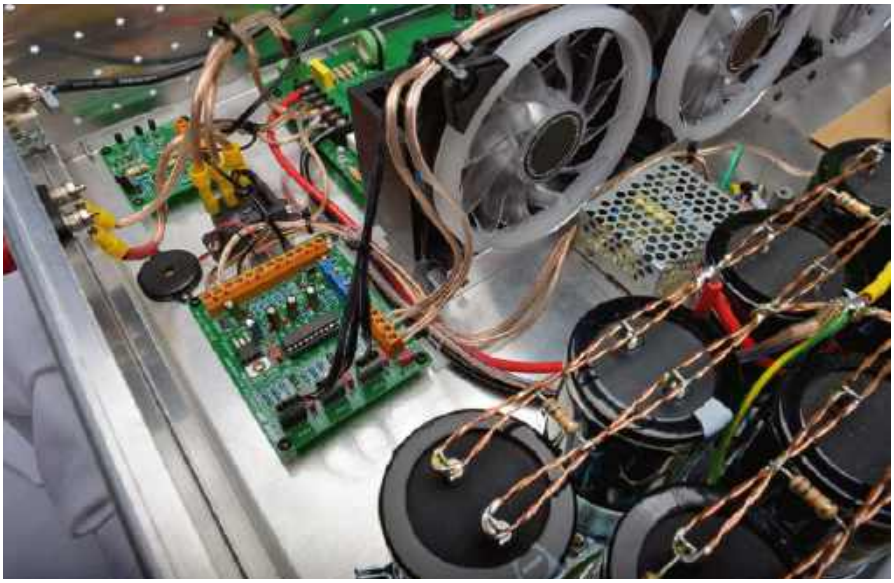
eprasa.pl 261515f3ed

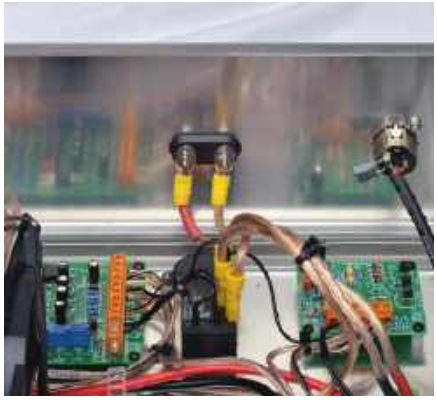


Rysunek 10. Rozkład elementów w obudowie i rozmieszczenie okablowania. Więcej szczegółów pokazano na zbliżeniach na rysunkach 11...13. Rysunek powinien stanowić odniesienie podczas rozmieszczania elementów w obudowie, ułatwi również rozprowadzanie przewodów i kabli, a także pozwoli się zorientować, w których miejscach przewody powinny być ze sobą łączone

Uwaga: okablowanie między wentylatorami a termistorami TH1 i TH2 (zamontowanymi na radiatorze), modułem sterownika wentylatora chłodzącego i okablowaniem wentylatora zostało pominięte w celu zachowania przejrzystości. Nie zostały też pokazane narożne otwory montażowe nóżek urządzenia

eprasa.pl 261515f3ed





Wszystkie moduły są przymocowane do obudowy za pomocą śrub. Okablowanie między tymi modułami jest również przytwierdzone do obudowy. Dobrym pomysłem jest stosowanie dużej liczby opasek kablowych. Dzięki nim okablowanie jest bezpieczne i schludne. Należy zauważyć, że do gniazda wejściowego XLR przylutowano kondensator 560 nF

W przypadku korzystania z gniazda XLR, główne wycięcie można wykonać za pomocą wiertła Speedbor 22 mm (przypis redakcji: wiertła Speedbor to specjalny typ wierteł, zwykle stosowanych do wiercenia w drewnie. Speedbor to wiertła płaskie (tzw. łopatkowe), które mają charakterystyczną płaską końcówkę z ostrzami do efektywnego cięcia materiału), a następnie dodatkowo wygładzić precyzyjnym pilnikiem kształt wywierconego otworu. Teraz w podobny sposób należy wykonać otwory w panelu przednim na przełącznik zasilania i oprawki dla diody LED wskazującej przesterowanie. Można wykonać kopię etykiety panelu przedniego (**rysunek 14**) i użyć jej jako szablonu do pozycjonowania tych dwóch otworów.

Następnie należy przygotować sekcję materiału izolacyjnego pod transformator, 3-stykową listwę zaciskową i zasilacz impulsowy 12 V. Izolacja transformatora zapobiega przebiciu napięcia do uziemionej obudowy w przypadku uszkodzenia izolacji. Pozostałe izolatory zapobiegają kontaktowi przewodu pod napięciem z obudową w przypadku odłączenia go od zacisku.

Wymagane kawałki izolacji wycinamy za pomocą nożyczek lub ostrego noża i linijki z arkusza 208 mm × 225 mm. Wymagane rozmiary to 63 mm × 97 mm dla zasilania 12 V, 57 mm × 45 mm dla zacisków 3-stykowych i 162 mm × 162 mm dla transformatora.

W środku izolatora transformatora potrzebny jest otwór o średnicy 8 mm. Można to zrobić za pomocą przecinaka (uzyskując czysto wycięty otwór) lub wiertła 8 mm, po którym trzeba wyciąć nożem hobbystycznym powstałe nierówne krawędzie.

Otwory o średnicy 3 mm są również potrzebne w innych elementach izolacyjnych do otworów montażowych zacisków 3-stykowych i tych na spodzie zasilacza 12 V. W tym przypadku, do wykonania tych otworów idealnie nadaje się mały przecinak. Zamiast tego można użyć wiertła 3 mm, chociaż uzyskane otwory nie będą miały idealnych krawędzi.

Rozmieszczenie elementów

W tym momencie warto umieścić wszystkie główne elementy w obudowie i upewnić się,

Tabela 1. Zastosowanie śrub i nakrętek

Mocowanie nóżek wzmacniacza	cztery śruby M3 × 10 mm, cztery nakrętki	**Mostek prostowniczy**	jedna śruba M4 × 20 mm, jedna nakrętka sześciokątna M4
Mocowanie płytki drukowanej wzmacniacza	sześć wkrętów M3 × 5 mm, trzy wsporniki nylonowe 9 mm z gwintem M3	**Podłączenie uziemienia**	trzy śruby maszynowe M4 × 15 mm, trzy podkładki sprężyste 4 mm, cztery nakrętki sześciokątne M4, 3 oczka zaciskane o średnicy 5,3 mm
Mocowanie radiatora	cztery śruby M3 × 10 mm	**Montaż transformatora**	Śruba M8 × 75 mm, podkładka M8, nakrętka sześciokątna M8
Mocowanie PCB układu chroniącego głośniki	Osiem wkrętów M3 × 5 mm, cztery wsporniki 9 mm z gwintem M3	**Kątownik aluminiowy**	dwie śruby M4 × 10 mm, dwie nakrętki sześciokątne M4
Mocowanie PCB wskaźnika przesterowania	Osiem wkrętów M3 × 5 mm, cztery wsporniki 9 mm z gwintem M3	**Przekaźnik**	dwie śruby M3 × 10 mm, dwie nakrętki sześciokątne M3
Mocowanie przetwornicy 12 V	dwie śruby M3 × 6 mm	**Złącze IEC**	dwie śruby z łbem stożkowym M3 × 12 mm, dwie nakrętki sześciokątne M3
Montaż kondensatora	20 śrub maszynowych M4 × 10 mm, 32 nakrętki sześciokątne M4, osiem śrub M4 × 50 mm, cztery łączniki z gwintem M4 (do montażu pokrywy ochronnej)	**Złącze XLR**	dwie śruby z łbem stożkowym M3 × 12 mm, dwie nakrętki sześciokątne M3
Mocowanie 3-stykowej kostki łączeniowej	dwie śruby maszynowe M3 × 15 mm, dwie nakrętki sześciokątne M3	**Przetwornik piezoelektryczny**	dwa wkręty samogwintujące nr 4 mm × 6 mm lub dwa wkręty M2 × 6 mm i dwie nakrętki sześciokątne M2

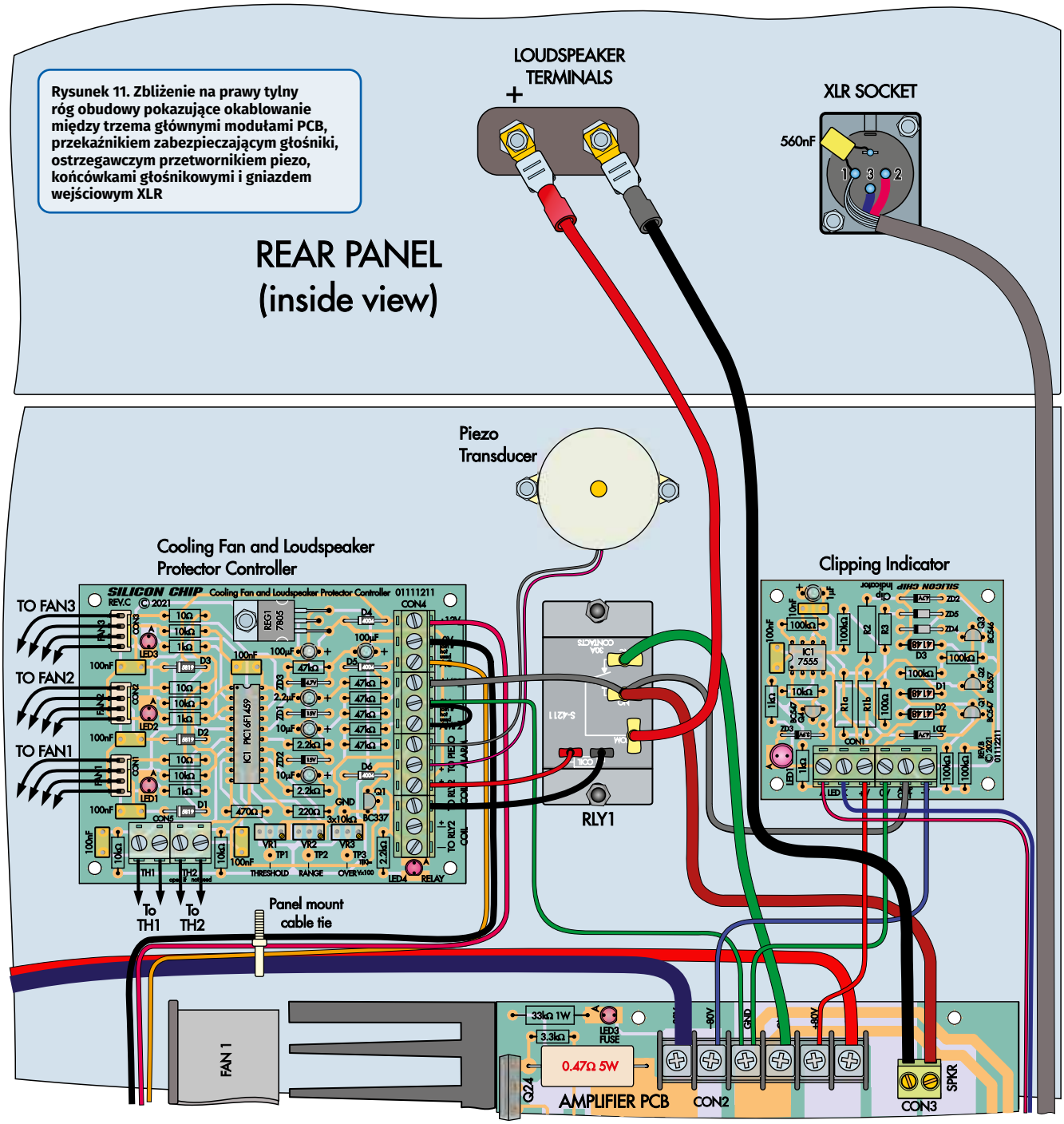
eprasa.pl 261515f3ed

że wszystkie zmieszczą się w swoich docelowych lokalizacjach. Lokalizacje można również zaznaczyć cienkim flamastrem. W ten sposób uzyskamy pewność, że przed rozpoczęciem wiercenia otworów wszystko jest prawidłowo ustawione.

Podczas wstępnego układania elementów na podstawie należy pamiętać o pozostawieniu miejsca w narożnikach na zamocowanie nóżek za pomocą śrub i nakrętek M3. W szczególności należy sprawdzić, czy transformator może zostać umieszczony bez kolidowania ze śrubą i nakrętką nóżki wzmacniacza w danym rogu.

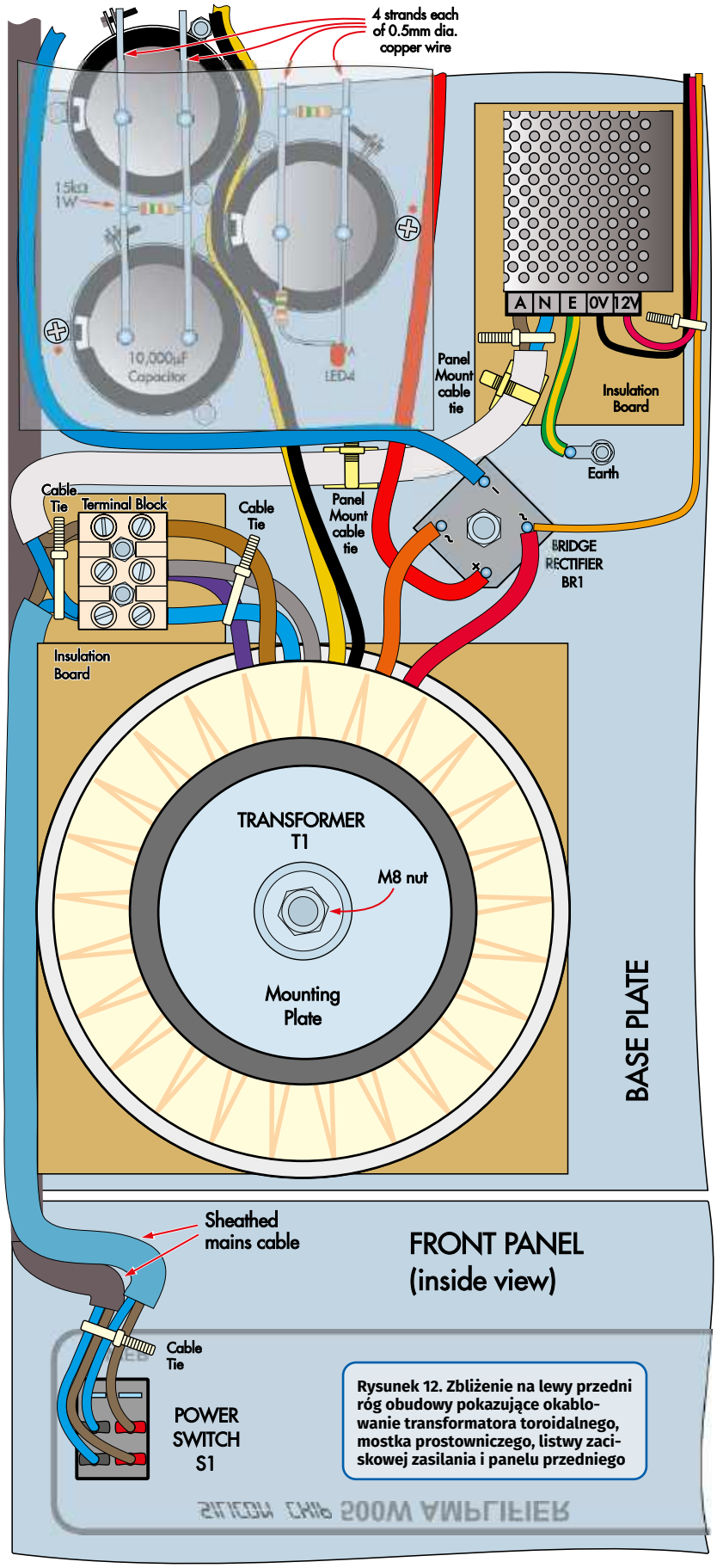
W podstawie należy obowiązkowo wykonać otwory przeznaczone do mocowania dla czterech narożnych nóżek (3 mm), trzech płytek drukowanych (3 mm), radiatora (3 mm), przekaźnika (3 mm), przetwornika piezoelektrycznego (2,5 mm). Należy również wykonać otwory dla uziemienia (4 mm), otwory montażowe kondensatora (4 mm), zasilania 12 V (3 mm), trójstykowych zacisków sieciowych (3 mm), mostka prostowniczego (4 mm) i transformatora (8 mm). Rozmieszczenie tych elementów pokazano na rysunkach 10...13.

Konieczne będzie również wykonanie otworów do zamocowania aluminiowego wspornika kątowego do montażu wentylatorów w pobliżu radiatora (4 mm). Najlepiej umieścić go po zamontowaniu radiatora. Sam aluminiowy wspornik będzie również wymagał otworów do zamocowania wentylatorów, które są rozmieszczone równomiernie na długości 400 mm, z jednym wentylatorem pośrodku i pozostałymi na każdym końcu.



Rysunek 11. Zbliżenie na prawy tylny róg obudowy pokazujące okablowanie między trzema głównymi modułami PCB, przekaźnikiem zabezpieczającym głośniki, ostrzegawczym przetwornikiem piezo, końcówkami głośnikowymi i gniazdem wejściowym XLR

eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 12. Zbliżenie na lewy przedni róg obudowy pokazujące okablowanie transformatora toroidalnego, mostka prostowniczego, listwy zaciskowej zasilania i panelu przedniego

Kątownik jest przymocowany do podstawy za pomocą dwóch śrub 4 mm w szczelinach między wentylatorami. Dla każdego wentylatora zostało wykonane małe półokrągłe wycięcie, dzięki któremu dolna część wspornika nie zakrywa obszaru łopatek wentylatora. Nie jest to jednak absolutnie konieczne.

Kolejność montażu elementów w obudowie nie jest krytyczna, jednak łatwiej jest najpierw zamontować te lżejsze komponenty. Transformator jest najcięższą częścią, więc powinien być zamontowany jako ostatni. **Tabela 1** zawiera wykaz śrub i nakrętek, który pomoże wybrać odpowiednie akcesoria do każdego zadania.

Gniazdo IEC, zaciski głośnikowe i gniazdo XLR montujemy na tylnym panelu. Następne w kolejności są przełącznik i oprawka LED wskaźnika przesterowania na froncie wzmacniacza. Do czasu zakończenia montażu reszty okablowania należy jednak pozostawić te panele odłączone od obudowy.

Teraz jest dobry moment na zamontowanie termistorów sterownika wentylatora chłodzącego. Są one zamontowane przy radiatorach wzmacniacza za śrubami zaciskowymi tranzystorów Q25 i Q26. Przewody od termistorów będą wymagały przedłużenia o około 350 mm, wykonanego cienkim drutem ósemkowym. Połączenia powinny być zaizolowane rurkami termokurczliwymi.

Następnie montujemy w obudowie trzy płytki PCB na nylonowych wspornikach 9 mm za pomocą śrub M3 × 5 mm. Podstawowy montaż modułu wzmacniacza odbywa się za pomocą śrub w radiatorze. Moduł wzmacniacza ma trzy miejsca montażu PCB na krawędzi z dala od radiatora. Mocuje się je za pomocą podkładek dystansowych i krótkich wkrętów, ale należy je zainstalować w ostatniej kolejności, unikając w ten sposób naprężeń PCB.

Przed montażem kondensatorów trzeba wyciąć plastikową osłonę o wymiarach 295 mm × 125 mm, umieścić ją na podstawie i zaznaczyć cztery otwory montażowe o średnicy 4 mm. Pokrywają się one ze śrubami zacisku montażowego kondensatora oznaczonymi gwiazdkami na rysunku 10 i 13.

Teraz należy zamontować kondensatory. Muszą one być ustawione zgodnie z podaną polaryzacją. Ujemne wyprowadzenie jest oznaczone symbolem minusa na korpusie kondensatora. Po prawidłowym ustawieniu należy dokręcić zaciski, zapobiegając ich obracaniu się.

Należy pamiętać, że cztery miejsca montażu wspornika kondensatora oznaczone gwiazdkami są zabezpieczone za pomocą śrub i nakrętek o długości 50 mm. Po zamontowaniu wszystkich kondensatorów,

eprasa.pl 261515f3ed

umieszczamy łączówki M4 na końcu tych czterech śrub 50 mm, gotowe do zamocowania elementu osłaniającego kondensator za pomocą czterech kolejnych śrub M4 × 50 mm.

Teraz można zamontować przetwornicę impulsową 12 V z płytką izolacyjną pod spodem i 3-stykową listwę zaciskową napięcia sieciowego, również z izolacją pod spodem.

Następnie do aluminiowego wspornika mocujemy wentylatory za pomocą śrub dostarczonych z każdym z nich, a następnie do podstawy montujemy także wspornik i zespół wentylatorów.

Przed zamocowaniem mostka prostowniczego do podstawy należy nałożyć niewielką ilość pasty termoprzewodzącej na powierzchnię styku i obudowę. Korzystnie wpłynie on odprowadzanie ciepła.

Montaż transformatora

Na śrubie M8 transformatora umieszczamy podkładkę i wkładamy ją od spodu podstawy. W podstawie nakładamy nad śrubą podkładkę izolacyjną, a następnie dokładamy podkładkę neoprenową. Kolejno montujemy dalej transformator, drugą podkładkę neoprenową, podkładkę montażową i nakrętkę M8. Ustawiamy transformator w sposób pokazany na rysunkach 10 i 12 i dokręcamy nakrętkę.

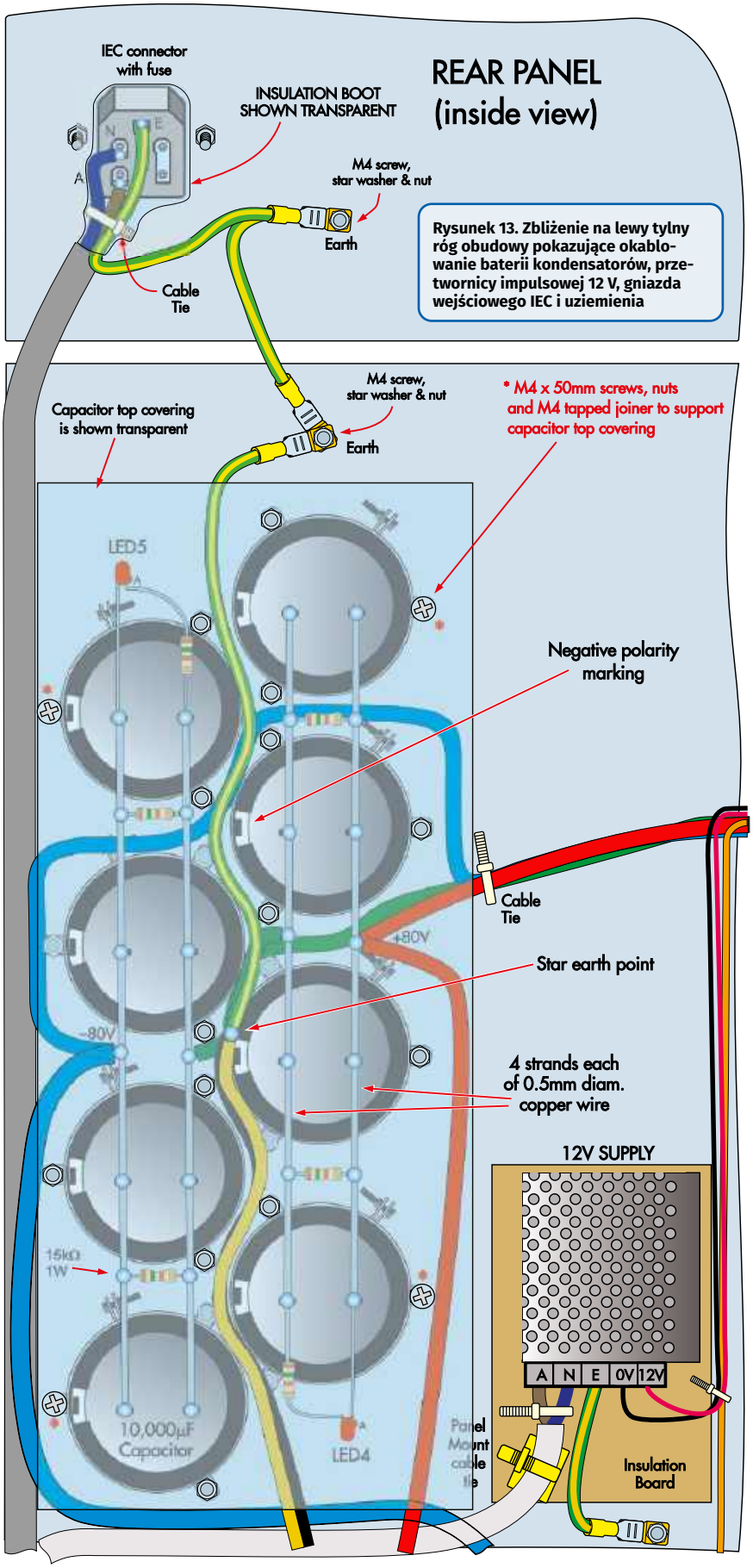
Okablowanie

Pozostało jeszcze wykonanie okablowania zasilającego przystosowanego do przewodzenia dużych prądów.

Na początek trzeba okablować równolegle dwa banki czterech kondensatorów. Robimy to używając żył z drutu miedzianego o średnicy 0,5 mm. Skręcamy dwie żyły razem za pomocą wiertarki, a następnie zaginamy je na pół, przeplatając drut wokół zacisków kondensatora, jak pokazano na zdjęciach. Następnie lutujemy przewody do zacisków.

Po obu stronach baterii kondensatorów filtrujących znajdują się dwa rezystory 15 kΩ 1 W. Ponadto, po każdej stronie baterii kondensatorów jest dołączona czerwona dioda LED szeregowo z kolejnymi dwoma rezystorami 15 kΩ. Diody LED są umieszczone tak, aby wystawały przez 5-milimetrowe otwory w maskownicy kondensatorów. Jeśli maskownica jest wykonana z przezroczystego lub półprzezroczystego plastiku, można pominąć wykonywanie tych otworów. Diody te wskazują obecność napięcia na kondensatorach. Jak można zauważyć, nawet przy tych rezystorach upływowych, rozładowanie kondensatorów po wyłączeniu wzmacniacza zajmuje sporo czasu.

W całym wzmacniaczu zastosowano jednopunktowe uziemienie, dlatego ważne jest



Rysunek 13. Zbliżenie na lewy tylny róg obudowy pokazujące okablowanie baterii kondensatorów, przetwornicy impulsowej 12 V, gniazda wejściowego IEC i uziemienia

eprasa.pl 261515f3ed

Celem zapewnienia bezpieczeństwa, bateria kondensatorów wymaga zamontowania na niej arkusza Perspex zapobiegającego przed przypadkowym kontaktem z szyną zasilania. Zdjęcie przedstawia kondensatory bez osłony wyraźnie pokazujące ich rozmieszczenie

ścisłe przestrzeganie szczegółów okablowania przedstawionych na rysunkach 10...13.

Okablowanie sieci 230 V

Zasilanie sieciowe jest doprowadzane za pośrednictwem gniazda zasilania IEC, dwużyłowego przewodu sieciowego o obciążalności co najmniej 7,5 A. Przewód ten musi przejść przez osłonę izolacyjną IEC przed zakończeniem (przylutowaniem) do zacisków gniazda IEC.

Przewód uziemienia również przechodzi przez osłonę izolacyjną i jest przymocowany do zacisku uziemienia w gnieździe IEC oraz zaciskanego oczka przytwierdzonego do obudowy śrubą M4, podkładką sprężystą i nakrętką. Należy pamiętać, że uziemienie łączy się również z podstawą za pomocą innego oczka.

Przed założeniem osłony izolacyjnej na tylną część gniazda IEC należy związać przewody sieciowe opaską kablową. Trzecie oczko i przewód uziemiający łączą punkt uziemienia podstawy z wspólnym punktem uziemienia między bateriami kondensatorów.

Przewody sieciowe z gniazda IEC podłącza się do przełącznika zasilania za pomocą zaciskanych złączy widełkowych na dwóch górnych zaciskach. Ważne jest, aby podłączyć ten przełącznik we właściwy sposób, w przeciwnym razie neonowa dioda LED będzie się świecić, niezależnie od tego, czy wzmacniacz jest włączony, czy wyłączony.

Ze względów bezpieczeństwa na dwa dolne, nieużywane zaciski przełącznika nasunięto zaizolowane konektory widełkowe. Przewody sieciowe z przełącznika zasilania na środkowych zaciskach biegną do izolowanego trójstykowego bloku zacisków. Dalsze przewody sieciowe łączą się z przetwornicą impulsową 12 V. Wszystkie przewody sieciowe muszą być ze sobą związane za pomocą opasek kablowych, aby w przypadku poluzowania się jednego z nich nie doszło do zwarcia z obudową.

Należy pamiętać, że zasilanie 12 V ma również połączenie uziemienia z obudową za pomocą oczka przymocowanego z użyciem śruby M4, podkładki sprężystej i nakrętki do podstawy.

Okablowanie transformatora

Okablowanie transformatora zostało wykonane przy użyciu kodowania kolorami zalecanego transformatora. Trzeba jednak sprawdzić czy na etykiecie transformatora kolory uzwojeń są takie same jak użyte w prototypie. Jeśli nie, należy podłączyć przewody zgodnie z kolorami transformatora.

Dwa uzwojenia pierwotne 115 V łączymy szeregowo, łącząc fioletowy i szary przewód za pomocą środkowego zacisku 3-stykowego bloku zacisków.

Okablowanie prowadzimy do kondensatorów filtrujących z mostka prostowniczego za pomocą przewodu o przekroju 2,9 mm^2 (przekrój poprzeczny) z czerwonym dla dodatniego napięcia i czarnym dla ujemnego. Przekonamy się, że żółte i czarne przewody transformatora nie są wystarczająco długie, aby dotrzeć do wspólnego punktu uziemienia, więc należy je przedłużyć za pomocą jednego z kabli 2,93 mm^2.

Na tym etapie okablowanie zasilania jest w zasadzie kompletne, ale nie jest podłączone do modułu wzmacniacza. Trzeba jeszcze sprawdzić ciągłość między obudową a uziemieniem na złączu IEC. Odczyt powinien być bardzo zbliżony do 0 Ω. Następnie w gnieździe IEC montujemy bezpiecznik 3,15 A.

Sprawdzamy wykonany wcześniej montaż. Musimy mieć pewność, że wszystko jest prawidłowo połączone. Upewniamy się, czy wszystkie kondensatory są prawidłowo ustawione. Sprawdzamy, czy dodatni zacisk mostka prostowniczego łączy się z dodatnimi

Wentylatory 120 mm dla wzmacniacza 500 W są mocowane do podstawy obudowy za pomocą metalowego wspornika. Są to wentylatory są dość powszechne w komputerach i można je nabyć za niewielką cenę. Można też użyć mniejszych wentylatorów (np. 80 mm), ale będą one prawdopodobnie głośniejsze i, ze względu na powszechność wentylatorów 120 mm, prawdopodobnie również droższe

eprasa.pl 261515f3ed

wyprowadzeniami baterii kondensatorów i analogicznie, czy ujemny zacisk mostka prostowniczego łączy się z ujemnymi wyprowadzeniami baterii kondensatorów.

Środki ostrożności

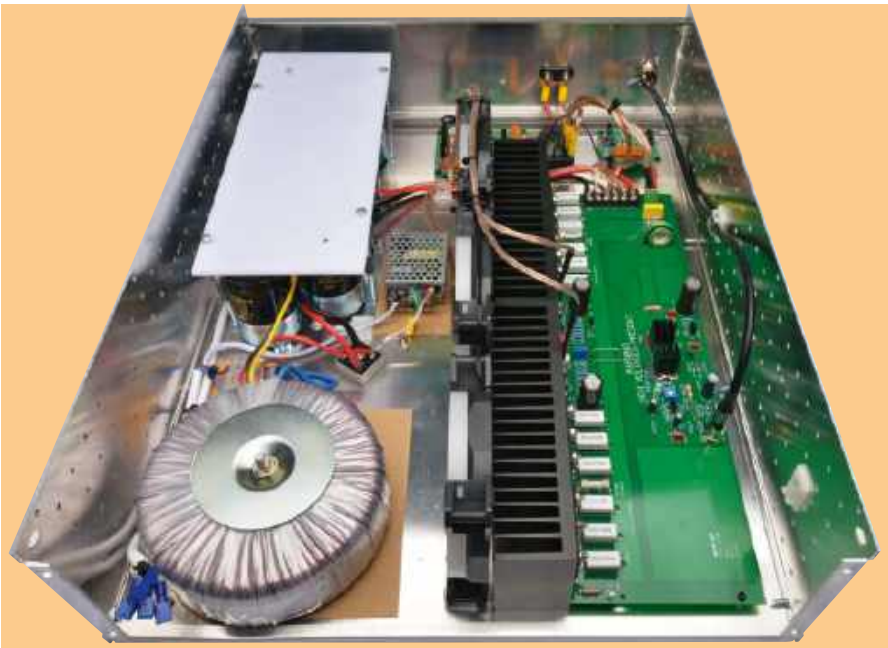
Po wykonaniu okablowania zasilacza i przed podłączeniem zasilania zalecamy zamontowanie osłony na banku kondensatorów. Zapobiegnie to przypadkowemu kontaktowi z napięciem 160 V DC, które jest potencjalnie śmiertelne.

Osłona zapewni również pewien stopień bezpieczeństwa, jeśli w którymś z kondensatorów na skutek uszkodzenia lub eksplozji elektrolit wydostanie się na zewnątrz.

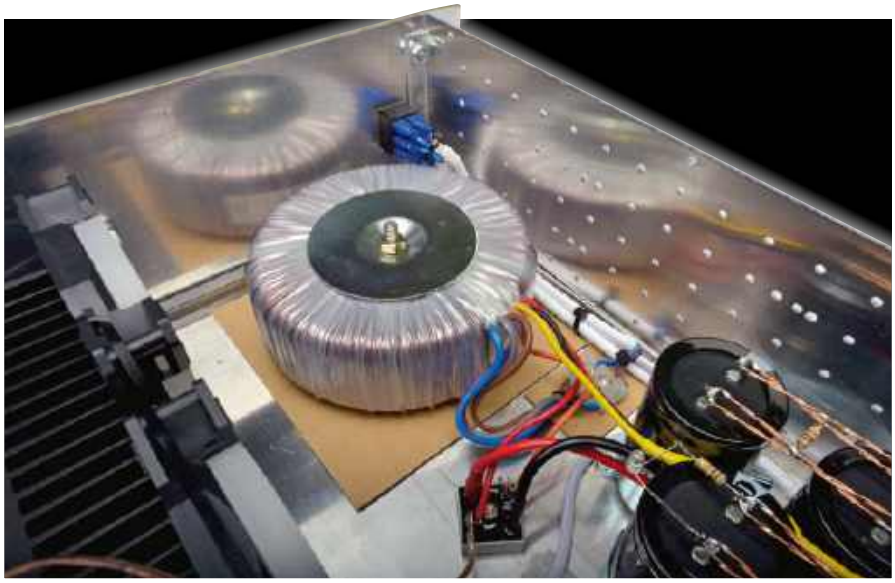
Przed pierwszym włączeniem zasilania należy założyć okulary ochronne lub jakąś osłonę twarzy. Zasilanie włączamy na chwilę i sprawdzamy, czy świecą się obie diody LED. Następnie wyłączamy zasilanie i czekamy, aż kondensatory całkowicie się rozładują. Minie trochę czasu, zanim diody LED przestaną świecić. Powinny zgasnąć mniej więcej jednocześnie.

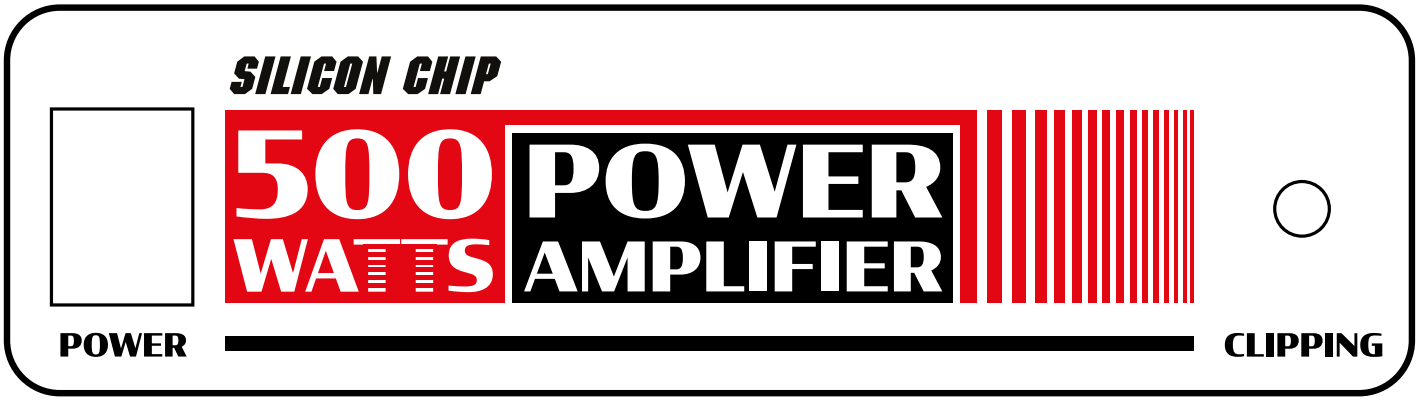
Jeśli próba zakończy się pomyślnie, zdejmujemy osłonę bloku kondensatorów i zachowując szczególną ostrożność (ponieważ napięcia na kondensatorach mogą być nadal niebezpieczne), ponownie włączamy zasilanie. Mierzymy teraz napięcia kondensatorów. Uzyskane odczyty powinny być zbliżone do ±80 V DC. Sprawdzamy również, czy zasilacz 12 V zapewnia na zaciskach wyjściowych stałe napięcie 12 V. Wyłączamy zasilanie i ponownie czekamy, aż napięcie spadnie do wartości bliskiej zeru.

Teraz można zakończyć pozostałe okablowanie. Prowadzimy okablowanie od kondensatorów filtrujących do wzmacniacza za pomocą przewodu 2,9 mm², z czerwonym dla dodatniego napięcia, czarnym dla napięcia ujemnego i jednym z przewodów 2,93 mm² o przekroju ósemkowym dla połączenia 0 V.



Ważne jest zweryfikowanie oznaczeń i kolorów uzwojeń użytego transformatora, ponieważ rzeczywisty schemat kolorów może być inny niż ten w transformatorze zastosowanym w opisywanym prototypie

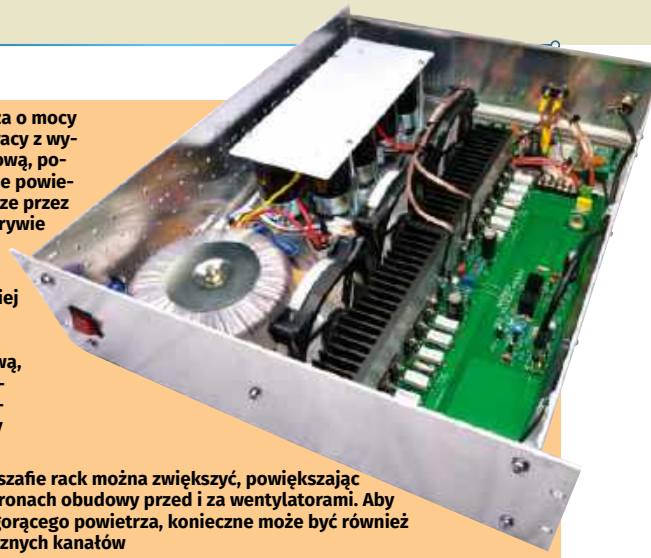




Rysunek 14. Etykieta na panelu przednim (pokazana w 85% rzeczywistego rozmiaru) może posłużyć jako szablon do wywiercenia otworów na przełącznik zasilania i diodę LED wskaźnika przesterowania. Można również wydrukować kopię na folii przezroczystej lub papierze fotograficznym (laminowanym po wydrukowaniu) i umieścić ją z przodu wzmacniacza. Przedstawiona etykieta obejmuje tylko lewą połowę panelu, ponieważ byłaby zbyt szeroka, aby można ją było łatwo wydrukować w inny sposób

eprasa.pl 261515f3ed

Gotowy wzmacniacz z założoną perforowaną pokrywą górną. Dobrą praktyką będzie oznaczenie funkcji trzech złączy umieszczonych z tyłu obudowy za pomocą stosownych etykiet

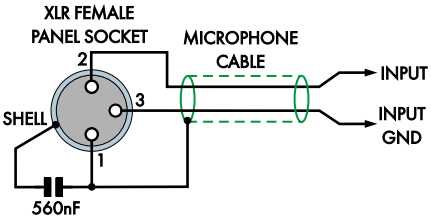


Prezentowana obudowa wzmacniacza o mocy 500 W została zaprojektowana do pracy z wystarczającą przestrzenią nad obudową, ponieważ wentylatory zasysają chłodne powietrze i odprowadzają gorące powietrze przez znaczny obszar wentylacji w pokrywie

Jeśli wzmacniacz jest użytkowany w ograniczonej przestrzeni, takiej jak stojak na sprzęt lub szafka bez dużej przestrzeni nad pokrywą, należy wprowadzić modyfikacje, zwłaszcza jeśli jest on uruchamiany na płasko

Przepływ powietrza w szafie rack można zwiększyć, powiększając małe otwory po obu stronach obudowy przed i za wentylatorami. Aby zapobiec recyrkulacji gorącego powietrza, konieczne może być również zastosowanie wewnętrznych kanałów

Dobrą praktyką będzie przymocowanie etykiety na panelu przednim (rysunek 14) informującej o przeznaczeniu urządzenia. Choć nie jest to konieczne, to jednak korzystna byłaby choćby mała etykietka naklejona np. w pobliżu diody LED wskaźnika przesterowania



Rysunek 15. Szczegóły okablowania dla gniazda XLR. Do użytku domowego można w jego miejsce zamontować gniazdo RCA. Może to być nawet żeńsko-żeńskie gniazdo RCA montowane na panelu przednim. Standardowy kabel RCA można następnie podłączyć od strony wewnętrznej tego gniazda do wejścia modułu wzmacniacza, unikając lutowania

Podobnie, należy użyć przewodu 2,9 mm^2 lub 2,5 mm^2 do połączenia wyjścia głośnikowego do zacisków głośnikowych za pośrednictwem przekaźnika. Pozostałe okablowanie można wykonać przy użyciu cieńszego przewodu. Należy dokładnie przestrzegać schematu okablowania. Używamy opasek kablowych i opasek do montażu do obudowy, aby w razie potrzeby połączyć przewody. Nie schemacie nie zostały pokazane wszystkie opaski kablowe, ale powinny być stosowane tam, gdzie jest to wymagane, bez zbędnych ograniczeń.

Gniazdo wejściowe XLR podłączamy za pomocą dwużyłowego ekranowanego kabla mikrofonowego do modułu wzmacniacza zgodnie z **rysunkiem 15**. Jeśli zamiast gniazda XLR używane jest gniazdo wejściowe RCA, należy użyć jednożyłowego kabla ekranowanego.

Obudowę można teraz zmontować, mocując do podstawy panele boczne, tylny i przedni.

Końcowe kontrole i regulacje

Teraz można włączyć moduł wzmacniacza i sprawdzić napięcie. Najpierw należy dwukrotnie sprawdzić całe okablowanie wzorując się na schematach zamieszczonych w tym i pozostałych artykułach serii opisującej ten wzmacniacz. Następnie ponownie zakładamy osłonę bezpieczeństwa bloku kondensatorów.

Usuwamy bezpieczniki F1 i F2 z modułu wzmacniacza i zastępujemy je przepalonymi bezpiecznikami z rezystorami 390 Ω 5 W przylutowanymi na końcach bezpieczników. Upewniamy się, czy suwak potencjometru VR2 jest całkowicie przekręcony w lewo.

Podłączamy zasilanie i mierzymy napięcie na wyjściu głośnikowym wzmacniacza, na jednym z końców rezystora 56 Ω 1 W najbliżej krawędzi płytki drukowanej wzmacniacza. Na wyjściu powinno być mniej niż ±20 mV DC. Napięcie to można wyregulować za pomocą VR1. Robimy to tak, aby uzyskać odczyt zbliżony do 0 V.

Teraz podłączamy multimetr do rezystora 390 Ω 5 W na bezpieczniku F1 i obracamy suwak potencjometru VR2 zgodnie z ruchem wskazówek zegara aż do uzyskania napięcia 30 V. Prąd spoczynkowy będzie wówczas równy 77 mA lub około 13 mA na tranzystor wyjściowy.

Teraz mierzymy napięcie na drugim rezystorze 390 Ω 5W w miejscu bezpiecznika F2. Powinno się ono mieścić w zakresie 10% odczytu na F1.

Wzmacniacz należy teraz pozostawić włączony na co najmniej godzinę, aż do stopniowego rozgrzania. Ponownie mierzymy napięcie na rezystorach 390 Ω i ponownie regulujemy VR2, aby uzyskać 30 V.

Rozwiązywanie problemów

Jeśli nie można uzyskać powyższych napięć, należy wyłączyć zasilanie i ponownie sprawdzić konstrukcję i okablowanie. Lokalizacja problemów będzie wymagała wykonania pomiarów napięcia w obrębie modułu wzmacniacza. Aby to zrobić, najpierw zmniejszamy prąd spoczynkowy, obracając suwak VR2 w lewo, tak aby napięcie na rezystorach 390 Ω, które znajdują się w każdej oprawce bezpiecznika, było minimalne.

Najpierw sprawdzamy, czy na zaciskach zasilania modułu wzmacniacza występuje napięcie +80 V, 0 V i –80 V. Sprawdzamy napięcia na rezystorze 470 Ω na emiterze Q5 i rezystorze 39 Ω na emiterze Q7. Jeśli nie mieszczą się między 0,6 a 0,8 V, sprawdzamy czy między bazami a emiterami tranzystorów Q5 i Q6 występuje napięcie około 0,6...0,7 V. Jeśli nie są prawidłowe, trzeba sprawdzić, czy w danych lokalizacjach zamontowane zostały właściwe tranzystory.

Dodatkowo, napięcia na rezystorach emiterowych 68 Ω dla Q3 i Q4 powinny wynosić około 50...60 mV każde, a oba napięcia powinny być takie same, pod warunkiem, że VR1 jest ustawiony na minimalny offset wyjścia. Jeśli nie są one prawidłowe, należy sprawdzić czy zostały zamontowane odpowiednie tranzystory.

Jeśli tranzystory zostały zamontowane poprawnie, ale napięcia są nieprawidłowe, należy rozważyć wymianę tych tranzystorów na egzemplarze renomowanych i zaufanych producentów.

Po znalezieniu i wyeliminowaniu problemów, można ponownie wyregulować prąd spoczynkowy dla 30 V na rezystorach 390 Ω.

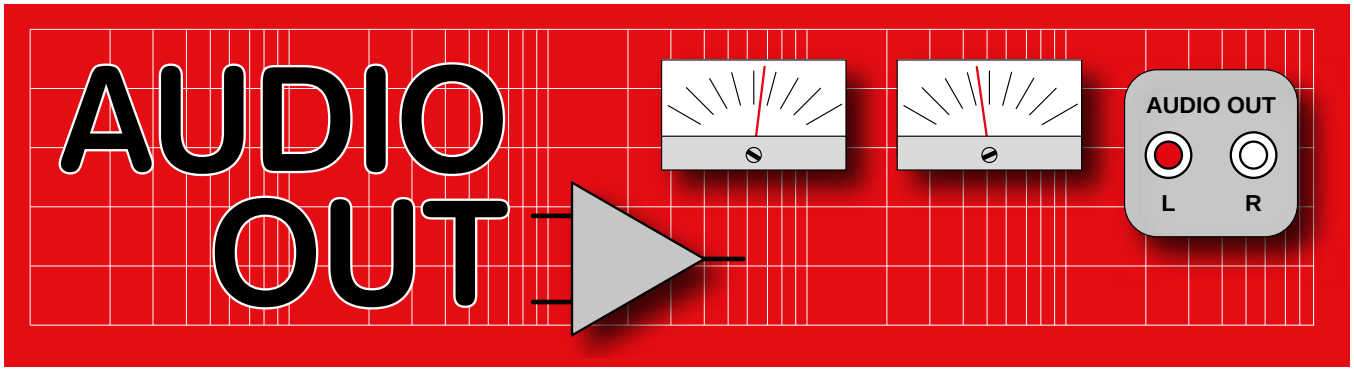
Po kompletnym sprawdzeniu całości, wyłączamy zasilanie, czekamy, aż baterie kondensatorów całkowicie się rozładują, a następnie wyjmujemy bezpieczniki z podłączonymi rezystorami 390 Ω i montujemy odpowiednie bezpieczniki ceramiczne: 5 A do zastosowań z głośnikami 8 Ω lub 10 A dla głośników 6 Ω lub 4 Ω.

Na koniec postępujemy zgodnie z instrukcjami konfiguracji sterownika i zabezpieczenia głośników (przypis redakcji: które opisujemy w odrębnym artykule tego wydania EdW). ■

John Clarke

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

eprasa.pl 261515f3ed



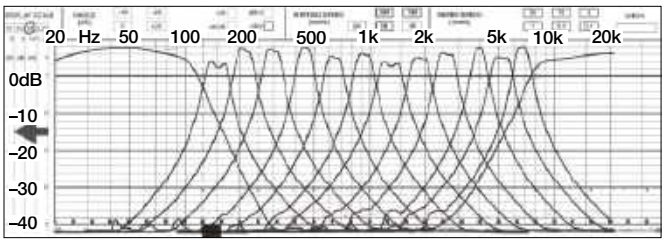
Wokoder analogowy, część 2

W ubiegłym miesiącu, w części 1, zaczęliśmy przedstawiać wokoder analogowy, który pozwala uzyskać wyjątkowy i fascynujący efekt wokalny – ludzka mowa jest nakładana na dźwięk instrumentu muzycznego. Zanim przyjrzymy się projektowi bardziej szczegółowo, najpierw krótko podsumujmy dyskusję na temat wielokanałowych filtrów „analizujących", omówionych pod koniec artykułu w zeszłym miesiącu.

Piękne kształty

Na **rysunku 13** pokazano wykresy charakterystyk filtrów mowy („analizujących"). Filtry wyjściowe („syntetyzujące") powinny mieć dokładnie takie same charakterystyki. Nie zostały pomierzone; ich pomiar byłby skomplikowany, ponieważ pomiędzy pierwszą a drugą sekcją każdego z tych filtrów znajduje się układ wzmacniacza sterowanego napięciem (VCA). Filtry górnoprzepustowe i dolnoprzepustowe mają nachylenie charakterystyk 24 dB/okt. Mają też znacznie szersze pasmo przenoszenia, co wynika z faktu, że do ich zakresów przepustowych trafia bardzo mało sygnału, jako że prawie cała energia mowy leży w zakresie średnim (od około 200 Hz do 5 kHz).

Ogólnie rzecz biorąc, do budowy filtrów powinno się zawsze używać rezystorów o tolerancji 1%. Na szczęście są one obecnie łatwo dostępne i tanie. Natomiast pewien problem sprawiają kondensatory. Często są osiągalne tylko typy o tolerancji 5%. Sporadycznie dostępne są kondensatory polistyrenowe o tolerancji 2% i kondensatory z posrebrzanej miki. Są to najlepsze kondensatory do filtrów, ale zwykle mają większe rozmiary i są znacznie droższe w porównaniu do tańszych i łatwiejszych do znalezienia kondensatorów poliestrowych.

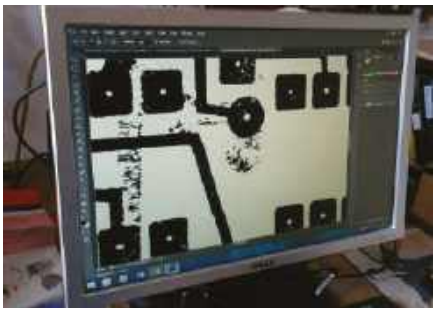


Rysunek 13. Charakterystyki filtrów analizujących prototypu. Trochę niekształtne ze względu na użycie kondensatorów 5%. W zastosowaniach muzycznych jest to do przyjęcia – w końcu nie budujemy precyzyjnego sprzętu pomiarowego. Filtry górny i dolny obejmują zwykle szerszy zakres częstotliwości niż filtry bliższe środka pasma, gdzie koncentruje się większość energii sygnału mowy

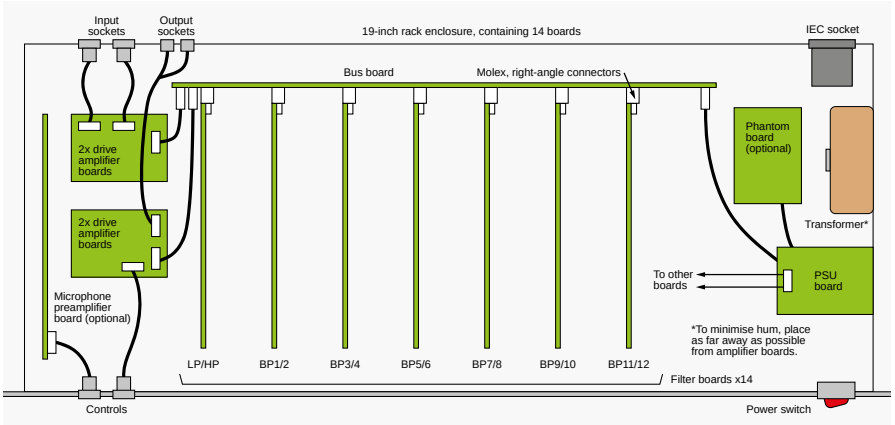
Płytki drukowane

Życie jest zbyt krótkie na to, by 14-kanałowy wokoder budować na płytkach uniwersalnych. Żeby stworzyć prototyp (rysunek 5; patrz artykuł z zeszłego miesiąca), zacząłem od nieco zmienionej wersji projektu płytki drukowanej J. M. Hawkesa. Niestety, wszystko, czym dysponowałem, to kiepsko odbite kserokopie rysunków ścieżek. Kopie te zostały jednak zeskanowane, oczyszczone w Photoshopie (**rysunek 14**), po czym wydrukowane i posłużyły do wytrawienia płytek.

Kiedy już naniosłem w układach własne poprawki i doprowadziłem system do działania, poprosiłem znajomego speca od płytek drukowanych, Mike'a Grindle'a, o profesjonalne zaprojektowanie



Rysunek 14. Niskiej jakości skany płytek drukowanych z projektu studenckiego J. M. Hawkesa zostały poprawione w Photoshopie do postaci umożliwiającej ich użycie do wytrawiania płytek



Rysunek 15. Wokoder analogowy składa się z wielu połączonych ze sobą płytek: przedwzmacniacza mikrofonowego, sterownika, mieszacza i zasilacza. Bloki te mogą być użyteczne w innych projektach audio. Umieszczenie wszystkich układów na jednej dużej płytce nie byłoby sensowne. Utrudniałoby eksperymenty i ograniczało uniwersalność. Gdyby to był projekt przeznaczony do produkcji, konieczne byłoby znacznie gęstsze upakowanie elementów i pozbycie się większości okablowania. My nie musimy spełniać takich wymagań

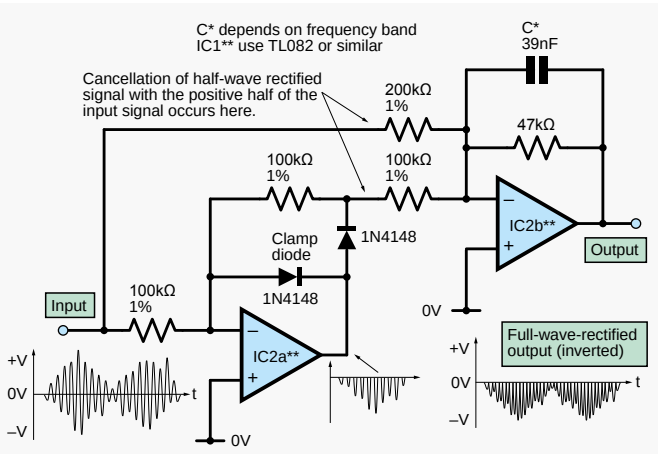
eprasa.pl 261515f3ed

Rysunek 16. Wszystkie płytki kanałów są połączone równolegle poprzez płytę magistrali. Pierwotnie była to płytka uniwersalna o odpowiedniej długości. W projekcie, który będziemy budować w ciągu najbliższych miesięcy, zostanie użyta płytka specjalnie zaprojektowana. Będzie miała metalizowane otwory, co zwiększy wytrzymałość mechaniczną

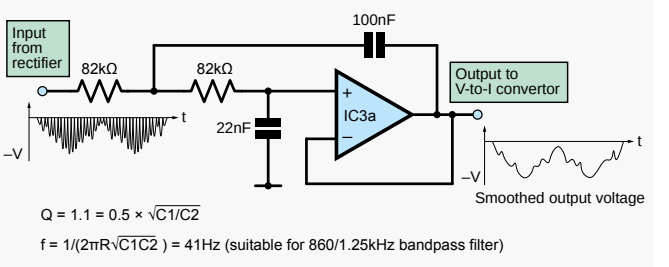
nowego zestawu płytek. Wokoder składa się z 14 płytek, w tym: opcjonalnego przedwzmacniacza mikrofonowego, 2 płytek wzmacniaczy sterujących, 6 płytek zawierających 12 kanałów pasmowo-przepustowych, opcjonalnej płytki kanału dolno-/górnprzepustowego i 2 wyjściowych wzmacniaczy sumujących. Bloki te zostały przedstawione na **rysunku 15**. Wszystkie kanały wokodera są połączone z płytą magistrali złączami kątowymi, jak widać na **rysunku 16**.

Sygnały sterujące

Sygnały z filtrów analizujących są przekazywane do precyzyjnych prostowników dwupołówkowych (**rysunek 17**). Napięcie wyjściowe każdego prostownika jest wygładzane przez filtr dolnoprzepustowy drugiego rzędu (**rysunek 18**), którego częstotliwość odcięcia jest proporcjonalna do pasma częstotliwości danego kanału. Jeśli częstotliwość filtru wygładzającego jest zbyt wysoka, efektem jest „pikanie" i zniekształcenia. Częstotliwość zbyt niska powoduje z kolei pogorszenie zrozumiałości mowy. Trzeba znaleźć „złoty środek", by jak najlepiej odwzorować wahania energii w każdym paśmie częstotliwości. Częstotliwość odcięcia filtru dolnoprzepustowego powinna być około 5...20 razy niższa niż dolna częstotliwość filtru pasmowoprzepustowego. Dobroć Q filtru może wynosić ok. 1. Filtr jest mało wrażliwy



Rysunek 17. Do wytworzenia napięcia wolnozmiennego z sygnału każdego filtra analizującego stosowany jest układ precyzyjnego prostownika dwupołówkowego. Jego działanie polega na odejmowaniu od sygnału oryginalnego jednej z jego półfal z dużą dokładnością. Niezbędne są rezystory o tolerancji 1%



Rysunek 18. Napięcie wyjściowe każdego prostownika jest wygładzane przez filtr dolnoprzepustowy. Filtry mają różne wartości elementów w zależności od zakresu częstotliwości kanału

na tolerancje elementów – można stosować kondensatory o tolerancji nawet 10%.

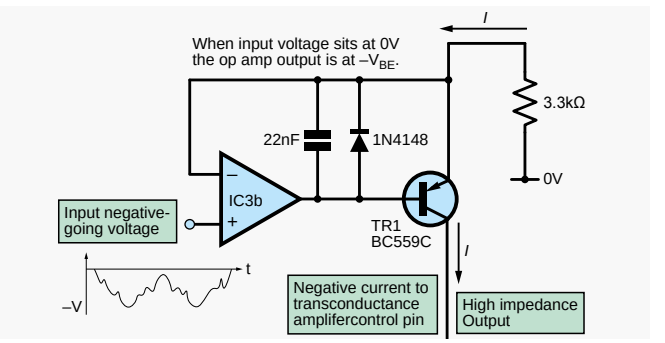
Do wysterowania wejść sterujących wzmacniaczy transkonduktancyjnych w układach VCA są używane przetworniki napięcie/prąd pokazane na **rysunku 19**, wykorzystujące wzmacniacze operacyjne i tranzystory. Zapewnia to o wiele lepszą liniowość przy niskich poziomach wzmocnienia niż gdyby w roli takiego przetwornika pracował zwykły rezystor.

VCA – układy scalone

Wzmacniacze sterowane napięciem (VCA) oparte na wzmacniaczach transkonduktancyjnych są największym źródłem szumów w całym systemie. Jest to na szczęście trochę maskowane przez generowane dźwięki muzyczne. Co ciekawe, szum nie umniejsza subiektywnej jakości dźwięku. Wprowadzona przez niego lekka szorstkość sprawia, że efekt brzmi bardziej «wokalnie» i «z oddechem», co jest cechą jak najbardziej pożądaną.

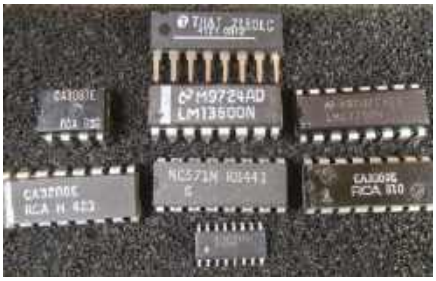
Mój prototyp z rysunku 16 wykorzystywał CA3080 – „klasyczny" typ układu scalonego wzmacniacza transkonduktancyjnego. Układ ten przestał być produkowany w 2005 roku. Wokodery powstające później (również niniejszy projekt) wykorzystywały układ LM13600/700, zawierający w jednej obudowie dwa funkcjonalne odpowiedniki wspomnianego CA3080. Ponadto w układzie dodano wtórniki napięciowe (tranzystory Darlingtona w układzie „wspólny kolektor"), a także diody linearyzujące, pozwalające zmniejszyć zniekształcenia i zwiększyć poziom wysterowania, przez co poprawia się stosunek sygnał/szum. Diody linearyzujące są aktywowane przez dodanie rezystora R25 (**rysunek 21**).

Układy LM13600 i LM13700 praktycznie nie różnią się między sobą. W LM13600 prąd wtórników napięciowych Darlingtona był



Rysunek 19. Każdy wzmacniacz sterowany napięciem (VCA), zawierający transkonduktancyjny wzmacniacz operacyjny, jest sterowany z pokazanego tu przetwornika napięcie-prąd. Ujemne sprzężenie zwrotne eliminuje wpływ napięcia V_{BE} tranzystora na działanie. Układ jest projektem z artykułu Jacoba Moskowitza Wzmacniacz operacyjny z kompensacją prądu poprawia liniowość OTA ze stycznia 1977 r. Nie mogłem znaleźć oryginalnej publikacji, ale musi być ona dostępna na ResearchGate.net. Wprowadziłem drobne ulepszenia polegające na dodaniu diody chroniącej złącze baza-emiter przed odwrotną polaryzacją oraz kondensatora zapewniającego stabilność

eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 20. Scalone wzmacniacze transkonduktancyjne, nadające się do VCA w wokoderach. Widzimy tu klasyczny CA3080, LM13600/700, „dziwolągi" NE571 i CA3060 oraz, opracowany najpóźniej i najlepszy, CA3280. Nadal produkowane są tylko LM13700 i THAT Corporation 2180. LM13700 w obudowie dual-in-line zostanie przez Texas Instruments wkrótce wycofany z produkcji

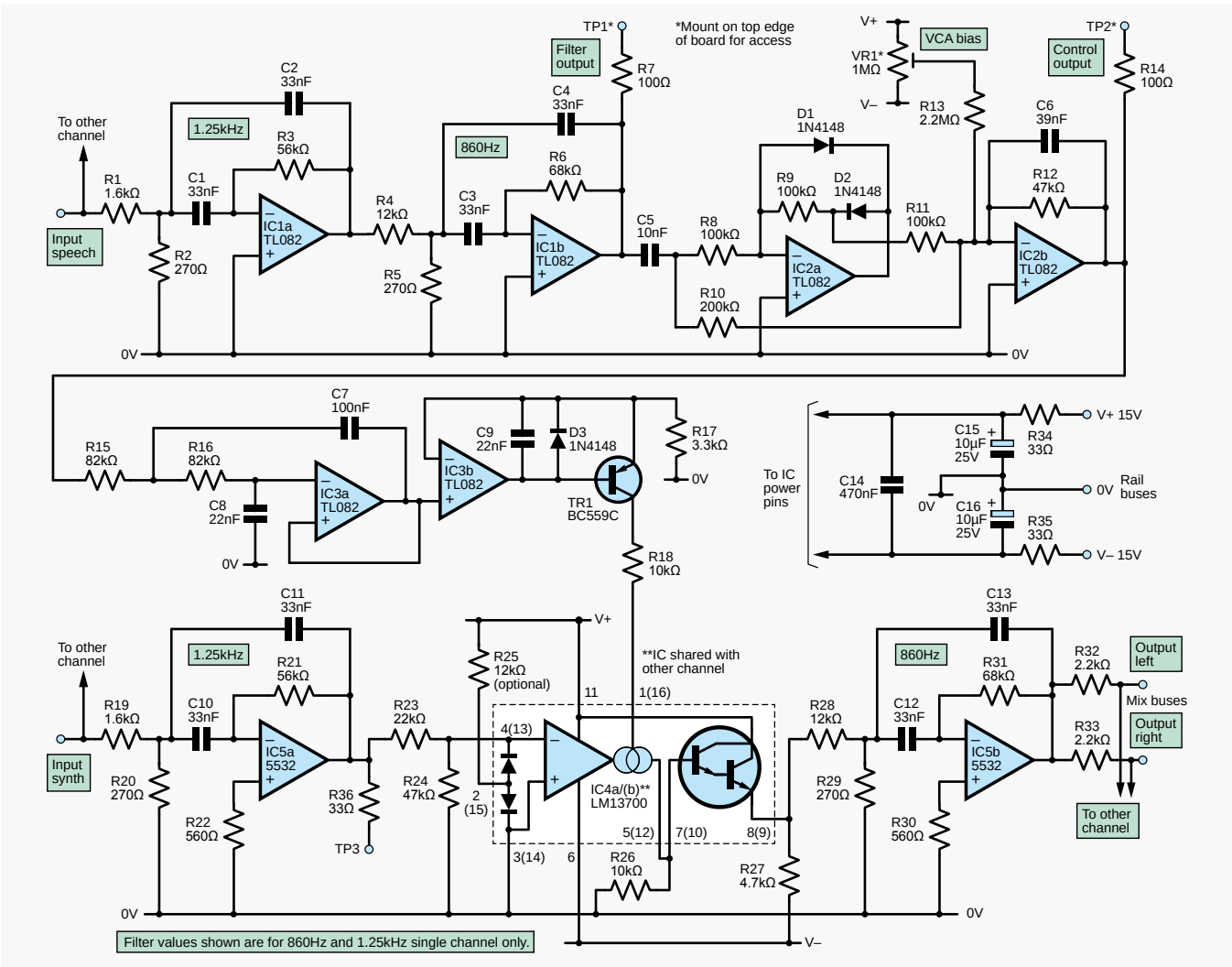
proporcjonalny do prądu sterującego. Miało to zapewnić jak największą impedancję wejściową i jednocześnie dostatecznie duży prąd wyjściowy w pełnym zakresie prądów sterujących. LM13700 to wersja późniejsza, w której w „darlingtonach" uzyskano wyższe wzmocnienie prądowe, więc z dopasowywania ich prądów można było zrezygnować. LM13700 jest obecnie jedynym produkowanym układem scalonym wzmacniacza transkonduktancyjnego. Używam go w wersji SMD w moim projekcie Dubreq Theremin. Najlepszym układem byłby CA3280, ale ciężko go zdobyć. Zawiera on diody linearyzujące, nie ma jednak stopni buforujących. Istnieje również układ scalony kompandera telefonicznego NE571, który zawiera dwa wzmacniacze VCA, a oprócz tego kilka prostowników dwupołówkowych. Układ ten wykorzystano w ośmiopasmowym wokoderze Paia 6710. Innym niecodziennym układem jest CA3060, w którym na jednej kostce krzemu umieszczono trzy 3080. Wszystkie te układy VCA są pokazane w „galerii układów scalonych" na **rysunku 20**.

Korzystanie z układów podwójnych, takich jak LM13600, oznacza, że na jednej płytce będą umieszczone dwa kanały filtra wokodera.

Wzmacniacze transkonduktancyjne to z definicji układy z wejściem napięciowym i wyjściem prądowym. Tutaj używamy wariantu takiego wzmacniacza z regulacją wzmocnienia. Ma on specjalne wejście sterujące, a wzmocnienie jest określone przez prąd wpływający do tego wejścia.

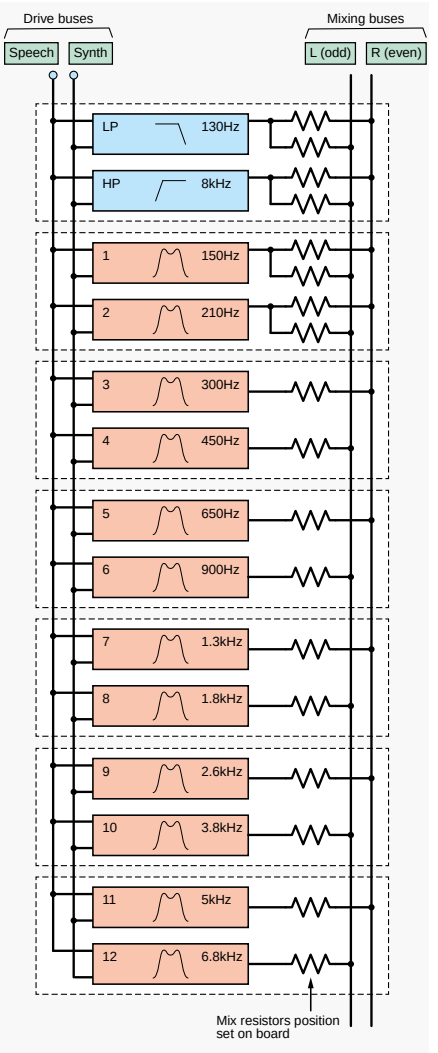
Istnieją bardziej skomplikowane układy VCA, takie jak 2180 firmy THAT Corporation. Mają one wykładniczą charakterystykę sterowania (napięcie sterujące wyznacza wzmocnienie w decybelach), co w naszym przypadku tylko skomplikowałoby ich sterowanie. Ponadto zaleta tych wzmacniaczy w postaci niskich zniekształceń nic by nam nie dała. Byłaby wręcz niepożądana – wokoder brzmiałby zbyt czysto! Natomiast nieliniowe wzmacniacze transkonduktancyjne wprowadzają „miękkie" przesterowanie i dzieje się to z wyraźną korzyścią dla dźwięku. Dlatego, przynajmniej na początku, rezystora R25 radzę nie montować.

Kompletny schemat pojedynczego kanału wokodera (modułu pasmowoprzepustowego), przedstawionego na schemacie blokowym na rysunku 4 (EdW 10/2024), jest pokazany na **rysunku 21**.

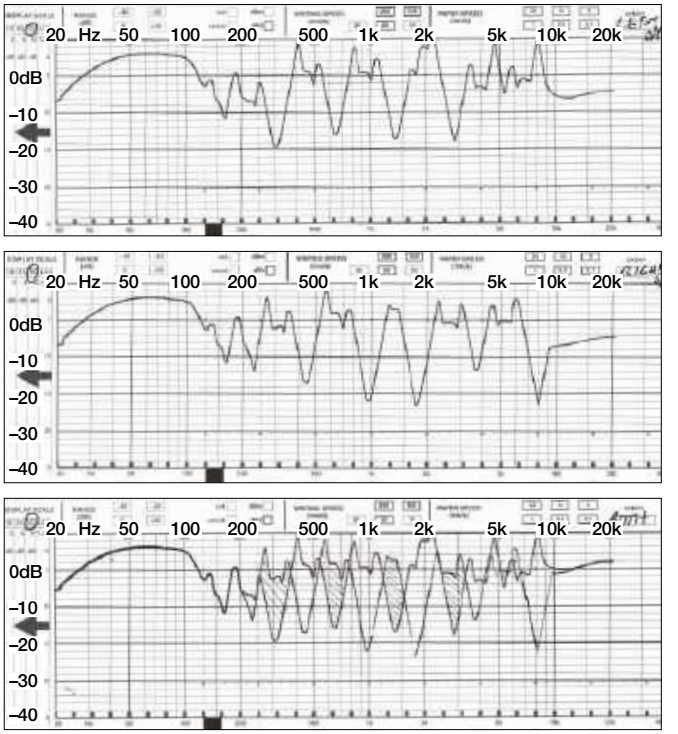


Rysunek 21. Pełny schemat jednego kanału wokodera. Na jednej płytce drukowanej będą umieszczone dwa kanały; patrz rysunek 15

eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 22. We wszystkich moich wokoderach używam specjalnego sposobu miksowania kanałów, uzyskując świetny efekt stereo. Kanały są wysyłane na przemian do wyjścia lewego i prawego. Wyjątek stanowią pasma niskie; są miksowane monofonicznie, by zapewnić w obu kanałach stereo równomierny rozkład mocy



Rysunek 23. Charakterystyka częstotliwościowa wokodera, zmierzona oddzielnie dla każdego wyjścia stereo: lewego (u góry) i prawego (w środku). Na dole pokazano obie charakterystyki nałożone na siebie. Obszar zacieniowany to różnice między kanałem lewym i prawym. Te różnice wywołują wyjątkowy efekt muzyczny

Wysterowanie

Wypadkowa impedancja wejściowa wszystkich 14 filtrów wynosi ok. 130 Ω, a to za mało jak na możliwości pojedynczego wzmacniacza operacyjnego. Wyjście układu 5532 nie może wysterować impedancji mniejszej niż 600 Ω. A więc konieczny jest jakiś stopień średniej mocy o wydajności kilku wzmacniaczy operacyjnych. Można go zrealizować, uzupełniając wzmacniacz operacyjny tranzystorami tworzącymi układ przeciwsobny (push-pull). Taki stopień będzie się również nadawał do wysterowania transformatora wyjściowego.

Sumowanie

Wyjścia kanałów mogą być zmiksowane wszystkie razem, tworząc sumę monofoniczną. Można też utworzyć miks stereo. Tim Orr w swoim wokoderze przed zsumowaniem do mono odwracał fazę sygnału wyjściowego każdego filtru, co miało skompensować przesunięcia fazy w tych filtrach. W moim projekcie nie robię tego, co skutkuje bardziej przestrzennym efektem stereo, choć kosztem nieco matowego dźwięku monofonicznego.

Wyjścia filtru dolnoprzepustowego i dwóch najniższych filtrów pasmowoprzepustowych są podawane w tej samej proporcji do obu kanałów stereofonicznych, aby w zakresie basów zachować zgodność z miksem monofonicznym. Podobnie postępuję z sygnałem filtru górnoprzepustowego. Pozostałe filtry pasmowoprzepustowe są kierowane na przemian do lewego i prawego kanału. Schemat połączeń pokazano na **rysunku 22**. W ten sposób odpowiedzi częstotliwościowe lewego i prawego kanału wzajemnie się uzupełniają – gdzie jedna opada, tam druga idzie w górę, jak widać na **rysunku 23**. Daje to wspaniały stereofoniczny „rozrzut" między głośnikami. Ten sposób panoramowania sygnałów realizowany jest na płytkach wzmacniaczy sterujących.

Za miesiąc

Opisaliśmy już cały system. W przyszłym miesiącu zaczniemy konstruować płytkę drukowaną wzmacniacza sterującego. Będzie to moduł przydatny do zasilania słuchawek, sprężyn pogłosowych czy transformatorów oraz umożliwiający mostkowanie wzmacniacza. Na pozostałe płytki przyjdzie czas później.

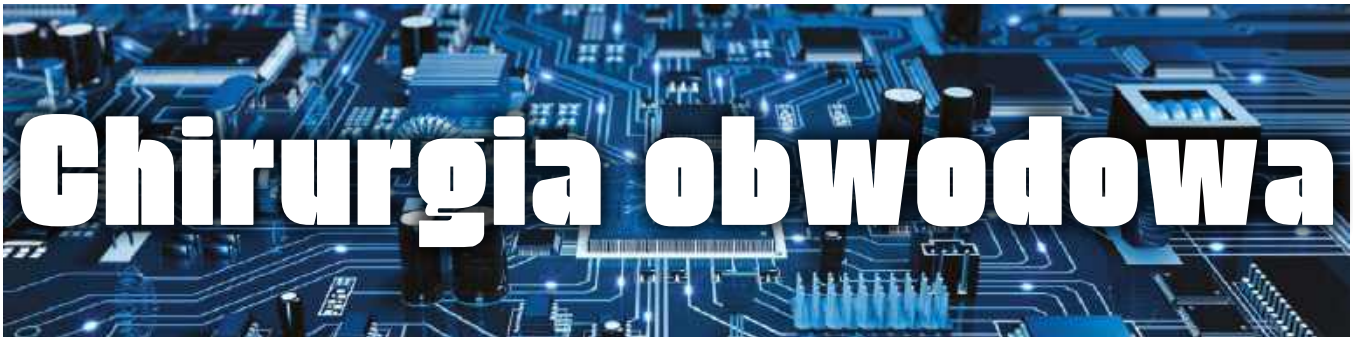
Podziękowania

Doskonałym źródłem informacji na temat projektowania filtrów jest The Filter Handbook autorstwa Stefana Niewiadomskiego, byłego współpracownika czasopisma Practical Electronics. Podobna pozycja to The Active Filter Cookbook Dona Lancastera. Zasad działania wokoderów uczył mnie starszy wykładowca Tim Orr w London College of Furniture w 1985 roku. Tak, tak, studiowałem elektronikę na uczelni meblarskiej! (Furniture = meble; przypis redaktora). Obecnie uczelnia ta nosi nazwę London Metropolitan University. Tim Orr zamieścił w czasopiśmie Electronics Today International (ETI) szereg artykułów na temat elektroniki muzycznej. Ich kulminacją był projekt wokodera, prezentowany we wrześniu i październiku 1980 roku. Wokoder ten był przez firmę Powertran Electronics sprzedawany jako zestaw za 175 funtów + VAT. Później Tim Orr analizował tematykę filtrów w artykule Bandpass and beyond (ETI, grudzień 1980). Mój projekt jest również częściowo oparty na raporcie z projektu studenckiego HND autorstwa J. M. Hawkesa z roku mniej więcej 1982. ■

Jake Rothman

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

eprasa.pl 261515f3ed



Ochrona układów przed przeciążeniami elektrycznymi

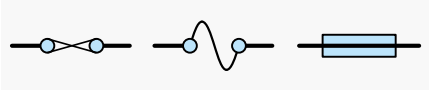
W artykule omówimy kwestie ochrony wejść w układach takich jak wzmacniacze operacyjne, przetworniki analogowo-cyfrowe (ADC) oraz mikrokontrolery. Ochrona tych układów jest szczególnie ważna w systemach pomiarowych oraz w układach z różnymi czujnikami, gdzie wejścia mogą być podłączane do różnych źródeł w trakcie użytkowania. Istotna jest także w środowiskach narażonych na zakłócenia, takie jak wahania napięcia w liniach zasilania, efekty indukcji czy zakłócenia elektromagnetyczne.

Zanim przejdziemy do szczegółowego omówienia zabezpieczeń przed przepięciami, najpierw przyjrzymy się ogólnym zasadom ochrony układów oraz komponentom stosowanym w obwodach zabezpieczających.

Wspomnieliśmy o przepięciach, ale ogólnie termin „przeciążenie elektryczne" (EOS – Electrical Over – Stress) jest używany do określenia sytuacji, w których układ lub urządzenie jest narażone na poziomy napięcia, prądu lub mocy, które powodują uszkodzenia. Wspomniane przeciążenia mogą wystąpić na wiele sposobów, od zwykłego nieprawidłowego podłączenia układu do złożonych problemów z zakłóceniami linii energetycznej w instalacjach przemysłowych. Komponenty nie muszą nawet znajdować się w układzie, aby ucierpieć z powodu przeciążeń – dobrze wiadomo, że wiele półprzewodników (zwłaszcza układów scalonych) może zostać uszkodzonych przez wyładowania elektrostatyczne (ESD) podczas transportu albo montażu. Na przykład ładunek zgromadzony w ludzkim ciele może przepłynąć na komponent, gdy ta osoba go dotknie, tym samym dostarczając wystarczającą ilość energii do jego zniszczenia.

Zabezpieczenia nadprądowe

Istnieje wiele komponentów zaprojektowanych specjalnie do ochrony przed przeciążeniami prądowymi. Najbardziej powszechnym z nich jest bezpiecznik (patrz symbole na **rysunku 1**). To urządzenie nadprądowe składa się z drutu lub paska przewodnika, który działa



Rysunek 1. Symbole bezpieczników

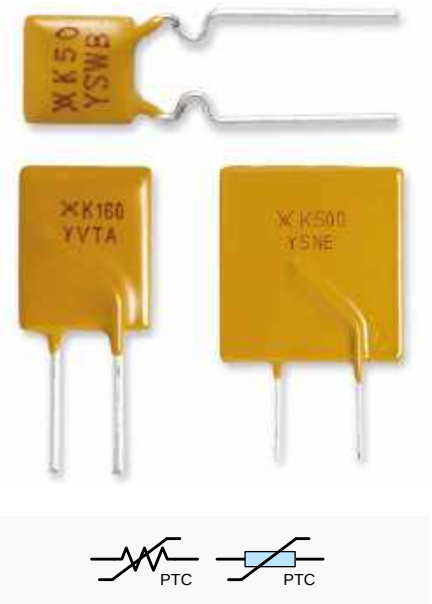
na zasadzie generowania ciepła przez przepływający prąd. Gdy prąd przekroczy określoną wartość znamionową, ciepło powoduje stopienie przewodnika, co przerywa obwód i chroni pozostałe elementy. Powoduje to rozwarcie obwodu i zatrzymanie przepływu prądu. Po przepaleniu bezpiecznika należy go wymienić, ale przede wszystkim należy najpierw zidentyfikować i usunąć przyczynę problemu.

Bezpieczniki są zazwyczaj stosowane w celach ochronnych i dla zapewnienia bezpieczeństwa, zwłaszcza w sytuacjach, gdy przeciążenia prądowe mogą spowodować uszkodzenie lub stanowić zagrożenie, którego nie da się łatwo ani tanio uniknąć za pomocą bardziej zaawansowanych obwodów ochronnych. Choć takie obwody mogą tymczasowo zapewniać ochronę, bezpieczniki często współpracują z innymi zabezpieczeniami, tworząc dodatkową warstwę ochrony na wypadek przeciążenia.

Bezpieczniki reagują na nadmierny przepływ prądu, ale mogą ulec przepaleniu, gdy są używane razem z zabezpieczeniem przepięciowym, które po aktywacji zwiększa przepływ prądu (co często się zdarza). Aby zabezpieczenie było skuteczne, bezpiecznik musi być umieszczony przed zabezpieczeniem przepięciowym, czyli bliżej wejścia lub źródła zasilania niż chroniony obwód.

Najbardziej oczywistym parametrem przy wyborze bezpiecznika jest prąd, przy którym zostanie on przepalony, ale konieczne jest również uwzględnienie czasu reakcji. Bezpieczniki mogą reagować zbyt wolno, aby chronić obwody w niektórych sytuacjach (zbyt wolne bywają nawet te o tzw. szybkim czasie reakcji) – z drugiej strony, niektóre układy pobierają wysokie prądy przez krótkie okresy w normalnych warunkach (np. silniki przy rozruchu) i mogą wymagać bezpieczników zwłocznych, które mogą tolerować wyższe prądy przez krótkie okresy. Bezpieczniki mają również maksymalne poziomy napięcia i prądu zwarciowego, przy których mogą być bezpiecznie używane. W sytuacjach, gdzie prąd przeciążeniowy może znacznie przekroczyć prąd roboczy, a ryzyko uszkodzeń spowodowanych nadmierną energią jest wysokie, warto zastosować bezpieczniki o wysokiej zdolności wyłączania (HRC – High Rupturing Capacity). Mają one bardziej zaawansowaną strukturę niż zwykłe bezpieczniki z prostym drutem w szklanej rurce. Bezpieczniki HRC są szczelnie zamknięte i zawierają wypełnienia (takie jak piasek krzemionkowy), które

eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 2. (u góry) Wybrane resetowalne bezpieczniki PPTC firmy Littelfuse; (poniżej) Symbole elementów PTC

pomagają absorbować energię i zapobiegają powstawaniu łuku elektrycznego.

Ostrożność podczas stosowania elementów zabezpieczających

Jak omówimy później, wstawienie niestarannie dobranego lub przypadkowego elementu ochronnego do układu zmienia charakterystykę elektryczną układu, dodając pasożytniczą rezystancję, pojemność, indukcyjność oraz ewentualnie prąd upływu. W przypadku bezpieczników najważniejsza jest zazwyczaj rezystancja i indukcyjność. Często te efekty pasożytnicze są na tyle słabe, że nie mają istotnego wpływu na działanie układu. Jednak w przypadku układów przetwarzania sygnałów o wysokiej czułości, elementy ochronne mogą znacząco wpłynąć na ich parametry.

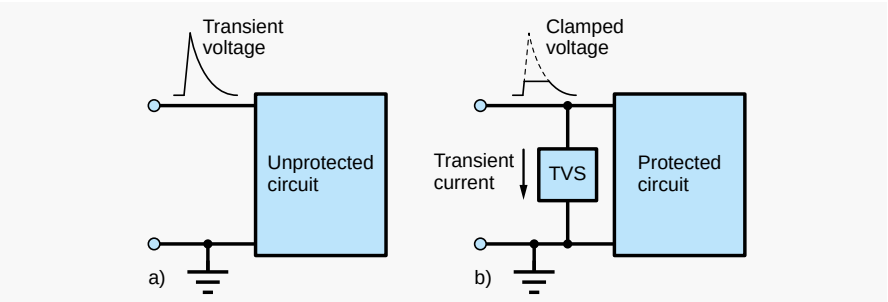
Alternatywą dla tradycyjnych bezpieczników, gdy ich wymiana jest trudna lub niewygodna, są elementy PTC (ang. Positive Temperature Coefficient), znane również jako bezpieczniki resetowalne lub polimerowe. Elementy te (PPTC) są wytwarzane z połączenia przewodzących cząsteczek i nieprzewodzącego polimeru. Przy wysokich prądach, które powodują nagrzewanie, polimer rozszerza się, co prowadzi do oddzielenia przewodzących cząsteczek i znacznego wzrostu rezystancji powyżej temperatury przełączania (lub wyłączania). Warto jednak pamiętać, że mimo wzrostu rezystancji, może nadal płynąć niewielki prąd upływu. W przypadku ceramicznych elementów PTC, rezystancja zmienia się w zależności od temperatury z powodu zmian właściwości granic ziaren materiału.

Symbol termistora PTC pokazano na **rysunku 2** – jest on podobny do symbolu używanego ogólnie dla termistorów i warystorów (patrz dalej). Wszystkie te elementy wykazują zmienną charakterystykę rezystancji w odpowiedzi na zmieniające się warunki. Należy pamiętać, że symbole elementów termistorowych mogą nie mieć krótkich odcinków na obu końcach przekątnej pokazanej na rysunku 2, ponieważ nie jest to konsekwentnie stosowane.

Bezpieczniki resetowalne PTC są określane w kategoriach prądu podtrzymania i prądu zadziałania. Prąd podtrzymania to maksymalny prąd w normalnych warunkach pracy – zmienia się on w zależności od temperatury. Prąd zadziałania (wyzwolenia) to prąd, przy którym nastąpi wyzwolenie (w danej temperaturze). Pomiędzy prądem podtrzymania i wyzwolenia element może znajdować się w stanie wysokiej lub niskiej rezystancji. W procesie projektowania układu wybiera się PTC z prądem podtrzymania powyżej maksymalnego normalnego prądu roboczego i prądem wyzwalania na poziomie lub poniżej minimalnego prądu, przy którym wymagana jest ochrona. Jeśli urządzenie wyłączy się, to po usunięciu warunku wyzwalającego PTC ostygnie i po pewnym czasie powróci do stanu przewodzenia.

Ochrona przeciwprzepięciowa

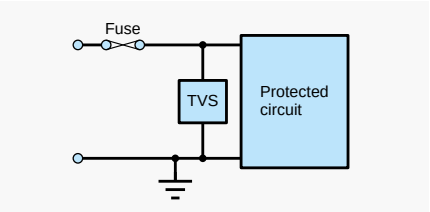
Istnieje kilka komponentów stosowanych do ochrony przed przepięciami, klasyfikowanych jako ograniczniki przepięciowe (TVS – Transient Voltage Suppressor). Wszystkie te elementy zmieniają swoje właściwości przewodzenia w odpowiedzi na zmieniające się napięcie. Przy stosunkowo niskich napięciach działają jak otwarte obwody, choć mogą mieć pewien prąd upływu, zazwyczaj w jednostkach lub dziesiątkach mikroamperów. Przy wyższych napięciach zaczynają przewodzić, skutecznie ograniczając skoki napięcia do poziomu tolerowanego przez układ, co zapobiega jego uszkodzeniu. Aby to osiągnąć, TVS musi być w stanie przewodzić duży nieustalony prąd podczas przepięcia. Czas reakcji jest kluczowy – TVS musi zareagować wystarczająco szybko, aby wychwycić skok napięcia, zanim spowoduje on uszkodzenie.



Rysunek 3. a) Obwód bez ograniczenia i b) Obwód z ograniczeniem napięcia przejściowego

Pojemność jest zazwyczaj kluczową cechą pasożytniczą elementów TVS. Dodanie pojemności do ścieżek sygnałowych może wpłynąć na odpowiedź częstotliwościową, zmniejszyć impedancję wejściową lub wpłynąć na szybkość przełączania, potencjalnie pogarszając skuteczność ochrony przepięciowej. Elementy TVS mogą wykazywać pojemność, która zmienia się wraz z napięciem – wprowadzi to zniekształcenia w układach przetwarzania sygnału. Prądy upływu mogą być również problemem w obwodach wymagających dużej precyzji.

Podstawowa koncepcja elementu TVS została zilustrowana na **rysunku 3**, który może mieć zastosowanie zarówno do połączenia z zasilaniem, jak i wejściem sygnału. Stan nieustalony udaru napięciowego to gwałtowny wzrost napięcia do poziomu, który spowoduje uszkodzenie układu. Rysunek 3 przedstawia typowy kształt przebiegu nieustalonego charakteryzujący się szybkim wzrostem, po którym następuje wolniejszy wykładniczy zanik. Rysunek 3a przedstawia niezabezpieczony układ, który zostanie uszkodzony przez stan nieustalony. Układ można zabezpieczyć podłączając na jego wejściu element TVS, jak pokazano na rysunku 3b. Element TVS przewodzi prąd powyżej określonego napięcia, skutecznie ograniczając napięcie do bezpiecznego poziomu podczas stanu nieustalonego, jak ilustruje przebieg na rysunku 3b. Aby to osiągnąć, TVS musi przewodzić duży prąd przejściowy i pochłaniać nadmiar energii.



Rysunek 4. Zabezpieczenie przez TVS połączone z bezpiecznikiem (zamiast zwykłego bezpiecznika można użyć bezpiecznika polimerowego PTC)

eprasa.pl 261515f3ed

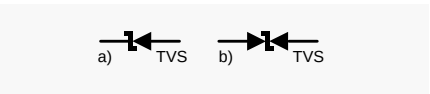
Iloczyn napięcia i prądu przejściowego oraz czasu trwania przepięcia określa ilość energii, z jaką musi poradzić sobie element TVS – to właśnie pochłanianie tej energii przez TVS chroni inne obwody. Zły dobór TVS do danej sytuacji może spowodować przekroczenie jego możliwości energetycznych, skutkując uszkodzeniem samego TVS. Ochrona może zostać utracona, a w najgorszym przypadku TVS może się przegrzać lub spalić, powodując dalsze uszkodzenia i potencjalne zagrożenie pożarowe. Jak wspomniano wcześniej, w niektórych sytuacjach mogą być używane bezpieczniki, aby zapobiec uszkodzeniu elementów TVS, gdy warunki mogą spowodować awarię TVS (**rysunek 4**).

Alternatywą dla ogranicznika napięciowego jest zabezpieczenie typu zwarciowego (crowbar), w którym obwód jest zwierany w warunkach EOS. Dotyczy to głównie szyn zasilania, a nie wejść sygnałowych. Takie zabezpieczenia są zazwyczaj stosowane na szynach zasilania, a nie w wejściach sygnałowych. Zabezpieczenia zwarciowe zazwyczaj wykorzystują układ, na przykład tyrystor wraz z obwodem wyzwalającym, a nie pojedynczy element. Te rozwiązania są często stosowane do wywoływania przepalenia bezpieczników, ale mogą również aktywować ograniczenie prądu ze źródła.

Czasem elementy TVS mogą zawieść w roli ogranicznika przepięciowego, wywołując efekt zwarciowy. W przypadku obecności zabezpieczenia nadprądowego (bezpiecznika), taki efekt zwarcia może być korzystniejszy niż awaria w postaci rozwarcia, która spowodowałaby utratę ochrony.

Elementy TVS

Diody TVS to diody Zenera lub diody lawinowe zaprojektowane do zastosowań TVS i mają podobną charakterystykę napięciowo-prądową do standardowych diod Zenera. Diody TVS są zoptymalizowane pod kątem zastosowań TVS, a nie stabilizacji napięcia; na przykład mają większy obszar złącza, aby ułatwić pochłanianie energii. Diody TVS są włączane w kierunku zaporowym i ulegają przebiciu, jeśli zostanie przyłożone wystarczająco duże napięcie wsteczne zaczynają przewodzić prąd, pochłaniając energię i ograniczając napięcie. Diody Zenera lub lawinowe mają podobną charakterystykę – nazwy odzwierciedlają różne mechanizmy fizyczne związane z przebiciem



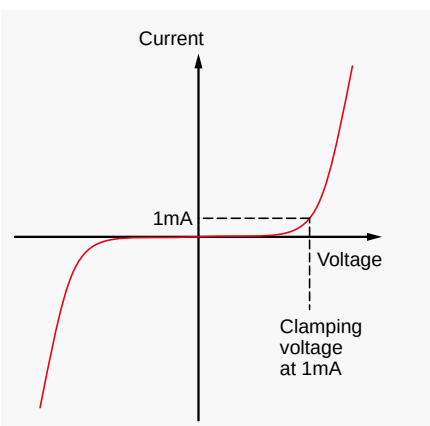
Rysunek 5. Symbole diod TVS: a) jednokierunkowa i b) dwukierunkowa

Rysunek 6. (powyżej) Warystory z tlenku cynku; (poniżej) Symbole elementów MOV

wstecznym. Diody TVS mają podobny lub taki sam symbol jak dioda Zenera (**rysunek 5a**). Aby zapewnić dwukierunkową ochronę, często stosuje się szeregowo dwie diody TVS, które są dostępne w pojedynczych obudowach o symbolu pokazanym na rysunku 5b.

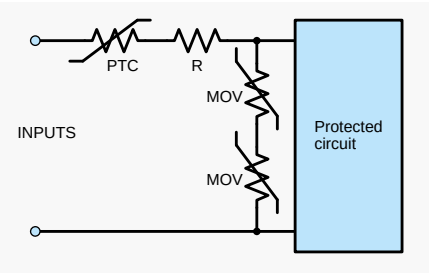
Zabezpieczenie warystorowe

Warystor lub rezystor zależny od napięcia (VDR – Voltage Dependent Resistor) to element, którego rezystancja zależy od przyłożonego napięcia. Najczęściej spotykane warystory wykonywane są z ceramiki i nazywane



Rysunek 7. Podstawowa charakterystyka MOV

Rysunek 8. Gazowe (wyładowcze) ograniczniki przepięć (GDT) firmy Eurotronix



Rysunek 9. Przykładowy obwód zabezpieczenia wejścia

są warystorami metalowo-tlenkowymi (MOV – Metal Oxide Varistor). Podobnie jak ceramiczne elementy PTC, właściwości elektryczne MOV są związane z granicami ziaren ceramiki, które działają jak sieć wielu diod. Choć warystory i termistory PTC mogą mieć podobne symbole elektryczne, można je łatwo rozróżnić dzięki odpowiednim oznaczeniom (**rysunek 6**). Ich charakterystyki prądowo-napięciowe są podobne do diod Zenera, z wyjątkiem tego, że przebicie następuje przy tym samym napięciu dla obu polaryzacji w pojedynczym elemencie (**rysunek 7**). Napięcie znamionowe MOV jest często określane jako napięcie, przy którym następuje przewodzenie prądu 1 mA – uważanego za najmniejszy prąd, przy którym następuje ograniczenie napięcia. Poniżej tego poziomu płynie tylko prąd upływu. Dla MOV o wyższym napięciu znamionowym prąd uznawany za początek ograniczenia napięcia ma wyższą wartość.

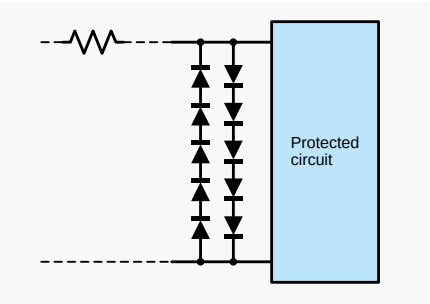
Gazowe (wyładowcze) ograniczniki przepięć

Gazowe tuby wyładowcze (GDT – Gas Discharge Tubes) zawierają dwie elektrody w szczelnej obudowie zawierającej gaz, który jonizuje się i przewodzi podczas skoku wysokiego napięcia. Iskierniki są uproszczoną wersją gazowych tub wyładowczych. Działają na zasadzie jonizacji powietrza przy osiągnięciu wystarczająco wysokiego napięcia. W momencie, gdy napięcie przekracza określony próg, powietrze w iskierniku ulega jonizacji, co pozwala na przewodzenie prądu i ochronę obwodu (**rysunek 8**).

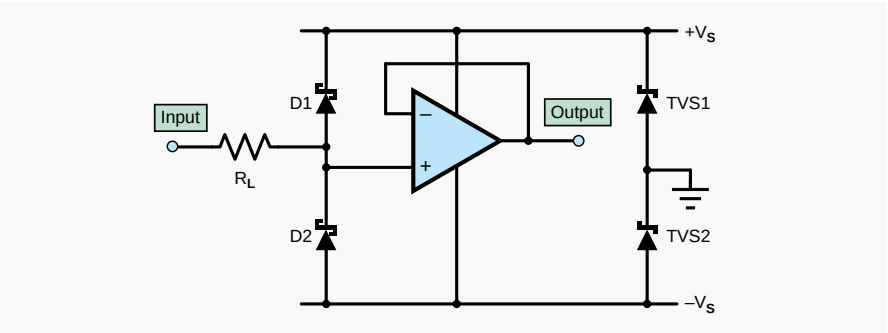
Obwody zabezpieczające

Rysunek 9 przedstawia przykładowy obwód ochrony wejścia, podobny do tych stosowanych w przyrządach pomiarowych, takich jak multimetry. W obwodzie tym zastosowano warystory MOV (metalowo-tlenkowe) do ograniczania napięcia. W celu zwiększenia skuteczności ochrony, używa się kilku warystorów w konfiguracji szeregowej – na rysunku przedstawiono dwa, ale możliwe jest zastosowanie ich w większej liczbie. Stosowanie wielu

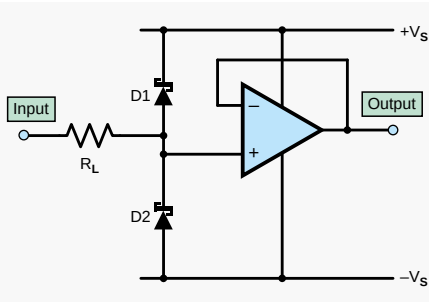
eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 10. Wykorzystanie szeregowo połączonych diod do ograniczenia napięcia wejściowego



Rysunek 12. Dodanie diod TVS do układu z rysunku 10 zapewnia dodatkową ochronę



Rysunek 11. Przykładowy układ: zabezpieczenie przepięciowe z wykorzystaniem diody ograniczającej

warystorów zmniejsza ryzyko wyładowań łukowych i obniża efektywną pojemność układu. Podczas wystąpienia stanu nieustalonego warystory MOV zaczynają przewozić bardzo szybko, podczas gdy element PTC wymaga więcej czasu na reakcję. W międzyczasie może płynąć duży prąd przejściowy, który jest ograniczany przez rezystor. Rezystor ten musi umieć obsłużyć stosunkowo dużą moc, aby skutecznie absorbować energię podczas przepięcia.

Elementy takie jak MOV, TVS i GDT są zwykle używane do ochrony przy stosunkowo wysokich poziomach napięcia (dziesiątki lub setki woltów lub więcej). Włączanie standardowych diod z polaryzacją w kierunku przewodzenia może być również wykorzystywane do ochrony przed przepięciami, gdy wymagana jest ochrona przy znacznie niższych napięciach. Ograniczenie napięcia można ustawić na poziomie wielokrotności napięcia przewodzenia diody (VF=0,6 do 0,7 V dla standardowych diod krzemowych), łącząc diody szeregowo. Przykład pokazano na **rysunku 10**, który wykorzystuje zestawy pięciu diod połączonych szeregowo, aby zapobiec przekroczeniu napięcia wejściowego około 3,5 V (5×0,7 V) w dowolnej polaryzacji. Obwód może również zawierać bezpiecznik lub rezystor ograniczający prąd. Ten sam efekt można osiągnąć przy użyciu mniejszej liczby diod, stosując mostek prostowniczy na wejściach, z dodatkowymi diodami podłączonymi na wyjściu mostka.

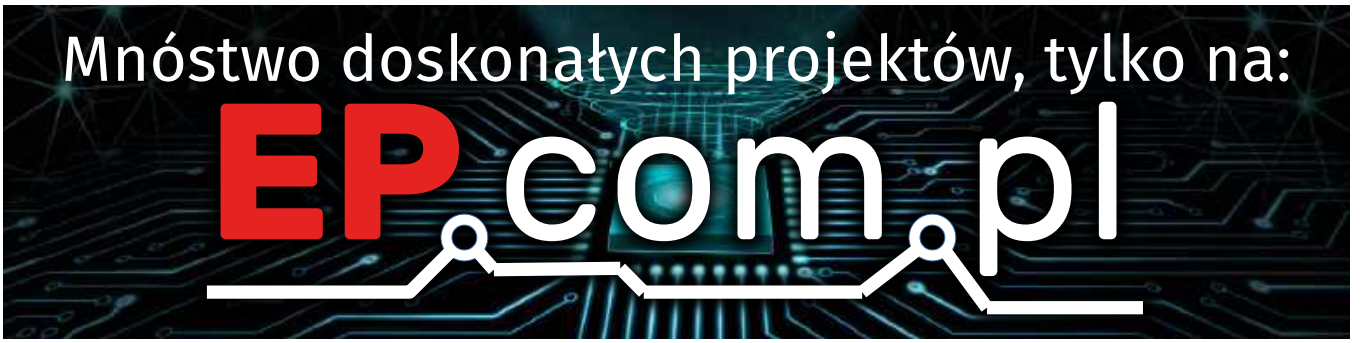
W przypadku wejść sygnałowych do układów wykorzystujących na przykład wzmacniacze operacyjne, przetworniki ADC lub mikrokontrolery, pojedyncze diody mogą być używane do ograniczania napięć wejściowych do poziomu szyn zasilających (lub dokładniej napięcia progowego jednej diody ponad napięcie szyny). Przykład takiego obwodu – buforowy wzmacniacz operacyjny o jednostkowym wzmocnieniu z zabezpieczeniem przeciwprzepięciowym pokazano na **rysunku 11**. Dioda D1 przewodzi, jeśli napięcie wejściowe wzrośnie powyżej dodatniego napięcia zasilania (V_p) o więcej niż napięcie progowe (spadek napięcia na diodzie przewodzącej, V_F). Gdy napięcie wejściowe wzrasta powyżej V_P, V_F dla D1 pozostaje prawie stałe, ograniczając napięcie na wejściu wzmacniacza operacyjnego do V_p+V_F. Podobnie, w przypadku ujemnych napięć wejściowych, wejście wzmacniacza operacyjnego jest ograniczone przez D2 na poziomie $-V_S - V_F$. Rezystor R_L ogranicza prąd, który może płynąć przez diody zabezpieczające, zapobiegając ich uszkodzeniu. W tego typu obwodach można stosować standardowe diody, ale diody Schottky'ego (jak pokazano na rysunku 11) mają niższe napięcie przewodzenia. Ogranicza to wejścia do niższego napięcia całkowitego i zapobiega przewodzeniu wewnętrznych diod zabezpieczających ESD wzmacniacza operacyjnego, unikając nadmiernego prądu w tych wewnętrznych diodach (ważne, ponieważ diody ESD nie są zaprojektowane do obsługi takiej sytuacji).

Przy wysokich napięciach przepięć obwód przedstawiony na rysunku 11 spowoduje wzrost napięcia szyny zasilającej. Może to spowodować uszkodzenie wzmacniacza operacyjnego lub stabilizatora napięcia. Aby temu zapobiec, zasilanie można zabezpieczyć za pomocą diod TVS, jak pokazano na **rysunku 12**. Prądy upływu w diodach wejściowych w obwodach na rysunkach 11 i 12 mogą pogorszyć parametry niektórych precyzyjnych układów (podczas normalnej pracy). Aby temu zaradzić, niektóre precyzyjne wzmacniacze operacyjne mają wewnętrzne obwody ograniczające, które zapewniają ochronę przy mniejszym wpływie na parametry wzmacniacza. ■

Ian Bell

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

REKLAMA



eprasa.pl 261515f3ed

Dziewięć tanich czujników gazu MOS serii MQ wyprodukowanych przez Hanwei Electronics w Henan w Chinach i powszechnie dostępnych w Internecie

Czujniki jakości powietrza

Na rynku jest wiele różnych czujników jakości powietrza i modułów pomiarowych. Niektóre z nich są zaskakująco tanie. W artykule zamieszczamy krótkie podsumowanie tego, co mierzą i jak działają.

Zainteresowanie czujnikami i monitorami jakości powietrza stale rośnie, zwłaszcza podczas dużych pożarów składowisk odpadów, zakładów używających do produkcji toksycznych materiałów, czy też obszarów leśnych i bagiennych. W powietrzu unosi się wtedy dużo szkodliwego dla zdrowia dymu. Powietrze jest również zanieczyszczane przez środki komunikacji i infrastrukturę wielkich miast.

Filtry powietrza i czujniki jakości powietrza są obecnie istotną częścią systemów klimatyzacji w budynkach biurowych, szpitalach i fabrykach. Jednak ceny filtrów i czujników opracowanych dla tych „wielkoskalowych" zastosowań są zazwyczaj bardzo wysokie.

Kiedy pod koniec 2019 r. pojawił się wirus COVID-19 i jego rosnąca rodzina mutacji, które wkrótce okazały się zdolne do rozprzestrzeniania się drogą kropelkową, zainteresowanie czujnikami jakości powietrza niemal eksplodowało. Wkrótce stało się jasne, że potrzebne są mniejsze i tańsze czujniki do kontrolowania jakości powietrza w środowiskach „mniejszej skali", takich jak domy, małe sklepy i szkoły.

Aby sprostać temu wyzwaniu, projektanci na całym świecie szybko opracowali wiele różnych rodzajów tanich czujników i modułów pomiaru jakości powietrza. Jest ich tak dużo, że wybór czujnika lub modułu najlepiej dostosowanego do konkretnego zastosowania może być zniechęcający.

W artykule opisano główne typy tanich czujników jakości powietrza i wyjaśniono, co każdy z nich mierzy i jak działa.

W dziedzinie związanej z czujnikami jakości powietrza funkcjonuje wiele akronimów, których znajomość może być przydatna dla czytelników planujących budowę urządzenia monitorującego jakość powietrza. Opis tych akronimów został zamieszczony w ramce „Słowniczek terminów".

Zanim przejdziemy do czujników, przyjrzyjmy się niepożądanym substancjom, które mogą znajdować się w powietrzu, którym oddychamy.

Co można znaleźć w powietrzu?

Istnieją trzy główne rodzaje szkodliwych składników w powietrzu, którym oddychamy: cząstki stałe, lotne związki organiczne i gazy toksyczne, takie jak dwutlenek siarki, dwutlenek azotu, ozon, tlenek węgla i wydychany przez nas samych dwutlenek węgla.

Pył zawieszony to cząsteczki dymu i smogu, które od dawna uznawane są za zagrożenie dla zdrowia. Zaliczamy do niego ponadto kropelki cieczy, które mogą zawierać wirusy i bakterie.

Obecnie funkcjonują trzy oficjalne kategorie pyłu zawieszonego w powietrzu, określone według wielkości i średnicy cząstek: PM10, PM2.5 i PM1.0. PM10 odnosi się do cząstek o średnicy mniejszej niż 10 mikrometrów (μm), PM2.5 do cząstek o średnicy mniejszej niż 2,5 μm, a PM1.0 do cząstek o średnicy mniejszej niż 1 μm. Dla porównania, grubość ludzkiego włosa zwiera się między 50 μm a 70 μm.

Cząsteczki o średnicy mniejszej niż 10 μm są wystarczająco małe, aby przedostać się przez nozdrza i gardło do płuc. W wyniku wdychania cząsteczki te mogą pozostać w naszych płucach i przyczynić się do poważnych problemów zdrowotnych, takich jak rozedma płuc i rak płuc.

Jeszcze mniejsze cząsteczki o średnicy mniejszej niż 2,5 μm mogą przenikać przez tkanki płuc i przedostawać się do krwiobiegu, gdzie mogą powodować jeszcze poważniejsze problemy w narządach takich jak serce, wątroba i nerki. Dotyczy to również cząstek o średnicy mniejszej niż 1 μm. PM1.0 jest prawdopodobnie mniej użytecznym kryterium niż pozostałe dwa, ponieważ wpływ tych cząstek jest podobny do PM2.5.

Całkowicie czyste powietrze jest prawie niemożliwe, zwłaszcza w środowisku miejskim. Zatem jakie poziomy pyłu zawieszonego w powietrzu są uważane za względnie „bezpieczne"? Aktualne wytyczne są następujące:

Cząsteczki PM10 nie powinny przekraczać 20 μg na metr sześcienny (Sμg/m^3) średnio w ciągu roku lub 50 μg/m^3 średnio w ciągu 24 godzin.

eprasa.pl 261515f3ed

Cząsteczki PM2,5 nie powinny przekraczać 10 μg/m^3 średnio w ciągu roku lub 25 μg/m^3 średnio w ciągu 24 godzin.

Jeśli chodzi o lotne związki organiczne (LZO), są to opary emitowane przez wiele materiałów używanych do budowy naszych domów i biur oraz wiele produktów, które w nich posiadamy i używamy. Typowe lotne związki organiczne, które mogą być obecne w powietrzu w pomieszczeniach to benzen, glikol etylenowy, formaldehyd, chlorek metylenu, tetrachloroetylen, toluen, ksylen i 1,3-butadien.

Nawiasem mówiąc, „organiczne" oznacza, że zawierają cząsteczki węgla (podobnie jak nasze organy, stąd nazwa), a nie, że zostały wyhodowane bez użycia syntetycznych nawozów lub pestycydów.

LZO pochodzą z farb, lakierów, podłóg winylowych, klejów i produktów z drewna kompozytowego. Wiele z nich może powodować problemy zdrowotne u osób z astmą i podobnymi problemami oddechowymi, a także u osób z określonymi alergiami. Obecnie nie ma jednak wielu wytycznych dotyczących „bezpiecznego poziomu" LZO, a ogólna rada wydaje się być taka, że należy je utrzymywać na jak najniższym poziomie – szczególnie w dłuższej perspektywie.

Teraz dochodzimy do gazów toksycznych. Najczęstszym z nich w naszych domach i biurach jest dwutlenek węgla (CO_2), ponieważ sami go wydychamy. Najlepszym sposobem na utrzymanie rozsądnego stężenia CO_2 jest zapewnienie odpowiedniej wentylacji. Mimo tego, jest on również głównym składnikiem gazów spalinowych, wraz z parą wodną (ale woda jest ogólnie nieszkodliwa).

Inne przykłady toksycznych gazów to dwutlenek siarki (SO_2), dwutlenek azotu (NO_2), tlenek węgla (CO) i ozon (O_3). Ponieważ CO powstaje głównie w wyniku niedoskonałego spalania, na szczęście nie powinno go być dużo w powietrzu wewnątrz naszych domów i biur. Jeśli jednak pracujesz w warsztacie samochodowym, na parkingu, w sąsiedztwie takich obiektów, lub posiadasz grzejnik gazowy bez odpowiedniej wentylacji, CO może być powodem do niepokoju.

W przeszłości zanieczyszczenie SO_2 było związane ze spalaniem drewna lub paliw kopalnych, takich jak węgiel. W dzisiejszych czasach, na obszarach miejskich, nie powinno to stanowić poważnego problemu – chyba że mieszkasz w pobliżu elektrowni węglowej lub do ogrzewania domu preferujesz staromodny kominek na drewno.

Podobnie jak CO, NO_2 jest wytwarzany generalnie w wyniku spalania. W otwartej przestrzeni głównym źródłem tych gazów są pojazdy silnikowe. W pomieszczeniach głównymi źródłami są gaz, drewno, olej, nafta, kominki i grzejniki opalane węglem oraz dym tytoniowy.

Ozon może być emitowany przez urządzenia biurowe wymagające wysokiego napięcia, takie jak drukarki laserowe i kserokopiarki. Jest on również generowany przez łuk elektryczny w silnikach szczotkowych. Obecnie dla niektórych z tych gazów obowiązują wytyczne dotyczące bezpieczeństwa:

- SO_2 – mniej niż 40 μg/m^3 średnio w ciągu jednej godziny.
- NO_2 – średnio mniej niż 10 μg/m^3 w ciągu roku lub 200 μg/m^3 w ciągu godziny.
- O_3 – poniżej 60 μg/m^3 średnio w ciągu ośmiu godzin.

Rodzaje czujników jakości powietrza

Obecnie spotykane najczęściej są cztery główne typy czujników jakości powietrza: typ tlenek metalu – półprzewodnik (MOS), typ niedyspersyjnego czujnika podczerwieni (NDIR), typ spektroskopu fotoakustycznego (PAS) i typ licznika cząstek stałych (PMC). Przyjrzyjmy się, jak one działają.

Czujniki MOS

Czasami nazywane czujnikami MOx, koncentrują się na zachowaniu cząstek tlenku metalu (zwykle tlenku cyny) po podgrzaniu w obecności powietrza i/lub innych gazów. Podstawową zasadę działania czujnika MOS przedstawiono na **rysunku 1** (przekrój poprzeczny czujnika MOS).

Krzemowe podłoże czujnika ma cienką warstwę tlenku cyny na wierzchu, umieszczoną tam przez chemiczne osadzanie z gazu. Elektrody na każdym końcu umożliwiają pomiar jej rezystancji. Na spodzie chipu znajduje się element grzewczy, używany do podgrzewania warstwy tlenku do około 200...250°C. Podgrzanie warstwy tlenku przyspiesza reakcję 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 LZO, cząsteczki tlenu na powierzchni tlenku są uwalniane, a warstwa zubożona staje się cieńsza. W rezultacie zmniejsza się efektywna rezystancja warstwy tlenku.

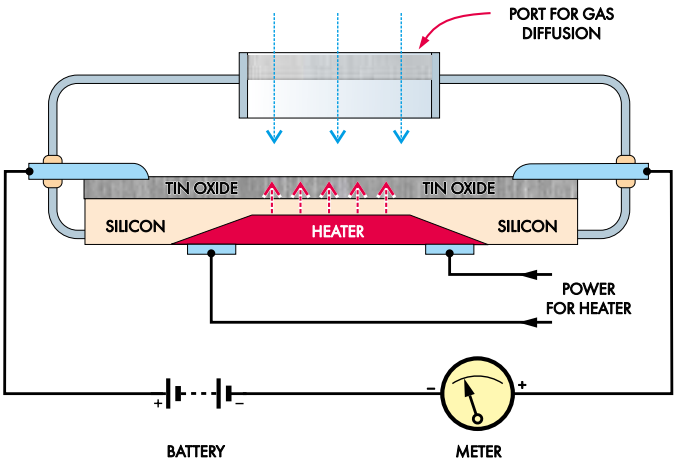
Prąd przepuszczany przez warstwę tlenku zmienia się więc proporcjonalnie do stężenia gazu redukującego w powietrzu otaczającym warstwę tlenku. Im to stężenie jest wyższe, tym wyższy płynie prąd.

Wykrywanie określonych LDO w czujnikach MOS jest realizowane przez odpowiednie domieszkowanie warstwy tlenku różnymi substancjami chemicznymi.

Ma to miejsce w serii czujników MQ produkowanych przez Hanwei Electronics Group w Henan w Chinach. Na przykład, czujnik MQ-3 został zaprojektowany do wykrywania oparów alkoholu, więc nadaje się do stosowania w „alkomatach". Z drugiej strony, czujnik MQ-5 został zaprojektowany do wykrywania gazu ziemnego, LPG i gazu węglowego, więc nadaje się do stosowania w detektorach wycieków gazu.

Pozostałe czujniki z tej serii wykrywają:

- MQ-4: metan
- MQ-6: LPG, izobutan i propan
- MQ-7: tlenek węgla (CO)
- MQ-8: wodór (H_2)
- MQ-9: metan (CH_4), LPG i CO
- MQ-135: amoniak (NH_3), tlenki azotu (NO_x), dwutlenek węgla (CO_2), alkohol, benzen i dym.



Rysunek 1. Ilustracja zasady działania czujnika MOS

eprasa.pl 261515f3ed

Wiele czujników Hanwei z serii MQ jest używanych w wielu tanich modułach czujników gazu dostępnych w Internecie. Wszystkie są w cylindrycznej sześcionóżkowej obudowie o średnicy 17 mm lub 20 mm i wysokości 10 mm lub 15 mm.

Większość z tych modułów ma wyjście analogowe o charakterze prądowym, a uzyskiwany z niego sygnał jest następnie buforowany z użyciem wzmacniacza operacyjnego i konwertowany na napięcie proporcjonalne do stężenia gazu. Napięcie to można następnie zmierzyć za pomocą multimetru cyfrowego (DMM) lub wprowadzić do jednego z wejść ADC mikrokontrolera (MCU).

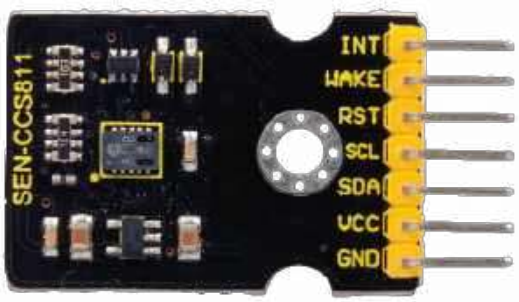
SGX Sensortech

Inne czujniki MOS, które można znaleźć w tanich modułach czujników powietrza/gazu to MiCS-5524 i MiCS-4514, oba wyprodukowane przez SGX Sensortech (dział firmy Amphenol) w Szwajcarii. Są one dostępne w obudowie SMD o wymiarach zaledwie 7 mm × 5 mm × 1,6 mm, więc są znacznie mniejsze niż czujniki z serii MQ.

Układ MiCS-5524 wykrywa CO, etanol, wodór, amoniak i metan, natomiast MiCS-4514 ma drugi czujnik MOS, który wykrywa dwutlenek azotu (NO_2).

Czujnik MiCS-5524 jest wykorzystywany w module wykrywania gazu o tej samej nazwie, dostępnym u różnych dostawców internetowych w cenie 40...50 zł. Moduł ten ma wymiary zaledwie 18 mm × 13 mm.

Czujnik MiCS-4514 jest używany w bardziej wyszukanym i nieco większym module (23 mm × 14 mm) MiCS-VZ-89TE, dostarczanym przez SGX Sensortech i dostępnym u wielu dostawców (m.in. element14). Moduł ten wyposażony jest w przetworniki ADC (analogowo-cyfrowe) oraz specjalny MCU z wbudowanymi algorytmami detekcji. Informacje dotyczące równoważnika CO_2 i TVOC (równoważnika izobutylenu) można odczytywać zarówno za pośrednictwem wyjść PWM, jak i magistrali szeregowej I^2C.



Dwa kolejne tanie moduły, w których jest zastosowany czujnik MOS CCS811 wyprodukowany przez ScioSense BV w Eindhoven. Po lewej – Geekcreit CJMCU-811, po prawej – Duinotech SEN-CCS811, dostępny np. w Jaycar (nr kat. XC3782)

ScioSense BV

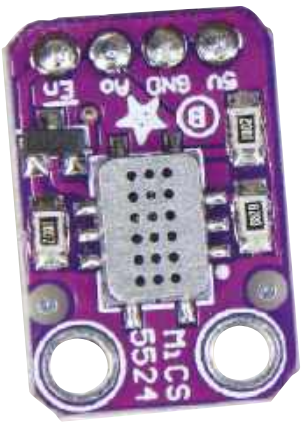
Kolejnym czujnikiem MOS stosowanym w tanich modułach czujników powietrza/gazu jest CCS811, wyprodukowany przez ScioSense BV w Eindhoven w Holandii.

Podobnie jak układy MiCS, czujnik CCS811 jest dostępny w niewielkiej obudowie SMD, ale jest jeszcze mniejszy i ma zaledwie 4 mm × 3 mm × 1,2 mm. Pomimo tego, CCS811 zawiera zarówno przetwornik ADC, jak i specjalnie zaprojektowany dla niego MCU z wbudowanymi algorytmami konwersji, a także cyfrowy interfejs I^2C do bezpośredniego połączenia z komputerem PC lub nadrzędnym MCU.

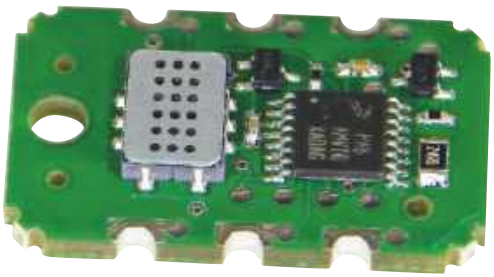
ScioSense klasyfikuje go jako „cyfrowy czujnik gazu o bardzo niskim poborze mocy" i twierdzi, że wykrywa on szereg LZO, zapewniając zarówno poziomy eTVOC (równoważne całkowite LZO), jak i eCO_2 (równoważne CO_2).

Czujnik CCS811 jest używany w kilku modułach pomiaru jakości powietrza, w tym w module Keyestudio KS0457 CO2 Air Quality, w 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.

Więcej szczegółów na temat czujników jakości powietrza MOS/MOx przedstawimy w innym artykule, w którym pokażemy również, jak podłączyć je do mikrokontrolera.



Dwa tanie moduły z czujnikami gazu MiCS5524 MOS szwajcarskiej firmy SGX Sensortech. Moduł po lewej stronie jest dostępny w Banggood (prawdopodobnie wyprodukowany przez Geekcreit), czujnik po prawej to MiCS-VZ-89TE z wbudowanym MCU dostarczany przez firmę SGX Sensortech



Czujniki NDIR

Innym rodzajem czujnika gazu jest niedyspersyjny czujnik podczerwieni (NDIR), który jak sama nazwa wskazuje, wykorzystuje światło podczerwone. Jest to prosty rodzaj spektrofotometru, w którym nie ma żadnych elementów „dyspersyjnych", takich jak pryzmat lub siatka dyfrakcyjna służących do oddzielania różnych długości fal. Zamiast tego są w nim stosowane filtry optyczne i/lub wąskopasmowe źródło podczerwieni – dioda LED lub laser półprzewodnikowy.

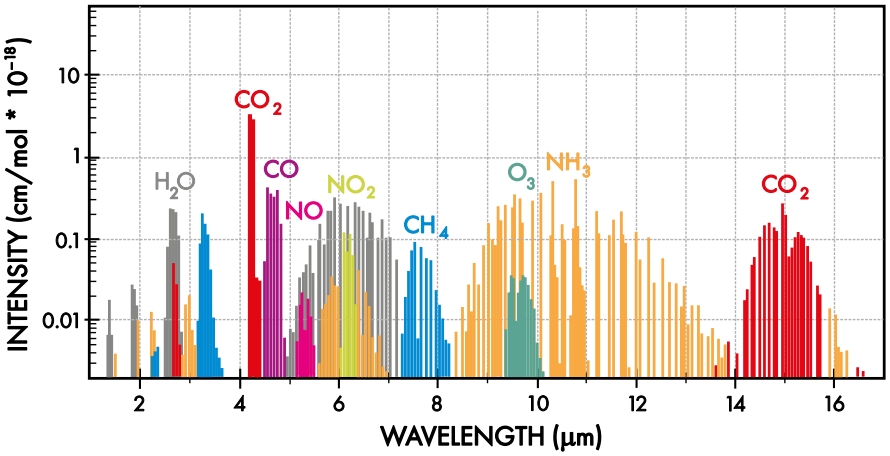
Jakiś czas temu odkryto, że cząsteczki różnych gazów pochłaniają światło o określonej długości fali w podczerwieni (i bliskiej podczerwieni). Pierre Bouguer odkrył ogólną zasadę przed rokiem 1729, a później została ona rozwinięta przez Johanna Lamberta w 1760 roku i Augusta Beera w 1852 roku. Obecnie jest znana jako prawo Beera-Lamberta lub prawo Beera-Lamberta-Bouguera.

Okazuje się, że po przepuszczeniu światła o określonej długości fali przez mieszaninę powietrza i gazu jest ono tłumione w stopniu proporcjonalnym do stężenia obecnego w tej mieszaninie gazu. Widma absorpcyjne różnych gazów pokazano na **rysunku 2**.

Dwutlenek węgla (CO_2) pochłania światło o długości fali 4,26 μm (czerwone linie), a także w grupie długości fal około 15 μm. Podobnie ozon (O_3) pochłania światło o długości fali 9,4...10 μm (linie ciemnozielone), natomiast tlenek węgla (CO) pochłania światło o długości fali 4,6...4,8 μm (linie fioletowe), a dwutlenek azotu (NO_2) pochłania światło o długości fali 6,17...6,43 μm (linie jasnozielone).

Zasada działania prostego czujnika NDIR została przedstawiona na **rysunku 3**. Światło podczerwone pochodzi z diody LED po lewej stronie, podczas gdy po prawej stronie znajdują się dwa detektory podczerwieni za oddzielnymi filtrami optycznymi. Jeden filtr przepuszcza tylko światło o długości fali odpowiadającej wykrywanemu gazowi, natomiast drugi filtr przepuszcza albo wszystkie inne długości fal, albo długość fali pochłanianą przez gaz taki jak azot, który jest głównym

eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 2. Widma absorpcyjne różnych gazów, które mogą być wykrywane przez niektóre moduły czujników

składnikiem powietrza. Porównując dane wyjściowe dwóch detektorów podczerwieni, można określić proporcję gazu, który ma zostać wykryty w komorze.

Detektory podczerwieni są od lat stosowane w systemach ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji (HVAC). Były one jednak zwykle duże i stosunkowo drogie – aż do niedawna, gdy diody LED IR i detektory podczerwieni oparte na systemach mikroelektromechanicznych (MEMS) pozwoliły na ich zmniejszenie i obniżenie kosztów.

Wciąż jednak nie pojawiły się one na rynku tanich czujników jakości powietrza (LCAQS).

Czujniki PAS

Innym rodzajem czujnika gazu jest spektroskopia fotoakustyczna lub czujnik PAS, który ponownie wykorzystuje sposób, w jaki określone długości fal IR mogą być absorbowane przez cząsteczki danego gazu (zgodnie z prawem Beera-Lamberta). Jednak w czujnikach PAS stopień absorpcji nie jest mierzony bezpośrednio.

Zamiast tego wykorzystują zjawisko odkryte po raz pierwszy przez Alexandra Grahama Bella w 1880 roku: gdy cienki dysk jest wystawiony na impulsy światła słonecznego (za pomocą obracającego się koła szczelinowego), emituje dźwięk. Później Bell wykazał, że materiały wystawione na działanie niewidzialnych długości fal światła słonecznego (takich jak podczerwień i ultrafiolet lub UV) również emitują dźwięk.

Podstawową strukturę czujnika PAS pokazano na **rysunku 4**. Po lewej stronie ponownie znajduje się impulsowe źródło światła podczerwonego (zazwyczaj matryca LED MEMS), z filtrem optycznym po prawej stronie przepuszczającym tylko światło o długości fali pochłanianej przez wykrywany gaz. W tym przykładzie długość fali 4,2 µm do wykrywania CO_2.

Na drugim końcu komory znajduje się mikrofon MEMS, zoptymalizowany do wykrywania niskich częstotliwości dźwięku. Po wzmocnieniu wykrytego dźwięku można tak uzyskany sygnał przekształcić na postać liczbową odpowiadającą stężeniu CO_2 obecnego w komorze. Należy zauważyć, że czujnik jako całość jest otoczony warstwą izolacji akustycznej, aby zmniejszyć wpływ dźwięków zewnętrznych.

Czujniki LCAQS działające na zasadzie PAS pojawiły się dopiero w ciągu ostatnich kilku lat, ponieważ ich rozwój zależał od technologii MEMS. Jedynym obecnie dostępnym czujnikiem jest XENSIV PAS CO_2 firmy Infineon Technologies (oddział Siemensa w Monachium).

Jest to bardzo kompaktowy moduł PCB o wymiarach zaledwie 14 mm × 13,8 mm × 7,5 mm, który łączy czujnik PAS ze specjalnym MCU obsługującym zaawansowane algorytmy kompensacji. Moduł minipłytki czujnika CO_2 Infineon XENSIV PAS jest obecnie dostępny u dostawców takich jak element14 i Mouser Electronics.

Czujniki cząstek stałych

Czwartym rodzajem czujników jakości powietrza są czujniki lub liczniki cząstek stałych lub „PM". Można je podzielić na trzy grupy w zależności od wielkości cząstek, które mają wykrywać: mniej niż 10 µm (PM10), mniej niż 2,5 µm (PM2,5) i mniej niż 1 µm (PM1,0). Jednak niektóre z nich zapewniają kilka „kanałów" do obsługi cząstek o różnych rozmiarach.

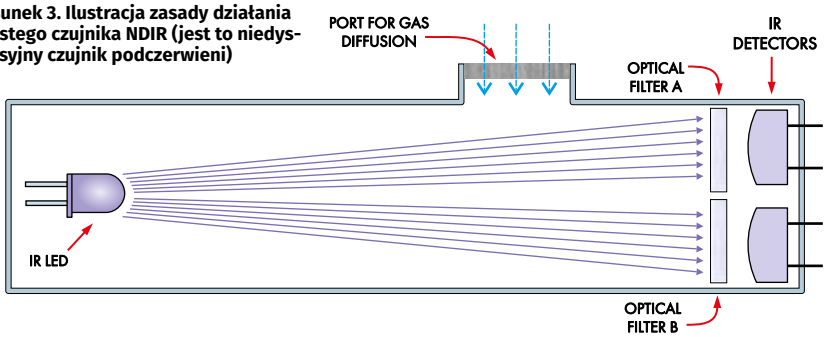
Obecnie typ PM2.5 jest najbardziej rozpowszechniony w niskokosztowym segmencie rynku, więc skupimy się na tym typie czujników. Podstawową zasadę ich działania pokazano na **rysunku 5**.

Mały wentylator zasysa powietrze z otoczenia do kanału, który przechodzi przez komorę pomiarową. Mały laser wysyła skupioną wiązkę światła przez komorę, gdzie wszelkie cząsteczki materii w powietrzu rozpraszają światło na boki. Jedna lub więcej fotodiod po bokach komory wykrywa to rozproszone światło.

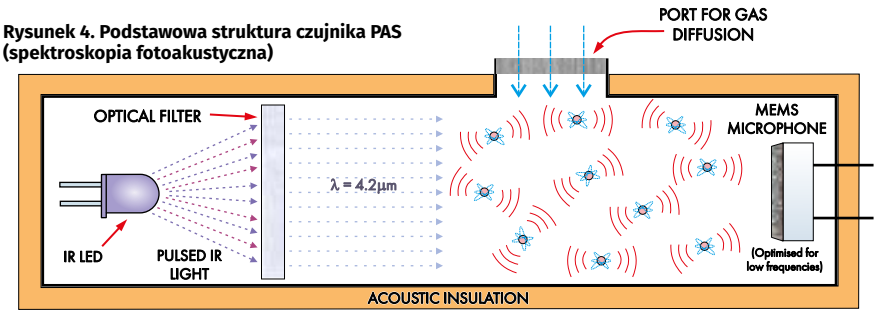
Każde światło, które nie zostanie rozproszone przez cząsteczki PM, przechodzi przez komorę i jest pochłaniane przez „pochłaniacz wiązki".

Stężenie cząstek w powietrzu można obliczyć na podstawie pomiaru mocy sygnału wyjściowego mierzonego przez fotodiody. Jednocześnie kontrolowana jest prędkość wentylatora, który powinien utrzymywać stałą

Rysunek 3. Ilustracja zasady działania prostego czujnika NDIR (jest to niedyspersyjny czujnik podczerwieni)



Rysunek 4. Podstawowa struktura czujnika PAS (spektroskopia fotoakustyczna)



eprasa.pl 261515f3ed

Słowniczek terminów

ADC (Analog-to-Digital Converter) – urządzenie, które przetwarza prąd lub napięcie na wartość cyfrową (zazwyczaj liczbę całkowitą).

eCO_2 – Stężenie CO_2 w powietrzu obliczone na podstawie pomiaru stężenia lotnych związków organicznych (patrz poniżej)

COPD – Przewlekła obturakcyjna choroba płuc – obejmuje astmę, rozedmę płuc, azbestozę itp.

IAQ – Jakość powietrza w pomieszczeniach.

LCAQS – Niskobudżetowe czujniki jakości powietrza – oficjalnie zdefiniowane jako czujniki kosztujące mniej niż 500 USD(!).

MCU (mikrokontroler) – mały mikroprocesor z wbudowaną pamięcią i urządzeniami peryferyjnymi.

MEMS (Micro ElectroMechanical Systems) – układy scalone zawierające elementy mechaniczne. Szczegółowe informacje można znaleźć w artykule z listopada 2020 r. (siliconchip.com.au/Article/14635).

MOS (Metal Oxide Semiconductor) – rodzaj półprzewodnika, który zmienia swoją rezystancję w zależności od stężenia gazów redukujących, na które jest narażony, umożliwiając wykrywanie CO i niektórych lotnych związków organicznych.

MOx – Inna nazwa dla MOS.

NDIR – Niedyspersyjny czujnik podczerwieni (IR).

NO_x – Tlenki azotu, NO_2 i NO_3, zwykle powstające, gdy powietrze jest podgrzewane do bardzo wysokich temperatur (np. wewnątrz silnika spalinowego, zwłaszcza silników wysokoprężnych).

PAS (Photo Acoustic Spectroscopy) – cząsteczki gazu wystawione na działanie impulsów podczerwieni wytwarzają dźwięk, który można wykorzystać do określenia stężenia gazu.

PMC (licznik cząstek stałych) – urządzenie zliczające liczbę cząstek stałych w próbce powietrza.

PM10 – Pył zawieszony w powietrzu zawierający tylko cząstki o średnicy mniejszej niż 10 µm.

PM2.5 – Pył zawieszony w powietrzu zawierający tylko cząstki o średnicy mniejszej niż 2,5 µm.

PM1.0 – Pył zawieszony w powietrzu zawierający tylko cząstki o średnicy mniejszej niż 1 µm.

tVOC – A VOC (patrz poniżej) równoważny referencyjnemu stężeniu izobutylenu (VOC).

VOCs (lotne związki organiczne) – duża grupa chemikaliów w wielu produktach, które mamy w naszych domach i biurach; ich opary, jeśli są wdychane, mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia.

prędkość objętościową przepływającego przez komorę powietrza. Wynik podawany jest w jednostkach µg/m³ (mikrogramy na metr sześcienny).

Należy pamiętać, że tradycyjną i najdokładniejszą metodą pomiaru PM jest metoda „grawimetryczna". Jej najważniejszym elementem jest wstępnie zważony czysty filtr zbierający cząstki zanieczyszczeń z powietrza przez 24-godzinny okres pobierania próbek. Po jego zakończeniu filtr jest ponownie ważony w celu określenia całkowitej masy nagromadzonych cząstek w mikrogramach. Stężenie uzyskuje się przez podzielenie tej liczby przez objętość powietrza, które przeszło przez filtr w ciągu 24-godzinnego okresu pobierania próbek.

Obecnie dostępnych jest kilka tanich czujników PM2,5, do których należy np. moduł czujnika Grove-Laser PM2,5 oparty na czujniku Seeed Studio HM3301 z Shenzen w Chinach, czujnik SN-GCJA5 wyprodukowany przez Panasonic Photo and Lighting Co. w Osace w Japonii oraz czujnik SPS30 PM firmy Sensirion w Staefa w Szwajcarii.

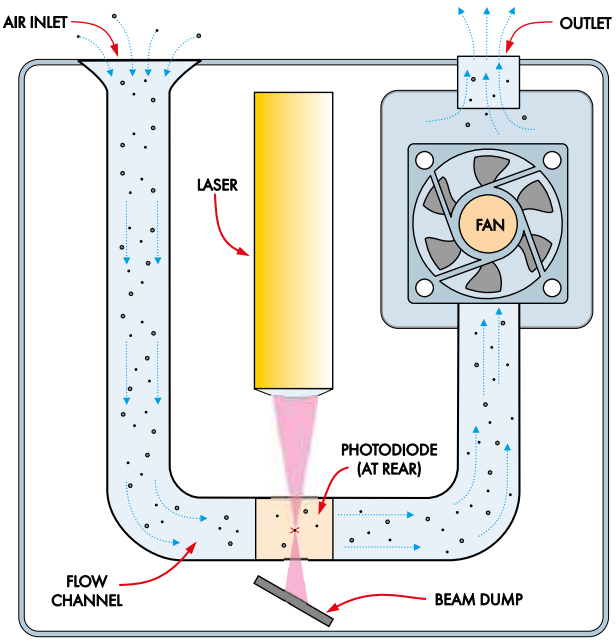
Czujnik Seeed Studio HM3301 znajduje się w kompaktowej obudowie z tworzywa sztucznego i metalu o wymiarach 38 mm × 40 mm × 15 mm. Oprócz wentylatora, lasera i fotodiod, ma też wbudowaną elektronikę, która zapewnia sterowanie wentylatorem, wzmacnia sygnał fotodiody, filtruje go, realizuje wielokanałową akwizycję danych, ma też własny MCU, którego zadaniem jest przetwarzanie danych. Są one następnie przekazywane do urządzenia nadrzędnego interfejsem I²C.

W module Grove-Laser PM2.5 czujnik HM3301 jest zamontowany na płytce drukowanej o wymiarach 80 mm × 40 mm, z czteropinowym złączem na jednym końcu, za pośrednictwem którego czujnik jest podłączany do zasilania 3,3 V...5 V, a liniami I²C do komputera lub zewnętrznego MCU. Efektywny zakres pomiarowy PM2.5 modułu wynosi 1...500 µg/m³, chociaż może on mierzyć do maksymalnego poziomu 1000 µg/m³.

Moduł ten jest dostępny u wielu dystrybutorów działających na polskim rynku.

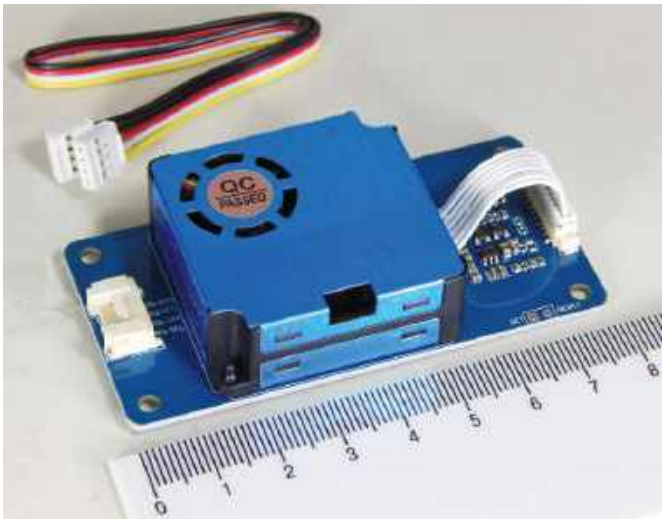
Czujnik Panasonic SN-GCJA5 PM2.5 również jest zamknięty w kompaktowej obudowie z tworzywa sztucznego o wymiarach 37 mm × 37 mm × 12 mm i wadze 13 g. Podobnie jak czujnik HM3301, zawiera całą elektronikę do sterowania prędkością wentylatora, wzmacniania i filtrowania sygnałów z fotodiod oraz MCU do przetwarzania danych.

Sygnały są wyprowadzane interfejsem I²C lub UART TX. Efektywny zakres pomiarowy

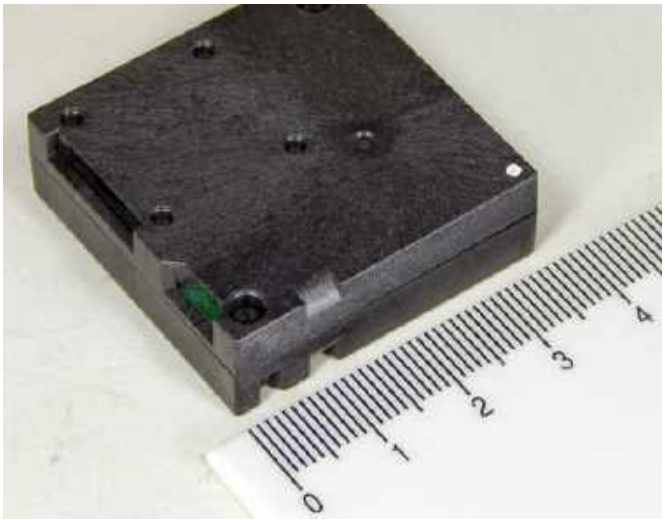


Rysunek 5. Podstawowa zasada działania czujnika PM (cząstek stałych)

eprasa.pl 261515f3ed



Moduł czujnika powietrza Grove Laser PM2.5 bazuje na czujniku cząstek stałych Seeed HM3301. Sam czujnik ma wymiary zaledwie 38 mm × 40 mm × 15 mm, a moduł jest dostarczany z kablem do podłączenia do Arduino lub podobnego modułu z MCU



Czujnik cząstek stałych PM2.5 SN-GCJA5 firmy Panasonic jest dostarczany w małej, plastikowej obudowie o wymiarach 37 mm × 37 mm × 12 mm. Oprócz wentylatora, lasera i fotodetektora, zawiera całą elektronikę i zapewnia wyjścia cyfrowe I²C i UART

tego modułu zawiera się w przedziale od 0 do 2000 μg/m³.

Czujnik Panasonic SN-GCJA5 PM2.5 jest dostarczany w kompaktowej plastikowo-metalowej obudowie o wymiarach 41,2 mm × 41,2 mm × 12,3 mm i wadze zaledwie 26,3 g. Zawiera w sobie całą elektronikę do sterowania prędkością wentylatora, wzmacniania i filtrowania sygnałów fotodiody oraz MCU do przetwarzania danych.

Dane są przesyłane interfejsami I²C lub UART TX/RX (do wyboru). Efektywny zakres pomiarowy PM2,5 zawiera się w przedziale od 0 do 1000 μg/m³.

Moduł jest dostępny u wielu dystrybutorów działających na polskim rynku.

Niektóre z opisanych czujników będą dokładniej omówione w kolejnym artykule. ■

Jim Rowe

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

REKLAMA

UWAGA! **Tylko prenumeratorzy czasopism Elektronika dla Wszystkich, Elektronika Praktyczna, Świat Radio oraz Elektronik mogą korzystać z atrakcyjnych rabatów w Sklepie AVT:**

- ✓ **do 50% na wydania specjalne czasopism Wydawnictwa AVT**
- ✓ **20% na kity w wersji A (płytki drukowane do projektów AVT)**
- ✓ **10% na pozostałe wersje kitów: (A+, B, C, D)**
- ✓ **10% na książki**
- ✓ **5% na pozostałe produkty z oferty sklepu**

Ponadto każdy prenumerator ww. czasopism korzysta z rabatów od 30% do 50% na zakup czasopism z oferty www.UlubionyKiosk.pl

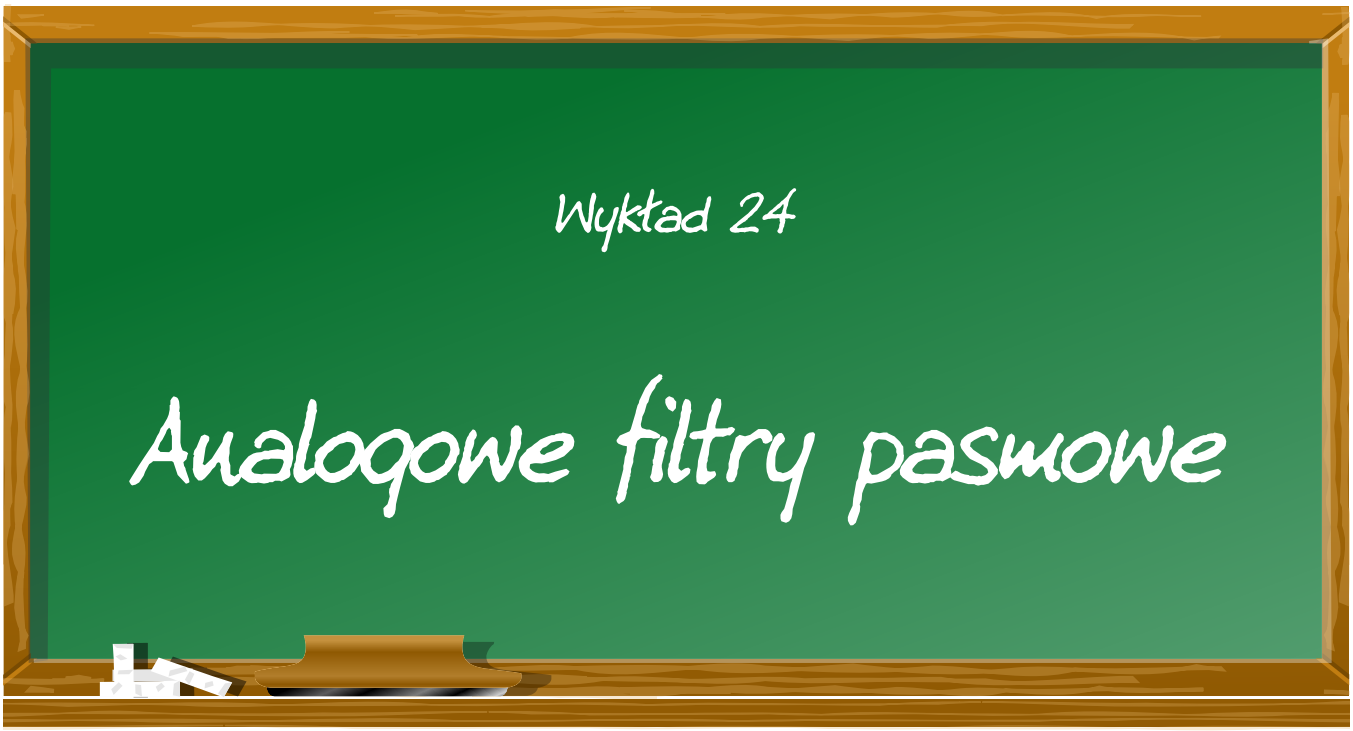
KLUB AVT ELEKTRONIKA

Jak uzyskać rabat? Podczas zamówienia powołaj się na swój numer prenumeraty – otrzymasz go mailowo po zakupie prenumeraty wraz z kartą członkowską Klubu AVT-Elektronika.

Regulamin Klubu AVT-Elektronika znajdziesz na stronie https://sklep.avt.pl/klub-avt-elektronika

eprasa.pl 261515f3ed

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.



Analogowe filtry pasmowe operują tylko na wąskim zakresie częstotliwości sygnału. Filtry te można podzielić na filtry pasmowo-przepustowe, filtry pasmowo-zaporowe i na EQ.

Wymagane informacje podstawowe

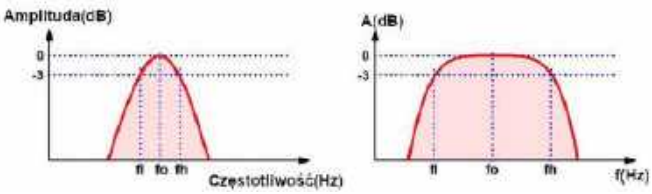
Czy terminy takie jak charakterystyka amplitudowa, częstotliwość odcięcia, dB/oktawę, filtr drugiego rzędu, wykres Bode'a i filtr Butterwortha nic dla Ciebie nie znaczą? W takim razie zdecydowanie zalecamy zapoznać się z dzisiejszym materiałem. W artykule przedstawiono ogólne koncepcje filtrów analogowych.

Filtr pasmowo-przepustowy

Wprowadzenie. Filtry pasmowo-przepustowe można podzielić na dwie główne grupy:

- filtry wąskopasmowe,
- filtry szerokopasmowe.

Różnica między tymi dwoma filtrami została przedstawiona na poniższym rysunku. Po lewej stronie narysowano filtr wąskopasmowy, a po prawej szerokopasmowy. Trudno jest określić, gdzie kończy się definicja filtra wąskopasmowego, a zaczyna ta dotycząca szerokopasmowego. W większości przypadków filtr szerokopasmowy ma „płaski wierzchołek" w swojej charakterystyce amplitudowej.



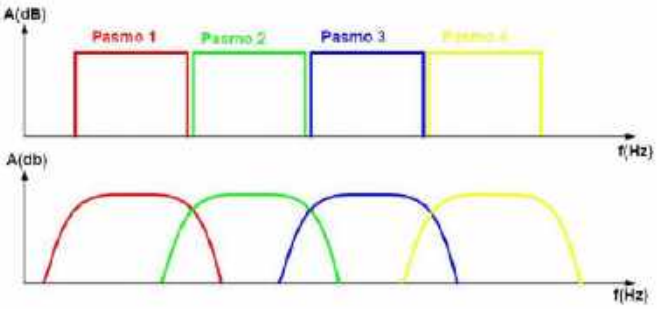
1. Wąskopasmowy i szerokopasmowy filtr pasmowo-przepustowy (© 2020 Jos Verstraten)

Szerokość pasma B. Istnieje pewien zakres częstotliwości, dla którego wzmocnienie filtra jest maksymalne. Wzmocnienie to jest zwykle ustawione na 0 dB. Główną cechą filtra pasmowo-przepustowego jest jego szerokość pasma B. Jest to zakres częstotliwości, dla którego tłumienie filtra jest mniejsze niż –3 dB, mierzone względem częstotliwości środkowej filtra f_o. Na powyższych wykresach szerokość pasma jest zatem zdefiniowana przez obszar między częstotliwościami f_l i f_h. Szerokość pasma zmniejsza się, gdy filtr staje się węższy.

Stromość filtra pasmowo-przepustowego. Inną ważną cechą filtra pasmowo-przepustowego jest jego stromość. Jest to nachylenie, przy którym sygnały o częstotliwościach spoza szerokości pasma są tłumione. Stopień pożądanej stromości zależy od zastosowania filtra pasmowo-przepustowego. Jeśli używasz wielu identycznych filtrów pasmowo-przepustowych do stworzenia analizatora widma dźwięku na wielu słupkach LED, wówczas stromość filtrów powinna być jak największa. Wyjaśniają to wykresy na poniższym

eprasa.pl 261515f3ed

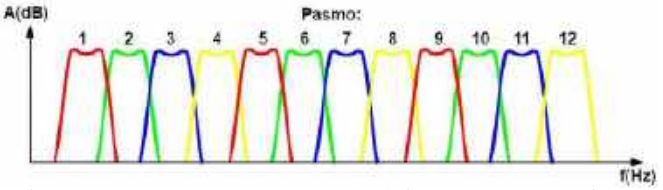
rysunku. Na górnym wykresie przedstawiono idealną odpowiedź czterech filtrów pasmowoprzepustowych. Filtry mają nieskończenie dużą stromość; cały zakres częstotliwości jest starannie podzielony na cztery podobszary bez nakładania się czterech filtrów pasmowo-przepustowych. Na dolnym wykresie przedstawiono charakterystyki amplitudowe czterech filtrów pasmowo-przepustowych o niskiej stromości. Charakterystyki te w dużym stopniu nakładają się na siebie, więc niektóre sygnały o częstotliwościach wypadających między teoretycznymi pasmami będą wyświetlane na słupkach LED błędnie.



2. Pojęcie stromości zbocza wyjaśnione na przykładzie (© 2020 Jos Verstraten)

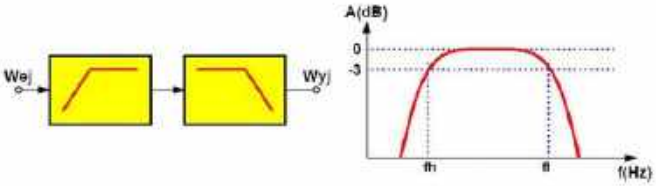
Współcześnie w analizatorach widma nie stosuje się już analogowych filtrów pasmowo-przepustowych, lecz używa się cyfrowego przetwarzania sygnałów z szybką transformatą Fouriera. Również hobbyści sięgają po takie rozwiązania, i są dostępne gotowe projekty oparte o płytki Arduino, ESP8266/ESP32 czy STM32. Przyp. tłum.

Strome filtry nie zawsze są pożądane. Jeśli jednak używasz filtrów pasmowych do dzielenia sygnału audio na kilka pasm, które kontrolują kanały organów świetlnych, wówczas bardzo strome filtry są niepotrzebne, a nawet niepożądane. Wyjaśnia to wykres na poniższym rysunku. W takich zastosowaniach należy zaprojektować filtry pasmowe tak, aby zachodziły na siebie. Zapewnia to pożądaną grę kolorów w organach świetlnych w funkcji częstotliwości sygnału muzycznego.



3. Filtry pasmowo-przepustowe dla organów świetlnych o selektywnej częstotliwości (© 2020 Jos Verstraten)

Szerokopasmowy filtr pasmowo-przepustowy. Filtr szerokopasmowy powstaje, jak pokazano na poniższym rysunku, przez połączenie w odpowiedniej kolejności filtra dolnoprzepustowego i górnoprzepustowego. Jak wynika z charakterystyki amplitudowej, istnieją teraz dwie częstotliwości odcięcia f_l i f_h, które określają szerokość pasma B obwodu. Częstotliwość f_h jest częstotliwością odcięcia filtra górnoprzepustowego, f_l jest częstotliwością odcięcia filtra dolnoprzepustowego. Aby obwód działał jako filtr pasmowo-przepustowy tylko wtedy, gdy f_h jest mniejsza niż f_l. Należy oczywiście dokładnie dopasować charakterystyki obu podfiltrów. Oznacza to, że należy użyć tej samej topologii filtra dla obu filtrów. Wybór topologii zależy od stromości, jaką chcemy nadać filtrowi (i innych pożądanych parametrów – przyp. tłum.). W przypadku bardzo stromych filtrów należy oczywiście użyć topologii Chebysheva.



4. Szerokopasmowy filtr pasmowo-przepustowy (© 2020 Jos Verstraten)

Wąskopasmowy filtr pasmowo-przepustowy. Często pożądane jest filtrowanie jednej konkretnej częstotliwości z szerokiego spektrum. Filtry szerokopasmowe nie nadają się do tego celu. Teoretycznie można użyć opisanego wyżej rozwiązania, ale wymagałoby to użycia filtrów górnoprzepustowego i dolnoprzepustowego o bardzo stromych charakterystykach, czyli filtrów przynajmniej czwartego rzędu. Oznaczałoby to konieczność użycia czterech wzmacniaczy operacyjnych. Obwód staje się wtedy bardzo złożony, a dostrojenie charakterystyki obu filtrów nie jest proste.

Na szczęście istnieją prostsze obwody. Na poniższym rysunku przedstawiono stromy filtr pasmowo-przepustowy z tylko jednym wzmacniaczem operacyjnym. Obwód jest bardzo podobny do oscylatora sinusoidalnego działającego na zasadzie mostka Wiena. Częstotliwość, przy której filtr jest dostrajany, jest określana przez elementy C1, C2, R2 i R3 oraz zgodnie z wyrażeniem:

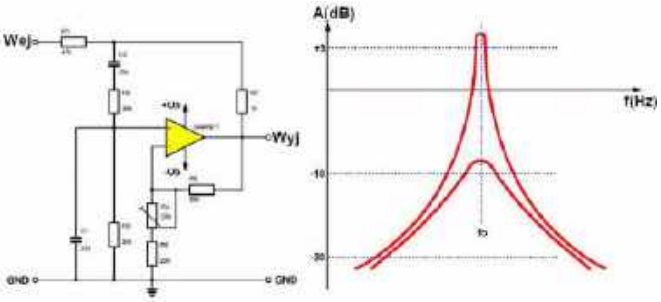
$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

gdzie:
R=R2=R3
C=C1=C2

Wzmocnienie filtra jest określane przez stosunek rezystorów R4, R5 i R6 i jest to zgodne ze wzorem:

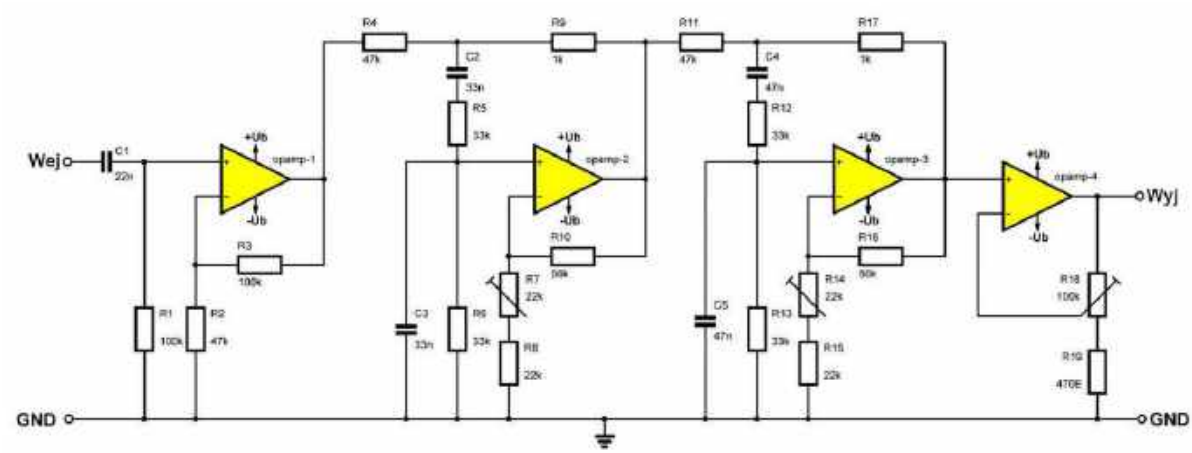
$$A = 1 + \frac{R6}{(R4 + R5)}$$

W każdym przypadku współczynnik wzmocnienia powinien być mniejszy niż trzy. Wynika to z faktu, że przy większej wartości obwód nie będzie działał jako filtr, ale jako oscylator. Dlatego konieczne jest zaimplementowanie jednego z wymienionych rezystorów jako potencjometru regulacyjnego.



5. Prosty wąskopasmowy filtr pasmowo-przepustowy (© 2020 Jos Verstraten)

eprasa.pl 261515f3ed

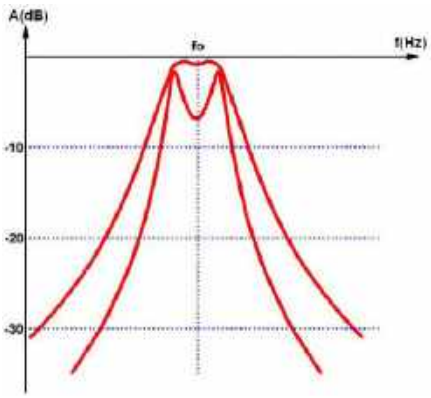


6. Filtrowanie wąskiego pasma częstotliwości (© 2020 Jos Verstraten)

Jak pokazano na powyższym rysunku, charakterystyka amplitudowa filtra zależy od ustawienia wzmocnienia. Im bardziej wzmocnienie zbliża się do krytycznej wartości maksymalnej wynoszącej trzy, tym ostrzejszy będzie filtr i tym większe będzie wzmocnienie przy częstotliwości rezonansowej f_0.

Filtrowanie wąskiego pasma częstotliwości. Jeśli konieczne jest odfiltrowanie nie konkretnej częstotliwości, ale wąskiego pasma częstotliwości z widma, można przełączyć kolejno dwa identyczne obwody, z których każdy jest dostrojony do nieco innej częstotliwości filtra. Schemat przedstawiono na powyższym rysunku. W zależności od dostrojenia potencjometrów R7 i R14, można ustawić charakterystykę przepustową z płaską górą lub z dwoma maksimami.

Charakterystyka, patrz wykres poniżej, jest bardzo podobna do podwójnie dostrojonego filtra LC stosowanego w analogowych wzmacniaczach radiowych i telewizyjnych.



7. Charakterystyka amplitudowa opisanego obwodu (© 2020 Jos Verstraten)

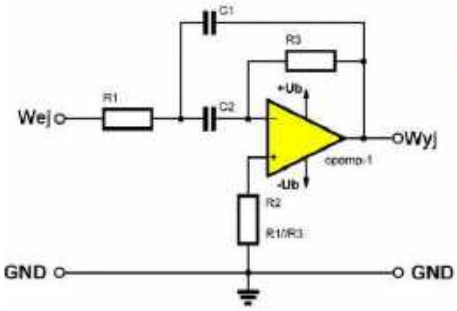
Alternatywny obwód. Inny powszechnie stosowany obwód filtra pasmowo-przepustowego przedstawiono na poniższym rysunku. Obwód ten ma tę wielką zaletę, że zmieniając stosunek między dwoma rezystorami, można dostosować wartość szerokości pasma dziesięciokrotnie. Można więc zastosować ten schemat zarówno do filtrów o bardzo wąskim paśmie, jak i do obwodów szerokopasmowych.

Częstotliwość filtra jest określana za pomocą wzoru:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot \sqrt{(R1 \cdot R4)}}$$

gdzie:

C=C2=C3



R3/R1	Szerokość filtra	Wzmocnienie na f0
1	2.000 Hz	-6,02 dB
2	1.414 Hz	0 dB
4	1.000 Hz	+6,02 dB
8	707 Hz	+12,04 dB
16	500 Hz	+18,06 dB
32	353,5 Hz	+24,08 dB

8. Filtr pasmowo-przepustowy z regulowaną szerokością pasma (© 2020 Jos Verstraten)

Wszystkie charakterystyki tego obwodu zależą od zależności między rezystorami R1 i R4. Zależność ta jest podana w tabeli obok schematu. Pokazuje ona, że można zmieniać szerokość pasma w obrębie częstotliwości filtra f_0 od 2 kHz (bardzo szerokopasmowy) do około 350 Hz (wąskopasmowy).

Obliczenie tego obwodu jest bardzo proste. Załóżmy, że trzeba zaprojektować filtr o częstotliwości środkowej 1 kHz i szerokości pasma 500 Hz. Z tabeli wynika, że stosunek między dwoma rezystorami musi być równy 16, więc można wywnioskować, że R4=16×R1. Załóżmy, że dla obu pojemności wybrano kondensator o pojemności 5 nF. Ze wzoru na częstotliwość środkową można obliczyć, że R1=7,95 kΩ i R4=127,2 kΩ. W praktyce oczywiście wartości komponentów są zaokrąglane do 4,7 nF, 8 kΩ i 128 kΩ.

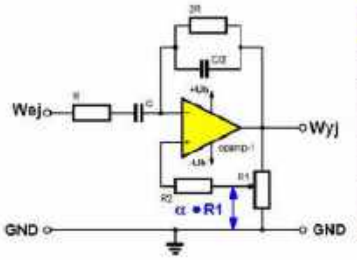
Właściwą metodą jest rozpoczęcie obliczeń od wybrania kondensatora z szeregu wartości, a dopiero potem obliczanie wartości rezystorów. Przy wartości 4,7 nF R1=8,444 Ω, a R4=135,104 kΩ. Dla C=6,8 nF będzie to odpowiednio 5,818 kΩ i 93,088 kΩ. Można więc użyć rezystorów 5,6 kΩ i 91 kΩ. Po przeliczeniu częstotliwość graniczna wyniesie 1,037 kHz, a stosunek wartości rezystorów wynosi 16,25:1. Przyp. tłum.

Filtr pasmowo-przepustowy z prostą kontrolą szerokości pasma. Poniższy rysunek przedstawia schemat filtru pasmowo-przepustowego, który umożliwia ciągłą kontrolę szerokości pasma w bardzo prosty sposób. Łatwo można rozpoznać dwa kondensatory i dwa rezystory tworzące mostek Wiena. Szerokość pasma jest kontrolowana przez ustawienie wzmocnienia wzmacniacza operacyjnego. Odbywa się to oczywiście za pomocą R1, ponieważ wraz z rezystorem R2 znajduje się w pętli sprzężenia zwrotnego wzmacniacza operacyjnego. Jeśli stopień sprzężenia zwrotnego jest zbyt wysoki, obwód nie będzie działał jako filtr, ale jako oscylator. W większości

eprasa.pl 261515f3ed

przypadków w praktyce należy dołączyć stały rezystor szeregowo z potencjometrem, między wyjściem wzmacniacza operacyjnego a górnym połączeniem potencjometru. W ten sposób można ograniczyć maksymalne wzmocnienie do bezpiecznej wartości.

Tabela obok schematu podsumowuje specyfikacje obwodu dla różnych wartości α, współczynnika określającego stosunek rezystorów w sieci sprzężenia zwrotnego. Dla małych wartości α, właściwości obwodu nie zmieniają się bardzo szybko. Jednak gdy α zbliża się do 0,45, szerokość pasma i wzmocnienie zaczynają się bardzo szybko zmieniać. Dlatego w praktyce zaleca się stosowanie potencjometru R1 o odwrotnej charakterystyce logarytmicznej. Taki potencjometr można wykonać podłączając zwykły potencjometr logarytmiczny odwrotnie.



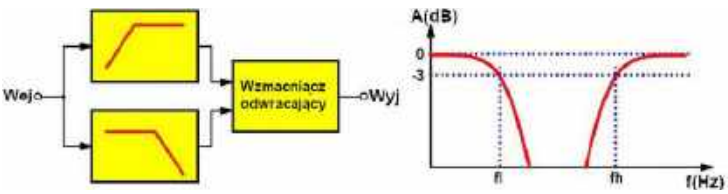
α	Szerokość pasma	Wzmocnienie na fo
0	2.000 Hz	0 dB
0,1	1.777 Hz	+1,93 dB
0,2	1.500 Hz	+4,43 dB
0,3	1.000 Hz	+7,96 dB
0,4	666 Hz	+14,0 dB
0,45	363 Hz	+20,0 dB

9. Filtr pasmowo-przepustowy, w którym szerokość pasma ustawia się za pomocą potencjometru (© 2020 Jos Verstraten)

Filtr pasmowo-zaporowy

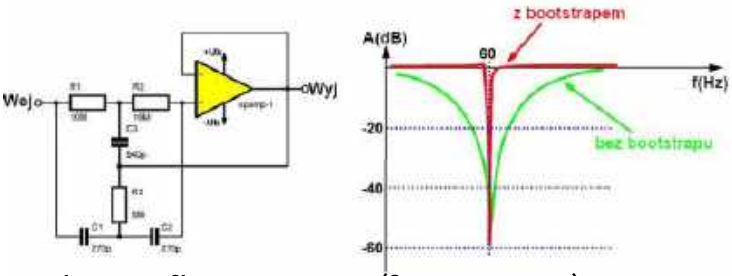
Wprowadzenie. Podobnie jak w przypadku filtrów pasmowo-przepustowych, można wyróżnić filtry szerokie i wąskie. Szerokie filtry mogą ponownie składać się z kombinacji filtra dolnoprzepustowego i górnoprzepustowego. W przypadku wąskich filtrów pasmowo-zaporowych tu również możliwe są obwody wykorzystujące tylko jeden wzmacniacz operacyjny.

Szerokopasmowy filtr pasmowo-zaporowy. Podstawowa zasada działania takiego filtra została przedstawiona na poniższym rysunku. Filtr dolnoprzepustowy i filtr górnoprzepustowy są teraz połączone równolegle. Sygnał jest przepuszczany przez oba filtry. Jednak wyjścia obu filtrów trafiają teraz do odwracającego wzmacniacza sumującego. Charakterystyka amplitudowa takiego filtra jest przedstawiona na tym samym rysunku. Ponownie występują dwie częstotliwości odcięcia. Jednak główna różnica w stosunku do filtra pasmowo-przepustowego polega na tym, że częstotliwość odcięcia filtra górnoprzepustowego jest teraz większa niż częstotliwość odcięcia filtra dolnoprzepustowego.



10. Szerokopasmowy filtr pasmowo-zaporowy (© 2020 Jos Verstraten)

Wąskopasmowy filtr pasmowo-zaporowy. Podstawowy schemat wąskopasmowego filtra pasmowo-zaporowego przedstawiono na poniższym rysunku. Wartości komponentów ustawiają częstotliwość wsteczną na 60 Hz. Wzmacniacz operacyjny jest skonfigurowany jako wtórnik napięciowy i sprzęga napięcie wyjściowe z powrotem do sieci filtrów. Filtr składa się z trzech rezystorów i trzech kondensatorów połączonych równolegle w postaci dwóch sieci T. Wyjściem sieci filtrującej jest połączenie rezystora R3 i kondensatora C3. Sprzężenie zwrotne przez wzmacniacz operacyjny, technika zwana bootstrappingiem, zwiększa współczynnik dobroci do 50.



11. Wąskopasmowy filtr pasmowo-zaporowy (© 2020 Jos Verstraten)

Dramatyczny wpływ sprzężenia zwrotnego na współczynnik dobroci filtra pokazano na wykresie po prawej stronie. Zielona linia charakterystyki amplitudowej przedstawia krzywą odpowiedzi filtra pasywnego, tj. bez sprzężenia zwrotnego przez wzmacniacz operacyjny. Czerwona krzywa charakterystyki to krzywa charakterystyki odtwarzania filtra ze wzmacniaczem operacyjnym.

Obliczanie częstotliwości filtra. Obliczenie częstotliwości filtra jest bardzo proste. Ogólnie przyjmuje się, że:

$$R1 = R2 = 2 \cdot R3$$

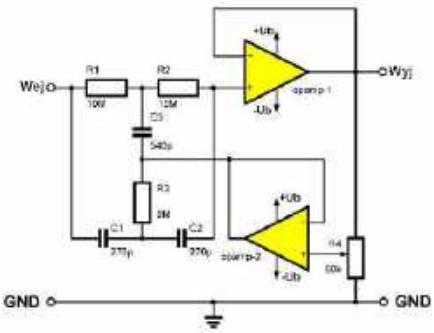
oraz

$$C1 = C2 = \frac{C3}{2}$$

Dla tych warunków częstotliwość środkowa filtra jest określona wzorem:

$$f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R1 \cdot C1}$$

Filtr pasmowo-zaporowy z prostą kontrolą szerokości pasma. Zmieniając stopień sprzężenia zwrotnego, można wpływać na właściwości filtra. Następnie jednak, jak pokazano na poniższym rysunku, należy włączyć drugi wzmacniacz operacyjny. Jest on niezbędny, ponieważ połączenie między R3 i C3 musi być zasilane z możliwie niskiej i stałej impedancji. Bez drugiego wzmacniacza operacyjnego rezystancja R4 odgrywałaby rolę w charakterystyce sieci RC. Spowodowałoby to, że częstotliwość filtra stałaby się zależna od ustawienia szerokości pasma.



12. Filtr pasmowo-zaporowy z regulowaną szerokością pasma (© 2020 Jos Verstraten)

eprasa.pl 261515f3ed

Jednak wzmacniacz operacyjny zapewnia teraz pomijalną impedancję, więc regulacja współczynnika jakości nie wpływa na wartość częstotliwości filtra. Za pomocą przedstawionego obwodu można zmieniać współczynnik dobroci filtra pasmowo-zaporowego w zakresie od 0,3 do 50, co, patrząc graficznie, z grubsza odpowiada dwóm skrajnym szerokościom pasma (czerwonemu i zielonemu) przedstawionym na powyższym wykresie.

Filtr EQ

Wprowadzenie. Filtr EQ to obwód łączący właściwości filtra pasmowo-przepustowego z filtrem pasmowo-zaporowym. Ponadto można przełączać się z filtru pasmowo-przepustowego na pasmowo-zaporowy za pomocą jednego potencjometru. Oczywiście jest to proces ciągły, więc istnieje pozycja potencjometru, w której filtr ani nie wzmacnia, ani nie tłumi. Takie filtry są oczywiście stosowane w korektorach graficznych, gdzie możliwe jest dostosowanie reprodukcji całego zakresu audio od 20 Hz do 20 kHz za pomocą różnych potencjometrów. W ten sposób można bardzo precyzyjnie dostosować charakterystykę amplitudową wzmacniacza do charakterystyki akustycznej pokoju lub sali.

Charakterystyka amplitudowa. Krzywa charakterystyki amplitudowej takiego filtra jest narysowana na poniższym rysunku. Wyraźnie widać, że krzywe, z których każda odpowiada jednej pozycji potencjometru, są wysoce symetryczne i że filtr ma jedno ustawienie (czarne), w którym amplituda jest całkowicie płaska.

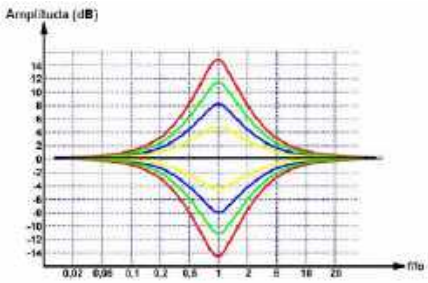
13. Komercyjny korektor graficzny (EQ) (© www.bax-shop.nl)

Podstawowy obwód filtra EQ. Podstawowy obwód takiego filtra przedstawiono na poniższym rysunku. Kondensatory C1 i C2 określają częstotliwość filtra. Potencjometr liniowy R2 ustawia tłumienie lub wzmocnienie. W położeniu środkowym obwód działa jak wzmacniacz liniowy. Szerokość pasma filtra zależy od proporcji między dwoma kondensatorami oraz między R1 i R2.

Często przyjmuje się stosunek kondensatorów C1/C2=15 i stosunek rezystorów R2/R1=10.

Wraz ze wzrostem współczynnika rezystancji, pasmo przenoszenia filtra będzie węższe, ale więcej będzie wzmacniane i tłumione. W zastosowaniach audio stosunek 1:10 jest uważany za idealny.

Większy stosunek między dwoma kondensatorami zwiększa szerokość pasma i powoduje mniejsze wzmocnienie i tłumienie.

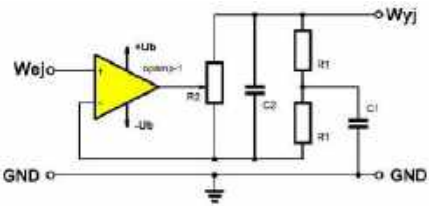


14. Krzywa charakterystyki amplitudowej filtra EQ (© 2020 Jos Verstraten)

Częstotliwości filtra. Pomysł polega na połączeniu kilku obwodów, z których każdy ma własną częstotliwość filtra. W ten sposób można podzielić cały zakres audio na kilka pasm, z których każde jest tłumione lub wzmacniane przez oddzielny filtr EQ. Ogólna charakterystyka amplitudy wygląda wtedy tak, jak na poniższym rysunku.

W tym przykładzie częstotliwości filtrów są ustalone na:

- 31,5 Hz
- 63 Hz
- 125 Hz
- 250 Hz
- 500 Hz
- 1 kHz
- 2 kHz
- 4 kHz
- 8 kHz
- 16 kHz



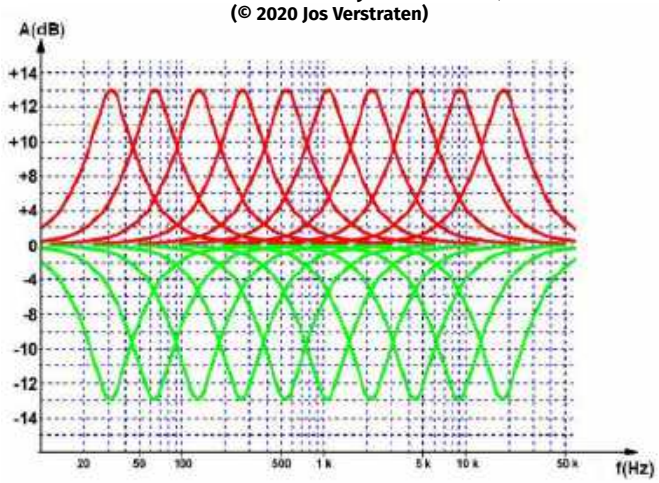
15. Podstawowy obwód filtra EQ (© 2020 Jos Verstraten)

Częstotliwości te nie są wybierane losowo, ale są oddalone od siebie o jedną oktawę. W tym przypadku mówi się więc o „korektorze oktawowym".

Szeregowe lub równoległe korektory. Istnieją dwa systemy łączenia poszczególnych filtrów:

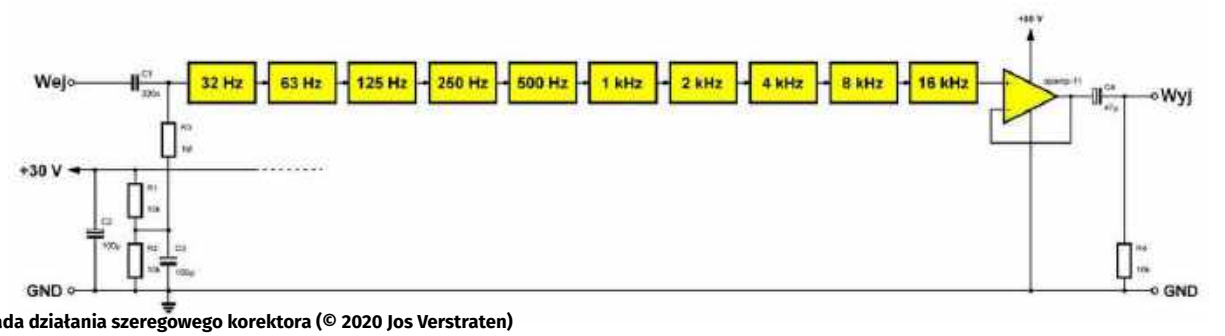
- obwód szeregowy,
- obwód równoległy.

Szeregowy korektor. W układzie szeregowym, którego zasada działania została przedstawiona na poniższym rysunku, wszystkie filtry są połączone kolejno. Sygnał przechodzi przez wszystkie filtry, a każdy filtr wybiera z całego widma częstotliwości pasmo, do którego jest dostrojony.



16. Charakterystyka amplitudowa obwodu z dziesięcioma filtrami EQ (© 2020 Jos Verstraten)

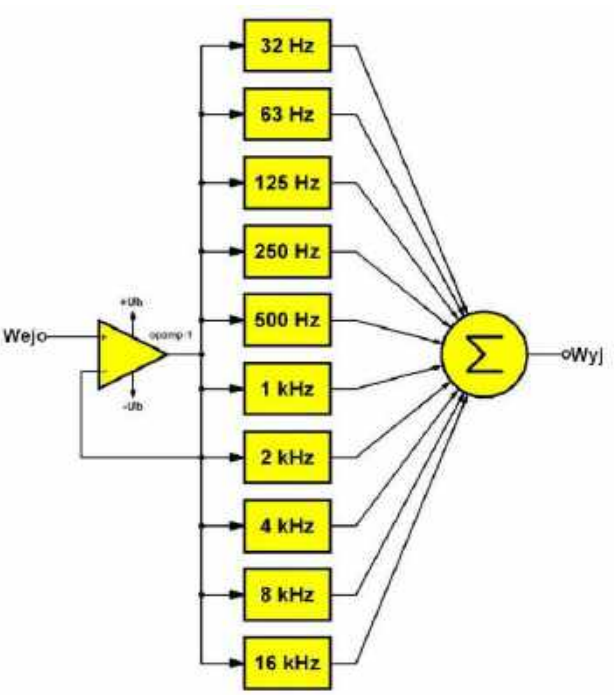
eprasa.pl 261515f3ed



17. Zasada działania szeregowego korektora (© 2020 Jos Verstraten)

Zaproponowany już obwód jest idealny dla tego szeregowego rozwiązania. Rzeczywiście, wyjście jednego filtra trafia do nieodwracającego wejścia następnego wzmacniacza operacyjnego. Wejście to ma bardzo wysoką impedancję, więc filtr nie jest obciążony przez następny obwód, a charakterystyki filtrów nie mogą się wzajemnie zakłócać. Co więcej, ponieważ obwód jest sprzężony prądem stałym (między wejściem odwracającym wzmacniacza operacyjnego a wyjściem znajdują się tylko rezystory), za pomocą jednego dzielnika napięcia na wejściu nieodwracającym pierwszego wzmacniacza operacyjnego można ustawić całą sieć na połowę napięcia zasilania. Oczywiście przy założeniu, że zasilanie nie jest symetryczne. Sygnał do pierwszego stopnia należy oczywiście podać przez kondensator separujący. Ostatni stopień jest zakończony wzmacniaczem operacyjnym pracującym jako bufor, dzięki czemu ten ostatni filtr również nie jest obciążony.

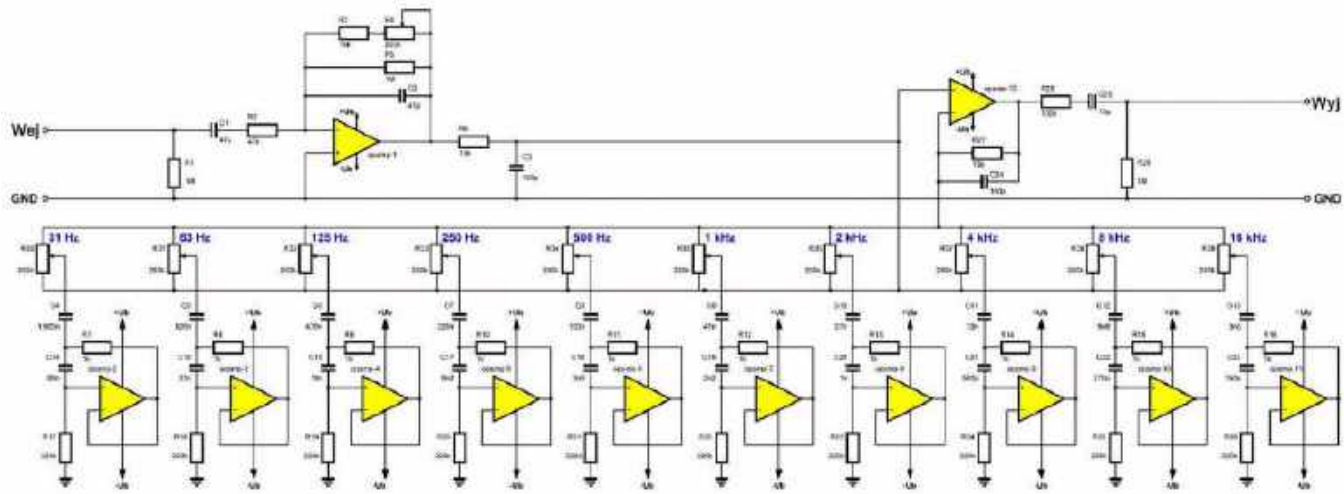
Równoległy korektor. W układzie równoległym, przedstawionym na poniższym rysunku, wszystkie filtry są połączone równolegle. Wszystkie wejścia są sterowane sygnałem wejściowym poprzez stopień buforowy. Wyjścia różnych filtrów trafiają do obwodu mieszającego z wirtualnym punktem masy. W ten sposób filtry nie mogą wpływać na siebie nawzajem. Teraz będzie jednak jasne, że każdemu filtrowi należy ustalić własną polaryzację. Lepszym rozwiązaniem jest oczywiście symetryczne zasilanie całego obwodu, pozwalające na spolaryzowanie wszystkich stopni względem masy.



18. Zasada działania korektora równoległego (© 2020 Jos Verstraten)

Praktyczny obwód. Poniższy rysunek przedstawia praktyczny schemat dziesięciopasmowego korektora równoległego. Ze względu na równoległą strukturę obwodu, rzeczywiste filtry są skonstruowane inaczej niż pokazane wcześniej rozwiązanie. Wyraźnie widać, że sekcje filtra nie są teraz ładnie symetrycznie skonstruowane. Z tego powodu preferowana jest struktura szeregowa. ■

Jos Verstraten



19. Praktyczny obwód korektora równoległego (© 2020 Jos Verstraten)

eprasa.pl 261515f3ed

Ekscytacje Maxa

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (14)

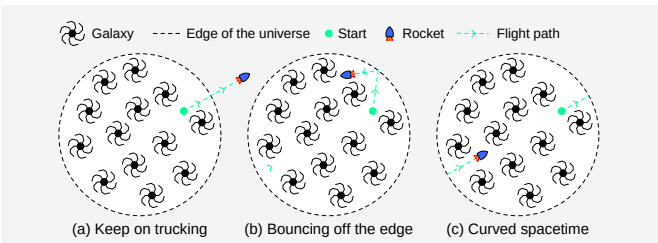
Zakładając, że śledziliście ostatnie odcinki mojego cyklu (a jeśli nie, to dlaczego nie?), pamiętacie, że jak dotąd nie udało mi się spełnić obietnicy zaimplementowania odmiany słynnej „Gry w Życie" (Game of Life, GOL), której autorem jest brytyjski matematyk John Horton Conway (https://bit.ly/pe-jan21-cgol) na mojej tablicy piłeczek pingpongowych 12×12 (https://bit.ly/3jMM62J). Cóż, prawie nadszedł czas, aby założyć nasze imprezowe czapeczki i z zapałem zacząć dmuchać w nasze imprezowe gwizdki (https://bit.ly/2MFwwJL), ponieważ właśnie jesteśmy gotowi to zrobić (... w następnym odcinku), ale najpierw zastanówmy się przez chwilę...

Wielki Wybuch

Termin „multiwersum" (inaczej „metawszechświat") odnosi się do hipotetycznej grupy wielu wszechświatów. Postuluje się, że wszechświaty te obejmują wszystko, co istnieje: całą przestrzeń, czas, materię, energię, informacje oraz prawa fizyczne i stałe, które je opisują. Dla porównania, termin „Wielki Wybuch" odnosi się do modelu kosmologicznego możliwej do obserwacji części naszego wszechświata od najwcześniejszych znanych jego początków do jego późniejszej ewolucji na wielką skalę. Kiedy byłem młodym chłopakiem i po raz pierwszy usłyszałem o Wielkim Wybuchu, który zapoczątkował naszą część multiwersum około godziny 9:00 rano w środę, około 13,8 miliarda lat temu – mniej więcej – wyobraziłem go sobie jako gigantyczną eksplozję, w której wszystko ma początek w centralnej lokalizacji.

Później odkryłem, że wszystkie galaktyki oddalają się od siebie, oczywiście poza tymi, które się nie oddalają. Rozumiem przez to, że niektóre galaktyki są na tyle blisko siebie, że ich lokalna bliskość i przyciąganie grawitacyjne (opisane przez Sir Isaaca Newtona w jego prawie grawitacji) lub zniekształcenie kontinuum czasoprzestrzeni (ujawnione przez Alberta Einsteina w jego ogólnej teorii względności) jest wystarczające, aby przyciągnąć je do siebie. Na przykład, nasza galaktyka – Droga Mleczna – ma zderzyć się z naszą najbliższą sąsiadką – galaktyką Andromedy – za około cztery miliardy lat.

Tak czy inaczej, kiedy po raz pierwszy zetknąłem się z tym wszystkim, moja nowo odkryta wiedza sprawiła, że zwizualizowałem wszystkie galaktyki jako kropki zaznaczone na powierzchni balonu na podstawie tego, że gdy balon jest nadmuchiwany, wszystkie kropki oddalają się od siebie. Jeszcze później zapoznałem się z inną analogią – taką, która dotyczyła trójwymiarowej (3D) objętości w przeciwieństwie do dwuwymiarowej (2D) powierzchni – kuli ciasta chlebowego z rodzynkami. Kiedy ciasto jest pieczone w piekarniku, powiększa się, a w rezultacie wszystkie rodzynki oddalają się od siebie.



Rysunek 1. Krawędź wszechświata (ups!)

Mimo wszystko odniosłem wrażenie, że istniało „centrum" Wielkiego Wybuchu. Oznacza to, że gdybyśmy mogli określić, skąd oddalały się wszystkie galaktyki, moglibyśmy cofnąć się i zlokalizować, gdzie wszystko się zaczęło. Niestety, wygląda na to, że tak nie jest, ponieważ ci badacze i naukowcy z mózgami wielkości 16 (ci z paskami „go-faster" namalowanymi po bokach) mówią: „Galaktyki nie poruszają się w przestrzeni, poruszają się z przestrzenią, ponieważ sama przestrzeń również się rozszerza, co oznacza, że wszechświat nie ma centrum i wszystko oddala się od wszystkiego innego". Nie wiem jak ty, ale ja mam podejrzenia, że oni wymyślają niektóre z tych rzeczy na bieżąco.

Nie spadnij z krawędzi!

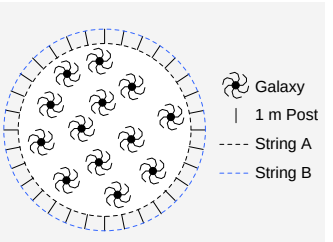
W tym miejscu sprawy zaczynają się gmatwać, ponieważ, podobnie jak Puchatek, jestem misiem o bardzo małym rozumku. Jeśli wszechświat się rozszerza, to w co się rozszerza? Czy istnieje „krawędź" wszechświata, a jeśli tak, to co znajduje się poza nią? Czy możesz sobie wyobrazić, jak by to było żyć na planecie krążącej wokół gwiazdy zamieszkującej galaktykę na samym krańcu wszechświata? Czy oznaczałoby to, że gdybyś spojrzał w jedną stronę (tj. w kierunku centrum Wielkiego Wybuchu), zobaczyłbyś mnóstwo galaktyk, ale gdybyś spojrzał w drugą stronę, zobaczyłbyś tylko mnóstwo niczego? Jeśli tak, to jakiego rodzaju byłoby to nic? Nawet jeśli jest to puste „nic", to wciąż jest to „coś", prawda? Tego typu pytania nie dają mi spać w nocy. Dziękuję Bogu za pigułki z suszonych żab (https://bit.ly/3nRr6IH), to wszystko, co mogę powiedzieć.

Załóżmy na potrzeby naszej dyskusji, że wszechświat faktycznie istnieje. Co by się stało, gdybyś się tam urodził i zdecydował się zbudować statek kosmiczny? Ja chciałbym, żeby mój był rozsądnych rozmiarów, dobrze wyposażony w łazienki i elegancki, ale nie pretensjonalny. Niech przypomina Sokoła Millennium. I gdybyśmy udali się takimi statkami w bezkresne zaświaty?

Przychodzą mi na myśl trzy zasadnicze możliwości. Pierwszą jest, że odważnie podróżujesz poza krawędź wszechświata (**rysunek 1a**). Drugą jest to, że w jakiś sposób „odbijasz się" od krawędzi

eprasa.pl 261515f3ed

wszechświata i kierujesz się z powrotem w stronę światła (**rysunek 1b**). Trzecią jest to, że kontinuum czasoprzestrzeni jest „zakrzywione” w taki sposób, że ostatecznie znajdujesz się z powrotem tam, gdzie zacząłeś, co – zakładając, że możemy chodzić po wodzie – moglibyśmy wizualizować jako krętą, czasochłonną trójwymiarową hiperprzestrzenną wersję spaceru wokół Ziemi (**rysunek 1c**).



Rysunek 2. Zagadka z węzłami

Na marginesie, jest pewna stara łamigłówka, która właśnie wpadła mi do głowy. W poprzednim odcinku mojego cyklu zadałem pytanie: „Jak długi jest kawałek sznurka?” (odpowiedź oczywiście brzmi: „Dwa razy dłuższy niż od środka do jednego końca”). Cóż, wyobraźmy sobie, że krawędź wszechświata jest jak kulista powłoka, na której moglibyśmy stanąć, z „dołem” w kierunku środka. Następnie załóżmy, że mamy długi kawałek sznurka o nazwie A, który owijamy wokół obwodu tej powłoki. Na koniec załóżmy, że mamy ogromną kolekcję słupków o wysokości jednego metra, które sadzimy pionowo na całym obwodzie, po czym owijamy drugi kawałek sznurka o nazwie B wokół górnej części słupków (**rysunek 2**). Załóżmy również, że używamy nieskończonej liczby słupków, tak że kawałek sznurka B również podąża prawdziwie okrągłą ścieżką.

Średnica obserwowalnego wszechświata (część, którą widzimy) wynosi około 93 miliardów lat świetlnych (odległość, jaką światło pokonuje w ciągu jednego roku w próżni), podczas gdy nieobserwowalny wszechświat (część, której nie widzimy) rozciąga się dalej. Dla żartu załóżmy, że nasza «powłoka» ma średnicę 100 miliardów lat świetlnych. Ponadto, jako bonus, zaoszczędzę ci trochę czasu, mówiąc, że jeden rok świetlny odpowiada w przybliżeniu 9 500 000 000 000 000 000 (tj. $9{,}5\times10^{15}$) metrów. O ile więc dłuższy będzie kawałek sznurka B od kawałka sznurka A? (Odpowiedź znajdziesz na końcu tego odcinka).

IdźmydalejJak być może pamiętacie, w ciągu ostatniego roku poświęciliśmy wiele odcinków tego cyklu na przeprowadzanie eksperymentów z moją tablicą piłeczek pingpongowych 12×12, gdzie każda piłeczka wyposażona była w trójkolorową diodę LED w postaci WS2812 (podzespoły te są również powszechnie znane jako „NeoPixele”). Myślimy o tym pięknym urządzeniu jako składającym się z 12 kolumn (oś X) i 12 rzędów (oś Y), ponumerowanych od 0 do 11, z pikselem [X,Y] = [0,0] znajdującym się w lewym dolnym rogu, gdy stoimy twarzą do tablicy.

Na marginesie, wcześniej wprowadziliśmy pojęcia kolorów addytywnych, subtraktywnych, podstawowych, drugorzędnych i trzeciorzędnych. Na potrzeby tych eksperymentów, oprócz czerni (wszystkie wyłączone) i bieli (wszystkie włączone), ograniczymy naszą paletę kolorów do trzech kolorów podstawowych (czerwony, zielony, niebieski) i odpowiadających im kolorów drugorzędnych (żółty, cyjan, magenta). Ponadto, ponieważ w tych próbach zawsze będziemy włączać nasze diody LED, nie będziemy musieli martwić się o zastosowanie współczynnika korekcji gamma.

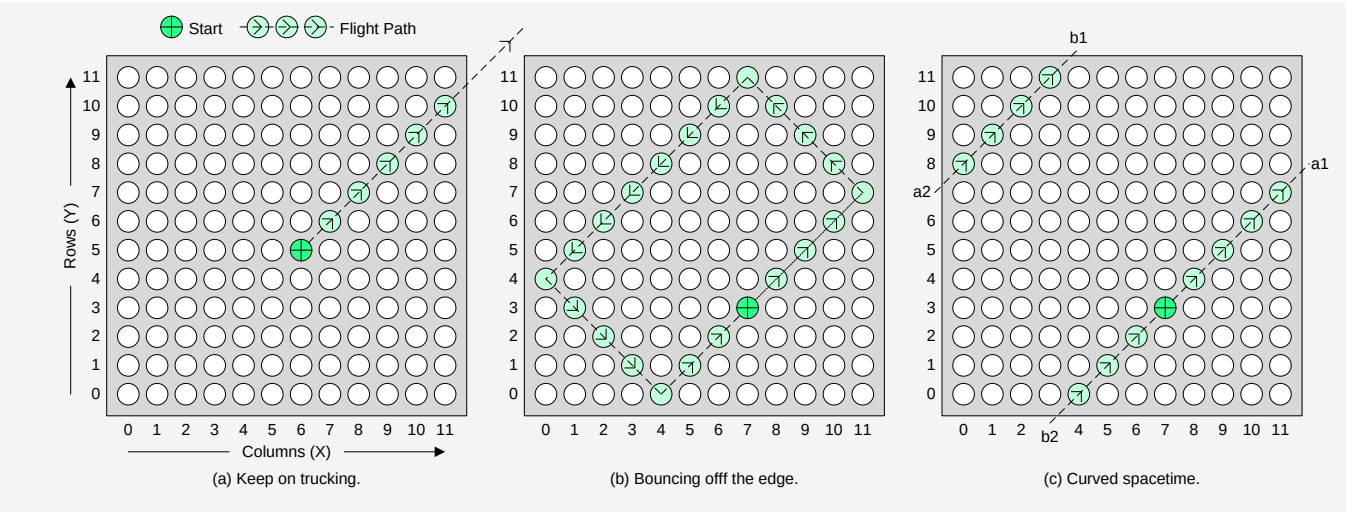
Jak więc możemy odtworzyć wspomniany wcześniej scenariusz „Idźmy dalej” za pomocą naszej tablicy? Załóżmy, że centrum naszego pingpongowego wszechświata znajduje się w pikselu [6,5]. To, co zamierzamy zrobić, to losowo wybrać kolor z naszej palety sześciu podstawowych i drugorzędnych kolorów i podświetlić piksel w centrum wszechświata. To będzie nasz statek kosmiczny.

Następnie wybierzemy losowo kierunek spośród ośmiu możliwości – N, S, E, W, NE, NW, SE i SW – i sprawimy, że nasz statek kosmiczny będzie poruszał się w tym kierunku, aż osiągnie krawędź wszechświata (jeden z boków naszej tablicy). W tym momencie zgasimy piksel statku kosmicznego i po prostu udamy, że zmierza on w zaświaty (**rysunek 3a**). W przeciwnym razie, gdybyśmy pozwolili naszemu programowi na próbę zapisu do pikseli poza naszą tablicą, skończyłoby się to deptaniem po mapie pamięci naszego procesora, pozostawiając po sobie spustoszenie.

Gdy nasz statek kosmiczny opuści wszechświat, zatrzymamy się na chwilę, a następnie powtórzymy proces, za każdym razem wybierając nowy losowy kolor i nowy losowy kierunek.

Pełny szkic (program) dla naszego scenariusza „Idźmy dalej” zawarty jest w pliku CB-Apr21-01.txt (ten i wszystkie inne pliki powiązane z tym artykułem są dostępne na stronie PE z kwietnia 2021 r. https://bit.ly/3oouhbl). Nie będziemy tutaj omawiać całego szkicu, ale warto zwrócić uwagę na kilka rzeczy, takich jak fakt, że definiujemy nowy typ w postaci struktury, którą nazywamy `ShipDataDefinition`, gdzie „Ship” odnosi się do naszego wyimaginowanego statku kosmicznego. Wcześniej (EdW, lipiec 2024) wprowadziliśmy pojęcia `typedef` (definicje typów), `enum` (typy wyliczeniowe) i `struct` (struktury).

```
typedef struct ShipDataDefinition
{
```



Rysunek 3. Podróżowanie we wszechświecie ping-ponga

eprasa.pl 261515f3ed

```
        odcień;
        int x;
        int y;
        int deltaX;
        int deltaY;
};
```

Na wypadek, gdybyś się zastanawiał, powodem, dla którego używamy nazwy `shade`, a nie `color`, jest to, że ta ostatnia jest już zdefiniowana i używana do innych celów w Arduino IDE. Następnie deklarujemy zmienną o nazwie `ShipData`, która jest typu `ShipDataDefinition`. W ramach tej deklaracji przypisujemy wartości domyślne elementom struktury.

```
ShipDataDefinition ShipData =
{
        .shade = COLOR_BLACK,
        .x = 6, .y = 5,
        .deltaX = 0, .deltaY = 0
};
```

Dlaczego ustawiliśmy odcień na `COLOR_BLACK`? Cóż, kiedy przyjdzie nam wygenerować kolor dla nowego statku kosmicznego, będziemy generować losowe wartości, dopóki nowy kolor nie będzie różnił się od starego, więc zainicjowanie starego koloru na czarny jako część deklaracji zmiennej oznacza, że każdy kolor, który wygenerujemy dla naszego pierwszego statku, będzie akceptowalny.

Jak wspomnieliśmy wcześniej, zakładamy, że centrum naszego pingpongowego wszechświata znajduje się w pikselu [6,5], co wyjaśnia powyższe przypisania `x = 6` i `y = 5`. Później przypiszemy nowe wartości do `deltaX` i `deltaY`. Powodem, dla którego ustawiliśmy je na `0` jako część deklaracji, była kompletność i przypomnienie sobie, że tam są. Reszta programu nie wymaga wyjaśnień; jedyną rzeczą wartą odnotowania jest moment, w którym generujemy losowy kierunek dla naszego statku kosmicznego:

```
do
{
        tmpX = random(-1,2);
        tmpY = random(-1,2);
} while( (tmpX == 0) && (tmpY == 0) );

ShipData.deltaX = tmpX;
ShipData.deltaY = tmpY;
```

Jak omówimy w tym odcinku dalej (Sprytne porady i sztuczki), funkcja `random()` Arduino zwraca pseudolosową liczbę całkowitą pomiędzy zbiorem określonym przez wartości minimalną i maksymalną (które w tym przykładzie są zdefiniowane odpowiednio jako -1 i +2). Sztuczka polega na tym, że wartość minimalna jest zawarta w przedziale, podczas gdy wartość maksymalna jest wyłączona z przedziału, co oznacza, że `random(-1,2)` zwróci losową wartość -1, 0 lub +1.

To, co zamierzamy zrobić, to wielokrotne wykonywanie pętli, dodając te wartości `deltaX` i `deltaY` do naszych głównych wartości `x` i `y`, prowadząc w ten sposób nasz statek kosmiczny po wyznaczonej trajektorii. Możemy zaakceptować dowolną kombinację `deltaX = -1` lub `0` lub `+1` i `deltaY = -1` lub `0` lub `+1`, z wyjątkiem przypadku, gdy obie wynoszą `0`, ponieważ w takim przypadku statek nigdzie by nie poleciał. Wyjaśnia to obecność warunku powiązanego z `while()`, i oznacza, że będziemy generować nowe losowe wartości, dopóki nie uzyskamy kombinacji innej niż `tmpX` i `tmpY` równe `0`.

Tak na marginesie, w naszym obecnym kodzie nie ma nic, co wymuszałoby inny kierunek nowego statku względem kierunku poprzedniego. Oczywiście gdybyśmy chcieli moglibyśmy to łatwo zaimplementować w obszarze warunku związanego z `while()`. Dlaczego nie zanotujesz teraz swoich pomysłów na realizację takiej modyfikacji? – Jedną z możliwości przedstawię na końcu tego odcinka.

W tym scenariuszu nasz statek będzie się poruszał, dopóki nie dotrze do jednego z boków tablicy, w którym to momencie przywrócimy piksel do czerni i będziemy udawać, że statek nadal szczęśliwie porusza się po swojej drodze poza tablicą.

Odbijanie się od krawędzi

Kolejnym scenariuszem jest sytuacja, w której statek odbija się od krawędzi wszechświata. Sposób, w jaki działa odbicie, zależy od kierunku, w którym statek podróżuje, gdy uderza w bok tablicy. Na przykład, jeśli statek zaczyna podróżować w prawo (wschód), to gdy uderzy w bok, odbije się w lewo (zachód) i będzie kontynuował rykoszetowanie w tę i z powrotem między tymi dwiema stronami. Podobnie, jeśli statek zaczyna podróżować w górę (północ), to gdy uderzy w krawędź, odbije się z powrotem w dół (południe) i będzie kontynuował rykoszetowanie między tymi dwiema stronami. Trzecią alternatywą jest sytuacja, w której statek zaczyna podróżować pod kątem 45 stopni, powiedzmy północ-wschód, w którym to przypadku jego ścieżka będzie obróconym prostokątem (**rysunek 3b**).

Patrząc w przyszłość naszej zakrzywionej czasoprzestrzeni, w obecnym scenariuszu stworzymy sześć statków kosmicznych, każdy w innym kolorze. Pierwszy z nich wyruszy na północ, drugi na południe, trzeci na wschód, czwarty na zachód, piąty na północny wschód, a szósty na południowy zachód. W tym przypadku (zauważając, że `NUM_SHIPS` jest zdefiniowane jako 6), możemy zadeklarować i zainicjować nasze sześć statków kosmicznych jako tablicę w następujący sposób:

```
ShipDataDefinition ShipData[NUM_SHIPS] =
{
        // Tutaj znajdą się definicje
};
```

Jeśli spojrzysz na pełny program (plik CB-Apr21-02.txt), zauważysz, że pola `deltaX` i `deltaY` powiązane ze statkami `#1` do `#6` mają przypisane odpowiednie wartości `-1`, `0`, `+1` wymagane do osiągnięcia pożądanych kierunków:

```
#1 deltaX = 1, deltaY = 0
#2 deltaX = -1, deltaY = 0
#3 deltaX = 0, deltaY = 1
#4 deltaX = 0, deltaY = -1
#5 deltaX = 1, deltaY = 1
#6 deltaX = -1, deltaY = -1
```

Już za chwilę zobaczysz, że praca, którą wykonaliśmy przy definiowaniu rzeczy takich jak nasza tablica `ShipData[]`, naprawdę zaczyna się opłacać, ponieważ treść naszego programu, który sprawia, że sześć statków lata wokół naszej tablicy piłeczek pingpongowych, jest zaskakująco kompaktowa i łatwa do zrozumienia.

Można zauważyć, że przy każdym przejściu pętli, zanim obliczymy i wyświetlimy nowe pozycje statków, najpierw ustawiamy kolor czarny dla wszystkich bieżących ich lokalizacji. Dzieje się tak, ponieważ nasz program nie jest zbyt wyrafinowany, a statki nie są „świadome" swoich wzajemnych pozycji. Gdybyśmy nie byli ostrożni, moglibyśmy wyświetlić nową lokalizację statku A na starej pozycji statku B, a następnie

eprasa.pl 261515f3ed

ustawić starą pozycję statku B na czarno. Ustawienie wszystkich starych pozycji na czarno rozwiązuje ten problem.

Gdybyśmy chcieli być naprawdę sprytni, nasz program mógłby śledzić pozycje wszystkich statków, a jeśli dwa lub więcej z nich znalazłyby się w tym samym miejscu, moglibyśmy ustawić kolor tego piksela jako połączoną wartość różnych kolorów statków, ale wszystko to dzieje się tak szybko, że naprawdę nie jest to warte wysiłku.

Kluczową rzeczą, na którą należy zwrócić uwagę w tym scenariuszu, jest to, że gdy jeden z naszych statków kosmicznych uderzy w bok, zanegujemy odpowiednią wartość delta. Na przykład, jeśli statek kieruje się na wschód (`deltaX = 1`, `deltaY = 0`), to gdy uderzy w bok, zmienimy `deltaX` na `-1`, co spowoduje, że statek zacznie kierować się na zachód. Podobnie, jeśli statek kieruje się na południe (`deltaX = 0`, `deltaY = -1`), to gdy uderzy w burtę, zmienimy `deltaY` na `+1`, co spowoduje, że statek zacznie kierować się na północ.

Zakrzywiona czasoprzestrzeń

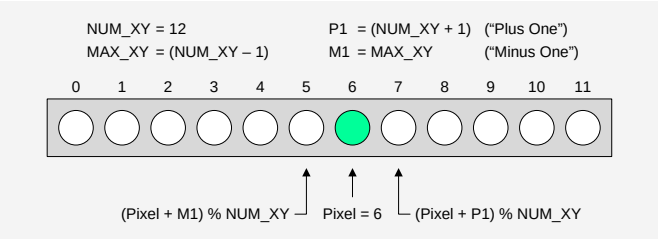
Na koniec rozważymy nasz scenariusz zakrzywionej czasoprzestrzeni. Na początku może to być trochę trudne do zrozumienia, więc zróbmy to krok po kroku. Załóżmy, że nasz statek kosmiczny zaczyna kierować się na wschód. W tym przypadku możemy sobie wyobrazić, że nasz wszechświat (w postaci naszej tablicy pingpongowej) jest zwinięty w pionowy cylinder, tak że prawa strona jest połączona z lewą. Oznacza to, że gdy nasz statek dotrze do prawej strony, zniknie i pojawi się ponownie – nadal poruszając się na wschód – w tym samym rzędzie po lewej stronie.

Dla porównania, jeśli nasz statek zaczyna kierować się na południe, możemy sobie wyobrazić, że nasz wszechświat jest zwinięty w poziomy cylinder, tak że górna strona jest połączona z dolną. W tym przypadku, gdy nasz statek dotrze do dolnej strony, zniknie i pojawi się ponownie – nadal poruszając się na południe – w tej samej kolumnie ale od góry.

Gdy tylko się z tym oswoisz, zastanów się, co się stanie, jeśli nasz statek wyruszy z lokalizacji [7,3] w kierunku północno-wschodnim (**rysunek 3c**). Kiedy dotrze do prawej krawędzi w lokalizacji a1, pojawi się ponownie o jedną kolumnę w prawo (tj. na lewej krawędzi) i jeden rząd wyżej w lokalizacji a2, nadal podróżując w kierunku północno-wschodnim. Jedną z koncepcji może być podzielenie tablicy na dwie pionowe połówki, każda o szerokości sześciu pikseli, gdy statek dotrze do prawej krawędzi w [11,7]. Następnie przesuwamy lewą połowę na prawo od prawej połowy.

Podobnie, gdy statek osiągnie górną krawędź w lokalizacji b1, pojawi się ponownie o jeden rząd „wyżej" (tj. na dolnej krawędzi) i jedną kolumnę w prawo w lokalizacji b2, nadal podróżując w kierunku północno-wschodnim. Kolejną z koncepcji może być to, że gdy statek osiągnie górną krawędź w [3,11], podzielimy tablicę na dwie poziome połówki o wysokości sześciu pikseli każda, a następnie przesuniemy górną połowę, aby znalazła się pod dolną połową.

Aby sprawić, by wszystko działało tak, jak chcemy, ponownie stwórzmy sześć statków kosmicznych, każdy w innym kolorze, zaczynając



Rysunek 4. Pojedyncze i wielokrotne statki

odpowiednio od kierunku północnego, południowego, wschodniego, zachodniego, północno-wschodniego i południowo-zachodniego.

Pierwszą kwestią, na którą należy zwrócić uwagę, jest to, że nie możemy użyć wartości `delta -1` i `+1`, aby przesunąć się odpowiednio w lewo lub w prawo, lub w górę lub w dół, ponieważ spowodowałoby to chaos i zamieszanie, gdy statek dotarłby do jednej z krawędzi. Rozwiązaniem jest użycie różnych operacji modulo, które omówiliśmy w poprzednim odcinku. Aby przedstawić przykład, rozważmy pojedynczy rząd 12 piłeczek pingpongowych ponumerowanych od lewej do prawej od 0 do 11. Załóżmy teraz, że patrzymy na piksel 6 (**rysunek 4**).

Jak wiemy, operator modulo zwraca resztę całkowitą z dzielenia dwóch liczb całkowitych. Liczba pikseli w rzędzie (lub kolumnie) wynosi 12 (`NUM_XY`) i jest ponumerowana od 0 (`MIN_XY`) do 11 (`MAX_XY`). Jak widać na rysunku, definiujemy `P1` („Plus Jeden") jako `(NUM_XY + 1) = 13`, podczas gdy `M1` („Minus Jeden") jest zdefiniowany jako `MAX_XY = 11`.

Tak więc, jeśli patrzymy na `Piksel = 6`, piksel po prawej stronie będzie miał wartość `(Piksel + P1)% NUM_XY`, co odpowiada (6 + 13)% 12 = 19% 12 = 7. Podobnie, piksel po lewej stronie będzie miał wartość `(Piksel + M1)% NUM_XY`, co odpowiada (6 + 11)% 12 = 17% 12 = 5. Spróbuj wykonać te same obliczenia z początkowymi numerami pikseli 0 i 11, które reprezentują nasze warunki brzegowe, a zobaczysz, że wszystko działa tak, jak chcemy. Wszystko, co mogę powiedzieć, to „Tra-la!" (i mówię to najszczerzej).

Teraz zaczyna się robić jeszcze ciekawiej, ponieważ możemy szybko i łatwo dostosować nasz poprzedni kod do tego nowego scenariusza. Jeśli spojrzysz na pełny szkic (plik CB-Apr21-03.txt), zobaczysz, że zaczynamy od modyfikacji wartości `deltaX` i `deltaY` w naszej deklaracji `ShipData[]` w następujący sposób:

```
#1 deltaX = P1, deltaY = 0
#2 deltaX = M1, deltaY = 0
#3 deltaX = 0, deltaY = P1
#4 deltaX = 0, deltaY = M1
#5 deltaX = P1, deltaY = P1
#6 deltaX = M1, deltaY = M1
```

Kiedy zaczynamy sterować naszymi statkami, wszystko zaczyna stawać się oczywiste. Nie musimy już przeprowadzać wykrywania jakichkolwiek warunków brzegowych, ponieważ nasza czasoprzestrzeń jest zakrzywiona, a statki nie „widzą" nawet krawędzi wszechświata.

Jeśli jesteś zainteresowany, właśnie stworzyłem wideo pokazujące wszystko, o czym tutaj rozmawialiśmy w chwalebnej akcji w kolorze technicznym – po prostu odwiedź: https://bit.ly/3dLdHAB.

„Gra w życie" Hortona Conwaye'a

Wiem, wiem... Pod koniec poprzedniego odcinka powiedziałem, że w tym odcinku wdrożymy Grę w Życie Hortona Conwaye'a (GOL) „albo nie nazywam się Max Wspaniały!". Cóż, miałem rację, ponieważ nie nazywam się Max Wspaniały – tak po prostu nazywają mnie ludzie (w moich snach).

Rzecz w tym, że napotkamy te same problemy „krawędzi wszechświata" z GOL i – teraz, gdy wiemy, jak sobie z nimi poradzić – drżymy w oczekiwaniu, gotowi na rock and rolla. Do następnego razu, miłej zabawy!

Rozwiązanie naszego problemu z `while()`

W naszym scenariuszu „Idźmy dalej" warunek powiązany z naszą instrukcją `while()` brzmiał `((tmpX == 0) && (tmpY == 0))`, co oznacza, że będziemy generować nowe losowe wartości dla `tmpX` i `tmpY`, dopóki nie uzyskamy kombinacji innej niż obie równe `0`.

eprasa.pl 261515f3ed

Załóżmy teraz, że chcemy ulepszyć ten warunek w taki sposób, że generujemy również nowe losowe wartości dla `tmpX` i `tmpY`, dopóki co najmniej jedna z nich nie różni się od ich poprzednich wartości, które są obecnie przechowywane odpowiednio w `deltaX` i `deltaY`. Moglibyśmy zrealizować tę część warunku używając: `((tmpX == deltaX) && (tmpY == deltaY))`.

Sposób rozumowania jest tu taki, że chcemy kontynuować generowanie nowych losowych wartości tak długo, jak dowolny z tych warunków zwraca prawdę; to znaczy, jeśli pierwszy warunek zwraca prawdę LUB drugi warunek zwraca prawdę. Jednym ze sposobów osiągnięcia tego byłoby użycie: `while( ((tmpX == 0) && (tmpY == 0)) | ((tmpX == deltaX) && (tmpY == deltaY)) );`

Rozwiązanie naszego skomplikowanego problemu

Muszę się do czegoś przyznać. Powodem, dla którego rozwodziłem się nad średnicami obserwowalnych i nieobserwowalnych wszechświatów oraz liczbą metrów w roku świetlnym, było zmylenie cię. W rzeczywistości różnica w długościach fragmentów sznurków A i B będzie taka sama, niezależnie od średnicy wszechświata.

Jak to możliwe? Cóż, obwód okręgu jest dany przez $2\pi r$. Powiedzmy, że promień naszej powłoki wynosi (x) metrów, co oznacza, że długość fragmentu sznurka A wyniesie $2\pi x$ metrów. Ponieważ używamy słupków o długości 1 m, oznacza to, że promień okręgu wyznaczonego przez fragment sznurka B będzie wynosił (x + 1) metrów. To z kolei oznacza, że długość fragmentu sznurka B wyniesie $2\pi(x + 1)$ metrów, co równa się $2\pi x + 2\pi$. Ponieważ długość fragmentu sznurka A wynosiła $2\pi x$ metrów, oznacza to, że fragment sznurka B będzie dłuższy o $2\pi x + 2\pi - 2\pi x = 2\pi$ metrów (tj. około 6,28 m). Dotyczy to kuli o promieniu 10 m, Ziemi lub całego obserwowalnego wszechświata! ■

Clive „Max" Maxfield

Sprytne porady i sztuczki cyklu Ekscytacje Maxa dotyczące kodowania

Od czasu do czasu chcemy dodać pewną dozę losowości do naszych programów. Na przykład, możemy chcieć stworzyć elektroniczną wersję kostki do gry. W takim przypadku musimy użyć pewnego rodzaju generatora liczb losowych (RNG). W rzeczywistości wygenerowanie prawdziwie losowej sekwencji liczb jest bardzo trudne. Łatwiejszą alternatywą jest generator liczb pseudolosowych (PRNG), znany również jako „deterministyczny generator bitów losowych" (DRBG), który jest algorytmem generowania sekwencji liczb, których właściwości są zbliżone do właściwości sekwencji liczb prawdziwie losowych.

Arduino

Zwracamy więc naszą uwagę na Arduino i jego funkcję `random()`, która pozwala nam generować pseudolosowe liczby całkowite z określonego przez nas minimalnego i maksymalnego zakresu. Ogólnie rzecz biorąc, twórcy Arduino starali się uczynić rzeczy tak prostymi, jak to tylko możliwe dla początkujących. Jednak z powodów, które nie sposób wytłumaczyć, zdecydowali się uczynić wartość minimalną jako włączoną do generowanego zakresu liczb, podczas gdy zadeklarowana wartość maksymalna jest z tego przedziału wyłączona. Rozważmy na przykład następującą instrukcję: `int tmpRnd = random(5, 10);`

W tym przypadku `tmpRnd` będzie zawierać pseudolosową wartość z przedziału 5, 6, 7, 8 i 9, ale nie 10, ponieważ 5 (wartość minimalna) zawiera się w zadanym zakresie, podczas gdy 10 (wartość maksymalna) jest wykluczona. Jeśli podano tylko jedną wartość, to przyjmuje się, że jest to wartość maksymalna, a minimalna jest automatycznie ustawiana na zero, więc `random(10)` daje identyczne wyniki jak `random(0,10)`.

Fajną rzeczą w funkcji `random()` Arduino jest to, że pozwala ona generować liczby ujemne, więc `random(-10,10)` zwróci losową wartość pomiędzy –10 a +9.

Co za wspomnienie!

Jak zobaczymy za chwilę, PRNG muszą otrzymać początkową wartość „ziarna losowości", zanim wykonają swoją magię. O ile jej nie nadpiszemy, Arduino użyje jakiejś domyślnej wartości ziarna losowości (nie mam pojęcia, jaka to wartość). Co więcej, PRNG Arduino będzie klasyfikowany jako nieulotny, ponieważ – domyślnie – będzie «pamiętał» i wykorzystywał tę samą wartość seed za każdym razem, gdy zostanie włączony. Rozważmy na przykład następujący fragment kodu, który generuje grupy pięciu liczb pseudolosowych z zakresu od 0 do 99:

```
void loop()
{
        for (int iRnd = 0; iRnd < 5; iRnd++)
        {
                int tmpRnd = random(0, 100);
                Serial.println(tmpRnd);
        }
}
```

Kiedy uruchamiam ten kod na moim Arduino Uno, otrzymuję następującą sekwencję liczb (dla przejrzystości podzieliłem je na grupy po pięć): 7, 49, 73, 58, 30; 72, 44, 78, 23, 9... Za każdym razem, gdy ponownie uruchamiam program, otrzymuję dokładnie tę samą sekwencję.

Sianie nasion

Co się stanie, jeśli zmienimy wartość ziarna losowości? Cóż, załóżmy, że zachowamy ten sam kod w naszej funkcji `loop()`, co poprzednio, ale dodamy instrukcję `randomSeed(10)` do naszej funkcji `setup()`. Zauważ, że przydomek „random seed" nie ma na celu sugerowania, że funkcja ta generuje losową wartość ziarna; raczej, że zmodyfikuje wartość ziarna PRNG Arduino, aby była określoną dodatnią liczbą całkowitą, która w tym przykładzie wynosi 10 (słowo do bystrzaków: nie używaj wartości ziarna równej 0; tyle w temacie).

Teraz, gdy uruchamiam ten zmodyfikowany kod na moim Arduino Uno, otrzymuję następującą sekwencję liczb (która różni się od tego, co widzieliśmy wcześniej): 70, 43, 1, 92, 65; 26, 40, 98, 48, 67... I ponownie, za każdym razem, gdy ponownie uruchamiam program, otrzymuję dokładnie tę samą sekwencję.

eprasa.pl 261515f3ed

Jak myślisz, co by się stało, gdybyśmy usunęli instrukcję `randomSeed(10)` z funkcji `setup()` i wstawili ją do funkcji `loop()` w następujący sposób:

```
void loop()
{
        randomSeed(10);
        for (int iRnd = 0; iRnd < 5; iRnd++)
        {
                int tmpRnd = random(0, 100);
                Serial.println(tmpRnd);
        }
}
```

Zasadniczo resetujemy nasz PRNG do tego samego punktu początkowego przed wygenerowaniem każdej partii pięciu liczb losowych. Powoduje to, że w kółko generujemy tę samą grupę pięciu liczb: 70, 43, 1, 92, 65; 70, 43, 1, 92, 65...

Jeszcze więcej losowości

Być może jesteśmy zadowoleni z faktu, że ta sama pseudolosowa sekwencja pojawia się za każdym razem, gdy uruchamiamy nasz program. Na przykład naukowcy i inżynierowie często wymagają „powtarzalności" w swoich eksperymentach. Z drugiej strony, jeśli tworzysz coś w rodzaju automatu do gier przeznaczonego do kasyna w Las Vegas, wykonywanie przez niego tej samej sekwencji za każdym razem, gdy jest włączany do prądu, nie byłoby uważane za pożądaną cechę. Ale oczywiście w niektórych przypadkach, takich jak programy w tym odcinku naszego cyklu, naprawdę nas to nie obchodzi.

Jak więc moglibyśmy zapewnić, że nasz program wykorzystuje inną wartość początkową za każdym razem, gdy jest uruchamiany? Jednym ze sposobów byłoby wymaganie od użytkownika naciśnięcia przycisku i wykorzystanie czasu, jaki upłynął między włączeniem zasilania systemu a aktywacją przełącznika przez użytkownika, jako wartości początkowej dla PRNG. Inną alternatywą byłoby wykorzystanie faktu, że wszelkie niepodłączone („pływające") wejścia analogowe na Arduino mają tendencję do wędrowania po wartościach. Załóżmy, że wrócimy do naszego oryginalnego fragmentu kodu, ale dodamy następującą instrukcję do naszej funkcji `setup()`:

```
randomSeed( analogRead(A0) );
```

Kiedy wykonujemy `analogRead()` na wejściu `A0`, otrzymamy nieco losową wartość i jest to wartość, której używamy do zasiania PRNG. W moim przypadku, przy pierwszym uruchomieniu tego programu, otrzymałem następującą sekwencję: 99, 31, 18, 45, 80; 38, 56, 72, 37, 62... Następnym razem, gdy uruchomiłem program, otrzymałem zupełnie inną sekwencję: 41, 78, 21, 52, 19; 23, 73, 52, 87, 34...

Szczerze mówiąc, tylko zarysowaliśmy tutaj głębię tematu losowości, ale przynajmniej wiemy już wystarczająco dużo, byśmy mogli zacząć się bać samych siebie, co zaprezentowano na grafice pod tym linkiem: http://bit.ly/pe-apr21-999999. ■

Clive „Max" Maxfield

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

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 261515f3ed

Podzespoły: czujniki PIR

Wszystkie ciepłokrwiste stworzenia promieniują energię podczerwoną. Jeśli przechodzisz przez pomieszczenie, Twoje promieniowanie podczerwone zakłóci wzór promieniowania w pomieszczeniu. Może to zostać wykryte przez czujnik PIR (Passive Infrared). W tym artykule opisano, jak to działa.

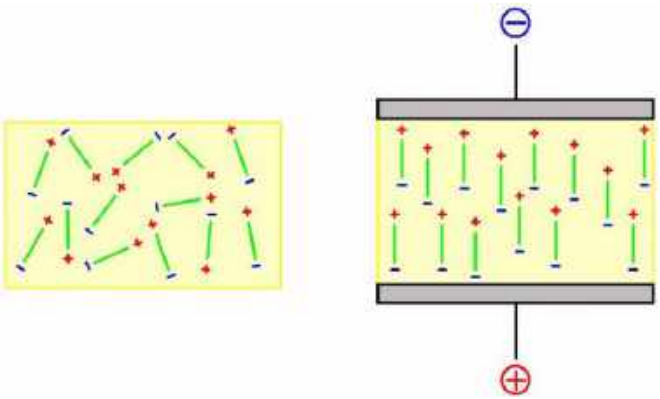
Efekt piroelektryczny

Ciepło to energia. Każde ciało cieplejsze od zera bezwzględnego czyli −273,15°C emituje energię w postaci promieniowania podczerwonego niewidocznego dla człowieka. Zjawisko to stanowi podstawę do tworzenia idealnych systemów wykrywania osób. Ilość promieniowania zależy od różnicy temperatur i wielkości obiektu. Zmierzono, że osoba przebywająca w pomieszczeniu o temperaturze 20°C emituje promieniowanie o średniej mocy około 100 W. Długość fali tego promieniowania wynosi około 10 µm. Jest to korzystne, ponieważ żarówka o mocy 100 W naturalnie również emituje energię podczerwoną. Ale długość fali tego promieniowania jest dziesięciokrotnie mniejsza, tj. około 1 µm. Promieniowanie podczerwone Słońca jest również daleko poza zasięgiem promieniowania ludzkiego. W ten sposób można bardzo łatwo wykryć promieniowanie podczerwone emitowane przez człowieka. Wystarczy opracować detektor o maksymalnej czułości około 10 µm.

Zasada działania detektorów piroelektrycznych. Zasada działania detektorów piroelektrycznych polega na tym, że promieniowanie podczerwone padające na detektor nagrzewa go. Ogrzewanie to prowadzi do zamiany rozkładu ładunków w detektorze i doprowadza do powstania różnicy potencjałów. Chociaż człowiek emituje średnio 100 W energii podczerwonej, energia ta bardzo szybko rozprasza się w przestrzeni. W rezultacie wzrost temperatury detektora w większości przypadków wynosi zaledwie 0,02°C. Niemniej jednak opracowane detektory są wystarczająco czułe, aby wykryć tę bardzo małą różnicę temperatur.

Efekt piroelektryczny. Odkrycie efektu piroelektrycznego jest rezultatem badań prowadzonych na całym świecie nad materiałami ceramicznymi. Odkryto, że jeśli niektóre materiały ceramiczne zostaną podgrzane powyżej pewnej temperatury, tak zwanego punktu Curie, a następnie podczas chłodzenia zostanie do nich przyłożone pole elektryczne, materiały te wykazują właściwości elektryczne wrażliwe na temperaturę. Ładunek powierzchniowy płytki wykonanej z takiej substancji ceramicznej wykazuje zależność od temperatury. Ten zmienny ładunek może być pobierany jako napięcie za pomocą elektrod przyłożonych do płytki. W rzeczywistości powstaje mały kondensator, którego wartość zależy od grubości płytki, powierzchni elektrod i stałej dielektrycznej materiału. To bardzo małe napięcie można przekształcić w użyteczny sygnał za pomocą czułych wzmacniaczy.

Dipole elektryczne. Materiał wykazujący właściwości piroelektryczne może być reprezentowany przez małe dipole elektryczne, jak pokazano na poniższym rysunku. Dipole te można porównać do magnesów elementarnych, z których składa się magnes trwały. W warunkach naturalnych dipole te są zorientowane losowo, więc można statystycznie założyć, że sumaryczny efekt na całym obrazie wynosi zero (lewy rysunek). Jeśli jednak podgrzejemy płytkę powyżej punktu Curie i przyłożymy pole elektryczne, wszystkie dipole zaczną ustawiać się w kierunku tego zewnętrznego pola (prawy rysunek). Nawet po schłodzeniu większość dipoli pozostaje w tej pozycji. Jednak pod wpływem temperatury niektóre dipole wrócą do pierwotnych pozycji, tworząc inny ładunek na całym obrazie. Im większa zmiana temperatury, tym silniejsze zjawisko i tym większy anomalny ładunek, który pojawi się na całej płytce.



1. Graficzne wyjaśnienie zjawiska fizycznego „efektu piroelektrycznego" (© 2018 Jos Verstraten)

Materiały piroelektryczne. Oprócz materiałów ceramicznych opracowano również tworzywa sztuczne wykazujące właściwości piroelektryczne. Tworzywa te są łatwiejsze w obróbce niż materiały ceramiczne i obecnie całkowicie zastąpiły ceramikę. Odkryto kilka substancji, które mają dobre właściwości piroelektryczne w zakresie 10 µm. Główne z nich to:

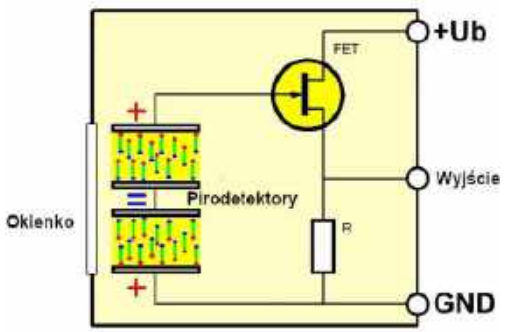
- Siarczan triglicyny, w skrócie TGS,
- Tantalan litu $LiTaO_3$,
- Substancje na bazie ołowiu, tytanu i cyrkonu, tzw. substancje PZT,
- Polifluorek winylidenu, w skrócie PVDF (kynar – przyp. tłum.).

To właśnie to ostatnie tworzywo jest obecnie wykorzystywane w detektorach piroelektrycznych. Przetwarza się je na bardzo cienkie warstwy o grubości około 10 µm.

Dwa działają lepiej niż jeden. Ze względu na wysoką czułość pojedynczy pirodetektor nie jest w stanie wykryć obecności osoby. Gdyby zastosować tylko jeden detektor, reagowałby on na każdą setną stopnia zmiany temperatury otoczenia i nie byłoby żadnego wiarygodnego wykrywania. Dlatego czujnik piroelektryczny składa się z dwóch pirodetektorów połączonych przeciwsobnie, patrz rysunek poniżej. Należy upewnić się, że oba detektory są bardzo ściśle połączone termicznie, tak aby można było mieć pewność, że oba znajdują się w tej samej temperaturze otoczenia. W ten sposób wpływ zmiennej temperatury otoczenia jest całkowicie wyeliminowany. Należy jednak pamiętać o tym, że nawet promieniowanie człowieka działa teraz na oba detektory i nie skutkuje wynikowym sygnałem. Trzeba zatem zastosować specjalny układ optyczny dla detektora.

Ponieważ detektory mają bardzo wysoką impedancję, konieczne jest zastosowanie transformatora impedancji. W większości przypadków składa się on z wtórnika FET, a napięcie wyjściowe jest pobierane ze źródła.

eprasa.pl 261515f3ed



2. Schemat elektryczny czujnika piroelektrycznego (© 2018 Jos Verstraten)

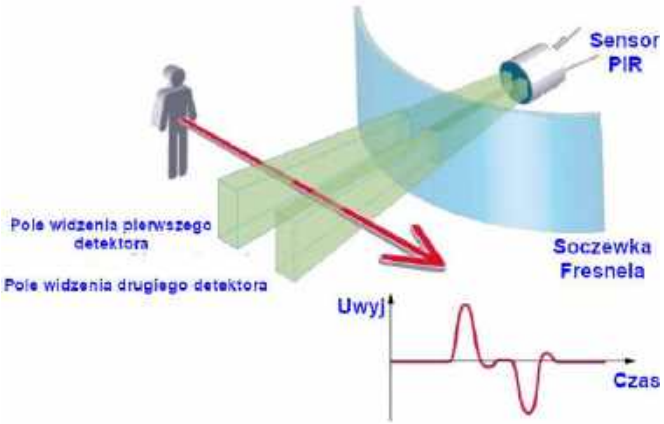
Od czujnika piroelektrycznego do czujnika PIR. Komponent zbudowany z dwóch przeciwsobnie połączonych czujników piroelektrycznych w jednej obudowie nazywany jest czujnikiem PIR, czyli pasywnym czujnikiem podczerwieni.

Układ optyczny czujnika PIR

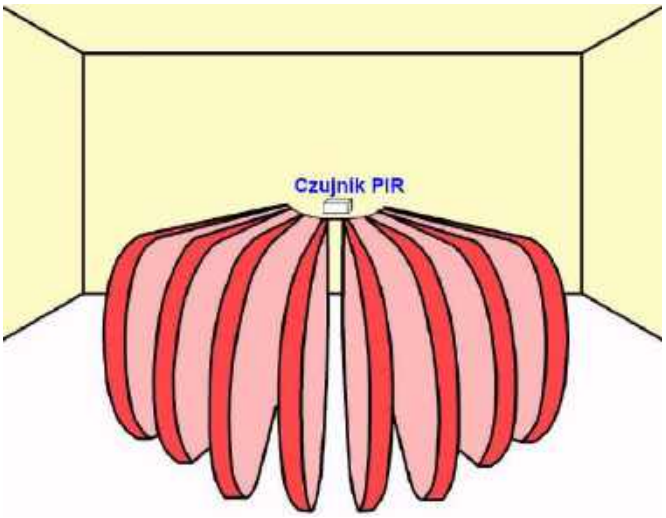
Optyka segmentowa. Pomysł polega na tym, że czujnik PIR emituje sygnał tylko wtedy, gdy gorący przedmiot porusza się w „polu widzenia" czujnika. Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie soczewki segmentowej do czujnika PIR, znanej również jako „soczewka Fresnela". Czasami stosuje się segmentowy reflektor paraboliczny. W przypadku czujników, które muszą być czułe we wszystkich kierunkach, stosuje się segmentową soczewkę typu rybie oko.

Soczewka Fresnela. Soczewka Fresnela skupia promieniowanie podczerwone na dwóch połączonych przeciwsobnie detektorach piroelektrycznych w bardzo szczególny sposób. Jak to działa, przedstawiono schematycznie na poniższym rysunku. Gdy osoba porusza się w przestrzeni, soczewka Fresnela powoduje, że promieniowanie emitowane przez tę osobę trafia kolejno w jeden lub drugi detektor. W rezultacie między tymi detektorami powstają niewielkie różnice temperatur. Generują one niewielkie różnice ładunku, które z kolei są przekształcane w niewielkie różnice napięcia przez wbudowaną elektronikę. Tak więc, gdy osoba porusza się po pomieszczeniu, czujnik PIR wygeneruje niewielki, zmienny sygnał napięciowy, jak pokazano na dolnym wykresie na rysunku. System jest tak czuły, że rejestruje nawet najmniejszy ruch głowy, ręki lub nogi.

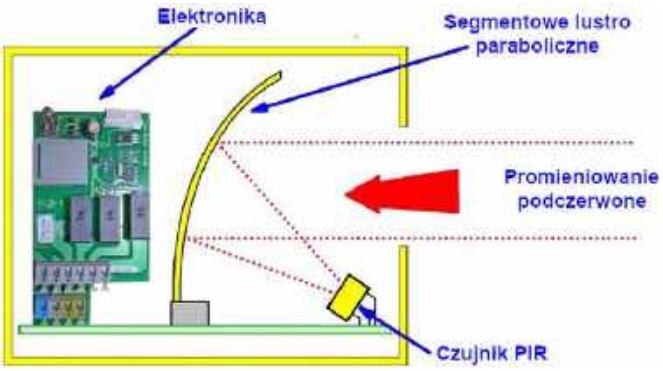
Płaty czułości. Ze względu na właściwości soczewki Fresnela monitorowana przestrzeń jest podzielona na kilka niewidocznych „płatów". Jeśli osoba stoi w jednym z takich płatów, czujnik wygeneruje niewielki, pojedynczy sygnał. Jeśli jednak osoba porusza się od „płata" do „płata", czujnik wyemituje wyraźnie zmieniające się napięcie, które może zostać wzmocnione przez elektronikę czujnika. Na poniższym rysunku, dla przejrzystości, narysowano tylko osiem płatów. W praktyce jednak monitorowana przestrzeń jest podzielona na dziesiątki płatów, więc praktycznie niemożliwe jest poruszanie się w przestrzeni bez emitowania promieniowania w co najmniej dwóch sąsiednich „płatach".



3. Przez specjalną soczewkę promieniowanie od poruszającej się osoby jest naprzemiennie skupiane na jednym z detektorów piroelektrycznych (© www.elettronicanews.it)



4. Dzięki specjalnemu segmentowemu układowi optycznemu obszar monitorowany przez czujnik PIR jest podzielony na dużą liczbę płatów (© 2018 Jos Verstraten)



5. Zasada działania segmentowego reflektora parabolicznego (© 2018 Jos Verstraten)

Segmentowy reflektor paraboliczny. Inną możliwością naprzemiennego oddziaływania promieniowania na jeden z dwóch detektorów piroelektrycznych jest zastosowanie tzw. segmentowego reflektora parabolicznego. Zasada działania została przedstawiona na poniższym rysunku. Reflektor znajduje się za czujnikiem PIR. Promieniowanie podczerwone z poruszającego się obiektu, które wchodzi przez okno, jest naprzemiennie skupiane przez segmenty reflektora na jednym z dwóch pirodetektorów. W ten sposób powstają różnice temperatur między dwoma detektorami, a czujnik PIR generuje niewielkie napięcie przemienne.

Segmentowa soczewka typu rybie oko. Czujniki PIR z soczewką Fresnela lub segmentowym reflektorem parabolicznym są czułe w jednym kierunku pod pewnymi kątami poziomymi i pionowymi. Na rynku dostępne są również czujniki PIR, które są czułe dookólnie. Wówczas na czujnik PIR nakłada się specjalną segmentową soczewkę typu rybie oko, dzięki czemu czujnik PIR „widzi" we wszystkich kierunkach. Poniższy rysunek przedstawia typowy kształt takiej soczewki typu rybie oko. Takie soczewki są oferowane pod ogólną

eprasa.pl 261515f3ed

6. Typowa kopułkowa soczewka Fresnela i jej wzór płatków (© 3Dlens.com)

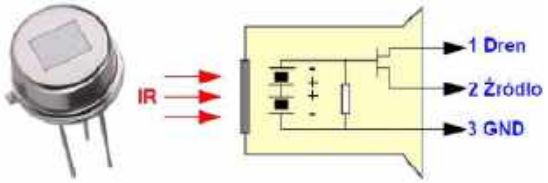
nazwą „soczewka kopułkowa Fresnela". Obok rysunku znajduje się reprezentacja przestrzennie czułych płatów utworzonych przez zastosowanie takiej soczewki.

Możliwości wykrywania czujnika PIR i optyki. Dodanie soczewki Fresnela do czujnika PIR daje system, który pozwala wykrywać nie tylko przybliżony ruch, ale także kierunek ruchu, prędkość ruchu i odległość między czujnikiem a poruszającym się obiektem. Poniższy rysunek przedstawia trzy różne możliwości wykrywania.

- (A) Kierunek ruchu: na podstawie kształtu impulsu wyjściowego czujnika PIR można stwierdzić, czy obiekt generujący promieniowanie cieplne porusza się z lewej do prawej, czy z prawej do lewej przed czujnikiem. W jednym przypadku czujnik najpierw wysyła impuls dodatni, a następnie ujemny, w drugim przypadku jest odwrotnie.
- (B) Odległość ruchu: im bliżej czujnika odbywa się ruch, tym większe impulsy generuje czujnik.
- (C) Prędkość ruchu: jeśli obiekt porusza się szybko w polu widzenia czujnika, odległość między dodatnim i ujemnym impulsem będzie mniejsza niż w przypadku, gdy obiekt porusza się powoli.

Czujniki PIR w praktyce

Praktyczny czujnik. Poniższy rysunek przedstawia schemat wewnętrzny typowego czujnika PIR. Zarówno pojemność elementu piroelektrycznego, jak i napięcie wyjściowe są bardzo małe, dlatego konieczne jest umieszczenie obwodu elektronicznego w jak najmniejszej odległości od dwóch wbudowanych czujników, przy czym obwód

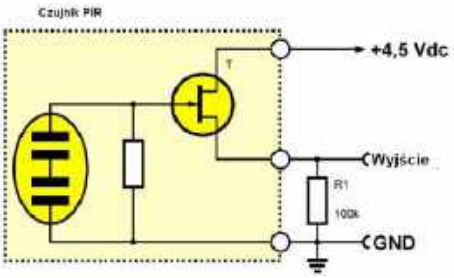


8. Obudowa i schemat wewnętrzny większości oferowanych na rynku czujników PIR (© 2018 Jos Verstraten)

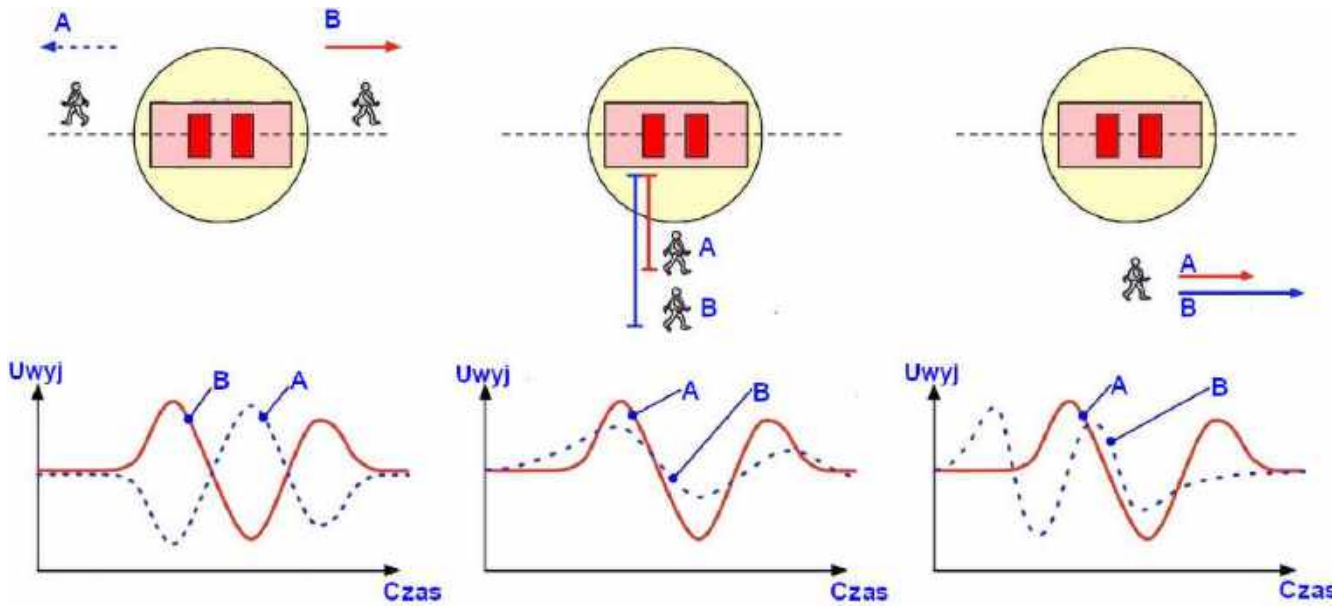
ten powinien mieć jak największą impedancję wejściową i możliwie małą pojemność. Co jest więc bardziej oczywiste niż zintegrowanie tego pierwszego stopnia z obudową czujnika? Praktycznie wszystkie czujniki, które można kupić, są zatem wyposażone w wewnętrzny tranzystor FET, z rezystorem źródłowym lub bez niego. Inny komponent o nieliniowej charakterystyce jest zwykle podłączony równolegle z czujnikami piroelektrycznymi, co powinno chronić bramkę FET przed nadmiernymi napięciami ujemnymi.

Większość czujników PIR jest umieszczona w metalowej obudowie TO. Dwa piroelementy czujnika są oddalone od siebie o około 2 mm i są widoczne przez małe okienko w górnej części obudowy, które pozwala na jak najlepsze przepuszczanie promieniowania podczerwonego o żądanej długości fali.

Podstawowy obwód. Dzięki wbudowanemu stopniowi FET, czujniki PIR można bezproblemowo włączać do obwodów elektronicznych. Na poniższym rysunku wewnętrzny tranzystor FET został włączony do zewnętrznego obwodu wtórnika źródłowego. Układ ten, analogiczny



9. Najprostszy obwód połączeń czujnika piroelektrycznego (© 2018 Jos Verstraten)



7. Trzy możliwości detekcji czujnika PIR z soczewką Fresnela (© www.mdpi.com)

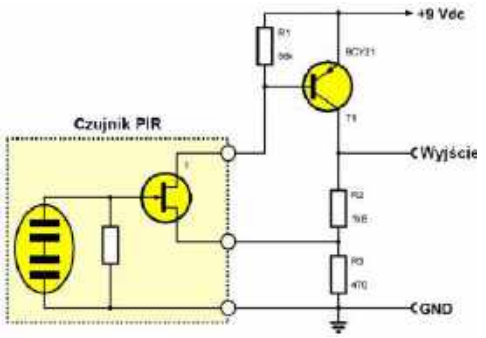
eprasa.pl 261515f3ed

do wtórnika emiterowego, zapewnia wzmocnienie nieco poniżej jedności, ale zamienia bardzo wysoką impedancję wejściową na niską impedancję wyjściową.

Wzmacniacz dwustopniowy. W układzie przedstawionym na poniższym rysunku, tranzystor FET jest włączony do dwustopniowego wzmacniacza z prądowym ujemnym sprzężeniem zwrotnym. Obwód ten również charakteryzuje się niską impedancją wyjściową, ale wytwarza wzmocnienie sygnału, którego wartość zależy od stosunku rezystorów w kolektorze tranzystora wyjściowego. Obwód ten jest bardzo przydatny, jeśli trzeba zaprojektować bardzo czułe układy, niezbędne w systemach ochrony przed włamaniami. Praktyczne specyfikacje proponowanego obwodu są następujące:

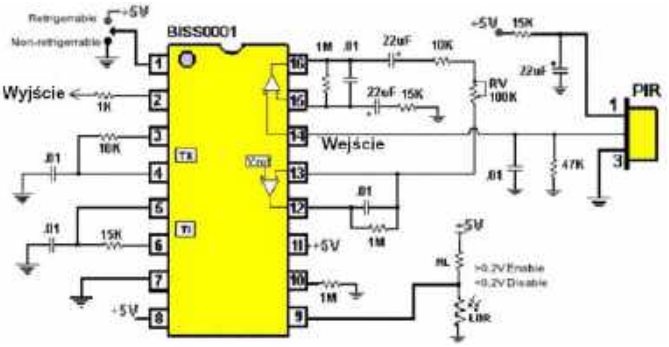
- wzmocnienie napięcia 4,8,
- impedancja wyjściowa 200 Ω,
- szum na wyjściu o średniej wartości 250 nV/Hz^{-1}.

Kolejnym ważnym argumentem przemawiającym na korzyść tego układu jest to, że specyfikacje wewnętrznego tranzystora FET są dość zróżnicowane. Prądowe ujemne sprzężenie zwrotne w tym obwodzie kompensuje do pewnego stopnia napięcia nastawcze, co jest bardzo ważne w produkcji seryjnej. Jednak pomimo sprzężenia zwrotnego, poziom napięcia stałego na wyjściu wzmacniacza może się różnić w zależności od obwodu w zakresie od 1 V do 8 V!



10. Wzmacniacz ze sprzężeniem zwrotnym o dużym wzmocnieniu sygnału (© 2018 Jos Verstraten)

Obwód ze specjalizowanym układem scalonym. Ponieważ czujniki PIR są obecnie używane wszędzie, kilku producentów układów scalonych zadało sobie trud zaprojektowania jednego lub więcej dedykowanych układów scalonych, których jedynym celem jest przetwarzanie napięcia wyjściowego czujnika PIR. Jednym z najtańszych układów scalonych jest zdecydowanie chiński BISS0001, którego, w tym odległym kraju, można zamówić za mniej niż pół euro. Na poniższym rysunku przedstawiliśmy standardowy schemat aplikacyjny tego układu scalonego. Wyjście czujnika PIR trafia na pin 14 układu BISS0001. Jest to wejście pierwszego wzmacniacza w tym układzie scalonym. Pomiędzy pinami 14/15/16 i 13/12 znajdują się dwa wzmacniacze operacyjne, które wystarczająco wzmacniają bardzo mały sygnał czujnika PIR. Potencjometr R_V kontroluje czułość, a tym samym zasięg wykrywania. Wyjście drugiego wzmacniacza operacyjnego (pin 12) trafia wewnętrznie do komparatora, który porównuje wzmocnione napięcie czujnika PIR z dwoma wewnętrznymi progami. Wyjście tego komparatora trafia wewnętrznie do bramki sterowanej napięciem na pinie 9. Napięcie na tym wejściu określa, czy obwód powinien być aktywny czy pasywny, próg wynosi około 0,2 V. Ta opcja jest przeznaczona do podłączenia fotorezystora. Gdy jest on oświetlony, obwód decyduje, że jest dzień i sygnały PIR nie powinny prowadzić do aktywnego impulsu wyjściowego. Pin 1 jest podłączony do masy



11. Przykładowy obwód z układem BISS0001 (© www.proyectoelectronico.com)

lub do zasilania, a wybrana opcja definiuje zachowanie wyzwalania obwodu. Wyjście układu scalonego na pinie 2 przechodzi przez rezystor zabezpieczający do wyjścia. Gdy czujnik PIR wykryje ruch, na tym wyjściu pojawi się stan wysoki.

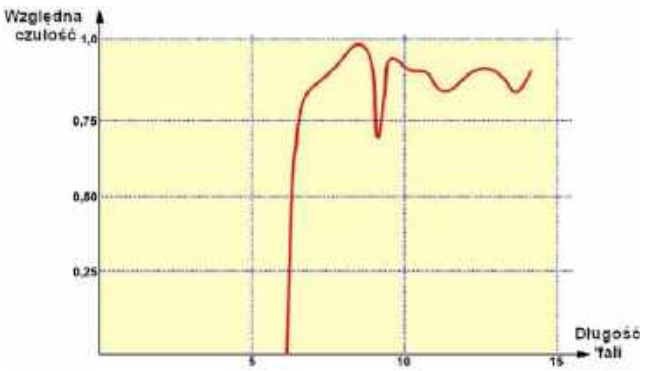
Specyfikacje czujników PIR

Wprowadzenie. Oprócz oczywistych danych, takich jak liczba elementów składających się na czujnik, ich wymiarów i czułości spektralnej, czujniki PIR charakteryzują się szeregiem parametrów, których definicja nie jest od razu jasna i które wymagają wyjaśnienia:

- czułość,
- moc równoważna szumów (NEP),
- okno optyczne.

Czułość. Czułość czujnika PIR definiuje się jako stosunek skutecznego napięcia na wyjściu do skutecznej mocy promieniowania padającego na czujnik. W związku z tym jednostką tej wielkości jest wolt na wat, w skrócie V/W. Zmierzona wielkość tego parametru zależy od długości fali promieniowania użytej do pomiaru oraz częstotliwości, z jaką to promieniowanie było modulowane. W większości testów odbywa się to poprzez umieszczenie obracającego się dysku między źródłem promieniowania a czujnikiem, wyposażonego w jedną lub więcej przysłon.

Dlatego po tym parametrze zawsze podawane są liczby w nawiasach, z których pierwsza wskazuje długość fali w µm, a druga częstotliwość. Tak więc, na przykład, czułość może być podana jako 150 V/W (10,10), co oznacza, że wielkość została zmierzona za pomocą promieniowania o długości fali 10 µm i pulsującego padającego na czujnik z częstotliwością 10 Hz. Przy określaniu tego parametru ważne jest również, w jakiej konfiguracji pracował czujnik w czasie pomiaru. Zazwyczaj czujnik jest podłączony jako wtórnik źródłowy, dzięki czemu nie uwzględnia się wzmocnienia dodatkowych obwodów w pomiarze.



12. Krzywa charakterystyki długości fali filtra optycznego RPY97 firmy Philips (© 2018 Jos Verstraten)

eprasa.pl 261515f3ed

Moc równoważna szumów (NEP). NEP jest miarą minimalnej ilości promieniowania, które można wykryć. Jest to efektywna wartość ilości promieniowania, które musi trafić do sensora, aby wygenerować efektywny sygnał wyjściowy, który jest tak duży, jak efektywna wartość szumu własnego detektora. Wielkość ta wyrażana jest w watach na pierwiastek kwadratowy z herca, tj. W/Hz^{-1}. Ponownie, w nawiasach podano niektóre istotne dane, takie jak długość fali, częstotliwość i szerokość pasma pomiaru szumu w Hz.

Okno optyczne. Pomimo faktu, że czujniki PIR są zaprojektowane tak, aby miały maksymalną czułość dla promieniowania o długości fali 10 µm, ich pirodetektory będą nadal wrażliwe na promieniowanie o innych długościach fal. Aby zminimalizować tę czułość, większość czujników jest dostarczana w obudowie wyposażonej w filtr optyczny. Filtr ten tworzy filtr górnoprzepustowy, przepuszczający tylko promieniowanie o długości fali większej niż 5 µm. Poniższy rysunek przedstawia przykładową charakterystykę przenoszenia filtra, w który wyposażony jest czujnik PIR RPY97 firmy Philips.

Moduły z czujnikami PIR

Tanie gotowe moduły. Jeśli nie planujesz zastosować czujnika PIR w jakiejś niestandardowej konstrukcji, nie ma za bardzo sensu projektowanie własnego układu współpracującego z czujnikiem. Rynek jest zalany gotowymi, chińskimi modułami PIR w bardzo niskich cenach. Niemal wszystkie są zaprojektowane do jednego celu: wykrywania ruchu ludzi na możliwie jak największym obszarze, dlatego wszystkie używają kopułkowej soczewki Fresnela. Na poniższej fotografii pokazano kilka przykładowych modułów z Chin. Niektóre z nich kosztują mniej niż 10 złotych. ■

13. Kolekcja modułów z czujnikiem PIR, które można zamówić w Internecie po okazyjnych cenach (© Banggood)

Jos Verstraten

REKLAMA

Prenumeratorzy mają bezpłatny dostęp do e-wydań archiwalnych EdW starszych niż 24 miesiące

Sięgnij po archiwalne wydania

ELEKTRONIKI dla WSZYSTKICH

Przesyłka GRATIS

Zamów wygodnie na www.UlubionyKiosk.pl

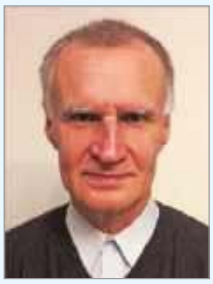
Uczmy się na cudzych błędach

Celem tej rubryki jest kształtowanie u Czytelników EdW umiejętności krytycznego czytania schematów i opisów projektów autorskich. Wszyscy jesteśmy omylni. Konstruktorzy projektów elektronicznych też. W projektach publikowanych w Internecie, ale też w artykułach drukowanych zdarzają się błędy różnej wagi, w tym też takie, które sprawiają, że układ nie może działać prawidłowo. Uczmy się wykrywać te błędy na przykładach projektów sprawdzonych w naszym redakcyjnym Pokoju Nauczycielskim.

Pamiętajmy! Nie oceniamy Autorów, tylko uczymy się na cudzych błędach.

Zapraszamy Czytelników do współpracy z naszym Pokojem Nauczycielskim. Jeśli natrafiliście w Internecie lub źródłach drukowanych na opis projektu z poważnymi Waszym zdaniem błędami, to przysyłajcie takie opisy do naszej redakcji (redakcja@elportal.pl w tytule wiadomości: Pokój Nauczycielski) wraz z Waszymi uwagami.

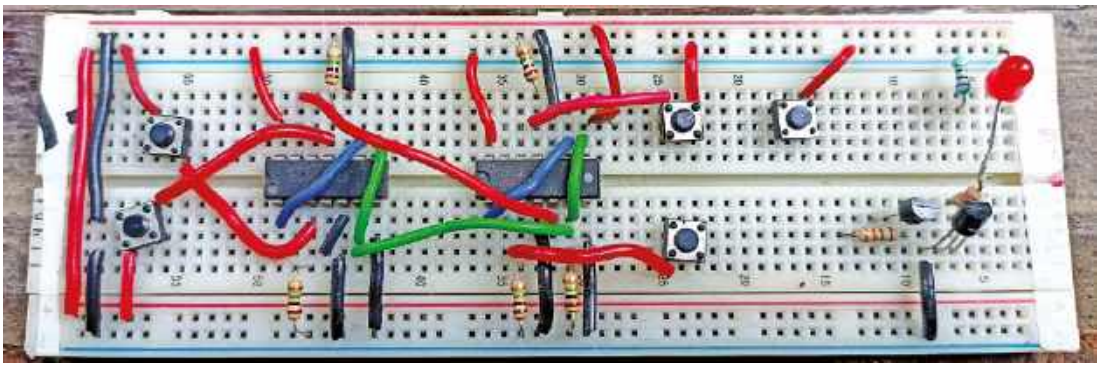
Projekt sprawdza i poprawia Karol Świerc



Mgr inż. elektronik – absolwent Wydziału Automatyki i Informatyki Politechniki Śląskiej z 1980 roku. Przez 25 lat prowadził serwis RTV. Mówi o sobie: „z elektroniką łączy mnie związek „z rozsądku", moją pierwszą miłością była matematyka i fizyka". Autor wielu artykułów publikowanych w EdW.

Bezpieczny zamek szyfrowy

Układ będący tematem niniejszego projektu jest zamkiem kodowym wymagającym wyboru określonej kombinacji przycisków w celu otwarcia np. drzwi. Otwarcie nastąpi tylko wtedy, gdy naciśniesz cztery z ośmiu dostępnych (zamontowanych przy wejściu), i zachowana musi być określona kolejność (co dalej będziemy nazywać kodem). Jeśli wybierzesz błędną sekwencję, system się zresetuje i drzwi nie zostaną otwarte.



Rysunek 1. Prototyp zmontowany na płytce uniwersalnej w celu przetestowania działania układu

Na **rysunku 1** widzimy prototyp autora.

Opis układu i jego działanie

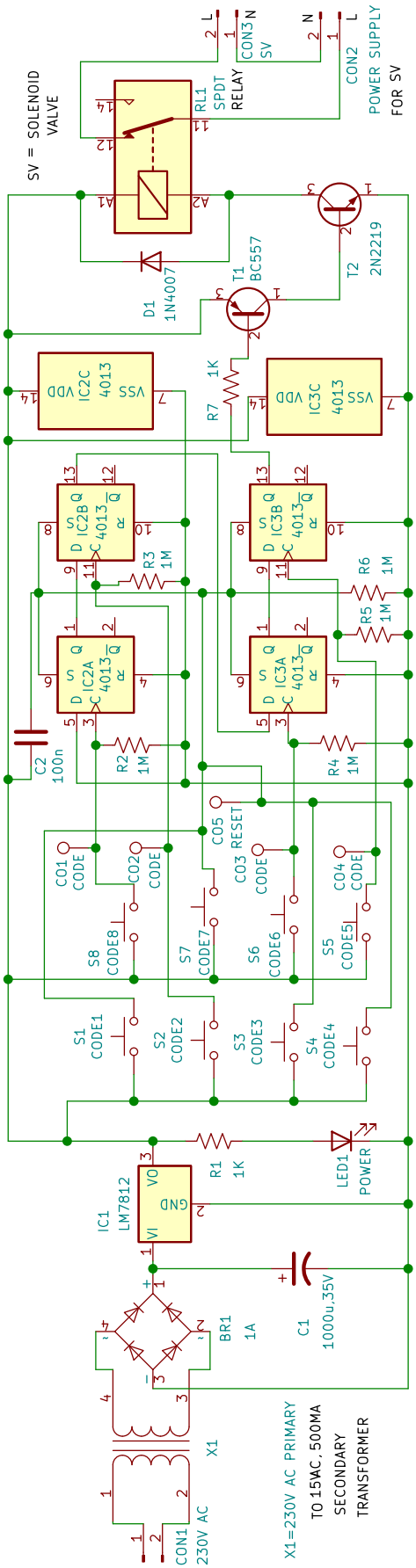
Schemat ideowy elektronicznego zamka kodowego widzimy na **rysunku 2**.

W układzie wykorzystano transformator sieciowy X1, mostek prostowniczy BR1, stabilizator 12 V LM7812 (IC1), dwa układy scalone 4013 podwójnego przerzutnika typu D (IC2 i IC3), diodę prostowniczą 1N4007 (D1), tranzystor pnp BC557 (T1), tranzystor npn 2N2219 (T2), przekaźnik RL1 z cewką 12 V oraz niewielką ilość prostych pasywnych elementów. Układ zasilany jest napięciem stałym 12 V pozyskanym z sieci 230 VAC za pośrednictwem transformatora obniżającego napięcie zmienne do wartości 15 VAC/500 mA. Napięcie sieciowe należy podłączyć do pierwotnego uzwojenia trafa za pośrednictwem złącza CON1. Uzwojenie wtórne podłączono wprost do mostka BR1 w celu pozyskania napięcia stałego, które filtrowane jest kondensatorem C1. Napięcie to podłączono na wejście stabilizatora wypracowującego stabilizowane 12 VDC. Na wyjściu zainstalowano także diodę LED1, która informuje o poprawnym zasilaniu elektroniki zamka kodowego.

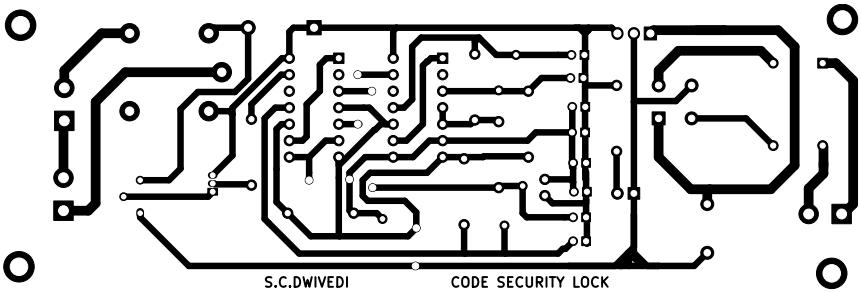
Sercem układu są przerzutniki typu D w dwóch układach scalonych CD4013. Wejścia zegarowe czterech przerzutników (piny 3 i 11 układów scalonych IC2 i IC3) wyprowadzono do punktów oznaczonych CO1, CO2, CO3 i CO4. Podanie poprawnego kodu który otwiera zamek, polega na podaniu taktów zegarowych na te przerzutniki w odpowiedniej kolejności. Poprawną kolejność nazywamy dalej kodem i w naszym przypadku jest to kolejno 8, 2, 6 i 5 (czyli 8265). Oznacza to, że należy nacisnąć S8, S2, S6 i S5 w takiej właśnie kolejności. I tylko taka sekwencja otwiera zamek. Pozostałe cztery przyciski (S1, S3, S4 i S7) podłączono do punktu CO5. To węzeł resetujący wszystkie przerzutniki (kwestia Set czy Reset jest czysto umowna, i w naszym przypadku punkt CO5 połączono z wejściem Set ustawiającym do stanu wysokiego wyjścia wszystkich Flip-Flopów – przypis redakcji).

Wejście D pierwszego przerzutnika (pin 5) połączono z potencjałem masy, co oznacza stałe „zero logiczne". Wyjście Q pierwszego przerzutnika połączono z wejściem

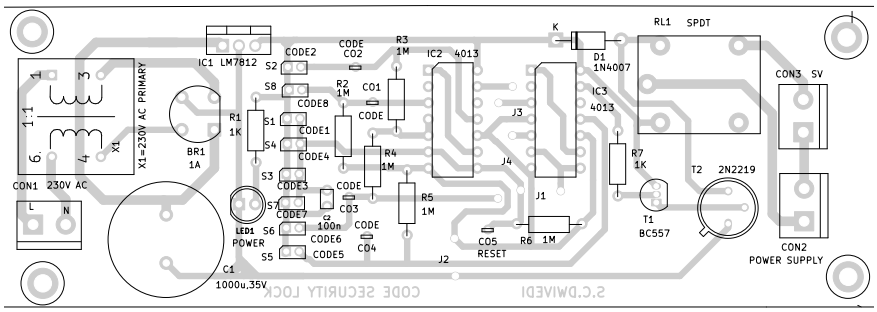
eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 2. Schemat ideowy zamka kodowego



Rysunek 3. Projekt jednostronnego druku PCB



Rysunek 4. Schemat montażowy ułożenia elementów na PCB

D drugiego, Q drugiego z D następnego itd. Chwilowe naciśnięcie przycisków S8, S2, S6 i S5 w takiej właśnie kolejności powoduje przepisanie stanu zerowego do kolejnych Flip-Flopów. Wpis następuje na narastającym zboczu impulsu zegarowego, dlatego wszystkie przyciski połączone są względem plusa zasilania układu.

W naszym przypadku „zaszyto" kod 8265, ale można go zmienić przez inne podłączenie przycisków do punktów, które na schemacie oznaczyliśmy CO1, CO2, CO3 i CO4. Na przykład, gdy chcemy ustawić kod 1756, należy switch S1 podłączyć do punktu CO1, switch S7 do CO2, S5 do CO3 i S6 do CO4. Pozostałe przyciski, czyli S2, S3, S4 i S8 należy podłączyć do węzła zerującego oznaczonego jako CO5 (w naszym przypadku zerowanie oznacza stan wysoki SET wszystkich przerzutników). Aczkolwiek, zgodnie ze schematem, kodem odblokowującym zamek jest 8265. Taki kod ustala podłączenie switchy S8, S2, S6 i S5 odpowiednio do CO1, CO2, CO3 i CO4, a pozostałych (S1, S3, S4 i S7) do punktu CO5.

Tylko wskazana kolejność impulsów (narastającego zbocza) zegarowych powoduje przepisanie stanu niskiego (GND) z wejścia pin-5 IC2 do wyjścia Q2 pin-13 IC3. Trwały stan niski na tym wyjściu skutkuje uruchomieniem przekaźnika za pośrednictwem drivera złożonego z tranzystorów T1 i T2. W konsekwencji cewka przekaźnika zostanie podłączona do zasilania i styki wykonawcze zostaną zwarte. Rygiel drzwi zostanie odblokowany napięciem podanym na złącze CON2. Należy zwrócić uwagę, iż wszystkie „switche resetujące" podłączono do pinów 6 i 8 (SET) obu układów scalonych IC2 i IC3. W stanie statycznym rezystor R6 wymusza tu stan niski. Ale między ten węzeł i plus zasilania włączono też kondensator C2. To „power-on-reset" zapewnia ustawienie wszystkich przerzutników (do stanu Q=1) po włączeniu zasilania. To zapewnia, iż po każdorazowym włączeniu napięcia zasilającego, zamek szyfrowy jest gotowy do właściwego działania.

Konstrukcja i testowanie pracy układu

Dla bieżącego projektu zaprojektowano jednostronną płytkę PCB, co pokazuje **rysunek 3**. W papierowej wersji czasopisma wymiary powinny być w skali 1:1. **Rysunek 4** pokazuje ułożenie elementów na PCB.

Wykaz elementów:

Półprzewodniki:
IC1: LM7812 – stabilizator 12 V
IC2 (IC2A-IC2B), IC3 (IC3A-IC3B): 4013 – przerzutniki typu D
D1: dioda prostownicza 1N4007
LED1: dioda LED 5 mm
T1: tranzystor pnp BC557
T2: tranzystor npn 2N2219

Rezystory: (wszystkie 0,25 W/±5%)
R1, R7: 1 kΩ
R2-R6: 1 MΩ

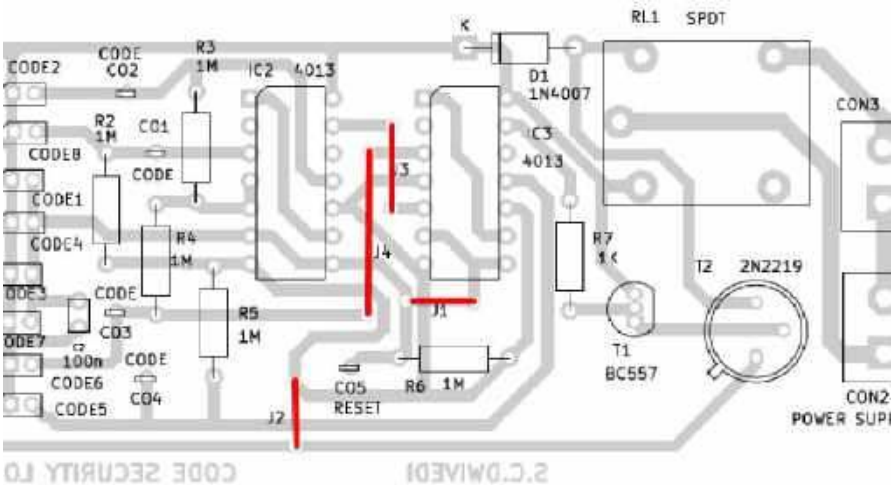
Kondensatory:
C1: 1000 µF/35 V elektrolityczny
C2: 100 nF ceramiczny

Inne:
CON1-CON3: złącze 2-pinowe
SV: rygiel z elektromagnesem 12 V
RL1: przekaźnik z cewką 12 V
X1: transformator sieciowy 230 VAC, 15 V/500 mA – uzwojenie wtórne

eprasa.pl 261515f3ed

Pod adresem https://youtu.be/FAyqXU11uq0 można obejrzeć filmik pokazujący działanie elektronicznego zamka kodowego wykonanego wg pokazanej tu idei.

Po zmontowaniu układu na PCB, należy go umieścić w odpowiednio przygotowanej obudowie. Z przodu obudowy należy przewidzieć mocowanie diody LED1 oraz złącza CON1. Złącza CON2 i CON3 najlepiej ulokować w tylnej części obudowy. Złącze CON3 przewidziano dla elektromagnesu rygla otwierającego drzwi. Z kolei do złącza CON2 należy podłączyć odpowiednie zasilanie dla cewki tego elektromagnesu.



Instalacja zamka szyfrowego

Na wstępie należy przygotować „keypad" dla switchy S1 do S8. Cztery przyciski którym chcesz przypisać kod należy odpowiednio podłączyć do punktów CO1 do CO4. Pozostałe podłącz do wspólnego punktu CO5. Tak przygotowaną „klawiaturę" umieść w wygodnym miejscu na wejściu które ma być otwierane i zabezpieczone kodem. W niedostępnym miejscu umieść cały układ i podłącz do niego zasilanie wykonawczego rygla. Po wykonaniu tych czynności układ powinien być gotowy do działania i nie wymaga żadnych czynności strojenia itp. Tak przygotowany zamek szyfrowy może mieć szersze zastosowanie. np. może zastąpić alarm w twoim samochodzie. Łącząc go z instalacją samochodu możesz sprawić, iż uruchomienie silnika będzie możliwe tylko po wpisaniu właściwego kodu. Tego typu elektroniczny zamek szyfrowy może mieć wiele zastosowań (aczkolwiek do sejfu trzeba by go jeszcze rozbudować). ■

Suresh Dwivedi

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

W aplikacji stabilizatora zabrakło kondensatora elektrolitycznego na wyjściu, a dla wejściowego C1 zabrakło oznaczenia polaryzacji na płytce PCB, co może wprowadzić początkującego składającego w błąd. Przydałyby się również, (równolegle do kondensatorów elektrolitycznych) mniejsze pojemności rzędu 330 nF na wejściu stabilizatora i 100 nF na jego wyjściu.

Ponadto silk screen dla transformatora (jego symbol na warstwie opisowej w odniesieniu do układu miedzianych ścieżek) na płytce PCB wprowadza w błąd i może doprowadzić do niebezpiecznej sytuacji zagrażającej bezpieczeństwu człowieka i samej elektroniki.

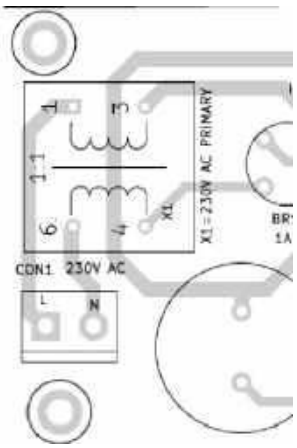
Dodatkowo, na płytce PCB jest kilka miejsc na wykonanie zwor drutowych. Nie ma o tym informacji w tekście a warstwa opisowa zawiera jedynie desygnatory J1, J2, J3 i J4 bez wskazania tras zwor (mało eleganckie rozwiązanie).

Warto sprawdzić przy jakiej wartości napięcia będzie pracował elektromagnes. Z uwagi na zastosowanie PCB z miedzianym drukiem po jednej stronie, przełączany potencjał znalazł się stosunkowo blisko ścieżki niskonapięciowej (minus cewki przekaźnika załączany przez tranzystor T2). Warto upewnić się, czy zachowany został odpowiedni dystans między potencjałami, a w razie potrzeby zastosować powietrzny slot.

Na schemacie z rysunku 2 wkradł się jeden błąd, który nie jest trudno skorygować. W bazie tranzystora T2 trzeba wstawić rezystor (wartość mało krytyczna, może być ok. 1 kΩ). W przeciwnym razie można się spodziewać natychmiastowego uszkodzenia tranzystora T2. Ale ciekawsze mogą być spostrzeżenia odnośnie bezpieczeństwa takiego zamka kodowego.

Przyciski S1, S3, S4 i S7 są zrównoleglone i podłączone do zrównoleglonych wejść Set wszystkich przerzutników. Te przyciski zamontowano „dla zmylenia przeciwnika". Mogłoby ich było być więcej lub mniej. Żadnego z nich nie wolno nacisnąć. Jeśli natomiast ktoś ma tylko taką wiedzę, które przyciski są aktywne, a które „dla zmylenia", to cały system jest bardzo mało bezpieczny. Można „się bawić" naciskając w dowolnej kolejności przyciski 2, 5, 6 i 8 tak długo, aż system odblokuje zamek. System wymusza, aby kolejność była taka jak autor podaje, czyli 8265. Ale ta kolejność może być oddzielona dowolną ilością pomyłek, o ile w międzyczasie nie naciśniemy żadnego z przycisków „zabronionych", które powodują ustawienie (do stanu Q=1) wszystkich przerzutników.

Reasumując należy stwierdzić, iż wystarczy wiedza które cztery przyciski są aktywne i nie powinna długo trwać zabawa nimi, aż system odblokuje zamek.



Ten wniosek opiera się na spostrzeżeniu, którego autor prosto nie sformułował. Cztery przerzutniki typu D ułożone są w formie rejestru przesuwnego. Rozdzielone są natomiast takty zegarowe tych Flip-Flopów. Do pierwszego przerzutnika wpisywany jest stan zera logicznego, i musi on przedostać się do przerzutnika ostatniego IC3B. Tu stan Q=0 jest aktywny i on uruchamia przekaźnik. Nie ma innej możliwości wyzerowania Flip-Flopa IC3B, jak „zero aktywne" musi przejść przez kolejne stopnie rejestru przesuwnego. Jeśli naciśniemy S8, to IC2A zostanie wyzerowany. Teraz należy nacisnąć S2. Ale jeśli naciśniemy S8, S5 i/lub S6 dowolną ilość razy i w dowolnej kolejności, to IC2A nadal pamięta (poprawną, zerową) wartość. W końcu naciśniemy S2 i zero logiczne (stan niski) zostanie przeniesiony do przerzutnika IC2B. Chodzi o to, że „pośrednie błędy" nie wymagają powrotu do początku sekwencji. O ile nie naciśniemy w międzyczasie przycisku ustawiającego wszystkie przerzutniki rejestru. Tych jest tu 4 sztuki. Ale ponieważ wszystkie są zrównoleglone, można zainstalować ich dowolną ilość bez rozbudowy systemu.

Teraz można zadać pytanie jakie jest bezpieczeństwo takiego zamka kodowego. To proste zadanie z kombinatoryki i rachunku

eprasa.pl 261515f3ed

prawdopodobieństwa. Wydawałoby się, że jest tak: wpierw z 8 przycisków losujemy jeden, i musi nim być S8. Następnie musimy wylosować jeden właściwy z pozostałych siedmiu (w naszym przypadku musi nim być S2). Następnie z pozostałych sześciu, jeden jest trafny (S6). I ostatni, musimy wylosować S5 z pięciu pozostałych przycisków gdyż wiemy, że w poprawnej sekwencji żaden powtarzać się nie może. Prawdopodobieństwo „sukcesu" trafienia właściwego kodu jest równoważne zadaniu typu: mamy w skrzyni 8 kul ponumerowanych od 1 do 8 ; jakie jest prawdopodobieństwo wylosowania czterech w kolejności o zadanych z góry numerach?

Prawdopodobieństwo wylosowania poprawnej sekwencji jest odwrotnością iloczynu 8×7×6×5=1680 (bo żadna z wylosowanych „kul" nie wraca do skrzyni). Czyli tylko ok. 0,06%. Całkiem nieźle, ale czy na pewno? Ilość przycisków „dla zmylenia przeciwnika" zdecydowanie zwiększa bezpieczeństwo systemu. Jeśli np. dołożymy jeden (co sprowadza się jedynie do zainstalowania S9 równolegle do istniejących 1, 3, 4, 7), to liczba kombinacji zmieni się w iloczyn 9×8×7×6=3024 (i bezpieczeństwo wzrośnie do 99,97%). Jeśli natomiast „potencjalny włamywacz" będzie wiedział jedynie które przyciski omijać, a nie zna kodu poprawnego (którym jest tu 8265), to bez trudu otworzy ten zamek szyfrowy. Najprostszą taktyką „złodzieja" może być czterokrotne naciśnięcie sekwencji wszystkich aktywnych switchy w dowolnej kolejności. Czyli np. cztery razy 2568, i drzwi zostaną otwarte! Warto jeszcze dodać jedno spostrzeżenie. Przy takiej konstrukcji zamka szyfrowego jest jeszcze jedna niewygodna kwestia. Po każdorazowym otwarciu drzwi trzeba pamiętać, aby nacisnąć choć raz jeden z przycisków „zabronionych" (S1, S3, S4 lub S7). Jest to konieczne aby system wyzerować tak, aby znów był chroniony kodem.

Przy okazji tego projektu, można się jeszcze trochę pobawić matematyką. Można zadać pytanie jakie jest faktyczne bezpieczeństwo systemu, jeśli potencjalny włamywacz nie wie, które przyciski są zabronione. Wie tylko, że kod jest czterocyfrowy, a widzi przycisków osiem. To zadanie jest równoważne następującemu: w skrzyni jest 8 kul, cztery białe i 4 czarne. Jakie jest prawdopodobieństwo, że cztery razy losując wyciągniesz same kule białe. Losując pierwszą kulę masz szansę 4/8 czyli 50%. Losując drugą kulę masz szansę 3/7. Przy trzeciej prawdopodobieństwo maleje do 2/6 i przy ostatniej do 1/5. Wymnażając te ułamki stwierdzimy, iż prawdopodobieństwo wylosowania czterech poprawnych cyfr wyniesie 1,4%. No tak, ale tak wylosowana sekwencja nie otworzy zamka. Nie szkodzi. Należy powtórzyć ją 4 razy i drzwi się otworzą. I tutaj nie trzeba wprowadzać korekty do prawdopodobieństwa sukcesu otwarcia drzwi, nie znając właściwego kodu. Reasumując należy stwierdzić, że szansa ta wzrosła 24-ro krotnie z 0,06% do 1,4%. Jeśli natomiast „potencjalny włamywacz" ma dużo czasu i wskazaną procedurę może powtórzyć, to zdecydowanie zwiększa szansę na otwarcie drzwi.

Jednak naciskając na ślepo, dysponujemy prawdopodobieństwem, ale nigdy nie mamy pewności trafienia. Trzeba znaleźć „jakąś metodę".

Można zapytać, czy istnieje procedura zapewniająca otwarcie drzwi nie znając kodu? Wskazaną wyżej próbę otwarcia drzwi należałoby powtórzyć dla każdej kombinacji kodu czterech cyfr spośród ośmiu. To jest kombinacja „8 na 4" (n!/k!(n-k)!). Takich kombinacji jest 70 ((8×7×6×5/(4×3×2×1)). Każda kombinacja wymagała 4×4 naciśnięć na switche stanowiące klawiaturę zamka kodowego. Każdą sekwencję powtarzamy 4 razy dlatego, że nie znamy poprawnej kolejności cyfr. A budowa zamka zwalnia nas z tej wiedzy, jeśli 4 razy powtórzymy kod. Zatem, w najgorszym razie po 1120 naciśnięciach zamek zostanie otworzony.

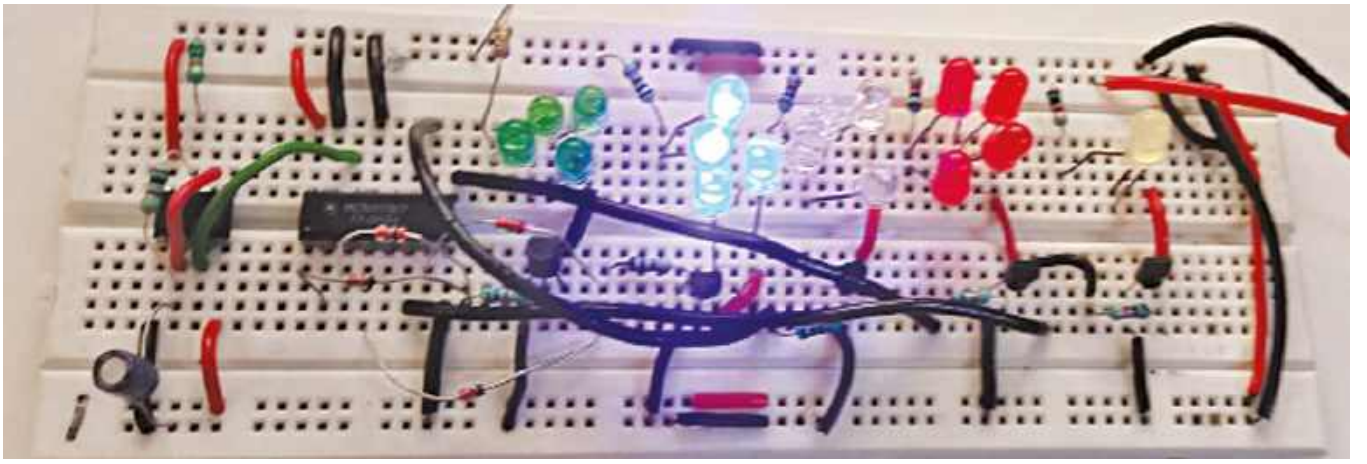
Mimo wszystko „palcowania" byłoby dużo. Ale jednak mniej od metody najprostszej, wpisywania po kolei wszystkich możliwych liczb złożonych z czterech cyfr w kodzie ósemkowym (gdy cyfr jest 8). Takich liczb jest oczywiście 8^4=4096. No tak, ale trzeba odrzucić wszystkie liczby w których co najmniej dwie cyfry się powtarzają. Nasz kod taką liczbą być nie może. Jednak dostępnych kodów jest nadal dużo: 8×7×6×5=1680. Ale każda liczba wymaga naciśnięcia czterech switchy. Aby wyczerpać wszystkie możliwości, trzeba „palcować" 1680×4=6720 razy (zakładając oczywiście maksymalnego pecha czyli, że drzwi otworzą się po wpisaniu ostatniego kodu).

REKLAMA

eprasa.pl 261515f3ed

„Dyskoteka” mrugających diod w 5 kolorach

Prezentowany tu projekt jest układem migających diod LED o pięciu kolorach. Efekt ten uzyskano z wykorzystaniem prostych i niedrogich elementów. Zastosowano dwa układy scalone, w tym wiecznie młody timer 555 i licznik dekadowy 4017. Na pewno nie znajdziemy tu mikrokontrolera, który oczywiście też „podołałby” temu zadaniu.

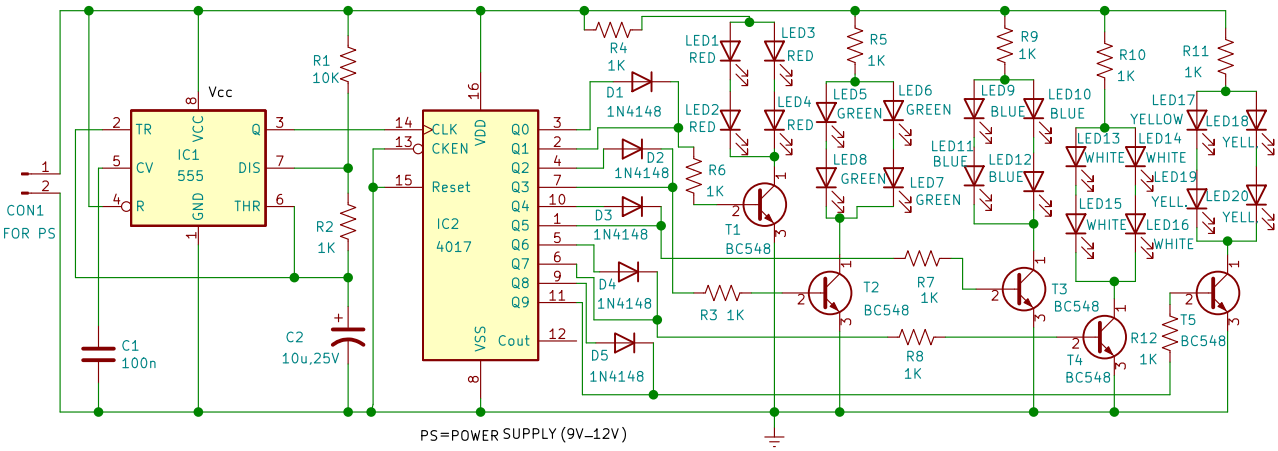


Rysunek 1. Prototyp autora na płytce uniwersalnej

Timer 555 pracuje w konfiguracji multiwibratora astabilnego i jego zadaniem jest generacja taktu zegarowego. Sygnał ten podłączono na wejście Clock licznika, którego stan jest inkrementowany wraz z każdym taktem zegara. Wyjścia kolejnych przerzutników w liczniku podłączono do baz pięciu tranzystorów które włączają różnokolorowe diody. Diod w sumie jest 20 sztuk zgrupowanych po cztery diody jednego koloru. Diody w ułożeniu 2 razy dwie równolegle wraz z rezystorem ograniczającym prąd włączone są w obwody kolektorów pięciu tranzystorów npn. Zastosowanie licznika dekadowego sprawia, iż stan wysoki kroczy przez 10 wyjść i naliczany jest z częstotliwością taktu zegarowego. Diody zaświecają i gasną sekwencyjnie i w każdym czasie świeci tylko grupa diod jednego koloru. Częstotliwość mrugania tych diod łatwo zmienić manipulując wartością rezystorów i kondensatora w aplikacji timera 555. Na **rysunku 1** widzimy prototyp autora zmontowany na płytce uniwersalnej. Natomiast schemat ideowy układu pokazano na **rysunku 2**.

Układ zasilany jest napięciem 12 V i może to być akumulator lub zasilacz niewielkiej mocy zasilany z sieci 230 VAC. Ponadto układ zawiera scalony timer 555 (IC1), licznik 4017 (IC2), pięć tranzystorów BC548 (T1 do T5), pięć grup pięcio-milimetrowych diod LED koloru czerwonego, zielonego oraz niebieskie, białe i żółte. Ponadto na schemacie widzimy jedynie niewielką ilość rezystorów i dwa kondensatory.

Aplikacja timera 555 jest typowa i wielu czytelników jest zaznajomionych z tym układem scalonym, gdyż był on już stosowany w wielu projektach pokrewnych. Dwa wyprowadzenia podłączone są wprost do linii zasilania. Poza oczywistym Vcc (pin 8), jest to wyprowadzenie Reset (pin 4), które w tym stanie jest nieaktywne. Vcc przyjęto na poziomie 12 V, aczkolwiek dopuszczalny jest przedział między 9 V i 12 V. Konfigurację multiwibratora astabilnego realizuje podłączenie rezystorów R1, R2 i kondensatora C2. R1 o wartości 10 kΩ podłączono między



Rysunek 2. Schemat ideowy „flashera” diod LED

eprasa.pl 261515f3ed

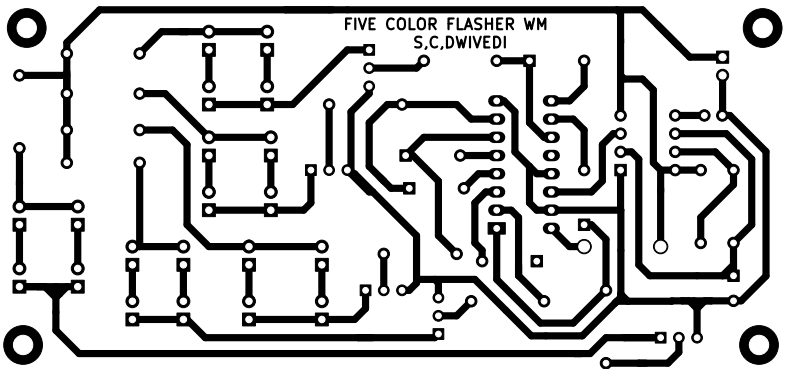
Wykaz elementów:
Półprzewodniki:
IC1: Timer IC555
IC2: Licznik dekadowy 4017
D1-D5: Diody sygnałowe 1N4148
LED1-LED4: 5 mm diody LED czerwone
LED5-LED8: 5 mm diody LED zielone
LED9-LED12: 5 mm diody LED niebieskie
LED13-LED16: 5 mm diody LED białe
LED17-LED20: 5 mm diody LED żółte
T1-T5: Tranzystory npn BC548

Rezystory: (wszystkie 0,25 W/±5%)
R1: 10 kΩ
R2-R12: 1 kΩ

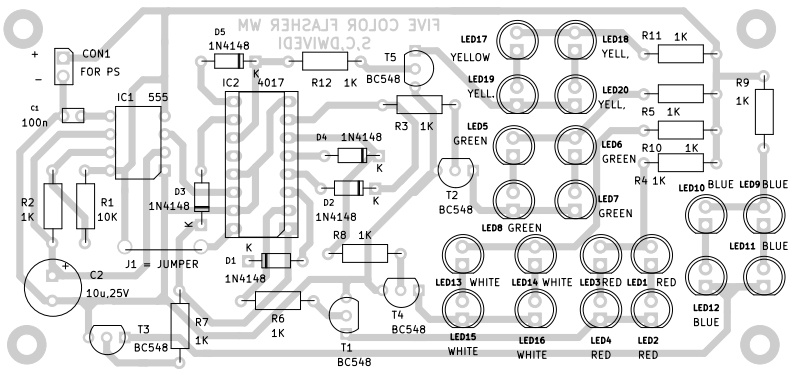
Kondensatory:
C1: 100 nF ceramiczny
C2: 10 μF/25 V elektrolityczny

Inne:
CON1: złącze 2-pinowe

Ponadto:
Bateria 9 V lub 12 V
Płytka uniwersalna
Zestaw jumperów



Rysunek 3. Jednostronna płytka drukowana PCB



Rysunek 4. Schemat montażowy ułożenia elementów na PCB

potencjał zasilania i wyjście Discharge (pin 7) układu scalonego. Rezystor R2 ma wartość 1 kΩ i włączono go między wyjście Discharge oraz Trigger i Threshold (wyprowadzenia 2 i 6 układu scalonego). Poza tymi rezystorami, częstotliwość taktu wyznaczona jest pojemnością kondensatora C2 włączonego między wyjście Threshold/Trigger i masę układu. Do masy podłączono także wyprowadzenie 1 (GND) timera 555. Drugi kondensator C1 (o pojemności 100 nF) włączono między wyprowadzenie 5 IC oraz masę układu. To pomocnicza funkcja blokowania potencjału CV, co nie ma istotnego znaczenia na częstotliwość pracy multiwibratora. Wyjście timera 555 stanowi wyprowadzenie 3 i podłączone jest ono bezpośrednio do nogi 14 licznika 4017 (IC2), która stanowi wejście zegarowe. Zasilanie licznika IC2 stanowi wyprowadzenie 16, które jest zwarte z linią zasilającą. Ujemny biegun zasilania Vss to wyprowadzenie 8. Z masą zwarto także wyprowadzenia Reset i Clock-Enable CKEN (piny 13 i 15). Nieaktywny Reset i aktywny w stanie niskim Clock-Enable umożliwia naliczanie licznika w takt zegara. Pozostałe wyprowadzenia IC 4017 oddelegowane są jako wyjścia i sterują one bezpośrednio tranzystorami włączającymi każdą z sekcji diod świecących.

Jak już powiedziano wyżej, układ scalony timera pracuje w trybie przerzutnika astabilnego. Uwzględniając wartości zewnętrznych elementów RC stwierdzimy, że częstotliwość taktu jest w okolicy 12 Hz. I taką częstotliwością naliczany jest licznik dekadowy. W razie innych upodobań, częstotliwość zegara można zmienić w szerokim zakresie dobierając inne wartości R1, R2 i/lub C2. W miejsce jednego z rezystorów można także zastosować potencjometr montażowy.

Licznik 4017 nalicza na dodatnim (narastającym) zboczu taktu zegarowego. W bieżącym projekcie nie ma możliwości zmiany czasu świecenia poszczególnych sekcji diod LED. Czas ten jest jednakowy dla każdej sekcji i podporządkowany jest on stałej częstotliwości impulsu naliczającego. Licznik dysponuje dziesięcioma wyjściami Q0 do Q9. Wyjścia „parzyste" Q0, Q2, Q4, Q6 i Q8 podłączono do anod diod 1N4148 (odpowiednio D1 do D5). Wyjścia nieparzyste Q1, Q3, Q5, Q7 i Q9 włączone są bezpośrednio do katod tych diod. W ten sposób dwa sąsiednie wyjścia licznika sterują tym samym tranzystorem (T1 do T5). Takie rozwiązanie zastosowano, gdyż licznik dekadowy ma 10 wyjść, a diody zgrupowano w 5 grup o różnych kolorach. Wyjście Q0 i Q1 steruje grupą czerwonych diod, wyjście Q2 i Q3 włącza diody zielone. Odpowiednio Q4 i Q5 włącza sekcję diod niebieskich, Q6 i Q7 – białych, a Q8 i Q9 – sekcję żółtych diod LED.

W ten sposób cztery diody czerwone świecą, gdy stan wysoki jest na wyjściu Q0 lub na Q1. Podobnie, gdy stan wysoki przyjmie wyjście Q2 lub Q3, będzie wysterowany tranzystor T2 i włączy on sekcję diod zielonych. Ta sama zasada obowiązuje dla pozostałych sekcji diod włączanych tranzystorami T3, T4 i T5.

Zatem działanie układu jest proste. Po włączeniu zasilania, układ powinien od razu podjąć pracę. Kolejność zaświecania diod będzie zgodna z tym jak podłączono tranzystory T1 do T5. W prototypie autora pierwsze zaświecą cztery diody czerwone. Gdy one zgasną, natychmiast zaświecą diody zielone, a następnie niebieskie, białe i żółte. Następnie cykl się powtarza bez żadnej dodatkowej przerwy. Tym samym trudno rozpoznać która sekcja jest pierwsza, a która ostatnia.

Dla zaproponowanego projektu przygotowano płytkę PCB, To płytka z jednostronnym drukiem i w naturalnym rozmiarze pokazuje ją **rysunek 3**. Ułożenie elementów na PCB pokazano na **rysunku 4**.

Po zmontowaniu układu, należy go zamknąć w odpowiednio przygotowanej obudowie. O efekcie końcowym będzie decydował także sposób rozmieszczenia i kolejność ułożenia dwudziestu diod LED. Możesz to wykonać zgodnie ze swoim upodobaniem.

W prototypie autor przewidział złącze CON1 dla podłączenia baterii lub zasilacza. Jeśli wykorzystasz niewielką bateryjkę 9 V, nietrudno będzie ją zmieścić w przygotowanej obudowie razem z uzbrojoną płytką PCB. ■

S.C. Dwivedi

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

Projekt jest w sumie bardzo prosty i „mało ambitny". Można go adresować dla początkujących adeptów zabawy elektroniką. Mimo to,

eprasa.pl 261515f3ed

opis działania można by skrócić, gdyż autor kilkakrotnie powtarza kwestie oczywiste. Ale, nie obyło się też bez błędów mniejszych i poważniejszych. Mniejszym błędem jest połączenie samych diod LED. Lepiej byłoby, aby każda sekcja czterech diod jednego koloru była połączona szeregowo. Ale to wymagałoby wyższego napięcia zasilania. Jeśli diody zgrupowano tak jak na schemacie (rysunek 2), to lepiej aby każde dwie diody miały swój rezystor ograniczający prąd. Można by także uwzględnić, że diody w różnych kolorach wykazują różny spadek napięcia w kierunku przewodzenia i odpowiednio zróżnicować rezystancje szeregowych rezystorów. Tutaj, wszystkie rezystory R3 do R12 mają rezystancję 1 kΩ, aczkolwiek w bazach tranzystorów T1 do T5 można by zastosować rezystancje większe. To jednak nie jest „dużym wykroczeniem" i niekoniecznie spostrzeżenie to należy klasyfikować jako błąd. Przeciwnie do spostrzeżenia następnego.

Zastanawia wykorzystanie licznika 4017. To licznik dekadowy, a diod (różnych kolorów) jest 5. Pewnie dlatego autor zsumował sąsiednie wyjścia licznika. Zastosowanie diod D1 do D5 jest słuszne, ale dlaczego tylko 5, na co drugim wyjściu? Wyjścia licznika Q0 do Q9 to nie otwarty kolektor, ale aktywne zarówno w stanie niskim jak i wysokim. Kolejne takty zegara powodują wędrującą jedynkę logiczną na kolejnych wyjściach od Q0 do Q9 po którym wraca do Q0, i tak w kółko.

Zsumowanie sąsiednich wyjść (Q0 + Q1, Q2+Q3, Q4+Q5, Q6+Q7 i Q8+Q9) wymaga diod separujących wyjścia licznika i pełniących funkcję sumy logicznej na bazach tranzystorów włączających LED-y. Ale diody te powinny być na każdym wyjściu (Q0 do Q9). W sytuacji takiej jak widzimy na schemacie z rysunku 2, dioda D1 spełni swe zadanie gdy stan wysoki przyjmie Q1, a Q0 będzie w stanie niskim. Gdy natomiast stan wysoki będzie na Q0 a niski na Q1, D1 będzie spolaryzowana do przewodzenia. Nastąpi faktycznie zwarcie tych obu wyjść i duży prąd popłynie z Q0, gdzie wewnętrzny tranzystor wymusi napięcie bliskie zasilaniu, a Q1 będzie chciał ściągnąć potencjał do napięcia bliskiego masy. Ten „konflikt" prawdopodobnie „wygra" stan niski, gdzie wydajność prądowa wyjścia jest większa. Ale taki stan jest niedozwolony, gdyż jest bliski zwarciu na linii zasilania. Podobny konflikt wystąpi na pozostałych parach wyjść licznika dekadowego. Być może układ będzie pracował, gdyż wydajność prądowa wyjść nie jest duża. Nie mniej jest to „gruby błąd". Taki projekt byłby usprawiedliwiony tylko wtedy, gdyby stan niski wyjścia oznaczał w istocie stan wysokiej impedancji. A jeśli „jest tak jak jest", to czy kolejne kolory diod będą zaświecały w równych odstępach czasu bez żadnych przerw? Jeśli projekt adresujemy dla najmłodszych czy początkujących, to „jak się bawić, to się bawić". Można by świadomie zaproponować przerwy czasowe między zgaśnięciem diod jednego koloru i zaświeceniem następnych. A wtedy obejdzie się bez tych diod. Natomiast przez różne kombinacje włączenia diod na wyjściach licznika, można programować ciekawszą kolejność „dyskoteki" zaświecania i gaśnięcia diod w różnych kolorach.

Przyglądając się schematowi z rysunku 2 nietrudno domyśleć się, że kłopot powstał gdy autor postanowił zastosować licznik dekadowy, a miał do dyspozycji diody LED w jedynie pięciu kolorach. Ale, czy nie lepiej wtedy wykorzystać wejście Reset i jedynie 5 wyjść licznika Q0 do Q4? (np. wyjściem Q5 zerować licznik). Częstotliwość „mrugania" można skorygować rezystorem R1 lub kondensatorem C2. Ciekawsze efekty można by uzyskać zapętlając wyjścia licznika dekadowego z pracą multiwibratora na timerze 555, co można polecić bardziej zaawansowanym lub „mniej początkującym" Czytelnikom. Jednak w zakresie „elastyczności zabawy" projekt taki nigdy nie dorówna konstrukcji z wykorzystaniem mikrokontrolera, co niekoniecznie musi być rozwiązaniem droższym.

REKLAMA

ELEKTRONIKA PRAKTYCZNA

przejrzysz i kupisz na **www.ulubionykiosk.pl**

Alarm z czujką dymu i układem scalonym UM3562

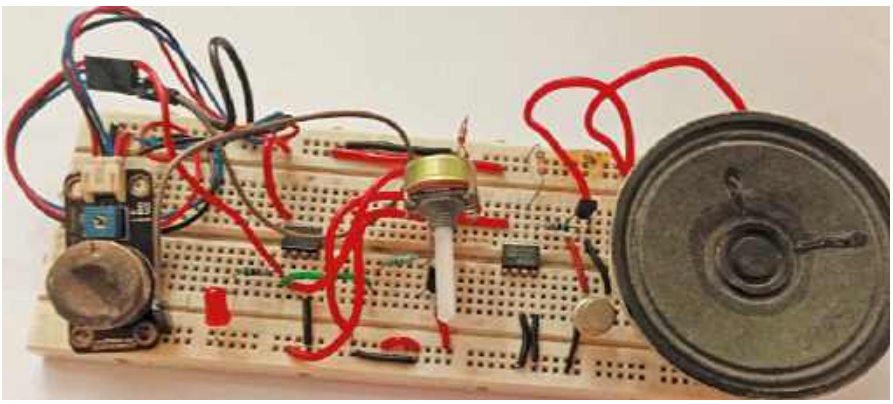
Bieżący projekt pokaże jak w prosty sposób wykonać układ który zaalarmuje mieszkańców w sytuacji wykrycia rozprzestrzeniającego się czadu lub dymu. Trudno przecenić praktyczną użyteczność takiego alarmu w sytuacji zagrożenia. Układ ten można zastosować nie tylko w domach, ale także w biurach, pomieszczeniach fabrycznych, restauracjach, szpitalach itp. W bieżącym artykule omówimy działanie alarmu i sposób jego budowy.

Rysunek 1 przedstawia prototyp wykonany przez autora. Na **rysunku 2** pokazano moduł z czujnikiem MQ2, który jest sercem tego projektu, zaś na **rysunku 3** pokazano pełny schemat ideowy alarmu.

Układ wykonano z wykorzystaniem czujnika zadymienia i czadu oraz niewielkiej liczby tanich elementów dyskretnych. Wśród tych elementów znajduje się transformator sieciowy obniżający napięcie przemienne 230 V (X1), mostek prostowniczy (BR1), 5 V stabilizator napięcia LM7805 (IC1), wzmacniacz operacyjny LM358 (IC2), generator melodii UM3562 (IC3), trzy tranzystory NPN (T1...T3), głośnik o impedancji 8 Ω i mocy 0,5 W (LS1) oraz najważniejszy podzespół – wspomniany wcześniej czujnik zadymienia MQ2.

Kondensator elektrolityczny C1 umieszczony przed stabilizatorem na wejściu niskiego napięcia minimalizuje tętnienia napięcia wyprostowanego na mostku Gretza BR1. Zasilacz zawiera niewiele elementów z uwagi na wykorzystanie scalonego stabilizatora liniowego typu 7805. Niska sprawność takiego zasilacza nie jest tutaj kłopotem z uwagi na niewielką moc pobieraną przez układ alarmu. Wejściowe napięcie uzyskiwane jest na transformatorze, którego uzwojenie wtórne dostarcza napięcie 9 V AC. Alarmowanie ma charakter optyczno-akustyczny. Świecenie diody LED1 oznacza obecność dymu w obrębie czujnika MQ2.

Dla podłączenia czujnika przygotowano trzy-pozycyjne złącze śrubowe, ponieważ jego umiejscowienie jest krytycznym fragmentem całej konstrukcji alarmu. W projekcie autor wykorzystał moduł 3-pinowy, aczkolwiek dostępne są też czujki z czterema wyprowadzeniami, co wymaga jedynie drobnych zmian w schemacie z rysunku 3. Jako element wytwarzający sygnał akustyczny wykorzystano scalony generator melodii UM3562.

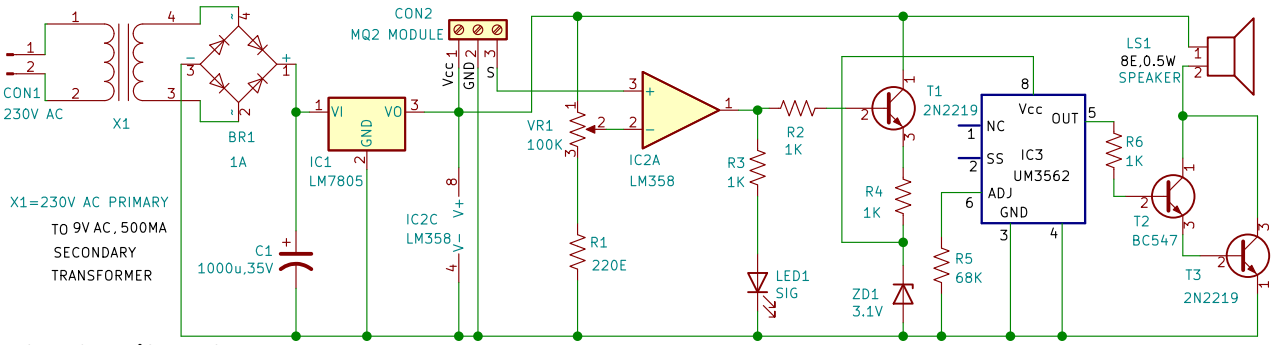


Rysunek 1. Prototyp autora zmontowany na uniwersalnej płytce stykowej

Rysunek 2. Moduł z czujką dymu MQ2

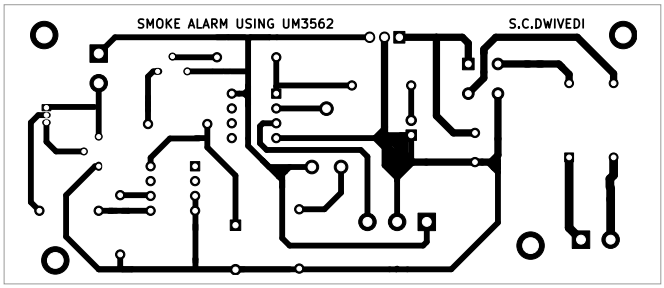
Sygnał wyjściowy czujnika dymu dostępny jest na pinie 3 modułu MQ2. Sygnał ten porównywany jest z napięciem ustawionym potencjometrem VR1, który w ten sposób ustawia czułość detektora. Wzmacniacz operacyjny LM358 pełni rolę komparatora. Sygnał z czujnika MQ2 doprowadzono do wejścia nieodwracającego WO, co oznacza, że obecność dymu sygnalizowana jest stanem wysokim na wyjściu wzmacniacza IC2A. Napięcie z wyjścia 1 WO zaświeca bezpośrednio diodę LED1 i przez tranzystor T1 podaje napięcie zasilania dla generatora melodii IC3. Napięcie to jest ograniczone do ok. 3 V za sprawą obecności diody Zenera ZD1.

UM3562 jest układem dużej skali integracji wykonanym w technologii CMOS. Mieści się on w obudowie DIP8 i zawiera w sobie oscylator przestrajany napięciem VCO, układ czasowy, generator obwiedni dźwięku, mieszacz,

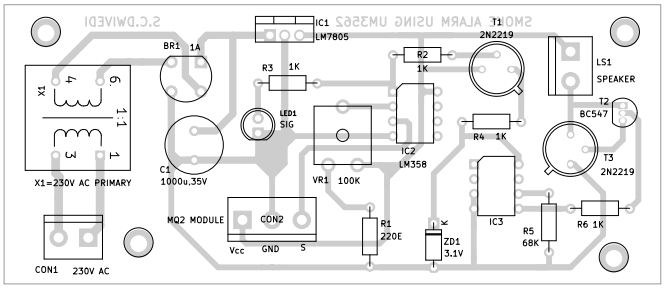


Rysunek 3. Schemat ideowy alarmu

eprasa.pl 261515f3ed



Rysunek 4. Projekt druku jednostronnej płytki PCB



Rysunek 5. Rozmieszczenie elementów na PCB

a także trzy-pozycyjny selektor generowanego dźwięku. Tej funkcji przydzielono wyprowadzenie 2 układu scalonego. W aplikacji autor pozostawił pin 2 niepodłączony. Oznacza to, że wejście to znajduje się w stanie wysokiej impedancji, który powoduje wybór dźwięku przypominającego odgłosy karabinu z broni maszynowej. Równocześnie pin 4 IC3 połączono trwale z potencjałem masy co oznacza, iż sygnał dźwiękowy wytwarzany jest zaraz po podaniu zasilania na układ scalony IC3. Zasilanie to pochodzi z wtórnika emiterowego T1 i ograniczone jest do 3 V za pośrednictwem diody Zenera ZD1.

Od Redakcji EdW: Wydaje się, że taki obwód zasilania generatora melodii nie jest zbyt przemyślany, szczególnie biorąc pod uwagę niskie napięcie zasilania całości układu i wykorzystanie LM358 w roli komparatora. Ten wzmacniacz operacyjny ma na swoim wyjściu bufor złożony z przeciwsobnych tranzystorów NPN i PNP. Od góry pracują dwa tranzystory NPN w połączeniu Darlingtona. To zdecydowanie obniża poziom stanu wysokiego wyjścia względem zasilania. Różnica ta może być bliska 1 V tylko przy bardzo znikomym prądzie czerpanym z wyjścia WO. Ale, tu autor podwiesił diodę LED1 z rezystorem R3, co też jest rozwiązaniem niefortunnym. Mimo, że dioda ta będzie świecić dość blado (R3=1 kΩ), znacząco obciąży wyjście wzmacniacza operacyjnego. Dodatkowo, T1 pracujący jako wtórnik emiterowy obniży zasilanie dla IC3 o kolejne 0,6...0,7 V. Jeśli byśmy chcieli wejść na kolano diody Zenera ZD1 (3,1 V), to praktycznie zerowe napięcie pozostanie nam na spadek na rezystorze R4. „Kolano" w tym kontekście odnosi się oczywiście do charakterystycznego punktu pracy diody Zenera na jej wykresie prądowo-napięciowym. Dioda Zenera, pracująca w kierunku zaporowym, zaczyna przewodzić prąd, gdy napięcie na niej osiąga wartość zwaną napięciem Zenera (w tym przypadku 3,1 V). Punkt, w którym napięcie gwałtownie przestaje rosnąć, a prąd zaczyna szybko wzrastać, nazywany jest właśnie „kolanem". Tymczasem R4 ma dość dużą wartość jednego kΩ. To oznacza, że należy się spodziewać prądu zasilania IC3 poniżej jednego miliampera. Z danych zawartych w odnalezionej nocie katalogowej wynika, że przy dostępności 300 µA prądu, układ UM3562 powinien działać poprawnie. Gdyby było inaczej należałoby zlecić „drobne" przeprojektowanie układu. Można zamienić wejścia plus i minus wzmacniacza operacyjnego, a jako T1 zastosować tranzystor PNP. To załatwi tą wątpliwą sprawę. Być może wystarczyłaby też jeszcze „drobniejsza" zmiana. Rezystor R3 przepiąć z wyjścia 1 WO na emiter tranzystora T1. Dioda LED1 będzie praktycznie świecić z tą samą jasnością (można ew. zmniejszyć wartość R3), a zabieg ten zdejmie obciążenie wyjścia WO do znikomej wartości na poziomie mikroamperów. I tą zmianę należałoby zdecydowanie zalecić (ew. zmniejszając też wartość rezystora R2).

Drugim miejscem na schemacie który budzi wątpliwości, to wartość rezystora R1. Potencjometr 100 kΩ współpracuje z rezystorem 220 Ω. To jest trochę „bez sensu". Powinny być dwa rezystory (od góry i od dołu potencjometru) rozsądnie dobrane do zakresu napięcia wyjściowego z modułu MQ2. Tak, aby możliwie (z niewielkim zapasem) wykorzystać zakres regulacji czułości potencjometrem VR1.

Między wyjściem IC3 a głośnikiem zastosowano wzmacniacz w postaci tranzystorów T2 i T3 połączonych w układ Darlingtona. Sygnał dźwiękowy produkowany przez głośnik LS1 powinien oznaczać obecność dymu w okolicy czujnika alarmu. Wielkość zadymienia przekładana jest na napięcie wyjściowe z czujnika, i obecność potencjometru VR1 pozwala dostosować się zarówno do charakterystyki sensora jak i do progu zadymienia uznanego za niebezpieczny.

Konstrukcja i testowanie układu

Dla projektu przygotowano płytkę PCB z jednostronnym drukiem, co pokazano na **rysunku 4**. Na **rysunku 5** widzimy schemat montażowy ułożenia elementów na PCB.

Po zmontowaniu elementów na PCB, należy przygotować odpowiednią obudowę. W przedniej części obudowy należy umieścić diodę LED1 i złącze CON2 dla czujnika MQ2. Czujnik może praktycznie znajdować się w dowolnej odległości od pozostałej elektroniki. Aby uniknąć pomyłki w połączeniach, zalecamy przygotowanie kabelka z trzema różnokolorowymi i elastycznymi przewodami. Sam czujnik należy umieścić tak, aby był maksymalnie narażony na zadymienie w sytuacji wystąpienia awarii. Układ proponowanego alarmu jest na tyle prosty, iż po poprawnym montażu powinien być gotowy do pracy. Krytyczną czynnością jest też ustawienie czułości potencjometrem VR1. W tym celu należy przeprowadzić test wymuszając zadymienie w obszarze chronionym przez czujnik MQ2.

Uwaga od Redakcji EFY: Autor wykorzystał 3-pinowy moduł czujnika MQ2. W przypadku zastosowania modułu z czterema wyprowadzeniami, jako wyjście należy użyć pinu A0. Wyprowadzenie oznaczone D0 można pozostawić niepodłączone. ■

Suresh Dwivedi

Wykaz elementów:

Półprzewodniki:
IC1: stabilizator scalony 5 V typu LM7805
IC2: wzmacniacz operacyjny LM358
IC3: generator dźwięku UM3562
T1, T3: tranzystor NPN 2N2219
T2: tranzystor NPN BC547
BR1: mostek prostowniczy 1 A
LED1: dioda LED 5 mm
ZD1: dioda Zenera 3,1 V

Rezystory: (wszystkie 0,25 W, ±5%)
R1: 220 Ω
R2, R3, R4, R6: 1 kΩ
R5: 68 kΩ
VR1: potencjometr 100 kΩ

Kondensatory:
C1: 1000 µF/35 V elektrolityczny

Inne:
CON1: złącze 2-pinowe
CON2: złącze 3-pinowe
LS1: głośnik 8 Ω/0,5 W
X1: transformator sieciowy, uzwojenie pierwotne: 230 V AC, uzwojenie wtórne: 9 V AC 500 mA
MQ2: moduł czujki dymu

Film instruktażowy dla tego projektu można obejrzeć na stronie: https://youtu.be/FOe4sfXp8U0

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

eprasa.pl 261515f3ed

Alarm deszczowy

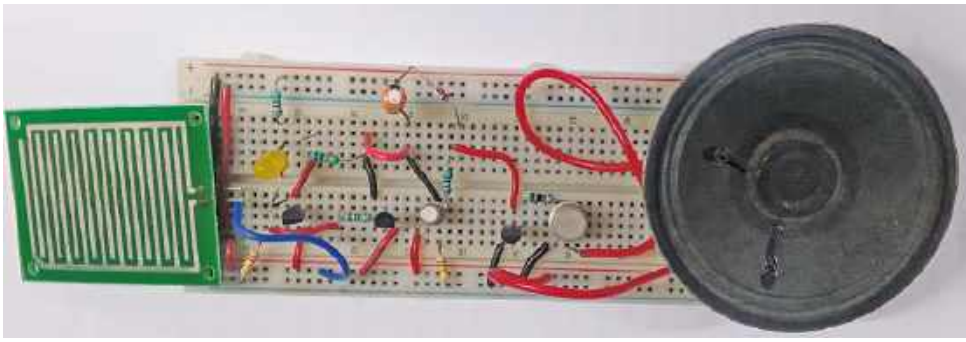
Deszczowy alarm zwany również detektorem opadów, lub też bardziej rozbudowany system kontroli opadów może mieć szerokie zastosowanie w zależności od szczegółów konstrukcji dla konkretnego zastosowania. Poniżej wymieniamy kilka najczęstszych zastosowań i korzyści wynikających z możliwości automatycznej kontroli wilgoci i/lub opadów atmosferycznych.

Systemy podlewania roślin. Systemy automatyzujące nawadnianie sprawdzają się nie tylko w rolnictwie, ale również w miastach, w szczególności w parkach i skwerach upiększających ścieżki spacerowe. Automatyczny nadzór oszczędza wodę, jak również zapobiega zbyt obfitemu nawadnianiu, które jest równie szkodliwe dla roślin jak nadmierna susza. W tych systemach kontrola z wykorzystaniem detektora opadów polega na wyłączeniu nawadniania sztucznego w okresach i porach deszczowych.

Automatyczne zamykanie okien. W tego typu zastosowaniach czujnik opadów atmosferycznych jest zintegrowany z innymi systemami inteligentnego domu. W szczególności potrafi uruchomić siłowniki potrafiące domknąć okna i wywietrzniki gdy deszcz jest zbyt intensywny. Taka automatyka zwiększa bezpieczeństwo i komfort dla domowników podczas ich nieobecności.

Monitorowanie opadów atmosferycznych. Tego typu systemy wykorzystywane są w meteorologii i hydrologii do monitorowania i rejestrowania danych dotyczących opadów. Informacje te mają kluczowe znaczenie dla prognozowania pogody, przewidywania powodzi i zarządzania zasobami wodnymi.

Planowanie imprez plenerowych. W przypadku imprez takich jak wesela, koncerty czy mecze sportowe na otwartym powietrzu, pożądane są informacje nie tylko o aktualnych opadach, lecz przede wszystkim o krótkoterminowej prognozie na najbliższe godziny. Inteligentne systemy monitorujące wilgotność powietrza i opady w najbliższej okolicy, są w stanie dostarczyć takich informacji i prognozować ilość opadów z wystarczająco dużym prawdopodobieństwem sprawdzalności. Dostarczają cenne informacje i/lub ostrzeżenia dla organizatorów tego typu imprez plenerowych.

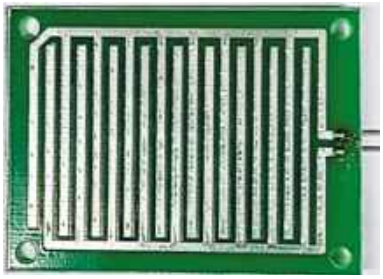


Rysunek 1. Prototyp autora zmontowany na uniwersalnej płytce stykowej

Alarm w pojeździe. W niektórych przypadkach alarmy deszczowe mogą być instalowane w pojazdach, aby zapewnić kierowcom informacje o intensywności opadów w czasie rzeczywistym. Może to być przydatne przy podejmowaniu decyzji dotyczących dalszych podróży i równocześnie zwiększeniu bezpieczeństwa w tym zakresie.

Ogrodnictwo. Ogrodnicy używają sensorów deszczowych do śledzenia opadów i potrzeb w zakresie podlewania. Można skonfigurować zautomatyzowane systemy nawadniania, które są uruchamiane na podstawie danych z alarmu deszczowego.

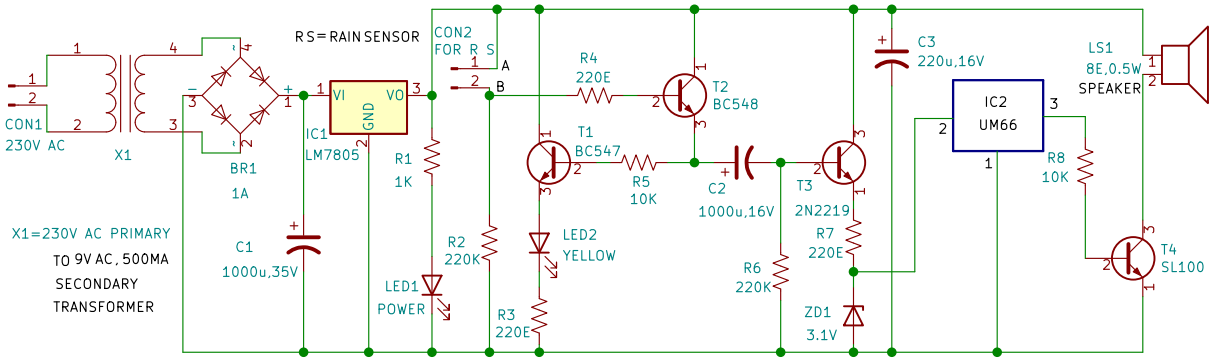
Wykrywanie nieszczelności pokryć dachowych i zadaszeń. Alarmy tego typu mogą być instalowane na poddaszach w celu wykrywania nieszczelności dachu. Jeśli woda przedostanie się na poddasze, alarm może powiadomić właścicieli domów o problemie.



Rysunek 3. Wygląd czujnika deszczu

Ochrona środowiska w zakresie oszczędności wody. Alarmy i systemy monitorujące naturalne opady deszczu mogą sygnalizować zalecenia do zakręcania kranów, zraszaczy i innych urządzeń zużywających wodę.

Konserwacja basenów i innych zbiorników wody. Alarmy deszczowe mogą pomóc w zarządzaniu poziomem wody w tego typu zbiornikach. Podczas naturalnych opadów atmosferycznych można zaprogramować



Rysunek 2. Schemat ideowy układu

eprasa.pl 261515f3ed

Przygotowano film instruktażowy dla tego projektu, dostępny pod adresem: https://youtu.be/oS-fPITtmjM.

automatyczne spuszczanie nadmiaru wody z basenu aby zapobiec przelaniu.

Cele edukacyjne. Alarmy deszczowe bywają wykorzystywane w placówkach edukacyjnych do nauczania uczniów o pojęciach związanych z wodą i klimatem, takich jak pomiary opadów i gromadzenie danych w tym zakresie.

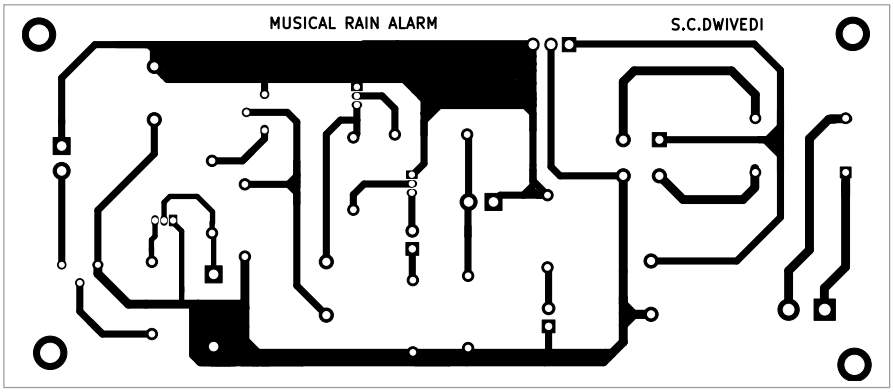
Użyteczność alarmu deszczowego będącego tematem bieżącego odcinka DIY zależy od jego konkretnego zastosowania i sposobu w jaki jest on zintegrowany z innymi systemami i procesami. Nasz układ jest względnie prosty i może podlegać dalszej rozbudowie. Prototyp wykonany przez autora projektu pokazuje zdjęcie na **rysunku 1**.

Opis układu i jego działanie

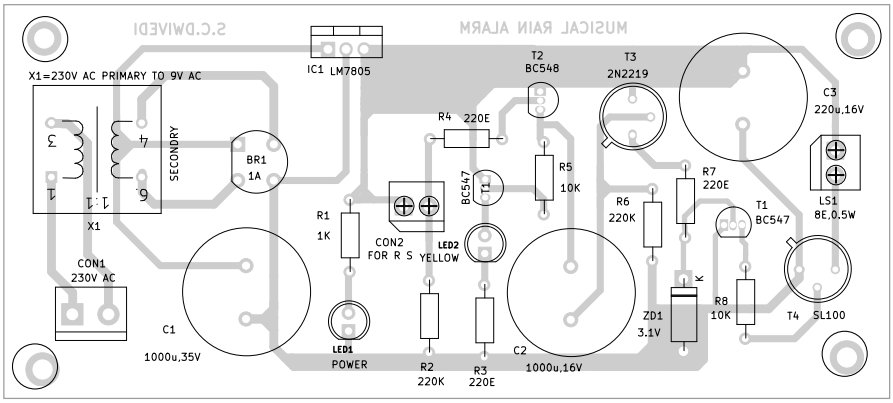
Na **rysunku 2** pokazano schemat ideowy tego projektu. Kluczowym elementem jest czujnik rosy widoczny na rysunku 3. Element ten należy podłączyć do złącza oznaczonego na schemacie jako CON2.

Układ zbudowano wykorzystując niewielką liczbę prostych elementów. Wśród nich: transformator sieciowy X1, mostek prostowniczy BR1, stabilizator liniowy napięcia o wartości 5 V LM7805 (IC1), czujnik deszczu (RS), cztery tranzystory NPN (T1...T4), generator melodii UM66 (IC2), głośnik (LS1), dioda Zenera 3,1 V oraz kilka elementów biernych (rezystorów i kondensatorów).

Układ zasilany jest napięciem stałym o wartości 5 V uzyskanego za pomocą typowego bloku zasilacza. Przemienne napięcie sieci 230 V należy podłączyć do uzwojenia pierwotnego transformatora za pośrednictwem złącza CON1. Transformator obniża napięcie zmienne do 9 V, które jest następnie prostowane w mostku Gretza BR1 i filtrowane dużą pojemnością kondensatora C1. Rolę stabilizatora napięcia stałego o wartości 5 V pełni układ scalony LM7805. Do realizacji sygnalizacji akustycznej wykorzystano generator melodii UM66, który za pośrednictwem tranzystora T4 wysterowuje głośnik o impedancji 8 Ω i mocy 0,5 W. W układzie zastosowano też dwie diody świecące. LED1 (czerwona) wskazuje obecność zasilania, a LED2 (dioda żółta) sygnalizuje obecność wody na czujniku deszczu. Działanie układu bazuje na zmiennej rezystancji sensora deszczu. Sensor deszczu wraz z rezystorem R2 tworzą dzielnik napięcia, dobrany w taki sposób, by obecność wody na powierzchni czujnika wprowadzała tranzystor T2 w stan przewodzenia. W konsekwencji T1 również powinien przewodzić, co skutkuje zaświeceniem diody LED2. Równocześnie, dodatnie napięcie zostanie też doprowadzone do bazy T3 przez kondensator C2. Prąd emitera tranzystora T3 uruchamia generator melodii w układzie scalonym IC2, a dioda Zenera ZD1 ogranicza napięcie na jego wejściu do 3,1 V.



Rysunek 4. Projekt druku płytki PCB



Rysunek 5. Rozmieszczenie elementów na PCB

Konstrukcja i testowanie układu

Dla tego projektu przygotowano jednostronną płytkę PCB, widoczną na **rysunku 4**. W drukowanej wersji naszego pisma, wymiary na tym rysunku powinny odpowiadać skali 1:1. Na **rysunku 5** widzimy schemat montażowy elementów na PCB.

Po zmontowaniu elementów na PCB, płytkę tę należy umieścić w odpowiednio przygotowanej obudowie. Diody LED1, LED2 i złącze CON2 zaleca się zamontować od przodu, a złącze zasilania CON1 z tyłu obudowy. Kluczowe jest umieszczenie czujnika deszczu. Ponieważ wiele aplikacji może wymagać ulokowania czujnika w trudno dostępnym miejscu (np. na dachu budynku), dlatego należy go połączyć z układem za pomocą dwużyłowego przewodu, do złącza oznaczonego na schemacie CON2. ■

Suresh Dwivedi

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY", luty 2024 (efymag.com)

Wykaz elementów:

Półprzewodniki:
IC1: stabilizator napięcia 5 V typu LM7805
IC2: generator melodii UM66
T1: tranzystor NPN BC547
T2: tranzystor NPN BC548
T3: tranzystor NPN 2N2219
T4: tranzystor NPN SL100
BR1: mostek prostowniczy 1 A
LED1: dioda czerwona 5 mm
LED2: dioda żółta 5 mm
ZD1: dioda Zenera 3,1 V

Rezystory: (wszystkie 0,25 W, ±5%)
R1: 1 kΩ
R2, R6: 220 kΩ
R3, R4, R7: 220 Ω
R5, R8: 10 kΩ

Kondensatory:
C1: 1000 μF/35 V elektrolityczny
C2: 1000 μF/16 V elektrolityczny
C3: 220 μF/16 V elektrolityczny

Inne:
CON1, CON2: złącze śrubowe 2-pozycyjne
LS1: głośnik 8 Ω/0,5 W
X1: transformator sieciowy, uzwojenie pierwotne: 230 V AC, uzwojenie wtórne: 9 V AC/500mA
RS: czujnik deszczu

Od Redakcji EdW: Mimo prostoty tego projektu, można mieć tu parę zastrzeżeń. W tym układzie deszcz rozpoznawany jest w oparciu o zmienną rezystancję czujnika. Tutaj sensor ten pracuje w dzielniku z oporem o wartości 220 kΩ. Na wstępie projektu należałoby ustalić jaka jest jego charakterystyka w zależności od zwilżenia czujnika. Próg w którym alarm

eprasa.pl 261515f3ed

rozpozna deszcz można przesuwać zmieniając wartość rezystora R2.

Indykacja o obecności deszczu jest podwójna: zaświeceniem żółtej diody LED oraz melodyjką generowaną przez układ UM66. Warto natomiast zwrócić uwagę, iż obwód z diodą sprzężony jest stałoprądowo, natomiast generator melodii uruchamiany jest przez obwód różniczkujący R6-C2. Wyznacza on swego rodzaju timer. Jeśli czujnik RS (Rain Sensor) pozostanie cały czas mokry, wtedy dioda LED będzie świeciła non-stop. Natomiast dźwięk melodii po chwili ustanie. Stała czasowa R6-C2 jest bardzo długa. To 220 sekund, czyli prawie 4 minuty. Należałoby zatem oczekiwać, że tego rzędu czas wyznacza ten „prymitywny timer". Jednak, jak się bliżej schematowi przyjrzymy, to można mieć wątpliwości. Po pierwsze, impedancja widziana z bazy tranzystora T3 (mimo pracy jako wtórnik emiterowy) może być znacznie mniejsza od rezystancji R6. A to zdecydowanie zwiększy prąd płynący przez kondensator C2 i skróci wartość stałej czasowej. Niezależnie od tego warto zauważyć, iż takie umieszczenie dzielnika rezystancyjnego RS-R2 współpracującego z tranzystorami T1, T2, T3 (wszystkie NPN) nie jest najszczęśliwsze. Żeby na diodzie Zenera ZD1 było 3,1 V, to na bazie T3 musi być co najmniej o 0,6-0,7 V wyższe. Wtedy, nawet przy rozładowanym kondensatorze C2 (napięcie 0 V), na bazie T2 potrzeba napięcia o kolejny próg złącza p-n wyższego. 3,1 V + 2 x 0,7 V to jest już 4,5 V, a zasilanie jest tylko 5-cio woltowe. Aby te warunki spełnić, rezystancja czujnika RS musi być na poziomie 10% wartości R2. Z kolei, aby zgasła żółta dioda LED2 rezystancja czujnika musi się zdecydowanie zwiększyć. Kolejnym problemem, na który należy zwrócić uwagę, jest rozładowanie kondensatora C2. Prawdopodobnie, po deszczu będzie wystarczająco dużo czasu zanim nadejdą następne opady. Aby sygnalizacja akustyczna zadziałała, ładunek na C2 trzeba odbudować. A jedyną drogą jest obwód: R5, baza-emiter T1, LED2, R3 i także wymieniony wyżej, dużej wartości R6. Przy uwidocznionych na schemacie wartościach elementów, pełne (lub prawie pełne) rozładowanie kondensatora C2 może trwać kilkanaście minut lub nawet dłużej. Dodatkowym niepożądanym efektem ubocznym może być „przeciągnięcie" czasu świecenia diody LED2, co zależy też od wzmocnienia prądowego zastosowanego egzemplarza tranzystora T1. Autor nie pisze, jakie względy skłoniły go, aby w ogóle C2 zastosować. Wydaje się, że lepiej byłoby kondensator ten usunąć.

Warto też zauważyć, iż mimo długiej stałej czasowej członu różniczkującego, dźwięk alarmu może nie zostać uruchomiony jeśli czujnik wilgoci/deszczu będzie namakał bardzo powoli. W wielu zastosowaniach „alarmu deszczowego" jest to do przyjęcia. Jednak w aplikacjach, gdy działanie alarmu byłoby bardziej odpowiedzialne, należałoby układ ten trochę zmodyfikować. Być może autor miał jakieś powody, aby układ wykonać „tak a nie inaczej". Analizując jednak schemat, można mieć zastrzeżenia nie tylko do sygnalizacji akustycznej. Sygnalizacja optyczna diodą LED2 wydaje się również problematyczna. Czy nie byłoby lepiej przenieść tę diodę z emitera do kolektora T1, i za cenę kilku dodatkowych elementów ustalić precyzyjnie „próg świecenia". W tym układzie jasność świecenia LED2 jest zależna od chwilowej rezystancji czujnika deszczu, co nie wydaje się być działaniem celowym.

REKLAMA

eprasa.pl 261515f3ed

ELEKTRONIKA dla wszystkich
nr 5/2024 (5)
JUNIOR

Karol w trakcie montażu PCB, Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

Ależ mi się Entuzjasta w tym roku trafił! Chłopak spod gwiazdy „Nie pomagaj mi, dam radę sam". Ambitny i efektywny. Trochę uparty (jeszcze go kiedyś przekonam do lutowania przy temperaturze do 360°C (zamiast 380°C), dam radę, bo trochę szkoda grota, ale póki co poległem). W każdym razie polubiłem Młodego, i może jak Go poproszę na łamach naszej gazety, by zakładał na nos i nosił okulary ochronne bez narzekania (środki ochronne to nie przelewki), to wreszcie zrobi mi tę miłą uprzejmość, i sam od siebie zadba o własne bezpieczeństwo. Póki co noszę to na swych barkach, zerkając co chwila, czy pracuje w sposób bezpieczny, starając się nie osiwieć. Jest bardzo pewny siebie. To cenna cecha. Jednak szczypta pokory nikomu jeszcze nie zaszkodziła, a niejednemu uratowała zdrowie i życie.

W każdym razie chłopak ma talent. Chyba się też powoli otwiera na współdziałanie bo już nawet czasem pozwala sobie pomóc. Na jednych z poprzednich zajęć zrobił dwie sztuki zestawu i to takiego, którego złożenie (jednej sztuki) zajmowało chłopakom statystycznie z reguły ze dwa zajęcia. A dla kogo składał? Dla rodzeństwa na prezent. Kiedy jakiś czas temu omyłkowo wlutował do płytki diodę prostowniczą w odwrotnym kierunku, już miałem mu pomóc ją wylutować z użyciem dwóch narzędzi jednocześnie, by mógł ją zamontować poprawnie (wbrew pozorom nie takie hop siup), ale chciał sam. I zrobił to sam. Tak po prostu. Jak stary fachura! Tydzień później na sam koniec zajęć, jak już przekroczyliśmy 90 minut ich trwania i wychowawca ponaglał, żeby już kończyć, pozwolił sobie pomóc poprawić trzy nieświecące diody LED w drugim zestawie (zestaw zawierał 32 diody LED, a złożył w ciągu jednych zajęć dwa takie zestawy), przy którego montażu już nieco się spieszył. Gdyby nie naglący nas czas, dałby radę sam, co do tego wątpliwości nie mam najmniejszych. Ale z dużym zadowoleniem docenił pomocną dłoń (i jak na mój nos, otwarcie się na zewnętrzną pomoc, jest jednym z ważnych osiągnięć, nie tylko na polu elektroniki). Zestawy zadziałały wyśmienicie i powędrowały do rodzeństwa.

Na dzisiejszych zajęciach złożymy zestaw AVTEDU629 a mianowicie, Wściekłego byka LED, pokazanego na **fotografii 2**.

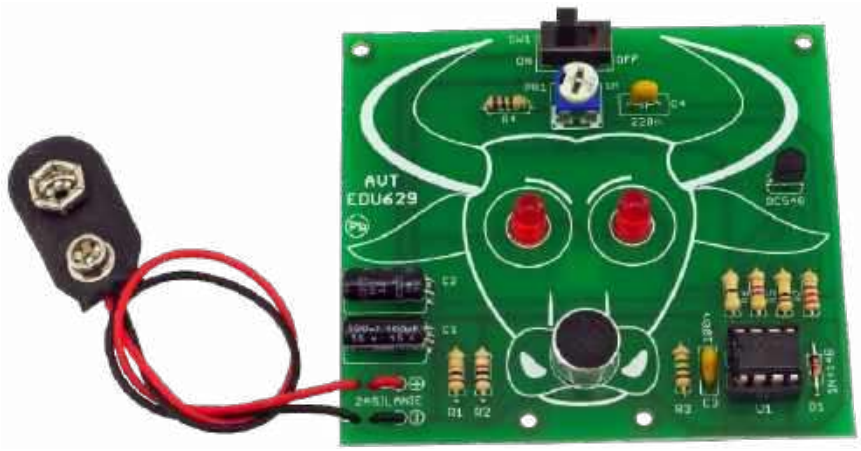
Zestaw jest iście genialny, i przyznam, że świetnie bawiliśmy się po złożeniu wszystkich naszych wściekłych byków! Prawdziwa „wścieklizna", pełna wygłupów i śmiechu. Było naprawdę byczo!

Zanim i Ty złożysz dzisiaj swojego byka, pozwól, że opowiem Ci o tym, jak nasz byk działa.

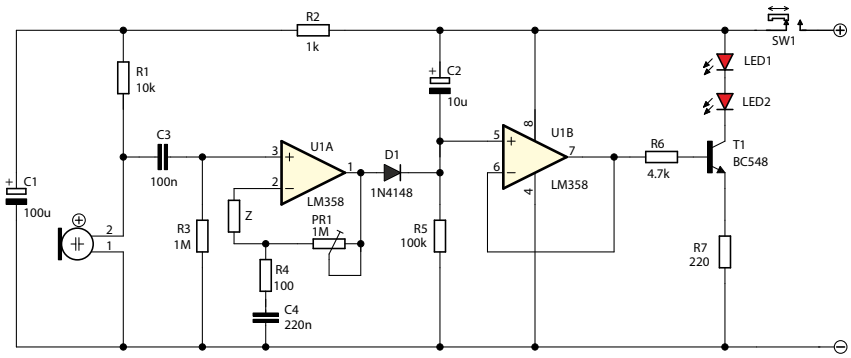
Nowym elementem elektronicznym, widocznym na schemacie (**rysunek 1**) w postaci trójkątów, którego do tej pory nie używaliśmy podczas naszych spotkań, jest wzmacniacz operacyjny. Wewnątrz układu scalonego LM358 kryją się dwa takie wzmacniacze. Wzmacniacz operacyjny to układ elektroniczny, który wzmacnia różnicę napięć między dwoma wejściami. Działa w sposób liniowy, z bardzo wysokim wzmocnieniem. Gdybyśmy chcieli porównać wzmacniacz operacyjny do tranzystora, należałoby zaznaczyć,

Fotografia 1. Od lewej: Kornel, Kacper, Fabian, Kornel, Zajęcia Młodych Entuzjastów Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

eprasa.pl 261515f3ed



Fotografia 2. AVTEDU629, Wściekły byk LED



Rysunek 1. Schemat ideowy AVTEDU629, Wściekły byk LED

że wzmacniacz operacyjny wzmacnia napięcia, a tranzystor wzmacnia prąd. Przewrotnie nie zagłębimy się dzisiaj zbyt mocno w tematykę wzmacniaczy operacyjnych jako takich. Zbyt wiele rzeczy mam Ci dzisiaj do opowiedzenia. Przyda się powtórzenie materiału i uzupełnienie tych podstaw, o których nie zdążyłem do tej pory wspomnieć.

Nie tracąc czasu, omówimy sobie powyższy schemat, śledząc komponenty i połączenia pomiędzy nimi od strony lewej do prawej.

Wstępna filtracja zasilania mikrofonu

Kondensator C1 (100 µF) w połączeniu z rezystorem R2 (1 kΩ) tworzą **filtr dolnoprzepustowy**, który usuwa zakłócenia o wyższych częstotliwościach, które mogą pochodzić zarówno z samego układu, jak i z zewnętrznych źródeł. Ponieważ kondensator C1 ma stosunkowo dużą pojemność, skutecznie filtruje wysokoczęstotliwościowe zakłócenia, zapewniając mikrofonowi elektretowemu stabilniejsze zasilanie.

Mikrofon

Następnie do tak przefiltrowanego zasilania podłączono dzielnik napięcia złożony z szeregowo połączonych rezystora R1 i mikrofonu elektretowego. Rezystor R1 ustala punkt pracy mikrofonu. Napięcie z tego dzielnika trafia na elementy C3 i R3.

Eliminacja składowej stałej

Kondensator C3 (100 nF) pełni rolę kondensatora sprzęgającego, który **blokuje składową stałą** sygnału pochodzącego z mikrofonu elektretowego, przepuszczając do wzmacniacza jedynie składową zmienną tego sygnału, czyli sygnał audio. Wartość kondensatora C3 jest dobrana tak, aby skutecznie blokować składową stałą i przepuszczać sygnały zmienne o częstotliwościach z zakresu audio.

Spolaryzowanie wejścia wzmacniacza

Rezystor R3 (1 MΩ) pełni rolę **rezystora polaryzującego** wejście wzmacniacza operacyjnego LM358. Jego zadaniem jest ustalenie stałego poziomu napięcia (potencjału odniesienia) na wejściu 3 pierwszego wzmacniacza operacyjnego w układzie scalonym LM358. Dzięki rezystorowi R3, wejście 3 pierwszego wzmacniacza operacyjnego zostaje połączone z masą (GND) przez wysoką rezystancję, co zapobiega jego „pływaniu". Bez tego rezystora, na wejściu 3 LM358 mogłoby panować niezdefiniowane napięcie, co prowadziłoby do niestabilnej pracy wzmacniacza. Inaczej mówiąc, rezystor R3 ustala potencjał odniesienia (bliski zeru) dla składowej zmiennej sygnału, co umożliwia wzmacniaczowi poprawne wzmocnienie sygnału audio.

Warto podkreślić, że para C3–R3 nie tworzy klasycznej stałej czasowej służącej do opóźniania sygnału. Głównym celem zastosowania tej pary elementów jest eliminacja składowej stałej oraz ustalenie potencjału odniesienia dla wejścia wzmacniacza operacyjnego.

Warto wiedzieć, że kondensator C3 (100 nF), w połączeniu z rezystorem R3 (1 MΩ), może nieznacznie wpływać na dolną granicę pasma przenoszenia sygnału. Dla niskich częstotliwości kondensator C3 zaczyna stanowić większą impedancję, co skutkuje tłumieniem bardzo niskich częstotliwości. Jednak w zakresie audio, czyli od około 20 Hz wzwyż, kondensator o wartości 100 nF jest wystarczająco „przezroczysty" dla sygnału.

Wzmocnienie sygnału mikrofonu przez pierwszy wzmacniacz operacyjny

Po wyeliminowaniu składowej stałej i spolaryzowaniu mikrofonu sygnał audio trafia na wejście nieodwracające pierwszego wzmacniacza operacyjnego zawartego w układzie LM358. Wejście odwracające tego wzmacniacza (noga 2) połączone jest przez rezystor R4 (100 Ω) i kondensator C4 (220 nF) do masy, co tworzy filtr dolnoprzepustowy. Filtr ten eliminuje niepożądane wysokie częstotliwości, co pozwala na uzyskanie czystszego sygnału audio. Potencjometr PR1 (1 MΩ) włączony pomiędzy wyjście wzmacniacza i jego wejście odwracające umożliwia regulację wzmocnienia, dostosowując poziom sygnału w zależności od potrzeb układu.

Próg detekcji

Dioda sygnałowa D1 (1N4148), spolaryzowana w kierunku przewodzenia, ma spadek napięcia wynoszący około 0,7 V. Dzięki temu napięcie na wyjściu wzmacniacza musi przekroczyć tę wartość, aby dioda zaczęła przewodzić. To ustala próg detekcji, ponieważ sygnał na wyjściu wzmacniacza operacyjnego musi osiągnąć minimalny poziom 0,7 V, aby dioda D1 mogła „przepuścić" sygnał do kolejnych stopni układu. W ten sposób dioda działa jak element progowy, aktywując dalszą część układu tylko wtedy, gdy sygnał przekroczy określony poziom napięcia, co pozwala na detekcję silniejszych sygnałów audio.

eprasa.pl 261515f3ed

Stała czasowa

Kondensator C2 (10 μF) oraz rezystor R5 (100 kΩ) tworzą układ opóźniający, który wygładza sygnał na wyjściu, zapobiegając przypadkowemu włączaniu układu przy krótkotrwałych dźwiękach.

Dioda D1 dostarcza napięcie z wyjścia pierwszego wzmacniacza na punkt między kondensatorem C2 a rezystorem R5. Przy pełnym wysterowaniu pierwszego wzmacniacza (głośny dźwięk podany na mikrofon) kondensator C2 zostaje naładowany niemal natychmiast.

Po zaniku sygnału z diody D1 kondensator C2 zaczyna się rozładowywać przez rezystor R5. Rozładowanie kondensatora C2 przez rezystor R5 przebiega zgodnie z prawem wykładniczym, a czas potrzebny na rozładowanie kondensatora zależy od stałej czasowej τ („tau"), będącej iloczynem wartości obu tych elementów (oczywiście w jednostkach podstawowych):

$$\tau_{RC} = R \cdot C$$

Przy następujących wartościach elementów:

- $R5 = 100k\Omega = 100 \cdot 10^3 \Omega$ (bo „kilo" znaczy „tysiąc", czyli 10^3)
- $C2 = 10\mu F = 10 \cdot 10^{-6} F$ (bo „mikro" znaczy „jedna milionowa", czyli 10^{-6})

stała czasowa τ będzie miała wartość:

$$\tau_{R5C2} = R5 \cdot C2 =$$
$$= 100 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 1s$$

Stałej czasowej τ nie należy jednak mylić z całkowitym czasem rozładowywania kondensatora. Rozładowywanie kondensatora dzieli się na kilka faz:

- **Po czasie równym 1τ:** Napięcie spadnie do około 37% początkowej wartości ($0{,}37 \times U_0$).
- **Po czasie równym 2τ:** Napięcie spadnie do około 13% początkowej wartości.
- **Po czasie równym 3τ:** Napięcie spadnie do około 5% początkowej wartości.
- **Po czasie równym 5τ:** Napięcie praktycznie spadnie do zera (mniej niż 1% początkowej wartości).

Reasumując, kondensator C2 potrzebuje około $5 \cdot \tau = 5s$, aby rozładować się niemal całkowicie po ustaniu sygnału z diody D1. Po około 5 sekundach napięcie na kondensatorze spadnie poniżej 1% wartości początkowej, co oznacza praktycznie pełne rozładowanie.

Drugi wzmacniacz operacyjny

Napięcie występujące w punkcie między C2 a R5 (czyli napięcie na kondensatorze C2) jest podawane na nogę 5 drugiego wzmacniacza operacyjnego wewnątrz kości LM358. W praktyce oznacza to, że wzmacniacz operacyjny monitoruje napięcie na kondensatorze i przetwarza je w zależności od przyjętego sposobu konfiguracji. W przypadku naszego obwodu nogi 6 i 7 LM358 są ze sobą połączone, co oznacza, że drugi wzmacniacz działa w trybie wtórnika emiterowego (napięcie na wyjściu jest równe napięciu na wejściu). Nie wprowadza zatem żadnych zmian do sygnału elektrycznego, ale pełni rolę bufora, dzięki któremu w sposób mniej kłopotliwy można sterować obciążeniem wzmacniacza, czyli tym, co zostanie podłączone do jego wyjścia. Innymi słowy, bufor to układ elektroniczny, który ma za zadanie separację dwóch części układu, nie wpływając przy tym na właściwości sygnału, czyli nie wprowadza zniekształceń ani znaczącego wzmocnienia, a jego zadaniami są: zachowanie napięcia sygnału wejściowego (wzmocnienie napięciowe bliskie 1), ochrona poprzedniego stopnia układu przed wpływem obciążenia wynikającym z podłączenia do następnego stopnia oraz zmniejszenie wpływu impedancji na dalsze etapy układu.

Tranzystor w roli wzmacniacza sterującego jasnością diod LED

Sygnał z wyjścia drugiego wzmacniacza (noga 7 LM358) podawany jest na bazę tranzystora NPN T1 za pomocą szeregowo włączonego rezystora R6 (4,7 kΩ). Rezystor ten ustala punkt pracy tranzystora T1 i chroni zarówno tranzystor przed przepływem zbyt dużego prądu bazy przez złącze baza-emiter, jak również sam wzmacniacz operacyjny przed nadmiernym obciążeniem jego wyjścia. Przekroczenie dopuszczalnego prądu bazy nieodwracalnie zniszczyłoby tranzystor, natomiast wzmacniacz operacyjny ma również swoje ograniczenia dotyczące wydajności prądowej, których przekroczenie może doprowadzić do uszkodzenia wzmacniacza, lub, w najlepszym wypadku, spowodować zniekształcenia sygnału na jego wyjściu i niestabilną pracę wzmacniacza.

Należy zauważyć, że tranzystor nie jest tu przełącznikiem cyfrowego sygnału, który przełączałby się w sposób zerojedynkowy pomiędzy stanem nasycenia (pełne otwarcie) a stanem zatkania (całkowite wyłączenie). Baza tranzystora sterowana jest sygnałem analogowym, wystawianym na wyjście przez drugi wzmacniacz operacyjny, i przekazuje sygnał proporcjonalny do aktualnego stopnia naładowania kondensatora C2. Na nodze 7 będzie się pojawiało napięcie w całym spektrum możliwych wartości: od napięcia 0 V aż do pełnego napięcia zasilania (9 V w przypadku zasilania z baterii lub więcej w przypadku zastosowania na przykład zasilacza o napięciu np. 12 V). Ponieważ wartość rezystora ogranicza prąd bazy, będzie miała ona również wpływ na panujący przy danym poziomie sygnału ze wzmacniacza operacyjnego stopień załączenia tranzystora T1, a od stopnia załączenia tranzystora T1 będzie zależał również zakres poziomów jasności świecenia diod LED.

Rezystor R7 wyznacza maksymalny prąd, jaki może popłynąć przez diody LED (i złącze CE tranzystora T1) w przypadku pełnego otwarcia (nasycenia się) tranzystora T1, chroniąc diody przed przekroczeniem maksymalnego dopuszczalnego przez producenta diod LED prądu przewodzenia. Elektroników wykorzystujących tranzystory wyłącznie w roli klucza załączanego przez wyjście cyfrowe Arduino lub innego układu opartego na mikrokontrolerze, może nieco zdziwić umieszczenie rezystora R7 pomiędzy emiterem tranzystora a masą układu. Spodziewaliby się go raczej w szeregu z dwiema diodami LED w obwodzie kolektora, emiter podłączyliby natomiast wprost do GND. Ujmując rzecz inaczej, najchętniej zastosowaliby tzw. konfigurację wspólnego emitera, z którą bywają emocjonalnie bardzo związani. O ile konfiguracja wspólnego emitera świetnie sprawdza się, gdy tranzystor wykorzystywany jest w roli klucza (tranzystor bardzo łatwo wchodzi w stan nasycenia) o tyle w przypadku sterowania jasnością diody LED łatwość nasycania się tranzystora przestanie być zaletą i stanie się wadą.

Rezystor emiterowy wprowadza **ujemne sprzężenie zwrotne**, co stabilizuje pracę tranzystora i poprawia jego liniowość (czyli możliwość płynnego sterowania prądem kolektora), a co za tym idzie, sterowania jasnością diod LED w sposób liniowy w pełnym zakresie.

Podsumowując temat, dzięki umieszczeniu rezystora w obwodzie emitera sygnał sterujący z drugiego wzmacniacza LM358 lepiej kontroluje prąd płynący przez diody LED, co pozwala na płynną regulację ich jasności w zależności od panującego na wyjściu wzmacniacza sygnału.

Na koniec podsumujmy w kilku punktach zasadę działania całego układu, po czym będziemy mogli przejść do poskładania zestawu.

1. Mikrofon elektretowy wykrywa dźwięk i generuje zmienny sygnał napięciowy, który jest na początku słaby.
2. Pierwszy wzmacniacz operacyjny (pierwsza połówka LM358) wzmacnia

eprasa.pl 261515f3ed

ten sygnał, przygotowując go do dalszego przetwarzania.

3. Dioda D1 stanowi zaporę do momentu, gdy sygnał dźwiękowy przekroczy określony próg, a następnie bardzo szybko ładuje kondensator C2, co pozwala na „uzyskanie" odpowiedniego napięcia do dalszej obróbki.
4. Drugi wzmacniacz operacyjny (druga połówka LM358) steruje tranzystorem, który załącza diody LED, sygnalizując obecność dźwięku. Skutkuje to tym, że po pojawieniu się głośniejszego dźwięku naszemu bykowi natychmiast zaświecają się czerwone, wściekłe oczy.
5. Elementy R5 i C2 wprowadzają do układu stałą czasową, dzięki której „rozjuczony byk" uspokaja się (wściekłe czerwone oczy byka „wygaszają się") dużo wolniej. Morał z tej opowiastki jest taki, że byka dużo łatwiej rozwścieczyć, niż uspokoić. Dlatego traktujcie łagodnie swoich nauczycieli i profesorów (albo po prostu miejcie dla nich litość) podczas wykładów z elektroniki, teraz i w przyszłości. Słuchajcie też ich próśb i instrukcji w zakresie bezpieczeństwa. Niech moc (rozsądku) będzie z Wami!

Przyszła pora na montaż układu

Ponieważ jedna z Czytelniczek zadała w ramach rubryki „Poczta", pytanie o pomoce dydaktyczne, przydatne podczas prowadzenia podobnych do naszych zajęć, zrobimy dziś krótkie „powtórzenie materiału" w temacie montażu rezystorów o odpowiednich rezystancjach na właściwych pozycjach na PCB. Na podstawie doświadczeń z zajęć stacjonarnych wiem, że temat ten każdorazowo nastręcza najwięcej pytań ze strony najmłodszych adeptów elektroniki, dlatego na własne potrzeby stworzyliśmy instrukcję roboczą dotyczącą posługiwania się multimetrem w celu szybkiego odnajdowania potrzebnych nam rezystorów. Wspomnianą instrukcją podzielę się również z Tobą (zostanie udostępniony link do praktycznej instrukcji roboczej w rzeczonym temacie). A więc, do dzieła!

Montaż rezystorów R1...R7 i zwory drutowej Z

Kierunek montażu rezystorów oczywiście nie ma znaczenia, ponieważ stawiają one opór płynącemu przez nie prądowi, niezależnie od tego, w którą stronę ten prąd płynie. Ważne jest tylko to, by rezystory o odpowiedniej wartości (rezystancji) trafiły na właściwe miejsce na płytce PCB, czyli pod właściwy desygnator. Rezystory na schemacie będą zazwyczaj desygnowane (podpisywane) literą R (jak rezystor) z przypisaną jej liczbą porządkową (R1, R2, i tak dalej). Zestawienie desygnatorów z przypisanymi im wartościami rezystorów znajdziesz, rzecz jasna, na liście materiałowej, dostępnej w instrukcji dołączonej do budowanego zestawu. W przypadku zestawu AVTEDU629, dla rezystorów, na liście tej odnajdziesz następujące przypisania:

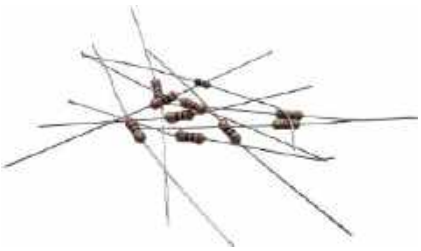
- R1: 10 kΩ (czyli 10 000 Ω, bo „k" – „kilo" oznacza tysiąc)
- R2: 1 kΩ (czyli 1 000 Ω, uzasadnienie jak wyżej)
- R3: 1 MΩ (czyli 1 000 000 Ω, bo „M" – „Mega" oznacza milion)
- R4: 100 Ω (tutaj jednostka baz żadnych przedrostków, więc nic nie trzeba przeliczać)
- R5: 100 kΩ (czyli 100 000 Ω, uzasadnienie jak wyżej)
- R6: 4,7 kΩ (czyli 4 700 Ω, uzasadnienie jak wyżej)
- R7: 220 Ω (ponownie jednostka bez przedrostków)
- Z: 0 Ω (a tu dla odmiany 0 Ω czyli po prostu zwora, na przykład drut, który nie stanowi żadnego oporu).

No dobrze, wiesz już, jakie wartości zamontować na którym desygnatorze. Dla przykładu, wiesz, że na pozycji R1 należy zamontować rezystor 10 kΩ. Ale jak tu w całej stercie rezystorów, odnaleźć ten właściwy?

W celu zamontowania na płytce PCB wszystkich rezystorów, najwygodniej będzie wydzielić sobie wszystkie rezystory na odrębny stosik (**fotografia 3**).

Jak teraz spośród wszystkich tych rezystorów odnaleźć ten, który ma wartość 10 kΩ, i który, zgodnie z listą elementów, potrzebujemy zamontować na pozycji R1?

Cóż. Do tematu możemy podejść dwojako. Można posłużyć się kodem kolorów dla kolorowych pasków znajdujących się na obudowie każdego z rezystorów. Przykładowo, zgodnie z informacjami na liście komponentów dołączonej do zestawu, dla wartości



Fotografia 3. Stosik rezystorów wydzielonych spośród innych elementów dostępnych w zestawie. Które z nich na jakich lokalizacjach zamontować?

Rysunek 2. Multimetr z poprawnie podłączonymi przewodami (czerwony do złącza „VΩmA", czarny do złącza „COM") oraz ustawiony na funkcję pomiaru rezystancji, na najmniejszy możliwy zakres „do 200 Ω")

10 kΩ w stosiku rezystorów należałoby odnaleźć ten z kolejno ułożonymi paskami w kolorach: brązowy-czarny-pomarańczowy-złoty. Problem z tą metodą jest taki, że przy kiepskim świetle, a czasem nawet przy dobrym, kolory łatwo można ze sobą pomylić. Na przykład czerwony kolor łatwo czasem pomylić z kolorem brązowym. Dlatego dużo pewniejszą metodą będzie po prostu te rezystory sobie pomierzyć. Żeby ułatwić sobie pracę, nie będziemy przekopywać całego stosu rezystorów w poszukiwaniu konkretnej wartości, a podziałamy w drugą stronę. Wyciągniemy ze stosu dowolny rezystor, zmierzymy go, a następnie, na podstawie zmierzonej wartości i listy powiązań wartości z desygnatorem, zamontujemy ten rezystor na płytce PCB, na właściwej pozycji. W przypadku mierzenia rezystorów kluczem do sukcesu jest umiejętność poprawnego podłączenia przewodów (sond pomiarowych) do posiadanego multimetru oraz ustawienie go na funkcję omomierza. Nowoczesne mierniki posiadają funkcję automatycznego przełączania się zakresów pomiarowych, w związku z czym należy tylko włączyć miernik i ustawić go w tryb pomiaru rezystancji. W większości przypadków będzie to pozycja ze znaczkiem omegi (Ω). Jednak te najtańsze i najbardziej klasyczne multimetry wymagają ustawienia odpowiedniego zakresu pomiarowego. Instrukcja, do której za chwilę udostępnię link, pomoże ustawić na multimetrze odpowiedni zakres pomiarowy dla mierzonej wartości (na przykład: „do 20 kΩ" w przypadku poszukiwania rezystora o wartości 10 kΩ). Wyciągając rezystor ze stosu elementów, nie wiemy jednak, jaką wartość chcemy zmierzyć. Chcemy po prostu zmierzyć ten rezystor by wiedzieć, jaką ma rezystancję. Dlatego będziemy go mierzyć poczynając od najniższego zakresu. Dla najpopularniejszego i najtańszego na rynku miernika, który wykorzystano w przygotowanej instrukcji,

eprasa.pl 261515f3ed

Fotografia 4. Wskazanie multimetru podczas pomiaru rezystora sugerujące przekroczenie zakresu pomiarowego. Na ustawionym zakresie nie można wykonać pomiaru, zakres należy przełączyć na wyższy

ten najmniejszy zakres to: „do 200 Ω" (**rysunek 2**).

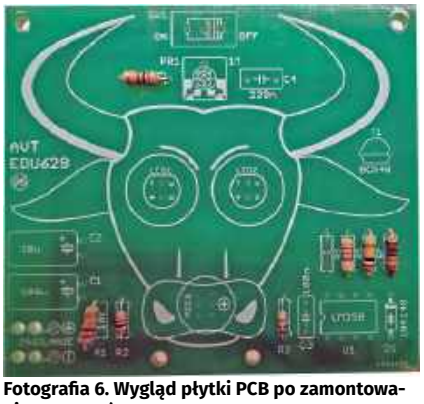
Jeśli dla danego rezystora nie da się na tym zakresie uzyskać wyniku (**fotografia 4**), przełączymy się na kolejny zakres „w górę", czyli „do 2000 Ω". Sprawdzamy, czy na wyświetlaczu pojawił się wynik, jeśli tak, to „bingo!", właśnie zmierzyliśmy rezystor, jeśli nie, znowu zmieniamy zakres na wyższy, i tak do skutku.

Oczywiście w trakcie pomiaru sondy miernika muszą być przyłożone do wyprowadzeń mierzonego rezystora w sposób gwarantujący dobre połączenie elektryczne. Możemy pomóc sobie docisnąć palcem sondę multimetru do jednego z końców rezystora, ale tylko po jednej stronie (**fotografia 5**). Gdybyśmy przycisnęli (drugim palcem) również drugą sondę do drugiego wyprowadzenia rezystora, zaczęlibyśmy mierzyć rezystancję nie tylko opornika, ale także rezystancję naszego ciała, co zafałszowałoby pomiar.

Wszystkie wspomniane wyżej aspekty w szerszy sposób opisuje instrukcja robocza dostępna na stronie: **https://elportal.pl/do-pobrania**. Zachęcam do tego, żeby ją sobie pobrać, wydrukować w kolorze i korzystać, gdy tylko zajdzie taka potrzeba.

Tym sposobem, jeśli ktoś miał do tej pory problem z odnalezieniem właściwych rezystorów przed zamontowaniem ich na odpowiednich pozycjach, od tej pory (z multimetrem

Fotografia 5. Poprawny sposób przykładania sond pomiarowych do badanego rezystora. Można wspomóc się palcem, ale tylko na jednym z wyprowadzeń rezystora, by nie wprowadzić do obwodu dodatkowej rezystancji naszego ciała



Fotografia 6. Wygląd płytki PCB po zamontowaniu rezystorów

i instrukcją roboczą w dłoni) nie powinien mieć z tym najmniejszych problemów. Po zamontowaniu rezystorów, płytka naszego byka powinna wyglądać w sposób pokazany na **fotografii 6**.

Montaż diody sygnałowej D1

W skład zestawu wchodzi tylko jedna dioda sygnałowa, w szklanej obudowie o charakterystycznym wyglądzie. Wystarczy, że zamontujesz ją zgodnie z polaryzacją wskazaną przez czarny pasek na obudowie diody i biały pasek na symbolu diody na płytce drukowanej PCB. Pasek na diodzie musi być skierowany w tę samą stronę co pasek na płytce PCB (**fotografia 7**).

Fotografia 7. Poprawny montaż diody sygnałowej D1 na płytce PCB. Kierunek pasków na diodzie i nadrukowanym na płycdce symbolu diody są zgodne

Montaż podstawki pod układ U1

Tu też niespodzianek nie będzie. Krótszy bok zawierający charakterystyczne wcięcie w plastiku musi być skierowany tak, jak

Fotografia 8. Podstawka powinna zostać zamontowana w kierunku zapewniającym zgodność wcięcia na białym opisie na płytce drukowanej i wcięcia na jednym z boków podstawki. Docelowo w tej podstawce zostanie osadzony układ scalony. Również w tym samym kierunku

pokazuje to biały nadruk na płytce PCB (**fotografia 8**). Nadruk ten na jednym z krótszych boków również ma charakterystyczne wcięcie, wskazujące kierunek montażu podstawki na płytce PCB (a później układu scalonego w tej podstawce).

Montaż tranzystora T1

W zestawie znajduje się tylko jeden tranzystor. Nie ma więc obawy o to, że pomieszamy typy (np. NPN z PNP). Należy jedynie zadbać o to, by kształt obudowy (obudowa ma kształt litery D) po zamocowaniu go w PCB odwzorowywał kształt nadruku symbolu T1 nadrukowanego na płytce PCB (**fotografia 9**). Innymi słowy, kierunek ma znaczenie, ale prawidłowy montaż tranzystora (jedynego w zestawie) powinien być sprawą dosyć intuicyjną.

Fotografia 9. Prawidłowy montaż tranzystora T1 na płytce PCB

Montaż kondensatorów stałych C3 i C4

Wszystkie kondensatory stałe (ceramiczne, foliowe, mikowe) to kondensatory niespolaryzowane. Są elementami elektrycznie symetrycznymi, w związku z czym możemy je montować w dowolnym kierunku. Kondensatory dołączone do zestawu mają różne pojemności, i każdy z nich musi być zamontowany na właściwej pozycji.

Lista materiałowa dołączona do zestawu wskazuje, że powiązanie desygnatorów z wartościami jest tu następujące:

- C3: 100 nF (czyli 0,0000001 F, bo „n" – „nano" oznacza jedną miliardową część jednostki podstawowej)
- C4: 220 nF (czyli 0,00000022 F, uzasadnienie jak wyżej)

Tanie multimetry mało kiedy oferują pomiar pojemności. Na szczęście wartości pojemności są z reguły w sposób czytelny i jednoznaczny nadrukowane na obudowy kondensatorów.

Na obudowie kondensatora o wartości 100 nF (**fotografia 10a**) znajdziemy najpewniej opis „µ1", „100n" lub „104" (trzy najpopularniejsze nomenklatury opisywania kondensatorów).

- W przypadku opisu „µ1" przedrostek „mikro" został umieszczony jako

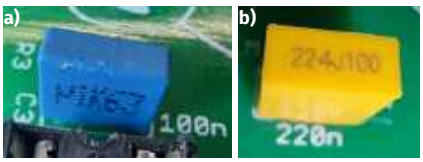
eprasa.pl 261515f3ed

przecinek pomiędzy (niewidocznym) zerem oraz jedynką („µ1” -> „0µ1” -> „0,1 µ”. Ponieważ mówimy o kondensatorach, a więc o pojemności, których jednostką jest F (Farad), domyślamy się, że „0,1 µ” -> „0,1 µF”. Żeby z wartości podanej w mikrofaradach uzyskać wartość w nanofaradach, należy wartość w mikrofaradach pomnożyć przez tysiąc $0,1\mu F \cdot 1000 = 100nF$.

- W przypadku opisu pojemności (której jednostką podstawową jest Farad) „100n” literka „n” oznacza, że wartość została podana w nanofaradach. Mamy zatem 100 nF.
- W przypadku opisu „104” brak literki „n” oznacza, że wartość podana jest w pikofaradach. Jednak ostatnia pozycja wskazuje na liczbę zer, którą należy dodać do liczby poprzedzającej. Mamy tu więc 10 i 4 zera pikofaradów, czyli: 100000 pF. Żeby otrzymać wynik w nanofaradach, trzeba pikofarady podzielić przez tysiąc. Otrzymamy zatem wynik 100 nF.

Innymi słowy oznaczenia „µ1”, „100n” oraz „104” opisują dokładnie tę samą wartość: 100 nF.

W przypadku kondensatora 220 nF (**fotografia 10b**) na kondensatorze możemy spodziewać się opisów „µ22”, „220n” lub „224”. Wytłumaczenie pozwalające rozwinąć te opisy do 220 nF pozostają takie same jak wyżej.



Fotografia 10. Opis „µ1” na kondensatorze C3 oznaczający pojemność 100 nF (a) oraz opis „224” na kondensatorze C4 oznaczający pojemność 220 nF (b)

Montaż potencjometru PR1

Montaż potencjometru nie powinien nastręczyć trudności. Na płytce należy zamontować tylko jeden potencjometr, więc nie ma tu możliwości pomyłki wartości. W dodatku niesymetryczny układ wyprowadzeń komponentu uniemożliwia zamontowanie komponentu w inny sposób niż poprawny. W technologii takie rozwiązanie nazywa się rozwiązaniem typu „poka-yoke”. Komponent ten chętnie będzie stosowany przez inżynierów projektujących elektronikę przeznaczoną do produkcji wielkoseryjnej. Mimo, że nie nadaje się on do montażu automatycznego, nawet zmęczony i wykonujący bardzo powtarzalną pracę operator na linii montażu manualnego nie zamontuje tego komponentu omyłkowo w niewłaściwy sposób. Po prostu się nie da.

Warto jednak mieć kontrolę nad tym, co lutujemy do płytki (nigdy nie wiadomo, czy ktoś, kto kompletował zestaw się nie pomylił i nie wrzucił do woreczka komponentu o innej wartości, albo czy podnieśliśmy z podłogi dokładnie ten sam komponent, który przed chwilą nam upadł). Rzut okiem na komponent pozwala natychmiast stwierdzić, że montujemy potencjometr o wartości opisanej jako „105”, a więc 10 i pięć zer (**fotografia 11**) czyli 1 000 000 Ω, czyli 1 000 kΩ, czyli 1 MΩ, a zatem dokładnie taki, jaki widoczny jest na liście elementów dołączonej do zestawu.

Fotografia 11. Potencjometr oznakowany jako „105”, czyli 10 i pięć zer -> 1 000 000, czyli potencjometr o wartości 1 MΩ

Montaż diod LED LED1 i LED2

Diody LED montowaliśmy na naszych zajęciach już wielokrotnie. I każdy zna, niczym wyuczony na pamięć wierszyk, tekst o tym, że montując diody LED (i każde inne) należy zachować odpowiednią polaryzację. „Dłuższy to plus a krótszy to minus” jest nieodzownym elementem tego wierszyka. Wystarczy więc dłuższy pin diody umieścić w otworze oznaczonym na płytce znakiem „+” a krótszy do otworu oznaczonego znakiem „–”. Problem pojawia się, gdy na przykład utniemy nogi diody LED na równą długość jeszcze przed przylutowaniem. Wtedy można ratować się lokalizacją delikatnego ścięcia na obwodzie diody (młodzi adepci elektroniki

Rysunek 3. Miernik skonfigurowany na funkcję badania ciągłości obwodu. Jeśli elektrody przyłożone do diody LED spowodują jej zaświecenie, przewód czerwony wskazuje anodę, czyli „plus” diody LED

Fotografia 12. Widoczna z bliska większa elektroda we wnętrzu diody LED to zazwyczaj katoda, czyli elektroda ujemna diody LED. Przylutowana dioda zasłania znaczek „+” na opisie PCB, ale widać, że większa elektroda jest skierowana w stronę ścięcia namalowanego na obwodzie okręgu symbolu diody LED, czyli do minusa

mają zazwyczaj problem z dostrzeżeniem tego ścięcia). Można też ustawić multimetr na funkcji pomiaru ciągłości (**rysunek 3**) i przy przewodach zamontowanych do miernika w sposób pokazany na rysunku i przyłożeniu przewodów do diody LED w taki sposób by zaczęła świecić, przewód czerwony wskaże „plus” (anodę) diody LED a przewód czarny wskaże jej „minus” (katodę). Jest jeszcze jeden detal którym można się ratować w takiej sytuacji, a mianowicie wielkość elektrody wewnątrz diody LED. Zazwyczaj ta większa elektroda jest elektrodą ujemną (minusem, katodą) diody LED (**fotografia 12**).

Montaż przełącznika SW1

Przełącznik łączy swój pin środkowy z jednym z dwóch skrajnych, w którego kierunku jest w danym momencie skierowany hebelek przełącznika. Z uwagi na taką konstrukcję kierunek montażu tego elementu nie ma żadnego znaczenia.

Montaż mikrofonu MIC 1

Mikrofon jest elementem spolaryzowanym, dlatego należy go zamontować w odpowiednim kierunku. Polaryzację wyprowadzeń pokazano na **rysunku 4**.

Montaż kondensatorów elektrolitycznych C1 i C2

W przeciwieństwie do kondensatorów stałych, kondensatory elektrolityczne wymagają szczególnej uwagi i bezwzględnego zachowania poprawnej polaryzacji

Rysunek 4. Polaryzacja mikrofonu elektretowego. Trzy ścieżki podłączone do metalowej obudowy wskazują wyprowadzenie, które należy podłączyć do „minusa”, czyli do otworu opisanego na płytce PCB znakiem „– ”

eprasa.pl 261515f3ed

Fotografia 13. Parametry kondensatorów elektrolitycznych odczytujemy wprost z ich obudowy. Oprócz pojemności (C1 to 100 μF, C2 to 10 μF) widoczne są również wartości napięć, przy których każdy z tych kondensatorów może bezpiecznie pracować, pod warunkiem zachowania poprawnej polaryzacji zasilania. Pod wartościami widać też duże białe paski oznakowane znakiem „–". Mogą się przydać, gdyby kondensatory z jakiegoś powodu miały wyprowadzenia o jednakowej długości

podczas montażu. Źle zamontowane kondensatory elektrolityczne po prostu eksplodują po podaniu zasilania. Dlatego proszę podopiecznych, aby nie tylko na czas lutowania komponentów i obcinania nadmiaru przylutowanych wcześniej wyprowadzeń, ale również na czas uruchamiania, w tym podłączania zasilania do zmontowanych urządzeń **bezwzględnie mieli założone okulary ochronne**. Zgodnie z listą komponentów do zamontowania są dwa kondensatory elektrolityczne:

- C1: 100 μF (czyli 0,0001 F, bo „μ" – „mikro" oznacza jedną milionową część jednostki podstawowej)
- C2: 10 μF (czyli 0,00001 F, uzasadnienie jak wyżej)

Wartości tych komponentów odczytujemy wprost z obudowy (**fotografia 13**).

Następnie każdy z kondensatorów montujemy do płytki PCB na desygnatorze powiązanym z odpowiednią pojemnością, odczytanym z listy materiałowej. Dłuższe wyprowadzenie kondensatora umieszczamy w otworze oznaczonym na płytce PCB znakiem „+" a krótsze w otworze sąsiednim (**fotografia 14**). Jeśli kondensatory mają wyprowadzenia jednakowej długości (ktoś uciął je wcześniej) trzeba ratować się znakiem minusa nadrukowanym na korpusy kondensatorów (fotografia 13).

Fotografia 14. Znak „+" w obrysie kondensatorów na płytce PCB wskazuje otwór, w który należy zamontować dłuższe wyprowadzenia kondensatorów elektrolitycznych

Montaż gniazdka zasilającego, lub kabelka do baterii 9 V

Układ świetnie toleruje zarówno stałe napięcie 9 V (zasilanie bateryjne) jak i stałe 12 V (odpowiedni zasilacz wtyczkowy). Do zestawu można zatem zamontować zarówno kabelek do baterii 9 V (tzw. „kijankę") (fotografia 2), lub, rozwiercając nieco otwory dedykowane do prowadzenia kabelków i stosując odrobinę manualnej sprawności podczas lutowania do punktów lutowniczych znajdujących się obok, możemy obsadzić klasyczne gniazdko zasilania (brak w zestawie) dla wtyków 2.1/5.5 mm (**fotografia 15**).

Fotografia 15. Typowe gniazdo zasilania 2.1/5.5 mm (barrel jack) zamontowane w otworach przewidzianych do prowadzenia kabli baterii 9 V

Sprawdzenie poprawności montażu

Teraz sprawdź proszę, czy komponenty: U1, C1, C2, MIC1, LED1, LED2, T1, D1 zamontowałeś zgodnie z ich właściwą polaryzacją. Sprawdź również, czy żadne z sąsiadujących ze sobą pól lutowniczych, które nie są połączone miedzianymi ścieżkami nie są przypadkowo ze sobą połączone oraz, czy żadne z obciętych wyprowadzeń komponentów nie są na tyle długie, by mogły się ze sobą zetknąć (zewrzeć) podczas użytkowania układu. Dodatkowo sprawdź, czy żaden pad lutowniczy nie oderwał się od połączonej z nim ścieżki. Luty powinny być błyszczące i dobrej jakości. Poprawnie zmontowany układ powinien wyglądać podobnie jak ten na **fotografiach 16a** i **b**.

Rysunek 5. Multimetr z poprawnie podłączonymi sondami pomiarowymi, ustawiony na funkcję woltomierza napięć stałych (obszar DCV miernika) na zakres „do 20 V"

Dobrą praktyką jest sprawdzenie, czy na pinach zasilających w podstawce pod układ scalony po podłączeniu zasilania pojawia się właściwe napięcie. Schemat elektryczny (rysunek 1) pokazuje, że po podłączeniu zasilania (baterii lub zasilacza) oraz ustawieniu włącznika SW1 w pozycji ON, pomiędzy nogą 8 oraz nogą 4 układu U1 powinno pojawić się napięcie zasilania. Ustawmy więc przycisk SW1 w pozycji „ON" i sprawdźmy to napięcie.

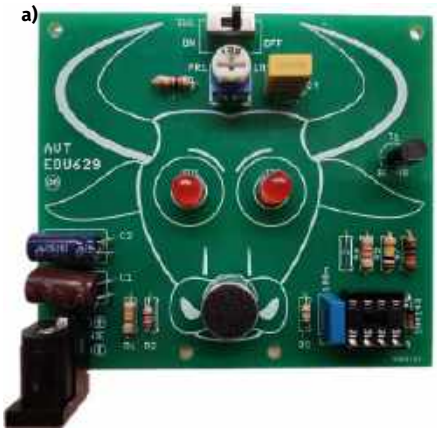
W tym celu ustaw proszę multimetr na funkcję woltomierza napięcia stałego (obszar DCV) na zakres pomiarowy „do 20 V" (**rysunek 5**).

Teraz przyłóż sondy pomiarowe multimetru do pinów 8 oraz 4 podstawki pod układ U1. Czerwona sonda ma łączyć się z pinem 8 („plus") a sonda czarna ma łączyć się z pinem 4 („minus") podstawki (**fotografia 17**).

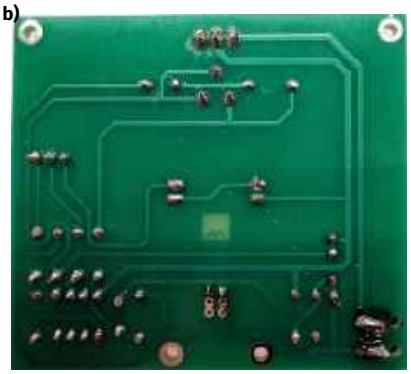
Jeśli wskazane przez multimetr napięcie jest dużo niższe od oczekiwanego (zwarcie) lub na wyświetlaczu pojawił się znak „–" (odwrócona polaryzacja zasilania) należy szybko odłączyć zasilanie od układu, a następnie znaleźć i usunąć usterkę montażu.

Jeśli w trakcie pomiaru na wyświetlaczu multimetru pojawi się wartość napięcia

a)



b)



Fotografia 16. Poprawnie zmontowany zestaw Wściekły byk LED: a) widok od strony montażu komponentów, b) widok od strony lutowania

eprasa.pl 261515f3ed

Fotografia 17. Prawidłowy sposób pomiaru napięcia na podstawce pod układ U1. Sonda czerwona łączy się z pinem nr 8 podstawki, sonda czarna z pinem 4

zasilania, bez minusa poprzedzającego wartość, oznacza to, że montaż jest z grubsza poprawny. Można odłączyć zasilanie, w podstawkę włożyć układ LM358 (**fotografia 18**), a następnie podłączyć zasilanie.

Fotografia 18. Układ LM358 zamontowany w podstawce. Zwróć uwagę, że wycięcie (znacznik polaryzacji) skierowany jest w tym samym kierunku co wycięcie na podstawce oraz białym nadruku na płytce PCB. Wszystkie trzy mają być zgodne

Fotografia 20. Kornel przeprowadza naprawę zerwanego połączenia pomiędzy ścieżką a padem lutowniczym jednego z komponentów. Na zdjęciu widać ścieżkę z usuniętą soldermaską, gotową do pocynowania i ponownego zespolenia z padem lutowniczym za pomocą cyny i srebrzanki lub odciętego po wcześniejszym przylutowaniu fragmentu wyprowadzenia innego komponentu

W tym momencie oczy byka powinny się rozświetlić pełną czerwienią, a następnie w ciągu kilku sekund wygasić się aż do zera. Od tej pory wszystkie głośniejsze dźwięki, w tym dmuchanie w nos, będą przyprawiały byka o wściekłość. Zdradzę tylko, że z bykiem trzeba uważać, łatwiej go rozzłościć niż uspokoić.

Poniżej krótka fotorelacja z zajęć stacjonarnych.

Na zajęciach stacjonarnych wszystkie złożone byki zadziałały niemal od razu. Nie obyło się jednak bez technicznych przygód, a konkretnie, podczas lutowania jednego z wyprowadzeń komponentów do płytki, jedna ze ścieżek oderwała się od padu lutowniczego (**fotografia 20**).

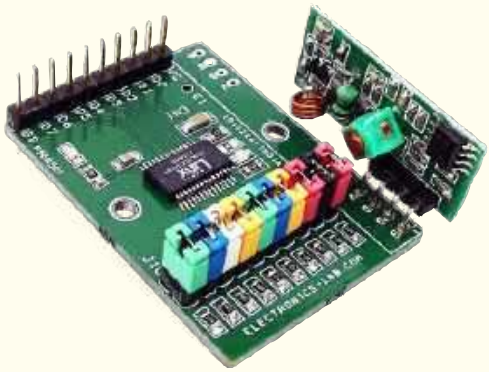
Szczęśliwie, usterka została natychmiast zauważona, a następnie skutecznie i sprawnie naprawiona przez uczestnika zajęć, zupełnie bez mojej ingerencji! Jak widać, zajęcia stacjonarne i wcześniejsze doświadczenia z poprzednich zajęć przekładają się na autentyczne umiejętności, stają się okazją do rzeczywistego poszerzania kompetencji technicznych i manualnych. Bez owijania w bawełnę, dumny jestem ze swoich Chłopaków. Wierzę, że rzeczy przybierają podobny kierunek, również wśród moich zdalnych Kursantów, Juniorów EdW, pod bacznym okiem rodziców lub innych bliskich dorosłych, budujących wraz z nami kolejne ciekawe zabawki, czego Wam i sobie serdecznie życzę. Do zobaczenia za miesiąc! ■

Mariusz Ciszewski

Fotografia 19. Od lewej: Kornel oraz Karol, Zajęcia Młodych Entuzjastów Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

eprasa.pl 261515f3ed

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.



8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym

Opisany tutaj projekt to 8-kanałowy zdalny nadajnik RF. Nadajnik ten został zbudowany przy użyciu układu LICAL-EDC-DS001 firmy LINX. Projekt składa się z układu kodera/dekodera, modułu RF 433 MHz jako łącza bezprzewodowego, 8 przełączników dotykowych do obsługi, 10 zworek do ustawiania adresu nadajnika. Ten układ dekodera/enkodera z serii DS jest idealny do zastosowań zdalnego sterowania. Jest w stanie przesyłać stan do 8 przycisków przez łącze bezprzewodowe. Adresowanie jest realizowane przez stan logiczny 10 zworek od J1 do J10.

8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym

Opisywany tutaj projekt to 8-kanałowy zdalny odbiornik RF (dekoder). Ten 8-kanałowy dekoder został zbudowany przy użyciu układu LICAL-EDC-DS001 firmy LINX. Płytka składa się z układu kodera/dekodera, modułu odbiornika RF 433 MHz i 10 zworek do ustawiania adresu. Ponadto dostępne jest złącze nagłówka do wyprowadzania danych, które idealnie nadaje się do sterowania urządzeniami zewnętrznymi, na przykład przekaźnikami. Wszystkie wyjścia są kompatybilne z logiką TTL, normalnie są niskie i przechodzą w stan wysoki, gdy ważny sygnał zostanie odebrany i zdekodowany przez układ. Dioda LED zasilania D2, dioda LED D1 wskazuje prawidłowy sygnał transmisji. Wszystkie wyjścia są chwilowe (nie zatrzaskowe).

Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
2. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
3. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
4. Czujnik prądu low-side 10 μA...10 mA
5. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
6. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
7. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
8. Kontroler pełnego mostka z przesunięciem fazowym i prostowaniem synchronicznym wykorzystujący UCC28950
9. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W
10. Monitorowanie poziomu cieczy za pomocą czujnika ciśnienia – wyświetlacz słupkowy
11. Sterowanie silnikiem DC za pomocą joysticka
12. 16-kanałowy sterownik serwomechanizmów RC z interfejsem I²C
13. Programowalny kondycjoner sygnału z czujnika rezystancyjnego mostkowego
14. Choinka z Arduino i pikselowymi diodami
15. 20-segmentowy wyświetlacz słupkowy w rozmiarze jumbo
16. Stacja pogodowa lilygo ttgo t5-4.7 z wyświetlaczem typu e-papier
17. Półprzewodnikowy przekaźnik mocy DC z prądowym sprzężeniem zwrotnym
18. Wyłącznik nadprądowy – przekaźnik wyłączający nadprądowy
19. Uniwersalny konwerter napięcia AC – wyjście 18 V DC z wejścia 85...265 V AC
20. Moduł procesora echa głosu – urządzenie opóźniające do efektów dźwiękowych, echo, reverb
21. Sterownik silnika krokowego z joystickiem
22. RPi – stacja pogodowa IoT
23. Niskobudżetowy monitor jakości powietrza IoT oparty o RaspberryPi 4
24. Automatyczny system ogrodniczy z NodeMCU i Blynk, ArduFarmBot 2
25. TinyML – Rozpoznawanie ruchu przy pomocy RPi Pico
26. Wzmacniacz piezoelektryczny do gitary i skrzypiec
27. Wysokowydajny i niezawodny sterownik bipolarnego silnika krokowego
28. Sonarowy theremin MIDI
29. Sterownik silnika prądu stałego z wykorzystaniem przekaźnika i mosfetu – interfejs Arduino
30. Przedwzmacniacz do mikrofonu MEMS
31. Super prosty czuły wykrywacz metali
32. 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:
AVT-Korporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

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 AVT-Korporacja 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 261515f3ed

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 261515f3ed