Edukacja w EdW dla szkół i uczelni:
Wykład 30 – multimetry cyfrowe



ELEKTRONIKA dla wszystkich

DIY PLUS tylko dla prenumeratorów

nr 6/2025 (353) • czerwiec • www.elportal.pl

PROJEKTY dla elektroników

- Zasilacz laboratoryjny 0 V...30 V, 0 A...2 A, część 1
- Bezpieczny zdalny wyłącznik główny, część 2
- Wysokiej klasy aktywne głośniki monitorujące z subwooferem, część 2

DIY dla wszystkich

- Timer z superkondensatorem do odmierzania długich czasów
- Generator przebiegu piłozębnego

TUTORIALE

- Audio OUT: Transformatory w elektroakustyce, część 1
- Kick Start, część 8: możliwości konwersji cyfrowo-analogowej w mikrokontrolerach
- Ekscytacje Maxa: migające diody LED i śliniący się inżynierowie (21)
- Junior: dwunaste spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki



Zasilacz laboratoryjny 0...30 V/0...2 A



Głośniki monitorujące z subwooferem

ISSN 1425-1698 Indeks 33362X
06
9 771425 169252
18,90 zł (w tym 8% VAT)

Pomocna dłoń

automatykaB2B.pl

EP.com.pl
Największy portal dla elektroników konstruktorów



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

eprasa.pl 041f57c630



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



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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mikroskopy cyfrowe dla elektroników

Rabat dla Czytelników EdW
przy zakupie podaj kod **EdW2505MC**
Kod ważny do 30.09.2025

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



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



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



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



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

–20%
NA START
181,40 zł

–30%
po pierwszym roku prenumeraty
158,80 zł

–40%
po drugim roku prenumeraty
136,10 zł

–50%
po trzecim roku nieprzerwanej prenumeraty
113,40 zł

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

Rozpocznij swoją przygodę z *Elektroniką dla Wszystkich*. Decydując się teraz na roczną prenumeratę drukowaną, otrzymasz nie tylko dostęp do najnowszych wydań, ale i **znakomity start dzięki zniżce 20%** na pierwsze zamówienie!

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

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

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

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

Wybierz prenumeratę cyfrową PDF i ciesz się dostępem do czasopisma nawet 7 dni przed oficjalną premierą w kioskach. Oszczędzaj czas i pieniądze – skorzystaj z **rabatu 30%** na roczną e-prenumeratę w cenie 126,90 zł.

Dodatkowa oferta dla prenumeratorów wersji drukowanej: jeśli już subskrybujesz wersję papierową, możesz dokupić równoległe e-wydania w cenie 36,20 zł/rok – z niesamowitym **rabatem 80%**.

Zyskaj nieograniczony dostęp do zasobów dla pasjonatów elektroniki!

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

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

ARCHIWUM

DIY PLUS
tylko dla prenumeratorów

Zacznij korzystać z pełnych zasobów już dziś!

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

ELEKTRONIKA dla wszystkich

Czerwiec 2025 • 6 (353)



8

Projekty dla elektroników:

Zasilacz laboratoryjny 0 V...30 V, 0 A...2 A, część 1 8

Bezpieczny zdalny wyłącznik główny, część 2 18

Wysokiej klasy aktywne głośniki monitorujące z subwooferem, część 2 26



18

Tutoriale:

Audio OUT: Transformatory w elektroakustyce, część 1 38

Edukacja w EdW dla szkół i uczelni.

Wykład 30: Multimetry cyfrowe 42

Kick Start, część 8:

możliwości konwersji cyfrowo-analogowej w mikrokontrolerach 56

Ekscytacje Maxa:

• Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (21) 64

• Sprytne porady i sztuczki cyklu Ekscytacje Maxa dotyczące kodowania .. 67

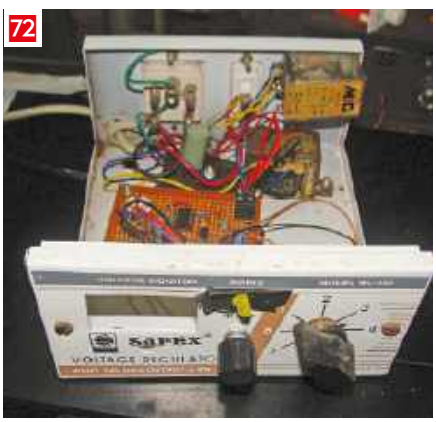


26

DIY dla wszystkich:

Timer z superkondensatorem do odmierzania długich czasów 72

Generator przebiegu piłozębnego 76



72

Elektronika dla Wszystkich – Junior:

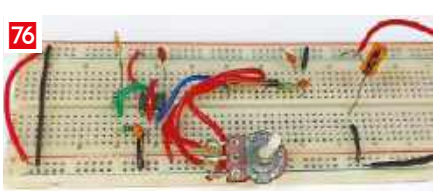
Dwunaste spotkanie z najmłodszymi pasjonatami elektroniki 79

Na zdjęciu na okładce Dawid. Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

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

Lampa nastrojowa LED o dużej mocy 91

Kontroler dzwonów kościelnych 91



76

Rubryki stałe:

Prenumerata 3

Od redakcji 5

Poczta 6

eprasa.pl 041f57c630

A za miesiąc w lipcowym EdW



- **Miernik L/C Mk3 – dokładność, jakiej dotąd nie było**
  Nowoczesna wersja klasycznego miernika LC inspirowana konstrukcją Tektronix T130 z lat 50. Umożliwia pomiary kondensatorów od 1 pF do 1200 pF oraz cewek od 100 nH do 2,5 mH z dużą precyzją. Dzięki autokalibracji, energooszczędnemu wyświetlaczowi OLED i zasilaniu z trzech baterii paluszkowych, urządzenie jest wygodne w użytkowaniu. Prosty montaż i solidna dokumentacja sprawiają, że to projekt warty uwagi.
- **Laboratoryjny zasilacz 0…30 V/2 A, część 2**
  Druga część opisu budowy prostego, ale funkcjonalnego zasilacza warsztatowego. Skupiamy się na montażu, okablowaniu i kalibracji – krok po kroku, z licznymi wskazówkami i ilustracjami. Kompaktowa konstrukcja, pełne zabezpieczenia i precyzyjna regulacja czynią z niego doskonały projekt zarówno dla początkujących, jak i zaawansowanych elektroników.
- **Sterownik Buck-Boost jako ładowarka i konwerter napięcia**
  Moduł zaprojektowany do zasilania paneli LED okazuje się wyjątkowo wszechstronny – działa także jako ładowarka akumulatorów i przetwornica napięcia. Dzięki wykorzystaniu układu LM5118, może obniżać lub podwyższać napięcie, ma ograniczenie prądu i współpracuje z różnymi źródłami – od zasilaczy laptopowych po panele słoneczne. Idealny do warsztatu, kampera i wielu innych zastosowań.
- **Cyfrowa przetwornica podwyższająca napięcie**
  Nowoczesna przetwornica typu boost oparta wyłącznie na mikrokontrolerze PIC16F18146, bez dedykowanego kontrolera. Dzięki peryferiom takim jak DAC, komparator, CLC i PWM umożliwia cyfrową regulację napięcia do 20 V. Wyświetlacz LED, dotykowe przyciski i otwarta konstrukcja czynią ją idealną bazą do eksperymentów i dalszego rozwoju.
- **Wartościowe Tutoriale**
- **Projekty DIY**
- **Juniorzy EdW złożą kolejny zestaw z serii AVTEDU**

W kioskach od 26 czerwca

Czerwiec pełen mocy!



Czerwiec – miesiąc światła, energii i… sesji egzaminacyjnych. Ale bez obaw – nie będziemy Was przepytywać z rezystorów szeregowych ani z definicji histerezy. Nawet o wzór napięcia na dzielnik nie zapytamy! Zamiast tego, mamy dla Was jak zawsze porcję sprawdzonej wiedzy, inspirujących projektów i odrobiny tej radości, którą daje tylko samodzielne lutowanie, testowanie i uruchamianie. Bo przecież dla wielu z nas czerwiec to nie tylko czas przedwakacyjnej gonitwy, ale też idealny moment, by wrócić do pracy nad rozpoczętymi projektami.

Zacznijmy od konkretów. W tym miesiącu kontynuujemy budowę laboratoryjnego zasilacza 0…30 V/2 A – solidnej i uniwersalnej konstrukcji, którą z przyjemnością postawisz w swoim warsztacie. W części pierwszej pokazaliśmy, jak z wykorzystaniem układu LM317 i tranzystora mocy zbudować funkcjonalne źródło napięcia z regulacją od zera i ograniczeniem prądowym. Teraz idziemy krok dalej – kończymy montaż, uruchamiamy całość i testujemy działanie.

Skoro już o wyposażeniu warsztatu mowa, warto pojawić się na wykładzie, w ramach którego kontynuujemy tematykę mierników uniwersalnych. Poprzednim razem opisaliśmy mające wciąż swoje zalety i rzesze zwolenników multimetry analogowe. Dziś przyszła kolej na te cyfrowe – i zapewniamy: nudno nie będzie, bo z pozoru proste urządzenia, jakimi są multimetry, mogą zaskoczyć różnorodnością typów, funkcji i rozwiązań technicznych. Nasz bogato ilustrowany przewodnik pomoże Ci zrozumieć, czym różnią się modele ręczne, cęgowe, stołowe, półautomatyczne, a nawet graficzne – i który z nich najlepiej sprawdzi się w Twoim warsztacie. Praktyczne wskazówki, opisy konstrukcji i porównania parametrów sprawiają, że to lektura nie tylko ciekawa, ale i bardzo przydatna.

Wróćmy zatem do projektów. Bezpieczny zdalny wyłącznik zasilania to temat, który w teorii brzmi nieco trywialnie, w praktyce okazuje się fascynującą podróżą po świecie systemów kodów zmiennych, pilotów, odbiorników i testów odporności na zakłócenia i próby sabotażu. To projekt nie tylko dla tych, którzy chcą zwiększyć bezpieczeństwo i komfort załączania wybranych urządzeń w domu czy warsztacie, ale też świetna okazja do zagłębienia się w świat zabezpieczeń stosowanych między innymi w pilotach do alarmów samochodowych.

A jeśli zamiast zdalnego sterowania, wolisz zająć się dźwiękiem – nic straconego. Wracamy bowiem do tematu aktywnego zestawu głośnikowego z subwooferem. W tej odsłonie skoncentrujemy się na szczegółowym montażu wzmacniaczy, zwrotnicy i zasilacza – wszystko zmontowane w profesjonalnej obudowie typu rack. Zawarte w artykule wskazówki kalibracyjne pozwolą Ci uzyskać jakość dźwięku, która zadowoli nawet najbardziej wymagających użytkowników.

Pasjonujesz się mikroelektroniką i budujesz własne systemy mikroprocesorowe? Nie przegap ósmej części serii KickStart, gdzie pokazujemy, jak generować napięcie analogowe za pomocą PWM oraz zewnętrznego DAC, takiego jak MCP4725. Znajdziesz tu porównanie popularnych platform, praktyczne schematy i gotowe fragmenty kodu – wszystko, by łatwo rozpocząć własne eksperymenty.

A na deser… „żeton" z duszą! Z ogromną przyjemnością polecamy czerwcowy tekst z cyklu EdW Junior, który tym razem opowiada o budowie Przypominacza świetlno-dźwiękowego. Choć formalnie to prosty minutnik z czterema ustawieniami czasu (15 minut, 30 minut, godzina, dwie godziny), to sposób, w jaki został zaprezentowany – jak wierzymy – sprawi, że nawet rutynowe lutowanie zamieni się w prawdziwą przygodę.

Na szczególne wyróżnienie zasługuje opis alternatywnej metody montażu rezystorów autorstwa Kolegi Dawida – to nie tylko praktyczne rozwiązanie, ale też piękny przykład niczym nieskrępowanej kreatywności młodych, którą cenimy w sposób szczególny!

Swoją drogą, czy wiesz, że naszych Juniorów w świat przygód i wyobraźni zapraszamy już po raz dwunasty? Dowcipne porównania, opowieści o nocnym nadeptywaniu na klocki LEGO a nawet żartobliwe opisy wydarzeń z młodości, dotyczące egzaminacyjnych zmagań z blokiem kartek A4 i stoperem w dłoni – tym wszystkim staramy się nadać blask naszej wzajemnej codzienności.

Jeśli tym sposobem uda się zasiać iskrę kreatywności, zbliżyć do siebie pokolenia, porwać rodzeństwo do wspólnej zabawy albo zaktywizować szkolną społeczność majsterkowiczów – to nie ma dla nas większego zachwytu i satysfakcji!

Dorosłym Czytelnikom życzymy przyjemnej lektury i wartościowej porcji wiedzy – niech Wam się darzy! Młodszym: bawcie się dobrze – tylko tyle i aż tyle! A jeśli przy okazji przemyci się tam odrobina treści szkolnych… wybaczcie! Naprawdę nie wiemy, jak to się stało!

Mariusz Ciszewski

eprasa.pl 041f57c630

Poczta

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

Irytujące usterki



Droga Redakcjo

Chciałbym zaproponować rubrykę, która – moim zdaniem – ma potencjał stać się ulubioną częścią wielu Czytelników. Chodzi o rubrykę w stylu „Irytujące usterki”. Miejsce, gdzie można by (nawet anonimowo!) podzielić się historiami projektów, które nie działały, choć powinny, i działały, choć nie wiadomo dlaczego.

Mój przypadek? Prosty układ, w zasadzie klasyk – czujnik temperatury zasilany z 5 V, podłączony do Arduino. Wszystko ładnie zmontowane na płytce uniwersalnej, schemat sprawdzony trzy razy, kody wgrane, LED-y mrugają, ale… odczyty z czujnika zupełnie losowe. Raz 21°C, raz 105°C, potem –5°C. Tylko siedzieć i płakać!

Zacząłem więc szukać błędów: zamieniłem rezystor pull-up, zmieniłem czujnik, przetestowałem kod na innym mikrokontrolerze. I tak dwa długie wieczory!

Aż w końcu, trzymając płytkę między palcami i delikatnie naciskając, zauważyłem, że jak dotknę konkretnego rogu, czujnik nagle pokazuje poprawną temperaturę. Diagnoza: zimny lut na pinie danych. I to taki perfidny – bo lut wyglądał całkiem poprawnie, a odczyty też przecież zachodziły – dane do terminala trafiały. Upłynęło sporo czasu, zanim się zorientowałem, że te prawidłowe odczyty pojawiają się głównie wtedy, gdy płytka leży pod kątem 45° i nikt nie oddycha.

Naprawa trwała minutę. Diagnoza – dwa dni. Zimne luty naprawdę potrafią wyssać z człowieka cierpliwość!

Jeśli wprowadzicie taką rubrykę, macie ode mnie pierwszego stałego jej czytelnika i dostawcę treści zarazem. Z archiwum wstydu mogę wybierać latami.

Tomek

Red. Drogi Tomku. Bardzo dziękujemy za list – czytaliśmy go z uśmiechem… ale i sporą dawką empatii. Kto nigdy nie stworzył zimnego lutu, niech pierwszy rzuci cęgami! Historia z czujnikiem temperatury brzmi znajomo. Prawdopodobnie większość z nas mogłaby dopisać tu własny rozdział.

Przyznamy szczerze: nieczęsto wprowadzamy nowe rubryki (i równie rzadko się ich pozbywamy), ale pomysł naprawdę nas zaciekawił. Ma w sobie coś więcej niż tylko humor – pokazuje ludzką stronę elektroniki, tę z układem, który „wczoraj działał”, i chwilami, w których każdy z nas miałby ochotę „rzucić wszystko i wyjechać w Mazury”.

Rozważymy stworzenie miejsca na tego typu opowieści. Niemniej, póki co, rubryka poczty wydaje się miejscem całkiem stosownym.

Życzymy wielu udanych projektów, jak najmniej zimnych lutów i jak najwięcej chwil, kiedy wszystko działa od razu.

Z pozdrowieniami,
Redakcja

Z szacunkiem bez względu na wiek

Szanowna Redakcjo,

Przyznam szczerze: kiedy po raz pierwszy trafiłem w czasopiśmie na dział „EdW Junior”, odruchowo przewróciłem oczami. To echo dawnych przekonań, które mocno we mnie siedziały – że dzieci trzeba „trzymać krótko”, „przyuczać do roboty”, „a nie głaskać i tłumaczyć jak krowie na rowie”. Tak nas uczono. Tak nas traktowano. Z góry, krótko, z rezerwą i chłodem. Byliśmy raczej problemem niż potencjałem.

Ale zaraz potem, kiedy zacząłem czytać tekst, patrzeć na fotografie, opisy, wyjaśnienia – coś we mnie pękło. I zrozumiałem, że właśnie tak powinno być. Nie z ignorancją. Nie z „dydaktycznym kijem”. Ale z cierpliwością i szacunkiem. Tego mi wtedy najbardziej brakowało – nawet nie elementów, nie wiedzy, nie narzędzi. Brakowało kogoś, kto powie: spróbuj, zrozumiesz, dasz radę.

Teraz, co miesiąc, biorę do ręki kolejne wydanie „Elektroniki dla Wszystkich” i – mimochodem – zerkam najpierw na ostatnie strony, bo nie mogę wyjść z podziwu, że w tak zaawansowanym czasopiśmie specjalistycznym naprawdę znalazło się miejsce, w którym młody człowiek traktowany jest jak partner do rozmowy. Nie jak ktoś, kogo trzeba „wychować”, ale jak ktoś, z kim warto coś razem zbudować – od podstaw, krok po kroku, bez zniecierpliwienia. Cykl „EdW Junior” to dla mnie nie tylko świetny materiał dydaktyczny. To coś więcej.

To szansa, by dotknąć czegoś, czego sam nie miałem. Kiedy czytam, jak dzieci uczą się rozumieć, działać, próbować – mam wrażenie, że w jakimś sensie nadrabiam własne dzieciństwo. Że tamten mały chłopak, który kiedyś bał się zadać pytanie, dziś wreszcie dostaje odpowiedź. Jasną, spokojną i życzliwą.

Dlatego dziś – po sześćdziesiątce – zasiadam do lutownicy i nadrabiam. Dla siebie. Czasem z wnukiem (i wtedy jestem kimś, kim moi opiekunowie nie byli dla mnie), czasem sam – i też dobrze. Bo czuję, że dzięki Waszym tekstom, rysunkom, cierpliwym objaśnieniom mogę coś w sobie naprawić. Coś więcej niż uszkodzony w układzie tranzystor.

Nie spodziewałem się, że magazyn o elektronice może tak działać na duszę. A jednak. Dziękuję za to, że pokazujecie młodym ludziom, że warto być otwartym na nową wiedzę, eksperymentować, zadawać pytania. A starszym – że nigdy nie jest za późno, żeby zbudować coś ważnego. Czasem – gdzieś w głębi siebie.

Z wdzięcznością,

Stanisław
lat 64, Mazowsze

Red. Szanowny Panie Stanisławie. To dla nas niezwykle cenne i budujące, gdy ktoś dzieli się nie tylko opinią o czasopiśmie, ale także kawałkiem własnej historii. Cieszymy się, że dział „EdW Junior” potrafi być czymś więcej niż tylko serią prostych projektów – że może stać się mostem między pokoleniami, a czasem także drogą do odkrycia (lub odzyskania) dziecięcej radości i ciekawości.

To wielka radość wiedzieć, że nasza praca porusza coś więcej niż tylko zainteresowanie elektroniką. Junior rzeczywiście powstał z potrzeby serca – i dzięki takim głosom jak Pana wiemy, że taki kierunek ma głębszy sens.

Z wdzięcznością i serdecznymi pozdrowieniami,
Redakcja „Elektroniki dla Wszystkich”

eprasa.pl 041f57c630



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



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



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

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Mierniki Testery FNIRSI

Rabat dla Czytelników EdW
przy zakupie podaj kod EdW2505FN
Kod ważny do 30.09.2025

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



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



FN-LCR-P1
Tester elementów FNIRSI LCR-P1



FN-HRM10
Tester rezystancji wewnętrznej akumulatorów FNIRSI HRM-10



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



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



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

epidasa.pl 41157630

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip:
https://tiny.pl/zhm479g5
https://tiny.pl/y7-88t5w
Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania



Zasilacz laboratoryjny 0 V...30 V, 0 A...2 A, część 1

W każdym warsztacie lub laboratorium potrzebne jest źródło zasilania prądu stałego o regulowanym napięciu i z możliwością ograniczenia prądu. W artykule opisano ulepszony zasilacz 0 V...30 V, który zawiera regulowane ograniczenie prądu do 2 A z pomiarem napięcia i prądu oraz odłączaniem obciążenia. Większość elementów jest powszechnie dostępna, dwa trudniejsze do zdobycia komponenty jak również płytka drukowana są dostępne na stronie internetowej Silicon Chip.

Projekt ten został pierwotnie opublikowany, w wydaniach z października i listopada 2022 roku siliconchip.au/Series/389. W tamtej wersji użyto transformator MM2005, który stał się niedostępny wkrótce po opublikowaniu tych artykułów. W rezultacie kilku konstruktorów zwróciło się do nas z prośbą o wskazanie alternatywnego dostawcy transformatora lub możliwość zakupu transformatora.

Transformator był nietypowy i posiadał kilka odczepów umożliwiających uzyskanie różnych napięć. Użyliśmy odczepu 24 V do wytworzenia głównego napięcia 30 V/2 A, ale użyliśmy go również do wygenerowania ujemnej szyny zasilającej. Ma to kluczowe znaczenie dla umożliwienia regulacji napięcia wyjściowego do 0 V.

Niestety, żaden alternatywny transformator nie był w stanie zapewnić wymaganego napięcia i mocy w dostępnej przestrzeni.

Ostatecznie znaleźliśmy inny transformator, który jest łatwo dostępny i ma taką samą moc znamionową jak oryginał. Jest wyposażony w większy rdzeń żelazny, co pozwala mu mniej nagrzewać się przy dostarczaniu pełnej mocy, ale oznacza to również, że nie zmieści się w oryginalnej obudowie. Ponadto, nowy transformator ma wprawdzie odpowiednie uzwojenie 24 V, pozostałe odczepy nie są jednak takie same, więc oryginalny projekt musiał zostać zmodyfikowany.

Zmiany na schemacie nie są duże. Dodaliśmy oddzielny generator ujemnego zasilania, który został opisany w innym artykule. Generator ten można użyć nawet w roli podwajacza napięcia.

Aby wprowadzenie tych zmian było możliwe, konieczny był nowy projekt głównej płytki drukowanej. Zmiany te pozwoliły ponadto zastosować większy transformator tak, by zmieścił się w tej samej zgrabnej obudowie zasilacza.

eprasa.pl 041f57c630

Cechy i specyfikacja:
- Łatwy do zbudowania przy użyciu (w większości) standardowych elementów
- Niski poziom szumu na wyjściu
- Doskonała regulacja
- Napięcie wyjściowe: 0 V...30 V
- Ograniczenie prądu: 0 A...2 A (bez sprzężenia zwrotnego) ze wskaźnikiem
- Metoda regulacji: liniowa
- Regulacja obciążenia: lepsza niż 0,5%, 0 A...2 A
- Szum wyjściowy i tętnienia: <8 mV RMS, <50 mV międzyszczytowe @ 2 A
- Mierniki: napięcia (rozdzielczość 100 mV), prądu (rozdzielczość 10 mA)
- Regulacja napięcia: pokrętło jednoobrotowe lub wieloobrotowe
- Odłączanie obciążenia: wyłącznik obciążenia, wskaźnik obciążenia
- Zabezpieczenie przed przegrzaniem: odłącza obciążenie, gdy temperatura radiatora osiągnie 60°C
- Inne funkcje: zabezpieczenie przed zwarciem, zwykłe włączanie i wyłączanie

Pozycje otworów montażowych na płytce drukowanej i dla dwóch elementów montowanych na radiatorze są takie same jak w płytce oryginalnej. Dlatego, jeśli chcesz zamontować tę nową płytkę drukowaną w istniejącej obudowie, wymagane zmiany będą stosunkowo niewielkie. Oznacza to jedynie, że trzeba będzie wywiercić nowe otwory montażowe transformatora, ponieważ większy transformator ma cztery punkty montażowe. Poprzedni miał tylko dwa.

Można się zastanawiać, dlaczego prezentujemy nową wersję zasilacza jako całość, a nie tylko w formie aktualizacji. Z uwagi na nowy schemat układu, nową warstwę opisową na PCB, nowy układ okablowania, zaktualizowany wykaz elementów i szereg innych zmian, artykuł w formie aktualizacji nie byłby dużo krótszy niż kompletne opisanie całości. Zdecydowaliśmy, że obecna forma będzie bardziej przejrzysta dla naszych Czytelników, zwłaszcza tych, którzy nie czytali oryginału.

Funkcje i specyfikacje wersji Mk2 są zasadniczo takie same jak poprzednio.

Zasilacz Mk2 zawiera miernik, który pokazuje napięcie i natężenie pobieranego prądu. Wyłącznik obciążenia służy do podłączania lub izolowania obciążenia w razie potrzeby, a wskaźnik LED pokazuje, kiedy wyjście jest włączone. Ograniczenie prądu można regulować w zakresie od prawie zera do 2 A. Dzięki temu możliwa jest ochrona obwodów przed nadmiernym prądem w przypadku wystąpienia usterki. W zestawie znajduje się również wskaźnik LED ograniczenia prądu.

Jeśli radiator zbytnio się nagrzeje, odłączanie obciążenia ma priorytet. Wyjście zostanie bezwzględnie odłączone. Dioda LED wskaźnika obciążenia pozostanie wówczas wyłączona niezależnie od stanu wyłącznika obciążenia.

Nasz zasilacz zawiera obwody kontrolujące proces włączania i wyłączania się zasilania, które chronią obciążenie podczas uruchamiania i wyłączania zasilacza. Dzięki temu napięcie ze stabilizatora jest w pełni ustalone przed podaniem go do obciążenia. Podobnie, obciążenie jest odłączane natychmiast po wyłączeniu zasilania – zanim napięcie wyjściowe zacznie istotnie spadać, co zapobiega pojawieniu się na obciążeniu nieustalonych oraz zbyt niskich lub zbyt wysokich napięć.

Kolejną cenną cechą naszego zasilacza jest możliwość regulacji napięcia wyjściowego począwszy od 0 V. Niektóre bardzo proste zasilacze obniżają napięcie początkowe około 1,2 V i są sytuacje, w których wartość ta nie jest wystarczająco niska. Na przykład, jeśli testujesz obwód, który działa z pojedynczego ogniwa 1,2 V...1,5 V i chcesz zobaczyć, jak zachowuje się ten obwód, gdy jest zasilany z rozładowanego ogniwa przy napięciu 1 V lub niższym.

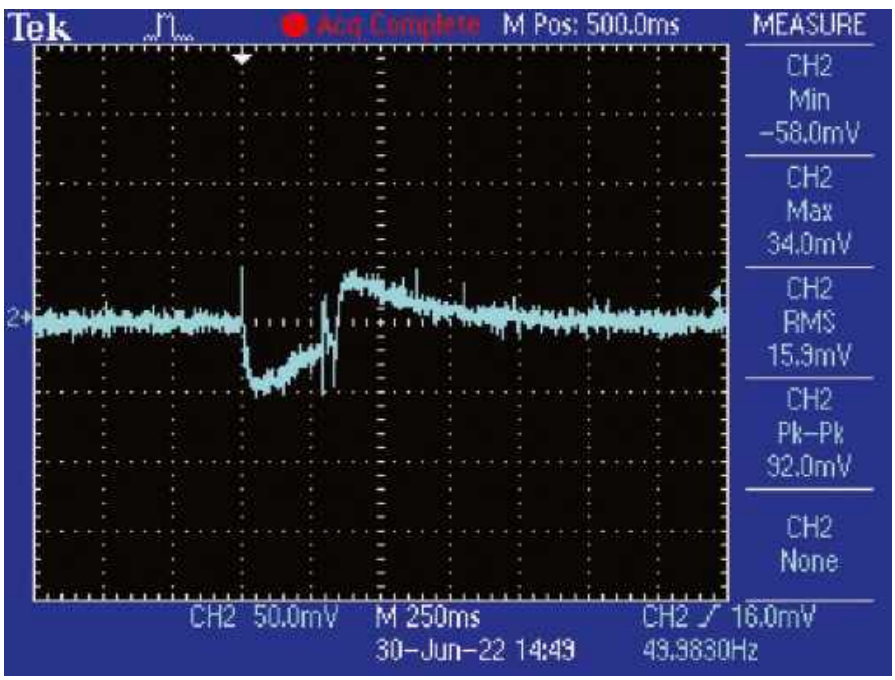
Do regulacji napięcia można użyć standardowego potencjometru o kącie obrotu 270°. Zalecamy jednak zakup potencjometru wieloobrotowego, zwłaszcza jeśli chcesz zapewnić sobie możliwość precyzyjnej regulacji niskich napięć bliskich 0 V.

Zasilacz jest umieszczony w składanej metalowej obudowie z aluminiową podstawą i wentylowaną stalową pokrywą górną. Na przednim panelu znajduje się wyłącznik zasilania, pokrętła do regulacji napięcia wyjściowego i ograniczenia prądu, wyłącznik obciążenia, dwie diody LED oraz mierniki napięcia i prądu. Na tylnym panelu znajduje się tylko gniazdo zasilania sieciowego i radiator.

Wydajność

Nasz zasilacz umożliwia zaawansowaną regulację liniową, a tym samym na sterowanie obciążeniem pozbawione zakłóceń. Umożliwia on ograniczanie prądu oraz zapewnia niski poziom szumów i tętnień na wyjściu.

Regulacja napięcia przy zmianie obciążenia została przetestowana poprzez ustawienie napięcia na stałym poziomie i szybkie przełączanie rezystancji obciążenia, tak aby prąd wyjściowy gwałtownie zmieniał się pomiędzy dwoma skrajnymi wartościami. Przy ustawionym napięciu 16 V, spadek napięcia wyniósł mniej niż 100 mV, gdy obciążenie zmieniało się od 0 A do 2 A na zaciskach wyjściowych. Gdy pomiar wykonano bezpośrednio na płytce PCB, spadek napięcia był o 60% mniejszy. Oznacza to, że większość spadku napięcia wynika z rezystancji przewodów łączących płytkę PCB z zaciskami na przednim panelu.



Oscylogram 1. Napięcie wyjściowe zasilacza spadło tylko o 58 mV przy kroku obciążenia 2 A i powróciło do normy po około 300 ms

eprasa.pl 041f57c630



Całość mieści się w kompaktowej i atrakcyjnej obudowie. Tranzystor Q1 znajduje się za dużymi kondensatorami po lewej stronie i jest przymocowany do obudowy naprzeciwko radiatora, z przełącznikiem termicznym nad nim. Niebieski wieloobrotowy potencjometr regulacji napięcia jest również dobrze widoczny

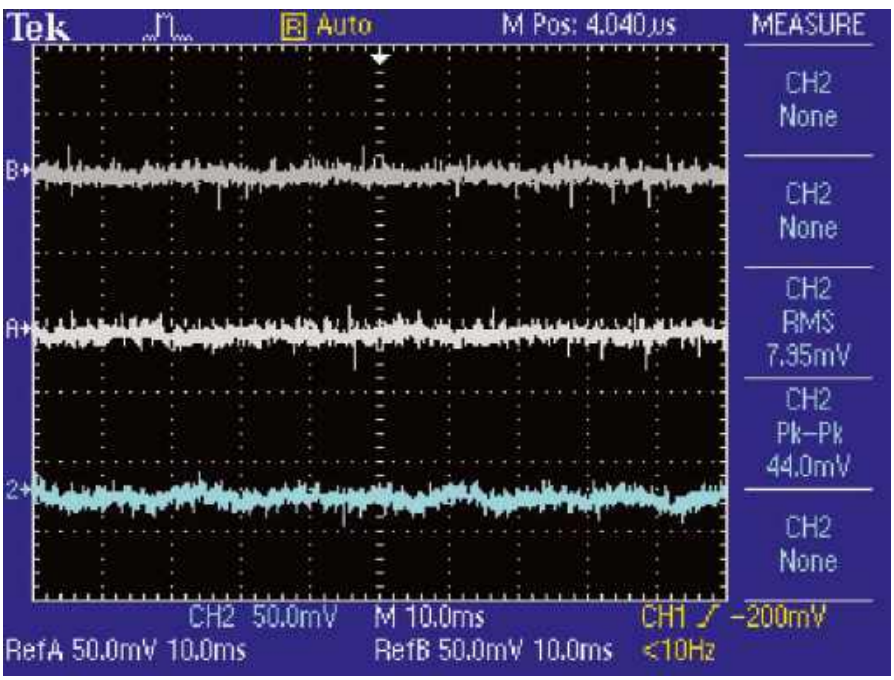
Oscyloskop został skonfigurowany do monitorowania tylko nagłych zmian napięcia przemiennego. Na **oscylogramie 1** zostało pokazane, co dzieje się przy nagłej zmianie obciążenia. Okazało się, że gdy obciążenie zmieniło się z 0 A na 2 A, napięcie wyjściowe chwilowo spadło o 58 mV. Podobnie, po odłączeniu obciążenia 2 A zaobserwowano chwilowy wzrost napięcia o 34 mV, zanim układ ponownie się ustabilizował.

Należy zauważyć, że przebieg nie pokazuje zmiany napięcia DC, a jedynie chwilowe przesunięcie napięcia o 16 V. Nie zaobserwowano zmiany napięcia, gdy oscyloskop ustawiono na pomiar napięcia stałego z czułością 2 V/działkę, aby można było zobaczyć pełne napięcie DC. Dzieje się tak, ponieważ 58 mV i 34 mV to odpowiednio tylko 0,4% i 0,2% napięcia wyjściowego.

Szum wyjściowy

Zmierzyliśmy szum wyjściowy i tętnienia w trzech różnych warunkach: przy zasilaczu nieobciążonym, przy obciążeniu 2 A i z aktywnym ograniczeniem prądu tuż poniżej 2 A. Wszystkie trzy wyniki wykazały niski poziom szumów i tętnień.

Na **oscylogramie 2** widzimy szum wyjściowy i tętnienia przy napięciu 16 V bez obciążenia (przebieg górny), przy obciążeniu 2 A (przebieg środkowy) i przy prądzie ograniczonym do 1,92 A (przebieg dolny). Nie ma zauważalnej różnicy między przebiegami przy obciążeniu i bez obciążenia, jednak w przypadku przebiegu z ograniczeniem prądu występują nieco większe tętnienia, ponieważ ograniczenie prądu przejmuje funkcję regulacji napięcia.



Oscylogram 2. Szum i tętnienia przy braku obciążenia (góra), przy obciążeniu 2 A (środek) oraz przy aktywnym ograniczeniu prądu do 1,92 A (dół)

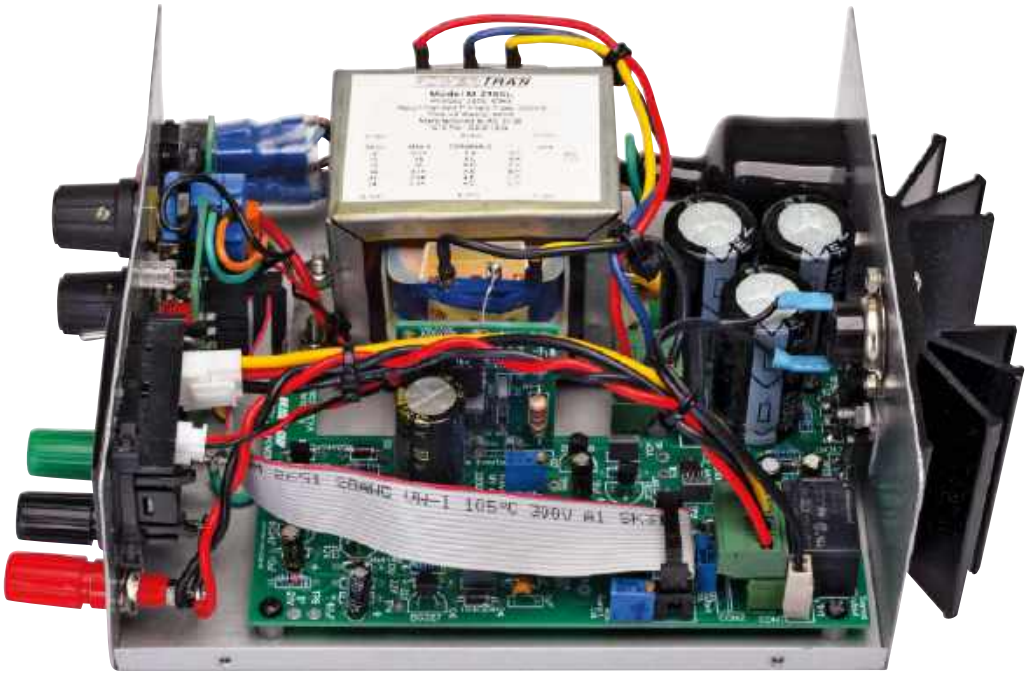
Zasada działania

Podstawowy schemat naszego zasilacza (**rysunek 1**) opiera się na regulowanym stabilizatorze z trzema wyprowadzeniami (REG1) i tranzystorze zwiększającym wydajność prądową (Q1). REG1 to LM317, który w standardowym układzie może dostarczać napięcie w zakresie od około 1,2 V do 37 V przy prądzie 1,5 A. Stabilizator ma wbudowane zabezpieczenia, takie jak ograniczenie prądu, wyłączenie termiczne i praca w bezpiecznym obszarze roboczym (SOA).

Napięcie wyjściowe jest ustawiane za pomocą rezystorów podłączonych między wyjściem a pinami regulacji (R2: 100 Ω) oraz między pinem regulacji a masą (VR1). Rezystor między pinem regulacji i wyjściem ustawia prąd spoczynkowy stabilizatora. Musi on wynosić co najmniej 12 mA, aby utrzymać stabilizację, gdy wyjście jest obciążone inaczej.

Gdy zacisk regulacji jest podłączony do masy, napięcie wyjściowe jest równe napięciu odniesienia, które występuje między wyjściem a pinem regulacji. Wynosi ono od 1,2 V do 1,3 V, w zależności od tolerancji stabilizatora. W naszym układzie zastosowano rezystancję 100 kΩ, aby zapewnić minimalny prąd obciążenia 12 mA w najbardziej niekorzystnym przypadku, gdy napięcie odniesienia stabilizatora wynosi 1,2 V.

eprasa.pl 041f57c630



Nowy moduł inwertera jest zamontowany na głównej płytce drukowanej i można go dostrzec tuż przed transformatorem. Przewód przylutowany od nieużywanego odczepu transformatora do górnej części płytki drukowanej inwertora służy jedynie do mechanicznego wsparcia

Z wyjścia stabilizacji wypływa minimalny prąd o wartości 50 µA, który jest na tyle mały, że zwykle można go zignorować. Napięcie wyjściowe można obliczyć ze wzoru:

$$VOUT = VREF \times (1 + VR1 \div R2)$$

Jeśli konieczne jest uwzględnienie prądu pinu regulacji, prąd ten, pomnożony przez rezystancję VR1, dodaje się do napięcia wyjściowego.

Uproszczony schemat z rysunku 1 nie pokazuje, że w pełnym obwodzie dolny koniec VR1 jest podłączony do ujemnego zasilania o większej wartości niż VREF. W ten sposób napięcie wyjściowe można wyregulować do 0 V. Po wyeliminowaniu napięcia odniesienia, obliczenie napięcia wyjściowego upraszcza się do

$$VOUT = VREF \times VR1 \div R2$$

Zwiększenie wydajności prądowej

Jak pokazano na rysunku 1, REG1 jest używany w zestawieniu z tranzystorem mocy PNP Q1. Tranzystor ten dostarcza duży prąd do obciążenia, ale napięcie wyjściowe stabilizowane jest przez REG1.

Napięcie wejściowe jest podawane na bazę Q1 i wejście stabilizatora poprzez rezystor 33 Ω. Gdy prąd jest pobierany z wyjścia, przepływa również przez rezystor 33 Ω, więc napięcie na nim wzrasta. Po osiągnięciu przepływu 18 mA napięcie między bazą a emiterem wynosi 0,6 V. W tym momencie tranzystor Q1 zaczyna przewodzić i stanowi obejście dla REG1.

Dzięki temu układ może dostarczać większy prąd niż nominalne 1,5 A, na które pozwala sam LM317, zachowując jednocześnie jego funkcję stabilizacji napięcia.

Niestety, korzystając z tego rozwiązania tracimy funkcję ograniczenia prądu, którą zapewniał LM317, ograniczającą wyjście do 1,5 A. Ale właśnie tego potrzebujemy, aby uzyskać wyższy prąd wyjściowy. Wprowadziliśmy dodatkowy obwód ograniczający prąd, który umożliwia regulację tego ograniczenia w zakresie 0 A...2 A.

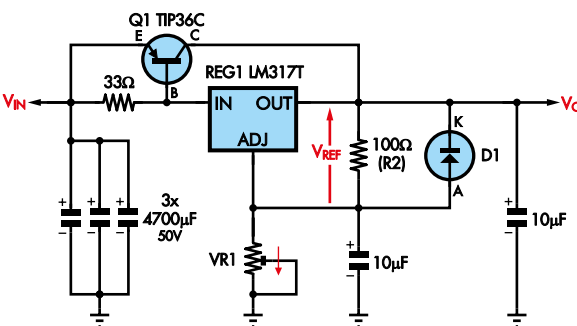
Przedstawiony obwód zwiększenia wydajności prądowej niesie dodatkowy benefit, ponieważ zapobiega wyłączaniu się stabilizatora z powodu wysokiego rozpraszania mocy (przy założeniu, że Q1 ma wystarczający radiator). W ten sposób układ może dostarczać pełne 2 A w całym zakresie napięcia. Bez tranzystora podwyższającego napięcie, stabilizator wyłączałby się przy wysokim rozproszeniu, tj. wysokim prądzie przy niskim napięciu wyjściowym.

Na przykład, przy napięciu wyjściowym 12 V, napięciu wejściowym 32 V i prądzie 1 A, stabilizator (bez Q1) będzie rozpraszał 20 W ([32 V–12 V]×1 A). Specyfikacje obudowy urządzenia pokazują wzrost temperatury o 5°C/W między obudową a złączem. Zatem przy mocy 20 W temperatura złącza wzrośnie o 100°C powyżej temperatury obudowy (20 W×5°C/W).

Jeśli temperatura obudowy wynosi 25°C, temperatura złącza osiągnie 125°C, co spowoduje wyłączenie urządzenia. Zasilacz nie będzie więc w stanie dostarczyć 1 A przy 12 V bez wyłączenia.

Dodając tranzystor boost, REG1 obsługuje tylko 18 mA i rozprasza około 360 mW w tym przypadku (18 mA×[32 V–12 V]), a złącze nagrzeje się tylko 1,8°C powyżej temperatury obudowy.

Rozpraszanie jest natomiast przejmowane przez Q1. Jego temperatura złącza nie będzie tak wysoka jak w przypadku stabilizatora, ponieważ ma on znacznie niższą rezystancję termiczną złącza do obudowy wynoszącą 1°C/W. Przy mocy 20 W, jego złącze będzie tylko o 20°C cieplejsze od obudowy. Używając wystarczająco dużego radiatora, możemy utrzymać temperaturę obudowy na rozsądnie niskim poziomie.



Rysunek 1. Podstawowy schemat stabilizatora jest zasadniczo standardową aplikacją LM317 z noty katalogowej, ale z tranzystorem Q1, zwiększającym prąd, dodanym w celu zwiększenia maksymalnego prądu wyjściowego i poprawy rozpraszania ciepła. Gdy REG1 pobiera więcej prądu, napięcie na rezystorze 33 Ω na jego wejściu rośnie, aż złącze baza-emiter Q1 zostanie spolaryzowane w kierunku przewodzenia, a Q1 przejmie dostarczanie prądu obciążenia

eprasa.pl 041f57c630

W wyniku kierowania prądu pierwotnego przez Q1 tracimy funkcję wyłączania termicznego LM317. Temperatura złącza REG1 będzie zasadniczo podążać za temperaturą radiatora.

Aby temu zapobiec, na radiatorze umieszczono osobny wyłącznik termiczny, który odłącza zasilanie w przypadku przegrzania. Jego styk się rozwiera przy temperaturze 60°C, odłączając zasilanie i pozwalając tranzystorowi ostygnąć.

Na rysunku 1 pominięto kondensatory, jednak ich obecność w układzie jest istotna. Bank trzech kondensatorów 4700 µF na wejściu wygładza tętnienia z pulsującego prądu stałego pochodzącego z wyprostowanego prądu przemiennego. Jest to niezbędne do utrzymania napięcia wejściowego stabilizatora co najmniej 2,5 V powyżej napięcia wyjściowego w celu utrzymania regulacji napięcia.

Kondensator między pinem ADJ REG1 a masą zmniejsza tętnienia i szumy na wyjściu stabilizatora, natomiast kondensator między VOUT a GND zapobiega oscylacjom i poprawia odpowiedź przejściową. Dioda D1 chroni REG1 przed rozładowaniem kondensatora przez REG1 w przypadku zwarcia wyjścia.

Szczegóły schematu

Cały schemat pokazano na **rysunku 2**. Zasilanie urządzenia pochodzi z sieci, które zostaje wstępnie obniżone poprzez transformator T1. Uzwojenie pierwotne T1 jest zasilane napięciem 230 V AC przez bezpiecznik F1 i przełącznik zasilania S1.

Uzwojenie wtórne T1 składa się z dwóch uzwojeń 12 V z odczepem 9 V w każdym z nich. Aby uzyskać 24 V AC, dwa uzwojenia są połączone szeregowo, przy czym koniec 12 V jednego jest połączony z końcem 0 V drugiego. Faza wyjściowa zostaje utrzymana, dzięki czemu dwa napięcia 12 V AC sumują się.

Należy wspomnieć, że oznaczenie końców uzwojenia jako 0 V i 12 V, z odczepem 9 V, jest umowne i zależne od przyjętej konwencji. Wszystko zależy od tego, który koniec zostanie ustawiony jako 0 V. Można by oznaczyć końce w odwrotny sposób, z końcem 12 V jako 0 V i końcem 0 V jako 12 V. W takim przypadku napięcie na odczepie wynosiłoby 3 V zamiast 9 V.

Użycie uzwojeń w ten odwrócony sposób pozwala nam uzyskać 15 V na wyjściu, poprzez dodanie 12 V z drugiego uzwojenia do odczepu 3 V. Wynikowe połączenia 0 V, 15 V i 24 V z transformatora trafiają następnie do płytki drukowanej przez CON1.

Napięcie przemienne pomiędzy odczepami 0 V i 24 V transformatora T1 jest prostowane

Wykaz elementów:

1 dwustronna płytka drukowana, kod 04107223, 100 mm × 140 mm (płytka główna)
1 dwustronna płytka drukowana, kod 04105222, 56 mm × 61 mm (płytka sterowania na panelu przednim)
1 wentylowana obudowa metalowa, 160 mm × 180 mm × 70 mm [Jaycar HB5446]
1 transformator 24 V 60 VA z rdzeniem EI (T1) [Altronics M2165C]
1 moduł przetwornicy napięciowej
1 miernik prądu i napięcia [Core Electronics 018-05-VAM-100 V10A-BL]
1 radiator z wentylatorem o wysokości 72 mm [Altronics H0522, Jaycar HH8572]
1 przekaźnik SPDT 10 A, 24 V DC z cewką (RLY1) [Altronics S4162C, Jaycar SY4067]
1 męskie złącze IEC z wbudowanym uchwytem bezpiecznika [Altronics P8324, Jaycar PP4004]
1 bezpiecznik 500 mA M205 (F1)
1 gumowa osłona złącza IEC obudowy [Altronics H1474, Jaycar PM4016]
1 podświetlany neonowy wyłącznik sieciowy DPST (S1) [Altronics S3217, Jaycar SK0995]
1 przełącznik SPDT (S2) [Altronics S1310, Jaycar ST0335]
1 normalnie zamknięty wyłącznik termiczny 60°C (TH1) [Jaycar ST3821]
1 czerwone gniazdo [Altronics P9252, Jaycar PT0453]
1 czarne gniazdo [Altronics P9254, Jaycar PT0454]
1 zielone gniazdo [Altronics P9250, Jaycar PT0455]
1 silikonowa podkładka izolacyjna dla elementów w obudowie TO-3P
1 silikonowa podkładka izolacyjna i tuleja dla elementów w obudowie TO-220
1 3-pinowe wtykowe gniazdo zaciskowe, raster 5,08 mm (CON1) [Altronics P2573, Jaycar HM3113]
1 3-pinowy wtyk z zaciskiem śrubowym (dla CON1) [Altronics P2513, Jaycar HM3123]
1 4-pinowe wtykowe gniazdo zaciskowe, raster 5,08 mm (CON2) [Altronics P2574, Jaycar HM3114]
1 4-pinowy wtyk z zaciskiem śrubowym (dla CON2) [Altronics P2514, Jaycar HM3124]
2 14-pinowe złącza IDC (CON3, CON4) [Altronics P5014]
2 14-pinowe gniazda liniowe IDC (dla CON3 i CON4) [Altronics P5314]
1 3-pinowy złącze śrubowe, raster 5,08 mm (CON5)
2 2-pinowe złącza z polaryzacją pionową, raster 2,54 mm (CON6, CON7) [Altronics P5492, Jaycar HM3412]
1 2-pinowa spolaryzowana wtyczka (dla CON7) [Altronics P5472 i 2 x P5470A, Jaycar HM3422]
1 8-nóżkowa podstawka DIL IC (opcjonalne; dla IC1)
2 ramki LED 5 mm
2 pokrętła (jedno do VR1, a drugie do VR3)
10 pinów PC 1 mm (dodaj 13, jeśli używasz ich do wszystkich punktów testowych)
1 14-żyłowy przewód taśmowy o długości 150 mm
1 brązowy przewód aktywny o długości 150 mm odłączony od trzyżyłowego kabla sieciowego 7,5 A
1 niebieski przewód neutralny o długości 150 mm odłączony od trzyżyłowego kabla sieciowego 7,5 A
1 przewód uziemiający o długości 150 mm w kolorze zielonym/żółtym odłączony od trzyżyłowego kabla sieciowego 7,5 A
4 przewody połączeniowe 7,5 A o długości 100 mm (różne kolory)
2 przewody połączeniowe 7,5 A o długości 150 mm (jeden czerwony, jeden czarny)
6 śrub z łbem walcowym M4 × 10 mm
6 nakrętek sześciokątnych M4
6 podkładek gwiazdkowych M4
4 nylonowe tuleje dystansowe o długości 6,35 mm z gwintem M3
8 śrub z łbem walcowym M3 × 5 mm
2 śruby z łbem walcowym M3 × 20 mm (dla Q1 i REG1)
4 śruby z łbem walcowym M3 × 15 mm
1 stalowa podkładka płaska M3
6 podkładek nylonowych M3
6 nakrętek sześciokątnych M3
2 małe wsporniki kątowe z gwintem M3,5 [Jaycar HP0872, opakowanie 8 szt.]
2 zaciskane oczka (połączenia uziemienia z podwoziem)
4 niebieskie żeńskie złącza zaciskane (połączenia z włącznikiem/wyłącznikiem sieciowym)
5 opasek kablowych 150 mm
5 opasek kablowych 100 mm
1 rurka termokurczliwa o długości 50 mm i średnicy 25 mm
1 rurka termokurczliwa o długości 50 mm i średnicy 6 mm
1 rurka termokurczliwa o długości 50 mm i średnicy 3 mm
1 mała tubka pasty termoprzewodzącej

Półprzewodniki:

1 podwójny wzmacniacz operacyjny TL072P, DIP-8 (IC1) [Altronics Z2872, Jaycar ZL3072]
1 bocznikowy monitor prądu (wzmacniacz pomiarowy) INA282AIDR lub INA282AQDRQ1, SOIC-8 (IC2) [SC6578]
1 regulowany stabilizator trójkońcówkowy LM317T, TO-220 (REG1) [Altronics Z0545, Jaycar ZV1615]
1 układ napięcia referencyjnego LM336-2.5, TO-92 (REG2) [Altronics Z0557, Jaycar ZV1624]
1 tranzystor mocy TIP36C PNP 100 V 25 A, TO-3P (Q1) [Altronics Z1137, Jaycar ZT2294]
1 2N7000 MOSFET N-kanałowy, TO-92 (Q2) [Altronics Z1555, Jaycar ZT2400]
3 tranzystory NPN BC547 45 V 100 mA, TO-92 (Q3...Q5)
1 BC327 45 V 500 mA tranzystor PNP, TO-92 (Q6)
2 czerwone diody LED 5 mm o wysokiej jasności (LED1, LED2)
1 dioda Zenera 33 V 1 W (ZD1) [1N4752]
2 diody Zenera 12 V 1 W (ZD2, ZD3) [1N4742]
1 mostek prostowniczy GBU806 (BR1) [Jaycar ZR1362]
5 diod 1N4004 400 V 1 A (D1, D4, D7, D8, D10)
1 dioda 1N5404 400 V 3 A (D2)
3 diody sygnałowe 1N4148 75 V 200 mA (D5, D6, D9)

Kondensatory:

3 elektrolityczny radialny 4700 µF 50 V
1 elektrolityczny radialny 2200 µF 35 V
1 elektrolityczny radialny 47 µF 16 V
1 elektrolityczny radialny 10 µF 50 V niespolaryzowany/bipolarny
1 elektrolityczny radialny 10 µF 35 V/50 V/63 V
2 elektrolityczne radialne 10 µF 16 V
1 elektrolityczny radialny 1 µF 16 V
1 wielowarstwowy ceramiczny 1 µF
4 100 nF 63 V/100 V poliestrowy MKT

Potencjometry:

1 pojedynczy potencjometr liniowy 16 mm 5 kΩ (VR1•) [Altronics R2224, Jaycar RP7508]
1 pojedynczy potencjometr liniowy 16 mm 10 kΩ (VR3) [Altronics R2225, Jaycar RP7510]
2 wieloobrotowe potencjometry montażowe z regulacją od góry 5 kΩ (VR2•, VR4) [Altronics R2380A, Jaycar RT4648]
1 wieloobrotowy górny potencjometr montażowy 500 W (VR5) [Altronics R2374A, Jaycar RT4642]
2 wieloobrotowe potencjometry montażowe regulacją od góry 10 kΩ (VR6, VR7) [Altronics R2382A, Jaycar RT4650]
• Alternatywnie i najlepiej zastąpić VR1 potencjometrem wieloobrotowym 2,5 kΩ [Bourns 3590S-2-252L – element14 2519607; Digi-Key 3590S-2-252L-ND; Mouser 652-3590S-2-252L] i usunąć VR2

Rezystory: (wszystkie 1/2 W, 1%, o ile nie podano inaczej)

2 100 kΩ	1 33 kΩ	4 10 kΩ	2 4,7 kΩ	2 2,2 kΩ
2 1 kΩ	1 330 Ω	4 100 Ω	1 33 Ω	

1 20 mΩ 1 W SMD w rozmiarze M3216/1206 [Vishay WSLP1206R0200FEA lub podobny – element14 1853240; Digi-Key WSLP-.02CT-ND; Mouser 71-WSLP1206R0200FEA; część SC6578]

eprasa.pl 041f57c630

za pomocą mostka prostowniczego BR1 w układzie pełnookresowym i filtrowane za pomocą trzech równoległych kondensatorów 4700 µF 50 V w celu wytworzenia nominalnego napięcia 32 V DC. Zazwyczaj napięcie DC jest wyższe, ponieważ sieć zasilająca dostarcza zwykle powyżej 230 V AC, a transformator nie jest zwykle mocno obciążony. To przefiltrowane napięcie jest podawane na emiter tranzystora Q1.

Wyjście stabilizatora i kolektor Q1 są podawane do obciążenia przez normalnie otwarty styk przekaźnika RLY1. Obwód sterowania przekaźnikiem zostanie opisany później.

Obniżenie napięcia wyjściowego do 0 V

Obwód wokół REG1 różni się od pokazanego na rysunku 1 tym, że zamiast połączenia z masą, VR1 jest podłączony do wyjścia wzmacniacza operacyjnego IC1a. IC1a wytwarza ujemne napięcie względem masy, aby zniwelować napięcie odniesienia REG1. Ustawienie ujemnego napięcia wyjściowego IC1a o tej samej wartości, co napięcie odniesienia REG1, pozwoli na przesunięcie napięcia na wyjściu do poziomu 0 V.

Zasilanie ujemne

Ujemne zasilanie jest wymagane do zasilania ujemnej szyny wzmacniacza operacyjnego IC1. Dzięki temu jego wyjście może mieć wartość ujemną. Zasilanie to pochodzi z modułu inwertera napięcia, który konwertuje dodatnie napięcie zasilania około +12 V na ujemne napięcie zasilania około –8 V. Szczegóły dotyczące małej płytki drukowanej, która dokonuje tej konwersji, znajdują się w dalszej części artykułu.

Dioda D4 zapobiega wzrostowi napięcia linii –8 V powyżej 0 V o więcej niż wynosi spadek napięcia na pojedynczej diodzie. W przeciwnym razie mogłoby to nastąpić po włączeniu zasilania. Należy zauważyć, że w układzie nie ma diody D3. D3 została użyta w oryginalnym projekcie i aby zachować podobieństwo do niego, zachowaliśmy te same numery diod.

Zasilanie –8 V zapewnia prąd polaryzacji dla REG2, stabilizatora bocznikowego LM336-2,5 V. Wytwarza on stabilizowane ujemne zasilanie z dodatnim zaciskiem podłączonym do masy i ujemnym zaciskiem podłączonym do zasilania –8 V poprzez rezystor polaryzujący prąd 2,2 kΩ.

W rezultacie napięcie na jego ujemnym zacisku wynosi stabilne –2,49 V, nawet przy zmianach temperatury, dzięki diodom D5 i D6 zapewniającym kompensację temperaturową. Potencjometr montażowy VR7 powinien być tak wyregulowany, aby napięcie na REG2 było bardzo bliskie –2,49 V. To napięcie referencyjne jest filtrowane kondensatorem 10 µF.

Potencjometr VR6 łączy się z napięciem odniesienia –2,49 V, zapewniając stabilizowane ujemne napięcie kompensujące napięcie odniesienia wytwarzane przez REG1. To ujemne napięcie odniesienia uzyskuje się z suwaka potencjometru VR6, którym należy regulować w celu zapewnienia stałego napięcia od –1,2 do –1,3 V. Celem jest zrównoważenie napięcia odniesienia stabilizatora między jego wyjściem a stykami regulacji.

Suwak potencjometru VR6 jest połączony z wejściem nieodwracającym układu IC1a. Układ IC1a działa jako bufor o jednostkowym wzmocnieniu, w którym napięcie wyjściowe podąża za napięciem wejściowym. Wyjście IC1a pobiera następnie 12...13 mA z REG1 na dolnym wyprowadzeniu VR1. Przy prawidłowo ustawionym VR6, napięcie wyjściowe REG1 wynosi zero, gdy VR1 jest całkowicie skręcony przeciwnie do ruchu wskazówek zegara.

Monitoring prądu

Układ IC2 dokonuje pomiaru prądu płynącego do obciążenia, a wynik tego pomiaru wykorzystywany jest przez wzmacniacz operacyjny IC1b współpracujący z tranzystorem MOSFET Q2 do aktywnego ograniczania prądu wyjściowego.

IC2 to monitor prądu, który mierzy spadek napięcia na boczniku 20 mΩ w linii zasilania GND. Napięcia z obu końców bocznika są doprowadzane do pinów 1 i 8 układu IC2, który wzmacnia różnicę o współczynnik 50. Wybraliśmy bocznik tak, aby pin 5 układu IC2 dostarczał 1 V na 1 A prądu wyjściowego.

Spadek napięcia na boczniku 20 mW przy 1 A wynosi 20 mV, co po pomnożeniu przez 50 daje 1 V. Należy jednak pamiętać, że napięcie wyjściowe IC2 odnosi się do napięcia odniesienia –2,49 V, a nie do szyny 0 V.

Kalibracja jest liniowa, więc IC2 dostarczy 2 V powyżej wartości odniesienia –2,49 V dla przepływu prądu 2 A lub proporcjonalnie niższe wartości przy prądach pośrednich.

W przypadku ograniczania prądu porównujemy prąd mierzony przez IC2 z maksymalnym ustawionym poziomem prądu. Ustawienie prądu dla ograniczenia jest zapewnione przez dzielnik napięcia na zasilaniu –2,49 V. Do głównej regulacji służy potencjometr VR3, a VR4 i VR5 ustawiają maksymalne i minimalne ograniczenia prądu. Ignorując na razie VR5, VR4 jest ustawiony tak, że gdy VR3 jest całkowicie skręcony zgodnie z ruchem wskazówek zegara, napięcie na jego suwaku będzie wynosić 2 V powyżej wartości odniesienia –2,49 V, co odpowiada ograniczeniu prądu 2 A.

VR5 wprowadza niewielkie przesunięcie napięcia powyżej –2,49 V odniesienia. Służy do minimalnego ustawienia VR3, aby dopasować wyjście IC2, gdy nie płynie prąd obciążenia.

Zazwyczaj wyjście IC2 będzie zawsze powyżej napięcia odniesienia –2,49 V ze względu na niewielki prąd czuwania pobierany przez źródło napięcia odniesienia, IC1, IC2 i mierniki. Ponadto będzie występować napięcie przesunięcia właściwe dla IC2, nawet przy braku przepływu prądu.

VR5 pozwala nam wybrać to napięcie tak, aby napięcie między punktem testowym TP10 (na górnym wyprowadzeniu VR5) a TP3 (na suwaku VR3) wynosiło od 0 V do 2 V, co odpowiada zakresowi ograniczenia prądu 0 A...2 A. Przy odpowiednio wyregulowanym VR5, potencjometr VR3 można obrócić maksymalnie w lewo, nie powodując ograniczenia prądu w stanie braku obciążenia.

Napięcie z suwaka VR3, odpowiadające nastawie ograniczenia prądu, jest podawane na wejście odwracające IC1b przez rezystor 1 kΩ. Napięcie to jest porównywane z napięciem wyjściowym z układu IC2, które jest podawane na wejście odwracające (pin 5) układu IC1b przez rezystor 10 kΩ.

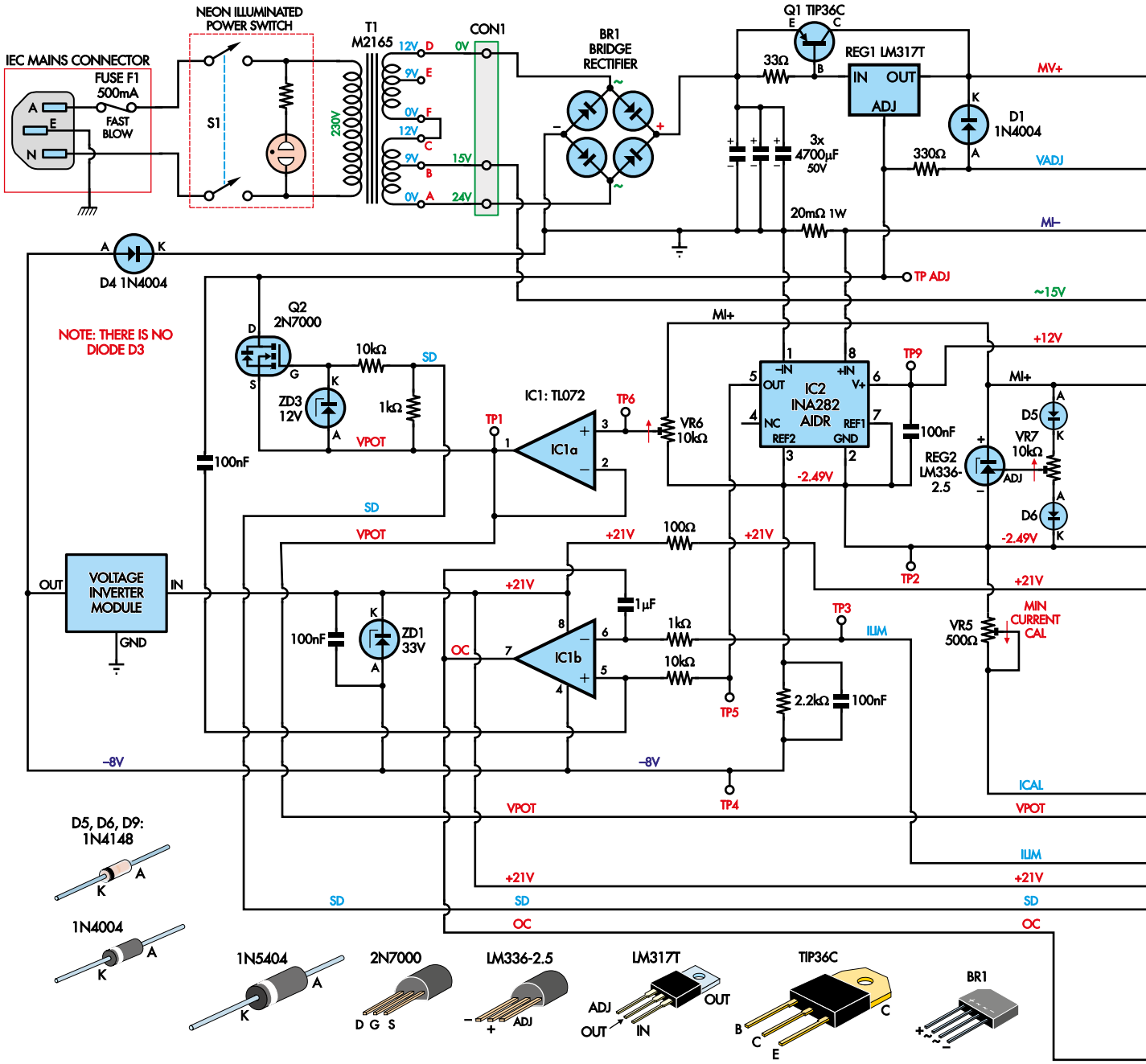
Gdy napięcie wyjściowe IC2 spadnie poniżej wartości ustawionej za pomocą VR3, wyjście IC1b (pin 7) zostaje ściągnięte do potencjału ujemnego zasilania – pin 4 (–8 V). W tym przypadku wskaźnik ograniczenia prądu LED1 jest odwrotnie polaryzowany, więc bramka MOSFET-a Q2 jest utrzymywana na napięciu źródła, bez przepływu prądu przez MOSFET.

Po przekroczeniu progu ustawionego potencjometrem VR3, wyjście IC1b przełącza się w stan wysoki, zaświecając diodę LED1 poprzez rezystor 1 kΩ między wyprowadzeniami bramki i źródła Q2. Wzrost napięcia na bramce włącza tranzystor Q2. Przewodzący MOSFET obniża napięcie na pinie regulacyjnym REG1, zmniejszając w ten sposób napięcie wyjściowe.

Należy zauważyć, że pomiędzy pinem regulacji a rezystorem VR1 ustawiającym napięcie znajduje się rezystor 330 Ω. Pozwala to tranzystorowi Q2 na sterowanie pinem regulacji bez obciążania go przez rezystancję ustawienia napięcia.

Kondensator 100 nF pomiędzy pinem 5 IC1b i drenem Q2 działa jako kondensator kompensacyjny dla sprzężenia zwrotnego ograniczającego prąd, zapobiegając jego zbyt szybkiemu włączeniu, co mogłoby prowadzić do oscylacji.

eprasa.pl 041f57c630



Rysunek 2. Kompletny schemat zasilacza. Zwróć uwagę, jak wiele sygnałów jest kierowanych do CON3, a następnie przez tasiemkę do CON4 na płytce sterownika panelu przedniego, a w niektórych przypadkach z powrotem przez kabel do innego pinu na CON3

Kompensacja wzmacniacza operacyjnego jest również zapewniona poprzez zastosowanie kondensatora 1 µF między wejściem odwracającym (pin 6) a wyjściem (pin 7). By zapobiec oscylacjom wystarczy, bardzo mała pojemność tego kondensatora, np. 47 pF, natomiast wartość 1 µF minimalizuje tętnienia napięcia wyjściowego, gdy zasilanie jest ograniczone prądowo.

Odłączanie obciążenia

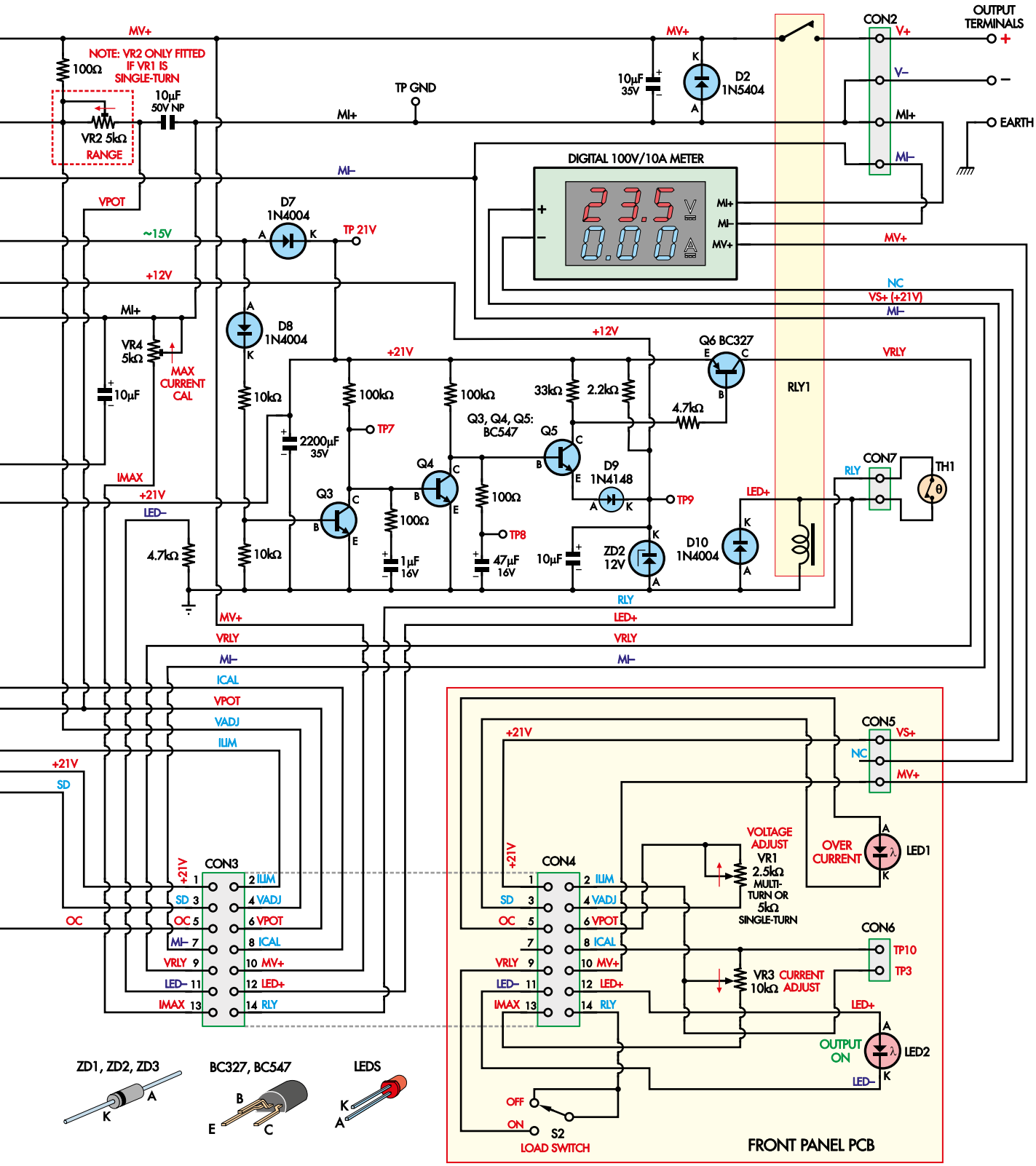
Jak wspomniano wcześniej, do przełączania obciążenia do wyjścia zasilacza używamy przekaźnika. Przekaźnik ten (RLY1) umożliwia układowi odłączenie obciążenia podczas włączania i wyłączania zasilania lub, gdy radiator zbytnio się nagrzeje.

Odłączenie obciążenia przy pierwszym podłączeniu zasilania i po jego wyłączeniu zapobiega przypadkowemu przyłożeniu losowego napięcia do obciążenia. Ta sekcja obwodu obejmuje diody D7 i D8, tranzystory Q3...Q6 i powiązane elementy, a także RLY1.

Aby uzyskać zasilanie 21 V, używamy odczepu transformatora 15 V. Dioda D7 pełni rolę prostownika półokresowego, a kondensator 2200 µF filtruje napięcie, wygładzając je do poziomu około 21 V DC. Dodatnie zasilanie wzmacniacza operacyjnego IC1 jest pobierane z tej szyny przez rezystor 100 Ω. Ponieważ ujemne zasilanie dla IC1 pochodzi z szyny –8 V, dołączona dioda ZD1 zapewnia, że całkowite zasilanie IC1 nie przekracza 33 V.

Dioda D8 również prostuje napięcie z odczepu 15 V, jednak bez filtracji, dzięki czemu uzyskujemy napięcie pulsujące. W ten sposób, gdy zasilanie zostanie odłączone, napięcie z diody D8 ustanie natychmiast,

eprasa.pl 041f57c630



co pozwoli nam szybko wykryć, kiedy nastąpiło wyłączenie zasilania.

Po podłączeniu zasilania, dodatnie napięcie na katodzie D8 włącza tranzystor Q3 na połowę każdego cyklu napięcia sieciowego. W przypadku naszej sieci 50 Hz, dodatni impuls trwa 10 ms. Q3 rozładowuje kondensator 1 µF przez rezystor 100 Ω za każdym razem, gdy jest włączony. Kondensator ten zaczyna się ładować przez rezystor 100 kΩ z zasilania 21 V podczas ujemnej połowy przebiegu.

Kondensator ten będzie pozostawał rozładowany, o ile tranzystor Q3 będzie go cyklicznie rozładowywał co 10 ms.

eprasa.pl 041f57c630

Opcje potencjometru

Zapewniliśmy możliwość użycia standardowego potencjometru jednoobrotowego (obrót o 300°) dla VR1, który reguluje napięcie wyjściowe zasilania. W tym przypadku jest to liniowy potencjometr regulacyjny 5 kΩ połączony równolegle z potencjometrem montażowym 5 kΩ. To rozwiązanie jest najtańsze, ale nie zapewnia najlepszej precyzji regulacji.

Alternatywą jest zastosowanie potencjometru wieloobrotowego 2,5 kΩ, który ułatwia regulację napięcia wyjściowego, zwłaszcza w przypadku niskich wartości.

Potencjometr służący do regulacji napięcia jest używany jako zmienna rezystancja (lub reostat), a nie jako potencjometr. Suwak potencjometru umożliwia uzyskanie napięcia mieszczącego się w zakresie pomiędzy wartościami przyłożonymi do obu końców ścieżki oporowej.

Do uzyskania zmiennej rezystancji wykorzystuje się suwak i tylko jedno z wyprowadzeń potencjometru.

Niepodłączony koniec potencjometru jest często dołączany do suwaka, ale nie zmienia to zależności rezystancji względem obrotu.

Przy zastosowaniu standardowego potencjometru o kącie obrotu 300° do regulacji napięcia w zakresie 0 V...30 V, nawet niewielki obrót powoduje istotną zmianę napięcia wyjściowego. Przykładowo, zmiana o 0,3 V następuje przy każdym 1% (3°) obrotu. Oznacza to, że zmiana napięcia o 1 V wymaga obrotu gałki o nieco ponad 3% (czyli około 10°).

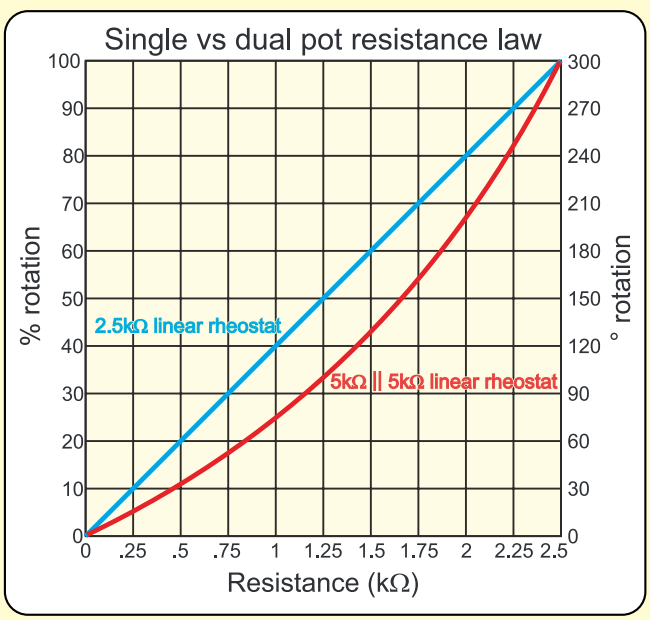
Innym problemem jest to, że podczas gdy fizyczne ograniczniki krańcowe są oddalone od siebie o 300°, rzeczywisty element oporowy pozwala na zmianę wartości zazwyczaj tylko w zakresie 270°, co dodatkowo utrudnia precyzyjną regulację w całym zakresie regulacji.

Nie zastosowano również jednoobrotowego potencjometru 2,5 kΩ, ponieważ komponenty tego typu są trudno dostępne i stosunkowo kosztowne. Zamiast tego używamy potencjometru liniowego 5 kΩ równolegle z rezystancją 5 kΩ, aby zapewnić efektywną rezystancję 2,5 kΩ. Oznacza to, że wykres zależności rezystancji od obrotów nie jest liniowy, co dodatkowo pogarsza czułość regulacji dla niskich wartości napięcia, jak pokazano na poniższym wykresie.

Linia niebieska dotyczy potencjometru liniowego o rezystancji 2,5 kΩ, podczas gdy linia czerwona przedstawia zamiany rezystancji dla potencjometru 5 kΩ zrównoleglonego z rezystancją 5 kΩ. Połączenie równoległe nie zapewnia liniowej zależności między rezystancją a kątem obrotu, a największa różnica występuje w pobliżu końców obrotu, co jeszcze bardziej utrudnia dokładną regulację niskiego napięcia.

W pierwszych 10% obrotu liniowy potencjometr 2,5 kΩ zmienia swoją rezystancję o około 250 Ω, natomiast potencjometr 5 kΩ i równoległy rezystor 5 kΩ zmieniają rezystancję o prawie 500 Ω. Przy połowie zakresu obrotu, potencjometr 2,5 kΩ ma rezystancję 1,25 kΩ (czyli połowę pełnej wartości), natomiast potencjometr 5 kΩ z równoległym rezystorem osiąga około 1,67 kΩ (czyli 2/3 całkowitej rezystancji).

Przy 90% obrotu, potencjometr 2,5 kΩ ma rezystancję 2,25 kΩ (90% całkowitej rezystancji), natomiast potencjometr 5 kΩ daje 2,37 kΩ (95% rezystancji). Ta nieliniowość powoduje, że regulacja przy niskim wyprowadzeniu jest znacznie bardziej zgrubna niż w środku zakresu.



Wykres pokazuje różnicę rezystancji w zależności od obrotu dla zwykłego potencjometru 2,5 kΩ i potencjometru 5 kΩ bocznikowanego stałą rezystancją. Zaczynają się i kończą w tych samych punktach, ale rezystancja potencjometru bocznikowanego nie jest liniowa. Jeśli uda Ci się zdobyć wieloobrotowy potencjometr 2,5 kΩ, regulacja napięcia będzie znacznie łatwiejsza i bardziej precyzyjna.

Podobnie tranzystor Q4 kontroluje ładowanie kondensatora 47 µF. Gdy Q4 jest wyłączony, umożliwia ładowanie kondensatora 47 µF podłączonego do TP8 przez rezystory 100 kΩ i 100 Ω. Q4 pozostaje wyłączony, pod warunkiem, że kondensator 1 µF łączący się z bazą Q4 jest rozładowany.

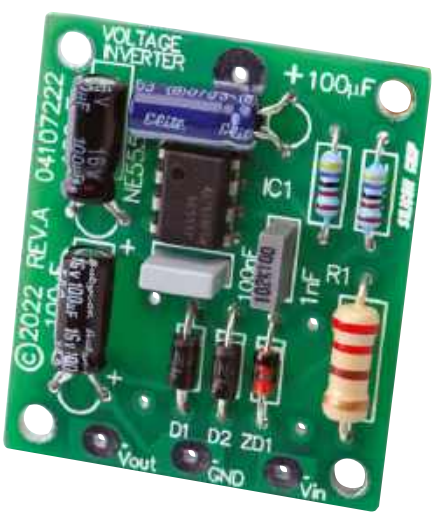
Gdy transformator podaje napięcie, kondensator 47 µF ładuje się. Aby tranzystor Q5 mógł się włączyć, napięcie na bazie Q5 musi być wyższe od 13,2 V ze względu na napięcia na diodzie D9 i diodzie Zenera ZD2. Ta ostatnia jest przy tym polaryzowana przez rezystor 2,2 kΩ z zasilania 21 V.

W rezultacie, po pierwszym podłączeniu zasilania występuje pięciosekundowe opóźnienie, zanim kondensator 47 µF naładuje się wystarczająco, aby włączyć Q5. Ale gdy przełącznik zasilania zostanie wyłączony, w ciągu kilkudziesięciu milisekund kondensator 1 µF w bazie Q4 naładuje się wystarczająco, aby go włączyć, rozładowując kondensator 47 µF i wyłączając Q5.

Gdy Q5 jest włączony, pobiera prąd z bazy tranzystora PNP Q6 przez rezystor ograniczający prąd 4,7 kΩ. Prąd z Q6 przepływa przez wyłącznik obciążenia (S2), następnie przez przełącznik termiczny TH1, a dalej do cewki przekaźnika. Tak więc obciążenie jest podłączone przez RLY1 tylko wtedy, gdy Q6 jest włączony, S2 jest włączony, a przełącznik termiczny TH1 nie jest otwarty.

Innymi słowy, Obciążenie zostaje odłączone przy włączaniu i wyłączaniu zasilacza, a także wtedy, gdy wyłącznik S2 jest rozłączony lub temperatura TH1 przekroczy dopuszczalny poziom.

Dioda D10 chroni układ przed przepięciami pojawiającymi się przy wyłączaniu cewki



Moduł przetwornicy napięcia bazuje na popularnym układzie 555 oraz kilku dodatkowych komponentach. Do użycia w tym zasilaczu, jest on zbudowany z ZD1=12 V i R1=220 Ω/1 W

eprasa.pl 041f57c630



Na tylnym panelu nie ma zbyt wielu elementów – tylko radiator i wejście zasilania IEC. Należy zaznaczyć, że ze względu na swoją wysokość radiator wystaje nieco poniżej dolnej krawędzi obudowy. W praktyce wystarczy zastosować wyższe nóżki obudowy, aby uzyskać odpowiedni prześwit dla radiatora

przekaźnika. Przy okazji, ponownie sprytnie wykorzystujemy zasilanie 12 V z diody Zenera ZD2 do zasilania IC2, monitora bocznika INA282.

Wskaźniki pomiarowe

Do regulowanego wyjścia zasilacza dołączone są woltomierz i amperomierz. Woltomierz mierzy napięcie przed stykiem przekaźnika. Bocznik do pomiarów prądu znajduje się w ujemnej linii zasilania. Ma on bardzo niską rezystancję, a więc występuje na nim bardzo mały spadek napięcia. Miernik jest zasilany z dodatniej szyny 21 V i wykorzystuje zacisk MI– jako masę.

W następnym odcinku

Opisaliśmy już, co potrafi nasz ulepszony zasilacz i jak działa. W kolejnym artykule przedstawimy szczegóły montażu dwóch płytek drukowanych, instrukcje montażu obudowy i szczegóły okablowania. ■

John Clarke

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**

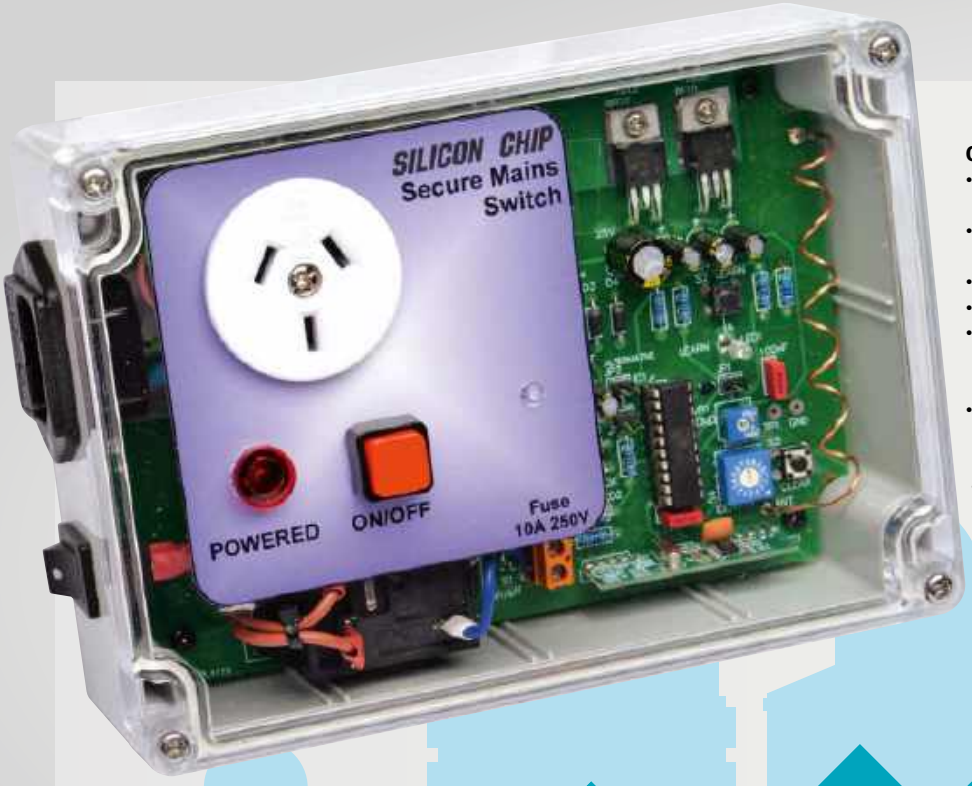
Ponadto każdy prenumerator ww. czasopism korzysta z rabatów od 30% do 50% na zakup czasopism z oferty www.UlubionyKiosk.pl

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 041f57c630



Odbiornik
- Zasięg: do 68 m (w linii prostej, bez przeszkód)
- Liczba obsługiwanych pilotów: maks. 16 na odbiornik
- Zasilanie: 230 V AC
- Pobór mocy w stanie czuwania: typowo 0,8 W
- Obciążalność styków przekaźnika: 30 A/250 V AC – umożliwia przełączanie dużych obciążeń, np. pomp
- Czas załączenia przekaźnika: 250 ms – 60 s (tryb ×1) lub 60 s – 4,5 h (tryb ×255); szczegóły w tabelach 3 i 4
- Zabezpieczenie przed zanikiem napięcia: wyłączenie poniżej 192 V AC, ponowne włączenie powyżej 220 V AC
- Pobór prądu (zasilanie DC):
  – 17 mA (przekaźnik wyłączony)
  – 100 mA (przekaźnik załączony)

Bezpieczny zdalny wyłącznik główny, część 2

Opisany w artykule zdalny przełącznik zasilania sieciowego korzysta z bezpiecznej transmisji bezprzewodowej, co uniemożliwia przejęcie kontroli przez osoby niepowołane. Dzięki temu może być wykorzystywany do sterowania również newralgicznymi urządzeniami, takimi jak napędy bram czy drzwi.
Urządzenie wyróżnia się dużą obciążalnością styków, co pozwala na bezpośrednie przełączanie odbiorników z napędem silnikowym, w tym pomp wodnych, także basenowych.
W pierwszej części artykułu omówiono schemat elektryczny. Niniejszy materiał poświęcony jest montażowi, testowaniu, konfiguracji i praktycznemu zastosowaniu przełącznika.

System składa się z jednego odbiornika i maksymalnie 16 pilotów. Jeśli masz kilka urządzeń wymagających zdalnej kontroli, można zbudować wiele odbiorników. Dzięki bezpiecznemu systemowi zmiennych kodów nie ma możliwości, aby pilot uruchomił niewłaściwy odbiornik.

Ze względu na wykorzystanie standardowych elementów, montaż obu modułów jest stosunkowo prosty. Płytka drukowana pilota ma niewielkie wymiary (30 mm × 45 mm), zastosowany mikrokontroler ma obudowę SMD (SOIC-14). Mimo to, każdy z podstawowymi umiejętnościami lutowania i dobrym sprzętem powinien poradzić sobie z montażem.

Konstrukcja pilota

Wszystkie elementy pilota zostały rozmieszczone na dwustronnej płytce drukowanej o wymiarach 30 mm × 45 mm, oznaczonej kodem 10109212 (**rysunek 3**). Po zmontowaniu układ mieści się w obudowie o wymiarach 65 mm × 25 mm × 17 mm. Obudowa ta została zaprojektowana z myślą o baterii 12 V typu N (oznaczanej również jako LR1, MN9100, AM5 lub E90), jednak w naszym przypadku zastosujemy baterię pastylkową. W związku z tym konieczne będzie usunięcie zakrzywionych plastikowych listew znajdujących się wewnątrz przedniej pokrywy, przy mocowaniu kółka na klucze – to one utrzymują baterię typu N. Do ich usunięcia najlepiej użyć cążek bocznych. W ten sposób uzyskamy miejsce na zamocowanie uchwytu dla nowego ogniwa.

Większość elementów, z wyjątkiem modułu UHF, jest zamontowana na górnej powierzchni płytki drukowanej. Układ scalony i rezystor 220 Ω są komponentami do montażu powierzchniowego.

Układ scalony IC1 należy zaprogramować przed przylutowaniem go na płytkę. W Silicon Chip można zamówić wersję zaprogramowaną. Można też zaprogramować ten układ samodzielnie, przy czym należy posiadać właściwy programator.

eprasa.pl 041f57c630

Pilot

- Zasilanie: bateria litowa 3 V CR2032 (zalecana pojemność ≥200 mAh)
- Typowy czas działania: ponad 2 lata przy standardowym użytkowaniu
- Pobór prądu w stanie czuwania: około 60 nA (~0,5 mAh/rok)
- Pobór prądu podczas transmisji: około 10 mA przez 160 ms (~0,9 µAh na jedną transmisję)
- Pobór prądu podczas rejestracji: około 10 mA przez 2,75 s (~15,5 µAh na jedną rejestrację)
- Szybkość transmisji: 976,5 b/s (1,024 ms na bit)
- Kodowanie: Manchester, całkowity czas ramki – 82 ms
- System kodowania: 48-bitowy kod bazowy (seed), 24-bitowy mnożnik i 8-bitowy przyrost (kody zmienne)

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/0nxjdkmy

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



Montaż układu rozpocznij od rezystora 220 Ω. Przylutuj najpierw jedno wyprowadzenie i jeśli to konieczne ponownie je podgrzej, aby poprawić jego położenie na padach przed przylutowaniem drugiego wyprowadzenia. Następnie dodaj odrobinę świeżego lutowia (lub topnika w postaci pasty) do pierwszej nóżki i podgrzej ją w celu ponownego uzyskania płynnego stanu lutowia, aby połączenie było ładne i błyszczące.

Następnie zamontuj układ IC1, pilnując, by kierunek montażu był poprawny. Przylutuj pin 1 do płytki drukowanej i przed lutowaniem pozostałych pinów sprawdź, czy wszystkie piny układu scalonego pokrywają się z padami na płytce drukowanej. Jeśli między jakimiś pinami powstały mostki lutownicze, można je usunąć z pomocą topnika i plecionki lutowniczej.

Następnie zamontuj trzy przełączniki, S1...S3. Są one umiejscowione blisko krawędzi płytki drukowanej. Kolejnym elementem do montażu jest dioda LED1. Sprawdź, czy jej polaryzacja jest prawidłowa (dłuższe wyprowadzenie jest anodą [A]). Dioda LED powinna być umieszczona tak, aby górna część soczewki LED 7,5 mm znajdowała się nad górną powierzchnią płytki drukowanej.

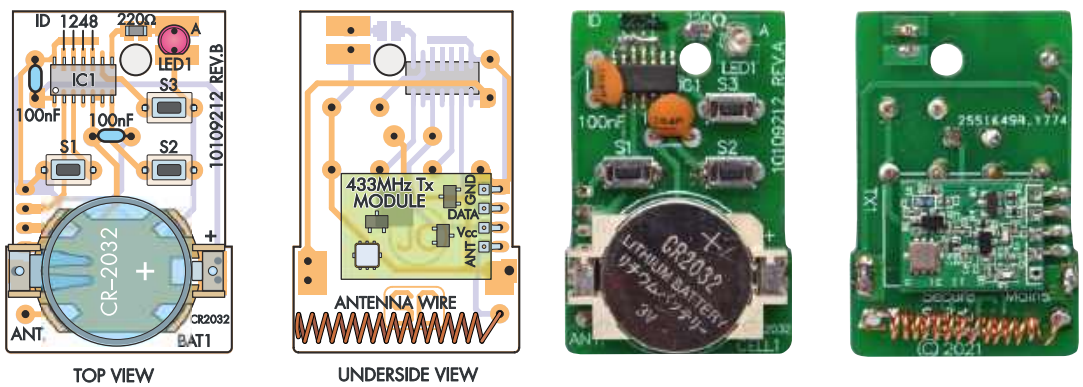
Następnie zamontuj dwa kondensatory ceramiczne 100 nF. Kondensator przylegający do S3 musi być zwrócony w kierunku IC1.

Nadajnik UHF można teraz zamontować na spodniej stronie płytki drukowanej, a jego styki wygiąć tak, aby przylegał płasko do tylnej części płytki drukowanej z odstępem 1 mm. Przed przylutowaniem wyprowadzeń należy sprawdzić, czy są one prawidłowo ustawione. Następnie należy zamontować uchwyt baterii na górnej stronie płytki drukowanej.

Montaż PCB wieńczy montaż anteny. Tę wykonać należy z drutu miedzianego o długości 162 mm i średnicy 0,5 mm. Zdejmij izolację z jednego końca o około 2 mm za pomocą ostrego nożyka do tapet, papieru ściernego lub ostrych cążek bocznych. Nawiń go na trzpień o średnicy 3 mm (np. wiertło 3 mm), a następnie rozciągnij do długości 28 mm.

Zamocuj przygotowaną wcześniej antenę od spodu płytki drukowanej, tak aby jej odizolowany koniec został wprowadzony w otwór oznaczony jako antena.

Następnie umieść zmontowaną płytkę PCB w dolnej części obudowy, przed przykręceniem pokrywy. Płytka i podstawa



Rysunek 3. Schemat montażowy – widok z góry i z dołu rzeczywistej prototypowej płytki PCB, pilota bezpiecznego, zdalnie sterowanego wyłącznika sieciowego

eprasa.pl 041f57c630

obudowy są mocowane za pomocą dwóch wkrętów samogwintujących, dołączonych do zestawu. Na koniec przyklej do pokrywy etykietę panelu przedniego, dostarczoną razem z obudową.

Nowo zamontowane przełączniki mogą nie zadziałać od razu. Niezbędne mogą okazać się pewne regulacje wstępne. W szczególności, może się zdarzyć, że przełącznika S2 nie będzie się dało nacisnąć, ponieważ narożnik uchwytu baterii sąsiadujący z S2 jest zbyt wysoki, aby umożliwić zgięcie dźwigni pokrywy obudowy dla S2. W takim przypadku należy nieco spiłować ten róg uchwytu baterii, aby można było nacisnąć przełącznik (jak pokazano niżej).

Ponadto może się okazać, że przełączniki są wciśnięte, gdy pokrywa jest założona. Aby tego uniknąć, będziemy dostarczać płytki PCB, które są cieńsze niż zwykle (1,0 mm zamiast 1,6 mm). Cieńsza płytka drukowana powinna zapobiegać wciskaniu i klinowaniu przełączników przez pokrywę.

Jeśli jednak problem taki wystąpi, konieczne będzie przycięcie za pomocą pilnika, ostrych cążek bocznych lub noża do tapet wierzchołków plastikowych kołków na pokrywie obudowy, które naciskają na przełączniki. Uważaj, aby nie usunąć zbyt dużo materiału i przetestuj działanie przełączników po odcięciu części plastiku.

Należy pamiętać, że dotknięcie obu elektrod baterii pastylkowej (styków „+” i „–”) może prowadzić do zwiększenia prądu upływu wskutek osadzania się pomiędzy nimi nawet śladowych ilości substancji organicznych obecnych na skórze. Zanieczyszczenia te pogarszają właściwości izolacyjne i mogą przyspieszyć samorozładowanie ogniwa. Jeśli dotkniesz ogniwa w ten sposób, wyczyść je spirytusem metylowym lub alkoholem izopropylowym i unikaj dotykania połówek ogniwa palcami.

Konstrukcja odbiornika

Większość elementów (choć nie wszystkie) została rozmieszczona na płytce drukowanej o kodzie 10109211 i wymiarach 159 mm × 109 mm (**rysunek 4**). Pozostałe komponenty – takie jak gniazdo wejścia sieci (IEC), gniazdo wyjścia sieci (GPO), przycisk S1, przełącznik zasilania S5 oraz neonowa lampka kontrolna – są montowane poza płytką.

W pierwszej kolejności należy zamontować rezystory, zwracając uwagę, aby każdy z nich znajdował się na właściwej pozycji. Choć kolory pasków rezystorów można odczytać z wykazu elementów, przed wlutowaniem rezystorów warto dla pewności zmierzyć ich rezystancje multimetrem.

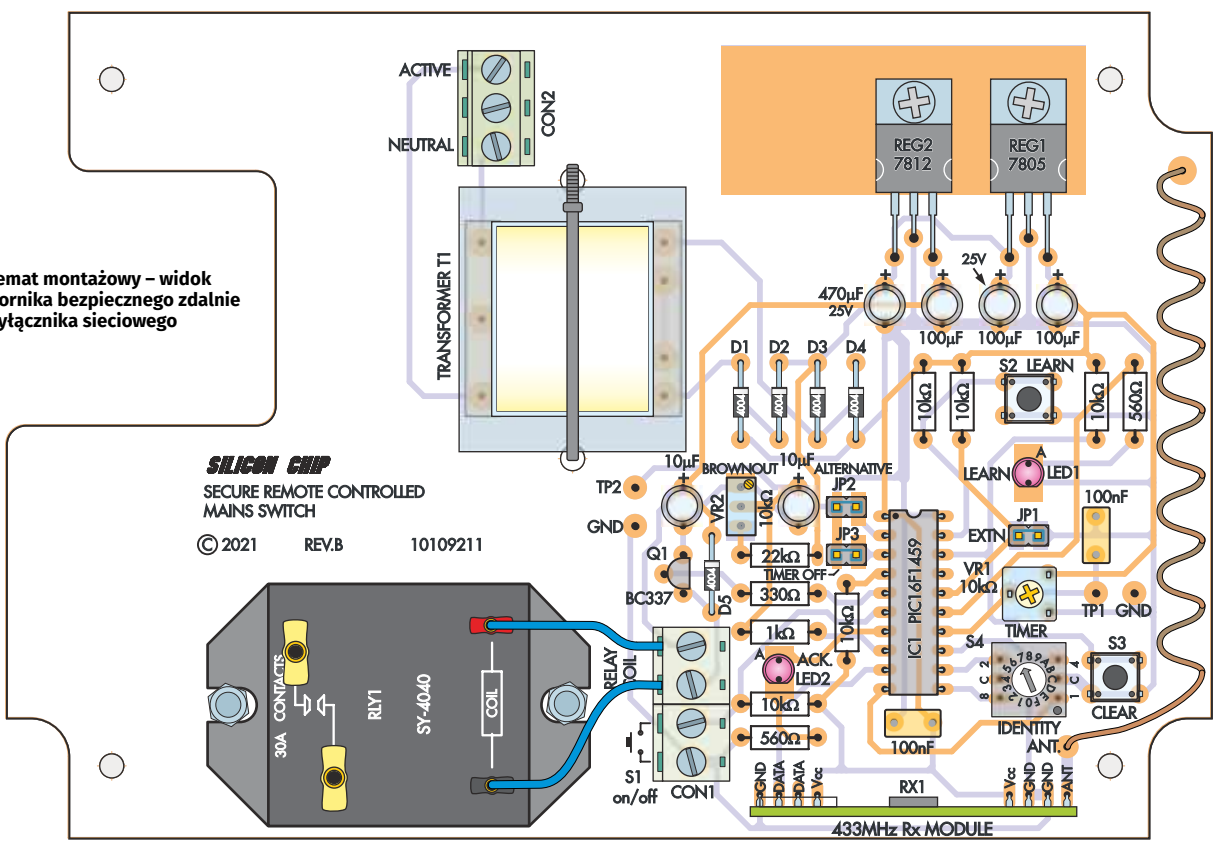
Kolejnym etapem montażu jest przylutowanie diod D1…D5. Przed wlutowaniem każdej z nich upewnij się, że zostały ustawione we właściwym kierunku. Następnie zamontuj podstawkę pod układ scalony IC1, zwracając uwagę, aby jej znacznik był zgodny z orientacją pokazaną na rysunku 4. Samego układu IC1 na razie nie montuj – zostanie on włożony dopiero po sprawdzeniu poprawności napięcia zasilania.

Stabilizatory REG1 i REG2 mają zostać zamontowane na płytce drukowanej poziomo. Najpierw należy wygiąć ich wyprowadzenia o 90° tak, aby przeszły przez otwory w płytce drukowanej. W każdym przypadku dwa zewnętrzne wyprowadzenia stabilizatora są odgięte o 8 mm od jego korpusu, natomiast środkowe wyprowadzenie jest odgięte o 5 mm od korpusu.

Przymocuj każdy stabilizator do płytki drukowanej za pomocą śruby M3 × 10 mm i nakrętki. Uważaj, aby nie pomylić stabilizatorów – układ 7805 (REG1) znajduje się po prawej stronie.

Przed lutowaniem i przycinaniem końcówek należy mocno dokręcić każdy podzespół. Nie należy lutować wyprowadzeń stabilizatora przed dokręceniem śrub montażowych, ponieważ może to spowodować naprężenie połączeń lutowanych i pęknięcie ścieżek na płytce.

Następnie zamontuj potencjometry montażowe VR1 i VR2 (śruba regulacyjna VR2



Rysunek 4. Schemat montażowy – widok PCB sekcji odbiornika bezpiecznego zdalnie sterowanego wyłącznika sieciowego

eprasa.pl 041f57c630

w kierunku górnej krawędzi płytki drukowanej), tranzystor Q1 i przełącznik BCD. Wszystkie elementy powinny być zorientowane zgodnie z rysunkiem.

Następnie można zamontować kondensatory. Kondensatory elektrolityczne muszą być zamontowane zgodnie z pokazaną polaryzacją (dłuższe wyprowadzenie to elektroda dodatnia). Dwa kondensatory poliestrowe MKT 100 nF można zamontować w dowolnym kierunku. Dwie diody LED (LED1 i LED2) należy zamontować z wierzchołkami soczewek 12 mm nad powierzchnią płytki drukowanej, a anody (dłuższe wyprowadzenia) do otworów oznaczonych „A".

Złącza CON1 i CON2 to 4- i 3-pinowe zaciski śrubowe. CON1 składa się z dwóch 2-pinowych zacisków śrubowych uprzednio połączonych ze sobą przez zsunięcie ich wzdłuż listew bocznych. Ustaw CON1 tak, aby wejście przewodu było skierowane w stronę przekaźnika RLY1.

W złączu CON2 podłączone są jedynie dwa skrajne zaciski, aby zachować większy odstęp między przewodami fazowym i neutralnym. W naszym prototypie usunęliśmy środkowy pin z terminala. Jeśli jednak jego usunięcie okaże się trudne, można go pozostawić. Wejście wyprowadzenia dla tego złącza znajduje się po lewej stronie.

Następnie zamontuj złącza JP1, JP2 i JP3.

Teraz przylutuj do płytki moduł odbiornika 433,9 MHz, upewniając się wcześniej,

Kody zmienne – często zadawane pytania

Często pojawia się pytanie, co się stanie, jeśli pilot zostanie uruchomiony poza zasięgiem odbiornika. Czy po powrocie w zasięg i ponownym naciśnięciu przycisku odbiornik zareaguje?

Sytuacja ta budzi wątpliwości, ponieważ kod oczekiwany przez odbiornik został już wysłany (ale nie odebrany), a pilot zdążył przejść do kolejnego. Jak system radzi sobie z takim przypadkiem?

Odbiornik analizuje każdy sygnał o prawidłowej długości i szybkości transmisji, ale nie włącza przekaźnika, dopóki nie otrzyma właściwego kodu. Jeśli struktura ramki jest poprawna, ale sam kod się nie zgadza, odbiornik porównuje go z kolejnymi przewidywanymi wartościami. Gdy jedna z nich pasuje do odebranego kodu, przekaźnik zostaje załączony – co oznacza, że wcześniejsze naciśnięcie przycisku zostało pominięte.

Jeśli kod wciąż się nie zgadza, odbiornik będzie porównywał kolejne przewidywane wartości – maksymalnie dziesięć – co pozwala uwzględnić sytuację, w której przycisk pilota został naciśnięty wielokrotnie poza zasięgiem.

Jeśli żaden z 10 kolejnych kodów nie pasuje, odbiornik przełącza się w tryb rozszerzonej synchronizacji, który pozwala rozpoznać kody przesunięte o więcej niż 10 pozycji. W takim przypadku wymagane są dwie poprawne transmisje – dopiero po ich odebraniu system wraca do normalnego działania.

Podczas pierwszej próby synchronizacji odbiornik analizuje nawet 200 kolejnych kodów, co zwiększa szansę na odnalezienie właściwego. Sama synchronizacja nie powoduje jeszcze włączenia przekaźnika – w tym czasie świeci się dioda LED Learn. Jeśli jeden z kodów zostanie rozpoznany jako prawidłowy, odbiornik oczekuje jeszcze jednej poprawnej transmisji. Dopiero jej odbiór powoduje załączenie przekaźnika.

Jeśli tylko jeden lub żaden z odebranych kodów nie zostanie rozpoznany jako poprawny, odbiornik nie zareaguje. W przypadku przesunięcia o więcej niż 200 kodów pilot będzie wymagał ponownej rejestracji, aby mógł ponownie współpracować z odbiornikiem.

Działanie mechanizmu synchronizacji można przetestować, wyłączając odbiornik i naciskając przycisk pilota co najmniej 10 razy. Następnie należy ponownie włączyć odbiornik i nacisnąć przycisk jeszcze raz. Zapalenie się diody LED Learn oznacza, że aktywna jest rozszerzona funkcja synchronizacji. Po kolejnym naciśnięciu przycisku pilot powinien już poprawnie sterować odbiornikiem, a dioda LED Learn zgaśnie.

Nawet jeśli ktoś przechwyci i ponownie wyśle dwa kolejne kody transmisji, odbiornik ich nie zaakceptuje – uzna je za już wykorzystane. Odbiornik analizuje wyłącznie przyszłe wartości kodu i nie przyjmuje sygnałów z przeszłości.

Nadajniki z różnymi identyfikatorami działają niezależnie – odbiornik śledzi sekwencję kodu zmiennego osobno dla każdego z nich (pod warunkiem, że zostały wcześniej sparowane).

Obliczanie kodu

Często pojawia się pytanie: skąd odbiornik wie, jakiego kodu oczekuje od pilota, skoro zmienia się on przy każdym naciśnięciu przycisku? Odpowiedź jest prosta – zarówno pilot, jak i odbiornik korzystają z tego samego algorytmu do wyznaczania kolejnych kodów oraz z identycznych parametrów początkowych. Te wartości są unikalne i przypisane do konkretnego pilota, dzięki czemu nie powtarzają się w innych urządzeniach.

Pomijając szczegóły działania samego kodu zmiennego, jego zasada opiera się na połączeniu dwóch mechanizmów: liniowego generatora kongruencyjnego (LCG) oraz 31-bitowego generatora liczb pseudolosowych (PRNG).

Generator LCG wykorzystuje trzy parametry: wartość początkową (seed), stałą dodawaną oraz współczynnik mnożący – dzięki nim możliwe jest generowanie pozornie losowych liczb.

Przykładowo, jeśli do każdej kolejnej liczby w sekwencji dodaje się wartość 3, a następnie mnoży przez 49 – i przy tym stosuje się tę samą wartość początkową (seed) – zarówno pilot, jak i odbiornik wygenerują identyczny ciąg kodów.

W praktyce jednak wykorzystywane liczby są na tyle duże, że trudno przewidzieć kolejny kod, nawet znając kilka poprzednich.

Każdy kod ma długość 48 bitów, co daje 281 474 976 710 656 możliwych kombinacji (ponad 281 bilionów).

Jedną z wad generatora LCG jest możliwość powtarzania tych samych wartości – przy niektórych ustawieniach może dojść do wygenerowania tej samej liczby kilkakrotnie w stosunkowo krótkiej sekwencji.

Aby temu zapobiec, dodano drugą warstwę losowości. Wynik uzyskany z LCG trafia do generatora PRNG, który dodatkowo przekształca go na liczbę pseudolosową.

Generator PRNG wykonuje od 1 do 256 iteracji, zanim zwróci końcowy wynik. Ta liczba staje się nowym seedem dla kolejnego obliczenia w LCG. Dzięki temu, nawet znając parametry LCG (mnożnik i składnik dodawany), przewidzenie całej sekwencji staje się wyjątkowo trudne.

Dodatkowym zabezpieczeniem jest szyfrowanie kodów przed ich wysłaniem. Ten sam wynik obliczeń nie zawsze jest transmitowany w identycznej postaci – do kodu stosowana jest jedna z 32 możliwych masek szyfrujących, co znacząco utrudnia jego przewidzenie.

A co, jeśli dwa kolejne kody zmienne okażą się identyczne, a pierwszy z nich zostanie przechwycony i użyty ponownie? System zawiera mechanizm wykrywania duplikatów: jeśli nowy kod jest taki sam jak poprzedni, zostaje zignorowany. Dzięki temu nie da się wykorzystać tego samego kodu więcej niż raz.

Wiele nadajników

Czy używanie wielu pilotów nie powoduje utraty synchronizacji?

Nie – każdy pilot działa niezależnie i ma przypisany własny identyfikator (od 1 do 16), który odróżnia go od pozostałych. Identyfikator ten zapisany jest w pamięci układu scalonego pilota i wpływa na generowanie unikalnej sekwencji kodów zmiennych.

Dodatkowo każdy transmitowany kod zawiera informację o źródle, co pozwala odbiornikowi jednoznacznie rozpoznać, który pilot go wysłał. Odbiornik może przechowywać dane dla maksymalnie 16 pilotów – osobno śledzi kody zmienne i parametry obliczeniowe dla każdego z nich.

W związku z tym, nawet jeśli jeden pilot nie jest używany przez miesiące, podczas gdy inne nadajniki są używane często, jego kody zmienne pozostaną zsynchronizowane z odbiornikiem.

eprasa.pl 041f57c630

że został on poprawnie włożony. Opisy wyprowadzeń są dobrze widoczne na odwrocie modułu, a jego kierunek montażu można również sprawdzić na załączonych zdjęciach.

Antena jest wykonana z emaliowanego drutu miedzianego o długości 170 mm i średnicy 1 mm. Uformuj go w spiralę, nawijając go na trzpień o średnicy 6 mm (lub zbliżonej). Możesz użyć w tym celu na przykład wiertła 6 mm lub 1/4 cala. Jak pokazano na **rysunku 5**, rozciąga się on wzdłuż krawędzi płytki od pola lutowniczego anteny do innego pola lutowniczego w pobliżu REG1.

Przed przylutowaniem przewodu antenowego należy zdrapać emaliową izolację z obu jego końców.

Ze względów bezpieczeństwa antena musi być całkowicie zamknięta w plastikowej obudowie. W żadnym wypadku nie wolno jej montować na zewnątrz ani dopuszczać, by jakakolwiek jej część wystawała poza obudowę. W przeciwnym razie, jeśli wewnątrz obudowy poluzuje się przewód zasilający, może dojść do zwarcia z układami niskonapięciowymi, a sama antena może zostać objęta napięciem sieciowym 230 V AC.

Transformator mocuje się do płytki drukowanej za pomocą dwóch opasek kablowych, przeprowadzonych przez otwory tak, aby ciasno objęły zarówno korpus transformatora, jak i samą płytkę. Opaski zapobiegają wypadnięciu transformatora w razie upuszczenia urządzenia. Bez tego zabezpieczenia transformator trzyma się jedynie na cienkich nóżkach wtopionych w jego plastikową obudowę.

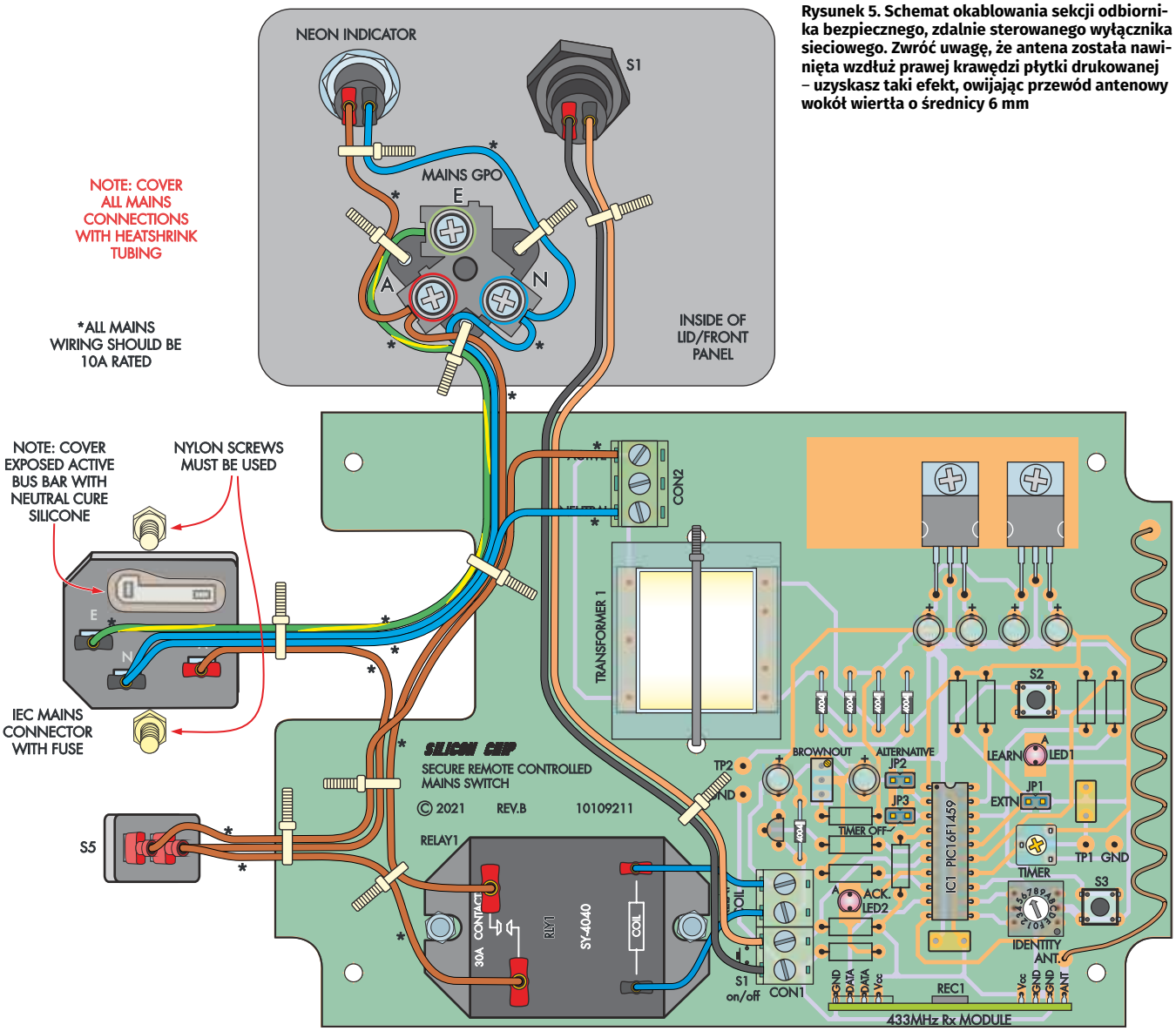
Następnym krokiem jest instalacja przekaźnika z pinami cewki skierowanymi w stronę CON1. Przymocuj przekaźnik do płyty za pomocą śrub M4 i nakrętek.

Montaż końcowy

Bezpieczny, zdalnie sterowany wyłącznik sieciowy można zamontować w obudowie ABS o wymiarach 171 mm × 121 mm × 55 mm. Na jednym końcu obudowy należy wywiercić i wyprofilować otwory na wyłącznik sieciowy i złącze wejścia sieci (IEC). Pokrywa wymaga również wywiercenia otworów na gniazdo wyjścia sieci (GPO), wskaźnik neonowy i włącznik S1.

Szablon dla tych wycięć pokazano na **rysunku 6**. Można go również pobrać ze strony siliconchip.com.au/Shop/11/6418 i wydrukować.

Większe otwory (np. pod złącze GPO i IEC) można wykonać poprzez nawiercenie szeregu



Rysunek 5. Schemat okablowania sekcji odbiornika bezpiecznego, zdalnie sterowanego wyłącznika sieciowego. Zwróć uwagę, że antena została nawinięta wzdłuż prawej krawędzi płytki drukowanej – uzyskasz taki efekt, owijając przewód antenowy wokół wiertła o średnicy 6 mm

eprasa.pl 041f57c630

małych otworów wzdłuż krawędzi wycięcia, usunięcie środka i dokładne wykończenie krawędzi pilnikiem. Otwór na przełącznik nie powinien być zbyt duży – element musi trzymać się pewnie po osadzeniu. Dlatego należy zachować ostrożność przy jego dopasowywaniu.

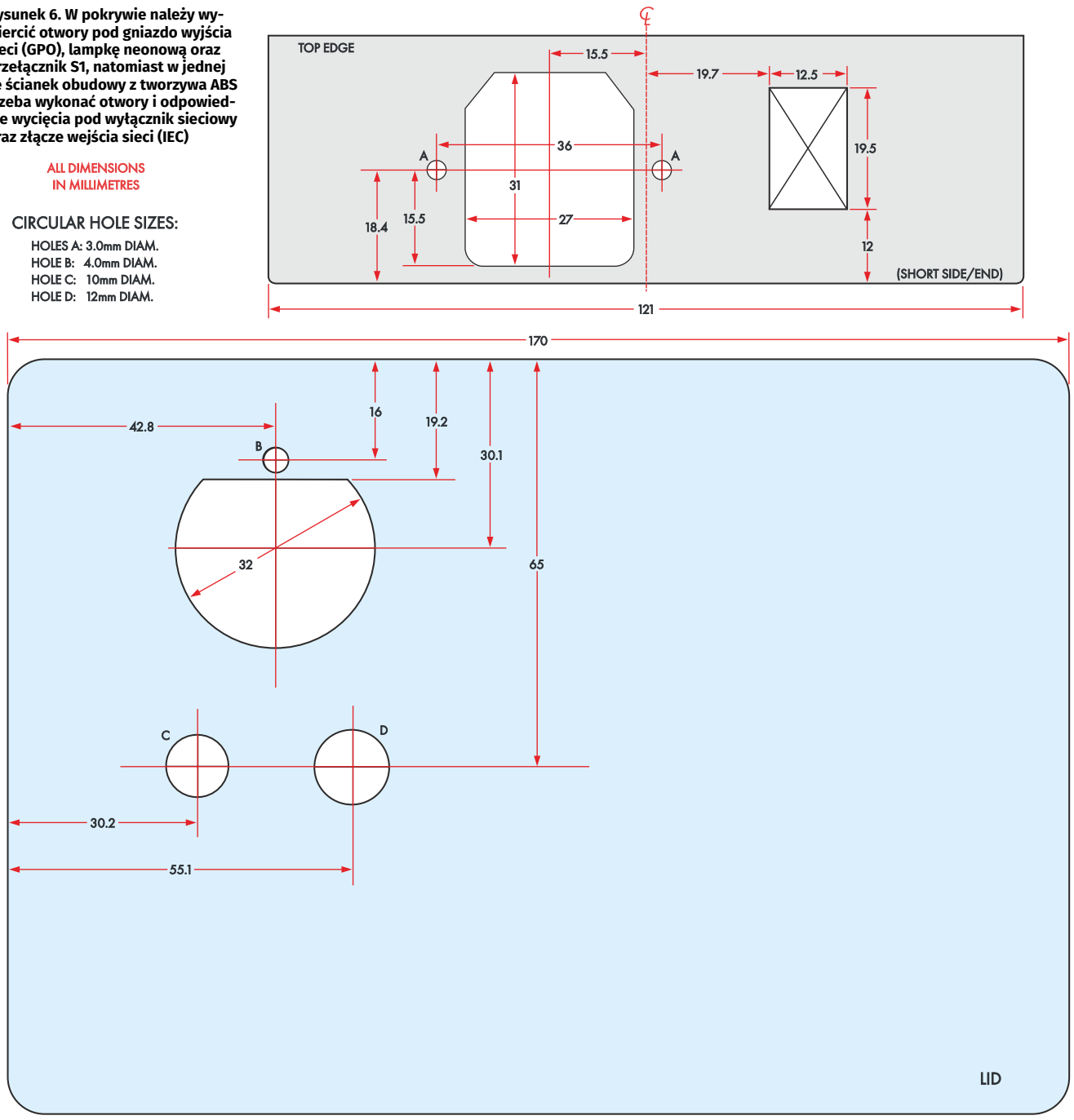
Po zakończeniu wiercenia i wycinania zamontuj w obudowie płytkę drukowaną oraz przełącznik zasilania. Płytka PCB przykręcona jest do wbudowanych w obudowę mosiężnych tulei za pomocą czterech śrub M3 × 6 mm. Wejście zasilania (IEC) należy przymocować nylonowymi śrubami M3 × 10 mm, można też użyć metalowych nakrętek. Nylonowe elementy nie przewodzą prądu, dzięki czemu w razie przypadkowego kontaktu z przewodem zasilającym nie staną się elementami pod napięciem.

Przed zamocowaniem złącza wyjścia sieci GPO, włącznika S1 i wskaźnika neonowego można wydrukować etykietę panelu przedniego pokazaną na **rysunku 7**. Jest ona dostępna do pobrania ze strony internetowej Silicon Chip.

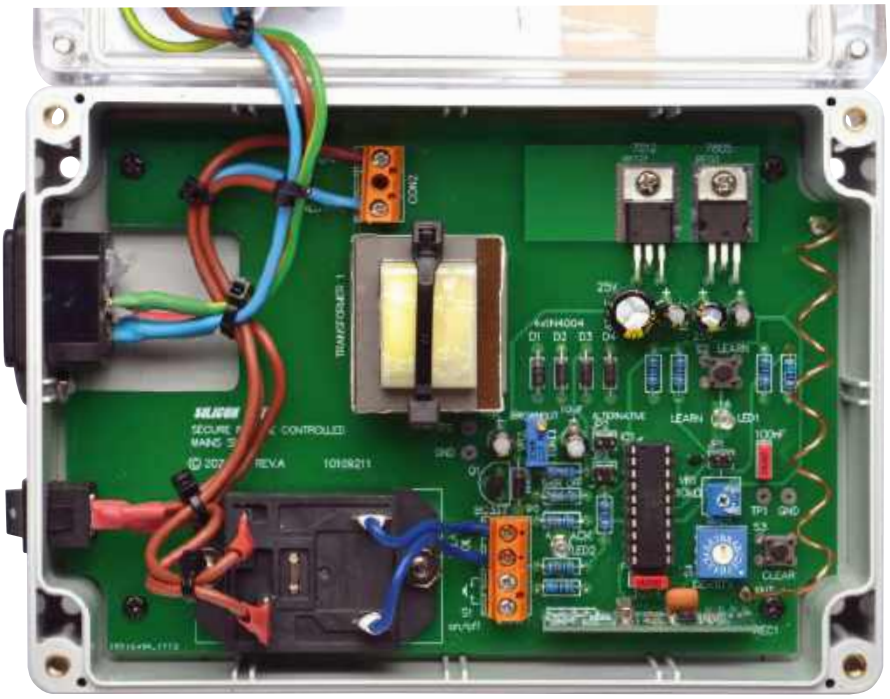
Wydrukuj ją na papierze fotograficznym, a następnie wytnij otwory na przełącznik, lampkę neonową i gniazdo wyjścia sieci (GPO), używając ostrego noża modelarskiego. Panel zostanie unieruchomiony przez zamontowany przełącznik i gniazdo. Jeśli etykieta zacznie się odklejać, jej narożniki można podkleić przezroczystą taśmą lub niewielką ilością neutralnego silikonu bądź kleju.

Połączenia pokazane na rysunku 5 należy wykonać z użyciem kabla sieciowego o obciążalności 10 A – dotyczy to również połączeń z przełącznikiem S1. Brązowy przewód pełni funkcję fazową, jasnoniebieski to przewód neutralny, a zielono-żółty przeznaczony jest wyłącznie do połączenia uziemienia. Przewód ochronny wychodzący z wejścia zasilania

Rysunek 6. W pokrywie należy wywiercić otwory pod gniazdo wyjścia sieci (GPO), lampkę neonową oraz przełącznik S1, natomiast w jednej ze ścianek obudowy z tworzywa ABS trzeba wykonać otwory i odpowiednie wycięcia pod wyłącznik sieciowy oraz złącze wejścia sieci (IEC)



eprasa.pl 041f57c630



Montaż odbiornika nie powinien sprawić trudności, jednak należy upewnić się, że zastosowano przewody sieciowe we właściwych kolorach. Pamiętaj też o dodaniu izolacji i opasek kablowych – zgodnie z przedstawionymi zdjęciami oraz schematem okablowania

(złącza IEC) powinien być poprowadzony bezpośrednio do gniazda wyjścia sieci (GPO).

Do przewodów, dla których nie wskazano obciążalności 10 A (np. połączenia przełącznika S1 i cewki przekaźnika), zaleca się użyć kabla sieciowego o obciążalności 7,5 A.

Ze względów bezpieczeństwa wszystkie połączenia należy zaizolować koszulką termokurczliwą, a przewody związać, aby zabezpieczyć je przed wyrwaniem. Przewody fazowy i neutralny przymocuj do gniazda wyjściowego sieci (GPO) przy użyciu opasek kablowych, przeprowadzonych przez otwory w listwie. Miejsce połączenia styku fazowego z bezpiecznikiem z tyłu wejścia zasilania (złącza IEC) warto dodatkowo zabezpieczyć neutralnym silikonem (np. Roof & Gutter).

Podczas podłączania przewodów do gniazda wyjścia sieci (GPO) należy zachować szczególną ostrożność. Przewody muszą trafić do odpowiednich zacisków (A – faza, N – neutralny, E – uziemienie), a śruby należy dokręcić na tyle mocno, by połączenie było pewne i trwałe. Podobnie trzeba sprawdzić solidność połączeń wykonanych w CON2.

Testowanie

Przed podłączeniem zasilania dokładnie sprawdź okablowanie, upewniając się, że wszystkie połączenia sieciowe zostały zaizolowane koszulkami termokurczliwymi. Następnie włóż bezpiecznik 10 A do gniazda wejściowego (IEC). Układ IC1 powinien na razie pozostać poza podstawką.

Podczas testów i regulacji zdalny wyłącznik będzie pracował z otwartą pokrywą. W tym czasie nie wolno dotykać żadnych elementów pod napięciem sieci 230 V AC – dotyczy to przewodów uzwojenia pierwotnego transformatora, połączeń gniazda sieciowego, lampki neonowej, przełącznika S1, złącza wejścia sieci IEC, przekaźnika oraz złącza CON2. Mimo że wszystkie przewody są zaizolowane, należy zachować szczególną ostrożność.

Szczególną uwagę należy zwrócić na to, że styki przekaźnika, zaciski bezpiecznika oraz przełącznik S2 mogą znajdować się pod napięciem 230 V AC, nawet jeśli sam przełącznik i przekaźnik są wyłączone – wystarczy, że urządzenie jest podłączone do sieci.

Jeżeli w miejscu testów nie ma zainstalowanego wyłącznika różnicowoprądowego (RCD), warto zastosować jego przenośną wersję, zapewniającą ochronę przed porażeniem prądem.

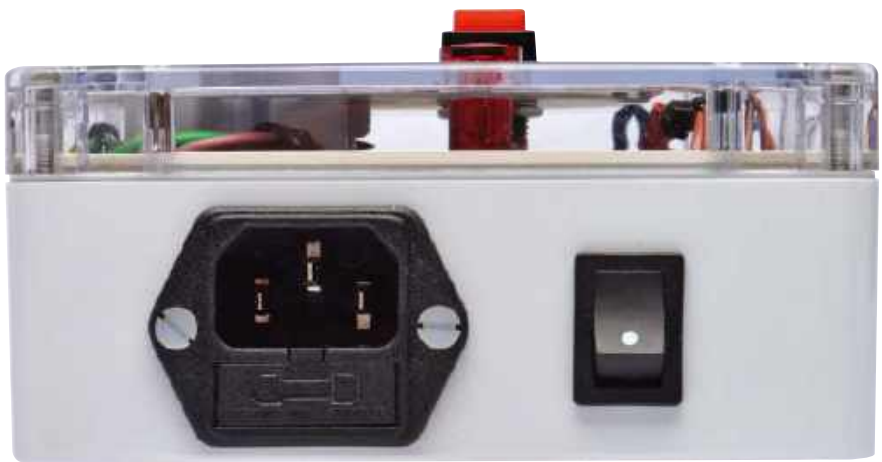
Ustaw potencjometr timera (VR1) maksymalnie w prawo i podłącz zasilanie. Sprawdź multimetrem, czy między pinami 1 i 20 podstawki IC1 występuje napięcie 5 V DC (dopuszczalny zakres: 4,9...5,1 V). Jeśli napięcie jest prawidłowe, wyłącz urządzenie, odłącz je od zasilania i zamontuj układ IC1. Upewnij się, że został włożony zgodnie z rysunkiem 4.

Włącz ponownie zasilanie i ustaw multimetr na pomiar napięcia stałego. Następnie wyreguluj potencjometr wieloobrotowy VR2 tak, aby napięcie między punktami TP2 i TP GND wynosiło około 3 V. To napięcie powinno wystarczyć do załączenia przekaźnika i rozpoczęcia kalibracji.

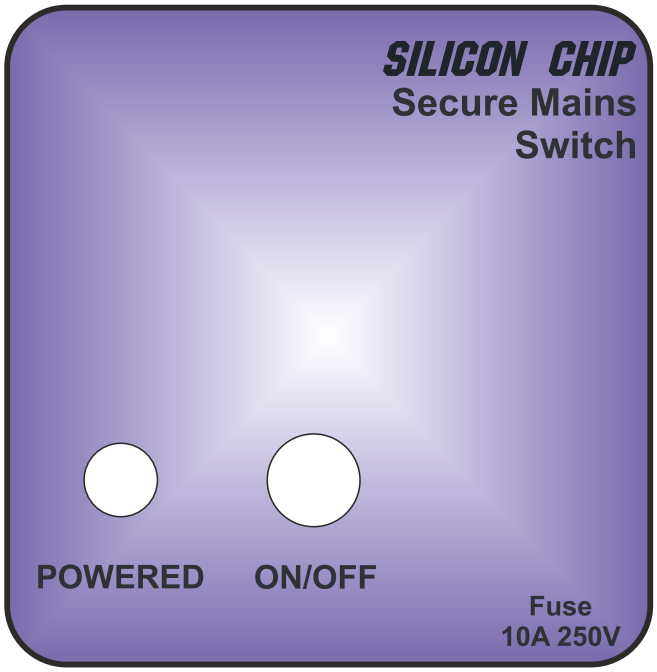
Przełącz multimetr na pomiar napięcia przemiennego w odpowiednim zakresie i zmierz napięcie sieciowe między zaciskami fazowym i neutralnym w złączu CON2. Wciśnij przełącznik S1, aby włączyć przekaźnik. Ponownie przełącz multimetr na pomiar napięcia stałego i skoryguj ustawienie potencjometru VR2 tak, aby napięcie między TP2 i TP GND stanowiło około 1% wcześniej zmierzonego napięcia sieciowego.

Na przykład, jeśli napięcie sieciowe wynosi 250 V AC, ustaw VR2 tak, aby napięcie na TP2 wynosiło 2,50 V DC. Dla napięcia 230 V AC odpowiedni będzie poziom 2,30 V. Takie ustawienie odpowiada progowi odcięcia zasilania na poziomie 192 V AC.

Podczas zaniku napięcia sieciowego dioda LED2 ACK („Acknowledge”) będzie świecić światłem ciągłym. Przekaźnik można ponownie załączyć wyłącznie przy pomocy zarejestrowanego pilota lub przełącznika w odbiorniku – po przywróceniu zasilania.



eprasa.pl 041f57c630



Rysunek 7. Etykieta panelu przedniego, którą można skopiować stąd lub pobrać ze strony siliconchip.com.au/Shop/11/6418

Po zakończeniu kalibracji zworki JP1...JP3 można ustawić zgodnie z potrzebami, a czas opóźnienia wyregulować potencjometrem VR1 (**tabele 1...4**).

Rejestrowanie pilota

Podczas rejestracji i normalnej pracy pilot powinien znajdować się w odległości co najmniej 1,5 m od odbiornika. Zbyt bliskie położenie może prowadzić do przesterowania toru radiowego i zakłóceń, skutkujących błędną rejestracją lub niestabilnym działaniem.

Aby zarejestrować pilota, naciśnij przycisk Learn (S2) w odbiorniku – zapali się dioda LED1. W pilocie wyjmij baterię i włóż ją ponownie, trzymając wciśnięty przycisk S1. Pilot przejdzie w tryb synchronizacji (zapalona dioda LED ACK) i wyśle kod rejestracyjny po zwolnieniu i ponownym naciśnięciu S1.

W czasie synchronizacji, pomiędzy zwolnieniem a ponownym naciśnięciem przycisku, kod zmienny jest nieustannie aktualizowany – średnio 500 razy na sekundę. Pozwala to uzyskać losowy punkt startowy w sekwencji kodów.

Następnie kod zmienny przekształcany jest w sekwencję generacyjną, co utrudnia przewidzenie kolejnych wartości, nawet znając początkowe dane (seed i MUI).

Po zakończeniu rejestracji dioda potwierdzenia w odbiorniku mignie dwukrotnie, a dioda LED Learn zgaśnie. Sprawdź, czy pilot działa prawidłowo, włączając i wyłączając przekaźnik. Czasem konieczne jest kilkukrotne powtórzenie procedury, zanim urządzenia zaczną współpracować.

Wyrejestrowanie utraconego pilota

W razie zgubienia pilota i chęci zablokowania jego działania można go wyrejestrować z odbiornika, aby uniemożliwić dostęp osobom nieupoważnionym.

W tym celu ustaw przełącznik BCD S4 na numer przypisany danemu pilotowi (od 0 do F – litery A...F odpowiadają numerom od 10 do 15). Następnie naciśnij i przytrzymaj przycisk Clear (S3) przez co najmniej sekundę. Dioda LED Clear zapali się, a po zwolnieniu przycisku zgaśnie, sygnalizując usunięcie pilota z pamięci.

Jeśli nie wiesz, który pilot został zgubiony, możesz usunąć wszystkie zapisane urządzenia po kolei, a następnie zarejestrować te, które nadal mają być używane.

Opcje zworek

Na płytce odbiornika znajdują się trzy zworki konfiguracyjne. Dla przypomnienia, zamieściliśmy ponownie tabele 1...4 z poprzedniego numeru, które opisują ich działanie.

Zworka JP1 ustala mnożnik czasu timera (tabela 3): przy otwartej zworce zakres wynosi od 250 ms do 60 s (×1), a po jej zwarciu – od 60 s do około 4,5 godziny (×255). Tabela 4 zawiera przykładowe czasy w zależności od napięcia na TP1, ustawianego potencjometrem VR1.

Zworka JP2 określa sposób działania przycisków pilota (tabela 2), natomiast JP3 odpowiada za funkcję przełącznika S1 na odbiorniku (tabela 1). ■

John Clarke

Tabela 1. Ustawienia JP3

JP3	Funkcja przełącznika S1 w odbiorniku
rozwarty	Wyłącza przekaźnik, jeśli jest załączony, w przeciwnym wypadku załącza przekaźnik na określony czas, zgodnie z nastawą na JP1
zwarty	Naprzemiennie załącza lub wyłącza przekaźnik bezterminowo

Tabela 2. Funkcje przełączników pilota

Przełącznik	Funkcja z JP2 rozwartym	Funkcja z JP2 zwartym
S1	Załącza przekaźnik na określony czas, zakres definiowany przez JP1	Załącza przekaźnik na określony czas, zakres 0,25 s...60 s
S2	Włącza przekaźnik bezterminowo	Załącza przekaźnik na określony czas, zakres 1 min...4,5 h
S3	Wyłącza przekaźnik bezterminowo	Wyłącza przekaźnik bezterminowo

Tabela 3. Ustawienia timera na JP1

JP1	Okres timera
rozwarty	0,25 s...60 s (1×)
zwarty	1 m...4,5 h (255×)

Tabela 4. Okres nominalny w zależności od napięcia TP1

TP1	Czas z rozwartym JP1	Czas ze zwartym JP1
0 V	0,25 s	1 min
1,25 V	15 s	1 h 7,5 min
2,5 V	30 s	2 h 15 min
3,75 V	45 s	3 h 22,5 min
5 V	60 s	4 h 30 min

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

eprasa.pl 041f57c630

Wysokiej klasy aktywne głośniki monitorujące z subwooferem, część 2

Materiały dodatkowe dostępne są na stronie Silicon Chip: https://tiny.pl/9psh_xzz
Materiały dodatkowe są również dostępne na stronie elportal.pl/do-pobrania

Wzmacniacz z aktywną zwrotnicą został zamknięty w czarnej, metalowej obudowie i zawiera wszystkie elementy niezbędne do obsługi aktywnych głośników monitorujących, przedstawionych w poprzednim odcinku. Wzmacniacz ten może również sterować dowolnym innym dwudrożnym systemem głośnikowym z podwójnym wzmacniaczem – zarówno z subwooferem, jak i bez niego.

Z pewnością mieliście już okazję przeczytać nasze wcześniejsze rozważania na temat głośników aktywnych i ich licznych zalet. Jednym z wyzwań związanych z tym podejściem jest to, że stosując oddzielne moduły – przedwzmacniacze, zwrotnice, wzmacniacze mocy i układy zabezpieczające – łatwo doprowadzić do sytuacji, w której całość przypomina stos porozrzucanych pudełek. Choć takie rozwiązanie może oferować znakomitą jakość dźwięku, często wiąże się z nie lada bałaganem i trudnością w organizacji.

W tym artykule pokażemy, jak całą niezbędną elektronikę zmieścić w obudowie o wysokości dwóch jednostek rack (2RU). Układ ten dostarcza moc 50 W na kanał zarówno dla przetworników średnio-/niskotonowych, jak i wysokotonowych, a dodatkowo wyposażony jest w wyjścia liniowe umożliwiające podłączenie jednego lub dwóch aktywnych subwooferów. O wysokiej jakości subwooferze, zdolnym generować głęboki i czysty bas sięgający niemal 20 Hz, przeczytasz w kolejnym odcinku.

Choć moc 50 W przypadająca na przetworniki średnio- i wysokotonowe może wydawać się niewielka, należy pamiętać, że subwoofer wyposażony jest we wzmacniacz o mocy 180 W. W rezultacie łączna moc całego systemu sięga 380 W. Co więcej, 50 W to w rzeczywistości spory zapas mocy dla pozostałych głośników, ponieważ ich wzmacniacze nie muszą radzić sobie z dużymi wahaniami napięcia charakterystycznymi dla niskich częstotliwości (poniżej ok. 85 Hz), które obsługuje subwoofer.

Ten projekt stanowi połączenie kilku wcześniejszych konstrukcji. Od strony elektronicznej dodajemy jedynie bardzo prostą płytkę zasilacza. Dołożyłem starań, aby prace związane z obróbką elementów metalowych nie były zbyt skomplikowane – choć nie da się uniknąć wiercenia i piłowania, ich zakres pozostaje umiarkowany.

Całą konstrukcję umieściłem w solidnej, wysokiej jakości obudowie Altronics H5038, co pozwala uniknąć problemów związanych z samodzielnym wykonywaniem obudowy i zapewnia wystarczającą ilość miejsca na wszystkie elementy. Zanim rozpoczniesz montaż, upewnij się, że masz zgromadzone (lub przygotowane) wszystkie wymagane podzespoły przedstawione w wykazie.

Wejściem wzmacniacza ze zintegrowaną zwrotnicą aktywną jest stereofoniczny sygnał liniowy pochodzący z przedwzmacniacza. Układ ten rozdziela sygnał na wyjścia liniowe dla aktywnego subwoofera oraz wyjścia głośnikowe dla przetworników średnio-/niskotonowych i wysokotonowych. Wzmacniacz ze zwrotnicą stanowi centralny element wysokiej klasy systemu głośnikowego, co pokazano na rysunku 1 w poprzednim odcinku.

Szczegółowe opisy poszczególnych podsystemów można znaleźć we wcześniej wspomnianych artykułach. Zachęcam do ich przeczytania – zawierają one cenne informacje ogólne, których nie będę tutaj dublował. W tym projekcie kluczowe znaczenie ma przede wszystkim obróbka elementów metalowych oraz integracja wszystkich podsystemów w jedną całość.

Na początek zajmijmy się montażem obudowy – jej przygotowanie umożliwi późniejsze rozmieszczenie i podłączenie poszczególnych modułów. Ogólny układ konstrukcji przedstawiono na sąsiednim schemacie oraz na **fotografii 9**.

Obudowa i obróbka części metalowych

Rozpocznij od dokładnego zaznaczenia i nawiercenia otworów w podstawie obudowy, zgodnie z **rysunkiem 17**. Następnie wywierć i dopasuj przedni oraz tylny panel – szczegóły znajdziesz na **rysunkach 18** i **19**.

Co jest potrzebne do zbudowania systemu wzmacniacza aktywnych głośników monitorujących?

- 4 moduły wzmacniacza Hummingbird – grudzień 2021 r. siliconchip.au/Article/15126 oraz EdW 8/2024
- 3-drożna zwrotnica aktywna – październik-listopad 2021. siliconchip.au/Series/371 oraz EdW 7 i 8/2024
- Wielokanałowy układ zabezpieczenia głośników (4-CH) – styczeń 2022. siliconchip.au/Article/15171 oraz EdW 9/2024
- Zasilacz do aktywnych głośników monitorujących – opisany w tym artykule
- Obudowa rack 2RU, radiator i inne elementy



eprasa.pl 041f57c630

Przymierz złącza i pozostałe elementy, aby uniknąć późniejszych poprawek. Podczas obróbki przedniego panelu zwróć szczególną uwagę na wysokość wsporników PCB, ponieważ to one determinują dokładne położenie otworów dla elementów sterujących zwrotnicą.

Podczas przygotowywania panelu przedniego najlepiej zamocować 35-milimetrowe wsporniki z przodu i z tyłu płytki zwrotnicy, a następnie przesunąć ją w kierunku panelu, aby sprawdzić, czy wywiercone otwory odpowiadają wysokości wałków potencjometrów. Dzięki temu unikniesz błędów w pozycjonowaniu i konieczności późniejszych korekt.

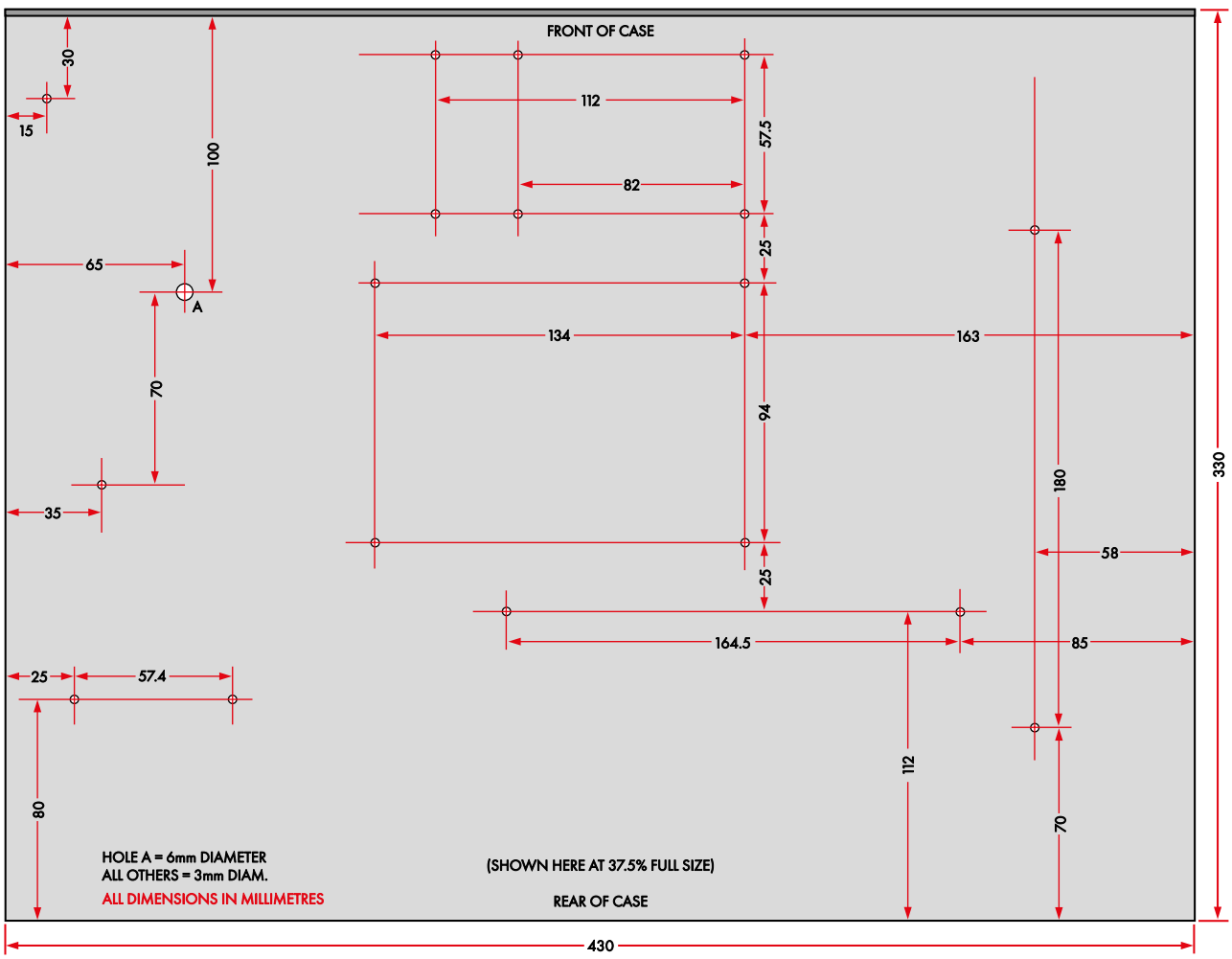
Na spodzie gwintowanych tulei montażowych potencjometrów znajdują się niewielkie kołki pozycjonujące. Zaleca się wykonanie w tylnej stronie panelu przedniego ślepych otworów wiertłem 3 mm – na tyle głębokich, aby pomieściły kołki, ale bez przebijania się przez panel. Choć może się to wydawać skomplikowane, w praktyce jest to dość proste. Jeśli jednak masz wątpliwości, dopuszczalną alternatywą jest zeszlifowanie, odcięcie lub usunięcie tych kołków.

Parametry i specyfikacja

- Stereofoniczna trójdrożna aktywna zwrotnica z odcięciem Linkwitz-Riley 24 dB/oktawę
- Cztery kanały wysokiej jakości wzmacniacza o mocy 50 W
- Liniowe wyjścia subwoofera (lewe i prawe lub podwójne mono)
- Ochrona głośników i usuwanie szumów na wszystkich wyjściach
- Korekta kroku przegrody zaimplementowana na poziomie liniowym
- Mieści się w obudowie wysokiej jakości z dwoma tackami (88 mm wysokości).
- Cicha praca z pasywnym chłodzeniem

Wsuń moduł zwrotnicy i sprawdź, czy otwory montażowe pokrywają się z otworami w podstawie. W moim przypadku były one niemal idealnie dopasowane. Jeśli jednak zauważysz drobną niewspółosiowość, warto rozwiercić otwory w podstawie do średnicy 4 lub 4,5 mm – dzięki temu uzyskasz pewną tolerancję montażu przy stosowaniu dystansów. Zrezygnowałem z montażu przednich wsporników na płytce zwrotnicy aktywnej, ponieważ kolidowały z krawędzią panelu przedniego.

Kolejnym krokiem może być wywiercenie i nagwintowanie otworów w radiatorze, zgodnie z **rysunkiem 20**. Otwory te pokrywają się ze szczelinami pomiędzy żebrami, a ich liczba nie jest duża. Jeśli nie masz możliwości wykonania gwintów, możesz zamiast tego zastosować długie śruby lub wkręty maszynowe M3 przechodzące na wylot przez radiator. W praktyce jednak gwintowanie okazało się łatwe i zajęło mniej niż pół godziny. Należy użyć wiertła 2,5 mm, a następnie gwintownika M3×0,5 mm, pamiętając o stosowaniu obfitej ilości smaru lub oleju maszynowego lub do gwintowania.



Rysunek 17. Zaznacz i wykonaj otwory montażowe w podstawie obudowy Altronics 2RU zgodnie z przedstawionym schematem. Standardowo otwory powinny mieć średnicę 3,5 mm. W razie potrzeby można je rozwiercić lub dopiłować do 4 mm. Jeśli korzystasz z innej obudowy, konieczne będzie dostosowanie rozmieszczenia otworów

eprasa.pl 041f57c630



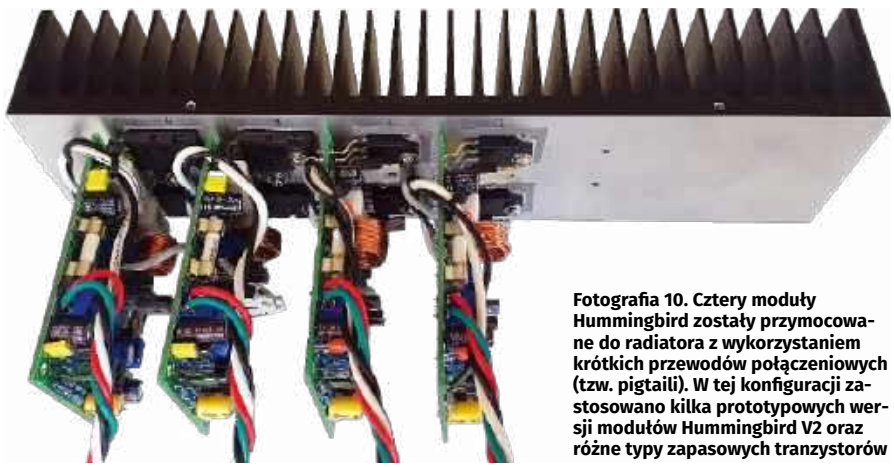
Fotografia 9. Po zmontowaniu wszystkich modułów, umieszczeniu ich w obudowie i wykonaniu niezbędnych połączeń, całość powinna wyglądać jak na przedstawionym zdjęciu. Zadbano o staranne prowadzenie przewodów – uporządkowane okablowanie ułatwia utrzymanie odpowiednich parametrów pracy. Szczególnie istotne jest, aby pętle prądu przemiennego (AC) były możliwie krótkie i oddalone od zwrotnicy

Konstrukcja wzmacniacza

Jeśli jeszcze tego nie zrobiłeś, zmontuj cztery moduły wzmacniacza Hummingbird, korzystając z instrukcji zamieszczonej w wydaniu Silicon Chip z grudnia 2021 r. (siliconchip.au/Article/15126) oraz w EdW 8/2024. Pamiętaj, aby najpierw podłączyć przewody – zanim przymocujesz moduły do radiatora. W przeciwnym razie nie będziesz mieć dostępu do zacisków i nie uda się ich dokręcić śrubokrętem.

Do połączeń użyłem odcinków przewodu o długości 30 cm w kolorach czerwonym, zielonym i czarnym (dla odpowiednio dodatniego, ujemnego i masy modułu) oraz 50 cm przewodu białego jako wyjściowego. Przewody te są wytrzymałe i przystosowane do prądów do 7,5 A. Ich długość została celowo dobrana z zapasem – będzie można je przyciąć do odpowiedniego wymiaru podczas podłączania do pozostałych modułów, głównie zasilacza.

Jeśli nie wykonałeś pełnych testów podczas montażu, koniecznie zrób to teraz – po zamontowaniu wszystkiego rozbieranie układu nawet z powodu drobnej pomyłki byłoby bardzo uciążliwe. Aby przeprowadzić testy, zdejmij izolację z końcówek przewodów wyprowadzonych z każdego modułu i zasilaj wzmacniacze pojedynczo. Jeśli wzmacniacz nie został jeszcze spolaryzowany (czyli nie ustawiono prądu spoczynkowego), możesz bezpiecznie wykonać testy funkcjonalne bez radiatora.



Fotografia 10. Cztery moduły Hummingbird zostały przymocowane do radiatora z wykorzystaniem krótkich przewodów połączeniowych (tzw. pigtaili). W tej konfiguracji zastosowano kilka prototypowych wersji modułów Hummingbird V2 oraz różne typy zapasowych tranzystorów

Jeśli moduł pobiera zbyt duży prąd, natychmiast odłącz zasilanie i zlokalizuj przyczynę usterki! Najczęściej wynika to z nieprawidłowego ustawienia potencjometru, co skutkuje zbyt wysokim napięciem polaryzacji.

Najprostszym sposobem wstępnego sprawdzenia działania wzmacniacza jest jego uruchomienie i zmierzenie napięcia stałego na wyjściu. Jeśli mieści się ono w zakresie ±50 mV względem zera, można z dużym prawdopodobieństwem uznać, że układ działa poprawnie – oznacza to bowiem, że pętla sprzężenia zwrotnego DC funkcjonuje prawidłowo. Jeśli masz dostęp do oscyloskopu, sprawdź, czy na wyjściu nie pojawiają się niepożądane oscylacje. Dodatkowo możesz podać na wejście wzmacniacza przebieg sinusoidalny i upewnić się, że nie ulega on zniekształceniu na wyjściu.

Powyższy test możesz wykonać również przy użyciu woltomierza mierzącego napięcie zmienne (AC), o ile zastosujesz sygnał testowy o częstotliwości 400 Hz i amplitudzie 100 mV RMS. W takim przypadku na wyjściu wzmacniacza powinieneś uzyskać sygnał o napięciu w okolicach 2,8 V.

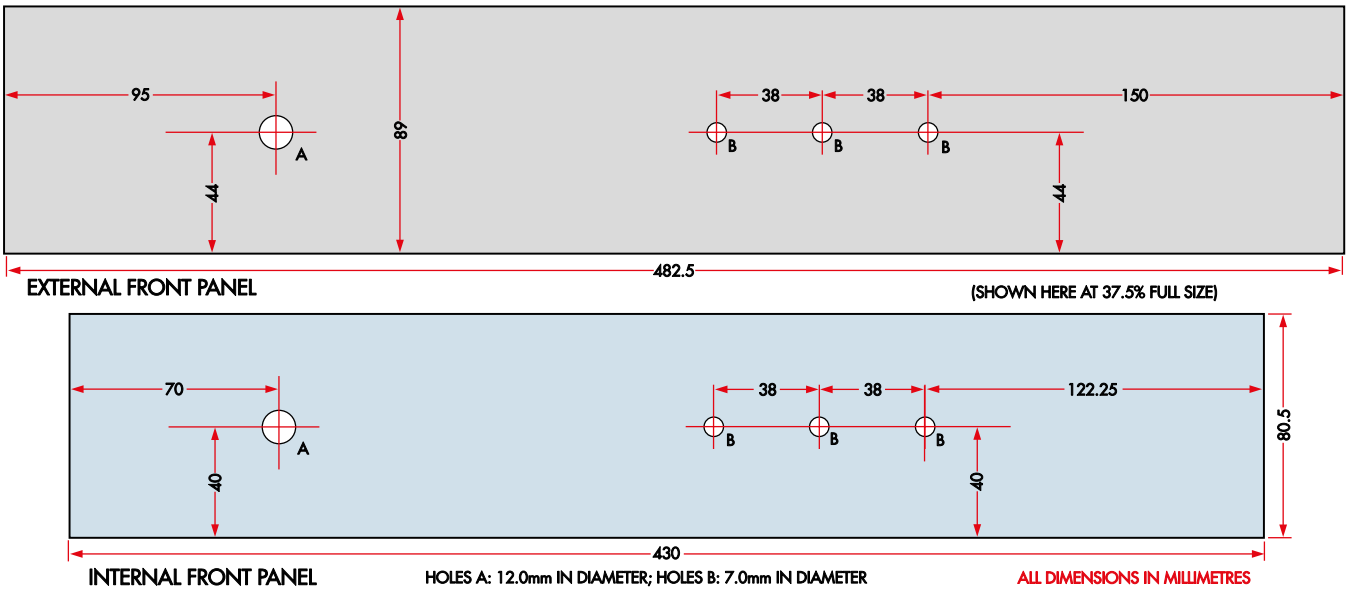
Gdy upewnisz się, że wszystkie moduły działają poprawnie, przystąp do ich montażu i regulacji prądu polaryzacji. Zacznij od zamocowania pierwszego modułu na tylnej stronie radiatora. Pamiętaj o zastosowaniu podkładek izolacyjnych oraz tulejek izolujących na śrubach montażowych – ich brak może doprowadzić do zwarcia zasilacza przez kolektor tranzystora i radiator! Każdą śrubę zabezpiecz dodatkowo podkładką płaską i sprężystą, aby zapobiec luzowaniu się połączeń.

Podłącz pierwszy moduł do zasilacza laboratoryjnego i przystąp do regulacji prądu polaryzacji. Docelowo powinien on wynosić 50 mA. Można go zmierzyć, podstawiając rezystor w miejsce bezpiecznika (w uchwycie bezpiecznika) lub mierząc spadek napięcia na rezystorach emiterowych.

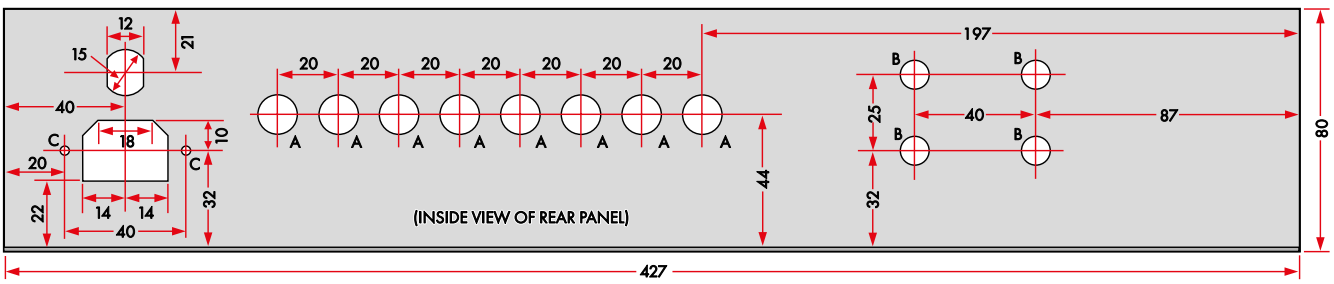
Do przeprowadzenia tego testu potrzebne jest źródło zasilania zdolne dostarczyć co najmniej ±15 V DC przy prądzie 1 A lub większym. Po uruchomieniu pozostaw moduł włączony na kilka minut – prąd polaryzacji po pewnym czasie ustabilizuje się, ponieważ będzie się zmieniał wraz z nagrzewaniem się tranzystorów.

Podczas uruchamiania sprawdziłem, jak zmiany prądu polaryzacji wpływają na działanie wzmacniacza. Okazało się, że drobne odchylenia od optymalnej wartości mają jedynie minimalny wpływ na jego parametry. Jeśli polaryzacja jest ustawiona w pobliżu wartości nominalnej, poziom zniekształceń pozostaje znacznie poniżej 0,01%.

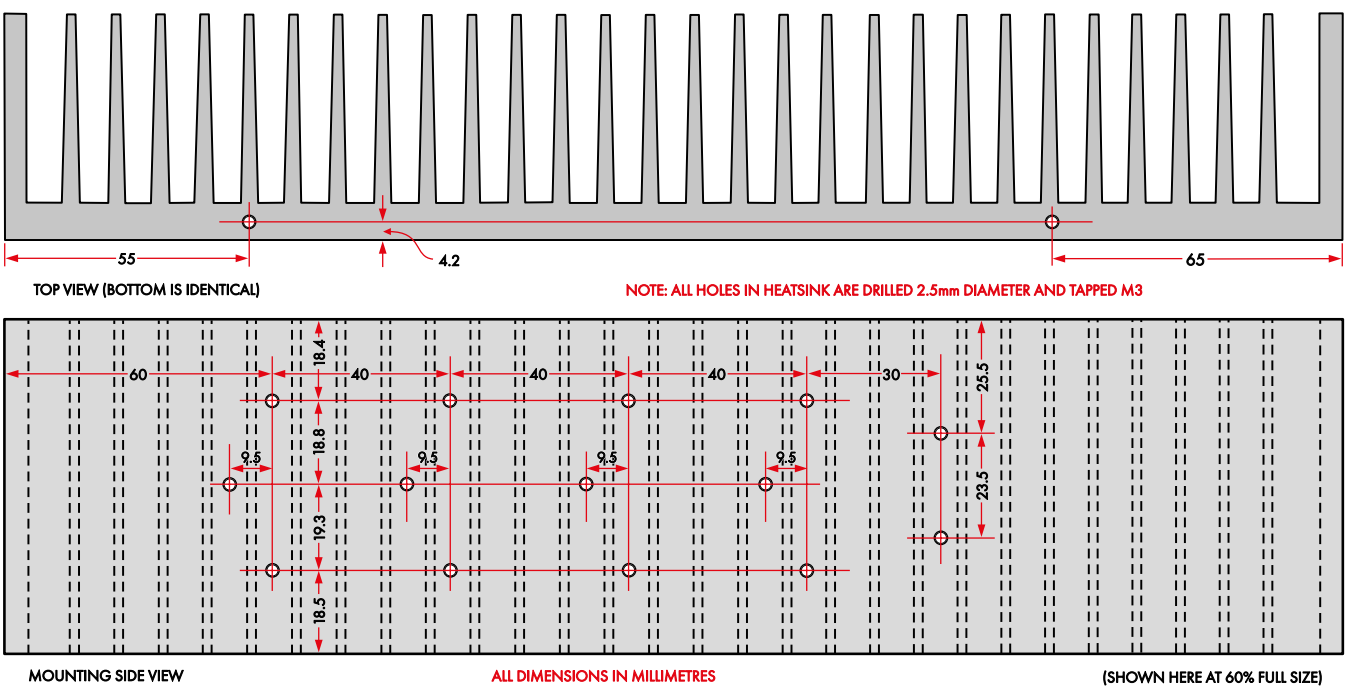
eprasa.pl 041f57c630



Rysunek 18. Szczegóły rozmieszczenia otworów na panelach przednich – widoki przedstawiają stronę zewnętrzną. W przypadku użycia innej obudowy można posłużyć się tym samym ogólnym układem, jednak położenie szablonu może wymagać dostosowania do konkretnego modelu obudowy



Rysunek 19. Szczegóły rozmieszczenia otworów w tylnym panelu wzmacniacza – przedstawiony widok pokazuje stronę wewnętrzną



Rysunek 20. Każdy zestaw trzech otworów w radiatorze przeznaczony jest do montażu jednego modułu Hummingbird. Dodatkowo wykonano dwa otwory przeznaczone na czujnik termiczny. W dolnej części głównej sekcji radiatora należy wywiercić i nagwintować co najmniej dwa otwory, aby przymocować go do podstawy obudowy

eprasa.pl 041f57c630

Po zamontowaniu i wyregulowaniu pierwszego modułu, przejdź do kolejnego i wykonaj te same czynności. Powtarzaj ten proces aż do zamocowania i skalibrowania wszystkich modułów. Efektem końcowym będzie kompletna konstrukcja, przedstawiona na **fotografii 10**.

Skręć przewody razem – pomoże to nie tylko uporządkować wiązki i ułatwić późniejsze podłączenia, ale także pozwoli ograniczyć do minimum promieniowanie pola magnetycznego generowanego przez przewody zasilające. Przewody warto owinąć spiralnie, zgodnie z tym, co widać na zdjęciach. Dodatkowo, skręcone wiązki biegnące między sąsiednimi modułami zapewnią całkiem dobrą sztywność mechaniczną całej instalacji.

Jeśli zamierzasz korzystać z tego wzmacniacza jako urządzenia przenośnego, konieczne będzie dodanie usztywnienia między modułami Hummingbird a podstawą obudowy. Dobrym rozwiązaniem mogą być kątowe wsporniki mechaniczne, przykręcone do otworów montażowych w płytkach wzmacniaczy Hummingbird, które zwiększą stabilność całej konstrukcji.

Następnie zamontuj wyłącznik termiczny 70 °C (normalnie zamknięty) w dwóch pozostałych otworach radiatora, używając płaskich i sprężystych podkładek pod każdą



Fotografia 11. Aby ograniczyć nagrzewanie innych elementów, rezystory drutowe należy zamontować poza płytką drukowaną

śrubą. Zastosowałem to zabezpieczenie jako środek ostrożności – jeśli radiator zbytnio się nagrzeje, wyłącznik odetnie zasilanie. Choć nigdy nie udało mi się doprowadzić do takiego przegrzania, obecność tego zabezpieczenia daje mi większe poczucie bezpieczeństwa.

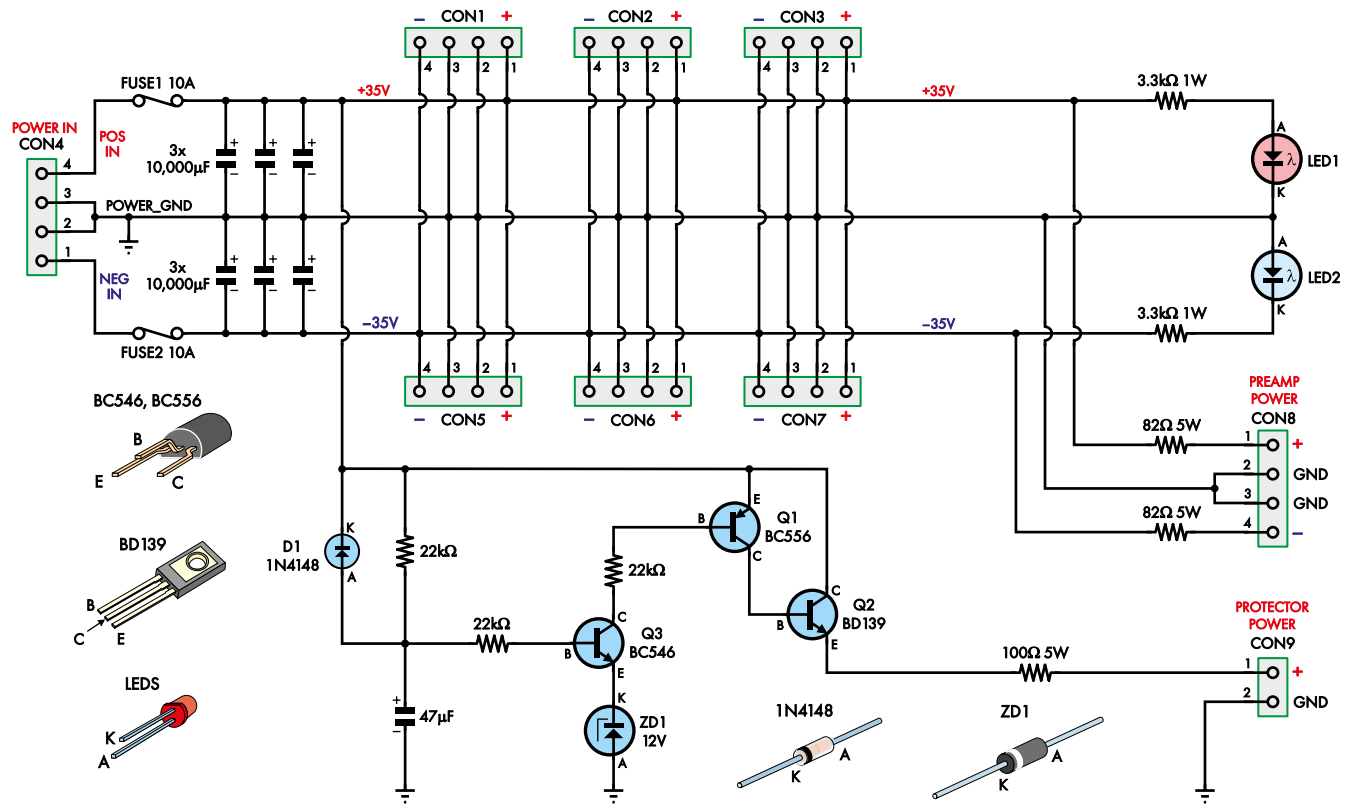
Moduł zasilacza

Zasilacz ma bardzo prostą konstrukcję – składa się z transformatora o mocy 300 VA, mostka prostowniczego oraz filtra umieszczonego na płytce PCB. Schemat tego układu przedstawiono na **rysunku 21**.

Ponieważ projekt ten ma charakter konstrukcji „high-end”, postanowiłem dać konstruktorom możliwość pójścia o krok dalej. Oryginalny zasilacz przewidywał zastosowanie kondensatorów 10000 µF, jednak zmodyfikowałem go tak, aby umożliwić montaż kondensatorów o średnicy 35 mm. Jak widać na końcowych zdjęciach, pozwoliło to na umieszczenie trzech kondensatorów 15000 µF połączonych równolegle dla każdej szyny zasilania.

Nie sądzę, by miało to istotny wpływ na działanie układu, ale dzięki temu czuję się spokojniejszy. Zalecam zastosowanie co najmniej trzech kondensatorów 6800 µF, przy czym 10000 µF to optymalna wartość („sweet spot”). Należy jednak pamiętać, że możliwą do zastosowania pojemność kondensatorów ograniczają bezpieczniki 10 A zastosowane na wejściu zasilacza – zbyt duża pojemność może prowadzić do ich przepalania przy włączaniu urządzenia, z powodu bardzo dużego prądu rozruchowego.

Układ zabezpieczenia głośników (Wielokanałowy „ochraniacz głośników”) – opisany szczegółowo w EdW 9/2024 – został w tej konstrukcji uzupełniony o dodatkowe, jednosekundowe opóźnienie zasilania. Być może nie jest ono konieczne, ponieważ sam wielokanałowy „ochraniacz głośników” zawiera już opóźnienie włączenia, ale uznałem, że warto dodać ten element. W obwodzie



Rysunek 21. W górnej części schematu zasilania znajduje się zestaw kondensatorów filtrujących z wieloma punktami przyłączeniowymi dla modułów wzmacniacza, a także bezpieczniki i diody LED sygnalizujące prawidłowe napięcia zasilające. Dolna część przedstawia układ opóźniający, który załącza zasilanie modułu zabezpieczenia głośników (wielokanałowy „ochraniacz głośników”) po upływie około jednej sekundy

eprasa.pl 041f57c630

zasilania zabezpieczenia zastosowałem również rezystor 100 Ω, który obniża napięcie o około 10 V, zmniejszając tym samym moc traconą w jego stabilizatorze.

Montaż płytki drukowanej jest nieskomplikowany – należy kierować się schematem montażowym przedstawionym na **rysunku 22**. Zasilacz wykonuje się na dwustronnej płytce drukowanej o kodzie 01112221 i wymiarach 147 mm × 60 mm.

Rozpocznij montaż od przylutowania zacisków śrubowych, a następnie zamontuj gniazda bezpieczników wraz z bezpiecznikami. Ja umieściłem bezpieczniki w zaciskach i przylutowałem cały zespół od strony wierzchniej, dbając o prawidłowe ustawienie i dopasowanie. Kolejnym krokiem jest montaż elementów w sekcji opóźnienia – zwróć szczególną uwagę, aby nie pomylić tranzystorów typu PNP i NPN. Tranzystor BD139 należy włożyć tak, aby jego metalowa powierzchnia była skierowana w stronę krawędzi płytki drukowanej.

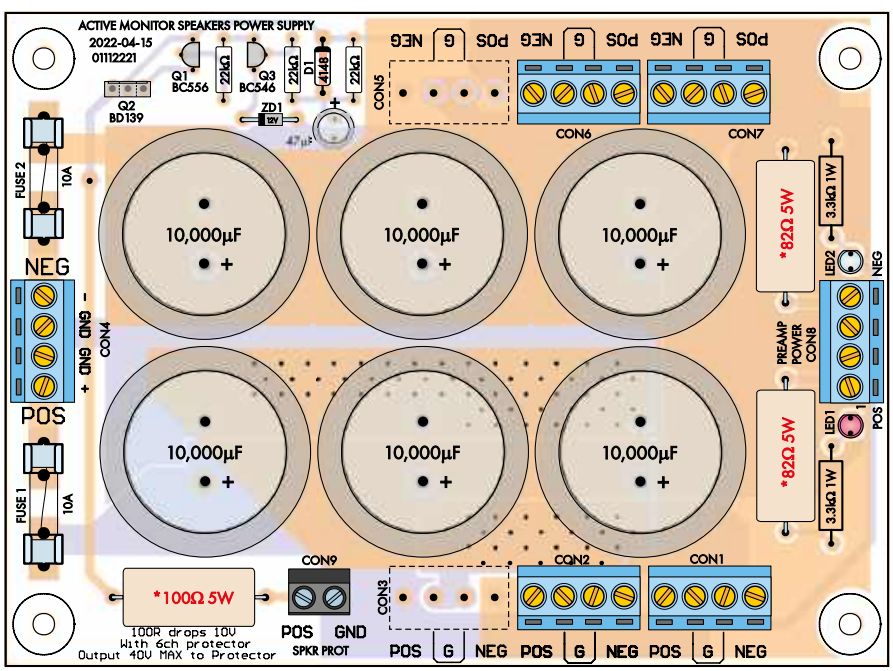
Rezystory 3,3 kΩ rozpraszają maksymalnie 380 mW mocy przy nominalnym napięciu szyn ±35 V, dlatego zastosowanie rezystorów o mocy 1 W jest w pełni wystarczające – pod warunkiem, że zostaną zamontowane z odstępem co najmniej 5 mm od powierzchni płytki drukowanej, aby umożliwić lepsze odprowadzanie ciepła.

Rezystor 100 Ω/5 W, stosowany w układzie zabezpieczenia głośników, rozprasza około 1 W mocy i podczas pracy jest wyraźnie ciepły w dotyku. Z kolei rezystory 82 Ω/5 W, użyte do obniżenia napięcia zasilania aktywnej zwrotnicy o około 10 V, rozpraszają moc rzędu 1,5 W. Choć wartości te są znacząco niższe od ich mocy znamionowej, elementy te i tak dość mocno się nagrzewają. Wszystkie te rezystory należy montować z zachowaniem odstępu około 10 mm od powierzchni płytki drukowanej, co pokazano na **fotografii 11**.

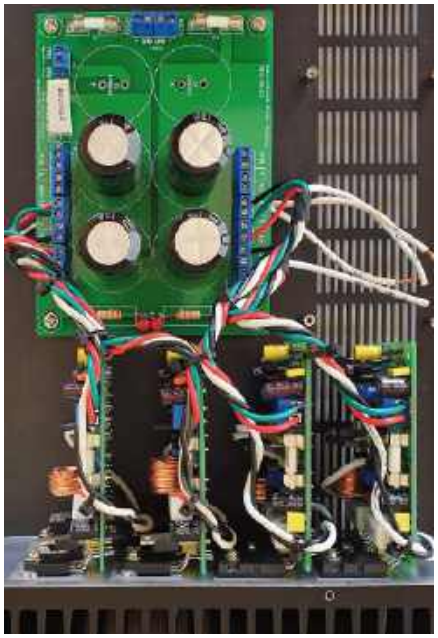
Płytę zasilacza należy zamontować w obudowie przy użyciu gwintowanych tulei dystansowych oraz wkrętów maszynowych, stosując płaskie i sprężyste podkładki zabezpieczające przed luzowaniem się połączeń. Podczas prowadzenia przewodów należy unikać układania przewodów w plastikowej izolacji zbyt blisko wspomnianych rezystorów – ich nagrzewanie może bowiem uszkodzić izolację. Aby ułatwić poprawne poprowadzenie okablowania, na prezentowanej tu wersji końcowej płytki zasilacza rezystory te zostały umieszczone w większej odległości od płytek wzmacniaczy mocy.

Zasilanie zwrotnicy aktywnej

Na tym etapie warto podłączyć skręcony przewód o długości 50 cm, złożony z czerwonego, zielonego i czarnego odcinka, do złącza „Active Crossover" na płycie zasilacza. Pozwoli to uniknąć zbędnej pracy w późniejszym etapie montażu. Oczywiście można to zrobić później, ale dostęp do zacisków będzie wówczas znacznie utrudniony – do umieszczenia przewodów konieczne będą cążki z wąskimi końcówkami.



Rysunek 22. Skorzystaj z tego schematu montażowego, aby prawidłowo rozmieścić elementy na płytce zasilacza. Szczególną uwagę zwróć na biegunowość kondensatorów elektrolitycznych – nieprawidłowy montaż może doprowadzić do silnej i spektakularnej eksplozji!



Fotografia 12. Cztery moduły Hummingbird zostały już podłączone do zasilacza, a przewody wyjściowe poprowadzone pod nim są przygotowane do połączenia z modułem zabezpieczenia głośników (wielokanałowym „ochraniaczem głośników"). Warto zaznaczyć, że widoczna płytka zasilacza nie przedstawia wersji finalnej

Na tym etapie zamontuj płytkę drukowaną zasilacza w obudowie, umieszczając ją poziomo, w odległości około 5 mm od modułów Hummingbird. Wejście DC powinno znajdować się możliwie blisko transformatora i prostownika, co ułatwi prowadzenie przewodów.

Następnie podłącz okablowanie zasilające wzmacniacze – szczegółowy schemat okablowania zasilania sieciowego i DC znajduje się na **rysunku 23**. Zdecydowałem się zasilić po jednej parze wzmacniaczy z każdej strony płytki zasilacza, co pozwala na przejrzyste i symetryczne rozprowadzenie przewodów.

Warto pamiętać, że płytka zasilacza przewiduje wyjścia dla maksymalnie sześciu modułów, choć w tym projekcie potrzebujemy jedynie czterech. Nie ma znaczenia, których z wyjść użyjesz – wszystkie są połączone z dużymi, niskoimpedancyjnymi polami miedzi na płytce, zapewniającymi równomierne rozprowadzenie zasilania.

Dla przejrzystości przyjąłem numerację modułów wzmacniacza od 1 do 4 – licząc od przodu do tyłu radiatora. Skręcone wiązki przewodów oznaczyłem taśmą, a przy podłączaniu wyjść wzmacniaczy zachowałem kolejność od lewej do prawej, patrząc od tylnej strony obudowy (szczegóły przedstawiono na **rysunku 26**).

Podczas wykonywania okablowania przytnij przewody zasilające – dodatni, ujemny i uziemiający – tak, aby dokładnie pasowały

eprasa.pl 041f57c630

do złączy na płycie zasilacza, pozostawiając przy tym niewielki luz, który pozwoli w razie potrzeby wyjąć płytkę drukowaną.

Nie przecinaj natomiast przewodu wyjściowego prowadzącego do głośnika – powinien on być poprowadzony bezpośrednio do układu zabezpieczenia głośnika, skręcony razem z dodatkowym przewodem uziemiającym, który będzie wyprowadzony z zasilacza. Oba przewody poprowadź razem z wiązką zasilania, co pozwoli zminimalizować powierzchnię pętli prądowej na wyjściu. Taki układ zmniejsza ryzyko powstawania zniekształceń, ograniczając sprzężenie zakłóceń z obwodami wejściowymi wzmacniacza.

Do drugiego zacisku śrubowego uziemienia na każdym wyjściu zasilacza podłącz zielony przewód o długości 45 cm. Przewody te prowadź równolegle z okablowaniem wyjścia głośnikowego, przechodząc przez układ zabezpieczenia głośników, aż do zacisków głośnikowych. Na końcowym etapie zostaną one docięte do odpowiedniej długości, aby umożliwić ich dokładne dopasowanie do połączeń z zaciskami głośnikowymi.

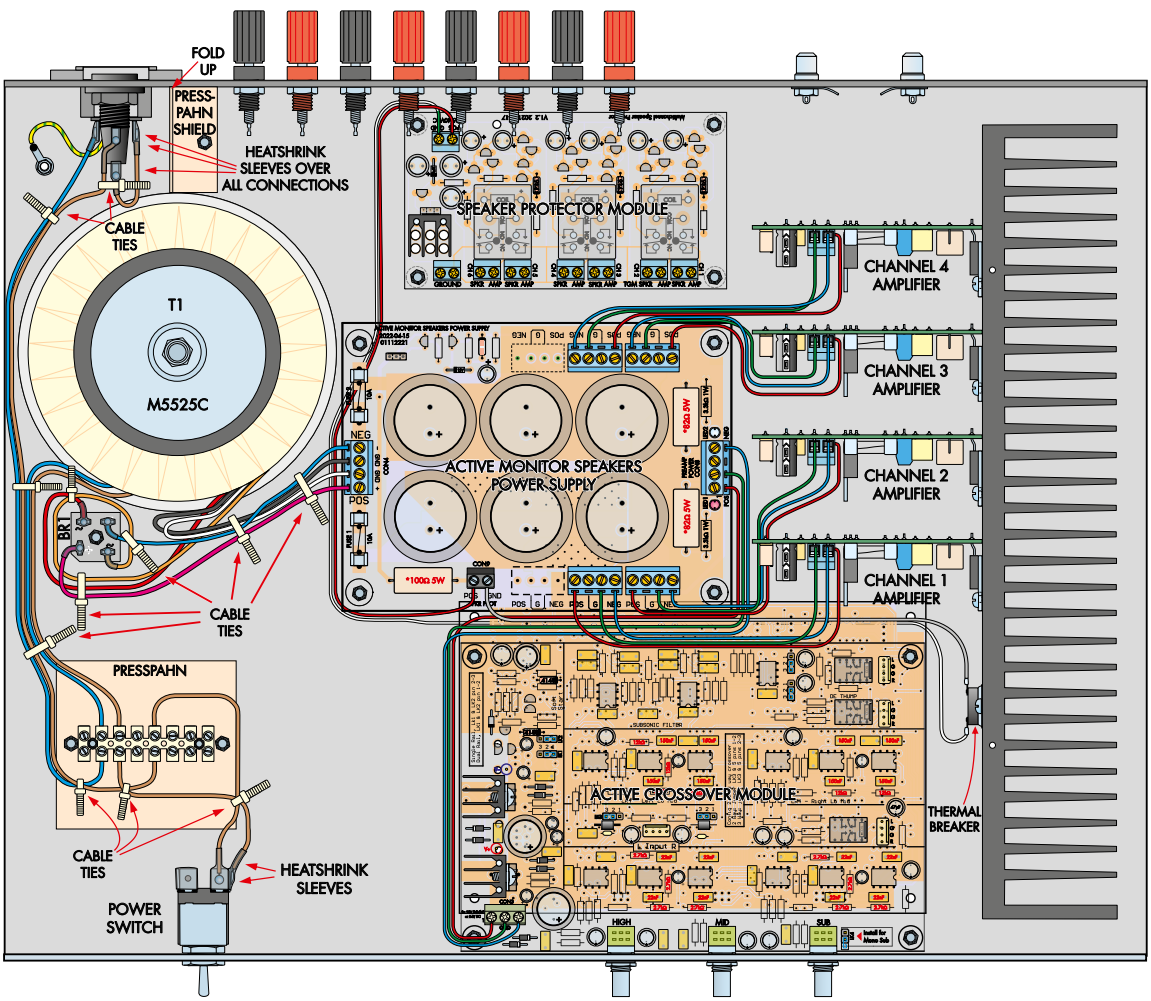
Zabezpieczenie głośników

W tym projekcie wykorzystujemy czterokanałową wersję układu wielokanałowy „ochraniacz głośników”, opisaną w styczniowym wydaniu Silicon Chip z 2022 roku (siliconchip.au/Article/15171) oraz w EdW 9/2024. Miałem jednak w zapasie kilka sześciokanałowych wersji, które pozostały z wcześniejszych etapów prac nad projektem, i uznałem, że szkoda byłoby je zmarnować. Oczywiście nie ma potrzeby stosowania więcej niż czterech kanałów.

Aby sprawdzić poprawność działania układu, należy zasilić go z zasilacza laboratoryjnego. Zgodnie z instrukcją zawartą w oryginalnym artykule, przykładamy kolejno dodatnie i ujemne napięcie DC do wejść oznaczonych jako AMP i obserwujemy, czy odpowiadający im przekaźnik „kliknie”. Jeśli tak, oznacza to, że układ zabezpieczenia działa prawidłowo i jest gotowy do pracy.

Moduł zabezpieczenia zamocuj w obudowie przy użyciu gwintowanych tulei dystansowych oraz wkrętów maszynowych, stosując płaskie i sprężyste podkładki, które zapobiegną luzowaniu się połączeń. Najwygodniej podłączyć układ do reszty systemu po zdemontowaniu tylnego panelu obudowy. Wejścia należy podłączyć zgodnie z układem przedstawionym na **fotografii 13**. Na tym etapie montażu warto zwrócić uwagę na kilka istotnych szczegółów:

1. Przewód uziemiający łączący zasilacz z zaciskami głośnikowymi został poprowadzony bezpośrednio pod płytką drukowaną układu wielokanałowego „ochraniacza głośników”.
2. Przewody wyjściowe skręciłem razem z przewodami masy – tak, jak pokazano na fotografii. Zabieg ten nie tylko porządkuje okablowanie, ale przede wszystkim minimalizuje ryzyko pętli prądowych, co zmniejsza możliwość występowania zakłóceń i sprzężeń.



Rysunek 23. Schemat okablowania zasilania sieciowego i prądu stałego (DC). Przewody sygnałowe oraz wyjściowe wzmacniacza zostały przedstawione osobno na rysunku 26. Szczegółowe informacje dotyczące bezpiecznego prowadzenia i izolowania przewodów sieciowych znajdują się w treści artykułu

eprasa.pl 041f57c630

3. Przewody przeznaczone do przylutowania do zacisków wyjściowych oznaczyłem krótkimi odcinkami rurki termokurczliwej, co pozwoliło mi uniknąć pomyłek podczas podłączania wyjść wzmacniacza. Następnie przylutowałem je do odpowiednich zacisków oznaczonych jako „SPKR". Kanały 1…4 poprowadziłem w poprzek układu zabezpieczającego, od lewej do prawej strony. Kluczowe jest jednak nie tyle zachowanie tej kolejności, co poprawne sparowanie wyjść wzmacniacza z odpowiednimi zaciskami głośników.
4. Te połączenia okazały się zdecydowanie najbardziej wymagającym etapem całego projektu. Do ich wykonania warto używać cążek z wąskimi końcówkami, które umożliwiają precyzyjny dostęp do ciasno rozmieszczonych zacisków. Pamiętaj również, aby nie przycinać przewodów zbyt krótko – odrobina zapasu ułatwi manewrowanie i poprawi niezawodność połączeń.

Odetnij odcinek białego, lekkiego przewodu o długości 60 cm oraz dwa przewody po 30 cm – biały i czerwony – do podłączenia zasilania oraz masy układu zabezpieczenia głośników. Skręć je razem i zabezpiecz koszulką termokurczliwą, zgodnie z układem przedstawionym na **rysunku 23**. Przewody poprowadź od zacisku zasilania układu zabezpieczenia, pod płytką zasilacza, aż do wyjścia zasilania wielokanałowego „ochraniacza głośników". Zwróć uwagę, że przewód masy (GND) powinien przechodzić przez wyłącznik termiczny.

Połączenia z przełącznikiem termicznym należy wykonać za pomocą końcówek widełkowych o szerokości 6,3 mm. Zalecany rezystor 100 Ω/5 W, umieszczony na płytce drukowanej zasilacza, jest odpowiedni dla transformatora o napięciu 25 V AC.

Jeśli transformator dostarcza napięcie poniżej 20 V AC lub powyżej 30 V AC, po uruchomieniu warto skontrolować wartość tego rezystora i w razie potrzeby ją dostosować.

Praktyczna rada: podłącz przewód zasilający do przełącznika termicznego zanim przykręcisz tylny panel – chyba że masz trzy ręce!

Transformator i prostownik

Przyszedł czas na zamontowanie transformatora. Zalecanym rozwiązaniem jest toroidalny transformator o mocy 300 VA i napięciu wyjściowym 25+25 V AC. Można zastosować transformator o niższej mocy, jednak należy to rozważyć tylko w przypadku obniżenia napięcia zasilania lub jeśli nie planujesz wykorzystywać pełnej mocy wzmacniacza.

Załóżmy, że rzeczywiście potrzebujesz mocy wyjściowej przekraczającej 50 W na każdy głośnik i zamierzasz podłączyć wzmacniacz wyłącznie do głośników o impedancji 8 Ω – na przykład naszych aktywnych głośników monitorujących.

W takiej konfiguracji można zastosować transformator o napięciu 30 V AC, pod warunkiem wcześniejszego sprawdzenia czy napięcia znamionowe wszystkich kondensatorów w zasilaczu są odpowiednio dobrane. Zwiększone napięcie zasilania pozwoli uzyskać moc wyjściową zbliżoną do 70 W na kanał.

Do zasilacza zastosowałem prostownik mostkowy o prądzie znamionowym 35 A – to szczególnie istotne w przypadku użycia kondensatorów o dużej pojemności, które generują wysokie prądy ładowania. Mostek należy zamontować do podstawy obudowy przy użyciu śruby z łbem walcowym M3 o długości 25 mm oraz płaskiej i sprężystej podkładki. Dla zapewnienia skutecznego odprowadzania ciepła warto nałożyć pod spód cienką warstwę pasty termoprzewodzącej. Dzięki temu mostek pozostanie chłodny nawet podczas długotrwałej, intensywnej pracy wzmacniacza.

Zamontuj transformator zasilający tak, aby jego wyprowadzenia były skierowane w stronę mostka prostowniczego – pozwoli to skrócić ścieżki wysokoprądowe i ograniczyć zakłócenia w pobliżu układu zwrotnicy. Transformatory toroidalne są zazwyczaj dostarczane z kompletem elementów montażowych: dwiema gumowymi podkładkami (górną i dolną), śrubą M6 oraz stalową płytką z wypustkami. Śrubę należy dokręcić z wyczuciem – wystarczająco mocno, aby całość była stabilna, ale nie na tyle, by uszkodzić uzwojenia transformatora.

Stosując się do oznaczeń kolorystycznych transformatora firmy Altronics:

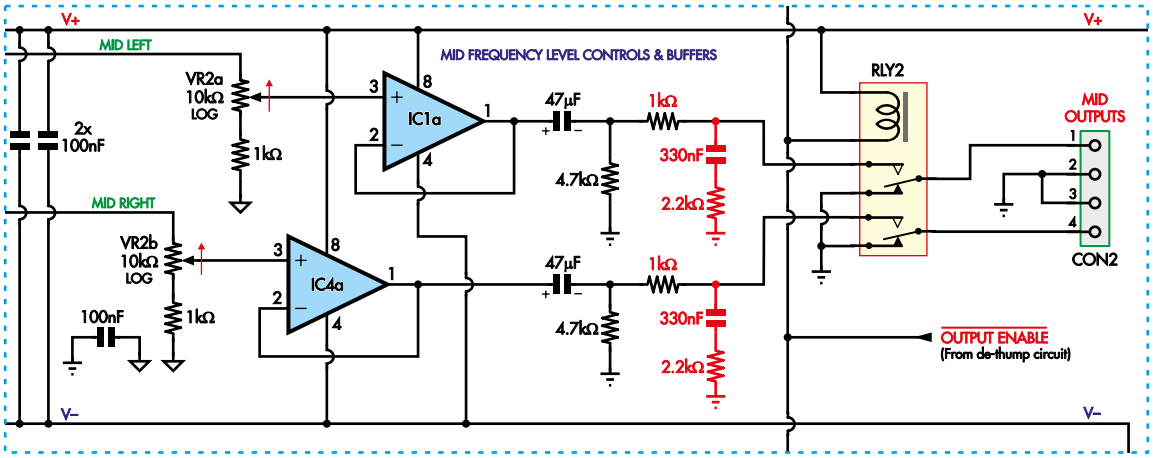
1. Podłącz biały i czarny przewód wtórny bezpośrednio do dwóch środkowych zacisków GND na płytce zasilacza. Jeśli przewody te są pokryte emalią, należy delikatnie zeskrobać izolację, aby odsłonić czystą miedź umożliwiającą lutowanie. Upewnij się również, że cynowanie nie sięga zbyt głęboko pod osłonę PVC – mogłoby to grozić zwarciem.
2. Następnie podłącz przewody pomarańczowy i czerwony do zacisków AC mostka prostowniczego. Zazwyczaj mostki oznaczone są symbolami: „+" (wyjście dodatnie), „–" (wyjście ujemne) oraz „AC" (wejścia napięcia zmiennego). Drugi zacisk AC znajduje się po przekątnej względem pierwszego, a zacisk „–" – po przekątnej naprzeciw zacisku „+". Upewnij się, że przewody zostały podłączone zgodnie z tym układem.
3. Przewody należy przyciąć do rozsądnej długości – lepiej pozostawić je odrobinę dłuższe niż za krótkie. Niosą one bardzo wysokie impulsy prądowe, dlatego należy unikać tworzenia dużych pętli, które mogłyby emitować zakłócenia elektromagnetyczne. W zależności od rodzaju przewodu, po przycięciu może być konieczne zeskrobanie emaliowanej warstwy izolacyjnej w celu odsłonięcia miedzi do lutowania.
4. Przewody transformatora należy owinąć zgodnie z układem przedstawionym na fotografiach – uporządkowanie ich w ten sposób poprawia estetykę montażu i ogranicza ryzyko zakłóceń.

Nadszedł moment instalacji listwy zaciskowej o ośmiu zaciskach. Tego typu



Fotografia 13. Podłączenie przewodów do modułu zabezpieczenia głośników najlepiej wykonać przed jego ostatecznym zamocowaniem w obudowie. Aby zyskać więcej miejsca podczas tej czynności, warto na czas montażu zdemontować tylny panel

eprasa.pl 041f57c630

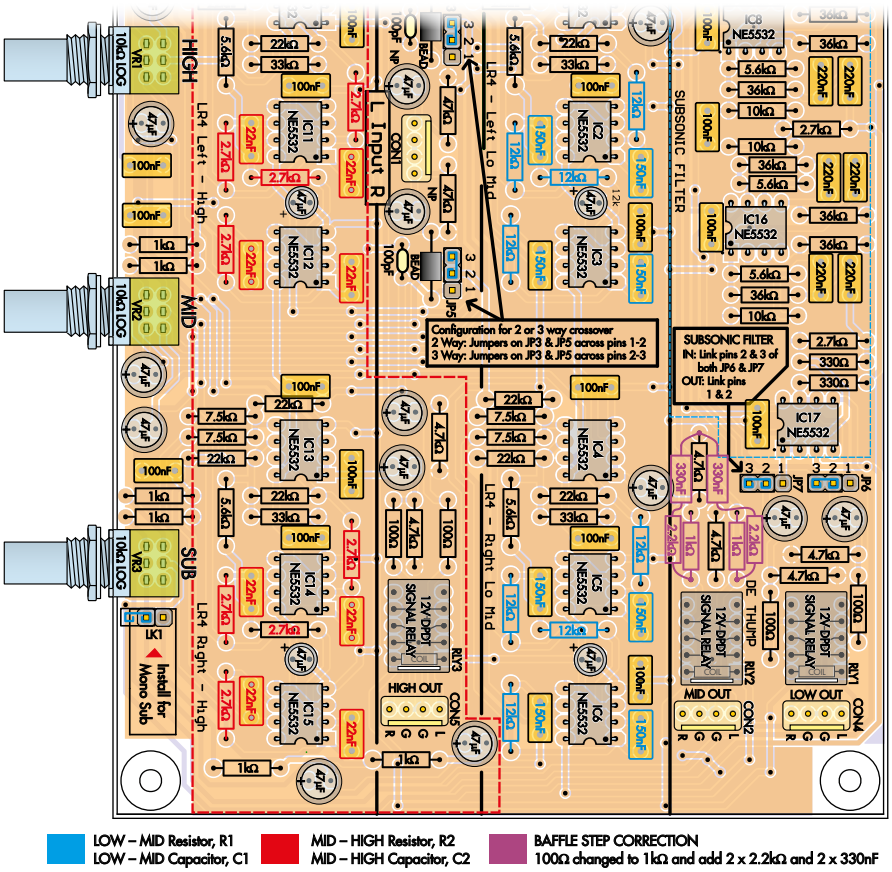


Rysunek 24. Niewielkie modyfikacje w torze wyjściowym zwrotnicy aktywnej dla sekcji średnio- i niskotonowej wprowadzają tzw. korekcję kroku przegrody (baffle step correction) w paśmie poniżej 250 Hz. Do istniejącej płytki drukowanej dodano rezystory 2,2 kΩ oraz kondensatory 330 nF, a oryginalne rezystory 100 Ω zastąpiono elementami o wartości 1 kΩ

listwy są dostępne w różnych wariantach, dlatego warto upewnić się, że rozstaw otworów montażowych pasuje do wybranej części – w przypadku zalecanego modelu odpowiedni będzie rozstaw 57 mm. Jeśli zdecydujesz się na inną wersję, przed montażem sprawdź rozmieszczenie otworów. Pod listwę należy podłożyć arkusz materiału izolacyjnego (np. Presspahnu) o wymiarach 70 mm × 80 mm. Listwa zaciskowa powinna zostać zamocowana zgodnie z układem przedstawionym na **rysunku 23**.

Teraz przystąp do wykonania okablowania sieciowego zgodnie z rysunkiem 23, postępując według poniższych kroków:

1. Zamocuj gniazdo IEC do obudowy za pomocą śrub M3 o długości 10 mm, wraz z podkładkami sprężystymi i nakrętkami. Upewnij się, że nakrętki mają dobry kontakt elektryczny z obudową – w tym celu usuń farbę lub warstwę anodyzacji w miejscu styku. Następnie podłącz przewód fazowy (brązowy) z wtyku IEC „Active” przez bezpiecznik do listwy zaciskowej.
2. Poprowadź przewód fazowy (aktywny) z listwy zaciskowej przez przełącznik zasilania i z powrotem do listwy – takie rozwiązanie ułatwi późniejszy demontaż przedniego panelu. Upewnij się, że aktywne wejście trafia na styk normalnie otwarty (NO) przełącznika, a wyjście prowadzi ze wspólnego zacisku (COM), tak aby zapasowy styk nie pozostawał przypadkowo pod napięciem, gdy zasilanie jest wyłączone. Wszystkie nieużywane styki przełącznika, a także używane styki bez osłon, należy starannie zaizolować.
3. Poprowadź przewód fazowy (aktywny) z wyjścia przełącznika zasilania na panelu przednim do jednej strony uzwojenia pierwotnego transformatora.
4. Przewód neutralny (niebieski) poprowadź od styku neutralnego gniazda IEC, biegnąc równolegle z przewodem aktywnym w kierunku panelu przedniego, a następnie do listwy zaciskowej.
5. Z listwy zaciskowej poprowadź ten sam przewód do drugiego końca uzwojenia pierwotnego transformatora.
6. Styk ochronny (uziemienie) złącza IEC należy połączyć z obudową za pomocą przewodu w kolorze zielono-żółtym. Zakończ go lutowaną końcówką oczkową (o średnicy otworu 3,2…4 mm) lub – jeszcze lepiej – zaciskaną końcówką oczkową, którą należy przymocować do śruby M3. Upewnij się, że miejsce styku z obudową zostało oczyszczone z farby do gołego metalu, a pod śrubę została zastosowana podkładka gwiazdkowa zapewniająca dobry kontakt elektryczny.
7. Przygotuj arkusz izolacyjny Presspahn o wymiarach 120 mm × 40 mm i natnij go tak, aby po złożeniu utworzył osłonę w kształcie litery „L” o wysokości 90 mm, szerokości 30 mm i głębokości



Rysunek 25. Adnotacje wskazują elementy odpowiedzialne za ustalanie częstotliwości podziału w zwrotnicy, a także komponenty zmodyfikowane w ramach korekcji kroku przegrody. Pełną warstwę opisową płytki drukowanej zwrotnicy aktywnej można znaleźć w październikowym wydaniu magazynu Silicon Chip z 2021 roku

eprasa.pl 041f57c630

40 mm. Osłonę zamontuj pomiędzy wejściem zasilania a zaciskami głośnikowymi, mocując ją za pomocą śruby maszynowej M3 o długości 10 mm, płaskiej podkładki, podkładki sprężystej i nakrętki – zgodnie z ilustracjami na rysunkach 23 i 26. Osłona powinna stykać się wyłącznie z dolną częścią pokrywy.

Zwrotnica aktywna

Podczas montażu zwrotnicy aktywnej warto zastosować radiatory Altronics H0655 (lub ich odpowiedniki) zamiast pierwotnie sugerowanych modeli H0650. Radiatory H0655 mają dwukrotnie większą powierzchnię, co zapewnia znacznie lepsze chłodzenie stabilizatorów podczas pracy układu. Dzięki temu poprawia się niezawodność i trwałość całej konstrukcji.

Aby skompensować efekt dyfrakcji przegrody, konieczne jest lekkie podbicie pasma niskich i średnich tonów poniżej około 250 Hz. Działanie to wyrównuje odpowiedź częstotliwościową, kompensując wpływ dyfrakcji fal dźwiękowych od krawędzi obudowy głośnika. Przedstawione poniżej zmiany parametrów dotyczą aktywnych głośników monitorujących zastosowanych w tym projekcie. W przypadku innych typów kolumn należy odpowiednio dostosować wartości elementów:

1. W sekcji średnio-niskotonowej należy zastąpić rezystor 100 Ω rezystorem o wartości 1 kΩ – znajduje się on w pobliżu przekaźnika RLY2.
2. Następnie do punktu połączenia nowego rezystora 1 kΩ z przekaźnikiem należy dołączyć szeregowe połączenie rezystora 2,2 kΩ oraz kondensatora MKT 330 nF. Całą tę sieć należy podłączyć do masy.

Zmodyfikowany schemat obwodu aktywnej zwrotnicy przedstawiono na **rysunku 24**, natomiast zmiany wprowadzone na płytce drukowanej pokazano na **rysunku 25**.

Podczas budowy zwrotnicy należy skonfigurować ją do pracy z dwiema szynami zasilającymi oraz ustawić zworki zgodnie z instrukcją zawartą w oryginalnym artykule. Warto również przeprowadzić szybki test laboratoryjny po zakończeniu montażu. Zasilenie układu napięciem ±15 V DC pozwoli zweryfikować, czy stabilizatory generują prawidłowe napięcia wyjściowe oraz czy przekaźniki antyodbiciowe wyłączają się po kilku sekundach, jak powinny.

Zworki na płytce aktywnej zwrotnicy należy ustawić zgodnie z poniższymi zaleceniami:

- Aby uzyskać konfigurację trójdrożną, ustaw zworki JP3 i JP5 w pozycji 2–3.
- W przypadku pracy w trybie dwudrożnym, zworki JP1 i JP2 powinny być ustawione w pozycji 1–2.
- Pozostawiłem filtr subsoniczny o częstotliwości 20 Hz, ale należy pamiętać, że aktywny subwoofer będzie w stanie generować użyteczny sygnał także poniżej tej wartości. Aby utrzymać taki tryb pracy, ustaw zworki JP6 i JP7 w pozycji 2–3.

Podczas budowy aktywnej zwrotnicy należy również zdecydować, czy ma ona pracować w konfiguracji dwudrożnej czy trójdrożnej, a także dobrać odpowiednie częstotliwości podziału pasma, dostosowane do zastosowanych przetworników i charakterystyki obudowy.

Zwrotnica zostanie skonfigurowana jako trójdrożna – z najniższym wyjściem przeznaczonym dla subwoofera – i częstotliwościami podziału 88 Hz dla niskich/średnich oraz 2,7 kHz dla średnich/wysokich. Jeśli jednak nie planujesz korzystać z subwoofera, należy przestawić układ na dwudrożny z podziałem przy 2,7 kHz.

Wartości elementów potrzebnych do tej konfiguracji podano w tabeli 1 (Silicon Chip 10/2021 str. 48). Dla podziału 88 Hz (niskie/średnie) są to 12 kΩ i 150 nF, a dla 2,7 kHz (średnie/

Wykaz elementów

1 czarna obudowa rack 2RU o szerokości 430 mm i głębokości 330 mm [Altronics H5038]
4 zmontowane moduły wzmacniacza Hummingbird (Silicon Chip, grudzień 2021 r.)
1 zmontowany 4-drożne zabezpieczenie głośników z większym radiatorem (patrz tekst) (styczeń 2022)
1 zmontowana zwrotnica aktywna stereo z modyfikacjami zgodnie z tekstem (październik 2021)
1 radiator aluminiowy odlewany ciśnieniowo o szerokości 300 mm i wysokości 75 mm, odstęp między żebrami 10 mm, 0,37°C/W [Altronics H0545 lub dwa Jaycar HH8555 połączone z regulacją położenia otworów]
1 toroidalny transformator sieciowy 300 VA 25-0-25 [Altronics M5525C]
1 dwustronne PCB, kod 01112221, 146,5 mm × 108,5 mm
1 przełącznik zasilania 250 V 3 A+ SPST (przełącznik, kołyskowy itp.)
1 normalnie zamknięty wyłącznik termiczny, 250 V AC 10 A, 70°C [Jaycar ST3823]
8 zestawów izolacyjnych TO-3P [Altronics H7220]
4 zestawy izolacyjne TO-126 [Altronics H7120]
1 mała tubka pasty termoprzewodzącej
1 końcówka lutownicza 3,2-4 mm lub zaciskane złącze oczkowe

Złącza i bezpieczniki
1 gniazdo wejściowe IEC do montażu w obudowie [Altronics P8320B]
4 podwójne czerwone/czarne gniazda do montażu w obudowie [Altronics P9257A]
1 czerwone, izolowane, złote gniazdo RCA do montażu w obudowie [Altronics P0218]
1 czarne izolowane złote gniazdo RCA do montażu w obudowie [Altronics P0220]
2 żółte, izolowane, złote gniazda RCA do montażu w obudowie [Altronics P0219]
1 8-pinowa listwa zaciskowa 17,5 A [Altronics P2135A]
6 4-pinowych listew zaciskowych 5 mm (CON1...2, 4, 6...8) [Altronics P2026A]
1 2-kierunkowa listwa zaciskowa 5 mm (CON9) [Altronics P2034 A]
4 2-kierunkowe spolaryzowane wtyczki z bolcami [Altronics P5472 × 4 + P5470A × 8]
1 uchwyt bezpiecznika M205 10 A do montażu w obudowie [Altronics S5992 lub Jaycar SZ2028]
1 bezpiecznik bezzwłoczny M205 5 A
4 zaciski bezpiecznikowe M205 do montażu na płytce drukowanej
2 bezpieczniki ceramiczne M205 250 V 10 A

Sprzęt
1 M3 × 25 mm 9 M3 × 16 mm 9 M3 × 10 mm 19 M3 × 6 mm – śruby z łbem walcowym
35 podkładek sprężystych M3
32 podkładki płaskie M3
7 nakrętek sześciokątnych M3
8 tulei dystansowych M3 × 10 mm
40 opasek kablowych 100 mm
2 arkusze Presspahn lub podobnego materiału izolacyjnego o wymiarach 80 mm × 70 mm i 120 mm × 40 mm

Przewody i kable
1 przewód o długości 2 m w każdym kolorze (czerwony, czarny, zielony i biały) o dużej wytrzymałości (10 A+)
1 2-metrowy brązowy przewód sieciowy 7,5 A
1 niebieski przewód sieciowy 7,5 A o długości 1 m
1 10-centymetrowy przewód sieciowy 7,5 A w zielono-żółte paski
1 przewód zasilający o długości 150 cm w każdym kolorze (zielony i biały)
1 czerwony przewód zasilający o długości 50 cm
1 kabel ekranowany typu 8 o długości 3 m [Altronics W2995 lub W3022]
1 rurka termokurczliwa o długości 10 cm i każdej średnicy (3 mm, 5 mm i 10 mm)

Półprzewodniki
1 tranzystor PNP BC556 80 V 100 mA (Q1)
1 tranzystor NPN BD139 80 V 1 A (Q2)
1 tranzystor NPN BC546 80 V 100 mA (Q3)
2 diody LED 5 mm, dowolny kolor (LED1, LED2)
1 dioda Zenera 12 V 400 mW (ZD1) [np. 1N963]
1 mostek prostowniczy 400 V+ 35 A do montażu w obudowie z zaciskami widełkowymi (BR1)
1 dioda sygnalizacyjna 1N4148 75 V 200 mA (D1)

Kondensatory
6 elektrolityczny 10 000 µF 50 V, odstęp między przewodami 10 mm (dopuszczalne 6800 µF...15 000 µF)
1 47 µF 50 V elektrolityczny radialny o niskim ESR
2 330 nF 63 V MKT 1•

Rezystory (wszystkie 5% 5 W drutowy, o ile nie podano inaczej)
3 22 kΩ 1% 0,6 W folia metalowa
2 3,3 kΩ 1 W
2 2,2 kΩ 1% 1/4 W folia metalowa•
2 1 kΩ 1% 1/4 W folia metalowa•
1 100 Ω 2 82 Ω
• dla korekty stopnia przegrody (rysunek 25)

eprasa.pl 041f57c630

wysokie) – 2,7 kΩ i 22 nF. Kondensatory MKT w tych wartościach są łatwo dostępne z tolerancją 5% (zalecaną) lub 10%. Dla najlepszej dokładności zaleca się stosowanie rezystorów metalizowanych 1%. Umiejscowienie wszystkich elementów pokazano na **rysunku 25**.

Zamontuj aktywną zwrotnicę w obudowie – przedni panel powinien być już wcześniej wywiercony. Przewody zasilające, prowadzące z zasilacza, powinny być gotowe – poprowadź je do złącza zasilania znajdującego się w prawym przednim rogu płytki zwrotnicy i przytnij do odpowiedniej długości.

Do wykonania okablowania wejściowego i wyjściowego potrzebne będą cztery przewody o długości 80 cm, wykonane z ekranowanego kabla ósemkowego, oraz dwa przewody o długości 35 cm. Części potrzebne do ich wykonania wymieniono także w wykazie elementów.

- 4× spolaryzowane wtyczki czteropozycyjne 2,54 mm z dopasowanymi pinami
- 4× spolaryzowane wtyczki dwupozycyjne 2,54 mm z dopasowanymi pinami
- ekranowany kabel ósemkowy: 2 odcinki po 80 cm i 2 odcinki po 35 cm
- rurki termokurczliwe o średnicy 3 mm i 5 mm

Na **fotografii 14** pokazano, jak powinny wyglądać gotowe końcówki kabli. Ich wykonanie przebiega w następujących krokach:

1. Rozdziel dwie żyły kabla koncentrycznego, a następnie zdejmij 25 mm zewnętrznej osłony z każdej z nich, odsłaniając oplot.
2. Oddziel wewnętrzny przewód od oplotu i usuń 5 mm izolacji z jego końca.
3. Skręć oplot w zwartą wiązkę.
4. Przygotuj dwa odcinki koszulki termokurczliwej o średnicy 3 mm i długości 20 mm – po założeniu na oplot powinny zostawić około 5 mm odsłoniętej miedzi do zaciśnięcia.
5. Nasuń koszulkę termokurczliwą o średnicy 5 mm i długości 10 mm na oplot i rdzeń, ale jeszcze go jej nie obkurczaj.
6. Nasuń koszulkę termokurczliwą o średnicy 3 mm na oplot tak, by wystawało 4...5 mm przewodu i obkurcz ją.
7. Przesuń koszulkę termokurczliwą o średnicy 5 mm, aby zakrywała około 3 mm miejsca rozdziału przewodów, i dopiero teraz ją obkurcz.
8. Oplot przymocuj do pinu złącza. Skróć go tak, by część odciążająca zacisku znalazła się nad oplotem, a w zacisku elektrycznym pozostało ok. 3 mm oplotu.
9. Używając cążek o ostrych końcówkach, zaciśnij pin na oplocie. Następnie dodaj niewielką ilość cyny, uważając, aby nie wpłynęła do sprężystej części złącza.
10. Zdejmij po 3 mm izolacji z przewodów sygnałowych, zaciśnij je na pinach i przylutuj jak powyżej. Ponieważ zacisk odciążający nie był z tworzywa, dodałem fragment koszulki termokurczliwej – to krok opcjonalny.
11. Wepchnij piny do gniazda wtyczki: oplot pośrodku, przewody lewy i prawy po bokach. Usłyszysz lub poczujesz kliknięcie świadczące o prawidłowym osadzeniu.

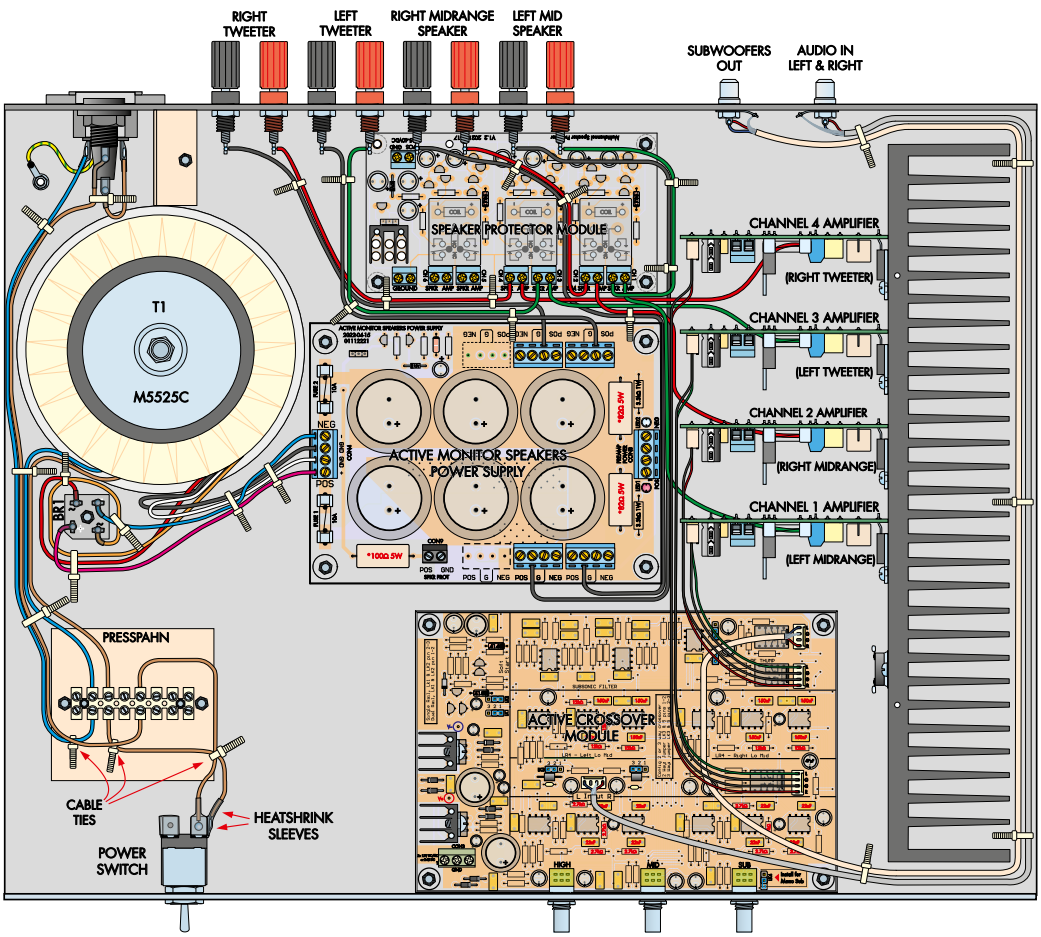
Po przygotowaniu kabli można zakończyć okablowanie sygnałowe zgodnie z **rysunkiem 26**.

Wejścia i wyjścia subwoofera są wyprowadzone na tylny panel, natomiast sygnały do głośników średnio/niskotonowych i wysokotonowych trafiają bezpośrednio do odpowiednich modułów wzmacniacza. W mojej konfiguracji moduły 1 i 2 (czyli te najbardziej wysunięte do przodu) obsługują głośniki średniotonowe/woofery, a moduły 3 i 4 (najbardziej z tyłu) – głośniki wysokotonowe. Ostateczny układ połączeń przedstawiono na **fotografii 15**.

Testowanie

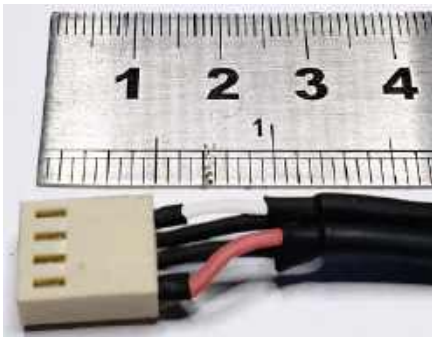
Na tym etapie należy sprawdzić, czy moduły wzmacniacza, układ zabezpieczenia głośników oraz zwrotnica aktywna działają prawidłowo. Następnie warto wykonać kilka podstawowych testów bezpieczeństwa:

1. Sprawdzenie izolacji – za pomocą multimetru cyfrowego upewnij się, że nie ma ciągłości między obudową a masą zasilacza (czyli dodatnią i ujemną szyną DC). Celem jest weryfikacja skuteczności tulei izolacyjnych. Jeżeli miernik wykaże rezystancję w zakresie 20 MΩ, oznacza to potencjalne przebicie lub zwarcie, które należy zlokalizować i usunąć.



Rysunek 26. Schemat okablowania przewodów sygnałowych w systemie aktywnych głośników monitorujących. Dla czytelności połączenia pomiędzy płytką zwrotnicy aktywnej a modułami wzmacniacza Hummingbird przedstawiono osobno. Aby zminimalizować ryzyko zakłóceń i przydźwięków, należy stosować ekranowane przewody typu „ósemka"

eprasa.pl 041f57c630



Fotografia 14. Każdy z czterech ekranowanych kabli stereo powinien wyglądać w ten sposób po zakończeniu montażu – podłączony do właściwie spolaryzowanych wtyczek i gotowy do połączenia z płytką zwrotnicy aktywnej



Fotografia 15. Zbliżenie ukazujące szczegóły kompletnego okablowania sygnałowego oraz niskonapięciowego zasilania DC

2. Sprawdzenie uziemienia obudowy – multimetr powinien wykazać dobrą ciągłość między bolcem ochronnym gniazda sieciowego a wszystkimi panelami obudowy. Oporność w każdym przypadku powinna być niższa niż 1 Ω. Jeśli wynik będzie wyższy, należy znaleźć źródło problemu i ewentualnie dodać zworki uziemiające między testowanymi panelami a panelem bazowym lub głównym punktem uziemienia.
3. Izolacja sieci zasilającej – sprawdź, czy nie ma ciągłości między przewodami aktywnym i neutralnym a obudową wzmacniacza oraz punktem odniesienia 0 V. Jeżeli miernik wskaże rezystancję w zakresie do 20 MΩ, oznacza to niepożądane przewodzenie – należy je zidentyfikować i usunąć.

Zakładając, że wszystkie testy wypadły pomyślnie, włóż bezpiecznik sieciowy 5 A do uchwytu w obudowie i – monitorując napięcie na głównych szynach zasilania – na krótko włącz zasilanie sieciowe. Ponieważ operacja ta wymaga pracy przy otwartej obudowie, zachowaj szczególną ostrożność i nie zbliżaj się do przewodów sieciowych, gdy znajdują się pod napięciem.

Najbezpieczniej wykonać ten test bez użycia rąk – użyj dwóch multimetrów cyfrowych z przewodami zakończonymi zaciskami krokodylkowymi. Jeśli nie dysponujesz dwoma multimetrami lub nie masz wystarczającej liczby przewodów, podłącz jeden miernik między dodatnią a ujemną szyną zasilania i monitoruj napięcie w tym punkcie.

Na głównych szynach zasilania powinno niemal natychmiast pojawić się napięcie około ±35 V, co daje łącznie około 70 V. Dopuszczalne są niewielkie odchylenia – kilka woltów powyżej lub poniżej tej wartości. Jeśli napięcia nie są zgodne z oczekiwaniami, natychmiast wyłącz zasilanie i sprawdź następujące punkty:

- Dokładnie przeanalizuj całe okablowanie sieciowe – szukaj błędów w połączeniach.
- Jeśli napięcie wynosi zero: sprawdź, czy bezpiecznik nie uległ przepaleniu i czy przełącznik zasilania jest włączony.
- Upewnij się, że w obwodzie pierwotnym transformatora rzeczywiście występuje napięcie sieciowe – można to sprawdzić, sondując listwę zaciskową.
- Sprawdź, czy do wejścia mostka prostowniczego dociera napięcie przemienne.
- Zweryfikuj, czy na wejściowych zaciskach zasilacza pojawia się pulsujące napięcie stałe.
- Napięcie na każdej parze wyjść modułu wzmacniacza powinno wynosić poniżej ±50 mV.
- Jeśli wszystko wygląda poprawnie, podłącz sygnał AC (lub muzykę) do wejść i sprawdź, czy wyjścia subwoofera, głośnika średnio/niskotonowego i wysokotonowego działają zgodnie z oczekiwaniami. Jeśli pojawią się problemy, przeanalizuj poniższe możliwe przyczyny:
- Upewnij się, że przewody sygnałowe od zwrotnicy aktywnej do modułów wzmacniacza zostały prawidłowo podłączone.
- Sprawdź, czy każdy moduł wzmacniacza generuje poprawną moc wyjściową – można to zmierzyć na górnym wyprowadzeniu rezystora emiterowego przy użyciu sondy oscyloskopowej lub woltomierza AC.
- Zweryfikuj, czy wyjścia wzmacniacza są połączone z odpowiednimi zaciskami układu wielokanałowego „ochraniacza głośników”, a następnie prawidłowo wyprowadzone do złącza na panelu tylnym.
- Sprawdź, czy układ zabezpieczenia głośników działa poprawnie.

Na tym etapie powinieneś dysponować w pełni działającym wzmacniaczem z aktywną zwrotnicą. Należy teraz odpowiednio ustawić poziomy sygnału wyjściowego, tak aby były dopasowane do zastosowanych głośników. Proces ten został szczegółowo opisany w końcowej części artykułu o aktywnych głośnikach monitorujących opublikowanego w zeszłym miesiącu – warto tam zajrzeć.

Jeśli natomiast używasz wzmacniacza z aktywną zwrotnicą w zestawie z innymi głośnikami, konieczne będzie dostosowanie zarówno częstotliwości podziału, jak i poziomów sygnału.

W następnym odcinku

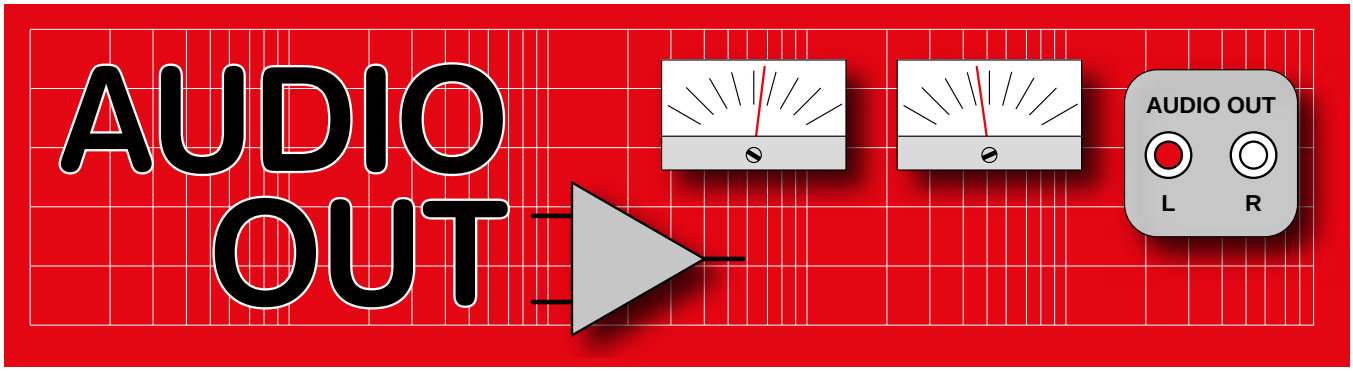
W ostatnim artykule opiszemy subwoofer o wysokiej wydajności, który można opcjonalnie połączyć z głośnikami wyposażonymi w aktywną zwrotnicę. Podłącza się go do wyjścia subwoofera we wzmacniaczu aktywnej zwrotnicy, dzięki czemu system uzyskuje rozszerzenie pasma niskich częstotliwości aż do niemal 20 Hz.

Zdecydowanie zalecamy włączenie tego subwoofera jako integralnej części systemu, choć oczywiście możliwe jest również korzystanie z aktywnych głośników monitorujących bez niego. ■

Phil Prosser

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

eprasa.pl 041f57c630



Transformatory w elektroakustyce, część 1

Transformator zawsze odgrywał w elektroakustyce ważną rolę – poczynając od pierwszych systemów telefonicznych u zarania techniki audio aż po najnowocześniejsze studyjne przetworniki cyfrowo-analogowe.

Zasada działania transformatora wywodzi się bezpośrednio z prawa indukcji elektromagnetycznej Faradaya z 1831 roku, które mówi, że napięcie jest proporcjonalne do szybkości zmian strumienia magnetycznego

$$U = \frac{d\emptyset}{dt}$$

gdzie ∅ jest strumieniem magnetycznym. Faraday zbudował potem pierwszy transformator – z dwoma zwojami drutu izolowanego bawełną, nawiniętymi na żelazny pierścień (podobny do tego na **rysunku 1**). Używał go jednak wyłącznie do demonstrowania skoków igły magnetycznej w kompasie. Typowe działanie transformatora, wykorzystujące indukcję wzajemną, zostało przedstawione dopiero około 1836 roku. Wciąż nie mogę wyjść z podziwu, gdy w nowoczesnym wzmacniaczu Hi-Fi widzę transformator toroidalny (**rysunek 2**). To jeden z najstarszych i najmniej podlegających zmianom podzespołów elektronicznych. Nadal jest produkowany i stosowany, choć minęły niemal dwa wieki od jego wynalezienia. Do zasilania urządzeń elektroakustycznych stosuje się transformatory toroidalne ze względu na niski poziom emitowanych przez nie zakłóceń. Co prawda znacznie tańsze i mniejsze są (na ogół) zasilacze impulsowe powszechnego zastosowania, ale mają krótką żywotność i oprócz przydźwięku sieciowego „sieją" zakłóceniami o wielkiej częstotliwości.

Pamiętajmy, że określenie „transformator audio" może oznaczać jeden z dwóch podstawowych rodzajów tych elementów. W zasilaczach znajdują się „transformatory sieciowe", ale istnieją też „transformatory sygnałowe" i mogą to być zarówno małe transformatory wejściowe, jak i duże transformatory wyjściowe wzmacniaczy mocy. Omówimy oba typy.

Nie ma alternatywy

Nowoczesne transformatory audio (niskiej częstotliwości) są nadal wykonywane z miedzi, żelaza i niklu, a ich koszt produkcji generalnie odzwierciedla wzrosty i spadki cen tych surowców. Transformatory są duże i ciężkie. Szefowie firm elektronicznych uważają je za anachronizm, który należy wyeliminować, i preferują elementy półprzewodnikowe, wytwarzane masowo, podlegające niewielkim wahaniom cen. Inżynierowie elektroakustycy cenią sobie jednak zaletę całkowitej izolacji elektrycznej, jaką transformatory zapewniają między obwodem pierwotnym a wtórnym. Izolacja eliminuje ryzyko powstawania zakłóceń, pętli mas, a także lawinowych uszkodzeń bloków urządzenia (efekt domina). Byłem na wielu spotkaniach projektowych, podczas których na dźwięk słowa „transformator" padało zaraz pytanie „czy nie można tego zrobić na wzmacniaczach operacyjnych? Transoptorach? A może zasymulować charakterystykę software'owo?". Odpowiedź była zawsze taka sama: „nie bardzo". W transformatorze możemy przesyłać energię elektryczną i sygnały między blokami urządzenia za pośrednictwem obwodu



Rysunek 1. Rekonstrukcja oryginalnego transformatora Faradaya. Dwie cewki na żelaznym pierścieniu. Przewód izolowany tkaniną pochodzi spod desek podłogowych mojej plebanii z 1901 roku. Duchowni byli wówczas na bieżąco z nowościami techniki



Rysunek 2. Transformator Faradaya jest nadal stosowany, choćby w nowoczesnych wzmacniaczach audio. U góry po prawej stronie mamy toroid 28-0-28 V 100 VA we wzmacniaczu Cyrus 2 firmy Holden and Fisher

eprasa.pl 041f57c630

magnetycznego. Nie ma bezpośredniego połączenia przewodowego. Brytyjski instytut ds. zdrowia i bezpieczeństwa za element zapewniający niezawodną izolację uznaje transformator, a nie jakieś złącze krzemowe spolaryzowane zaporowo. Ponadto dopasowanie impedancji w układzie, a więc zmianę napięć i prądów, najlepiej jest osiągnąć właśnie transformatorem. Zapewnia on optymalny bilans mocy i zminimalizowanie szumów.

Liniowość (choć nie końca)

Transformatory, w przeciwieństwie do transoptorów, mają stosunkowo dobrą liniowość. Niewielkie odchyłki od liniowości – zniekształcenia typowe dla obwodów magnetycznych – tworzą specyficzne „brzmienie transformatora", charakterystyczne nasycenie, uwielbiane przez producentów muzyki elektronicznej i rozrywkowej. Rozwój cyfrowej techniki nagraniowej wyeliminował ze studia muzycznego magnetofon. Z nagrań zniknęły zniekształcenia wnoszone przez taśmę magnetyczną. Powstają one jednak nadal w transformatorach. Zjawisko to do pewnego stopnia symulują wtyczki programowe, ale chyba nie zyskały one większej popularności.

Długowieczność

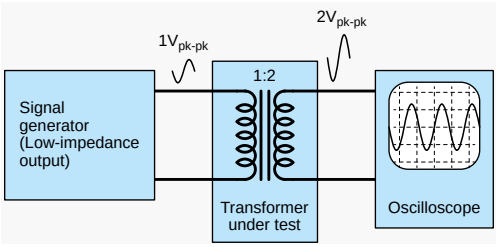
Transformatory to jedne z najtrwalszych podzespołów elektronicznych. Nie ma w nich zbyt wielu rzeczy, które mogłyby się zepsuć – z wyjątkiem przerwania lub zwarcia drutu, ale to można zwykle naprawić przewinięciem uzwojenia. Jest jednak wyjątek w postaci transformatora z wewnętrznym jednorazowym bezpiecznikiem termicznym, ukrytym wewnątrz uzwojenia. Takie transformatory mają krótką żywotność. Przez nie na wysypiska śmieci trafia więcej transformatorów niż czegokolwiek innego. Dobrą cechą jest to, że transformatory są wykonane z metalu i nadają się do recyklingu. Zawsze mnie zaskakuje jak wiele gotówki dostaję co kilka lat od handlarzy złomem za stertę niedziałających urządzeń mojej produkcji.

Całkiem często spotyka się stare wzmacniacze, w których wymieniono wszystkie części – z wyjątkiem transformatorów i elementów metalowych. Każdy transformator ze starego urządzenia – toroidalny sieciowy czy sygnałowy – zawsze staram się użyć ponownie.

Strona pierwotna i wtórna

W odróżnieniu do większości półprzewodników transformator jest podzespołem o działaniu prostym, a jego konstrukcja i zastosowania są powtarzalne, skalowalne i opisane prostą matematyką. Jak w większości wynalazków pochodzących z XIX. wieku, działanie transformatora jest opisywane przez klasyczne prawa fizyki, a nie mechanikę kwantową jak w przypadku półprzewodników. Jest to jakby elektryczna wersja skrzyni biegów – napięcie można traktować jak prędkość, a prąd jak moment obrotowy. Kiedy zmieniasz bieg w samochodzie, znajdujesz optymalne „dopasowanie impedancji" między prędkością obrotową silnika a prędkością jazdy. Podobnie jak w przypadku przełożenia w skrzyni biegów, transformator ma pewną **przekładnię napięciową**, określoną przez **stosunek liczby zwojów** obu uzwojeń. Transformator z dwukrotnie większą liczbą zwojów po stronie wtórnej niż pierwotnej będzie podwajał napięcie. Stosunek liczby zwojów – istotny parametr transformatora – wynosi w tym przypadku 1:2. Nie ma jednak nic za darmo, dotyczy to też energii, więc prąd po stronie wtórnej będzie odpowiednio mniejszy (w tym przypadku ponad dwukrotnie) niż po stronie pierwotnej. Sprawność przenoszenia energii w małych transformatorach sieciowych dobrej jakości jest wysoka i wynosi zazwyczaj ponad 90%. W przypadku bardzo dużych transformatorów sieciowych o mocy rzędu megawatów, ich sprawność zbliża się do 99,75%, co czyni je najbardziej wydajnymi ze wszystkich maszyn.

Uzwojenie wejściowe transformatora nazywamy **pierwotnym**, a wyjściowe – **wtórnym**.



Rysunek 3. Wyznaczanie stosunku ilości zwojów transformatora poprzez pomiar stosunku napięć, z użyciem generatora sygnałów i oscyloskopu

Są to terminy umowne, bo transformator jest z natury dwukierunkowy i może być używany w obie strony. Należy tylko uważać na dopuszczalne wartości napięć na uzwojeniach. Jeśli transformator zwiększa napięcie, nazywany jest transformatorem **podwyższającym**, a jeśli je zmniejsza – **obniżającym**.

Obliczenie stosunku liczby zwojów jest proste. Jest to iloraz ilości zwojów uzwojenia pierwotnego n_{we} do ilości zwojów uzwojenia wtórnego n_{wy}. Transformator z 1000 zwojami w uzwojeniu pierwotnym i 100 zwojami w uzwojeniu wtórnym ma stosunek liczby zwojów 10:1. Taki sam stosunek będzie miał transformator z 50 zwojami uzwojenia pierwotnego i 5 zwojami uzwojenia wtórnego. Bezwzględna ilość zwojów zależy od zastosowania. Transformatory wysokonapięciowe i niskoprądowe, o wielkiej impedancji, zawierają tysiące zwojów cienkiego drutu. Typy wysokoprądowe i niskonapięciowe (niskoimpedancyjne) mają tylko kilkadziesiąt zwojów nawiniętych grubym drutem.



Rysunek 4. Pierwsze zastosowania transformatorów w elektroakustyce miały miejsce w aparatach telefonicznych. Transformatory były w nich używane jeszcze całkiem niedawno. Na zdjęciu: aparat British Telecom z 1981 roku. Transformator służył do dopasowania impedancji i częściowej eliminacji dźwięku lokalnego (własnego głosu w słuchawce)

eprasa.pl 041f57c630

Nie będzie dla nikogo zaskoczeniem, że stosunek liczby zwojów „z” jest równy przekładni napięciowej transformatora. Jest on zarazem odwrotnością przekładni prądowej:

$$z = \frac{n_{we}}{n_{wy}} = \frac{U_{we}}{U_{wy}} = \frac{I_{wy}}{I_{we}}$$

Z powyższego wzoru wynika, że

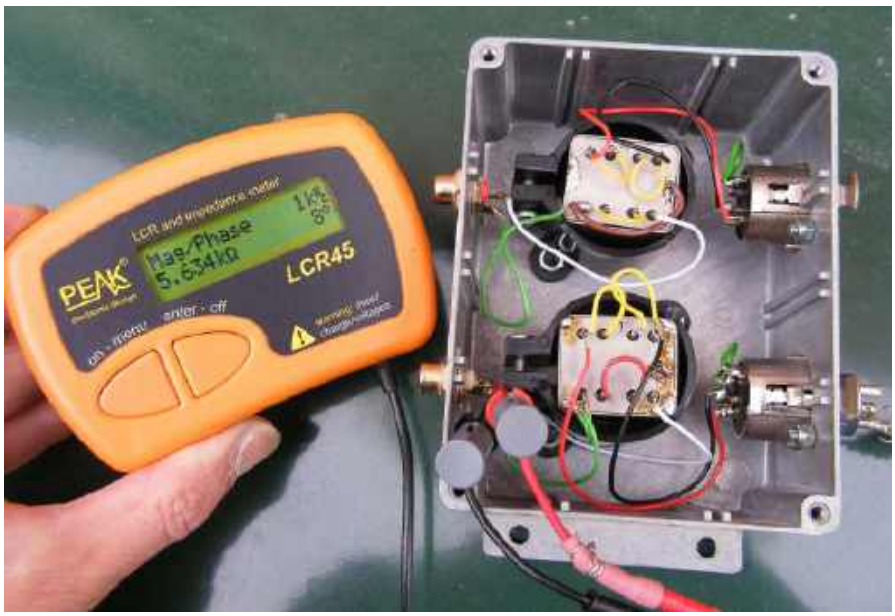
$$U_{we} \times I_{we} = U_{wy} \times I_{wy}$$

co potwierdza fakt, że w transformatorze (idealnym) moc w uzwojeniu pierwotnym jest równa mocy w uzwojeniu wtórnym.

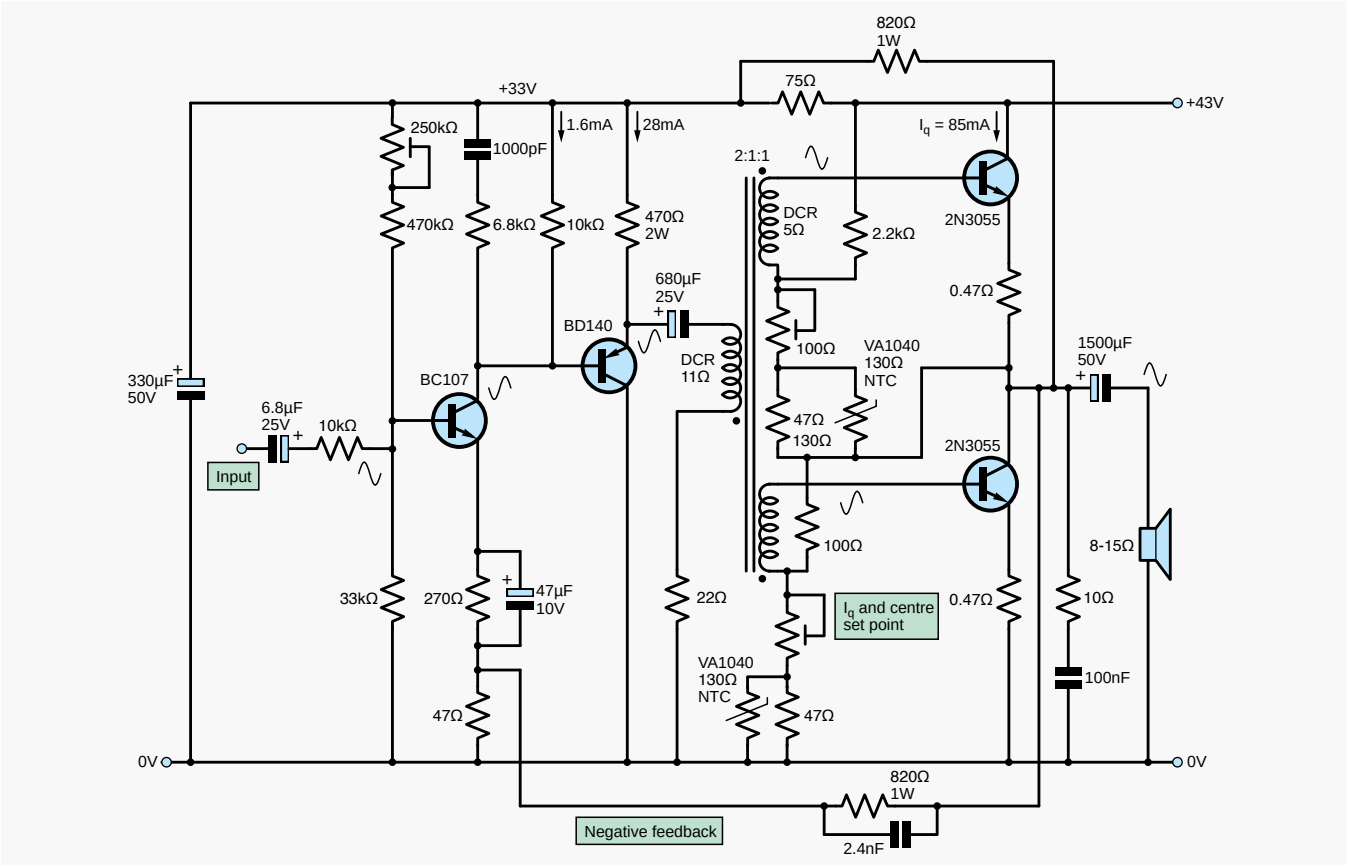
Współczynnik impedancji i dopasowanie impedancji

Stosunek liczby zwojów i przekładnia napięciowa to pojęcia proste do zdefiniowania i zrozumienia. Ich wartości można łatwo ustalić poprzez sprawdzenie stosunku napięć, używając generatora sygnału i oscyloskopu, jak pokazano na **rysunku 3**. Można również sprawdzać stosunek prądów, który jest odwrotnie proporcjonalny do stosunku liczby zwojów, ale pomiar prądów jest zwykle mniej wygodny niż pomiar napięć.

Istnieje jeden istotny parametr, nieco trudniejszy do zrozumienia i przeanalizowania – współczynnik impedancji. Jest on równy stosunkowi liczby zwojów podniesionemu do kwadratu. Pamiętaj, aby podnieść do kwadratu obie strony tego stosunku, nawet jeśli jedna z nich wynosi 1. Parametr ten zasadniczo reprezentuje pozorną zmianę impedancji przy przejściu od jednego obwodu do drugiego, gdy są one połączone transformatorem. Dzięki transformatorowi impedancje wejściowe i wyjściowe

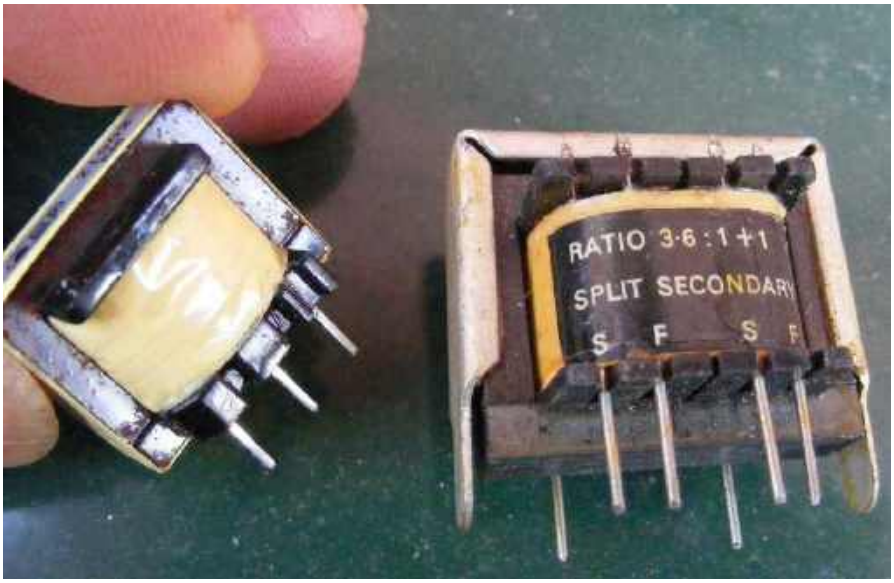


Rysunek 5. Do sprawdzania działania transformatora bardzo się przydaje miernik impedancji. Na zdjęciu: układ z transformatorem 14:1 (Vigortronix VTX-101-003), przekładający małą impedancję (22 Ω) wyjścia przetwornika gramofonowego z ruchomą cewką na impedancję 5 kΩ



Rysunek 6. Układ z transformatorem sterującym stopień wyjściowy „push-pull” w klasycznym tranzystorowym wzmacniaczu audio Rogers Ravensbrook z końca lat 60. Transformatorowy rozdzielacz fazy umożliwia stosowanie tranzystorów mocy o tylko jednej polaryzacji (NPN). Wzmacniacz ten brzmiał doskonale z głośnikami LS3/5A o impedancji 15 Ω

eprasa.pl 041f57c630



Rysunek 7. Transformatory sterujące: jeden z odczepem środkowym i jeden z uzwojeniami dzielonymi. Przeznaczone do stopni wyjściowych „push-pull" wzmacniaczy bez transformatora wyjściowego, takich jak wspomniany wcześniej Ravensbrook

układów można do siebie dopasowywać w zależności od potrzeb. W elektroakustyce ma to wielkie znaczenie, ponieważ pozwala dopasować wyjście wzmacniacza do obciążenia (np. głośnika) albo wyjście przetwornika (np. mikrofonu) do wejścia wzmacniacza. Ale dlaczego jest to tak przydatne i co rozumiemy przez dopasowanie?

Jeśli chodzi o podłączenie wzmacniacza do głośnika, transformatory były pierwotnie używane we wzmacniaczach lampowych. Wzmacniacze te wytwarzały zwykle sygnał o wysokim napięciu, ale niskim prądzie, co oznaczało, że miały dużą impedancję wyjściową. Natomiast głośniki działają z wysokimi prądami i niskimi napięciami, więc reprezentują małą impedancję. W oczywisty sposób zachodziło niedopasowanie impedancji między wyjściem wzmacniacza lampowego a głośnikiem. Wynikało z tego, że oba elementy były źle dopasowane pod względem przenoszenia mocy. Optymalne przenoszenie mocy wymaga, aby impedancja wzmacniacza i impedancja głośnika były takie same. Transformator sprawia, że z punktu widzenia głośnika wyjście wzmacniacza wydaje się mieć niską impedancję – i odwrotnie, głośnik widziany przez wzmacniacz zdaje się mieć impedancję wysoką. Przy odpowiednio dobranym stosunku liczby zwojów (a więc stosunku impedancji) oba elementy mogą być do siebie doskonale dopasowane.

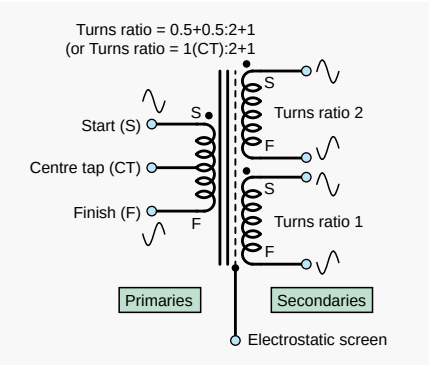
W przypadku dopasowywania przetworników do wejść wzmacniaczy postępujemy odwrotnie – mała impedancja wyjściowa np. mikrofonu jest dopasowywana do dużej impedancji wejściowej wzmacniacza. Wtedy nie tylko polepsza się przenoszenie mocy, ale – co ważniejsze – poprawie ulega stosunek sygnału do szumu (SNR), ponieważ impedancja źródła sygnału widziana przez wzmacniacz zbliża się do takiej wartości, dla której ma on najmniejsze szumy.

Przykładem dopasowywania impedancji jest dawny system telefonii, w których w celu zminimalizowania strat należało dopasować małą impedancję mikrofonów węglowych do dużej impedancji długich linii telefonicznych. Na drugim końcu linii również był transformator, dopasowujący jej impedancję do małej impedancji słuchawki. Transformator blokował przy okazji prąd stały. **Rysunek 4** przedstawia transformator stosowany w telefonie British Telecom z 1981 roku.

Współczynnik impedancji można wyliczyć z dobrym przybliżeniem ze stosunku liczby zwojów. Aby jednak zapewnić optymalne warunki pracy układu, należy brać pod uwagę rzeczywistą, nieidealną charakterystykę transformatora. Zagadnieniem tym zajmiemy się za miesiąc. Bardzo skutecznym sposobem wyznaczenia współczynnika impedancji jest posłużenie się specjalnym miernikiem impedancji, takim jak Peak LCR45 pokazany na **rysunku 5**.

Więcej uzwojeń

Liczba uzwojeń transformatora nie musi być ograniczona do dwóch. Większość typów ma cztery uzwojenia: dwa pierwotne i dwa wtórne. Daje to więcej użytecznych kombinacji. Na przykład w transformatorach sieciowych można połączyć dwa uzwojenia pierwotne szeregowo w celu dostosowania



Rysunek 8. Faza uzwojenia jest oznaczona kropką lub literą S (początek) ew. literą F (koniec)

się do napięcia 220…240 V lub równolegle dla napięcia 110…120 V. Uzwojenia wtórne można połączyć ze sobą szeregowo, aby uzyskać dwukrotnie większe napięcie (z odczepem pośrodku), lub równolegle, aby móc czerpać dwukrotnie większy prąd. W przypadku elektroakustycznych transformatorów sygnałowych, dwa uzwojenia po stronie wtórnej pozwalają zrealizować dwa źródła sygnału będące w przeciwfazie. Często nazywa się to „podziałem fazy". W dawnych konstrukcjach wzmacniaczy miało to kluczowe znaczenie, bo można było zrealizować wyjście przeciwsobne (push-pull), używając lamp elektronowych albo tranzystorów o tylko jednym typie polaryzacji. Przykład takiego wzmacniacza z samymi tranzystorami NPN w stopniu mocy pokazano na **rysunku 6**. Należy pamiętać, że rozdzielacz fazy to nie to samo, co transformator wyjściowy, służący do dopasowania impedancji wzmacniacza i głośników. Kilka transformatorów sterujących stosowanych do podziału fazy widzimy na **rysunku 7**.

Kropka nad i

Na schematach początek każdego uzwojenia transformatora oznacza się kropką. Tak oznaczone zaciski mają zgodną fazę. Spotyka się również oznaczenia „S" i „F" odpowiednio przy początku i końcu uzwojenia. Pokazano to na **rysunku 8**.

Za miesiąc

W części 2. artykułu przeanalizujemy układ równoważny transformatora. Pomoże nam to projektować układy uwzględniające jego nieidealną charakterystykę. ■

Jake Rothman

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

eprasa.pl 041f57c630

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.



Multimetr jest tak samo niezbędny dla hobbysty elektroniki jak lutownica. W tym obszernym artykule omawiamy rodzaje, parametry i konstrukcję tych urządzeń.

Co to jest multimetr?

Multimetr analogowy, zwany również miernikiem uniwersalnym lub miernikiem AVO, to wskazówkowy przyrząd pomiarowy umożliwiający pomiar różnych wielkości elektrycznych. Jego wynalezienie przypisuje się brytyjskiemu inżynierowi Donaldowi Macadie, który – zmęczony koniecznością noszenia wielu oddzielnych przyrządów – w 1927 roku zaprojektował urządzenie zdolne do pomiaru napięcia, prądu i rezystancji.

Pierwszy multimetr cyfrowy został wprowadzony na rynek w 1955 roku przez amerykańską firmę Non Linear Systems. Było to ciężkie, nieporęczne urządzenie stacjonarne. Natomiast pierwszy ręczny multimetr cyfrowy opracowała firma Intron Electronics – trafił on do sprzedaży około 1977 roku.

Rodzaje multimetrów

Współczesne multimetry cyfrowe mierzą znacznie więcej niż A(mpery), V(olty) i O(my). Nowoczesna technika zapewnia możliwość wyboru spośród wielu wersji i setek typów takich mierników. Niemniej jednak, wszystkie te przyrządy można podzielić na dziewięć kategorii:

- multimetry obsługiwane ręcznie,
- multimetry półautomatyczne (z automatycznym przełączaniem zakresów),
- multimetry w pełni automatyczne (typu smart),
- multimetry w kształcie pióra,
- multimetry stacjonarne,
- multimetry cęgowe,
- multimetry pęsetowe,
- multimetry w kształcie smartfonu,
- multimetry graficzne,

Przykładowe multimetry cyfrowe są pokazane na kolejnym zdjęciu:



Słynny analogowy Model 8 AVO (© Peter Vis)

eprasa.pl 041f57c630



Dziewięć rodzajów multimetrów (© 2023 Jos Verstraten)

Multimetry obsługiwane ręcznie

Ten typ multimetru charakteryzuje się dużym przełącznikiem obrotowym z wieloma pozycjami – czasem nawet ponad trzydziestoma. Każda pozycja odpowiada konkretnemu zakresowi pomiarowemu. Podczas obsługi takiego multimetru należy zawsze zwracać uwagę na to, czy przełącznik obrotowy jest ustawiony we właściwej pozycji.

Ponieważ tego typu przełączniki nie są produkowane jako elementy standardowe, a zaprojektowanie i wykonanie ich specjalnie dla jednego modelu multimetru byłoby zbyt kosztowne, przełączniki obrotowe do multimetrów mają postać miedzianych pól stykowych i okręgów, utworzonych na płytce drukowanej metodą trawienia. W części ruchomej przełącznika obrotowego znajduje się kilka styków ślizgowych, które łączą segmenty okręgów z polami stykowymi, odpowiednimi dla każdej pozycji przełącznika. Na poniższym zdjęciu pokazany jest tego typu przełącznik. Słabym punktem takiej konstrukcji jest pogarszający się z biegiem czasu kontakt między ścieżkami na płytce drukowanej a stykami ślizgowymi. W droższych modelach ścieżki i styki ślizgowe są pozłacane, aby poprawić ich niezawodność.



Multimetry obsługiwane ręcznie (© AliExpress)



Konstrukcja przełącznika zakresów (© 2023 Jos Verstraten)

Multimetr półautomatyczny (z automatycznym przełączaniem zakresów)

Auto-ranging to funkcja, dzięki której urządzenie automatycznie wybiera właściwy zakres pomiarowy dla wcześniej wybranej wielkości. Oznacza to, że za pomocą przełącznika obrotowego trzeba ręcznie wybrać mierzoną wielkość, a miernik sam dokona pozostałych ustawień. Gdy mierzona wartość nagle się zmieni, multimetr automatycznie dostosuje zakres pomiarowy do nowej sytuacji, aby zachować możliwie najwyższą dokładność pomiaru.

Na rysunku przedstawiony jest przykładowy miernik półautomatyczny. Widać, że przełącznik obrotowy ma tylko dziewięć pozycji, co sprawia, że obsługa przyrządu jest prostsza, zaś możliwość popełniania błędów została zminimalizowana.

Niektóre multimetry z automatycznym przełączaniem zakresów pomiarowych są wyposażone w przycisk „RANGE". Z jego pomocą można ręcznie ustawić wymagany zakres pomiarowy.

Multimetr w pełni automatyczny (smart)

W kolejnej kategorii mierników automatyzacja poszła o krok dalej. Nie tylko zakresy, ale także funkcje pomiarowe są ustawiane przez urządzenie. Tak przynajmniej twierdzą reklamodawcy inteligentnych multimetrów. W praktyce funkcja ta działa tylko fragmentarycznie i dość zawodnie. Jeśli do przewodów pomiarowych multimetru zostanie doprowadzone napięcie stałe, napięcie przemienne lub zostanie podłączony rezystor, urządzenie bez trudu to wykryje i włączy odpowiednią funkcję pomiarową. W przypadku wszystkich innych wielkości, takich jak pojemność lub częstotliwość, nadal niezbędne



Multimetr z automatycznym przełączaniem zakresów pomiarowych (© Fluke)



W pełni automatyczny multimetr cyfrowy (© Mustek)

eprasa.pl 041f57c630

są ustawienia ręczne. Ponieważ multimetr jest najczęściej używany do pomiaru napięcia i rezystancji, taki poziom automatyzacji jest zazwyczaj wystarczający.



Typowy multimetr w kształcie pióra (© Zangzhou)

Multimetr w kształcie pióra

Obecnie elementy montowane na płytkach drukowanych stały się tak małe, że nie jest możliwe posługiwanie się zwykłymi przewodami pomiarowymi. Ponadto istnieje problem wynikający z konieczności częstego przerzucania wzroku między płytką drukowaną a wyświetlaczem miernika. Aby rozwiązać te problemy wynaleziono multimetr w kształcie pióra. Taki miernik ma tylko jeden przewód pomiarowy, służący do połączenia z masą testowanego układu. Drugą sondę stanowi igła, będąca integralną część miernika. Takie mierniki mają zawsze funkcję automatycznego przełączania zakresów. Za pomocą pokrętła ustawia się ręcznie mierzoną wartość, zakresy przełącza przyrząd. Ze względu na małe rozmiary i kształt takich mierników można jednocześnie obserwować położenie igły pomiarowej i wyświetlacz z wynikiem pomiarów. Dzięki temu prawdopodobieństwo, że igła ześlizgnie się z punktu pomiarowego jest znacznie mniejsze niż w klasycznych miernikach. Większość mierników w kształcie pióra ma ograniczony wybór mierzonych wielkości. Prawie nigdy nie można nimi mierzyć natężenia prądu.

Multimetr stołowy

Przyrządy te są większymi wersjami multimetrów ręcznych i mają tą zaletę, że są solidnie wykonane i stabilnie stoją na stole warsztatowym. Ze względu na ich rozmiary możliwe jest użycie dużego, czytelnego wyświetlacza, zaś przyciski i przełączniki są łatwo dostępne.

Dodatkowym elementem wyposażenia jest regulowany uchwyt, pozwalający na wygodne przenoszenie miernika. Po ustawieniu przyrządu na stole uchwyt można obrócić tak, by płyta czołowa była ustawiona skośnie. Dzięki temu obsługa miernika staje się jeszcze łatwiejsza.

Często wymiary obudów multimetrów stołowych są dostosowane do wymiarów generatorów funkcyjnych, mierników RLC i zasilaczy. W rezultacie możliwe jest ustawianie urządzeń jedno na drugim.

Dzięki ekstremalnej miniaturyzacji nowoczesnych układów elektronicznych, obudowy multimetrów stołowych są w dużej mierze puste. Niektórzy producenci wykorzystują tą przestrzeń jako schowek na sondy pomiarowe.

Większość multimetrów stacjonarnych zawiera bezpiecznik chroniący miernik przed uszkodzeniem na najwyższym zakresie prądowym. Jest on umieszczony w gnieździe dostępnym z zewnątrz. W razie przypadkowego przepalenia tego bezpiecznika nie trzeba rozkręcać obudowy by go wymienić.

Wśród multimetrów stołowych można znaleźć zarówno urządzenia ze sterowaniem ręcznym jak i półautomatycznym. Dużą różnicą w stosunku do małych multimetrów przenośnych jest to, że urządzenia stołowe nie zawierają przełączników obrotowych, lecz są obsługiwane za pomocą przycisków. Niektórzy z użytkowników uważają, że jest to znacznie wygodniejsze i bardziej przejrzyste w obsłudze.

Kolejną istotną różnicą jest to, że wszystkie multimetry stołowe są zasilane z sieci energetycznej, choć niektóre modele mają wbudowane baterie lub akumulatory do pracy w terenie.

Multimetr cęgowy

Pomiar natężenia prądu za pomocą klasycznych multimetrów wymaga przerwania obwodu, w którym ten prąd płynie. Amperomierz jest włączany szeregowo w miejscu, w którym obwód został przerwany. Jest to uciążliwe, a czasami nawet niemożliwe do wykonania.

Aby rozwiązać ten problem stworzone zostały multimetry cęgowe. Na poniższym rysunku przedstawiony jest typowy reprezentant tej grupy multimetrów. Na bocznej ściance obudowy miernika znajdują się dwa pomocnicze złącza, które umożliwiają pomiar napięcia, rezystancji i ewentualnie pojemności kondensatorów. Pomiar natężenia prądu jest możliwy wyłącznie z użyciem cęgów, które należy otworzyć, a następnie zatrzasnąć wokół przewodu podlegającego pomiarom. Przemienny prąd elektryczny przepływający przez przewód generuje zmienne pole magnetyczne, które indukuje prąd w obwodzie zamkniętych cęgów. Ten niewielki prąd jest mierzony przez układy elektroniczne miernika.

Do pomiaru natężenia prądu stałego wykorzystywany jest czujnik Halla wbudowany w cęgi. Napięcie wychodzące z tego czujnika jest miarą natężenia prądu stałego przepływającego przez przewód podlegający pomiarom. W obu przypadkach wynik jest wyświetlany na ekranie wbudowanym w multimetr.



Dwa przykładowe multimetry stołowe (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl 041f57c630

Należy pamiętać, że przy użyciu miernika cęgowego pomiar natężenia prądu płynącego przez dwużyłowy kabel zasilający nie jest możliwy. Wynika to z faktu, że w każdej z żył tego kabla prądy płyną w przeciwnych kierunkach. Wynikowe pole magnetyczne wokół kabla jest zerowe. Dla uzyskania prawidłowych wyników cęgi muszą obejmować tylko jeden przewód z takiego kabla.



Wygląd typowego miernika cęgowego (© UNI-T)

Multimetr pęsetowy

Jest to relatywnie nowe osiągnięcie w dziedzinie multimetrów cyfrowych. Przykładowy miernik tego typu pokazano na poniższym rysunku. Za pomocą takiego przyrządu można testować wszystkie komponenty, które zmieszczą się między szczękami pęsety. Mogą to być baterie i akumulatory pastylkowe, rezystory, diody i kondensatory. W przypadku większości mierników pęsetowych nie można za ich pomocą mierzyć napięć i prądów przemiennych. Z zasady mierniki te działają w trybie automatycznego przełączania zakresów.



Multimetr pęsetowy UNI-T (© UNI-T)

Multimetr w kształcie smartfonu

Na poniższej ilustracji zaprezentowano przykładowy multimetr w kształcie smartfonu. Jest to model 683 firmy Aneng. Multimetr ma zaledwie 2,5 cm grubości, a wyświetlacz wypełnia całą powierzchnię przedniej płyty urządzenia. Podobnie jak w smartfonie zastosowano w nim ekran dotykowy.



Multimetr w kształcie smartfonu, model Aneng 683 (© Banggood)

Multimetr graficzny

Droższe wersje multimetrów mają możliwość wyświetlania danych w postaci innej niż rząd znaków alfanumerycznych. Model Fluke przedstawiony na poniższej ilustracji umożliwia rejestrację danych i ich wyświetlanie w postaci wykresów. Pozwala to na natychmiastową ocenę, jak mierzona wielkość zmienia się w funkcji czasu. Inne multimetry graficzne zawierają prosty oscyloskop. Dzięki temu na ekranie można obejrzeć kształt mierzonego przebiegu.


Przykład multimetru graficznego (© Fluke)

Inne cechy multimetrów
Wyświetlacz

W multimetrach cyfrowych stosowane są różne typy wyświetlaczy. Najprostsze z nich mają postać ekranów LCD, na których wyświetlane są tylko cztery cyfry. Najdoskonalsze z nich mają postać ekranów graficznych o wysokiej rozdzielczości, które nie tylko wyświetlają cyfry, ale także wiele innych informacji. Wyświetlacz wskazuje na przykład, do czego służą przyciski znajdujące się poniżej lub obok niego.



Przykładowe wyświetlacze stosowane w multimetrach (© 2023 Jos Verstraten)

Na poniższej ilustracji pokazane są przykładowe wyświetlacze stosowane w multimetrach. Oferta rynkowa w tej dziedzinie jest bardzo szeroka, wybór jest ogromny!

Obecnie w miernikach wyższej klasy standardem jest wyświetlanie wyników w dwóch wierszach. W pierwszym z nich, dużymi cyframi wyświetlany jest właściwy wynik, w drugim, mniejszą czcionką, wyświetlane są dodatkowe informacje. Przykładowo, w przypadku pomiarów napięcia przemiennego można odczytać nie tylko jego wartość skuteczną, ale także częstotliwość. W przypadku pomiarów napięcia stałego można odczytać wartość minimalną, maksymalną lub średnią podczas danego cyklu pomiarowego.

Drugą cechą, z którą można się spotkać w prawie wszystkich multimetrach cyfrowych jest możliwość wyświetlania zmierzonej wartości nie tylko liczbowo, ale także analogowo na skali podobnej do termometru.

eprasa.pl 041f57c630

Połączenia pomiarowe

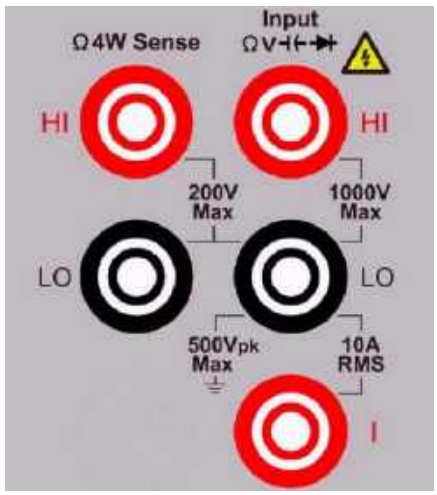
W większości multimetrów cyfrowych stosowane jest pewne standardowe rozmieszczenie gniazd pomiarowych, przedstawione na poniższej ilustracji. Należy pamiętać, że nie wszyscy producenci się do tego stosują. Typowe multimetry mają cztery gniazda o średnicy 4 mm, rozmieszczone w odległości 19 mm od siebie. Pierwsze od prawej gniazdo (inaczej niż na fotografii po prawej stronie, która pokazuje wspomniane wcześniej odstępstwo od tej reguły) w kolorze czerwonym służy do pomiaru napięcia, rezystancji, pojemności, temperatury a także do testowania diod. Kolejne, czarne gniazdo oznaczone COM jest wspólne dla wszystkich pomiarów. Dwa kolejne, również czerwone gniazda są przeznaczone do pomiaru natężenia prądu na zakresach µA/mA lub A. Jak już wcześniej opisano, niektóre multimetry stacjonarne mają wbudowane bezpieczniki, chroniące przyrząd przed uszkodzeniem podczas pomiarów natężenia prądu.



Faktyczny standard połączeń (© Adobe Stock)

Połączenia typu SENSE

Multimetry lepszej klasy mają dwa dodatkowe gniazda, stanowiące tak zwane złącza SENSE. W niektórych miernikach są one nazywane Ω4 W i są używane do pomiaru małych rezystancji metodą czteroprzewodową, do czego wrócimy w dalszej części tego artykułu. Dwa dodatkowe gniazda SENSE znajdują się zawsze obok gniazd V/Ω i COM.



Połączenia typu SENSE (© 2023 Jos Verstraten)

Funkcje multimetrów cyfrowych
Rodzaje pomiarów

Głównym zadaniem multimetrów jest dokładny pomiar jakiejś wielkości. Z biegiem lat liczba tych wielkości znacznie się rozszerzyła. Nowoczesne mierniki pozwalają mierzyć:

- napięcie stałe, w mV lub V,
- napięcie przemienne, w mV lub V,
- natężenie prądu stałego, w µA, mA lub A,
- natężenie prądu przemiennego, w µA, mA lub A,
- rezystancję, w Ω, kΩ lub MΩ,
- pojemność kondensatorów, w pF, nF, µF lub mF,
- temperaturę, w °C lub °F,
- indukcyjność, w µH lub mH,
- wzmocnienie lub tłumienie, w dB,
- częstotliwość, w Hz, kHz lub MHz,
- cykl pracy, w %.

Pomiar indukcyjności i innych parametrów cewek

Zaleźliśmy co najmniej jeden multimetr, który to potrafi, jest to model HP-770C firmy HoldPeak.

Inne funkcje pomiarowe

Prawie wszystkie multimetry cyfrowe mają dodatkowe funkcje, takie jak:

- test diody,
- test ciągłości,
- test NCV,
- test LIVE,
- test HFE,
- funkcja HOLD,
- funkcja REL,
- funkcja True-RMS,
- funkcja MIN/MAX,
- funkcja LOG,
- funkcja automatycznego wyłączania,
- funkcja podświetlenia,
- funkcja Low-Z,
- wyjście mierzonego sygnału.

Należy pamiętać, że nie wszystkie multimetry dysponują tak różnorodnymi funkcjami.

Test diody

Funkcja ta pozwala stwierdzić, czy badane diody rzeczywiście przewodzą tylko w jednym kierunku. Funkcja może być również używana do testowania diod LED. W tym przypadku bardzo ważne jest napięcie występujące między otwartymi zaciskami

eprasa.pl 041f57c630

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

multimetru. Jeśli wynosi ono tylko 2,5 V, nie można testować niektórych typów diod LED. Lepsze multimetry cyfrowe zapewniają dla tego testu napięcie o wartości 3,5 V. Dzięki temu można testować również niebieskie i ultrafioletowe diody LED.

Test ciągłości

Ten test pozwala stwierdzić, czy istnieje połączenie o niskiej rezystancji między dwoma punktami w układzie. Jeśli rezystancja jest odpowiednio niska, np. na poziomie 50 Ω, w mierniku włącza się brzęczyk. Wartość graniczna różni się w zależności od typu miernika, czasami wynosi aż 100 Ω.

Test NCV

NCV jest skrótem od Non Contact Voltage. Funkcja ta umożliwia wykrywanie kabli energetycznych umieszczonych w ścianie. Miernik reaguje na pole elektromagnetyczne powstające wokół przewodów i emituje sygnał dźwiękowy. Niektóre multimetry mierzą natężenie tego pola, lecz jest to mało użyteczne w praktyce.

Test LIVE

Funkcja ta pozwala wykryć, który z przewodów w kablu sieci 230 V AC jest przewodem fazowym, a który neutralnym. Jej działanie jest zbliżone do testera z neonówką, funkcja jest mało użyteczna w praktyce.

Test HFE

Niektóre mierniki mają gniazdo, do którego można podłączyć trzy końcówki tranzystora. Miernik wyświetla współczynnik wzmocnienia prądowego h12e badanego elementu. Jest to jedynie wartość orientacyjna, przydatna do celów porównawczych, gdyż wielkość tego parametru zależy od wielu czynników.

Funkcja HOLD

Po naciśnięciu tego przycisku na wyświetlaczu pozostanie aktualnie zmierzona wartość.

Funkcja REL

Jest to przydatna funkcja, zapisująca aktualnie zmierzoną wartość w pamięci multimetru i odejmująca ją od wszystkich kolejnych pomiarów. Po naciśnięciu tego przycisku odczyt zostaje wyzerowany. Funkcji tej można użyć na przykład do kompensacji rezystancji przewodów podczas pomiaru bardzo niskich rezystancji.

Funkcja True-RMS

Funkcja ta pozwala na pomiar wartości skutecznej napięcia przemiennego. Z definicji odpowiada takiej wartości napięcia stałego, przyłożonego do czysto rezystancyjnego obciążenia, która powoduje wydzielenie identycznej energii cieplnej w jednostce czasu co mierzone napięcie przemienne.

Funkcja MIN/MAX

Ta funkcja zapisuje minimalne i maksymalne wartości pomiarów w pamięci przyrządu i po naciśnięciu przycisku pokazuje je na wyświetlaczu. Za pomocą tej funkcji można na przykład sprawdzić minimalne i maksymalne wartości napięcia sieciowego w ciągu jakiegoś okresu czasu. Multimetr musi być cały czas włączony, funkcja ta jest aktywna tylko na czas bieżącego cyklu pomiarowego.

Funkcja LOG

Multimetr co określoną liczbę sekund lub minut zapisuje zmierzoną wartość w swojej pamięci. Zapisane wartości pomiarowe mogą być następnie wyświetlane na ekranie w formie wykresu lub tabeli.

Funkcja automatycznego wyłączania multimetru

Po aktywacji tej funkcji multimetr wyłączy się po określonym czasie, jeśli jego układ pomiarowy nie wykryje żadnej aktywności. Dzięki tej funkcji bateria multimetru nie rozładuje się, gdy zapomnimy wyłączyć multimetr po wykonaniu zaplanowanych pomiarów.

Funkcja podświetlenia

Wyświetlacz LCD zostaje podświetlany, co ułatwia odczyt wyników pomiarów nawet w ciemności.

Funkcja Low-Z

Funkcja ta jest używana podczas pomiaru napięć przemiennych w przewodach sieci 230 V AC. Zasadniczo, podczas pomiaru napięcia multimetr powinien mieć możliwie najwyższą rezystancję wejściową (wyjaśnienie w dalszej



Funkcja LOG w multimetrze XDM1041 (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl 041f57c630

części tego artykułu). Jeśli jednak taki miernik zostanie użyty do pomiaru napięcia przemiennego w przewodzie, który nie jest do niczego podłączony, należy się spodziewać niezerowych wyników. Zmierzone napięcie jest skutkiem sprzężenia indukcyjnego i/lub pojemnościowego tego przewodu z przewodami pod napięciem biegnących równolegle. Może to być mylące dla operatora: „Dlaczego widzę napięcie na tym przewodzie? Myślałem, że go odłączyłem!". Niektóre multimetry mają przycisk Low-Z. Jego naciśnięcie powoduje znaczne zmniejszenie rezystancji wejściowej woltomierza, by uniknąć zjawiska opisanego powyżej.

Przycisk ten należy wciskać tylko wtedy, gdy jest to konieczne. W ten sposób uniknie się rozpraszania dużej energii cieplnej wewnątrz miernika. Dla informacji, te pozorne, indukowane napięcia nazywane są fantomowymi.

Parametry określające jakość multimetru
Informacje zawarte w danych technicznych multimetrów

Do porównania jakości multimetrów potrzebna jest pewna liczba dobrze zdefiniowanych parametrów, niebudzących wątpliwości co do ich znaczenia. Parametry te są wymieniane w danych technicznych multimetrów. Jest ich wiele, a najważniejsze z nich to:

- liczba wyświetlanych cyfr,
- maksymalna wartość wskazań,
- precyzja,
- rozdzielczość,
- dokładność,
- częstotliwość próbkowania,
- rezystancja wejściowa przy pomiarach napięcia,
- pojemność wejściowa przy pomiarach napięcia przemiennego,
- zakres częstotliwości przy pomiarach napięcia przemiennego,
- współczynnik szczytu przy pomiarach true-RMS,
- spadek napięcia przy pomiarach natężenia prądu,
- współczynnik tłumienia składowej wspólnej.

Liczba wyświetlanych cyfr

Liczba wyświetlanych cyfr oznacza liczbę pól odczytowych, dostępnych na wyświetlaczu multimetru. Jeśli na skrajnym lewym polu można wyświetlać tylko jedną cyfrę, jest ono określane jako ½ cyfry. Tak więc miernik z wyświetlaczem o wartości maksymalnej równej 9999 jest przyrządem czterocyfrowym, podobny miernik z wyświetlaczem o wartości maksymalnej równej 1999 jest przyrządem 3½ cyfrowym. Istnieją również mierniki, w których na lewym polu odczytowym mona wyświetlać cyfry 0, 1, 2 i 3. Taki miernik wyświetla wartość maksymalną równą 3999 i jest nazywany przyrządem 3¾ cyfrowym.

Maksymalna wartość wskazań

Parametr ten określa największą liczbę, jaką można odczytać z wyświetlacza. Miernik z maksymalnymi wskazaniami 9999 ma większe możliwości pomiarowe niż miernik z maksymalnymi wskazaniami 1999. Za pomocą pierwszego z nich można mierzyć napięcia dochodzące do 9,999 V z rozdzielczością 1 mV, a za pomocą drugiego z nich można to robić tylko do napięcia 1,999 V. W przypadku niektórych mierników maksymalna wartość wskazań zależy od mierzonej wielkości. Na przykład, miernik 3¾ cyfrowy może mierzyć napięcie ze wskazaniami do 3999 a częstotliwość ze wskazaniami do 9999.

Precyzja

Precyzja jest zdolnością multimetru cyfrowego do wielokrotnego pomiaru identycznej wielkości, co zawsze powinno skutkować takim samym wynikiem. Wydaje się to oczywiste, ale nie zawsze tak jest. Precyzja multimetru zależy od jego długoterminowej stabilności, od podatności na oddziaływania zewnętrzne, takie jak zmiany wilgotności i temperatury miernika.

Rozdzielczość

Przez rozdzielczość miernika należy rozumieć najmniejszą zmianę wartości mierzonej, która jeszcze może być odnotowana. Przykładowo, podczas pomiaru napięcia za pomocą miernika z wyświetlaczem 4999, z zakresem ustawionym na 5 V można uzyskać rozdzielczość równą 1 mV.

Dokładność

Dokładność multimetru odnosi się do największego możliwego błędu, jaki może wystąpić podczas pomiarów. Jest wyrażana w procentach i określa, jak daleko od rzeczywistej wartości odbiega wynik pomiarów. Ponieważ zmierzona wartość może być niższa lub wyższa od wartości rzeczywistej, oznaczenie dokładności jest zawsze poprzedzone znakiem ±.



Trzy wyświetlacze ze wskazaniami do 1999, 3999 i 9999 (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl 041f57c630

Przykładowo, wskazania multimetru o dokładności ±1% mierzącego napięcie o rzeczywistej wartości równej 1 V będą mieścić się w zakresie od 0,990 V do 1,010 V.

Czasami podczas określania dokładności multimetru, do wartości procentowej dodawana jest liczba wyświetlanych cyfr. Nazywa się to błędem statycznym. Przykładowo, dokładność przyrządu czterocyfrowego z wyświetlaczem 2999 jest określana jako ±(2% + 2). Wtedy podczas pomiarów napięcia o rzeczywistej wartości równej 100,00 V wyświetlana wartość powinna mieścić się w zakresie od 097,8 V do 102,2 V.

Dokładność multimetru nie jest identyczna dla wszystkich wielkości pomiarowych. Jako przykład podajemy określone dokładności multimetru FNIRSI S1:

- napięcie stałe: ±(0,8% + 3),
- napięcie przemienne: ±(0,8% + 3),
- rezystancja: ±(1,2% + 3),
- częstotliwość: ±(0,1% + 3),
- temperatura: ±(5% + 4).

Związek między rozdzielczością a dokładnością

Te dwa pojęcia bywają używane zamiennie. Jest to błędne podejście, jednak między nimi istnieje pewien związek. Załóżmy, że posiadany miernik ma dokładność ±1%. Podczas pomiaru napięcia o rzeczywistej wartości równej 100 V zmierzona wartość powinna mieścić się w zakresie od 99 V do 101 V. W tym przykładzie pomiar z rozdzielczością 1 mV nie ma sensu, gdyż margines błędu wynosi aż 2 V.

Jedyną sytuacją, w której ta wysoka rozdzielczość może być przydatna jest próba porównania dwóch napięć lub analiza zmian wartości napięcia w funkcji czasu lub temperatury. W przypadku określania wartości bezwzględnej napięcia wysoka rozdzielczość nie odgrywa żadnej roli.

Częstotliwość próbkowania

Miernik cyfrowy musi konwertować wielkość analogową na wartość liczbową. Odbywa się to przez pobranie ciągu próbek mierzonej wielkości i przekształcenie go w ciąg wartości liczbowych. Proces konwersji pojedynczej próbki zajmuje określony czas. Dlatego multimetr może pobierać tylko ograniczoną liczbę próbek w określonym przedziale czasowym. Ta właściwość multimetru nazywana jest częstotliwością próbkowania. Większość multimetrów ma częstotliwość próbkowania od 2 do 5 próbek na sekundę.

Rezystancja wejściowa podczas pomiarów napięcia stałego

Jest to jeden z najważniejszych parametrów multimetru. Rezystancja wejściowa woltomierza w dużej mierze decyduje o tym, czy napięcie zmierzone w danym punkcie układu jest równe napięciu bez podłączonego miernika. Rozpatrzmy to zjawisko na przykładzie pokazanym na rysunku. Na kolektorze tranzystora T1 panuje napięcie równe 5 V. Układ jest zasilany napięciem o wartości 10 V a rezystancja w obwodzie kolektora wynosi 50 kΩ. Sytuacja ta została naszkicowana po lewej stronie rysunku. Z tych danych wynika, że zastępcza rezystancja tranzystora również wynosi 50 kΩ. Teraz należy zmierzyć napięcie na kolektorze tranzystora za pomocą multimetru o rezystancji wewnętrznej 1 MΩ. Sytuacja ta została naszkicowana po prawej stronie rysunku. Równolegle do tranzystora jest teraz podłączony miernik o rezystancji 1 MΩ.

Rezystancja zastępcza tych dwóch elementów połączonych równolegle wynosi 47,62 kΩ. Dzielnik napięcia wygląda teraz inaczej. Górny rezystor pozostaje bez zmiany, a dolny zmniejsza swoją rezystancję do 47,62 kΩ. Oznacza to, że rozkład napięcia również się zmienia. Spadek napięcia na górnym rezystorze wynosi teraz 5,122 V, a na dolnym 4,878 V.

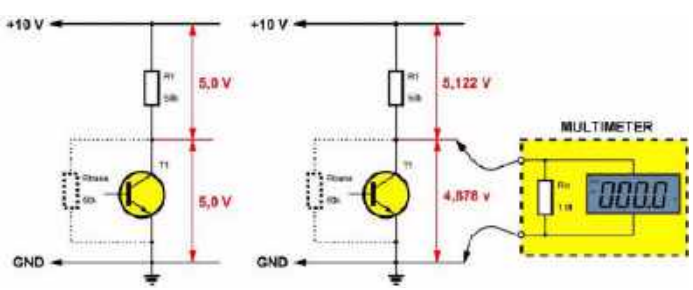
W wyniku podłączenia multimetru do kolektora tranzystora T1 napięcie na nim spada od wartości 5,0 V do 4,878 V. Nie ma więc sensu projektować woltomierza o rezystancji wejściowej równej 1 MΩ, o dokładności ±0,1%. Dokładność pomiaru i tak jest tracona z powodu niskiej rezystancji wejściowej miernika.

Wniosek z tego przykładu jest taki, że woltomierz o wysokiej rozdzielczości i równie wysokiej dokładności powinien mieć możliwie największą rezystancję wejściową. Większość tanich multimetrów ma rezystancję wejściową rzędu 10 MΩ. W powyższym przykładzie napięcie zmierzone na kolektorze tranzystora T1 byłoby równe 4,987 V. Stanowi to dużą poprawę dokładności pomiaru.

Profesjonalne multimetry, takie jak Fluke 8842A z wyświetlaczem 199999 i dokładnością ±0,01%, mają jeszcze wyższą rezystancję wejściową, a mianowicie 10000 MΩ! Przy niższej wartości rezystancji tak wysoka rozdzielczość i dokładność byłaby bezużyteczna.

Pojemność wejściowa przy pomiarach napięcia przemiennego

Podczas pomiarów napięcia przemiennego należy pamiętać, że między wejściem multimetru a zaciskiem COM występuje pewna pasożytnicza pojemność. W efekcie, podczas pomiarów napięcia przemiennego trzeba mówić o zespolonej impedancji wejściowej, która jest zależna od częstotliwości. Aby zminimalizować wpływ pojemności pasożytniczej podczas pomiarów napięcia



Wpływ rezystancji wejściowej na wynik pomiaru (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl 041f57c630

przemiennego zwykle stosuje się obniżenie rezystancji wejściowej przyrządu, jednak wtedy wpływ miernika na wartość napięcia występującego w punkcie pomiaru jest znacznie większy niż w przypadku pomiarów napięcia stałego.

Zakres częstotliwości podczas pomiarów napięcia przemiennego

W tej dziedzinie większość multimetrów radzi sobie bardzo słabo. Dokładny pomiar napięcia przemiennego kończy się średnio przy częstotliwości rzędu 10 kHz. Tanie mierniki radzą sobie jeszcze gorzej i zawodzą już przy częstotliwości kilku kHz!

Współczynnik kształtu przy pomiarach true-RMS

Współczynnik kształtu napięcia przemiennego jest definiowany jako stosunek wartości szczytowej do wartości skutecznej tego przebiegu. W przypadku przebiegu sinusoidalnego wartość ta wynosi 1,41. W przypadku sygnałów o innych kształtach stosunek ten przyjmuje zupełnie inne wartości.

Dobrej klasy multimetry dokładnie mierzą wartość skuteczną sygnałów przemienno-prądowych o współczynniku kształtu nie przekraczającym 3. W pozostałych przypadkach wyniki pomiarów są mało wiarygodne!

Spadek napięcia przy pomiarach natężenia prądu

Podczas pomiarów natężenia prądu multimetr jest włączany szeregowo w obwód pomiarowy. Mierzony prąd przepływa przez precyzyjny rezystor o niewielkiej rezystancji, na którym odkłada się pewien spadek napięcia. Na tej podstawie mikrokontroler w mierniku oblicza wartość natężenia prądu i wyświetla ją na ekranie. Pojawienie się dodatkowego spadku napięcia w obwodzie pomiarowym powoduje zakłócenie jego działania. Dlatego rezystancja multimetru mierzącego natężenie prądu powinna być jak najmniejsza.

Współczynnik tłumienia sygnału wspólnego CMRR

Podczas trwania pomiarów do multimetru docierają różnego rodzaju sygnały zakłócające. Przedostają się one różnymi drogami, głównie jednak przez sondy pomiarowe. Nie bez znaczenia są pola elektromagnetyczne wytwarzane przez sieć energetyczną. Wszystkie te czynniki mogą wpływać na wartość próbek pobieranych przez miernik. Układy elektroniczne wewnątrz miernika analizują te lekko zafałszowane próbki, w efekcie ostatnia z wyświetlanych cyfr nie ma stałej wartości, lecz ustawicznie się waha. By tego uniknąć sygnały zakłócające pracę multimetru powinny być tłumione tak bardzo, jak to tylko możliwe. Aby to zjawisko ująć liczbowo, wprowadzono pojęcie współczynnika tłumienia sygnałów wspólnych (Common Mode Rejection Ratio), w skrócie CMRR. Parametr ten wskazuje o ile dB tłumione są sygnały nakładające się na oba sondy pomiarowe. Wartości na poziomie 120 dB dla dobrego multimetru nie są wyjątkiem!

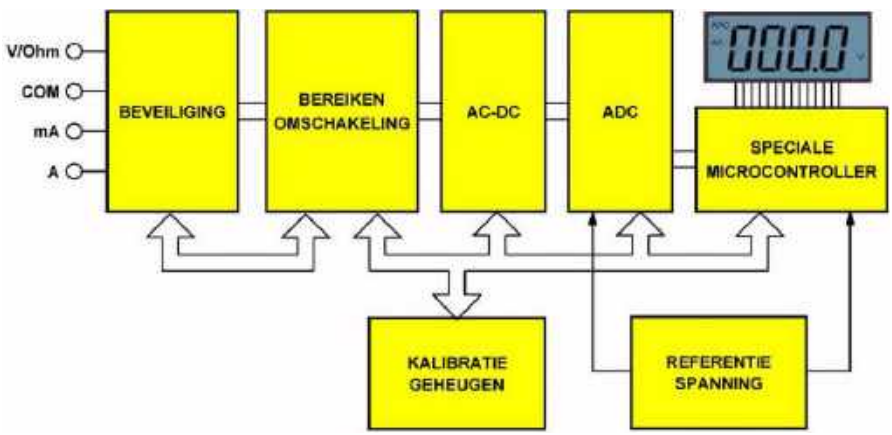
Działanie multimetrów cyfrowych Schemat blokowy

Poniższy rysunek przedstawia schemat blokowy typowego multimetru cyfrowego. Bardzo ważnym blokiem jest układ ochrony obwodów wejściowych. Dzięki niemu ani miernik, ani jego operator nie doznają szwanku, jeśli coś zostanie zrobione nieprawidłowo. Ponadto blok ten chroni układy elektroniczne miernika przed uszkodzeniem podczas ręcznego lub automatycznego przełączania zakresów.

Kolejnym blokiem jest przełącznik zakresów, który można ustawiać ręcznie lub automatycznie. Blok przetwarzania napięć i prądów przemiennych na napięcie stałe służy do tworzenia sygnału wejściowego dla kolejnego bloku, którym jest przetwornik analogowo-cyfrowy. Wszystkie układy elektroniczne są sterowane za pomocą mikrokontrolera. Niektórzy chińscy producenci układów scalonych zaprojektowali do tego celu specjalistyczne elementy, które można znaleźć w dziesiątkach tanich multimetrów, oferowanych po okazyjnych cenach ze względu na ich masową produkcję.

Kolejne dwa bloki widoczne na rysunku występują tylko w droższych wersjach multimetrów. Pierwszym z nich jest osobne źródło referencyjne, wytwarzające stabilne napięcie stałe o ściśle określonej wartości, które jest wykorzystywane podczas wszystkich pomiarów. W tańszych wersjach multimetrów stosowane jest źródło referencyjne wbudowane w mikrokontroler.

Drugim z tych bloków jest pamięć stała, przechowująca fabryczne dane kalibracyjne, specyficzne dla każdego z multimetrów. W tej pamięci przechowywane są współczynniki korekcji dla każdego z zakresów pomiarowych. Ma to na celu kompensację nieuniknionych błędów, wynikających z rozrzutów parametrów elementów pracujących w bloku przełączania zakresów.



Schemat blokowy multimetru cyfrowego (© 2023 Jos Verstraten)

Pomiar napięcia stałego

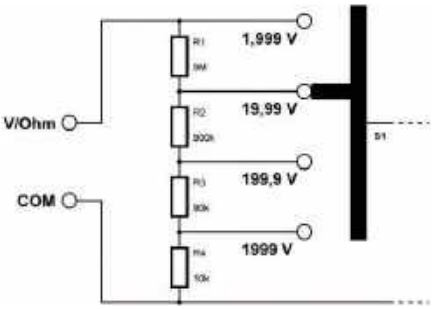
Na poniższym rysunku przedstawiony jest schemat wejściowego dzielnika rezystancyjnego, wykorzystywanego podczas pomiarów napięcia stałego. Zapewnia on stosunki podziału

eprasa.pl 041f57c630

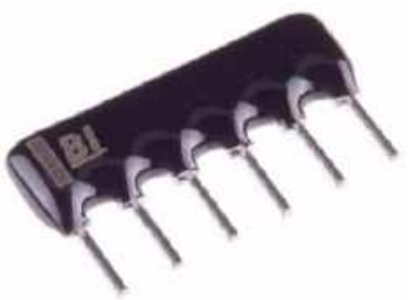
równe 1/1, 9/1, 99/1 i 999/1 odpowiednie dla zakresów pomiarowych 1,999 V, 19,99 V, 199,9 V i 1,999 V. Napięcie wejściowe jest redukowane przez dzielnik do wartości mieszczących się w zakresie od 0,000 V do ±1,999 V. To napięcie jest próbkowane przez przetwornik analogowo-cyfrowy i konwertowane na kody cyfrowe sterujące wyświetlaczem. Ponieważ przepisy bezpieczeństwa zabraniają oferowania ręcznych multimetrów zdolnych do pomiaru napięć o wartości 2 kV, ostatni zakres jest zwykle oznakowany wartością 600 V.

Działanie dzielnika napięcia jest łatwe do wyjaśnienia. Załóżmy, że zmierzone ma być napięcie równe 100 V. Przełącznik S1 musi być ustawiony w pozycji 199,9 V. Spowoduje to utworzenie dzielnika napięcia, składającego się z szeregowo połączonych rezystorów R1 i R2 w górnej części, i rezystorów R3 i R4 w dolnej części. Sumarycznie są to wartości 9 900 kΩ i 100 kΩ. Górny zestaw rezystorów ma wartość 99 razy większą od dolnego i odkłada się na nim napięcie 99 razy większe niż na dolnym. Tak więc z napięcia wejściowego o wartości 100 V, aż 99 V odkłada się na górnych rezystorach i tylko 1 V na dolnych. I właśnie to napięcie, o wartości 1 V, podlega pomiarowi przez układy elektroniczne miernika, a wynik pojawia się na wyświetlaczu w postaci ciągu cyfr 100,0. Położenie przecinka dziesiętnego jest zależne od ustawienia przełącznika zakresów.

Precyzyjne rezystory, których tolerancja wynosi ±0,1% lub nawet ±0,01%, są obecnie standardem i często występują w postaci specjalnych drabinek rezystorowych. Poniższy rysunek przedstawia taki komponent ze złączami przewlekanymi, ale istnieją one również wersje SMD.



Zasada pomiaru napięcia stałego (© 2023 Jos Verstraten)



Drabinka z rezystorami o wysokiej precyzji (© AliExpress)

Pomiar natężenia prądu stałego

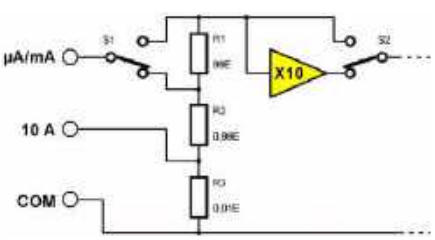
Większość multimetrów ma sześć zakresów pomiaru natężenia prądu:

- dwa zakresy × µA,
- trzy zakresy × mA,
- jeden zakres × A.

Podstawowy schemat miernika natężenia prądu przedstawiono na poniższym rysunku. Aby uniknąć potrzeby stosowania wielu drogich, precyzyjnych rezystorów o niskiej rezystancji, często stosuje się wzmacniacz o wzmocnieniu 10. Przełączniki S1 i S2 służą do przełączania między niskimi i wysokimi wartościami w zakresach pomiarowych µA i mA. W ten sposób niezbędne są tylko trzy precyzyjne rezystory.

Mierzony prąd przepływa przez jeden z rezystorów o wartości 0,01 Ω, 1 Ω lub 100 Ω i zgodnie z prawem Ohma, powoduje na nim spadek napięcia proporcjonalny do natężenia tego prądu. Ten spadek może być zmierzony za pomocą przetwornika analogowo – cyfrowego.

Rezystory szeregowe są nazywane bocznikami. Do pomiaru dużych prądów należy stosować boczniki o bardzo niskiej rezystancji. Wartości 0,1 Ω, a nawet 0,01 Ω nie są wyjątkiem. Nie jest łatwo dokładnie zmierzyć spadek napięcia na takim rezystorze. Wymaga to dużego doświadczenia w projektowaniu ścieżek na płytce drukowanej miernika. Takie rezystory wyglądają nieco nietypowo, co zostało przedstawione na poniższym rysunku.



Podstawowy obwód do pomiaru natężenia prądu stałego (© 2023 Jos Verstraten)



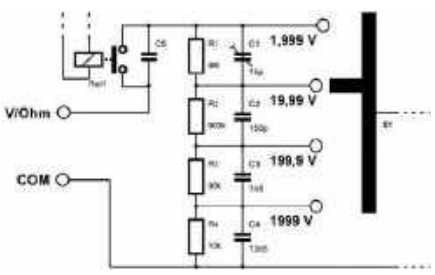
Specjalne rezystory bocznikowe o bardzo niskiej impedancji (© Kang Yoxin Electronics)

Pomiar napięć przemiennych

Podczas pomiaru napięć przemiennych ważną rolę odgrywają pojemności pasożytnicze między ścieżkami i szynami ślizgowymi na płytce drukowanej oraz między stykami przełączników.

Te pojemności nie są duże, ale już przy częstotliwościach rzędu kilkunastu kHz ich wpływu nie można pominąć. Przykładowo, pojemność pasożytnicza o wartości 100 pF przy częstotliwości 10 kHz wykazuje reaktancję około 160 kΩ. Tak więc działanie dzielnika napięcia wykorzystującego rezystory o wartościach rzędu kilku MΩ będzie poważnie zakłócone.

Rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie dzielnika napięcia zawierającego dodatkowe kondensatory, podłączone równolegle do każdego z rezystorów. Wartości tych kondensatorów są tak dobrane, aby ich reaktancje tworzyły identyczne proporcje dla napięcia przemiennego, jak wartości rezystorów dla napięcia stałego. Schemat zmodyfikowanego dzielnika napięcia przedstawiono na poniższym rysunku.



Dzielnik do pomiaru napięć przemiennych (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl 041f57c630

Pomiar prądów przemiennych

Boczniki do pomiaru prądów stałych mogą być używane do pomiaru prądów przemiennych bez konieczności wprowadzania kompensacji pojemnościowej. Rezystory te mają tak małe wartości, że pasożytnicze pojemności nie wpływają na wyniki pomiarów.

Pomiar składowej zmiennej napięcia

Czasami zachodzi potrzeba pomiaru składowej zmiennej jakiegoś przebiegu, z pominięciem jego składowej stałej. Przykładowo może to dotyczyć pomiaru tętnień na kondensatorze wygładzającym w układzie prostowniczym. By dokonać takiego pomiaru, w szereg z dzielnikiem wejściowym multimetru należy włączyć odpowiednio dobrany kondensator separujący. Jest on oznaczony na powyższym schemacie jako C5. Musi to być kondensator wysokonapięciowy o dużej pojemności. Takie kondensatory są drogie i są włączane do obwodu za pomocą równie drogich przekaźników. Dlatego na próżno ich szukać w tanich miernikach niskobudżetowych.

Wartość średnia czy wartość skuteczna?

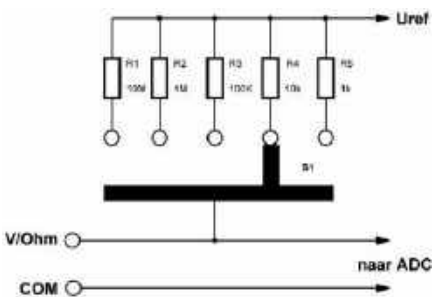
Do pomiaru napięć i prądów przemiennych zawsze wymagane jest użycie układu prostowniczego. W tanich miernikach cyfrowych stosuje się proste prostowniki diodowe, które mierzą wartość średnią sygnału przemienno-prądowego i są skalibrowane tak, aby odczyty wartości skutecznej były poprawne dla sygnałów czysto sinusoidalnych. Dla innych kształtów sygnałów, takie multimetry wykazują znaczące błędy pomiarowe.

Multimetry oznaczone symbolem „true-RMS" działają na innej zasadzie. Są w nich stosowane specjalne układy scalone, reagujące na wartość skuteczną mierzonego napięcia. Przykładowo, mogą to być układy firmy Analog Devices, takie jak AD736 lub AD5361. Jednak nawet w tym przypadku istnieje ograniczenie dokładności pomiarów, wynikające ze zmian współczynnika kształtu mierzonego przebiegu. Każdy dobry miernik mierzący wartość skuteczną napięcia przemiennego ma w instrukcji obsługi tabelę, na podstawie której można ocenić wielkość błędu pomiarowego, w zależności od wielkości współczynnika kształtu sygnału wejściowego.

W nowoczesnych multimetrach sterowanych mikrokontrolerem stosowane są cyfrowe metody obliczania wartości skutecznej mierzonego napięcia. Sygnał wejściowy jest próbkowany z jak najwyższą częstotliwością, aby jak najlepiej uchwycić jego kształt. Wartość skuteczna jest obliczana jako pierwiastek kwadratowy z wartości średniej kwadratów poszczególnych próbek. Należy jednak pamiętać, że nawet wtedy istnieją ograniczenia wynikające ze zbyt dużego współczynnika kształtu mierzonego przebiegu.

Pomiar rezystancji za pomocą dwóch przewodów pomiarowych

Opisywana tu metoda pomiaru rezystancji, zwana ilorazową, jest stosowana w prawie wszystkich multimetrach ręcznych. Badany rezystor jest podłączany do gniazd COM i V/Ω miernika za pomocą dwóch przewodów. Jest on łączony szeregowo z wewnętrznym rezystorem o znanej wartości, zasilanym ze źródła napięcia odniesienia Uref. Przetwornik ADC mierzy spadek napięcia na badanym rezystorze i na tej podstawie wyznacza jego rezystancję. Dla każdego zakresu pomiarowego włączany jest inny rezystor szeregowy. Schemat układu pomiarowego jest przedstawiony na poniższym rysunku.

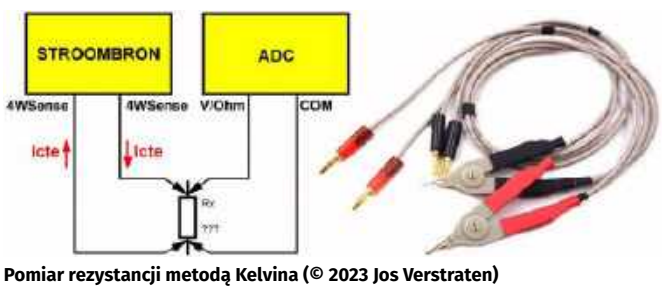


Pomiar rezystancji za pomocą ilorazową (© 2023 Jos Verstraten)

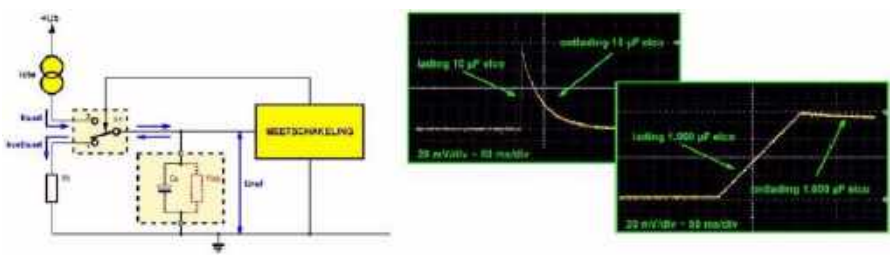
Pomiar rezystancji z użyciem czterech przewodów pomiarowych

Wadą metody ilorazowej jest to, że rezystancja przewodów połączeniowych dodaje się do rezystancji mierzonego elementu. By skompensować powstający w ten sposób błąd pomiarowy można skorzystać z funkcji REL, o ile jest dostępna, jednak nie jest to dobre rozwiązanie.

Prawie wszystkie multimetry stacjonarne wykorzystują inną, czteroprzewodową metodę pomiaru rezystancji, znaną pod nazwą metody Kelvina. Zasada pomiaru jest dość prosta. Za pomocą dwóch przewodów podłączonych do gniazd 4WSense multimetru, do mierzonej rezystancji przesyłany jest prąd stały o ściśle określonym natężeniu. Za pomocą dwóch innych przewodów podłączonych do gniazd COM i V/Ω multimetru mierzony jest spadek napięcia na badanym rezystorze. W ten sposób żadne spadki napięć na przewodach połączeniowych nie przyczyniają się do powstawania błędów pomiarowych. Metoda Kelvina jest szczególnie przydatna podczas pomiarów bardzo małych rezystancji. Na rynku dostępne są specjalne sondy pomiarowe wyposażone w cążki, którymi chwyta się mierzony element.



Pomiar rezystancji metodą Kelvina (© 2023 Jos Verstraten)



Pomiar pojemności kondensatora (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl 041f57c630

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

Pomiar pojemności kondensatorów

Zasada pomiaru pojemności kondensatorów stosowana w większości multimetrów została przedstawiona na poniższym rysunku. Mierzony kondensator Cx jest podłączony do układu zawierającego przełącznik S1. W początkowej fazie pomiaru przełącznik S1 jest ustawiony w pozycji 1 zaś kondensator Cx jest rozładowywany przez rezystor R1 aż do całkowitego rozładowania. Chwilę później przełącznik S1 zostaje ustawiony w pozycji 2 zaś mierzony kondensator jest ładowany prądem stałym o ściśle określonej wartości Iref, pobieranym z referencyjnego źródła prądowego. Ładowanie trwa do momentu, gdy napięcie na kondensatorze wzrośnie do wartości Uref, po czym przełącznik S1 wraca do pozycji 1.

Czas wymagany do naładowania kondensatora od zera do wartości Uref prądem stałym o natężeniu Iref jest wprost proporcjonalny do pojemności Cx. Na tej podstawie, posługując się poniższym wzorem, można wyznaczyć wartość mierzonej pojemności:

Taka metoda dobrze sprawdza się podczas pomiaru kondensatorów z dielektrykiem stałym, gdyż mają one pomijalnie mały prąd upływu. Kondensatory elektrolityczne wykazują sporą upływność, którą można symulować przez wprowadzenie pasożytniczego rezystora Rlek, podłączonego równolegle do kondensatora Cx (patrz schemat powyżej). Przez ten rezystor będzie przepływał prąd upływu zmniejszający natężenie prądu ładującego kondensator Cx. W efekcie czas ładowania kondensatora Cx ulegnie wydłużeniu, a wynik pomiaru jego pojemności będzie zawyżony.

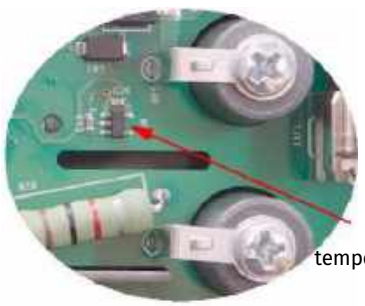


Przykład termopary dostarczanej z multimetrem (© 2023 Jos Verstraten)

Pomiar temperatury

Wszystkie multimetry mierzące temperaturę działają na zasadzie pomiaru termoparowego. Termopara składa się z dwóch przewodów wykonanych z różnych stopów metali, które stykają się ze sobą w jednym punkcie. Zazwyczaj stosuje się termoparę typu K, która składa się z drutu wykonanego z chromelu i drutu wykonanego z alumelu. Poniższy rysunek przedstawia taką termoparę dostarczoną z multimetrem.

Taka sonda pomiarowa dostarcza bardzo niskie napięcie, równe 40,4 µV/°C, więc konieczne jest jego wzmocnienie. Nie jest to jedyny problem. Ponieważ większość multimetrów ma typowe gniazda o średnicy 4 mm, termopara musi być podłączona do miernika za pomocą wtyków bananowych. Druty chromelowe i alumelowe są przykręcane do wtyczek bananowych, a wtyczki są wkładane do gniazd multimetru. W ten sposób tworzą się punkty, w których stykają się ze sobą różne metale i generowane są napięcia termiczne. Są one dodawane lub odejmowane od napięcia termicznego dostarczanego przez prawdziwą termoparę i powodują duże błędy pomiarowe.



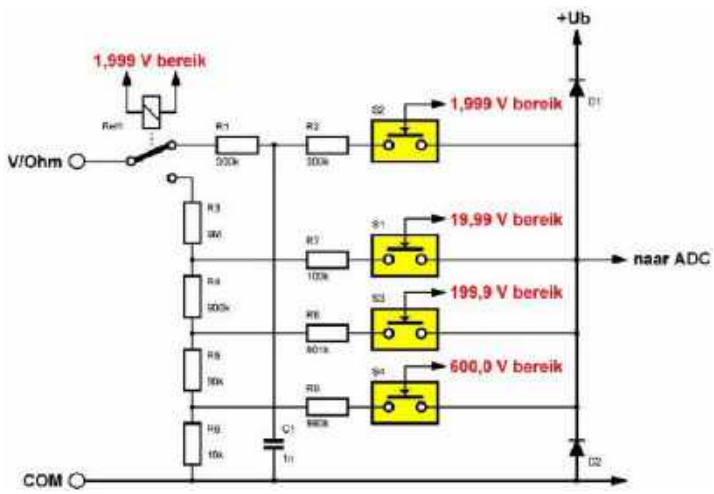
Czujnik do kompensacji wpływu zimnych spoin (© lygte-info, edycja Jos Verstraten)

Aby dokładnie zmierzyć temperaturę za pomocą termopar należy wykonać kompensację tak zwanych zimnych spoin. W tym celu mierzona jest temperatura otoczenia, a napięcia termiczne dostarczane przez zimne spoiny są kompensowane w układach miernika.

W dobrych multimetrach, w obszarze między gniazdami COM i V/Ω znajduje się czujnik temperatury, który mierzy wewnętrzną temperaturę płytki miernika. Napięcie wyjściowe z tego czujnika jest wykorzystywane przez mikrokontroler do kompensacji napięć wytwarzanych przez zimne spoiny. Czasami czujnik ten znajduje się w układzie scalonym, zaprojektowanym specjalnie dla danego modelu multimetru. Na poniższym zdjęciu widać scalony czujnik temperatury, umieszczony w pobliżu gniazd wejściowych na płytce drukowanej precyzyjnego multimetru Fluke.

Działanie multimetrów z automatycznym przełączaniem zakresów

Zasadniczo multimetry z automatycznym przełączaniem zakresów pomiarowych działają podobnie do multimetrów obsługiwanych ręcznie. Zakresy są zmieniane przez wybór odpowiedniego węzła w dzielniku rezystancyjnym i połączenie go z wejściem przetwornika analogowo – cyfrowego. Odbywa się za pomocą przekaźników kontaktronowych i/lub przełączników elektronicznych. Jest to zilustrowane na poniższym schemacie. W przypadku przełączników elektronicznych zwykle stosowane są układy scalone z rodziny CMOS 4000. Rezystancja tych układów w stanie zwarcia jest pomijalnie mała



Obwód do automatycznej zmiany zakresów przy pomiarze napięcia stałego (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl 041f57c630

w porównaniu z wartościami rezystorów uwidocznionych na schemacie. Jedynie do przełączania na najniższy zakres pomiarowy używany jest przekaźnik mechaniczny.

Ochrona multimetru przed uszkodzeniem

Dobry multimetr jest zaprojektowany tak, aby był odporny na błędy osoby z niego korzystającej. Oznacza to, że miernik powinien przetrwać każde nieprawidłowe ustawienie i co najwyżej przepali się wewnętrzny bezpiecznik. Jednak w przypadku tanich multimetrów cyfrowych nie można na to liczyć i trzeba dokładnie przemyśleć sposób wykorzystania miernika przed wykonaniem pomiaru.

Ochrona zakresów prądowych za pomocą bezpieczników

Wszystkie multimetry cyfrowe posiadają jeden lub dwa bezpieczniki, które ochronią układy pomiarowe przed przeciążeniem. W tanich miernikach stosowane są bezpieczniki szklane o wymiarach 5,0 mm na 20,0 mm. Lepsze multimetry cyfrowe są wyposażone w specjalne bezpieczniki o dużej obciążalności energetycznej, zdolne do pochłaniania dużych udarów prądowych, na przykład w sytuacji, gdy multimetr na zakresie 10 A zostanie podłączony do sieci energetycznej. Są to tak zwane bezpieczniki HRC (skrót od High Rupturing Capacity), które są bardzo drogie i istnieje pokusa, aby zastąpić je tańszymi elementami o identycznych wymiarach. Nigdy nie należy tego robić, gdyż zwiększa się ryzyko poważnych uszkodzeń miernika.

Na poniższym zdjęciu przedstawiony jest przykładowy bezpiecznik HRC. Widać, że jest on znacznie większy od typowego bezpiecznika szklanego o wymiarach 5,0 mm na 20,0 mm. Standardowe wymiary bezpieczników HRC wynoszą 10 mm na 35 do 38 mm. Wynika to z ich dużej pojemności cieplnej oraz odporności na przebicie, znacznie większej niż w przypadku małych bezpieczników szklanych.



Bezpiecznik o wysokiej pojemności cieplnej (© 2023 Jos Verstraten)

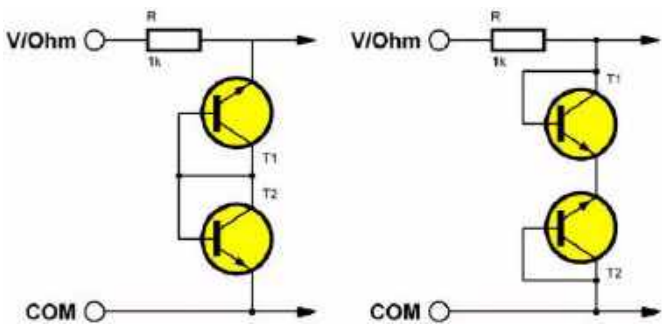
Ochrona zakresów napięciowych

W praktyce, jeśli multimetr na zakresie pomiarowym 199,9 mV zostanie podłączony do sieci energetycznej, nic złego nie powinno się stać. Aby to osiągnąć, opracowano szereg układów zabezpieczających, stosowanych samodzielnie lub w zespołach. Zadaniem wszystkich tych układów ochronnych jest ograniczenie napięcia docierającego do wewnętrznych układów elektronicznych multimetru do bezpiecznej wartości. Warunkiem jest, aby te dodatkowe układy nie wpływały na dokładność pomiarów. Poniżej znajduje się lista dostępnych zabezpieczeń:

- tranzystory używane jako diody Zenera,
- warystory MOV,
- termistory PTC.

Ochrona za pomocą tranzystorów używanych jako diody Zenera

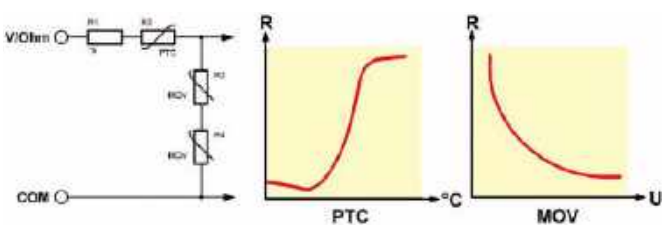
Jeśli na kolektorze krzemowego tranzystora NPN panuje napięcie ujemne w stosunku do emitera, element ten zaczyna działać jak dioda Zenera o bardzo niskim prądzie upływu. Napięcie progowe wynosi około 10 V. Zabezpieczenie wygląda wtedy tak, jak na poniższym rysunku.



Ochrona z użyciem tranzystorów (© 2023 Jos Verstraten)

Ochrona z użyciem termistorów PTC i warystorów MOV

Inną metodę ochrony układów elektronicznych miernika przed nadmiernym napięciem wejściowym przedstawiono na poniższym rysunku. Dzielnik ochronny jest utworzony z termistora PTC o dodatnim współczynniku temperaturowym i dwóch warystorów MOV wykonanych z tlenku metalu. W temperaturze pokojowej termistor PTC ma bardzo niską rezystancję. Powyżej pewnej progowej temperatury rezystancja gwałtownie wzrasta, typowo od 10 Ω do 100 kΩ. Z kolei warystor MOV ma nieliniową charakterystykę prądowo – napięciową i przy niskich wartościach napięcia ma bardzo wysoką rezystancję. Wraz ze wzrostem napięcia ta rezystancja spada do niskiej wartości. Dzielnik ochronny jest włączony między zaciski pomiarowe multimetru a wejście układów elektronicznych, jak pokazano na poniższym rysunku. Jeśli do zacisków miernika zostanie przyłożone zbyt wysokie napięcie, rezystancja warystorów spadnie, co spowoduje przepływ prądu o znacznym natężeniu przez termistor, który ulegnie rozgrzaniu, tym samym



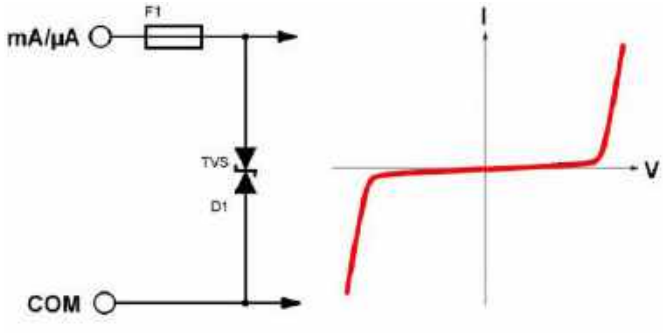
Ochrona z użyciem warystorów MOV i termistorów PTC (© 2023 Jos Verstraten)

eprasa.pl 041f57c630

jego rezystancja wzrośnie. Oba te działania skutecznie ochronią elektroniczne podzespoły multimetru przed destrukcyjnym działaniem zbyt wysokiego napięcia wejściowego.

Ochrona z użyciem diod TVS

Poniżej przedstawiony jest schemat układu zabezpieczającego, często spotykanego w tanich multimetrach, służącego do ochrony zakresów prądowych, składającego się z bezpiecznika F1 i diody dwukierunkowej typu transil (inaczej TVS, czyli Transient Voltage Suppressor). Transil zachowuje się podobnie jak dwie odwrotnie połączone diody Zenera. Jeśli do zacisków mA/μA i COM multimetru doprowadzone zostanie zbyt wysokie napięcie, dioda transil spowoduje przepalenie bezpiecznika F1.

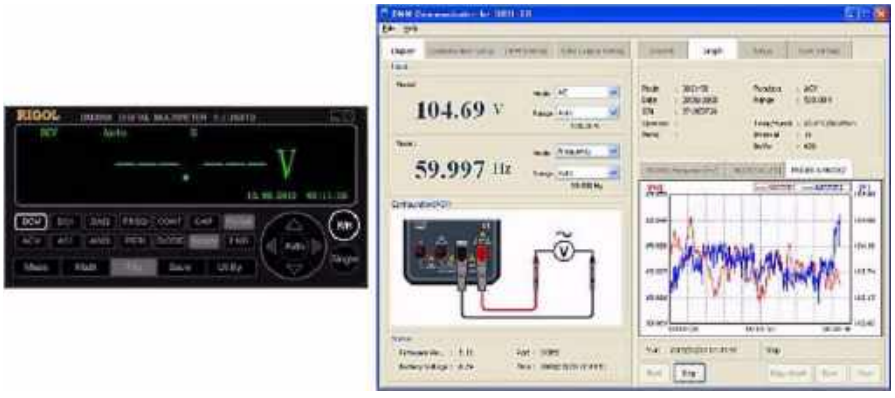


Ochrona z użyciem diody TVS (© 2023 Jos Verstraten)

Łączenie multimetru z komputerem

Rejestrowanie danych za pomocą komputera

Wiele multimetrów jest wyposażonych w złącze USB, które umożliwia podłączenie miernika do portu USB w komputerze. Następnie, za pomocą dostarczonego oprogramowania można sterować miernikiem z użyciem myszy. Równie przydatną jest możliwość zapisywania wyników pomiarów miernika w pliku, na dysku twardym komputera. Dzięki temu można używać multimetru jako rejestratora danych.



Dwa z wielu komputerowych interfejsów użytkownika (© 2023 Jos Verstraten)

Brak standardowego interfejsu użytkownika

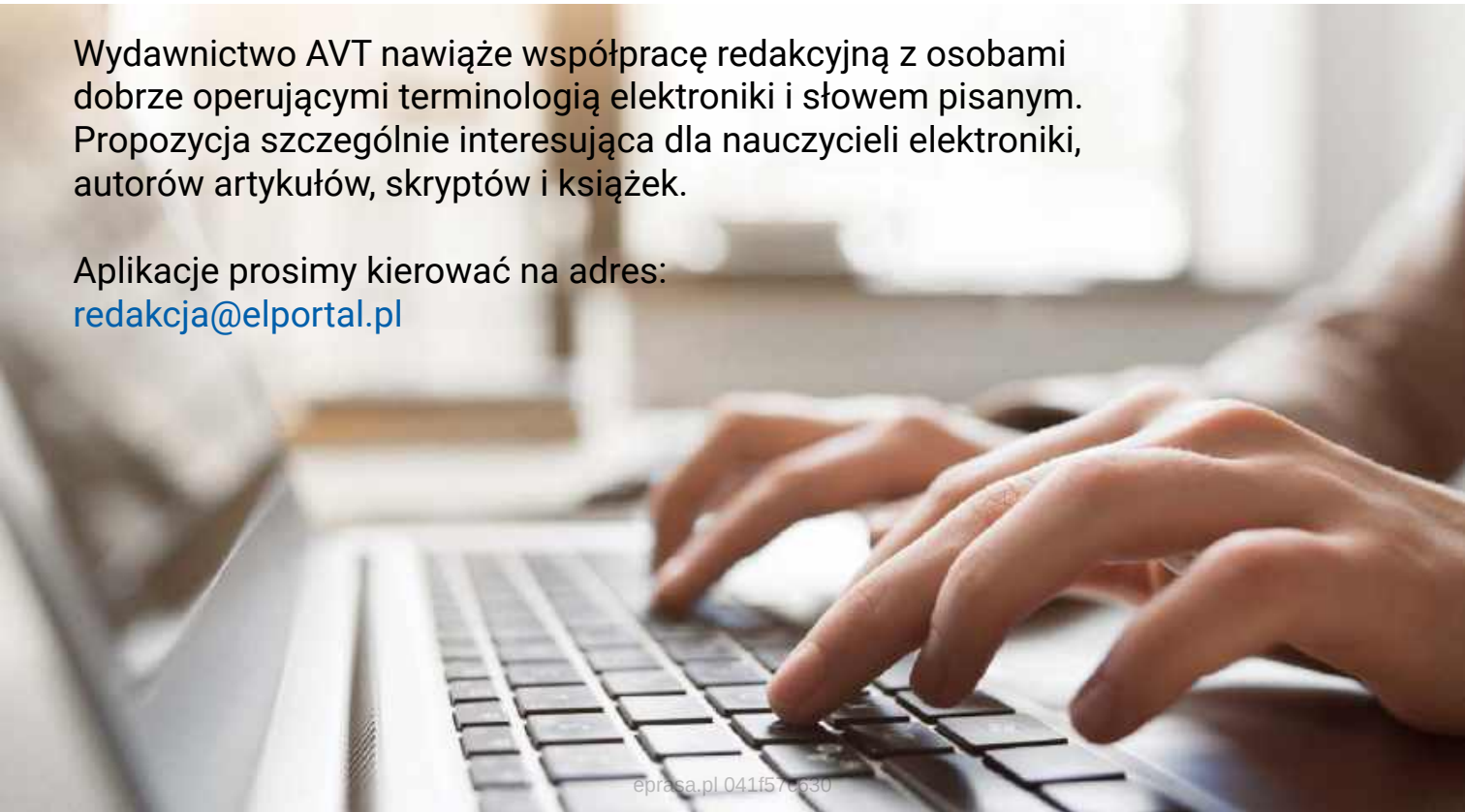
Każdy z producentów multimetrów tworzy własny komputerowy interfejs użytkownika. Niektóre z nich są prymitywne i mało użyteczne, inne są dobrze przemyślane i stanowią przydatne rozszerzenie możliwości multimetru. ■

Jos Verstraten

REKLAMA

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

Aplikacje prosimy kierować na adres:
redakcja@elportal.pl



eprasa.pl 041f57e630

KickStart

Część 8: możliwości konwersji cyfrowo-analogowej w mikrokontrolerach

Nasza seria publikacji KickStart ma na celu poinformować Czytelników o sposobach wykorzystania łatwo dostępnych, niedrogich komponentów i modułów, do rozwiązania wielu problemów konstrukcyjnych w możliwie krótkim czasie. Każdy z przykładowych projektów można zrealizować w ciągu kilku godzin, przy użyciu gotowych komponentów. Oprócz krótkiego objaśnienia podstawowych zagadnień technicznych, seria ta zawiera przykłady i opisy różnorodnych rozwiązań wraz z informacjami na temat możliwości ich rozbudowy i dostosowania do własnych potrzeb.

W ósmej części publikacji KickStart omówione są sposoby tworzenia i wykorzystania wyjść analogowych w układach opartych na prostych mikrokontrolerach.

Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe (odpowiednio ADC i DAC) zapewniają możliwość połączenia cyfrowego świata mikrokontrolerów z zewnętrznym światem analogowym. Większość mikrokontrolerów zawiera wbudowane układy ADC, niestety, nie można tego powiedzieć o ich odpowiednikach DAC. Jest to przedstawione w **tabelach 1** i **2**, w których porównane zostały właściwości przetworników ADC/DAC wbudowanych w trzy najpopularniejsze moduły z mikrokontrolerami.

Zastosowanie techniki PWM

Jak wynika z tabeli 2, większość tanich mikrokontrolerów nie zawiera przetwornika cyfrowo-analogowego. Zamiast tego stosowane są układy oparte na technice PWM, gdzie średnia wartość ciągu impulsów prostokątnych stanowi analogową reprezentację napięcia wyjściowego. Proces ten zilustrowany jest na **rysunku 2**.

Na **rysunku 2a** przedstawiony jest przebieg prostokątny o współczynniku wypełnienia równym 50%. Średnia wartość tego przebiegu



Rysunek 1. W przeciwieństwie do modułów Raspberry Pi Pico i Arduino Uno, płytka rozwojowa ESP32 NodeMCU oferuje możliwość skorzystania z dwóch wewnętrznych przetworników cyfrowo-analogowych. Niestety, zapewniają one tylko 8-bitową rozdzielczość, więc możliwe jest uzyskanie tylko 256 poziomów napięcia wyjściowego

Tabela 1. Porównanie parametrów przetworników analogowo-cyfrowych w wybranych układach

Moduł	Wewnętrzny przetwornik ADC	
Arduino Nano	Sześć 10-bitowych kanałów ADC. Napięcia wejściowe mogą wynosić od 0 do 5 V.	Wejścia ADC są oznaczone na płytce jako A0 do A5.
ESP32 NodeMCU (rysunek 1)	Max. osiemnaście 12-bitowych kanałów ADC. Zakres pomiarowy jest ograniczony przez wewnętrzne napięcie referencyjne równe 1,1 V. Większe napięcia mogą być mierzone z użyciem dzielników wejściowych.	Rozdzielczość ADC jest konfigurowalna (typowe wartości to 9, 10, 11 i 12 bitów). Niektóre płytki mają ograniczoną liczbę dostępnych pinów ADC. ADC2 nie może być używany jednocześnie z Wi-Fi.
Raspberry Pi Pico	Cztery 12-bitowe kanały ADC. Napięcia wejściowe muszą mieścić się w zakresie od 0 do 3,3 V.	Jeden kanał ADC jest wykorzystywany przez wewnętrzny czujnik temperatury. Trzy pozostałe wejścia ADC są dostępne na GPIO26, GPIO27 i GPIO28.

Tabela 2. Porównanie parametrów przetworników cyfrowo-analogowych w wybranych układach

Moduł	Wewnętrzny przetwornik DAC	
Arduino Nano	Brak wbudowanego przetwornika cyfrowo-analogowego, jednak można posłużyć się techniką PWM. Maksymalne napięcie wyjściowe wynosi 5 V i zmienia się z 8-bitową rozdzielczością.	Do generacji sygnałów PWM przeznaczone są piny cyfrowe I/O: 3, 5, 6, 9, 10 i 11 (na płytce oznaczone symbolem „~”).
ESP32 NodeMCU (rysunek 1)	Dwa wbudowane 8-bitowe przetworniki cyfrowo-analogowe z napięciem wyjściowym w zakresie od 0 do 3,3 V.	Do obsługi przetworników DAC przeznaczone są piny GPIO 25 i 26.
Raspberry Pi Pico	Brak wbudowanego przetwornika cyfrowo-analogowego, jednak można posłużyć się techniką PWM. Maksymalne napięcie wyjściowe wynosi 3,3 V i zmienia się z 16-bitową rozdzielczością.	Dostępnych jest 16 kanałów wyjściowych PWM jednocześnie; każdy pin GPIO może zostać wykorzystany jako wyjście PWM (patrz tekst).

eprasa.pl 041f57c630

będzie wynosić dokładnie 50% jego wartości szczytowej. Na **rysunku 2b** przedstawiony jest przebieg prostokątny o współczynniku wypełnienia równym 25% i wartości średniej równej 25% jego wartości szczytowej. Na podobnej zasadzie przebieg pokazany na **rysunku 2c** będzie miał wartość średnią równą 75% jego wartości szczytowej. Prowadzi to do konkluzji, że zmieniając współczynnik wypełnienia impulsów prostokątnych można wytwarzać przebieg analogowy, mieszczący się w zakresie od zera do wartości szczytowej tych impulsów.

Technika PWM jest użyteczna dla niekrytycznych aplikacji i może być łatwo zastosowana w urządzeniach opartych na prostych mikrokontrolerach, nie zawierających przetworników cyfrowo-analogowych. Wszystkim, co jest wymagane do realizacji tego pomysłu jest garść dodatkowych komponentów, które uśrednią sygnał wyjściowy, jak pokazano na **rysunku 3**.

Na rysunku 3 elementy R1 i C1 tworzą prosty filtr dolnoprzepustowy zaś układ IC1 pełni rolę bufora o jednostkowym wzmocnieniu, o wysokiej impedancji wejściowej, zdolnego do tolerowania relatywnie niskiej rezystancji obciążającej jego wyjście. Ciąg zmodulowanych impulsów pobierany z wyjścia GP16 modułu Raspberry Pi Pico ma amplitudę równą 3,3 V, stąd napięcie wyjściowe na pinie 6 układu IC1 może zmieniać się w zakresie od 0 do 3,3 V.

Analogowe napięcie wyjściowe w układzie przedstawionym na rysunku 3 można łatwo regulować za pomocą zaledwie kilku wierszy kodu w języku Python. Na przykład poniższy kod wygeneruje analogowe napięcie wyjściowe równe 1 V:

```
from machine import Pin, PWM
                        # import from the library module
out_pin = PWM(Pin(16))      # use GP16 for PWM
out_pin.freq(100000)        # set the PWM frequency to 100kHz
out_pin.duty_u16(19859)     # set the duty cycle for 1V output
```

Ostatnie trzy linie kodu można skondensować do pojedynczej instrukcji w następujący sposób:

```
out_pin = PWM(Pin(16), freq=100000, duty=19859) # GP16, 100kHz, 1V
```

Należy zauważyć, że współczynnik wypełnienia ciągu impulsów jest reprezentowany przez liczbę całkowitą (n), mieszczącą się w zakresie od 0 do 65535, gdzie wartość 65535 oznacza maksymalny możliwy do uzyskania współczynnik wypełnienia – równy 100%.

Poniższy wzór może być użyty do określenia wymaganej wartości współczynnika wypełnienia dla funkcji `out_pin.duty_u16(n)`:

$$n = V_{out} \times 19859$$

Maksymalne napięcie wyjściowe z układu przedstawionego na rysunku 3 jest równe 3,3 V i w praktyce może się okazać zbyt niskie. Problem ten można łatwo rozwiązać, stosując bufor o wzmocnieniu większym od jedności, jak pokazano na **rysunku 4**. Układ ten może wytwarzać napięcie wyjściowe o wartości dochodzącej do 6 V.

W układzie przedstawionym na rysunku 4, mającym wzmocnienie równe 2, współczynnik wypełnienia dla zadanego napięcia wyjściowego można obliczyć ze wzoru:

$$n = V_{out} \times 9930$$

W większości przypadków, by ułatwić sobie pracę, można stosować wartość przybliżoną wynikającą ze wzoru:

$$n \approx V_{out} \times 10000$$

Na przykład napięcie wyjściowe równe 2,5 V będzie wynikać z wartości n=25000, napięcie wyjściowe równe 5 V z wartości n=50000 itd.

Na tej zasadzie poniższy wiersz kodu wygeneruje analogowe napięcie wyjściowe równe 4,5 V:

```
out_pin = PWM(Pin(16), freq=100000, duty=45000) # GP16, 100kHz, 4.5V
```

Wyjście analogowe w modułach Arduino

W module Arduino Uno piny 3, 5, 6, 9, 10 i 11 są dostępne dla funkcji `analogWrite()` używanej do generowania ciągu impulsów z modulacją PWM, a tym samym do tworzenia analogowego sygnału wyjściowego. W tym miejscu warto zauważyć, że funkcja `analogWrite()` działa w taki sam sposób jak funkcja `out_pin.duty_u16` w module Raspberry Pi. W obu przypadkach nie istnieje żaden rejestr DAC, do którego można wpisać zadaną wartość napięcia wyjściowego, a jedynie określana jest wartość współczynnika wypełnienia, która będzie stosowana podczas generowania ciągu zmodulowanych impulsów. Warto pamiętać, że częstotliwość powtarzania impulsów (PRF) w module Arduino Uno jest niska i dla pinów 3, 9, 10 i 11 wynosi około 490 Hz a dla pinów 5 i 6 wzrasta do około 980 Hz.

Wartości, które mogą być użyte w funkcji `analogWrite()` muszą mieścić się w zakresie od 0 do 255, co wynika z kodowania ośmiobitowego. Zatem maksymalne napięcie wyjściowe, odpowiadające współczynnikowi wypełnienia równemu 100% powstanie w wyniku wykonania funkcji `analogWrite(255)`. Połowa pełnego przedziału zmian napięcia wyjściowego będzie osiągana przy współczynniku wypełnienia równym 50%, czyli po wykonaniu funkcji `analogWrite(128)`.

W przypadku zasilania modułu Arduino Uno napięciem o wartości 5 V, maksymalne i połowiczne napięcie wyjściowe wyniesie odpowiednio 5 V i 2,5 V. Napięcie to może się zmieniać w zakresie od 0 V do 5 V w 256 krokach, po około 20 mV każdy.

Dla przykładu, przyjmijmy, że konieczne jest wytworzenie analogowego napięcia wyjściowego o wartości 4,5 V. Podobnie jak poprzednio, najpierw należy określić wymaganą wartość *n* dla funkcji `analogWrite()`. Można to obliczyć na podstawie zależności:

$$n = V_{out} \times 51$$

Tak więc dla uzyskania napięcia wyjściowego o wartości 4,5 V konieczne jest wykonanie funkcji: `analogWrite(230)`.

Stosowanie modulacji PWM może być opłacalne dla wielu prostych aplikacji wymagających konwersji cyfrowo-analogowej, ale technika ta ma sporo ograniczeń, w tym stosunkowo niską rozdzielczość bitową, długi czas ustalania się napięcia wyjściowego, niską sprawność energetyczną, wytwarzanie niepożądanych zakłóceń oraz potrzebę stosowania układów uśredniających i filtrujących przebieg wyjściowy. Jeśli jako odniesienie dla tak zbudowanego przetwornika stosowane jest napięcie zasilające moduł Arduino Uno, wynik przetwarzania jest obarczony dodatkowym błędem.

W rezultacie, często lepiej jest podłączyć specjalistyczny moduł przetwornika cyfrowo-analogowego do mikrokontrolera hosta za pomocą magistrali I²C lub SPI (ta ostatnia jest bardziej odpowiednia dla aplikacji o dużej prędkości działania).

Zanim przejdziemy dalej, warto zdefiniować niektóre terminy związane z przetwornikami cyfrowo-analogowymi oraz wyjaśnić ważny związek między rozdzielczością a liczbą bitów wykorzystywanych w procesie konwersji.

Rozdzielczość przetwornika DAC

Rozdzielczość przetwornika cyfrowo-analogowego można określić jako najmniejszy przyrost napięcia wyjściowego, jaki przetwornik może wytworzyć. Ta niewielka zmiana napięcia wynika ze zmiany

eprasa.pl 041f57c630

Tabela 3. Rozdzielczość przetwornika cyfrowo-analogowego

Liczba bitów	Liczba kroków	Zakres zmienności	Przybliżona rozdzielczość dla napięcia odniesienia równego 5 V
8	28 = 256	0 do 255	20 mV
10	210 = 1024	0 do 1023	5 mV
12	212 = 4096	0 do 4095	1,2 mV
14	214 = 16384	0 do 16383	0,3 mV
16	216 = 65536	0 do 65535	0,08 mV

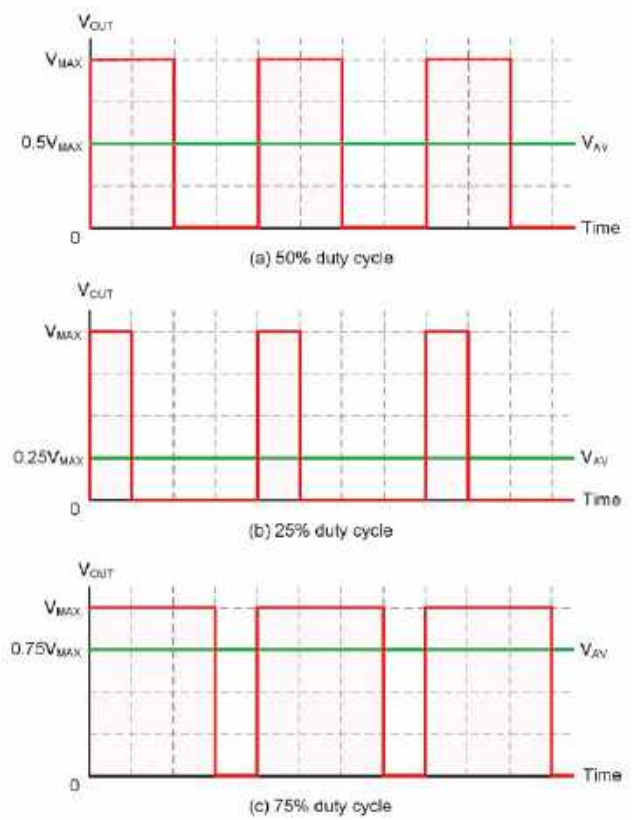
najmniej znaczącego bitu (LSB) danych, wysyłanych do przetwornika cyfrowo-analogowego. Alternatywnym sposobem wyrażenia rozdzielczości przetwornika cyfrowo-analogowego jest liczba bitów wykorzystywanych w procesie konwersji. Wraz z jej wzrostem wysokość schodków w napięciu wyjściowym maleje. Tę wartość można wyznaczyć ze wzoru:

$$V_{step} = \frac{V_{ref}}{2^n}$$

gdzie V_{ref} jest napięciem odniesienia dla przetwornika cyfrowo-analogowego (często 3,3 V lub 5 V), a n jest liczbą bitów. Przykładowo, ośmiobitowy przetwornik cyfrowo-analogowy z napięciem odniesienia równym 5 V będzie wykazywał przyrosty napięcia wyjściowego równe:

$$V_{step} = \frac{5}{2^8} = \frac{5}{256} = 0{,}01953V = 19{,}53mV$$

Wraz ze wzrostem liczby bitów wzrasta liczba kroków konwersji i zmniejsza się rozmiar pojedynczych przyrostów, jak pokazano w **tabeli 3**.



Rysunek 2. Generowanie przebiegu analogowego z użyciem techniki PWM

Liniowość przetwornika cyfrowo-analogowego

Liniowość jest definiowana jako maksymalne dopuszczalne odchylenie od linii prostej, narysowanej na wykresie między punktem 0 V a punktem określającym maksymalne pełnoskalowe napięcie wyjściowe przetwornika cyfrowo-analogowego. Liniowość może być wyrażona w procentach lub jako ułamek wartości odpowiadającej LSB. Należy pamiętać, że liniowość przetwornika cyfrowo-analogowego może być znacznie zmniejszona dla bardzo niskich (bliskich zeru) lub bardzo wysokich (bliskich pełnej skali) wartości napięcia wyjściowego.

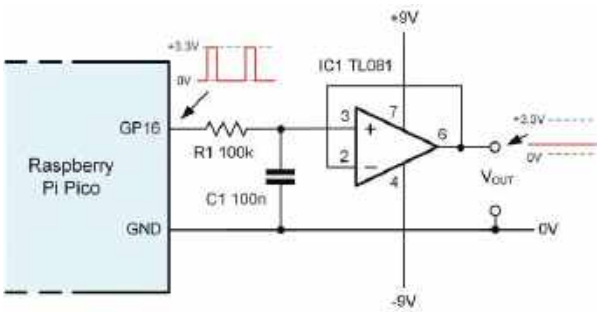
Czas ustalania napięcia wyjściowego przetwornika cyfrowo-analogowego

Wyjście analogowe przetwornika cyfrowo-analogowego nie może natychmiast zareagować na zmianę danych na wejściu cyfrowym. Opóźnienie reakcji jest określane jako czas potrzebny do osiągnięcia nowej wartości napięcia wyjściowego. Jak można się spodziewać – najgorszym przypadkiem jest czas niezbędny do osiągnięcia pełnoskalowej zmiany od zera do wartości maksymalnej (lub odwrotnie) napięcia wyjściowego.

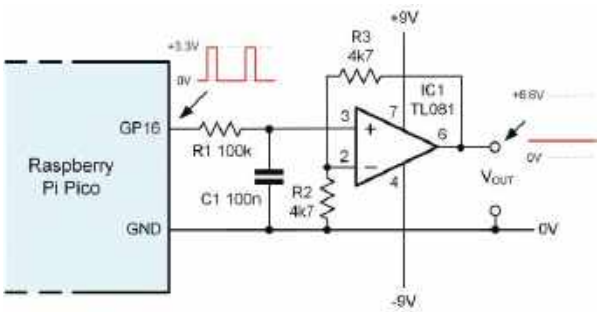
Działanie przetwornika cyfrowo-analogowego

Prosty układ przetwornika cyfrowo-analogowego został pokazany na **rysunku 5a**. Wykorzystuje on zestaw binarnie ważonych rezystorów, decydujących o wzmocnieniu sumującego wzmacniacza operacyjnego (IC2). Czterobitowy zatrzask (IC1) służy do przechowywania binarnych danych wejściowych podczas trwania konwersji. Należy pamiętać, że pokazany na rysunku wzmacniacz operacyjny pracuje w trybie odwracającym, dlatego analogowe napięcie na jego wyjściu będzie spadało poniżej zera wraz ze wzrostem binarnej wartości wejściowej. Z tego powodu często stosowany jest drugi, odwracający wzmacniacz operacyjny (IC3).

Wzmocnienie napięciowe układu IC2 dla poszczególnych wyjść układu IC1 wynosi odpowiednio: –1 dla bitu 3 (MSB), –0,5 dla bitu 2, –0,25 dla bitu 1 i –0,125 dla bitu 0 (LSB).



Rysunek 3. Uzyskiwanie analogowego przebiegu wyjściowego z użyciem Raspberry Pi Pico



Rysunek 4. Zwiększenie zakresu zmian napięcia wyjściowego układu z rysunku 3

eprasa.pl 041f57c630

Jeśli poziomy napięć na wyjściach czterobitowego zatrzasku danych (IC1) przyjmują dokładnie wartości 0 V i 5 V, i są definiowane wprost, to znaczy stan logiczny 1 odpowiada napięciu 5 V, a stan logiczny 0 odpowiada napięciu 0 V, napięcie wyjściowe przetwornika można określić przez sumowanie przyrostów napięcia, generowanych przez każdy z bitów wartości wejściowej z osobna.

Jeśli stosowany jest wzmacniacz odwracający (IC3), wartość napięcia na jego wyjściu będzie dodatnia i można ją obliczyć przez sumowanie odpowiednich przyrostów napięcia dla każdego z ośmiu możliwych stanów wejściowych. Na przykład, dla binarnej wartości wejściowej równej 1010, napięcie na wyjściu układu IC3 wyniesie:

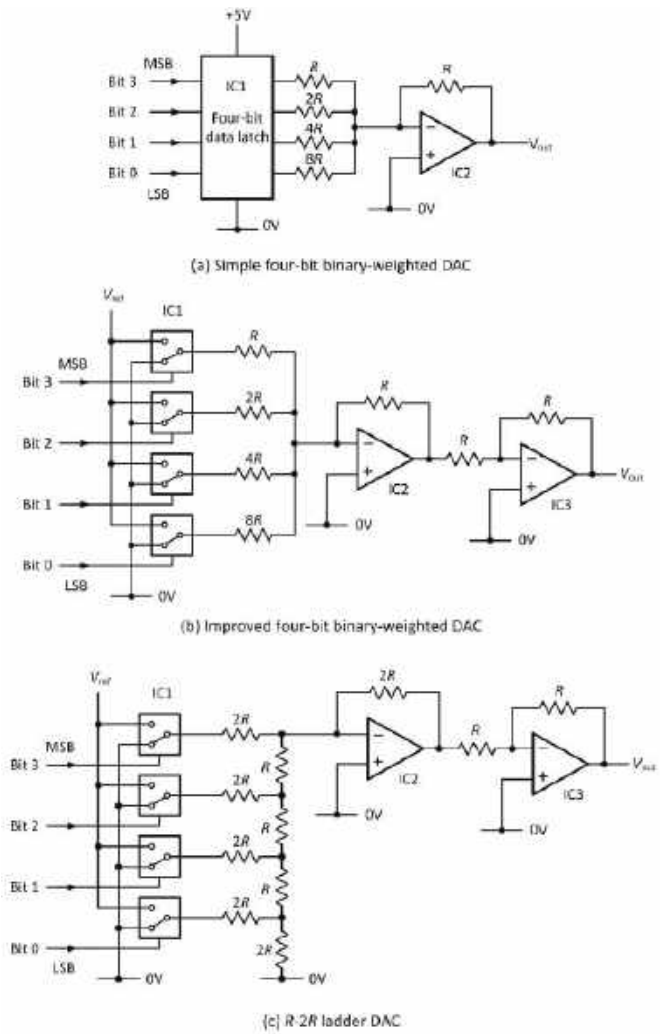
$$V_{out} = (1 \times 5) + (0{,}5 \times 0) + (0{,}25 \times 5) + (0{,}125 \times 0) = 6{,}25V$$

Podobnie dla maksymalnej binarnej wartości wejściowej równej 1111 napięcie na wyjściu układu IC3 wyniesie:

$$V_{out} = (1 \times 5) + (0{,}5 \times 5) + (0{,}25 \times 5) + (0{,}125 \times 5) = 9{,}375V$$

W tym prostym, czterobitowym przetworniku cyfrowo-analogowym występuje tylko szesnaście poziomów napięcia wyjściowego: od 0 V do 9,375 V, w krokach co 0,625 V.

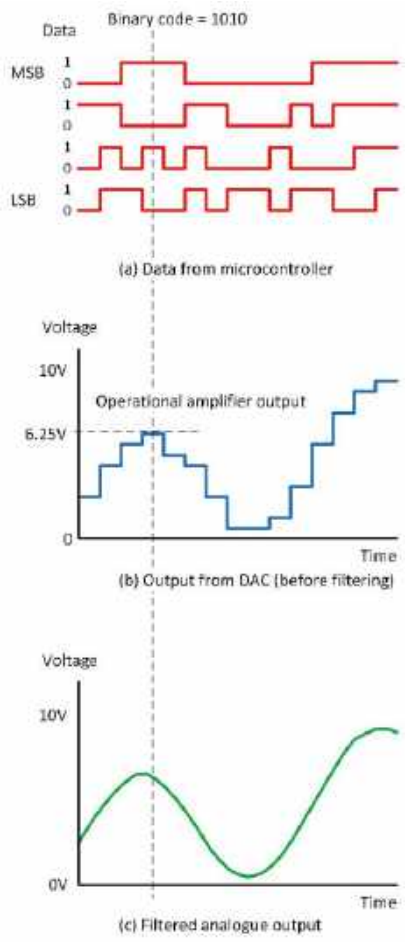
Ulepszony, binarnie ważony przetwornik cyfrowo-analogowy pokazano na **rysunku 5b**. Układ ten działa na podobnej zasadzie jak pokazany na **rysunku 5a**, jednak zamiast czterobitowego zatrzasku danych wykorzystuje cztery przełączniki analogowe (IC1). Przełączniki te są sterowane bezpośrednio przez wejścia logiczne, dzięki temu, odpowiednie wyjścia mogą być podłączane do źródła napięcia odniesienia V_{ref} lub do masy układu, w zależności od stanu wejść cyfrowych. Zaletą tego rozwiązania jest to, że napięcie odniesienia może być znacznie dokładniejsze i stabilniejsze niż to miało miejsce w poprzednio opisywanym przetworniku.



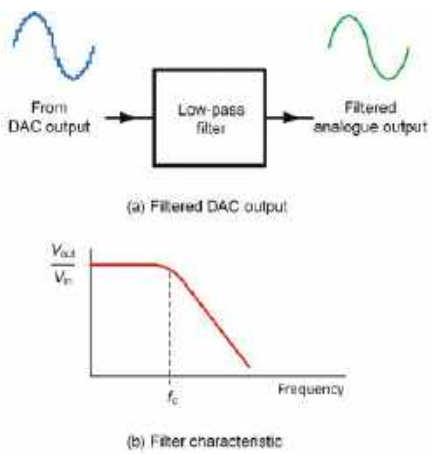
Rysunek 5. Układy drabinek rezystancyjnych w przetwornikach cyfrowo-analogowych

Niestety, ze względu na szeroki zakres wymaganych rezystancji, binarnie ważony przetwornik cyfrowo-analogowy jest trudny do realizacji w scalonych układach o wysokiej rozdzielczości. Przykładowo, w dziesięciobitowym przetworniku cyfrowo-analogowym konieczne byłoby użycie zestawu dziesięciu różnych rezystorów o wartościach od 1 kΩ (bit-0) do 256 kΩ (bit-9) i tolerancji lepszej niż ±1%.

Praktyczniejszym rozwiązaniem jest zastosowanie drabinki rezystancyjnej typu R-2R, jak to pokazano na **rysunku 5c**. W tym przypadku wymagane jest użycie tylko dwóch rodzajów rezystorów. Ich wykonanie w układzie scalonym jest znacznie łatwiejsze niż w przypadku zestawu precyzyjnych rezystorów o wartościach ważonych binarnie.



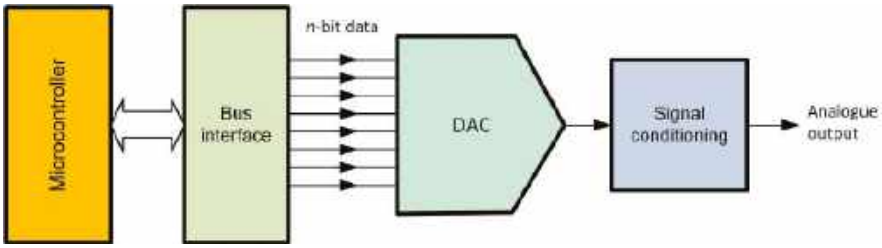
Rysunek 6. Przebiegi wejściowe i wyjściowe w przetworniku cyfrowo-analogowym



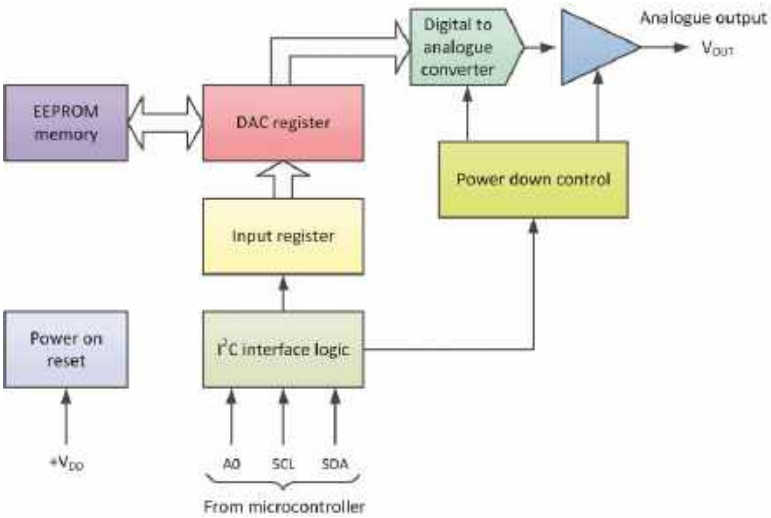
Rysunek 7. Użycie filtra dolnoprzepustowego w przetworniku cyfrowo-analogowym

Na **rysunku 6** pokazany jest sposób wytwarzania zmiennego przebiegu analogowego przez układ przetwornika cyfrowo-analogowego z rysunku 5. Schodkowy kształt przebiegu wyjściowego widoczny na **rysunku 6b** jest niepożądany w większości zastosowań, ale

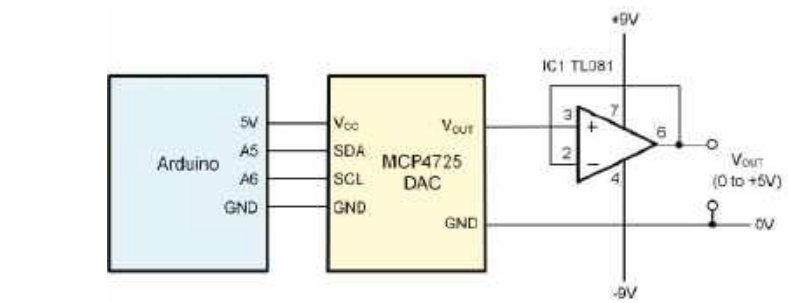
eprasa.pl 041f57c630



Rysunek 8. Podłączanie zewnętrznego przetwornika cyfrowo-analogowego do mikrokontrolera



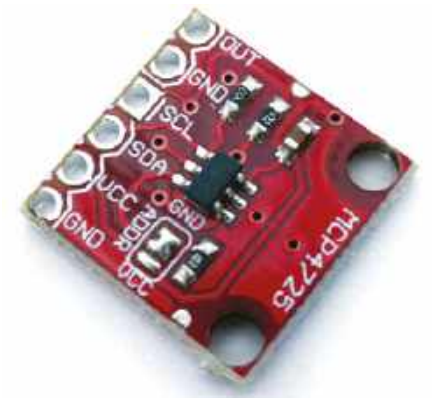
Rysunek 10. Uproszczona architektura układów wewnętrznych układu MCP4725



Rysunek 11. Prosty buforowany przetwornik cyfrowo-analogowy z układem MCP4725 z dodatnim napięciem wyjściowym



Rysunek 12. Użycie menedżera bibliotek Arduino do zlokalizowania i zainstalowania biblioteki obsługującej układ MCP4725



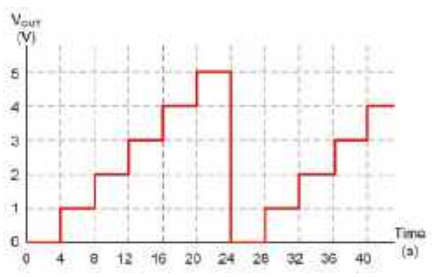
Rysunek 9. Tani moduł przetwornika cyfrowo-analogowego oparty na układzie MCP4725

można temu zaradzić, stosując odpowiednio zaprojektowany filtr dolnoprzepustowy, jak to pokazano na **rysunku 7**.

Na **rysunku 8** pokazano sposób podłączenia zewnętrznego przetwornika cyfrowo-analogowego do mikrokontrolera. Interfejs łączący te układy może być oparty na magistrali I²C lub na szybszej magistrali SPI. Większość współczesnych mikrokontrolerów obsługuje oba te systemy transmisji danych.

Praktyczny układ z zewnętrznym przetwornikiem cyfrowo-analogowym

Na szczęście, łatwo jest podłączyć przetwornik DAC do dowolnej, popularnej płytki z mikrokontrolerem, w tym do modułów Arduino lub Raspberry Pi Pico, które poznaliśmy wcześniej. Przykładowo, możliwe jest użycie niedrogiego modułu DAC, opartego na układzie scalonym MCP4725 firmy Microchip (**rysunek 9**). Ten bardzo dokładny, jednokanałowy, 12-bitowy przetwornik cyfrowo-analogowy z buforowanym wyjściem zawiera nieulotną pamięć, w której można zapisać dane rozruchowe. Wbudowany w układ precyzyjny wzmacniacz wyjściowy pozwala na wykorzystanie pełnego zakresu (rail-to-rail) napięcia wyjściowego. Układ zawiera interfejs szeregowy kompatybilny z magistralą I²C, który



Rysunek 13. Narastający przebieg schodkowy wygenerowany przez układ z rysunku 11 z użyciem kodu z listingu 1

eprasa.pl 041f57c630

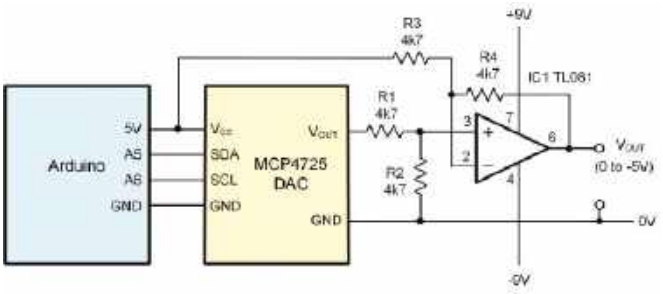
Tabela 4. Zmierzone napięcia wyjściowe dla układu z rysunku 10

Kod binarny (podstawa 2)	Szesnastkowy (podstawa 16)	Dziesiętny (podstawa 10)	Wyjście napięcie (V)
000000000000	000	0	0
000000000001	001	1	0,00122
000000000010	002	2	0,00244
000000000011	003	3	0,00366
000000000100	004	4	0,00488
...	...	...	...
001100110010	332	818	0,99854
001100110011	333	819	1,00000
001100110100	334	820	1,00098
...	...	...	...
111111111101	FFD	4093	4,99634
111111111110	FFE	4094	4,99756
111111111111	FFF	4095	4,99878

może pracować w trybie standardowym (100 kHz), szybkim (400 kHz) lub bardzo szybkim (3,4 MHz).

Uproszczona architektura wewnętrzna układu MCP4725 przedstawiona jest na **rysunku 10**. W wewnętrznej nieulotnej pamięci zachowywane są dane z wejścia cyfrowego obecne w momencie wyłączania zasilania układu, a wcześniej ustawione napięcie wyjściowe pojawi się natychmiast po ponownym włączeniu zasilania przetwornika. Pin (A0) może przyjmować stan wysoki lub niski, aby ułatwić wybór jednego z dwóch adresów układu na magistrali I²C.

Na **rysunku 11** przedstawiony został schemat prostego układu aplikacyjnego, składającego się z 12-bitowego przetwornika MCP4725 z buforowanym wyjściem, połączonego z modułem Arduino. Napięcie wyjściowe układu IC1 można ustawić w zakresie od 0 do 5 V w 4096 krokach, co 1,22 mV. Warto zauważyć, że chip MCP4725 wykorzystuje dodatnie napięcie zasilające (V_{DD}) jako napięcie odniesienia. Jest to wygodne, ale



Rysunek 14. Buforowany przetwornik cyfrowo-analogowy MCP4725 z wyjściem ujemnym

zmusza do zachowania wysokiej stabilności zasilania i zagwarantowania, że będzie ono wolne od zakłóceń. Wymagane jest użycie precyzyjnego regulatora i odpowiednio dobranych kondensatorów filtrujących, w celu zmniejszenia szumów i tętnień w obwodzie zasilania.

Programowanie układu MCP4725

Gotowe moduły biblioteczne sprawiają, że programowanie przetwornika cyfrowo-analogowego MCP4725 jest bardzo łatwe. Przed wprowadzeniem i przetestowaniem własnego kodu należy zlokalizować i zainstalować wymagany plik biblioteczny (**rysunek 12**). W celu sprawdzenia dokładności i liniowości pracy przetwornika DAC, układ przedstawiony na rysunku 11 został przetestowany poprzez wysłanie serii danych wejściowych, w zakresie od 0 do 4095, i dokonanie pomiarów napięcia wyjściowego za pomocą dokładnego woltomierza. Wyniki przedstawiono w **tabeli 4**.

Listing 1 to kompletny kod źródłowy, wymagany do wygenerowania prostego przebiegu schodkowego, w oparciu o układ z rysunku 11. Generowane są napięcia w zakresie od 0 V do 5 V w sześciu krokach, w okresie 24 sekund, jak pokazano na **rysunku 13**. Należy zauważyć, że informacja o wartości aktualnie generowanego napięcia jest przesyłana z powrotem do komputera hosta za pomocą funkcji obsługującej terminal szeregowy.

Listing 1. Kod generujący narastający przebieg schodkowy

```
// Generator narastającego przebiegu schodkowego
// 0 do 5 V w krokach co 1 V przy użyciu MCP4725
// Biblioteka MCP4725 Roba Tillaarta jest dostępna pod
// adresem: https://github.com/RobTillaart/MSP4725

#include „Wire.h”       // Wymagane biblioteki
#include „MCP4725.h”

MCP4725 MCP(0x60);      // Może być 0x62 lub 0x63

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println(„0 do 5 V w krokach co 1 V:”);
  MCP.begin();
  MCP.powerOnWakeUp();
  MCP.setValue(0);
}

void loop()
{
  for (uint16_t i = 0; i < 6; i++)
  {
    // Kroki narastające
    Serial.print(i);
    Serial.println(„V”);
    MCP.setValue(i * 819);
    delay(4000);        // 4 s opóźnienia między krokami
  }
}
```

Listing 2. Kod generujący opadający przebieg schodkowy

```
// Generator opadającego przebiegu schodkowego
// od 0 do -5 V w krokach co -1 V przy użyciu MCP4725
// Biblioteka MCP4725 Roba Tillaarta jest dostępna pod
// adresem: https://github.com/RobTillaart/MSP4725

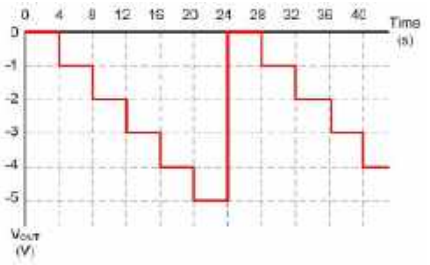
#include „Wire.h”       // Wymagane biblioteki
#include „MCP4725.h”

MCP4725 MCP(0x60);      // Może być 0x62 lub 0x63

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial.println(„0 do -5 V w krokach co 1 V:”);
  MCP.begin();
  MCP.powerOnWakeUp();
  MCP.setValue(0);
}

void loop()
{
  for (uint16_t i = 0; i < 6; i++)
  {
    // Kroki opadające
    Serial.print(i);
    Serial.println(„ V”);
    MCP.setValue(4095 - (i * 819));
    delay(4000);        // 4 s opóźnienia między krokami
  }
}
```


eprasa.pl 041f57c630



Rysunek 15. Opadający przebieg schodkowy wygenerowany przez układ z rysunku 12 z użyciem kodu z listingu 2

Wytwarzanie ujemnych napięć wyjściowych

Jeśli wymagane jest uzyskanie ujemnych napięć wyjściowych, układ można łatwo zmodyfikować – jak pokazano na **rysunku 14**. Wymagany kod źródłowy jest pokazany na **listingu 2**. Przetwornik generuje napięcia w zakresie od 0 V do –5 V w sześciu krokach, w okresie 24 sekund, jak pokazano na **rysunku 15**. Podobnie jak w przypadku poprzedniego listingu – informacja o wartości aktualnie generowanego napięcia jest przesyłana z powrotem do komputera hosta za pomocą funkcji obsługującej terminal szeregowy.

Układ z dwoma wyjściami

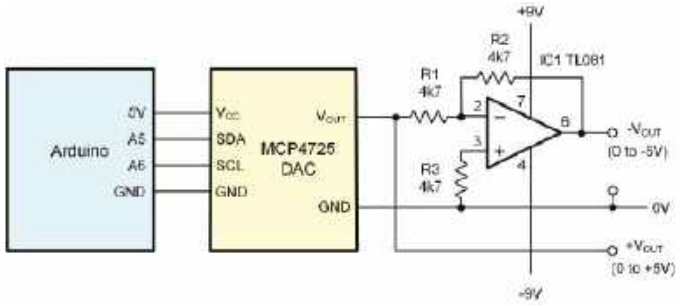
Jeśli wymagane jest jednoczesne wytwarzanie zarówno dodatniego, jak i ujemnego napięcia wyjściowego, można zastosować układ pokazany na **rysunku 16**. W tym przypadku wzmacniacz operacyjny IC1 działa jako inwerter o jednostkowym wzmocnieniu (należy pamiętać, że w tym układzie wyjście dostarczające dodatnie napięcia pozostaje niebuforowane).

Zwiększenie obciążalności prądowej

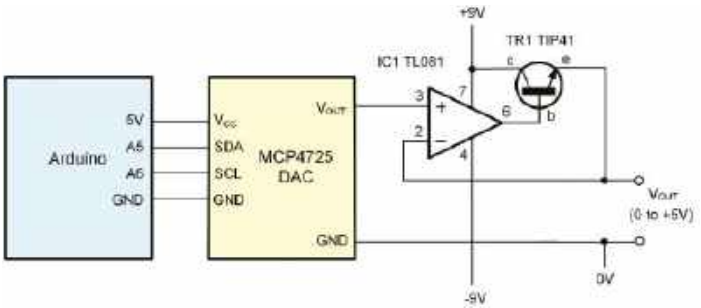
W prostych układach pokazanych na rysunku 11 i 14, natężenie prądu wyjściowego dostarczanego do obciążenia powinno być ograniczone do 20 mA. W razie potrzeby można zwiększyć wydajność prądową układu przez dodanie wtórników emiterowych, jak pokazano na **rysunku 17** i **rysunku 18**. Oba zmodyfikowane układy mają obciążalność równą około 0,25 A. W przypadku prądów obciążenia przekraczających 100 mA może być wymagane użycie małego radiatora.

Zwiększanie zakresu zmian napięcia wyjściowego

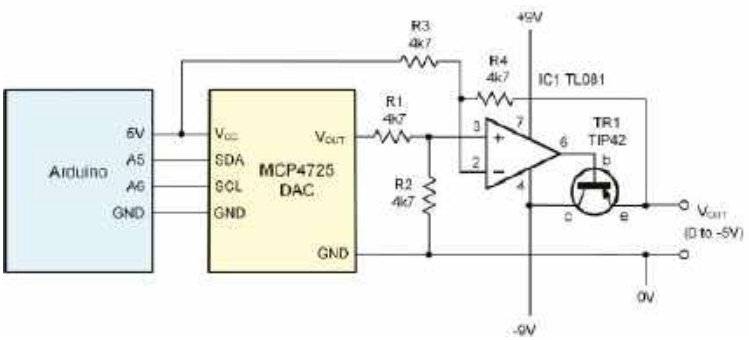
Jeśli wymagane jest uzyskanie napięcia wyjściowego przekraczającego 5 V, można zastosować stopień buforujący o wzmocnieniu większym od jedności,



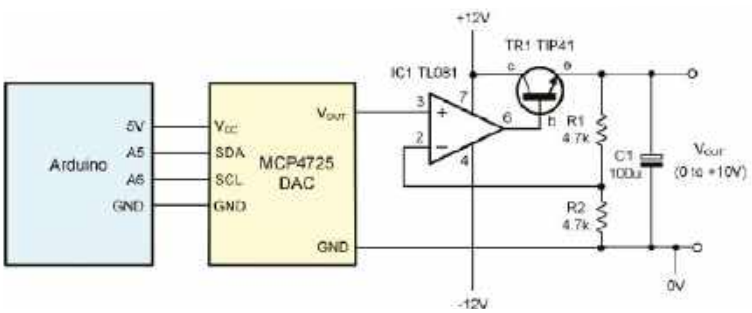
Rysunek 16. Układ przetwornika cyfrowo-analogowego z dwoma wyjściami



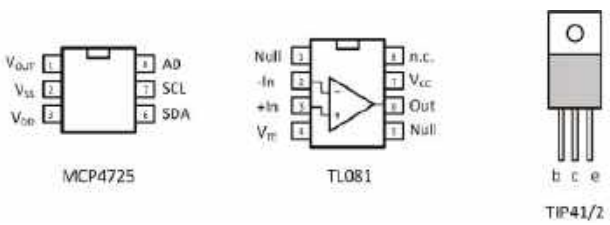
Rysunek 17. Przetwornik cyfrowo-analogowy ze zwiększoną obciążalnością wyjścia, dostarczający napięcie dodatnie



Rysunek 18. Przetwornik cyfrowo-analogowy ze zwiększoną obciążalnością wyjścia, dostarczający napięcie ujemne



Rysunek 19. Fragment układu niskonapięciowego zasilacza sterowanego cyfrowo o obciążalności 0,25 A, skonstruowanego przez Autora



Rysunek 20. Oznaczenia końcówek elementów półprzewodnikowych

eprasa.pl 041f57c630

Tabela 5. Możliwości konwersji cyfrowo-analogowej w mikrokontrolerach

Temat	Źródło	Uwagi
PWM	Wprowadzenie do PWM: https://bit.ly/pe-aug22-pwm Ta nota aplikacyjna firmy Texas Instruments opisuje metodę wykorzystania PWM jako przetwornika cyfrowo-analogowego w cyfrowych procesorach owych, ponadto zawiera szczegółowe objaśnienia dotyczące projektowania filtrów analogowych	Strona zawiera linki do wielu praktycznych projektów wykorzystujących technikę PWM
MCP4725 DAC	Notę katalogową MCP4725 można pobrać ze strony internetowej Microchip pod adresem: https://bit.ly/pe-aug22-mcp Przydatny przewodnik po MCP4725 można pobrać ze strony internetowej: https://bit.ly/pe-aug22-best	
Arduino	Publikacja Electronics Teach-In 8 wydawnictwa PE/Electron Publishing: http://bit.ly/pe-apr21-ks2-7 Wszechstronny przewodnik po Arduino – ta popularna seria publikacji opisuje sprzęt i oprogramowanie, a także zawiera opis szeregu praktycznych projektów na różnych poziomach złożoności	
Arduino IDE	Zintegrowane środowisko programistyczne (IDE) Arduino można pobrać ze strony: https://bit.ly/pe-dec21-ard2	Istnieją wersje dla systemów Windows, Linux i macOS
Raspberry Pi Pico	Oficjalnym przewodnikiem po Raspberry Pi Pico jest Get Started with Micropython on Raspberry Pi Pico autorstwa Garetha Halfacre'a i Bena Everarda (ISBN 978-1-912-04786-4). Zawiera opisy prostych projektów dla początkujących Programming the Pico – Learn Coding and Electronics with the Raspberry Pi Pico (ISBN 979-8-464-88217-1) to doskonała książka autorstwa szanowanego specjalisty Simona Monka	Te dwie książki są przeznaczone dla początkujących elektroników, mających niewielką wiedzę na temat elektroniki i programowania

pokazany na rysunku 19. Układ ten jest fragmentem cyfrowo sterowanego zasilacza niskonapięciowego, skonstruowanego przez Autora tej publikacji. Należy zwrócić uwagę na użycie szyn zasilających o napięciach +12 V i –12 V. Dodatnia szyna powinna mieć obciążalność około 1 A, a ujemna około 100 mA. Oznaczenia końcówek elementów półprzewodnikowych pokazano na **rysunku 20**.

Idąc dalej

W **tabeli 5** wyszczególnione zostały materiały źródłowe (książki i linki internetowe), które ułatwią zrozumienie sposobów korzystania z techniki PWM oraz konwencjonalnych układów DAC. Tabela zawiera także linki do stron i not katalogowych producentów układów scalonych. ■

Mike Tooley

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

REKLAMA

PRENUMERATA EdW+

Rozpocznij przygodę z elektroniką! Poznaj podstawy elektroniki z prenumeratą „Elektroniki dla Wszystkich" wraz z zestawem Praktyczny Kurs Elektroniki (PKE)

Na PKE składa się zestaw edukacyjny EDW A09 KPL, w którym znajdziesz:
1. Projekt – samodzielnie uruchamiany układ elektroniczny. Wszystkie układy są montowane na dołączonej płytce stykowej, do której wkłada się „nóżki" elementów na wcisk,
2. Pendrive z wykładami i materiałami multimedialnymi kursu PKE,
3. Zasilacz płytek stykowych AVT3072 C,
4. Zasilacz impulsowy 12 V, 1,4 A.



Cena prenumeraty EdW+PKE wynosi 280,90 zł. Zamówienia na prenumeratę w ofercie EdW+ możesz złożyć na stronie **www.UlubionyKiosk.pl**

eprasa.pl 041f57c630

Ekscytacje Maxa

Migające diody LED i śliniący się inżynierowie (21)

Otacza mnie wir dziwnych, a nierzadko cudownych, wydarzeń. Na przykład często otrzymuję pytania dotyczące moich projektów, takie jak: „Co cię u licha opętało, żeby to wymyślić?" Zupełnie jakbym słyszał wtedy głos mojej matki, dzwoniący mi w uszach tak wyraźnie, jakby była ze mną w pokoju. Mamę zastąpiła obecnie moja żona – Gina Wspaniała... No cóż, jeśli jesteś zainteresowany odpowiedzią na powyższe pytanie, z przyjemnością przyjmiesz do wiadomości, że niedawno przeprowadzono ze mną wywiad w specjalnej edycji Fish Fry: Makers Today! prowadzonym przez – jedyną w swoim rodzaju – Amelię Dalton (https://bit.ly/3C6bIiS).

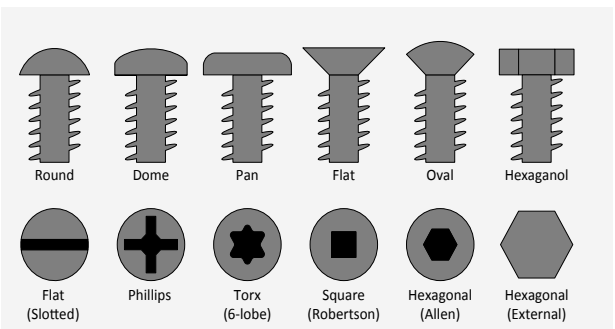
Czy zwracaliście kiedykolwiek uwagę na skorowidze (indeksy) w książkach technicznych? Nie wiem jak Wy, ale ja uważam, że niezwykle frustrujące jest, kiedy szukamy czegoś i sięgamy do odpowiedniej książki, ale w skorowidzu nie udaje nam się tego czegoś znaleźć. Powód, dla którego o tym wspominam, jest taki, że akurat w czasie pisania tego tekstu trzech moich kolegów – Adam Taylor, Dan Binnun i Saket Srivistava – ukończyło pisanie książki zatytułowanej „A Hands-On Guide to Designing Embedded Systems" („Poradnik projektowania systemów wbudowanych"; przypis redaktora); patrz https://bit.ly/3hnu9If. Byli tak mili, że wysłali mi wczesną wersję książki w formacie PDF do przejrzenia. Zanim zacząłem się w nią zagłębiać, przewertowałem pobieżnie cały tekst, a moją uwagę przykuł skorowidz, którego jedyną treścią był zapis „Tutaj znajduje się skorowidz". Spędzam ogromną ilość czasu na ręcznym tworzeniu skorowidzów do moich własnych książek, zostałem więc niejako zmuszony do napisania artykułu na ten temat: „Just Call Me an Indexing Fool" („Mam fioła na punkcie skorowidzów"; przypis redaktora); patrz https://bit.ly/3C0prba.

Właśnie rozmawiałem z Mattem Pulzerem, który jest znakomitym redaktorem i wydawcą miesięcznika Practical Electronics. Matt stanowi bogate źródło wiedzy ezoterycznej, więc z przyjemnością dodałem do jego skarbnicy ciekawostkę odnoszącą się do wyrażenia „Była to ciemna i burzowa noc...". Jak być może wiecie, zdanie to zostało wykorzystane w komiksach Fistaszki autorstwa Charlesa Schulza (https://bit.ly/2XfgOdS). Bohater komiksów, Snoopy, napisał tak wiele historii zaczynających się w ten sposób, że otwarcia te utworzyły w końcu własną książkę (https://amzn.to/3C5XVJ9). Ten przykład kwiecistego, melodramatycznego stylu pisania pochodzi ze zdania otwierającego powieść Paul Clifford z 1830 roku, napisaną przez angielskiego powieściopisarza Edwarda Bulwera-Lyttona. Zdanie to jest tak złe, że doprowadziło do corocznego konkursu Bulwer-Lytton Fiction Contest, w którym uczestnicy mają za zadanie napisać okropne zdanie otwierające najgorszą (nigdy nie napisaną) powieść. Konkurs ten (https://bit.ly/2Xh8bQ3) klasyfikuję osobiście w miejscu tym samym, gdzie Nagrody Darwina – które honorują osoby udoskonalające ludzki genom poprzez... przypadkowe usunięcie się z tego świata w spektakularny sposób (https://bit.ly/2YNUb0N) – oraz nagrody Ig Nobel, premiujące osiągnięcia, które ludzi najpierw rozśmieszają, lecz następnie zmuszają do myślenia (https://bit.ly/3C4Qj9Q).

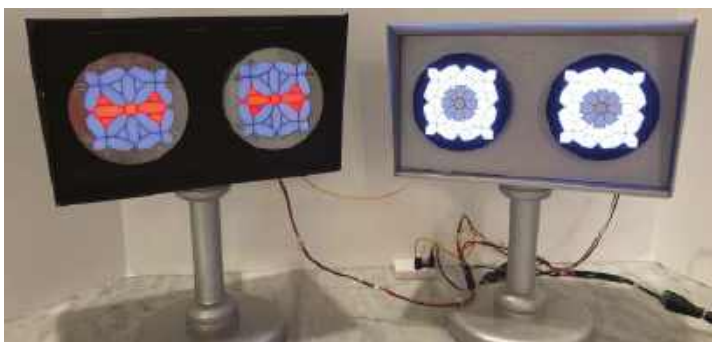
Czyś Ty oszalał?

Nieraz już wspominałem, że jestem wielkim fanem steampunku, czyli podgatunku science fiction, który obejmuje retro-futurystyczną technikę i estetykę inspirowaną wzornictwem XIX-wiecznych przemysłowych maszyn parowych. W wielu moich projektach używam paneli czołowych i pulpitów sterowniczych z mosiądzu oraz mosiężnych łączników. W niektórych projektach, jak np. mój „wiktoriański analizator widma" albo „zegar odliczający" (https://bit.ly/3yYmypv), którego zadaniem jest wyświetlanie lat, miesięcy, dni, godzin, minut i sekund pozostałych do obchodów moich 100. urodzin – rozpoczną się one o 11:45 brytyjskiego czasu letniego 29 maja 2057 roku (zaznacz w kalendarzu!) – użyłem z dobrym skutkiem mosiężnych nakrętek żołędziowych. W innych projektach stosowałem, w zależności od potrzeb, śruby maszynowe o różnych kształtach łba i nacięciach.

Rzecz jasna występuje niesamowita różnorodność kształtów łbów, a każdy z nich może mieć różne style nacięć, z których tutaj przedstawiam tylko niewielki wybór (**rysunek 1**). Żeby zabawa była lepsza, nacięcia występują również w kombinacjach, np. Phillips + szczelinowy

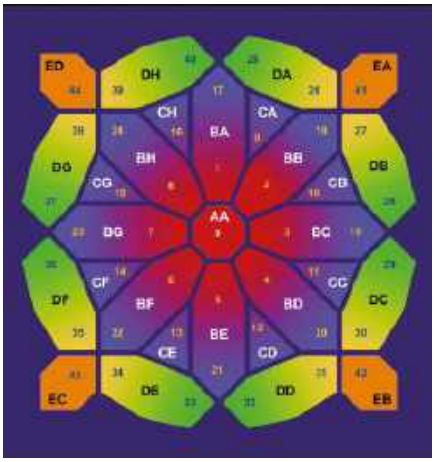


Rysunek 1. Przykłady różnych łbów i nacięć w śrubach

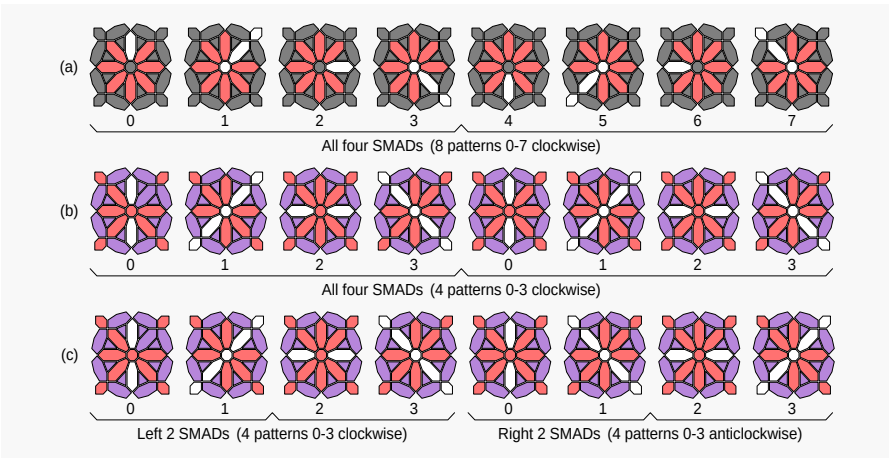


Rysunek 2. Dwie pseudo-głowy robota pokazujące różne rodzaje efektu „oka"

eprasa.pl 041f57c630



Rysunek 3. Mapa segmentów modułu SMAD



Rysunek 4. Wariacje na temat prostego efektu wiatraka

albo sześciokątny + szczelinowy. Jeśli chcemy iść z postępem czasu i w kwestii wyglądu unikać anachronizmu, wybierzemy nacięcia szczelinowe lub sześciokątne (albo żołędziowe, których tutaj nie pokazano). Prawie wszystko inne jest artefaktem XX wieku, w tym nacięcia kwadratowe (Robertson), wynalezione przez Petera Robertsona w 1907 roku, nacięcia sześciokątne (Allen), wynalezione przez Williama Allena około roku 1910, nacięcia Phillips, wynalezione przez Henry'ego Phillipsa w 1936 roku oraz śruby Torx, wynalezione przez firmę Camcar Textron w roku 1967.

W moich projektach używam głównie śrub z rowkiem, choć nie mam nic przeciwko śrubom z łbem imbusowym albo Robertsona, a czasem, jeśli wymaga tego okazja, nawet z łbem sześciokątnym. Z drugiej strony – nigdy, przenigdy nie użyję śrub krzyżakowych w żadnej z moich steampunkowych ekstrawagancji, choć uwielbiam stosować je do zadań domowych.

Oczywiście to, w jaki sposób Wy tworzycie Wasze projekty, to wyłącznie Wasza sprawa. Nie jest moją rzeczą rzucać oskarżenia – zwłaszcza, że ramię, którego używam do rzucania, nie jest już tak sprawne jak kiedyś... Tym niemniej odrobina dbałości o szczegóły nigdy nie zaszkodzi. Na przykład w przypadku moich dwóch pseudo-głów robotów, z których każda zawiera po dwa nasze SMAD-y (Steve and Max's Awesome Displays), mocuję każdy ze SMAD-ów do panelu przedniego ośmioma śrubami z łbem walcowym i nacięciem sześciokątnym (**rysunek 2**). Mało tego – chociaż panele boczne są przymocowane do głównych korpusów głów klejem na gorąco, to jednak dałem do każdego panelu siedem śrub, co ma sprawiać wrażenie, że panele są bardziej wytrzymałe i wyrafinowane niż w rzeczywistości.

Ostatnia uwaga na ten temat: w głowie srebrnej SMAD ma czarną powłokę i okładziny, natomiast w czarnej głowie powłoki i okładziny SMAD są koloru srebrnego (niklowane). Śruby panelu bocznego na srebrnej głowie mają zwykły kolor stali, a ich odpowiedniki na czarnej głowicy są czarne. I analogicznie – śruby mocujące srebrne SMAD-y na czarnej głowie są koloru stali, a śruby mocujące czarne SMAD-y na srebrnej głowie są czarne. W przeszłości spędzałem niebotyczną ilość czasu próbując znaleźć czarne wersje różnych elementów połączeniowych. Natomiast od niedawna, o ile nie używam mosiądzu, kupuję po prostu wszystko w kolorze stali, a tam, gdzie potrzebuję czegoś czarnego, stosuję środek Gun Blue (https://amzn.to/391DKj6).

Naciesz oczy

W poprzednich odcinkach wspominałem o pomyśle użycia różnych segmentów SMAD i kolorów do reprezentowania oczu. Na rysunku 2 widzimy dwie stosowane przeze mnie wersje. W wersji po lewej używam koloru niebieskiego do reprezentowania gałki ocznej i czerwonego dla źrenicy; w wersji po prawej – białego dla gałki ocznej i czarnego dla źrenicy. Zamierzam jeszcze wypróbować różne inne reprezentacje, m.in. z patrzeniem w lewo (zachód), w prawo (wschód), w górę (północ) i w dół (południe). Zapewne poeksperymentuję też z patrzeniem na północny zachód, południowy zachód, północny wschód i południowy wschód.

A gdy oczy patrzą bezpośrednio przed siebie, jak na rysunku 2, to interesujące może być sprawdzenie, czy możemy uzyskać jakiś efekt mrugania. Mam „z tyłu głowy" różne tego typu pomysły. Chętnie też wysłucham Waszych sugestii.

Dla przypomnienia

Nasza mapa segmentów SMAD jest pokazana na **rysunku 3**. Liczby odnoszą się do pozycji diod LED w łańcuchu i stosują się do obu typów powłoki SMAD (29-segmentowego i 45-segmentowego). Natomiast kombinacje liter to nazwy używane do identyfikacji segmentów tylko w wersjach 29-segmentowych.

W poprzednim odcinku (Practical Electronics, październik 2021; EdW, maj 2025), wszystkie cztery SMADy wyświetlały prosty efekt wiatraka, na który składało się osiem wzorów (**rysunek 4a**). Kluczową częścią jest utworzenie tablicy zawierającej kombinacje diod LED, które chcemy zapalić w każdym wzorze. Dla zrealizowania tego efektu zdefiniowaliśmy NUM_PATTERNS_IN_EFFECT jako 8 (odpowiada to faktowi, że mamy 8 „szprych", jak na rysunku 3), a MAX_LEDS_IN_EFFECT jako 4 (w każdej szprysze znajdują się dwie diody LED). Następnie utworzyliśmy dwuwymiarową tablicę 8-bitowych liczb całkowitych o nazwie EffectMap[][], która składa się z NUM_PATTERNS_IN_EFFECT (czyli ośmiu) wierszy, z których każdy zawiera MAX_LEDS_IN_EFFECT + 1 (czyli pięć) elementów. Zainicjowaliśmy tę tablicę w następujący sposób:

```
{
{2, 1, 17, 0, 0}, // BA
{4, 0, 2, 18, 41}, // AA BB EA
{2, 3, 19, 0, 0}, // BC
{4, 0, 4, 20, 42}, // AA BD EB
{2, 5, 21, 0, 0}, // BE
{4, 0, 6, 22, 43}, // AA BF EC
{2, 7, 23, 0, 0}, // BG
{4, 0, 8, 24, 44} // AA BH ED
};
```


eprasa.pl 041f57c630

Jak pamiętamy, pierwsza wartość w każdym wierszu mówi nam, ile diod LED chcemy zapalić dla tego wzoru. Pozostałe wartości w wierszu to numery tych diod. Wszelkie zera po prawej stronie to tylko „symbole zastępcze" („wypełniacze" – przypis redaktora). Możecie sobie przypomnieć, jak to wszystko działało, pobierając program (plik CB-Oct21-05.txt) ze strony „Practical Electronics" z października 2021 r. pod adresem https://bit.ly/3oouhbl.

Twoja kolej

W zeszłym miesiącu pod koniec odcinka zaprosiłem Was do przeprowadzenia kilku własnych eksperymentów myślowych. Pierwszym z nich było zastanowienie się, w jaki sposób możemy zmodyfikować nasz najnowszy program, aby zawierał cztery wzory, każdy z dwoma ramionami ustawionymi względem siebie pod kątem 180°. Moje rozwiązanie można znaleźć w pliku CB-Nov21-01.txt na stronie Practical Electronics z listopada 2021 r. pod adresem: https://bit.ly/3oouhbl. Aby uczynić życie nieco bardziej interesującym, dodałem trzeci kolor „głębokiego tła" – fioletowy (**rysunek 4b**), chociaż nie wchodziło to w zakres naszej głównej misji.

Jak zaraz zobaczymy, wprowadzenie tego efektu jest bardzo proste. Najpierw zmieniamy NUM_PATTERNS_IN_EFFECT na 4 i MAX_LEDS_IN_EFFECT na 6. Następnie definiujemy nową zawartość naszej tablicy EffectMap[][] w następujący sposób:

```
{
{5,0, 1,17, 5,21, 0}, // AA+BA+BE
{6,2,18, 6,22,41,43}, // BB+BF+EA+EC
{5,0, 3,19, 7,23, 0}, // AA+BC+BG
{6,4,20, 8,24,42,44} // BD+BH+EB+ED
};
```

Naszym kolejnym eksperymentem myślowym było zastanowienie się, w jaki sposób możemy zmodyfikować to najnowsze wcielenie tak, aby wzory wiatraków na oczach lewej głowy robota obracały się zgodnie z ruchem wskazówek zegara, a wzory na oczach prawej głowy robota – w kierunku przeciwnym (**rysunek 4c**).

Moje rozwiązanie można znaleźć w pliku CB-Nov21-02.txt. Szczerze mówiąc, mój program co prawda działa jak należy, ale wydaje mi się trochę „niezgrabny" i mam podejrzenie, że można to zaimplementować w bardziej elegancki sposób. Może ktoś rzuci na niego okiem i zaproponuje jakieś poprawki...

Odliczanie końcowe

Ostatnim postawionym przeze mnie problemem było zaimplementowanie pewnego rodzaju licznika, który uważam za realizację „odliczania do przybycia kosmitów" (miałem burzliwe dzieciństwo). Pomysł polega na powrocie do oryginalnej wersji naszego wiatraka z 8 wzorcami (**rysunek 4a**), ale z nowym układem kolorów (**rysunek 4b** i rysunek 4c).

To, co chcemy zrobić, to utworzyć program z udziałem dwóch lub więcej SMAD-ów, który rozpoczyna się od wyświetlenia przez każdy z nich pojedynczego ramienia wiatraka skierowanego w górę. Zaczynamy od tego, że najmniej znaczący SMAD (ten po prawej) obraca swoje ramię zgodnie z ruchem wskazówek zegara, wykonując cztery pełne obroty na sekundę (pierwotnie mówiłem, że będzie jeden obrót na sekundę, ale efekt wygląda bardziej ekscytująco, gdy go przyspieszymy). Za każdym razem, gdy to ramię powraca do pozycji pionowej, ramię na sąsiednim module przesuwa się o jedną pozycję. Analogicznie, za każdym razem, gdy ramię drugiego modułu SMAD powraca do pozycji pionowej, ramię trzeciego modułu przesuwa się o jedną pozycję – i tak dalej dla wszystkich modułów w łańcuchu.

Moje rozwiązanie można znaleźć w pliku CB-Nov21-03.txt. W tym przypadku muszę przyznać, że jestem całkiem zadowolony z tego, jak wyszło. Pętla główna z pominięciem szczegółów wygląda następująco:

```
int iSmad = 0;
bool done = false;

do
{
int smadOffset = iSmad * NUM_NEOS_PER_SMAD;

// Bieżący SMAD: ustaw Neos w starym wzorze na kolor tła
// <tutaj tekst programu>

// Bieżący SMAD: zwiększ wskaźnik SMAD (następny wzorzec)
// <tutaj tekst programu>

// Bieżący SMAD: ustaw Neos w starym wzorze na kolor
pierwszego planu
// <tutaj tekst programu>

// Bieżący SMAD: sprawdź, czy nastąpiło przewinięcie
if (SmadPtrs[iSmad] != NORTH)
done = true;
else
iSmad = iSmad + 1;
} while ((done == false) && (iSmad < NUM_SMADS));
```

A więc wszystko, co musimy zrobić, to zmienić definicję NUM_SMADS (liczba SMADów w łańcuchu), określając liczbę „cyfr" w naszym liczniku. Jak zwykle, ku waszej przyjemności i zachwytowi, nagrałem krótki film pokazujący wszystkie efekty omówione w tym odcinku: https://bit.ly/3lJk1uN.

Co dalej?

Jest tak wiele rzeczy, które możemy robić ze SMAD-ami w ogóle, a z głowami robotów w szczególności, że nie mogę się zdecydować, w którym kierunku iść dalej. Czy kontynuować zabawę z wariacjami na temat prostych efektów, które widzieliśmy do tej pory, wzmacniając naszą (moją) pewność, że mamy pojęcie o tym, co robimy? A może zaryzykujemy i zaczniemy eksperymentować z oszałamiającymi efektami kolorystycznymi? Czy macie jakieś przemyślenia, którymi chcielibyście się podzielić na tym etapie postępowania? Jak zawsze, czekam na Wasze mądre komentarze, wnikliwe pytania i pomocne sugestie. ■

Max Wspaniały

REKLAMA

numery archiwalne • prenumerata • książki
www.UlubionyKiosk.pl

eprasa.pl 041f57c630

Sprytne porady i sztuczki cyklu Ekscytacje Maxa dotyczące kodowania

Obawiam się, że ten odcinek będzie przypominać jedną z męczących opowieści mojej mamy. Te opowieści zazwyczaj zaczynają się tak: „Pewnego dnia wpadłam w sklepie rybnym na panią Greebles. Pamiętasz, była najstarszą z trzech sióstr. Najmłodsza, Beryl, była złośnicą, a średnia uciekła z australijskim wypychaczem zwierząt i mieli dwóch synów, którzy bali się bananów, i...". Niesamowite jest to, że po tym, jak mama zapuszcza się tak daleko w gąszcz – aż jej słuchacze zaczynają rozważać wysłanie jakiejś grupy poszukiwawczej – w jakiś sposób udaje się jej doprowadzać historię do triumfalnego zakończenia: „I dlatego nigdy nie powinieneś nazywać morsa imieniem Wally!".

A ludzie zastanawiają się, dlaczego piję...

We wcześniejszych poradach i wskazówkach (Practical Electronics, lipiec 2021; EdW, luty 2025) zwróciliśmy uwagę, że mikrokontrolery, takie jak Teensy (którego używamy do sterowania 10-znakowym, 21-segmentowym wyświetlaczem wiktoriańskim) czy Arduino (którego używam do projektów wszelkiego rodzaju), zawierają trzy rodzaje pamięci: FLASH, SRAM i EEPROM. Pamięć FLASH, nieulotna (zachowuje zawartość po wyłączeniu zasilania), służy do przechowywania programu. W przeciwieństwie do niej pamięć SRAM jest ulotna (traci zawartość po wyłączeniu zasilania) i jest miejscem, w którym program tworzy, przechowuje i manipuluje zmiennymi w trakcie pracy. Mamy również niewielką ilość nieulotnej pamięci EEPROM (pamięć stała elektrycznie kasowana i programowana), w której możemy przechowywać małe ilości informacji przez długi czas.

W przypadku Teensy 3.6 mamy do dyspozycji 4KB pamięci EEPROM – czyli 4096 bajtów, ponumerowanych od 0 do 4095; szesnastkowo od 0x000 do 0xFFF. Jeśli chcemy użyć tej pamięci w naszych programach, musimy najpierw dołączyć specjalną bibliotekę, która jest dostarczana jako część zintegrowanego środowiska programistycznego Arduino (IDE). Używamy następującej instrukcji:

```
#include <EEPROM.h>
```

Dla przypomnienia sobie, jak to działa, załóżmy, że deklarujemy zmienną całkowitą o nazwie Address, której przypisujemy wartość 0, oraz 8-bitową (bajtową) zmienną o nazwie Data, której przypisujemy wartość 128. Dane można zapisać do naszej pamięci EEPROM w następujący sposób:

```
EEPROM.write(Address,Data);
```

Dane z pamięci EEPROM możemy potem odczytać instrukcją:

```
Data = EEPROM.read(Address);
```

We wspomnianym wcześniej odcinku Sprytnych porad i sztuczek... wspomnieliśmy o tym, że zamierzamy użyć pamięci EEPROM do przechowywania zestawu bajtowych wartości całkowitych bez znaku (użyjemy typu danych uint8_t, który wprowadziliśmy we wrześniu 2020 r.), aby pamiętać różne ustawienia użytkownika, takie jak preferowane formaty wyświetlania daty i czasu.

Przygotowanie sceny

W praktycznych projektach możemy mieć kilkanaście lub kilkadziesiąt „bajtów ustawień". Dla celów tej dyskusji przyjmijmy jednak, że pracujemy z bardzo ograniczonym ich podzbiorem zawierającym tylko dziesięć bajtów. Możemy założyć, że są ponumerowane od 0 do 9. W związku z tym definiujemy NUM_SET_BYTES jako równy 10.

Planujemy mieć trzy kopie tych bajtów ustawień. Po pierwsze, będziemy mieć zestaw wartości domyślnych o nazwie DefSettings, który będzie przechowywany w pamięci FLASH i będzie niejako częścią programu głównego. Następnie będziemy mieć zestaw wartości niestandardowych, ustawionych przez użytkownika i będzie on przechowywany w pamięci EEPROM. I wreszcie będzie istniał zestaw roboczy o nazwie WrkSettings, przechowywany w pamięci SRAM. Ten właśnie zestaw będzie ostatecznie używany przez program po jego uruchomieniu.

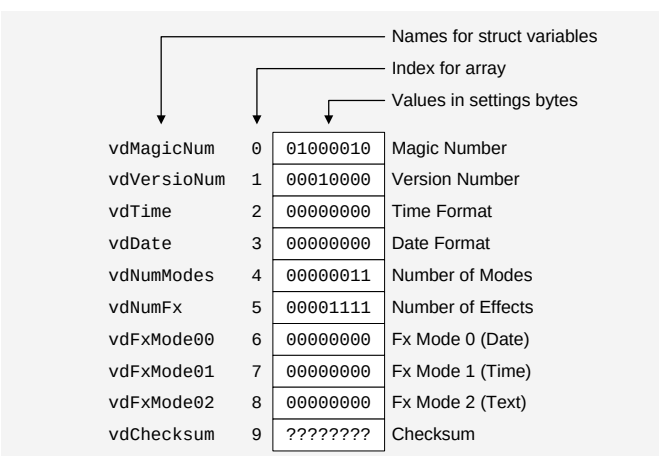
Zacznijmy od rozważenia zestawu wartości domyślnych, przechowywanych w DefSettings. Zestaw ten ogólnie przedstawiono na **rysunku 5**. Przede wszystkim mamy pewną „magiczną liczbę", której cel użycia zostanie wkrótce wyjaśniony, a której wartość ustaliłem sobie na 0x42 szesnastkowo (01000010 dwójkowo). Wartość ta – jak wiedzą wtajemniczeni – stanowi „odpowiedź na zasadnicze pytanie o życie, wszechświat i wszystko" (https://bit.ly/pe-nov21-42). Dalej następuje numer wersji, który zapisuję w postaci dwóch połówek 4-bitowych, czyli „nibble" (pamiętaj, że „dwa nibble tworzą bajt"). Bardziej znacząca połówka zawiera podstawowy numer wersji, a mniej znacząca – numer dodatkowy. Nasze „nibble" to dwójkowo 0001 i 0000, więc numer wersji wynosi 1.0.

Dalej mamy zapisany format czasu (0 = 12-godzinny, 1 = 24-godzinny), a następnie format daty: 0 = RRRR/MM/DD, 1 = MM/DD/RRRR, 2 = DD/MM/RRRR. Po nich następuje liczba trybów pracy oraz liczba efektów. Na potrzeby tej dyskusji załóżmy, że mamy trzy tryby o numerach 0, 1 i 2, w których wyświetlane są odpowiednio: godzina, data lub przewijana wiadomość tekstowa. Zauważ, że dla celów tego przykładu tylko dwa z nich (godzina i data) mają powiązane ustawienia formatu.

Jeśli chodzi o efekty, to załóżmy, że mamy ich szesnaście (ponumerowanych od 0 do 15). Na przykład efekt 0 może być statycznym białym tekstem na czarnym tle, efekt 1 – statycznym czarnym tekstem na białym tle, efekt 2 może być animowaną tęczą kolorowego tekstu na czarnym tle i tak dalej.

Następnie mamy trzy bajty opisujące efekty powiązane z każdym z trybów pracy. Jak widzimy, z założenia z każdym trybem będzie domyślnie powiązany efekt 0 (biały tekst na czarnym tle).

I na końcu mamy specjalną wartość zwaną sumą kontrolną. Przydaje się ona głównie wtedy, gdy chcemy określić, czy zawartość pamięci



Rysunek 5. Przykładowa zawartość zmiennej DefSettings

eprasa.pl 041f57c630

Address in EEPROM

	(a) Uninitialised	(b) Default	(c) Custom	
0x000	XXXXXXXX	01000010	01000010	Magic Number
0x001	XXXXXXXX	00010000	00010000	Version Number
0x002	XXXXXXXX	00000000	00000001	Time Format
0x003	XXXXXXXX	00000000	00000010	Date Format
0x004	XXXXXXXX	00000011	00000011	Number of Modes
0x005	XXXXXXXX	00001111	00001111	Number of Effects
0x006	XXXXXXXX	00000000	00000111	Fx Mode 0
0x007	XXXXXXXX	00000000	00001001	Fx Mode 1
0x008	XXXXXXXX	00000000	00000101	Fx Mode 2
0x009	XXXXXXXX	????????	????????	Checksum

Rysunek 6. Zawartość pamięci EEPROM na różnych etapach działania systemu

EEPROM jest prawidłowa czy nie. Wrócimy do tego punktu za chwilę, ale najpierw...

Stwórzmy unię!

W myśl tego, co już wcześniej omawialiśmy (tak! zdecydowanie powinniście jeszcze raz przeczytać Porady i wskazówki z lipca 2021 r.; EdW 02/2024), zdefiniujemy nowy typ danych w formie unii. Nazwiemy ją Settings.

Unia oferuje różne sposoby przedstawiania tego samego obszaru pamięci i manipulowania nim. W naszym prostym przypadku te same dane czasem będzie wygodnie traktować jako pola o rozmiarze bajtów w pewnej strukturze (nazwaliśmy ją vds), a innym razem traktować te same dane w pamięci jako tablicę bajtów (którą nazwaliśmy vda). W nazwach tych identyfikatorów „vd" oznacza „Victorian Display" (wyświetlacz wiktoriański), natomiast litery „s" i „a" oznaczają odpowiednio „strukturę" (structure) i „tablicę" (array).

```
typedef union
{
struct
{
uint8_t vdMagicNum;
uint8_t vdVersionNum;
uint8_t vdTime;
uint8_t vdDate;
uint8_t vdNumModes;
uint8_t vdNumFx;
uint8_t vdFxMode00;
uint8_t vdFxMode01;
uint8_t vdFxMode02;
uint8_t vdChecksum;
} vds;
uint8_t vda[NUM_SET_BYTES];
} Settings;
```

Deklarujemy następnie nasze zmienne DefSettings i WrkSettings jako należące do typu tej unii, co pokazano poniżej. Sprytny jest sposób, w jaki inicjalizujemy wartości zmiennej DefSettings:

```
Settings DefSettings =
{
.vds =
{
.vdMagicNum = 0x42,
.vdVersionNum = 0x10,
.vdTime = 0x00,
.vdDate = 0x00,
.vdNumModes = 0x03,
.vdNumFx = 0x0F,
.vdFxMode00 = 0x00,
.vdFxMode01 = 0x00,
.vdFxMode02 = 0x00,
.vdChecksum = 0x00
}
};

Settings WrkSettings;
```

Do sumy kontrolnej przypisujemy w tym miejscu wartość 0x00 tylko dla kompletności, ponieważ prawie natychmiast obliczymy w programie wartość właściwą. Wartość 0x00 nigdy nie zostanie użyta, lecz mimo to nieprzypisanie w tym miejscu żadnej wartości powodowałoby błąd przy każdej kompilacji.

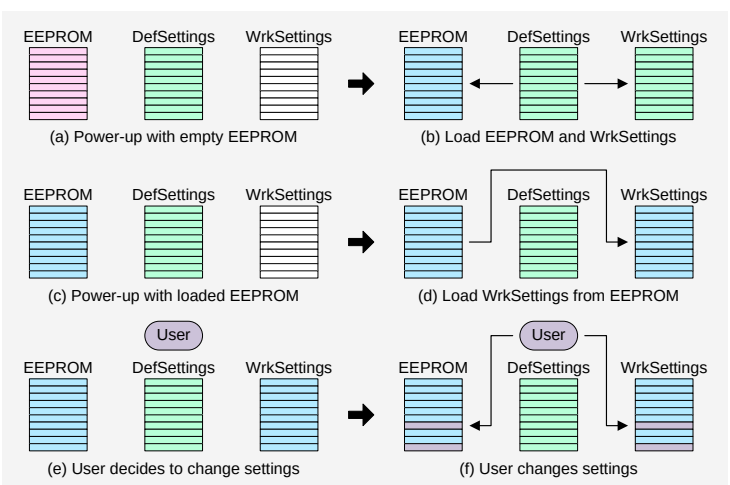
Stałość

Mamy tu kolejną możliwość poszerzenia swej wiedzy. Jeśli nie zamierzalibyśmy nigdy zmieniać żadnej wartości w zmiennej DefSettings, to powinniśmy zadeklarować ją jako obiekt stały w następujący sposób:

```
const Settings DefSettings = {...}
```

Dałoby to kilka korzyści. Pierwszą z nich jest to, że kompilator „wpadłby w szał", gdyby nasz program przypadkiem spróbował zmienić którąkolwiek z wartości. Po drugie, wszelkie zainicjowane zmienne, które nie są deklarowane jako const, przechowywane są w pamięci programu FLASH, a przed uruchomieniem programu użytkownika są przez program startowy kopiowane do pamięci SRAM. Jeśli natomiast zadeklarujemy zainicjowaną zmienną jako const, system będzie wiedział, że wartości tej zmiennej nie ulegną zmianie, a to oznacza, że nie trzeba ich kopiować do pamięci SRAM. W ten sposób zaoszczędzimy cenne zasoby tej pamięci.

W naszym przypadku w stosunku do zmiennej DefSettings nie użyjemy jednak słowa kluczowego const. Powód jest prosty – planujemy w tej zmiennej zmienić wartość sumy kontrolnej.



Rysunek 7. Różne scenariusze postępowania z zestawem danych

eprasa.pl 041f57c630

Próba puddingu

Przypis redaktora: tytuł nawiązuje do angielskiego powiedzenia: „sprawdzenie puddingu polega na zjedzeniu go”.

Pamiętajmy, że struktura i tablica zdefiniowane w naszej unii mają na celu zapewnienie dwóch różnych sposobów dostępu do tych samych dziesięciu bajtów w pamięci. Ale skąd wiemy, że to faktycznie działa prawidłowo? No cóż – jak wspomniałem wcześniej, z zawodu jestem inżynierem „od sprzętu”, a pisanie programów nie jest moją mocną stroną. Przeprowadziłem więc mały test w następujący sposób:

```
for (int i = 0; i < NUM_SET_BYTES; i++)
{
WrkSettings.vda[i] = DefSettings.vda[i];
}

for (int i = 0; i < NUM_SET_BYTES; i++)
{
Serial.print(i);
Serial.print(“ “);
Serial.println(WrkSettings.vda[i]);
}
```

Kiedy w naszej zmiennej DefSettings inicjowaliśmy wartości, użyliśmy jej aspektu struktury. Teraz, w pierwszej pętli powyżej, do skopiowania tych wartości ze zmiennej DefSettings do zmiennej WrkSettings używamy aspektów tablicy. Następnie w drugiej pętli wypisujemy wartości ze zmiennej WrkSettings. No i działa! (Uff!).

Jeśli chcecie, możecie zapoznać się z tym szkicem w całej okazałości (plik CB-Nov21-04.txt na stronie Practical Electronics z listopada 2021 r. pod adresem: https://bit.ly/3oouhbl).

Sprawdź mi sumę kontrolną

Jak sobie przypominamy, nasz ostatni bajt ustawień jest używany do przechowywania wartości zwanej „sumą kontrolną”. Wszystko, co w tym momencie musimy wiedzieć, to to, że suma kontrolna to mały blok danych cyfrowych, który wywodzi się z większego bloku danych. Suma kontrolna służy do wykrywania błędów, które mogły wystąpić podczas przechowywania lub przesyłania tego większego bloku danych. W naszym przypadku zamierzamy utworzyć sumę kontrolną o rozmiarze jednego bajtu na podstawie zawartości wszystkich pozostałych bajtów ustawień.

Procedura, która tworzy wartość sumy kontrolnej, określana jest jako „funkcja sumy kontrolnej” lub „algorytm sumy kontrolnej”. Dobry algorytm sumy kontrolnej wygeneruje znacząco inną wartość sumy nawet dla niewielkiej zmiany, która zaszła w danych wejściowych.

Od kiedy istnieje ten cykl artykułów, nie znoszę Wam tego robić, ale chyba wiecie, co teraz powiem – a mianowicie: że wkrótce wrócimy do tego punktu, ale najpierw...

Poznaj moją grę w trzy kubki

Czy widzieliście kiedyś, jak się gra w trzy kubki? Polega to na tym, że prowadzący grę kilkakrotnie przemieszcza trzy odwrócone kubki lub łupiny orzechów, a uczestnik musi określić, pod którym z nich znajduje się groszek lub inny przedmiot. Jeśli uczestnikiem jesteś Ty, to możesz być święcie przekonany, że wiesz, gdzie skrywa się groszek... aż do momentu, w którym wybrany przez Ciebie kubek okazuje się pusty, a Twoje ciężko zarobione pieniądze żegnają się z Tobą. No więc będziemy robić coś podobnego z naszymi bajtami ustawień w ogóle, a naszym bajtem sumy kontrolnej w szczególności.

Zanim przejdziemy dalej, zdecydujmy, że jedną z pierwszych rzeczy, które zrobimy po pierwszym uruchomieniu naszego programu, będzie użycie funkcji sumy kontrolnej. Wygeneruje ona bajt sumy kontrolnej w oparciu o wartości wszystkich bajtów ustawień (z wyjątkiem samego bajtu sumy kontrolnej), przechowywanych w zmiennej DefSettings. Wynik zapiszemy w DefSettings w polu przewidzianym dla tej sumy (vdChecksum).

Załóżmy teraz, że właśnie wyjęliśmy z pudełka nowy mikrokontroler, podłączyliśmy go do naszego systemu i wczytaliśmy do niego nasz program. Ponieważ mikrokontroler jest nowy, pamięć EEPROM będzie niezainicjowana, co oznacza, że będzie zawierać jakieś nieznane wartości (**rysunek 6a**). Na rysunku oznaczyliśmy te wartości jako „X”. Zazwyczaj będą to same jedynki lub rzadziej, same zera.

Kiedy uruchomimy nasz program, jedną z pierwszych rzeczy, które zrobimy – po wygenerowaniu bajtu sumy kontrolnej i zapisaniu go w zmiennej DefSettings, jak to omówiliśmy powyżej – będzie sprawdzenie czy pamięć EEPROM zawiera prawidłowe wartości ustawień. Jak to zrobić?

Czy pamiętacie bajt z „magiczną liczbą” z rysunku 5? Zdecydowaliśmy się przypisać temu bajtowi wartość 0x42, ale może to być w zasadzie dowolna wartość inna niż 0x00 i 0xFF. Odczytamy bajt z pamięci EEPROM spod adresu 0x000 i sprawdzimy, czy zgadza się on z bajtem „magicznej liczby” w DefSettings. Ponieważ jednak, jak wspomniałem, jest to pierwsze w ogóle uruchomienie programu, pamięć EEPROM jest pusta (**rysunek 7a**), więc sprawdzenie „magicznej liczby” zakończy się niepowodzeniem. W takim przypadku skopiujemy domyślne wartości ustawień, w tym obliczony właśnie bajt sumy kontrolnej, z DefSettings do EEPROM-u, a także do WrkSettings w RAM-ie (**rysunek 6b** i **rysunek 7b**).

Załóżmy teraz, że bawimy się naszym wiktoriańskim wyświetlaczem, a następnie, bez zmiany jakichkolwiek ustawień, wyłączamy go. W takim przypadku, gdy ponownie włączymy system, pamięć EEPROM będzie zawierała kopię ustawień domyślnych (rysunku 6b i **rysunku 7c**). Tak jak poprzednio, jedną z pierwszych rzeczy, które robimy, jest odczytanie bajtu z adresu 0x000 w pamięci EEPROM i sprawdzenie, czy zgadza się on z bajtem „magicznej liczby” w DefSettings. Teraz już test wypadnie pomyślnie. Kopiujemy więc do WrkSettings wartości zapisane w EEPROMie (**rysunek 7d**).

Użyliśmy funkcji sumy kontrolnej, aby sprawdzić, czy dane, które mamy skopiować do zmiennej WrkSettings, są prawidłowe (za chwilę omówimy w szczegółach, jak to zrobić). Jeśli test ten zakończy się niepowodzeniem, to będziemy wiedzieć, że dane w pamięci EEPROM zostały w jakiś sposób uszkodzone. W takim przypadku będziemy

01000010	01000010	Magic Number
00010000	00010000	Version Number
00000001	00000001	Time Format
00000010	00000010	Date Format
00000011	00000011	Number of Modes
00001111	00001111	Number of Effects
00000111	00000111	Fx Mode 0
00001001	00001001	Fx Mode 1
00000101	00000101	Fx Mode 2
01010110	10000100	Checksum
(a) Parity byte	(b) Sum complement	

Rysunek 8. Proste algorytmy tworzenia sum kontrolnych

eprasa.pl 041f57c630

musieli coś zrobić w tej sytuacji. Zapewne podejmiemy działania z rysunku 7b. Natomiast jeśli sprawdzenie wypadnie pomyślnie, to wiemy, że z danych zawartych w EEPROMie możemy skorzystać.

Załóżmy teraz, że podczas działania naszego programu zdecydujemy się zmienić niektóre ustawienia (**rysunek 7e**). Na przykład, możemy przełączyć format czasu z 12-godzinnego na 24-godzinny. Możemy również zmienić format daty z RRRR/MM/DD na DD/MM/RRRR lub też zdecydować się na zmianę efektów związanych z różnymi trybami. Oczywiście będziemy musieli wyposażyć nasz program w możliwość ustawiania przez użytkownika wartości parametrów.

Za każdym razem, gdy użytkownik zmieni którąś z wartości: a) nowa wartość zostanie wpisana do odpowiedniego bajtu zarówno w pamięci EEPROM, jak i WrkSettings, b) zostanie wygenerowana nowa wartość sumy kontrolnej, która również zostanie zapisana zarówno w pamięci EEPROM, jak i WrkSettings. Ilustrują to **rysunki 6c** i **7f**.

Tajniki sumy kontrolnej

Bajty sumy kontrolnej na rysunek 6 i rysunek 7 przedstawiono jako „????????” z tego powodu, że nie zdecydowaliśmy jeszcze, jakiego algorytmu użyjemy. Najprostszy algorytm sumy kontrolnej zwany jest „podłużną kontrolą parzystości” (**rysunek 8a**). Polega on na podzieleniu danych na słowa o jednakowej liczbie (n) bitów, a następnie obliczeniu sumy wykluczającej (XOR) wszystkich słów – z wyłączeniem samej, nieznanej jeszcze, wartości sumy kontrolnej. W naszym przypadku słowa mają oczywiście szerokość 8 bitów. Sumę kontrolną ustalamy tak, aby, mówiąc prosto, mieć w każdej kolumnie parzystą liczbę jedynek.

W najmniej znaczącej kolumnie (bit 0) mamy sześć jedynek (liczba parzysta), więc odpowiadający im bit sumy kontrolnej będzie równy 0. W kolumnie bitu 1 mamy pięć jedynek (ilość nieparzysta), więc odpowiadający im bit sumy kontrolnej będzie równy 1. W kolumnie bitu 2 mamy trzy jedynki (znów ilość nieparzysta), więc ponownie odpowiadający im bit sumy kontrolnej będzie równy 1. I tak dalej dla pozostałych bitów, co daje wartość sumy kontrolnej dwójkowo 01010110.

Aby sprawdzić poprawność danych po odczytaniu ich z pamięci EEPROM i załadowaniu do WrkSettings, użyjemy naszej funkcji sumy kontrolnej do obliczenia sumy wykluczającej XOR wszystkich bajtów ustawień w WrkSettings, wliczając w to bajt sumy kontrolnej. Jeśli wynik nie będzie równy 0x00 (same zera), to wiemy, że wystąpił błąd.

Inną prostą techniką jest algorytm „dopełnienia sumy” (rysunek 8b). W tym przypadku traktujemy bajty ustawień jako liczby bez znaku i dodajemy je wszystkie do siebie, z wyłączeniem samej – jeszcze nieznanej – wartości sumy kontrolnej. W przykładzie na rysunek 8b: 01000010 + 00010000 + 00000001 + 00000010 + 00000011 + 00001111 + 00000111 + 00001001 + 00000101 = 01111100. Jeżeli po zsumowaniu wynik jest większy niż rozmiar słowa (tu: 8 bitów), to po prostu wszystkie nadmiarowe bity odrzucamy. Następnie tworzymy uzupełnienie do dwóch tej sumy: zmieniamy wszystkie 0 na 1 oraz wszystkie 1 na 0, a następnie dodajemy 1 do wyniku. W ten sposób uzyskujemy wartość sumy kontrolnej równą 10000100.

Chcąc sprawdzić poprawność danych po odczytaniu ich z pamięci EEPROM i załadowaniu do WrkSettings, dodajemy do siebie wszystkie bajty, w tym bajt sumy kontrolnej, odrzucając z sumy nadmiarowe („przepełnione”) bity. I znowu – jeśli wynik jest inny niż 0x00 (same zera), to znaczy, że wystąpił błąd.

Wcześniej stwierdziłem, że „dobry algorytm sumy kontrolnej wygeneruje znacząco inną wartość sumy nawet dla niewielkiej zmiany, która zaszła w danych wejściowych”. Czy jest to spełnione w przypadku tych dwóch algorytmów, które właśnie omówiliśmy? Obawiam się, że nie. Spróbuj zmienić pojedynczy bit w jednym z naszych bajtów ustawień i zobacz, jaki ma to wpływ na dane wyjściowe. W moim następnym rozdziale Sprytne porady i sztuczki rozważymy algorytm znacznie sprytniejszy, ale najpierw...

Krytyczna misja

Zmagając się z tym artykułem być może zastanawialiście się, dlaczego musimy używać sumy kontrolnej do weryfikacji zawartości pamięci EEPROM. Być może zadawaliście sobie pytanie: „Czy ten rodzaj pamięci jest taki zawodny?” No więc odpowiedź brzmi „i tak i nie” (założę się, że się tego spodziewaliście). Jest faktem, że typowa pamięć EEPROM, taka jak użyta w Arduino, ma skończoną żywotność, wynoszącą tylko 100 000 cykli zapisu i kasowania, ale stanowiłoby to problem tylko wtedy, gdybyśmy robili coś niemądrego – na przykład zapisywali do tej pamięci dane tysiąc razy na sekundę. A jak myślicie – ile razy użytkownik zmodyfikuje ustawienia w czymś takim jak nasz wiktoriański wyświetlacz?

Pewnym problemem jest to, że zapisywanie danych do pamięci EEPROM zajmuje stosunkowo dużo czasu wśród wielu wykonywanych zadań. Jednak oczywiście nie tyle, byśmy sami coś zauważyli, zwłaszcza, że w naszym wiktoriańskim wyświetlaczu zapisujemy tylko kilka bajtów. Zawsze jednak musimy brać pod uwagę, jakie będą konsekwencje, jeśli akurat podczas zapisu do pamięci EEPROM wystąpi zanik zasilania, wyłączenie zasilania przez użytkownika albo reset systemu. W takim przypadku później przy odczycie stwierdzimy nieprawidłowość sumy kontrolnej i dane w EEPROM-ie potraktujemy jako śmieci. Gdybyśmy założyli, że dane są jednak w porządku, i spróbowali pracować z tymi śmieciami, to prawie na pewno skończyłoby się to płaczem i zgrzytaniem zębów...

Tak na marginesie – jednym ze sposobów poradzenia sobie z uszkodzeniem danych spowodowanym zużyciem komórek, awarią zasilania lub czymkolwiek innym jest zapisanie dwóch (lub więcej) identycznych zestawów danych. Jeśli suma kontrolna w jednym zestawie jest zła, to zawsze mamy drugą kopię. Natomiast jeśli obie sumy kontrolne są złe, to – jak mawiają inżynierowie – „budzimy się z ręką w nocniku”. Moglibyśmy oczywiście zastosować jakąś metodę korekcji błędów – np. kod Hamminga, który mógłby wykrywać nawet dwa błędne bity, a błędy jednobitowe nawet korygować, ale temat ten wykracza poza zakres tego artykułu.

Możecie w końcu pomyśleć sobie: „czy naprawdę musimy wkładać tyle wysiłku w pracę nad wiktoriańskim wyświetlaczem, który jest przecież tylko wymyślnym rodzajem zegara?” To bardzo dobre pytanie. Moje podejście jest takie, że to, czego się tutaj nauczycie, okaże się dla Was przydatne w późniejszym życiu – kiedy znajdziecie się w sytuacji, że będziemy musieli projektować rzeczywiste systemy o znaczeniu krytycznym dla bezpieczeństwa.

No dobrze... To wszystko, jeśli chodzi o porady i wskazówki. Jak zawsze czekam na komentarze, pytania i sugestie. ■

Max Wspaniały

REKLAMA

Znajdziesz nas również na Facebooku: facebook.com/ElportalPL

eprasa.pl 041f57c630



TRZECIARĘKA ZD-11P
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką, ZD11P



TRZECIARĘKA ZD-11P-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z latarką i lupą, ZD11P-1



TRZECIARĘKA SN-394
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk z lupą 50 mm, przykręcany do blatu Proskit SN-394

BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

Trzecia ręka

Rabat dla Czytelników EdW
przy zakupie podaj kod **EdW2505TR**
Kod ważny do 30.09.2025

-3%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-6%



TRZECIARĘKA ZD-11M-1
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – z uchwytem na szpulkę cyny, ZD11M-1



TRZECIARĘKA ZD-11M-2
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD11M-2



TRZECIARĘKA ZD-11M-3
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt z lupą i podświetleniem LED ZD-11M-3



TRZECIARĘKA ZD-11M
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka”, pająk – uchwyt ZD11M



TRZECIARĘKA SN-392
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 90 mm, Proskit SN-392



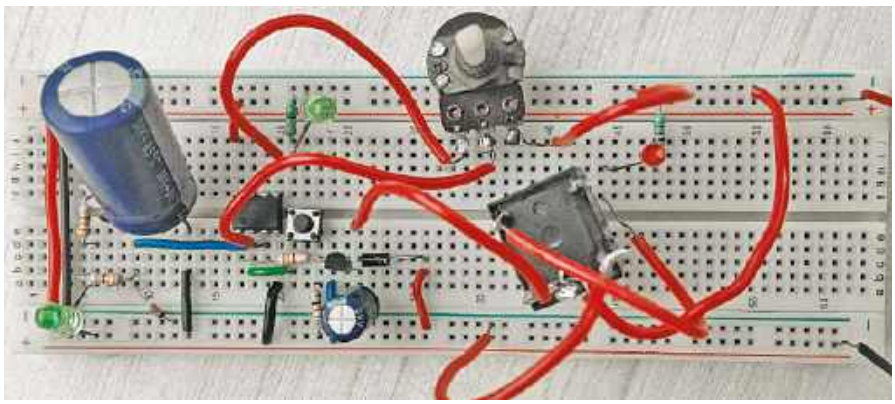
TRZECIARĘKA
Uchwyt montażowy typu „Trzecia ręka” z lupą 60 mm

eprasa.pl 041f57c630

Timer z superkondensatorem do odmierzania długich czasów

Czy zdarzyło Ci się zapomnieć o ładowarce podłączonej do sieci 230 V AC? Ładując laptop lub telefon, często zapominamy kontrolować stan naładowania i ładowarka jak i urządzenie pozostają pod napięciem o wiele dłużej aniżeli jest to konieczne. Jest to ze wszech miar niekorzystne nawet w przypadku urządzeń z porządnym obwodem „power management". Jeszcze gorzej jest w przypadku różnych urządzeń gospodarstwa domowego (jak np. bezprzewodowe odkurzacze) z akumulatorami litowo-jonowymi. Nie każde tego typu urządzenie wyposażone jest w obwód gwarantujący odcięcie ładowania i zapewniający długą żywotność akumulatora.

Proste rozwiązanie tego problemu załatwi proponowany tu projekt. **Rysunek 1** pokazuje zdjęcie prototypu wykonanego przez Autora, który pozytywnie przeszedł testy w laboratorium EFY. To timer długich czasów, który wyłączy zasilanie po z góry określonym przedziale czasowym. Uzyskiwane czasy są rzędu godziny, nawet do czterech godzin. Zmieniając wartość rezystancji i/lub pojemności kondensatora, można timer dostosować do indywidualnych potrzeb.

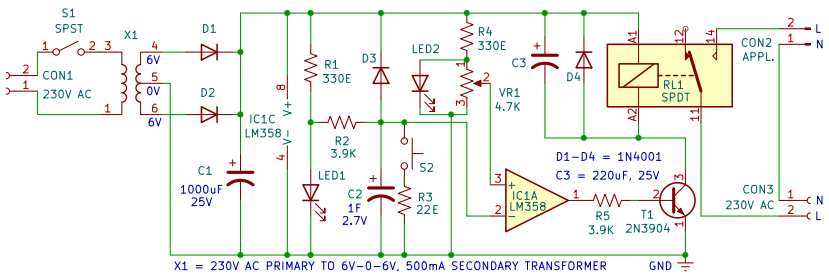


Rysunek 1. Prototyp zmontowany na uniwersalnej płytce stykowej (zdjęcie nie obejmuje zasilającego transformatora)

Opis układu i jego działanie

Schemat ideowy timera pokazano na **rysunku 2**.

Kluczowym elementem jest tu superkondensator, dzięki któremu uzyskano długie czasy, z którymi problem mają tradycyjne timery. W obwodzie zasilania wykorzystano transformator (X1) z symetrycznym, dzielonym uzwojeniem wtórnym. Dzięki temu, zamiast standardowego mostka prostowniczego, wystarczają dwie diody. W sumie, w całym układzie wykorzystano cztery diody prostownicze 1N4001 (D1…D4), podwójny wzmacniacz operacyjny LM358 (IC1), tranzystor 2N3904 (T1), przekaźnik SPDT z cewką 5 V, dwie diody LED (LED1 i LED2) i niewielką liczbę elementów pasywnych.



Rysunek 2. Schemat ideowy

Cały układ zasilany jest stosunkowo niskim napięciem około +6 V. Napięcie 2×6 V AC pozyskane jest za pomocą transformatora X1, a po wyprostowaniu i filtracji (pojedynczym, dużej pojemności kondensatorem) uzyskujemy niestabilizowane około 6 V DC. Układ scalony IC1 zawiera dwa wzmacniacze operacyjne, z czego wykorzystano tylko jeden. Odliczanie czasu polega na powolnym ładowaniu kondensatora bardzo dużej pojemności. W takich sytuacjach zawsze charakterystyczna jest stała czasowa zdefiniowana jako iloczyn R i C, co oznacza, iż jednakowe znaczenie ma tu pojemność C jak i rezystancja R przez którą kondensator jest ładowany (przy założeniu stałej wartości napięcia wyznaczającego asymptotę, do której kondensator jest ładowany). Do kontroli napięcia (na ładowanym kondensatorze) służy komparator analogowy. I taką rolę pełni tu zastosowany wzmacniacz operacyjny. Klasyczne elementy stanowią jednak istotne ograniczenie, gdy zależy nam na uzyskaniu bardzo długich czasów. Przeliczmy, np. stałą czasową kondensatora 1000 µF z rezystancją 1 MΩ. Te wartości wydają się skrajnie duże, wśród „elementów klasycznych". Ten iloczyn RC to 1000 sekund, czyli około 16 minut. A czasy uzyskiwane takim timerem mogą w praktyce obejmować raptem kilka stałych czasowych. To oznacza, że praktycznie bardzo trudno jest wyjść poza zakres jednej godziny. Zakres tradycyjnych kondensatorów elektrolitycznych sięga pojedynczych milifaradów. Jednak pojemności superkondensatorów mieszczą się w zakresie od jednego do wielu faradów. I taki superkondensator jest sercem naszego timera. Kondensator ten (C2) ładowany jest przez rezystor (R2) o wartości 3,9 kΩ. To daje stałą czasową 65 minut. Istotnym ograniczeniem superkondensatorów jest wyjątkowo niskie napięcie dopuszczalne, tu jedynie 2,7 V. Aby nie przekroczyć tej wartości, źródło napięcia, z którego C2 jest ładowany musi być, co najwyżej tej samej wartości. Tutaj, w charakterze diody Zenera wykorzystano diodę LED1, której napięcie w kierunku przewodzenia ograniczone jest do tej mniej więcej wartości. LED1 pełni

eprasa.pl 041f57c630

funkcję „stabilizatora” uniezależniając tak uzyskane źródło od wartości napięcia zasilania. Chwilowa wartość napięcia na C2 monitorowana jest na wejściu nieodwracającym wzmacniacza IC1a. Na wejście odwracające WO podany jest potencjał o stałej wartości z potencjometru VR1. Napięcie odniesienia dla potencjometru stabilizowane jest drugą diodą LED (LED2), która jest identyczna z LED1. Można tu zastosować diodę o dowolnym kolorze z wyjątkiem diod niebieskich i białych. Spowodowane jest to faktem, iż napięcie przewodzenia diod niebieskich jest wyższe, aniżeli dopuszczalne napięcie dla superkondensatora.

Działanie układu jest bardzo proste. Początkowo (po resecie timera) napięcie wejścia nieodwracającego jest wyższe aniżeli na wejściu odwracającym (–) komparatora. Wówczas stan wyjścia WO jest wysoki i tranzystor T1 podłącza zasilanie cewki przekaźnika. Z czasem jednak, potencjał wejścia „plus” jest stały, a napięcie na wejściu odwracającym rośnie. Kiedy przekroczy potencjał wejścia nieodwracającego, wówczas stan wyjścia WO zmieni się z wysokiego na niski i przekaźnik zostanie wyłączony. Układ połączono tak, że w czasie odliczania timera stan przekaźnika jest aktywny. Jeśli oczekujemy, aby timer odliczał opóźnienie, po którym styki przekaźnika włączają urządzenie, łatwo to zmienić na jeden z dwóch sposobów. Albo zamieniając miejscami wejścia „plus” i „minus” wzmacniacza operacyjnego, albo wykorzystując komplementarne (NO/NC) styki przekaźnika.

Oszacowanie odliczanych czasów/opóźnienia otrzymamy na podstawie następującej kalkulacji. Załóżmy, że napięcie diod LED1 i LED2 wynosi 2 V. Jeśli nastawimy potencjometrem VR1 63,2% tej wartości (czyli około 1,26 V) to odliczony czas będzie równy stałej czasowej R2×C2, czyli około jednej godziny. Jeśli oczekujemy czasu 2 godzin, to trzeba ustawić VR1 na wartość 86% asymptoty, czyli około 1,73 V. Później jednak skala się szybko zagęszcza. Dla czterech godzin trzeba by ustawić 98% napięcia referencyjnego, co już stwarza niebezpieczeństwo, że z powodu nieuniknionych niedokładności przekroczymy 100%, i wyjście timera pozostanie permanentnie aktywne.

Do resetowania timera służy przycisk oznaczony na schemacie jako S2. Rozładowanie kondensatora jest względnie szybkie, i S2 wystarczy nacisnąć na kilka sekund.

Od redakcji EdW: Tak by się wydawało „na pierwszy rzut oka”. W uwagach na końcu artykułu wyjaśniamy, że zwarcie S2 na kilka sekund z pewnością nie wystarczy.



Rysunek 3. Prototyp i przykładowa obudowa timera

Konstrukcja i testowanie pracy układu

Na **rysunku 3** pokazano zdjęcie prototypu zmontowanego na uniwersalnej płytce PCB i umieszczonego w obudowie po starym zasilaczu regulowanym. Zasilanie 230 V AC podłączamy do złącza oznaczonego CON1 i CON3, a sterowane urządzenie do złącza CON2. Urządzenie docelowe zostanie zasilane natychmiast po wciśnięciu przycisku S2, a wyłączone po upływie czasu ustawionego potencjometrem VR1. Drugi przycisk (stabilny) S1 służy do włączenia zasilania timera. Zadaniem diody D4 i kondensatora C3 jest ochrona tranzystora T1 przed uszkodzeniem energią zmagazynowaną w indukcyjności cewki przekaźnika, w momencie wyłączania.

Obudowę zasilacza którą Autor wykorzystał w tym projekcie należy traktować przykładowo. Należy jednak mieć na uwadze, iż oprócz uzbrojonej płytki PCB, obudowa musi pomieścić także elementy gabarytowe jak transformator i przekaźnik. Na czołową część obudowy należy zamontować potencjometr, oba przyciski S1 i S2 i diodę LED sygnalizującą obecność zasilania. Złącza CON1, CON2 i CON3 najlepiej umieścić na tylnej ścianie obudowy timera.

Uwaga od redakcji EFY

Obwód timera może być zasilany także wyższym napięciem. Praktycznie do 12 V. Konstrukcja timera zapewnia, że odmierzany czas jest niezależny od wartości zasilania. Natomiast w zależności od napięcia zasilania, należy odpowiednio dobrać wartości rezystorów R1, R4 i R5. Należy je przeliczyć tak, aby prąd obu diod LED był

Wykaz elementów

Półprzewodniki:
IC1: LM358 – wzmacniacz operacyjny
T1: 2N3904 – tranzystor NPN
D1...D4: 1N4001 – dioda prostownicza
LED1, LED2: dioda LED 5 mm

Rezystory: (wszystkie 0,25 W, ±5% węglowe)
R1, R4: 330 Ω
R2, R5: 3,9 kΩ
R3: 22 Ω
VR1: 4,7 kΩ – potencjometr

Kondensatory:
C1: 1000 µF/25 V elektrolityczny
C2: 1F/2,7 V – superkondensator
C3: 220 µF/25 V elektrolityczny

Pozostałe:
CON1...CON3: złącze 2-pinowe
X1: transformator sieciowy 230 V AC, uzwojenie wtórne: 6 V-0-6 V AC/500 mA
RL1: przekaźnik SPDT 5 V/10 A
S1: przełącznik SPST
S2: przycisk push-to-on
urządzenie (odbiorcze) 230 V AC
uniwersalna płytka stykowa lub PCB

eprasa.pl 041f57c630

na poziomie 10 mA, a prąd bazy tranzystora T1 na poziomie około 1 mA, gdy wyjście WO jest w stanie wysokim. Oczywistym jest, że cewka przekaźnika RL1 musi być dobrana odpowiednio do wartości zasilania całości układu. ■

Pradeep Vasudeva

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY”, wrzesień 2024 (efymag.com)

Od redakcji EdW:

Pomysł użycia superkondensatora do odmierzania długich czasów wydaje się logiczny. Można zatem powiedzieć, że rozwiązanie obwodu czasowego jest standardowe, z tą różnicą, że użyto kondensatora o bardzo dużej pojemności. Mimo to, można się tu dopatrzyć kilku mankamentów. Superkondensatory cechują ogromne (jak na standardy zwykłych kondensatorów) pojemności. Równocześnie jednak, maksymalne dopuszczalne napięcie jest bardzo niskie. Tutaj w celu ograniczenia napięcia poniżej trzech wolt, użyto dwóch diod LED. Pracują one w charakterze diod Zenera. Kolor diody również ma znaczenie, bo maksymalne napięcie na C2 nie może przekroczyć 2,7 V. Charakterystyka diody LED nie jest zbyt stroma (tzn. nieliniowość nie wykazuje ostrego progu). Niewątpliwie wadą projektu jest fakt, że napięcie zasilające nie jest stabilizowane. Wzmacniacz operacyjny będzie na takim zasilaniu pracował poprawnie, niemniej jakieś tętnienia przeniosą się na jego wejście nieodwracające. Natomiast, mimo podobnych tętnień na diodzie LED1, napięcie na C2, czyli również na wejściu odwracającym WO będzie „gładkie”. Równocześnie zbocze narastające jest tu skrajnie wolne. To oznacza, że w okolicy poziomu komparacji, kiedy poziom wejścia odwracającego zbliża się do napięcia ustawionego potencjometrem VR1, można spodziewać się co najmniej kilku, a prawdopodobnie wielu przełączeń. Aby temu zapobiec, konieczna jest histereza o odpowiednio dobranej szerokości. Łatwo histerezę zrealizować wprowadzając lokalne dodatnie sprzężenie zwrotne w obrębie wzmacniacza operacyjnego IC1a. Należy zatem wstawić dodatkowy rezystor między wyprowadzenia 1 i 3 WO. Powinna wystarczyć wartość około 100 kΩ. Szerokość uzyskanej histerezy będzie jednak również zależeć od położenia potencjometru VR1. Zatem, należy przeprowadzić próby w tym zakresie, a jeśli przesadzimy (z niską wartością tego dodatkowego rezystora) to jest to dopuszczalne.

Drugim mankamentem jest rozładowanie superkondensatora w celu zresetowania timera. Słusznym zabiegiem jest wstawienie rezystora R3, aby to rozładowanie nie było zbyt gwałtowne (aby ograniczyć prąd kondensatora i przycisku). R3 ma stosunkowo niewielką wartość 22 Ω, czyli wydaje się, że wszystko jest w porządku. Jednak, nie do końca! 22 Ω wraz z pojemnością jednego farada, to stała czasowa 22 sekundy. Mimo wszystko dużo! Chwilowe naciśnięcie S2 superkondensatora nie rozładuje. Przytrzymanie tego przycisku przez 22 sekundy, rozładuje C2 dopiero do około 27%. A zwarcie go przez 44 sekundy, też dopiero do około 14-tu procent. Mimo wszystko trudno uznać, że timer zresetuje się w czasie krótszym od jednej minuty. Można oczywiście wypróbować mniejszą wartość R3, ale ogólnie chodzi o to, że należy mieć ten problem na uwadze. Może dobudować jakiś monoflop na czas rzędu 1…2 minut, aby faktycznie wystarczyło chwilowe zwarcie przycisku S2. Równocześnie, czas tego przerzutnika monostabilnego można wkalkulować w całkowity czas odmierzany timerem, a więc nie jest to problemem.

Kolejnym mankamentem jest brak sygnalizacji „stanu timera”. Są tu dwie diody LED, ale przydałaby się jeszcze trzecia wskazująca, czy czas timera jest jeszcze odmierzany, czy się już zakończył. Proponowane miejsce: równolegle do cewki przekaźnika (oczywiście z rezystorem ograniczającym prąd) lub równolegle do obwodu kolektora tranzystora T1, lub też na wyjściu WO (w zależności od tego, który stan uznajemy za aktywny).

Konkludując, należy stwierdzić, że pomysł rozwiązania timera długich czasów jest w sumie klasyczny i prosty. Ale prosiłoby się dodatkowo o: stabilizator napięcia zasilania (powiedzmy +5 V; wtedy histereza może być mniejsza, ale nadal jest konieczna), rezystor dodatniego sprzężenia zwrotnego, indykację stanu timera oraz o rozwiązanie problemu resetowania timera. Wydaje się, że ta ostatnia kwestia wiąże się ze znaczną komplikacją. Jednak zauważmy, że w kostce LM358 został wolny jeden wzmacniacz operacyjny. Aż się prosi, aby to tego celu go wykorzystać. Wystarczy więc dołożyć kilka elementów pasywnych, aby dobudować monoflop na jedną czy dwie minuty. Wtedy także komfort obsługi takiego timera jest zupełnie inny, jeśli do jego zresetowania wystarczy dowolnie krótkie zwarcie styków przycisku resetującego. Dla tego komfortu, również należałoby odpowiednio wyskalować w czasie potencjometr VR1. Nie jest za dobrze, że ta skala będzie silnie nieliniowa. Ale, aby to poprawić trzeba by dalej układ rozbudować o jakieś źródło prądowe zamiast rezystora R2. To może być nie łatwe z tego względu, że mamy tu do czynienia z bardzo niskimi napięciami.

Na koniec tych uwag jeszcze jedna. Zamiast diod LED pracujących w charakterze diody Zenera, lepiej spisze się popularny element TL431. Zwierając jego wejście sterujące z katodą, otrzymamy bardzo porządną diodę Zenera na 2,5 V (co wydaje się tu jak najbardziej wskazane). Równocześnie, nawet w układzie prototypu Autora (ze schematu na rysunku 2), dwie diody LED1 i LED2 nie są konieczne. Wystarczy, aby jedna dioda LED lub 431 stanowiła źródło napięcia odniesienia zarówno dla ładowania superkondensatora jak i dla potencjometru, którym ustawiamy czas odmierzany timerem. Jednak wtedy (a w oryginalnym układzie także) dobrze jest wstawić dodatkowy rezystor w szereg z wyprowadzeniem suwaka potencjometru. Wtedy rezystor zapętlający wyjście i wejście nieodwracające wzmacniacza operacyjnego mogą być większe, a szerokość histerezy uniezależni się od czasu nastawionego potencjometrem VR1. Warto też dodać, iż w mało wymagającym rozwiązaniu timera, użycie diody LED jako napięcia referencyjnego ma tę zaletę, iż wskazuje ona równocześnie obecność napięcia zasilania.

REKLAMA



eprasa.pl 041f57c630

TAWOIA Glass (szkło kwarcowe)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/tawoia-glass-4505.html



BESTSELLERY sklepu AVT – sklep.avt.pl

3 unikalne serie gniazdek i włączników

Rabat dla Czytelników EdW
przy zakupie podaj kod EdW2505GW

Kod ważny do 30.09.2025

-5%

Rabat dla Prenumeratorów EdW
przy zakupie podaj numer prenumeraty

-10%

Ceramic Loft (ceramika)

https://sklep.avt.pl/pl/menu/seria-ceramic-loft-4190.html



Retro PRL (bakelit)

https://sklep.avt.pl/pl/series/retro-prl-3237.html



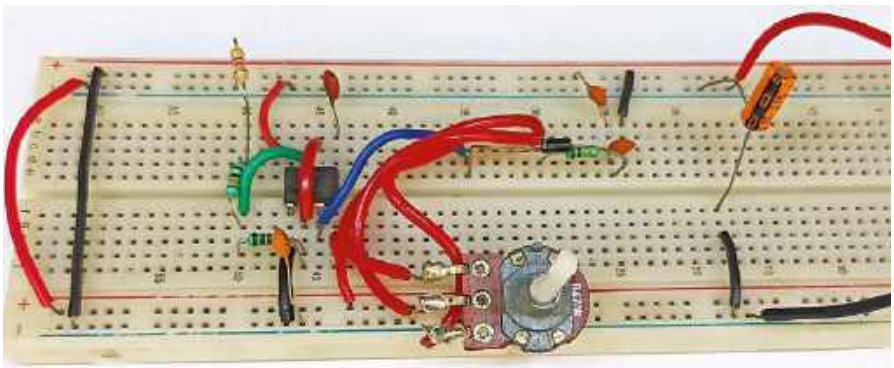
eprasa.pl 041f57c630

Generator przebiegu piłozębnego

W praktyce elektroniki amatorskiej (jak i profesjonalnej) często zachodzi potrzeba wygenerowania przebiegu piłozębnego. Jest to – obok sinusoidy – jeden z najczęściej pożądanych przebiegów. W przebiegu trójkątnym czasy narastania i opadania są identyczne, natomiast piłę można postrzegać jako niesymetryczny trójkąt. Idealnie, jedno zbocze powinno być znacznie krótsze od drugiego, aby można było mówić o poprawnym przebiegu piłozębnym.

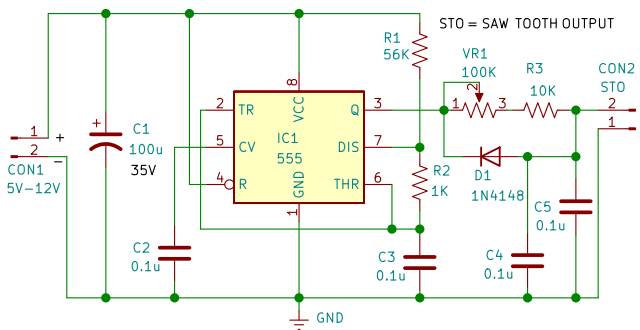
Liniowy przebieg piłozębny można uzyskać na kilka sposobów, z których najprostszym jest całkowanie sygnału prostokątnego. Jeśli zależy nam na asymetrycznym przebiegu wyjściowym, obwód całkujący powinien mieć zróżnicowane stałe czasowe.

Przebiegi trójkątne i piłozębne wykorzystywane są w aplikacjach z tyrystorami (SCR, triakami itp.), układach przełączających, a także w generatorach tonów akustycznych, modulatorach itp. Generator piłozębny przedstawiony w niniejszym projekcie zbudowano na bazie popularnego timera 555. **Rysunek 1** przedstawia zdjęcie prototypu zmontowanego na uniwersalnej płytce stykowej. Układ został pomyślnie przetestowany w laboratorium redakcji „Electronics For You”.



Rysunek 1. Prototyp generatora przetestowany w laboratorium EFY

Schemat ideowy układu przedstawiono na **rysunku 2**. Sercem układu jest timer 555, pracujący w konfiguracji przerzutnika astabilnego. Generuje on na swoim wyjściu przebieg prostokątny o stałej częstotliwości i stałym wypełnieniu (PWM). Przebieg ten jest silnie asymetryczny, a jego parametry wyznaczają elementy RC podłączone do wyprowadzeń 6 i 7 układu scalonego.



Rysunek 2. Schemat ideowy generatora piłozębnego

Zaproponowane rozwiązanie jest tanie i charakteryzuje się dużą prostotą, choć jego parametry mogą odbiegać od właściwości bardziej zaawansowanych, profesjonalnych konstrukcji.

Sam generator, zbudowany na układzie czasowym 555, również wykorzystuje przebieg zbliżony do piłozębnego. Jego działanie opiera się na relaksacyjnym cyklu ładowania i rozładowywania kondensatora C3, podłączonego do wyprowadzeń 2 i 6 układu scalonego. Wewnątrz timera 555 znajdują się komparatory, które umożliwiają cykliczne ładowanie i rozładowywanie kondensatora C3 między poziomami 1/3 i 2/3 napięcia zasilania.

Ładowanie (zbocze narastające) odbywa się przez rezystory R1 i R2, natomiast rozładowanie – wyłącznie przez rezystor R2. Ze względu na wysoki stosunek wartości R1 do R2, współczynnik wypełnienia prostokąta generowanego na wyjściu Q jest silnie asymetryczny. Dla stanów niskiego i wysokiego czas trwania impulsu określają odpowiednio zależności:

$$t_{wysoki} = 0{,}69 \times (R1 + R2) \times C3$$

$$t_{niski} = 0{,}69 \times R2 \times C3$$

Współczynnik 0,69 odpowiada wartości ln(2) i wynika z przyjętych progów komparacji, czyli 1/3 oraz 2/3 napięcia zasilania.

Przekształcenie przebiegu prostokątnego w piłozębny realizowane jest przez obwód złożony z elementów VR1, R3, C4, C5 oraz D1. Zastosowany potencjometr (VR1) umożliwia regulację amplitudy przebiegu na wyjściu.

Pokazany tu układ jest na tyle prosty, że można go zmontować na uniwersalnej płytce PCB. Dla wygody użytkowania warto umieścić go w niewielkiej, odpowiednio przystosowanej obudowie. Złącze CON1 najlepiej umieścić z tyłu obudowy i podłączyć do niego baterię 12 V lub wtyczkowy zasilacz o tym napięciu.

Wykaz elementów

Półprzewodniki:
IC1: NE555 – timer (układ czasowy)
D1: 1N4148 – dioda sygnałowa

Rezystory: (wszystkie 0,25 W, ±5% węglowe)
R1: 56 kΩ
R2: 1 kΩ
R3: 10 kΩ
VR1: 100 kΩ potencjometr

Kondensatory:
C1: 100 µF/35 V elektrolityczny
C2...C5: 0,1 µF ceramiczny

Pozostałe:
CON1, CON2: złącze 2-pinowe

eprasa.pl 041f57c630

CON2 stanowi złącze, z którego można pozyskać sygnał generowany przez układ – najlepiej umieścić je na froncie obudowy.

Układ nie wymaga uruchamiania ani strojenia – jeśli nie popełnimy błędu podczas montażu, powinien zadziałać poprawnie od razu po złożeniu. ■

Pradeep G.

Ten artykuł był wcześniej opublikowany na łamach „EFY", czerwiec 2024 (efymag.com)

Od Redakcji EdW:

Trzeba przyznać, że choć ten generator nie jest „najwyższych lotów" – to w niewymagających zastosowaniach może zdać egzamin. Niemniej można wskazać tu trzy istotne mankamenty.

Po pierwsze, brak możliwości regulacji częstotliwości. Nawet gdyby taką możliwość wprowadzić – na przykład przez zastąpienie rezystora R1 (i/lub R2) potencjometrem – nadal nie byłoby to rozwiązanie w pełni satysfakcjonujące. Przebieg piłozębny kształtowany jest z sygnału prostokątnego poprzez całkowanie w zwykłym członie inercyjnym RC. Tymczasem od generatora piły oczekuje się przede wszystkim dobrej liniowości zbocza, a takie rozwiązanie tego nie zapewnia.

W prezentowanym układzie częstotliwość jest stała i łatwo obliczyć, że wynosi 250 Hz – co odpowiada okresowi 4 ms. Przebieg ten jest mocno asymetryczny: zbocze narastające trwa około 3,9 ms, a opadające jedynie 70 µs. Stałą czasową członu formującego piłę można regulować (za pomocą potencjometru VR1) w zakresie od 2 do 22 ms. Przy ustawieniu na 22 ms uzyskamy w miarę liniowy przebieg, ale o bardzo małej amplitudzie. Natomiast przy stałej czasowej równej 2 ms amplituda znacząco wzrośnie, lecz trudno będzie mówić o piłokształtnym przebiegu – czas ładowania kondensatora (C4+C5) obejmie wtedy zaledwie dwie stałe czasowe, co oznacza wyraźną nieliniowość.

Autor zastosował potencjometr zapewne po to, aby znaleźć kompromis między amplitudą a liniowością – jednak nie jest to optymalne rozwiązanie. Generator piły powinien wykorzystywać źródło prądowe zamiast zwykłego rezystora. Stały prąd i wysoka impedancja źródła zapewniają liniowy proces ładowania kondensatora.

Ze względu na oczekiwaną asymetrię przebiegu słuszne jest zastosowanie diody D1, która umożliwia szybkie rozładowanie kondensatora C4+C5. Jednak nieoptymalne jest to, że rozładowanie to realizowane jest przez wyjście Q timera 555. Zamiast tego należałoby zastosować zewnętrzny klucz – np. tranzystor – lub po niewielkich modyfikacjach wykorzystać wewnętrzny klucz wbudowany w timer, dostępny na wyprowadzeniu Discharge.

Zastrzeżenia można mieć również do impedancji wyjściowej generatora. Wyjścia CON2 nie można obciążać bez ryzyka deformacji sygnału. Przyzwoity generator, działający jako niezależny moduł, powinien mieć niską impedancję wyjściową. Można to osiągnąć, dodając bufor na wzmacniaczu operacyjnym (o jednostkowym wzmocnieniu) lub przynajmniej na tranzystorze w układzie wspólnego kolektora (wtórnik emiterowy).

Być może zaproponowany przez autora projekt spełni wymagania w określonej, nieskomplikowanej aplikacji. Jednak jeśli ma to być generator piłozębny w osobnej obudowie i z własnym zasilaniem, to powinien być bardziej uniwersalny. W takim przypadku należałoby go rozbudować i wprowadzić poprawki zgodnie z powyższymi uwagami.

REKLAMA



eprasa.pl 041f57c630



3 najbardziej popularne kity AVT w maju

NA PODIUM:



1 Kolorofon LED

AVT EDU644, zestaw DIY do nauki lutowania

Nie od dzisiaj wiadomo, że alarm alarmuje, malarz maluje, a rezystor stawia opór. Więc, jeśli kiedyś ktoś miałby Was zapytać, Co tak naprawdę robi Kolorofon, odpowiedź jest dziecinnie prosta – Kolorofon kolorofonuje 😉.

Wiemy jednak, że nie każdy ma tak wyszukane poczucie humoru jak my, więc w razie potrzeby, zamieszczamy również poniższy opis produktu.
Kolorofon wyłapuje otaczające je dźwięki, a w zależności od ich tonu, Częstotliwości i natężenia świeci w dość odmienny dla każdego odgłosu sposób.
Zastosowanie tego sprytnego urządzenia jest dużo ciekawsze, niż mogłoby się pozornie zdawać. Przyda się nie tylko imprezowiczom, muzykantom i audiofilom – opcji mamy dużo więcej. Od imprez w stylu rave (a właściwie wszystkich imprez), przez sygnalizowanie dzieciom, że są za głośno, nawet do sprawdzania, kto w jakiej tonacji chrapie.
Odnosząc się do powyższego opisu nasuwa się właściwie niezliczona ilość pozostałych możliwości wykorzystania naszego Kolorofonu.
Oczywiście, najistotniejszą funkcją naszego zestawu EDU jest możliwość rozwoju pasji i umiejętności lutowania.

Właściwości

- wbudowany mikrofon – nie wymaga bezpośredniego połączenia ze źródłem dźwięku
- źródło światła – diody LED w trzech kolorach
- płynna regulacja czułości
- efekt świetlny wytwarzany zgodnie z rytmem muzyki
- reaguje na tony niskie, średnie i wysokie
- zasilanie: 12 VDC/200 mA (gniazdo 2.1/5.5) – brak zasilacza w zestawie
- wymiary płytki: 149×79 mm

Zestaw DIY do samodzielnego zlutowania: w zestawie znajduje się płytka drukowana oraz komplet elementów elektronicznych



2 Konwerter USB-DMX512

Pozwala sterować urządzeniami DMX za pomocą programów komputerowych.
Produkt polecany dla dyskotek, klubów i mobilnych DJ-ów którzy korzystają z prostych sterowników DMX. Dostępne programy pozwolą w prosty sposób stworzyć rozbudowane sceny świetlne z płynnymi ruchami skanerów i ruchomych głów w poszczególnych krokach oraz precyzyjną regulacją prędkości i czasu zmiany scen. Taki efekt jest niemożliwy do osiągnięcia na powszechnie stosowanych małych sterownikach.

Wybrane parametry:

- obsługa do 512 urządzeń w standardzie DMX
- maksymalna długość magistrali (zasięg transmisji) do 1200 m
- złącza USB i XLR trzypinowe
- współpraca z USB 1.1 i 2.0 (emulacja portu COM)
- zasilanie – bezpośrednio z portu USB
- przewód USB w zestawie



3 Zestaw 5 kitów DIY do nauki lutowania AVT EDUBOX6

AVTEDU – nowa seria kitów zaprojektowana specjalnie z myślą o nauce techniki lutowania.
Każdy z zestawów oprócz waloru dydaktycznego posiada też użytkowy – zostań mistrzem lutownicy!

www.sklep.avt.pl

eprasa.pl 041f57c630

ELEKTRONIKA dla wszystkich
JUNIOR
nr 6/2025 (12)



Dawid. Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

W niektórych barach szybkiej obsługi, po opłaceniu zamówienia klient otrzymuje żeton, który zabiera ze sobą do stolika. Po pewnym czasie żeton zaczyna wydawać dźwięki, sygnalizując, że zamówienie gotowe jest do odbioru. Urządzenie, które dzisiaj zbudujesz, wygląda podobnie, ale działa nieco inaczej: nie czeka na sygnał z kuchni, tylko samo odlicza czas i uruchamia alarm, gdy zadany czas już upłynie. To prosty minutnik, który można zbudować samodzielnie, a następne wykorzystywać na różne sposoby. Nie tylko w kuchni!

Zabawa w sprzątanie pokoju – czy to w ogóle możliwe? Tak! Ale tylko wtedy, gdy na ten pomysł wpadniesz sam. Jeśli ktoś Ci to podpowie, a – nie daj świecie – narzuci, to cała zabawa nie wypali (co by nie ująć tego dosadniej). Nie daj się więc wyprzedzić i chwyć sam, albo z siostrą lub bratem, za minutnik i bawcie się w „porządki na czas" – do „upadłego". Albo przynajmniej do momentu, w którym to z kolei zbudowany żeton przywoła Was… do porządku. Choćby nie wiem, jak bardzo tego nie lubić, czasem po prostu trzeba posprzątać w pokoju i chyba nic lepiej o tym nie przypomina niż bosa stopa postawiona w środku nocy, w drodze do toalety, na kanciasty klocek Lego. Taki klocek, za sprawą jakiejś tajemnej mocy, czeka na wywołaną tu stopę, ustawiony zawsze w najmniej litościwy względem niej sposób. Czynności „nastąpienia" na klocek towarzyszą zazwyczaj cudnie wyszczerzone zęby, wyjątkowo nieszczery – choć zawsze piękny – „uśmiech" i wytrzeszcz twarzy, że aż łza kręci się w oku – ze wzruszenia, rzecz jasna! Krzyknąć nie możesz, bo środek nocy przecież, a pełen pęcherz jakoby nie ujmuje całej tej sytuacji ni krzty dramatu! Po tym bezbłędnie poznasz, że to już właśnie „ten czas" i nadszedł z naszym twórczym nieładem „czas boju". Póki co, załatw jednak najpierw, co trzeba, i zdrzemnij się jeszcze, a o porządki, na spokojnie, powalczysz z rana, samemu lub też z drużyną. Tak czy owak, zawsze warto działać na wesoło i „z jajem", tym bardziej w tak przyziemnych czynnościach. Życie zbyt piękne i cenne, by nurkować w trywialne i nudne czynności na ponuraka!

Zabaw wymyślić – rzecz jasna – można dużo więcej:

Tajna Misja Detektywów
Żeton pobłyskuje… a Ty masz 30 minut, żeby odnaleźć zaginione skarby ukryte w pokoju! Może pod łóżkiem czai się ukryty przez brata klocek, a w szafie zamieszkała skarpetka-wędrowniczka szukająca swej drugiej pary? Ruszaj, detektywie!

Wielkie Artystyczne Dzieło
Masz 2 godziny i cały świat do stworzenia – nożyczki, farby, plastelina i wyobraźnia! Zbuduj kartonowe miasto, narysuj potwora z pięcioma oczami albo zrób koronę dla kota. Żeton ogłasza czas rozpoczęcia… i końca królewskiego dzieła!

Mini MasterChef Junior
Żeton startuje na 30 minut – a Ty szykujesz pyszności! Kanapkowy smok? Sałatka-zielony potworek? Tylko nie zapomnij o sprzątaniu – bo kuchnia to nie dżungla (chyba że robisz zupę z liści znalezionych w dżungli – wtedy wolno).

Stoper to także cudna rzecz przed… sprawdzianem!

Rozwiązywanie zadań z matematyki albo fizyki na czas? Możesz się śmiać, ale był moment, gdy tak robiłem! Może nie w szkole podstawowej i średniej, gdzie matematykę kochałem do granic obłędu, o tyle na studiach trafiłem na wykładowcę, któremu bliżej było do polityki, niż do matematyki, i… No właśnie… Tymczasem zbliżała się sesja i przedmiot należało zaliczyć, w związku z czym rozwiązywanie pewnych typów zadań musiałem niemal wykuć „na blachę". Kupiłem sobie kilkusetstronicowy blok A4 z kartkami do wyrywania, a następnie na każdą z kartek przepisywałem zadanie do rozwiązania, uruchamiałem stoper i… rozwiązywałem jedno po drugim. Oczywiście ze stoperem obok, by przy okazji nabrać rozeznania, czy zmieszczę się w czasie egzaminu. Kartki leciały niczym stolarski wiór na prawo i lewo. Zadania wykułem, przedmiot zaliczyłem, a wiedzę, cóż… uzupełniłem na spokojnie, gdy przyszedł na to czas. To nietuzinkowe doświadczenie pozwoliło mi odkryć wielką przydatność stopera w nauce szkolnej, czym teraz mogę się z Tobą podzielić i co też niniejszym czynię. Polecam! Może nie tyle wkuwanie na blachę, ale uwierz mi, życie przynosi różne niespodziewane, czasem niełatwe, wręcz abstrakcyjne sytuacje, i w każdej się trzeba umieć odnaleźć.

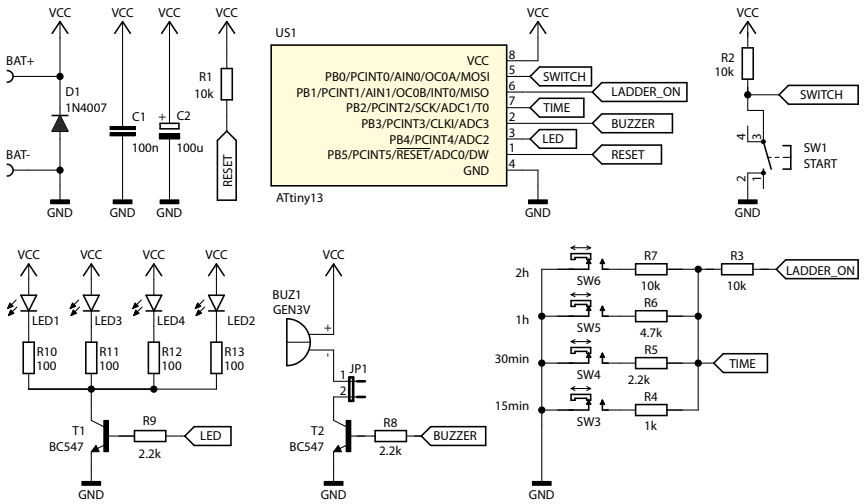
1. Dawid. Montaż zestawu *Przypominacz świetlno-dźwiękowy* (zestaw AVTEDU646)



eprasa.pl 041f57c630



Fotografia 2. Przypominacz świetlno-dźwiękowy, kod handlowy: AVTEDU646



Rysunek 1. Schemat ideowy układu

Intuicja podpowiada, że taki minutnik może przydać się również w przygotowaniach do testów z przedmiotów opisowych, typu historia, która z kolei od zawsze była moją piętą achillesową. Ile będzie trwał sprawdzian, z reguły wiadomo. Bywa, że znane są nawet pytania. Pozostaje chwycić za minutnik i dobrze się wytrenować. Połamania elektronicznych piór życzę, a tymczasem opowiedzmy coś sobie, i zbudujmy *przypominacz świetlno-dźwiękowy*!

Omówienie układu

Już wiesz, że zbudujesz minutnik (w zasadzie to nawet „dwugodzinnik"). Formalnie otrzymał on bliższą mu nazwę: **Przypominacz świetlno-dźwiękowy**, i przypisano mu kod handlowy: **AVTEDU646**. Jak działa ów przypominacz? Otóż po ustawieniu, za pomocą jednego z czterech przełączników SW3…SW6, czasu – odpowiednio: 15 minut, 30 minut, 1 godzina i 2 godziny – oraz naciśnięciu przycisku START, rozpocznie się odliczanie czasu. Podczas odliczania czasu, co sekundę będą błyskały diody LED, a po odliczeniu całości zadanego czasu diody zaczną migać szybciej, i z buzzera popłynie sygnał dźwiękowy. Kształtem przypominacz podobny jest do żetonu przywoławczego, stosowanego czasem w barach szybkiej obsługi. Zmontowany układ pokazano na **fotografii 2**.

Omówienie schematu

Przypominacz świetlno-dźwiękowy jest kolejnym, w ramach cyklu EdW Junior, układem opartym na mikrokontrolerze. Tym razem użyto prawdziwą miniaturkę, bo układ ATtiny13 ma tylko osiem wyprowadzeń. Dla porównania, w układzie *UFOled-ka* (AVTEDU632) z EdW 10/2024 użyto mikrokontrolera ATtiny2313 o dwudziestu wyprowadzeniach, a w układzie Wspomagacza wyboru (AVTEDU639) z EdW 2/2025 wykorzystano mikrokontroler ATtiny24 w obudowie z czternastoma wyprowadzeniami. Ponieważ oba wspomniane układy (*UFOledek* i *Wspomagacz wyboru*) sterowały rządkiem wielu diod LED, większa liczba wyprowadzeń była bardzo pomocna. Część z tych wyprowadzeń załączała bezpośrednio kolejne diody LED. Z tego samego powodu schematy tych układów były bardzo podobne. Schemat przypominacza świetlno-dźwiękowego wygląda nieco inaczej (**rysunek 1**).

Etykiety

Schemat składa się z kilku bloków, które na pierwszy rzut oka mogą wydawać się ze sobą niepołączone. W rzeczywistości są one połączone etykietami. O etykietach opowiadałem już w czwartym naszym spotkaniu, podczas którego budowaliśmy układ *UFOledka* (AVTEDU632). Jeśli masz pod ręką EdW 10/2024, zerknij proszę na stronę 85 tamtego wydania i zaprzyjaźnij z akapitem *Linie łączeniowe od przycisków porwało UFO*? Etykiety z rysunku 1, znajdującego się na stronie 83 tamtego wydania wyglądały nieco inaczej niż te na schemacie *przypominacza świetlno-dźwiękowego* (nie posiadały „chorągiewek" wokół napisu, podłączonych do linii, zamiast tego były tekstem nad liniami), jednak patrząc od strony funkcji w zakresie połączeń, niczym się one od siebie nie różnią.

Na dobrą sprawę etykietami są również wszystkie źródła zasilania i masy, połączone z użyciem identycznych symboli i opisów. Przypomnę, że obeznana w zasadach rysowania schematów osoba, lub też oprogramowanie EDA (ang. Electronic Design Automation), wspomagające tworzenie płytek drukowanych „wie", że dla etykiet o tej samej nazwie zachodzi relacja fizycznego połączenia elektrycznego. Innymi słowy, każde dwie lub więcej etykiet o identycznej nazwie można by było w teorii zastąpić połączeniem za pomocą linii ciągłej, czasem wielokrotnie rozgałęzionej i łączącej wiele elementów. Niemniej jednak, stosowanie etykiet uwalnia schemat od pajęczyny, czasem nawet miliona połączeń, zasłaniającej niemal wszystko, co na schemacie istotne. Jeden z moich wykładowców od kursu *Teoria obwodów* mawiał na prowadzonych dla studentów zajęciach: „Nic tak nie zaciemnia obrazu jak porządny rysunek" – albo coś w tym stylu. Nie, żebym był kiepskim słuchaczem, po prostu czas robi swoje i – nomen omen – nie wszystko już człowiek tak klarownie pamięta. Faktem pozostaje natomiast, że gęsto upakowany schemat bez etykiet byłby słów Profesora świetną ilustracją.

Zabezpieczenie przed odwrotną polaryzacją

W prezentowanym układzie zastosowano nieco uproszczone, ale wciąż skuteczne zabezpieczenie przed odwrotnym podłączeniem zasilania. Dioda prostownicza została wpięta równolegle do linii zasilającej, w kierunku zaporowym. Przy poprawnej polaryzacji nie przewodzi prądu, natomiast w przypadku omyłkowego zamienienia biegunów baterii – zaczyna go przewodzić i zwiera linie zasilania, chroniąc tym samym mikrokontroler oraz pozostałe elementy przed uszkodzeniem. Choć bezpieczniejszym i niepowodującym rozładowania baterii rozwiązaniem jest włączenie diody w szereg z obciążeniem, w tym przypadku nie mogło ono zostać zastosowane ze względu na zbyt niski zapas napięcia – spadek napięcia na diodzie (nawet typu Schottky) mógłby

eprasa.pl 041f57c630

uniemożliwić poprawne działanie układu. Dlatego wybrano wariant równoległy, który nie powoduje strat napięcia w normalnych warunkach, co jest szczególnie istotne przy zasilaniu urządzenia z dwóch baterii AAA.

Filtracja zasilania

Kondensatory C1 i C2 służą tu do filtracji napięcia zasilającego, co pozwala zapewnić stabilną pracę mikrokontrolera. Kondensator ceramiczny C1 o małej pojemności (100 nF), umieszczany możliwie blisko nóżek zasilania, tłumi zakłócenia o wysokich częstotliwościach – zarówno te pochodzące ze środowiska zewnętrznego, jak i generowane wewnątrz układu. Z kolei kondensator elektrolityczny C2 o większej pojemności (100 µF) przeciwdziała wolniejszym zmianom napięcia, stabilizując zasilanie w przypadku chwilowych spadków napięcia lub wahań poboru prądu. Warto pamiętać, że zakłócenia mogą pochodzić nie tylko z zewnątrz – źródłem impulsów zakłócających bywa także sam mikrokontroler, zwłaszcza podczas szybkiego przełączania stanów logicznych.

Inicjalizacja mikrokontrolera

Podczas wkładania baterii do koszyczka na liniach zasilania pojawiają się chwilowe tzw. napięcia nieustalone. Na przykład pojawią się skoki napięcia na skutek przesuwania elektrod baterii po stykach złączy w koszyczku baterii. Mikrokontroler sam w sobie jest dosyć skomplikowanym elementem, wrażliwym na tego typu anomalia pojawiające się na liniach zasilania. Ponadto gdy napięcie będzie niestabilne, na przykład w przypadku użycia zasilacza napięcia stałego z kiepską stabilizacją, może źle wykonywać swoje zadania, a nawet „zawiesić się" i przerwać wykonywanie jakichkolwiek czynności do czasu ponownego restartu (wyłączenia i ponownego włączenia) zasilania. Istnieją całkiem zaawansowane układy odpowiedzialne za wystawienie odpowiedniego sygnału na nodze RESET mikrokontrolera, umożliwiając tym samym wystartowanie jego programu dopiero wtedy, gdy zasilanie podane na mikrokontroler ustabilizuje się i jest odpowiednie. Takie zaawansowane układy będą miały zastosowanie głównie w aplikacjach medycznych, przemyśle samochodowym, lotniczym czy wojskowym. W prostym minutniku zadowolimy się prostym rezystorem, który podciągnie nogę numer 1 mikrokontrolera (RESET) do zasilania VCC, czyli do plusa koszyczka z bateriami (3 V). Zwróć uwagę na kreskę nad słowem RESET w symbolu US1 na schemacie z rysunku 1. Kreska ta oznacza, że stanem aktywnym tego sygnału jest stan niski (0 V). Zatem, ponieważ stanem aktywnym sygnału reset jest poziom niski na nodze 1 mikrokontrolera, podłączając to wyprowadzenie do plusa zasilania, deaktywujemy sygnał reset i wprowadzamy mikrokontroler w stan aktywnej pracy. W przypadku schematu widocznego na rysunku 1 odbywa się to za pomocą rezystora R1. Innymi słowy, wlutowanie rezystora R1 umożliwi wystartowanie pracy mikrokontrolera po włożeniu do koszyczka baterii. Jeśli pamiętasz nasze czwarte spotkanie, podczas którego miałeś sposobność złożyć układ *UFOledka*, i masz gdzieś pod ręką wydanie EdW 10/2024, możesz w tym momencie po nie sięgnąć i na stronie 85, w akapicie *Układ resetu mikrokontrolera* znaleźć więcej informacji na ten temat.

Sterowanie diodami LED

Owszem, w tym układzie mikrokontroler również – między innymi – steruje diodami LED, tyle tylko, że wszystkie cztery diody LED połączone są tutaj równolegle i załączane są jednocześnie za pomocą pojedynczego wyprowadzenia mikrokontrolera. Wyprowadzenie to nie załącza jednak diod bezpośrednio, ponieważ to najprawdopodobniej obciążyłoby wyprowadzenie mikrokontrolera zbyt dużym prądem, a to z kolei mogłoby uszkodzić mikrokontroler. Ponadto diody LED mogłyby świecić słabiej. Jak sprawdzić, czy te założenia są poprawne? Jak zwykle, wystarczy sięgnąć po notę katalogową producenta tego mikrokontrolera. Notę tę możemy znaleźć pod adresem: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATtiny13A-Data-Sheet-DS40002307A.pdf. Po otwarciu noty należy przeszukać ją pod kątem hasła „Absolute Maximum Ratings". Po wpisaniu tej frazy do wyszukiwarki (Ctrl+F) szybko odnajdziemy tabelę 18.1, z której wynika, że obciążalność pojedynczego wyprowadzenia (porty wejścia/wyjścia) mikrokontrolera ATtiny13 wynosi maksymalnie 40 mA (przedruk tabeli 18.1 został zamieszczony jako **tabela 1** poniżej).

Warto zauważyć, że 40 mA to wartość graniczna prądu, jaki chwilowo można pobrać z portu mikrokontrolera, a nie wartość zalecana do pracy ciągłej. Choć nota katalogowa mikrokontrolera ATtiny13 nie podaje wprost zalecanej wartości prądu na pojedynczy pin, w praktyce przyjmuje się, że bezpieczne długotrwałe obciążenie nie powinno przekraczać 20 mA. Przyjęcie tej wartości wynika z doświadczenia praktyków oraz ogólnych wytycznych producenta mikrokontrolerów AVR, który zaleca pozostawienie zapasu bezpieczeństwa względem maksymalnych parametrów granicznych. Taki margines – wobec dopuszczalnego prądu 40 mA – ogranicza zjawiska takie jak nadmierne nagrzewanie, spadki napięcia na wyjściu czy obniżenie niezawodności, zwłaszcza gdy kilka wyjść obciążane jest jednocześnie.

Można nie pamiętać ile prądu potrzebuje do efektywnego świecenia biała dioda LED, ale wystarczy chwila, by sięgnąć do kieszeni po smartfon, i w darmowej aplikacji Electrodoc, kliknąć w narzędzie *Rezystor dla diody LED* a następnie z rozwijanej listy wybrać białą (white) diodę LED, by zorientować się, że zalecane warunki pracy takiej diody LED to prąd 20 mA, przy którym na tej diodzie LED odłoży się napięcie przewodzenia równe 3,6 V. O ile bezpiecznego napięcia pracy białej diody LED nie przekroczymy zasilając układ z dwóch baterii AAA, o tyle, gdyby

18.1 Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature	-55°C to +125°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on any Pin except RESET with respect to Ground	-0.5V to V_{CC}+0.5V
Voltage on RESET with respect to Ground	-0.5V to +13.0V
Maximum Operating Voltage	6.0V
DC Current per I/O Pin	40.0 mA
DC Current V_{CC} and GND Pins	200.0 mA

Tabela 1. Parametry graniczne mikrokontrolera ATtiny13. Przedruk tabeli 18.1 z noty katalogowej układu, dostępnej pod adresem: https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATtiny13A-Data-Sheet-DS40002307A.pdf

Parameter	Symbol	Value	Unit
Collector-Base Voltage BC546 BC547 / BC550 BC548 / BC549	V_{CBO}	 80 50 30	V
Collector-Emitter Voltage BC546 BC547 / BC550 BC548 / BC549	V_{CEO}	 65 45 30	V
Emitter-Base Voltage BC546 / BC547 BC548 / BC549 / BC550	V_{EBO}	 6 5	V
Collector Current (DC)	I_C	100	mA
Collector Power Dissipation	P_C	500	mW
Junction Temperature	T_J	150	°C
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 to +150	°C

Tabela 2. Parametry graniczne tranzystora BC547. Przedruk tabeli z pierwszej strony noty katalogowej producenta Onsemi dla tranzystorów BC546, BC547, BC548, BC549 i BC550, dostępnej pod adresem: https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/bc550-d.pdf

eprasa.pl 041f57c630

Symbol	Parameter		Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current		V_{CB} = 30 V, I_E = 0			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain		V_{CE} = 5 V, I_C = 2 mA	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage		I_C = 10 mA, I_B = 0.5 mA		80	250	mV
			I_C = 100 mA, I_B = 5 mA		250	600	
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage		I_C = 10 mA, I_B = 0.5 mA		700		mV
			I_C = 100 mA, I_B = 5 mA		900		
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage		V_{CE} = 5 V, I_C = 2 mA	580	660	700	mV
			V_{CE} = 5 V, I_C = 10 mA			720	
f_T	Current Gain Bandwidth Product		V_{CE} = 5 V, I_C = 10 mA, f = 100 MHz		300		MHz
C_{ob}	Output Capacitance		V_{CB} = 10 V, I_E = 0, f = 1 MHz		3.5	6.0	pF
C_{ib}	Input Capacitance		V_{EB} = 0.5 V, I_C = 0, f = 1 MHz		9		pF
NF	Noise Figure	BC546 / BC547 / BC548	V_{CE} = 5 V, I_C = 200 µA, f = 1 kHz, R_G = 2 kΩ		2.0	10.0	dB
		BC549 / BC550			1.2	4.0	
		BC549	V_{CE} = 5 V, I_C = 200 µA, R_G = 2 kΩ, f = 30 to 15000 MHz		1.4	4.0	
		BC550			1.4	3.0	

Tabela 3. Charakterystyki elektryczne tranzystora BC547 w temperaturze otoczenia równej 25°C. Przedruk tabeli z drugiej strony noty katalogowej producenta Onsemi dla tranzystorów BC546, BC547, BC548, BC549 i BC550, dostępnej pod adresem: https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/bc550-d.pdf

przez wszystkie cztery diody LED popłynął prąd 20 mA, z pewnością przekroczymy dopuszczalny prąd na wyjściu mikrokontrolera. Bez wątpienia dlatego właśnie użyto tutaj tranzystor T1 typu BC547, który pozwala załączać obciążenia o prądzie aż do 100 mA (**tabela 2**), przy bazie wysterowanej z wyprowadzenia mikrokontrolera prądem (w tym konkretnym przypadku) zaledwie 5 mA (**tabela 3**).

Z uwagi na zasilanie napięciem 3 V pobór prądu przez białe diody LED będzie dużo mniejszy. Wrodzona ciekawość podsuwa pytanie, jaki, w takim przypadku, prąd popłynie przez białą diodę LED? Ponieważ nie mamy wiedzy o kodzie producenta białych diod LED dołączonych do zestawu (brak takiej informacji w spisie elementów), nie mamy możliwości sięgnąć po adekwatną notę katalogową i odczytać z zamieszczonej tam charakterystyki prądowo-napięciowej, konkretnej wartości prądu płynącego przez diodę w przypadku zasilenia jej napięciem o wartości 3 V. Jeśli jesteś ciekaw, jaki prąd popłynie przez białą diodę LED w zbudowanym przez siebie zestawie, nieco później podpowiem Ci jak to zrobić.

Wróćmy więc do tranzystora T1, który załącza diody LED. Tranzystor ten jest sterowany przez wyprowadzenie numer 3 mikrokontrolera, czyli port PB4. Jak już wcześniej wspomniano, tranzystor ten może załączać obciążenia do 100 mA i do tego celu będzie potrzebował przepływu prądu z portu PB4 do bazy o wartości maksymalnie 5 mA (tabela 3), z czym mikrokontroler bez problemu sobie poradzi (tabela 1). Rezystor R9 o wartości 2,2 kΩ służy do tego, by ograniczyć prąd bazy do bezpiecznej dla mikrokontrolera oraz tranzystora wartości.

Nota katalogowa nie pokazuje wprost maksymalnego prądu bazy, który spowodowałby uszkodzenie tranzystora BC547. Wiedząc jednak, że maksymalny prąd kolektora tego tranzystora wynosi 100 mA i do nasycenia tranzystora przy takim prądzie kolektora wystarczający jest prąd bazy o wartości 5 mA nie istnieje żaden powód, dla którego mielibyśmy wartość 5 mA kiedykolwiek przekraczać.

Dla dociekliwych: Gdy zbudujesz swój egzemplarz przypominacza świetlno-dźwiękowego, możesz zmierzyć prąd pobierany przez obwód z diodami LED. Znając sumaryczny prąd płynący przez diody, mógłbyś obliczyć prąd bazy niezbędny do wprowadzenia tranzystora T1 (BC547) w stan nasycenia i ocenić, na ile wartość rezystora R9 (2,2 kΩ) została trafnie dobrana przez autora projektu.

Sterowanie buzzerem

Do sygnalizowania o tym, że upłynął zadany czas, służą diody LED1…LED4, emitujące intensywne świetlne rozbłyski, oraz buzzer aktywny BUZ1, emitujący w tym samym czasie sygnały dźwiękowe. Sygnalizacja dźwiękowa jest opcjonalna i można ją trwale wyłączyć, zdejmując zworkę ze złącza JP1, rozłączając tym samym obwód wspomnianego buzzera.

Aby buzzer aktywny BUZ1 emitował dźwięk, musi zostać zasilony. Sygnał włączający podawany jest z portu PB3 mikrokontrolera (wyprowadzenie 2), który aktywuje tranzystor T2, pracujący jako klucz (przełącznik). Po podaniu logicznej jedynki (napięcia bliskiego 3 V w przypadku zasilania bateryjnego) na bazę tranzystora, przez rezystor R8 popłynie prąd bazy. Wartość rezystora (2,2 kΩ) została dobrana (a przynajmniej powinna) tak, by zapewnić wystarczający prąd bazy do nasycenia tranzystora, jednocześnie nie przekraczając wartości bezpiecznej dla portu mikrokontrolera (typowo 20 mA) oraz tranzystora (dla BC547 wystarczy 5 mA).

Prąd bazy będzie płynął przez rezystor R8 nie bezpośrednio do masy, ale będzie on płynął do masy przez złącze baza-emiter tranzystora. Ponieważ jest to krzemowe złącze półprzewodnikowe, prąd popłynie przez nie dopiero po ustaleniu się pomiędzy bazą i emiterem (czyli – w tej konfiguracji – pomiędzy bazą i masą) napięcia o wartości bliskiej 0,7 V. Tym samym prąd płynący przez rezystor (czyli prąd bazy) będzie nieco mniejszy.

Dla napięcia zasilania 3 V z rezystorem o wartości 2,2 kΩ w obwodzie bazy, prąd bazy można wyliczyć z prawa Ohma (uwzględniając spadek napięcia 0,7 V na złączu baza-emiter):

$$U = I \times R \rightarrow I = \frac{U}{R} = \frac{3V-0{,}7V}{2{,}2k\Omega} = \frac{2{,}3V}{2200\Omega} \approx 0{,}001045A \approx 1{,}045mA$$

Nawet dla napięcia zasilania 5 V prąd ten nie przekroczy 2 mA, co nadal pozostaje dużo poniżej dopuszczalnych granic bezpieczeństwa:

$$U = I \times R \rightarrow I = \frac{U}{R} = \frac{5V-0{,}7V}{2{,}2k\Omega} = \frac{4{,}3V}{2200\Omega} \approx 0{,}00195A \approx 1{,}95mA$$

Dla dociekliwych: Gdy zbudujesz swój egzemplarz przypominacza świetlno-dźwiękowego, możesz zmierzyć prąd pobierany przez buzzer aktywny. Znając jego wartość, mógłbyś obliczyć prąd bazy niezbędny do wprowadzenia tranzystora T2 (BC547) w stan nasycenia, i ocenić, na ile wartość rezystora R8 (2,2 kΩ) została trafnie dobrana przez autora projektu.

Przełączniki do nastawy czasu

Kolejnym istotnym do omówienia blokiem na schemacie jest układ przełączników do nastawy czasu odliczania. Dzięki sprytnej sztuczce odczyt ustawienia czterech przełączników nie pochłonie połowy dostępnych w ośmionóżkowej obudowie mikrokontrolera wyprowadzeń a zamiast tego mikrokontroler rozpozna ustawienie przycisków za pomocą zaledwie jednego wyprowadzenia! Tu wyjątkowo dwóch – ale o tym za chwilę. Tym „jednym wyprowadzeniem" jest port PB2 (nóżka 7 mikrokontrolera, na schemacie podłączona do etykiety TIME), które może pełnić rolę wejścia analogowego. Za pomocą takiego wejścia mikrokontroler jest w stanie mierzyć wartość napięcia. Magii nie ma w tym rozwiązaniu nazbyt sporo, ale odrobina elektronicznej przebiegłości, a i owszem, jest tu obecna. Warto przy okazji dodać, że jest to dobrze znana praktyka, stosowana przez wielu konstruktorów, zwłaszcza gdy w mikrokontrolerze zaczyna nam brakować dostępnych wyprowadzeń. Metoda ta polega na odczycie wartości napięcia – tu ustawionej za pomocą przełączników – na wejściu analogowym mikrokontrolera. Przełączniki SW3…SW6

eprasa.pl 041f57c630

pozwalają dołączyć do połączenia oznaczonego etykietą TIME (która reprezentuje połączenie ze wspomnianą wcześniej nóżką 7 mikrokontrolera) kolejne rezystory (odpowiednio R4…R7), a tym samym wpływać na wartość dzielnika napięcia, utworzonego z rezystora R3 oraz jednego z rezystorów R4…R7 lub ich kombinacji. Gdyby układ zasilany był z zasilacza wtyczkowego, R3 jednym końcem wpięty byłby bezpośrednio do napięcia zasilania. Ponieważ jednak układ zasilany jest z baterii, od której w zasadzie nigdy nie jest odłączany, taki dzielnik powodowałby stały upływ – niewielkiego, ale jednak – prądu z napięcia dodatniego 3 V poprzez kombinację rezystorów R3…R7 do masy GND. Normalnie ten mikro-pobór można byłoby zignorować i zaniedbać, niemniej, gdy układ zasilany jest z baterii, której żywotność jest ograniczona, liczy się każda, choćby i setna część mikroampera. Dlatego napięcie 3 V na rezystor R3 wystawia mikrokontroler za pomocą wyprowadzenia 6 (port PB1) i robi to tylko na chwilę (zaraz po naciśnięciu przycisku START), w której odczytywana jest sekwencja przycisków R4…R7. Gdy mikrokontroler odczyta ustawioną sekwencję przełączników (zmierzy napięcie na wejściu analogowym), i przełoży ją sobie na czas, który musi odliczyć, natychmiast ustawi na porcie PB1 (etykieta LADDER_ON) stan niski (czyli 0 V) i przez rezystory R3…R7 żaden prąd już płynął nie będzie – jak zapewne pamiętasz z lekcji fizyki, aby popłynął prąd, musi wystąpić różnica potencjałów, a tu, z obu stron: GND i LADDER_ON, będzie występowało 0 V, czyli różnicy napięć nie będzie.

Dzielnik napięcia

Skoro wspomniałem coś o dzielniku napięcia, to w materiale dla początkujących elektroników nie wypada mi tego tematu pominąć i o dzielniku napięcia słów kilku nie pozostawić. W najprostszym ujęciu dzielnik napięcia będą stanowiły dwa połączone ze sobą rezystory, wpięte pomiędzy napięcie zasilania i masę. Napięcie dzielnika ustali się na styku połączonych ze sobą szeregowo rezystorów i osiągnie wartość z przedziału pomiędzy napięciem zasilania a masą. Wartość napięcia dzielnika będzie zależała od stosunku wartości obu rezystorów i można ją szybko wyliczyć za pomocą wzoru:

$$U_{dzielnika} = U_{wejsciowe} \times \frac{R2}{R1+R2}$$

gdzie (w naszym przypadku):

- $U_{wejsciowe}$ to napięcie zasilania wpływające za pomocą rezystora R1 i wypływające do masy za pośrednictwem rezystora R2.
- $U_{dzielnika}$ to napięcie z zakresu pomiędzy masą (0 V) i napięciem wejściowym $U_{wejsciowe}$, które ustali się na styku rezystorów R1 i R2.

Spójrz ponownie na schemat z rysunku 1.

Jeśli załączony będzie wyłącznie przycisk SW3 wówczas dzielnik będą stanowiły rezystory R3 (podłączony przez mikrokontroler do 3 V) oraz R4 (podłączony za pomocą SW3 do GND), a na ich wspólnym styku wytworzy się, zgodnie z wyliczeniem poniżej, napięcie 0,27 V. Analogicznie dla pozostałych:

- gdy załączony tylko SW3
  $\rightarrow U_{dzielnika} = 3V \times \frac{1k\Omega}{10k\Omega+1k\Omega} =$
  $3V \times \frac{1k\Omega}{11k\Omega} \approx 0{,}27V$
- gdy załączony tylko SW4
  $\rightarrow U_{dzielnika} = 3V \times \frac{2{,}2k\Omega}{10k\Omega+2{,}2k\Omega} =$
  $3V \times \frac{2{,}2k\Omega}{12{,}2k\Omega} \approx 0{,}54V$
- gdy załączony tylko SW5
  $\rightarrow U_{dzielnika} = 3V \times \frac{4{,}7k\Omega}{10k\Omega+4{,}7k\Omega} =$
  $3V \times \frac{4{,}7k\Omega}{14{,}7k\Omega} \approx 0{,}96V$
- gdy załączony tylko SW6
  $\rightarrow U_{dzielnika} = 3V \times \frac{10k\Omega}{10k\Omega+10k\Omega} =$
  $3V \times \frac{10k\Omega}{20k\Omega} \approx 1{,}5V$

Biorąc pod uwagę informacje o czasach przypisanym na schemacie i PCB do przycisków oraz powyższe wyliczenia, wiadomo teraz, że jeśli przycisk SW3 będzie załączony, to na wyprowadzeniu 7 mikrokontrolera w momencie odczytu stanu przełączników będzie panowało napięcie 0,27 V i mikrokontroler – z odpowiednio napisanym programem – zinterpretuje takie napięcie jako 15 minut czasu do odliczenia. Analogicznie dla wszystkich pozostałych:

- SW3 → pin7 US1 = 0,27 V → 15 minut
- SW4 → pin7 US1 = 0,54 V → 30 minut
- SW5 → pin7 US1 = 0,96 V → 1 godzina
- SW6 → pin7 US1 = 1,5 V → 2 godziny

Dla aktywnych: Gdy zbudujesz swój egzemplarz przypominacza świetlno-dźwiękowego, możesz zweryfikować obliczenia ze wzoru na dzielnik napięcia (podanego wyżej). W tym celu zdemontuj co najmniej jedną baterię i ostrożnie wyjmij mikrokontroler z podstawki (np. podważając go śrubokrętem). Po jego odłączeniu zamontuj ponownie obie baterie w koszyczku. Za pomocą cienkiego drucika (na przykład obciętej nogi rezystora) zmostkuj w podstawce otwory 8 (VCC) oraz 6 (sygnał LADDER_ON). Dostarczysz w ten sposób napięcie 3 V na wejście dzielnika. Teraz czerwoną sondę multimetru, ustawionego na pomiar napięcia stałego w zakresie do 20 V, umieść w otworze numer 7 podstawki pod mikrokontroler, a czarną – w otworze numer 4. Zmieniaj nastawy przełączników SW3…SW6 i obserwuj wskazania miernika.

Przycisk START

Proces odliczania czasu zadanego za pomocą przycisków SW3…SW6 rozpoczyna się po naciśnięciu przycisku START (desygnator SW1). W momencie naciśnięcia przycisk ten podłącza nóżkę 5 (port PB0) mikrokontrolera (etykieta SWITCH) do masy (0 V). Gdy przycisk nie jest naciśnięty, za sprawą rezystora R2 na nóżce 5 panuje stan wysoki. Mikrokontroler potrafi rozpoznać zmianę stanu z wysokiego (3 V) na niski (0 V). Gdy tak się stanie ustawia stan wysoki na nodze 6 (LADDER_ON), odczytuje stan przycisków SW3…SW6, a na podstawie napięcia odczytanego na nodze 7 ustala czas odliczania. Następnie ponownie ustawia nogę 6 (LADDER_ON) w stan niski i rozpoczyna odliczanie. Wszelkie manewry na przyciskach SW3…SW6 oraz na SW1 są od tej pory ignorowane, a uruchomiony zegar może wyzerować jedynie wyciągnięcie na dłuższą chwilę i ponowne podłączenie baterii.

Montaż układu
Montaż rezystorów

Jako pierwsze należy zamontować trzynaście rezystorów. Zgodnie ze schematem i wykazem elementów powinny mieć one wartości: cztery sztuki (R1, R2, R3, R7) – 10 kΩ, jedna sztuka (R4) – 1 kΩ, trzy (R5, R8, R9) – 2,2 kΩ, pojedynczy R6 – 4,7 kΩ, oraz cztery sztuki (R10, R11, R12, R13) – 100 Ω. By pośród wszystkich elementów wysypanych z woreczka odnaleźć rezystor o właściwej wartości można posłużyć się jego kodem paskowym, pod warunkiem, że dysponujemy wystarczająco dobrym wzrokiem oraz potrafimy czytać ten kod lub też dysponujemy odpowiednią tabelką wiążącą kolory na odpowiednich

eprasa.pl 041f57c630

pozycjach z cyframi, która pomogłaby w odczytaniu zakodowanej za ich pomocą wartości rezystancji i ewentualnie dodatkowo tolerancji danego rezystora. Niemniej kod taki potrafi być mało czytelny, co będzie zależało nie tylko od wydajności naszego wzroku ale również od jakości wykonanego przez producenta komponentu oznakowania. Niejednokrotnie np. kolor pomarańczowy będzie łudząco przypominał kolor czerwony i na odwrót. Z uwagi na powyższe okoliczności, najpewniejszym sposobem sprawdzenia wartości rezystora będzie zawsze jego pomiar z użyciem multimetru.

Jeśli podczas mierzenia rezystorów pojawią się jakiekolwiek trudności, warto sięgnąć po instrukcję pomocniczą dostępną na stronie https://elportal.pl/do-pobrania – znajdziesz tam dokument „Pomiar wartości rezystorów za pomocą multimetru", przygotowany jako materiał uzupełniający do EdW 11/2024. Dobrze mieć go pod ręką – można go wydrukować i traktować jako praktyczną ściągawkę przy każdych pomiarach.

Rezystor nie posiada biegunowości, co oznacza, że działa tak samo niezależnie od kierunku przepływu prądu. Dzięki temu jego montaż na płytce nie wymaga zastanawiania się nad orientacją. Zgadzać się musi jedynie lokalizacja i wartość montowanego rezystora. Kierunek pozostaje dowolny. Na **fotografii 3** widać poprawnie zamontowane rezystory.

Alternatywna metoda montażu rezystorów

Spotkania opisywane w ramach cyklu EdW Junior mają charakter relacji z zajęć na żywo. Zdarza się czasem, że któryś z Uczestników wymyśli i zastosuje nowatorskie i nieszablonowe podejście dotyczące montażu wybranych elementów. Czasem wcale nie jest ono gorsze od zalecanego, a nawet potrafi znacząco ułatwić montaż. Bardzo spodobał mi się pomysł Dawida, dlatego postanowiłem się nim z Wami podzielić. Typowy montaż rezystorów polega na ich włożeniu do płytki, a następnie zagięciu ich wyprowadzeń pod kątem 45°, by nie wypadły one po odwróceniu płytki do góry stroną lutowania. Taki montaż pociąga za sobą dwie opisane poniżej niedogodności.

Zaginanie wyprowadzeń choć unieruchamia komponent w płytce na czas montażu, to jednak znacząco utrudnia ewentualny jego demontaż, na przykład w celu wymiany uszkodzonego elementu na nowy. Nie ulega wątpliwości, że dużo łatwiej wymienić element przewlekany (na przykład diodę LED lub rezystor), gdy osie wyprowadzeń komponentów pokrywają się z osiami otworów montażowych. Innymi słowy, łatwiej jest wymontować z płytki PCB komponent przewlekany, gdy wyprowadzenia komponentu nie posiadają żadnych rozgięć na boki. Wystarczy wówczas ponownie rozgrzać lutowie, chwycić za obudowę komponentu (na przykład pęsetą, żeby się nie poparzyć), a następnie bez użycia siły wyciągnąć go z płytki. Gdy wyprowadzenia komponentu były zagięte podczas montażu, demontaż elementu wymaga więcej wysiłku i niesie ze sobą dużo większe ryzyko uszkodzenia. Uszkodzenie może dotyczyć nie tylko samego komponentu, ale również padów lutowniczych płytki drukowanej lub oderwania padu od ścieżki. Uszkodzenia padów lub ścieżek pozostają często niewidoczne dla oka, przez co stanowią trudną do wykrycia i naprawy usterkę.

Druga niedogodność klasycznego montażu przewlekanych rezystorów polega na tym, że po stronie lutowania tworzy nam się niejednokrotnie „gęsty las" wyprowadzeń wymagających przylutowania. Taki „las wyprowadzeń" znacząco utrudnia manewrowanie wśród nich grotem lutownicy, co wcale nie ułatwia samego lutowania, a często wręcz przyczynia się do powstawania zwarć i „zimnych lutów". Zwarcia są najczęstszą przyczyną tego, że układ po zmontowaniu po prostu nie działa wcale lub się uszkadza, podczas gdy zimne luty sprawiają, że układ przestaje działać po pewnym czasie lub też cały czas działa on niestabilnie.

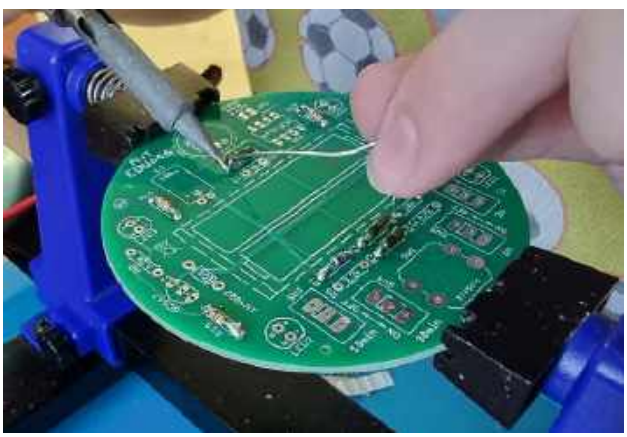
Rozwiązanie, które zaproponował Dawid, eliminuje obie te niedogodności. Po pierwsze – uwalnia osobę montującą urządzenie od konieczności zaginania wyprowadzeń po włożeniu komponentu do płytki. Po drugie – choćby nie wiem jak dużo rezystorów było do zamontowania ani na moment nie tracimy przestrzeni roboczej.

Na czym polega ta super metoda? Otóż Dawid postanowił użyć stojaka do PCB, unieruchamiając w nim płytkę poziomo, a następnie, powkładał do niej rezystory. Następnie po stronie komponentów (a więc „od góry") przylutował je do pierścieni miedzi wokół przeznaczonych dla tych komponentów otworów montażowych (**fotografia 4**).

Płytka cały czas znajdowała się w tej samej pozycji, w związku z czym nie istniała konieczność klinowania komponentów od spodu. Siła grawitacji, naturalnym sposobem, cały czas trzymała je w miejscu. Po przylutowaniu komponentów do płytki od góry, wystarczyło później odciąć nadmiar wyprowadzeń po stronie spodniej. Wszystkie rezystory zostały przylutowane

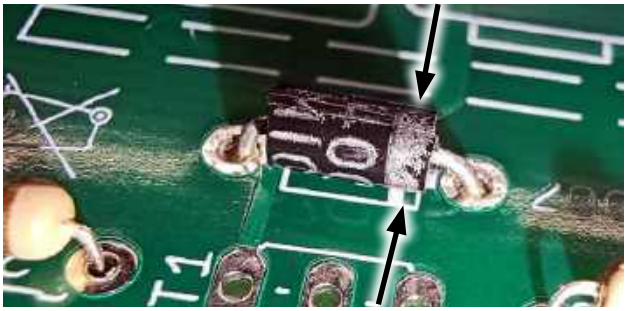


Fotografia 3. Rezystory są elementami bez polaryzacji i montujemy je na odpowiednich pozycjach, zgodnie z wykazem elementów, w dowolnym kierunku. Wartość każdego z rezystorów warto dla pewności zmierzyć za pomocą multimetru, lub sprawdzić, czy kolejność kolorów kodu paskowego jest zgodna z powyższą fotografią



Fotografia 4. Zaproponowany przez Dawida montaż rezystorów możliwy jest w przypadku płytek z miedzią po obu stronach. Lutowanie komponentów „od góry" – w płytce zamontowanej poziomo w uchwycie – umożliwia pominięcie zaginania wyprowadzeń komponentów oraz zapewnia wygodną przestrzeń roboczą. Młodzi Entuzjaści Elektroniki, Szkoła Podstawowa nr 86, Wrocław

eprasa.pl 041f57c630



Fotografia 5. Poprawny montaż diody prostowniczej D1 na płytce PCB. Kierunek pasków na diodzie i nadrukowanym na płytce symbolu diody muszą być zgodne

perfekcyjnie. Wszystkie idealnie przylegały do płytki, przez co montaż był niezwykle schludny i estetyczny. Nie było też zwarć ani zimnych lutów. Należy jednak zaznaczyć, że taki sposób montażu możliwy jest wyłącznie na płytkach z miedzią po obu stronach lub na płytkach wielowarstwowych, w których pierścień miedzi znajduje się po obu stronach płytki drukowanej. W przypadku płytek z miedzią po jednej stronie, tego typu montaż nie jest możliwy.

Montaż diody prostowniczej

W zestawie znajduje się jedna dioda prostownicza, przeznaczona do montażu w miejscu oznaczonym jako D1. Wlutuj ją tak, aby srebrny pasek na obudowie diody był zwrócony w tym samym kierunku co biały pasek widoczny na symbolu diody na płytce PCB (**fotografia 5**).

Montaż podstawki pod układ scalony US1

Kolejnym elementem do zamontowania jest podstawka pod układ scalony. Zasada, jak zwykle, znacznik kierunku w podstawce (wybranie w podstawce) musi pokrywać się ze wskaźnikiem kierunku nadrukowanym białą farbą na warstwie opisowej płytki PCB (**fotografia 6**).

Po umieszczeniu podstawki zgodnie z wytycznymi widocznymi na fotografii 6, należy docisnąć ją palcem do płytki, pilnując, by każde z wyprowadzeń, bez żadnego zagięcia, przeszło przez swój otwór, a następnie zagiąć jej dwa przeciwległe wyprowadzenia (np. piny 4 i 8) po stronie lutowania. W ten sposób zabezpieczysz podstawkę, by nie wypadła z płytki podczas lutowania. Oprzyj teraz płytkę komponentami na blacie roboczym i ostrożnie przylutuj wszystkie wyprowadzenia podstawki. Cyna powinna rozpłynąć się wokół wszystkich pinów i przytwierdzić je do padów na płytce.

Przypilnuj jednak, by pomiędzy lutowanymi wyprowadzeniami nie powstały niechciane połączenia, czyli zwarcia, zwane również mostkami lutowniczymi.

Jeśli podczas lutowania pojawią się zwarcia, najłatwiej będzie, trzymając płytkę jedną ręką, ustawić ją pod kątem prostym względem blatu. Następnie należy ponownie podgrzać połączone pola lutownicze oraz, przy pomocy grotu lutownicy i siły grawitacji, pozwolić nadmiarowi cyny spłynąć na blat. Dzięki temu uwolnisz pady podstawki od zwarć.

Montaż kondensatora ceramicznego

Elementem sugerowanym do zamontowania w następnej kolejności jest kondensator C1 o wartości 100 nF. Jest on elementem niespolaryzowanym (symetrycznym), w związku z czym jego kierunek montażu jest dowolny. Nawet jeśli w zestawie znajduje się tylko jeden taki kondensator, warto sprawdzić, czy zgadza się jego wartość.

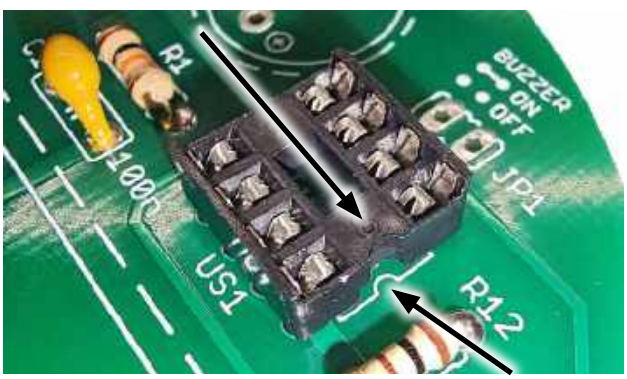
Na obudowie kondensatora o wartości 100 nF (**fotografia 7**) znajduje się napis „104". Jednak w zależności od producenta kondensatora równie dobrze mógłby się tam znaleźć napis, np. „µ1" lub „100n".

- W przypadku opisu „µ1" przedrostek „mikro" został umieszczony jako 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.
- W przypadku opisu pojemności (której jednostką podstawową jest Farad) „100 n" 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.

Montaż diod LED

Podczas montażu diod LED należy zachować szczególną ostrożność, ponieważ każda dioda jest elementem spolaryzowanym. Każda z diod posiada anodę, którą należy podłączyć do dodatniego potencjału zasilania oraz katodę, którą podłącza się do ujemnego bieguna zasilania. W przypadku diod LED anoda jest zawsze wyprowadzeniem dłuższym a katoda jest krótsza (**rysunek 2**). Do płytki PCB należy



Fotografia 6. Znacznik kierunku w obudowie podstawki musi być skierowany zgodnie ze wskaźnikiem kierunku nadrukowanym na płytce PCB.



Fotografia 7. Montaż kondensatora ceramicznego C1. Kierunek montażu jest obojętny. Na obudowie kondensatora widać napis „104" informujący o pojemności 10 i 4 zera pikofaradów (100000 pF), czyli 100 nF

eprasa.pl 041f57c630



Rysunek 2. Opis wyprowadzeń diody LED („plusowe" wyprowadzenie dłuższe, „minusowe" krótsze)

przylutować cztery diody LED. Montujemy je na pozycjach LED1… LED4. Anody (dłuższe wyprowadzenia diod LED) należy zamontować do otworów oznaczonych literą „A" lub znakiem „+". Krótsze katody muszą trafić do otworów sąsiednich, oznaczonych literą „K" lub znakiem „–", umiejscowionym przy fragmentach okręgów odwzorowujących obwody diod LED zastąpionych linią prostą (**fotografia 8**).

Przykład poprawnie zamontowanej diody LED pokazano na **fotografii 9**.

Należy pamiętać, że jeśli przylutujemy diodę LED w niewłaściwym kierunku, nie będzie ona świeciła, a ponadto, na skutek wymuszonego przepływu pądu wstecznego może ona ulec trwałemu uszkodzeniu. Zdarza się, że gdy zorientujemy się, że diodę LED zamontowaliśmy w sposób nieprawidłowy, po jej wylutowaniu i ponownym przylutowaniu, już we właściwym kierunku, dioda wciąż nie będzie chciała świecić. Dlatego po wylutowaniu błędnie zamontowanej diody LED z płytki PCB należy ją uprzednio sprawdzić z użyciem multimetru, ustawionego w tryb pomiaru diod lub testu ciągłości obwodu, czy wylutowana dioda LED aby na pewno ciągle jest sprawna. W tym celu, po ustawieniu wspomnianego trybu pracy multimetru, do anody diody LED przykładamy czerwoną jego sondę a do katody przykładamy sondę czarną (**fotografia 10**). Jeśli w tym momencie dioda LED się zaświeci, oznacza to, że jest ona sprawna, i możemy przylutować ją ponownie, tym razem pamiętając o właściwym kierunku montażu.

Montaż tranzystorów

Pora zamontować tranzystory na pozycjach T1 oraz T2. Oba tranzystory są tego samego typu: BC547 (lub BC548), nie ma więc obawy o to, że pomylimy ich pozycje. Przed ich zamontowaniem warto jednak sprawdzić znajdujące się na nich opisy i upewnić się, że na każdym znajdziemy napis BC547 (lub BC548). Tranzystory są elementami niesymetrycznymi, zatem należy je zamontować zgodnie z obrysem na płytce drukowanej. Mówiąc ściślej, należy je zamontować w takim kierunku, by kształt ich obudowy (litera „D") pasował do obrysu na warstwie opisowej płytki PCB. Przykład poprawnie zamontowanego tranzystora pokazano na **fotografii 11**.



Fotografia 8. W otwory oznakowane literą „A" lub znakiem „+" należy zamontować anody (dłuższe wyprowadzenia diod LED), natomiast katody (krótsze wyprowadzenia diod LED) należy umieścić w otworach oznakowanych literą „K" lub znakiem „–". Lokalizację katod wskazuje dodatkowo linia prosta w obrysie diody LED



Płaskie ścięcie na obwodzie diody LED to katoda

Fotografia 9. Przykład poprawnie zamontowanej diody LED. Katody (krótsze wyprowadzenia) znajdują się w otworach sąsiadujących z prostą linią w obrysie diody LED na warstwie opisowej PCB

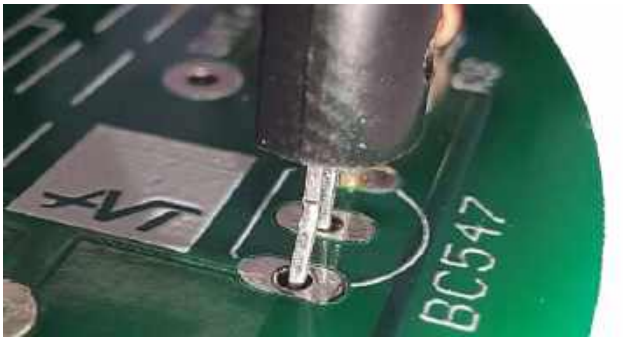
Montaż kondensatora elektrolitycznego

W budowanym zestawie znajduje się tylko jeden kondensator elektrolityczny, oznaczony na schemacie oraz płytce jako C2. Jego wartość to 100 µF, co możemy potwierdzić na obudowie kondensatora, na której znajduje się również informacja o dopuszczalnym napięciu roboczym. W moim zestawie znalazłem kondensator o pojemności 100 µF na napięcie 25 V. Co oznacza wartość 25 V, i czy trzeba się nią przejmować? Z reguły pojemność kondensatora (w mikrofaradach) jest kluczowa, ponieważ wpływa bezpośrednio na działanie układu. Z kolei napięcie robocze (w woltach) mówi tylko, jaki maksymalny poziom napięcia może być zastosowany bez ryzyka uszkodzenia kondensatora. Nasz układ działa przy napięciu 3 V, co oznacza, że napięcie 25 V jest bezpieczne i nie grozi uszkodzeniem kondensatora. Możemy również użyć kondensatora o wyższej wartości napięcia, na przykład 100 µF na 50 V, co zdarza się, gdy nie mamy pod ręką kondensatora o napięciu wskazanym w projekcie. Ważne jest, by nie przekroczyć wartości napięcia podanego na kondensatorze elektrolitycznym, ponieważ uszkodzi to kondensator a nawet doprowadzi do małej eksplozji. **Dlatego zawsze zakładaj gogle ochronne przy uruchamianiu urządzeń elektronicznych, nawet tych zasilanych bateryjnie.** Wybór kondensatora o wyższym napięciu roboczym jest dopuszczalny, jednak nie należy stosować kondensatorów o napięciu niższym



Fotografia 10. Sprawdzanie diody LED za pomocą multimetru ustawionego na testowanie diod. Po przyłożeniu sondy czerwonej do anody, a czarnej do katody, sprawna dioda LED powinna się zaświecić. Jeśli dioda ma odpowiednio długie (jeszcze nie przycięte) wyprowadzenia można się wspomóc krokodylkami

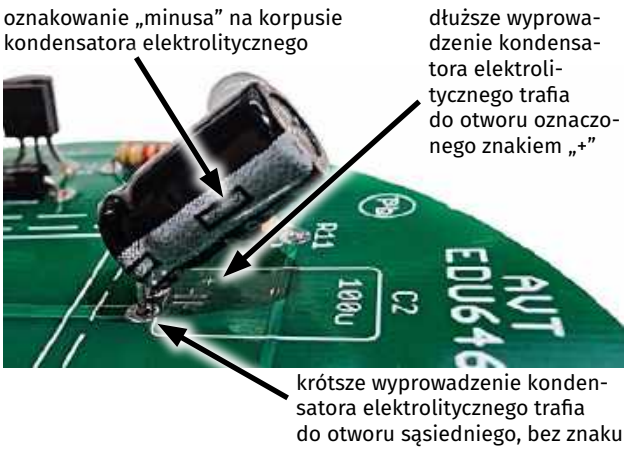
eprasa.pl 041f57c630



Fotografia 11. Poprawny montaż tranzystora T2. Tranzystor T1 należy przylutować w taki sam sposób. Korpusy tranzystorów (w kształcie litery „D”) odpowiadają obrysom (również w kształcie litery „D”) na warstwie opisowej płytki PCB

od wymaganego. Zawsze powinna być zachowana odpowiednia pojemność, a większe napięcie robocze kondensatora wiąże się z większymi wymiarami samego komponentu.

Kondensator elektrolityczny, jak zapewne pamiętasz, jest elementem spolaryzowanym i, podobnie jak ma to miejsce w przypadku diod LED, tu również dłuższa nóżka nowego (nieprzyciętego jeszcze)



Fotografia 12. Poprawny, zgodny z polaryzacją sposób włożenia kondensatora elektrolitycznego C2 do płytki PCB. Na płytce znakiem „+” oznaczono otwór, w którym należy umieścić dodatnie (dłuższe) wyprowadzenie kondensatora elektrolitycznego, a na korpusie (obudowie) kondensatora w sposób bardzo wyraźny zaznaczono wyprowadzenie ujemne kondensatora, które jest przy okazji wyprowadzeniem krótszym. Należy je zamontować do sąsiedniego otworu kondensatora elektrolitycznego (bez znaku)

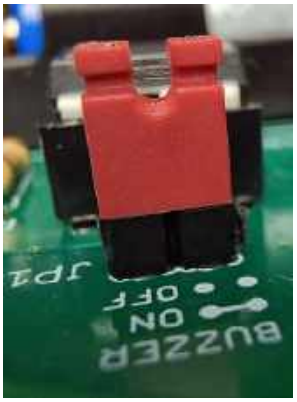


Fotografia 13. Wygląd kondensatora elektrolitycznego C2, zamontowanego na płytce PCB w pozycji leżącej

elementu jest wyprowadzeniem dodatnim (+) a krótsza ujemnym (–). Poprawny montaż kondensatora elektrolitycznego C2 na płytce PCB pokazano na **fotografii 12**.

Obrys komponentu (prostokąt zamiast okręgu) sugeruje, że zamysłem projektanta był montaż poziomy kondensatora, dlatego – zgodnie z takim zamysłem – kondensator ten warto zamontować w pozycji leżącej (**fotografia 13**).

Montaż złącza typu goldpin



Fotografia 14. Złożenie czerwonej zworki z czarnym złączem typu goldpin 1×2, gotowe do wlutowania w płytkę PCB

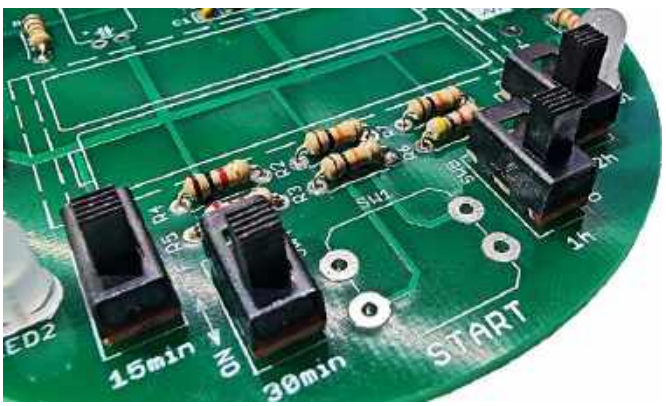
Montaż złącza typu goldpin wymaga odrobiny cierpliwości. Krótsze piny należy umieścić w otworach płytki. Piny tego złącza są zbyt grube i jednocześnie zbyt krótkie, by dało się je zagiąć po włożeniu, dlatego przed przylutowaniem trzeba je w jakiś sposób unieruchomić. Aby nie poparzyć sobie palców, warto przed lutowaniem założyć na złącze zworkę dołączoną do zestawu, a następnie całość przylutować do płytki jako złożenie.

Podzespół złożony z dwóch komponentów można teraz chwycić za boki i ustawić na płytce. Najpierw przylutuj jedno wyprowadzenie – dzięki temu złącze pozostanie na miejscu. Upewnij się, że komponent jest ustawiony prostopadle do powierzchni PCB, a następnie ze spokojem przylutuj drugie wyprowadzenie. Jeśli potrzebujesz pomocy, poproś kogoś w pobliżu, by przytrzymał element podczas lutowania. Pamiętaj, aby trzymać komponent wyłącznie za boki – naciskając go od góry palcem, łatwo poparzyć się o wystające metalowe piny.

Po zamontowaniu podzespołu zworka powinna dać się w razie potrzeby bez dużej siły zsunąć ze złącza. Na **fotografii 15** pokazano poprawnie przylutowane złącze JP1 po zdjęciu zworki.

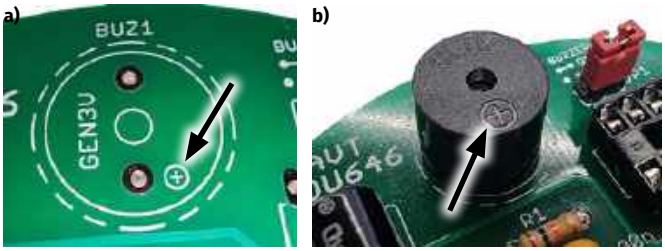


Fotografia 15. Poprawnie zamontowane złącze goldpin

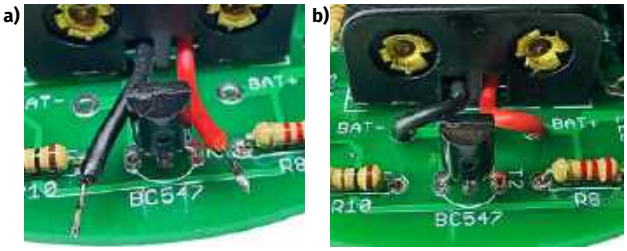


Fotografia 16. Poprawnie zamontowane przełączniki SW3...SW6

eprasa.pl 041f57c630



Fotografia 17. a) nadrukowany białą farbą na płytce PCB znak „+" wskazujący otwór, w który należy zamontować „plusowe" wyprowadzenie buzzera aktywnego, b) znak „+" wskazujący lokalizację „plusowego" wyprowadzenia wytłoczony w obudowie buzzera aktywnego, dołączonego do zestawu



Fotografia 20. Kabelki złącza baterii należy: a) skrócić do konkretnej długości, odizolować końcówki i pocynować, a następnie b) włożyć do otworów BAT+ oraz BAT– i przylutować wcześniej przygotowane końcówki do płytki

Montaż przełączników

Pora na zamontowanie przełączników ustawiających czas do odliczenia, opisanych na schemacie i PCB jako SW3…SW6. Każdy z tych przełączników 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 tych elementów nie ma żadnego znaczenia. Podczas montażu warto przylutować środkowy pin do płytki PCB, a po upewnieniu się, że komponenty dobrze przylegają do jej powierzchni, przylutować pozostałe. Poprawnie zamontowane przełączniki SW3…SW6 pokazano na **fotografii 16**.

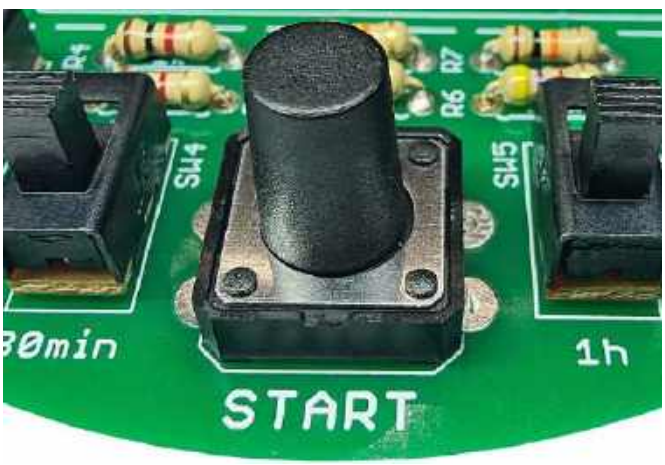
Montaż buzzera aktywnego PIEZO

W przypadku pasywnych buzzerów piezo polaryzacja zazwyczaj nie ma znaczenia. Inaczej ma się rzecz w przypadku buzzerów aktywnych – ten typ zawiera wbudowaną elektronikę generującą dźwięk, zamkniętą razem z przetwornikiem piezo w jednej obudowie. Aby układ działał prawidłowo, należy dostarczyć napięcie o odpowiedniej wartości i polaryzacji. Wyprowadzenie buzzera znajdujące się przy oznaczeniu „+" (**fotografia 17b**) musi trafić do otworu na płytce PCB oznaczonego tym samym znakiem (**fotografia 17a**).



Fotografia 18. Naklejka zabezpieczająca wnętrze buzzera przed zanieczyszczeniami podczas transportu i montażu. Należy ją odkleić, w przeciwnym razie dźwięk będzie tłumiony

W nowo zakupionych buzzerach, zarówno aktywnych, jak i pasywnych, otwór dźwiękowy jest zaklejony specjalną naklejką. Chroni ona wnętrze urządzenia przed zanieczyszczeniami, które mogłyby przedostać się do środka podczas transportu lub montażu (**fotografia 18**).



Fotografia 19. Poprawny montaż przycisku start. Wszystkie nóżki przycisku przeszły przez otwory na PCB, a podstawa przycisku przylega bezpośrednio do powierzchni PCB

Montaż przycisku START

Przycisk start to przedostatni element do przylutowania. Kierunek montażu elementu jest obojętny, ważne jest jedynie, aby wszystkie cztery nóżki przeszły przez otwory w płytce PCB, a sam przycisk dobrze na niej leżał. Podstawa przycisku powinna całkowicie przylegać do powierzchni PCB (**fotografia 19**).

Montaż koszyczka baterii

Na koniec pozostaje przytwierdzić do płytki PCB koszyczek na dwie baterie AAA. Należy to zrobić za pomocą dołączonej do zestawu dwustronnej taśmy klejącej. Następnie przylutuj kabelki od dołączonego do zestawu koszyczka. Inaczej niż w przypadku większości zestawów serii AVTEDU, tym razem kabelków nie przeprowadzamy przez otwory pomocnicze, ale lutujemy je do padów lutowniczych. Zanim to zrobisz, skróć kabelki do długości niezbędnej do umieszczenia ich w otworach oznaczonych jako BAT+ oraz BAT–. Pamiętaj, aby kabelek w kolorze czerwonym umieścić w otworze oznaczonym jako BAT+, a kabelek w kolorze czarnym w otworze oznaczonym jako BAT– (**fotografia 20a**). Następnie przylutuj kabelki do płytki (**fotografia 20b**).

Montaż mikrokontrolera w podstawce

Ponieważ do podstawki zostanie zamontowany mikrokontroler, na tym etapie obowiązkowo należy sprawdzić, czy na odpowiednich pinach zasilających po podłączeniu baterii pojawi się odpowiednie napięcie. Należy to zrobić, zanim mikrokontroler zostanie umieszczony w podstawce. Na schemacie (rysunek 1) widać, że nasz układ scalony (mikrokontroler ATTiny13A) powinien być zasilony z baterii 3 V w taki sposób, że do pinu 8 doprowadzony jest „plus" zasilania, a do pinu 4 „minus".

Ustaw więc proszę multimetr w tryb pomiaru napięcia stałego w zakresie do 20 V, upewniając się, że sondy pomiarowe są wpięte do multimetru w sposób prawidłowy (**fotografia 21**).

Teraz podłącz baterie, a następnie przyłóż sondy pomiarowe: czerwoną do pinu numer 8 podstawki, a czarną do pinu numer 4 podstawki. Na wyświetlaczu miernika powinna pojawić się wartość napięcia bliska 3 V (**fotografia 22**).

Jeśli na wyświetlaczu pojawi się znak „–", oznacza to, że podczas montażu popełniliśmy błąd, na przykład zamieniając miejscami przewody od baterii. Wyświetlenie cyfry „1" informuje nas, że przekroczyliśmy zakres pomiarowy, na przykład próbując mierzyć napięcie 3 V za pomocą multimetru ustawionego na zakres do 2 V. Jeśli na wyświetlaczu pojawią się trzy zera, oznacza to zwarcie na liniach



Fotografia 21. Poprawne podłączenie kabli na przykładzie multimetru DT-830B, ustawionego na funkcję woltomierza napięć stałych

eprasa.pl 041f57c630



Fotografia 22. Pomiar na zaciskach 8 („plus”) i 4 („minus”) podstawki pod mikrokontroler ATTiny13A wskazał poprawne napięcie baterii (bez znaku „–”, który sugerowałby błędną polaryzację). Można teraz odłączyć zasilanie i zamontować mikrokontroler w podstawce

zasilania. W takim przypadku należy niezwłocznie odłączyć baterię, aby uniknąć jej niepotrzebnego rozładowania, a następnie zlokalizować i usunąć nadmiarowe połączenie.

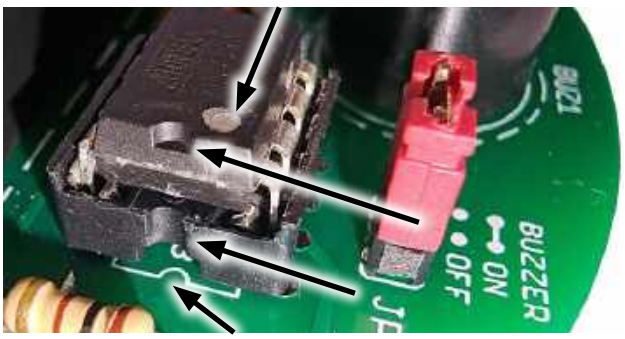
Jeśli sytuacja u Ciebie jest taka jak na fotografii 22, możesz odłączyć baterię i zamontować mikrokontroler w podstawce.

Osadzenie układu w podstawce wydaje się prostą czynnością, jednak wymaga skupienia i ostrożności. Należy tu zadbać nie tylko o prawidłowy kierunek układu scalonego w podstawce (o czym przypomnę za chwilę), ale także o to, by wszystkie wyprowadzenia układu scalonego (a jest ich tu aż osiem) trafiły w odpowiednie gniazda podstawki, nie wygięły się ani nie złamały. Dodam tylko, że nawet jeśli jakieś wyprowadzenie odłamałoby się od układu scalonego, można by je było uzupełnić poprzez przylutowanie w ich miejsce fragmentów odciętych pinów od przylutowanych już do płytki komponentów, które zapewne masz pod ręką.

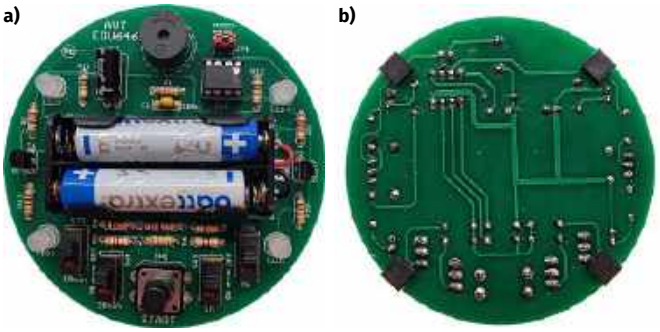
Drugą, obok ostrożności podczas montażu sprawą, o jaką należy zadbać, jest właściwy kierunek montażu układu scalonego w podstawce. W tym celu należy przypilnować, by kropka lub wycięcie na układzie scalonym, wskazujące kierunek montażu, pokrywały się z pozostałymi znacznikami w podstawce oraz na warstwie opisowej PCB (**fotografia 23**). Gdy lokalizacja znacznika na układzie scalonym zgadza się z pozostałymi, można przystąpić do wciśnięcia układu w podstawkę.

Podsumowanie montażu

Po ukończeniu montażu upewnij się, proszę, czy wszystkie połączenia lutowane są błyszczące i nie ma zimnych lutów oraz czy żadne sąsiednie pola lutownicze nie są ze sobą błędnie połączone. Poprawnie zmontowany układ powinien wyglądać jak na **fotografii 24a** i **fotografii 24b**.



Fotografia 23. Przed zamontowaniem układu scalonego w podstawce należy upewnić się, że znaczniki kierunku montażu – na płytce, w podstawce i na układzie scalonym – znajdują się w tej samej pozycji



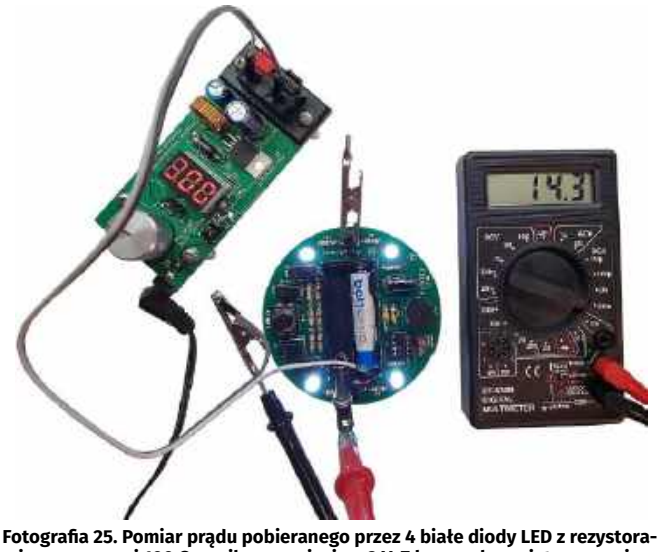
Fotografia 24. Poprawnie zmontowany układ przypominacza świetlno-dźwiękowego. Widok płytki a) od strony komponentów, b) od strony lutowania

Po podłączeniu baterii, ustawieniu czasu do odliczenia za pomocą przełączników SW3…SW6 oraz kliknięciu przycisku START, na moment zaświecą się wszystkie cztery diody LED1…LED4 oraz rozpocznie się odliczanie ustawionego czasu do wygenerowania sygnału optyczno-akustycznego. W trakcie odliczania czasu diody migają około raz na sekundę. Ściągnięcie kapturka ze zworki JP1 (fotografia 15) umożliwia odłączenie buzzera i pozostawienie wyłącznie sygnalizacji optycznej.

Układ jest na tyle prosty, że jego montaż i uruchomienie nie powinny sprawić żadnych trudności. Wszystkie układy złożone podczas zajęć stacjonarnych działały bez zarzutu.

Dla dociekliwych
Jak zmierzyć prąd pobierany przez obwód z diodami LED?

Spoglądając na schemat (rysunek 1) łatwo zauważyć, że w celu pomiaru prądu pobieranego przez diody LED najprościej będzie (po uprzednim wyjęciu przynajmniej jednej baterii z koszyczka) wyciągnąć z podstawki mikrokontroler (wcześniej ostrożnie podważając go śrubokrętem) a następnie złącze kolektor-emiter tranzystora T1 zewrzeć, na przykład za pomocą metalowego krokodylka od kabla pomiarowego. Ta czynność zamknie obwód z diodami LED, tym samym wymuszając ich ciągłe świecenie. Teraz wystarczy już tylko zasilić układ, na przykład z zasilacza o regulowanym napięciu



Fotografia 25. Pomiar prądu pobieranego przez 4 białe diody LED z rezystorami szeregowymi 100 Ω, zasilone napięciem 3 V. Z koszyczka wyjęto przynajmniej jedną baterię, zdemontowano mikrokontroler a następnie kolektor i emiter tranzystora T1 zwarto za pomocą krokodylka. Regulowany zasilacz ustawiony na napięcie 3 V w szeregu z multimetrem ustawionym na funkcję miliamperomierza w funkcji do 200 mA

eprasa.pl 041f57c630

połączonym w szeregu z multimetrem ustawionym na funkcję miliamperomierza w zakresie do 200 mA (**fotografia 25**).

Po zbudowaniu układu pomiarowego (fotografia 25) zmierz wartość prądu pobieranego przez diody LED przy napięciu 3 V. Następnie ustaw na zasilaczu napięcie o wartości 5 V i ponownie zmierz prąd pobierany przez diody. Duża różnica w wynikach obu pomiarów może Cię bardzo zaciekawić.

Mój przyrząd pomiarowy przy zasilaniu 3 V wskazał pobór prądu równy 14,3 mA, czyli po 3,575 mA na diodę LED.

- Zmierzony spadek napięcia na diodzie LED wyniósł 2,63 V
- Zmierzony spadek napięcia na rezystorze 100 Ω wyniósł 0,37 V



Fotografia 26. Pomiar prądu płynącego przez buzzer. Mikrokontroler został uprzednio wyciągnięty z podstawki, krokodylek zwiera kolektor i emiter tranzystora T2, sondy miliamperomierza zostały przyłożone do pinów złącza zworki JP2

Oba zmierzone napięcia sumują się do wartości 3 V, czyli pomiary wykonane zostały poprawnie.

Przy zasilaniu 5 V miliamperomierz wskazał pobór prądu równy 85 mA, czyli po 21,25 mA na diodę LED.

- Zmierzony spadek napięcia na diodzie LED wyniósł 2,9 V
- Zmierzony spadek napięcia na rezystorze 100 Ω wyniósł 2,1 V

Oba zmierzone napięcia sumują się do wartości 5 V, czyli pomiary wykonane zostały poprawnie.

Jakie z powyższych pomiarów płyną wnioski?

- W przypadku bateryjnego zasilania układu w obwodzie diod LED popłynie prąd 14,3 mA, co oznacza, że diody LED mogą być zasilane nawet bezpośrednio z portu mikrokontrolera ATtiny13 (typowo 20 mA na każdy pin).
- W przypadku zasilenia układu napięciem 5 V w obwodzie diod LED popłynie prąd 85 mA, co ponad czterokrotnie przekracza wydajność prądową portu mikrokontrolera (20 mA). Tu obecność tranzystora T1 jest zdecydowanie uzasadniona!

Jak zmierzyć prąd pobierany przez buzzer?

Pomiar będzie tu jeszcze prostszy, ponieważ obwód buzzera można rozłączyć zworką JP1. Dzięki temu – przy wyjętym z podstawki mikrokontrolerze – pomiar można wykonać przy włożonych do koszyczka bateriach, zwarciu kolektora i emitera tranzystora T2 za pomocą metalowego krokodylka oraz przyłożeniu do zworki JP1 sond multimetru ustawionego w tryb pomiaru prądu do 200 mA.

Mój multimetr (skonfigurowany na funkcję miliamperomierza w zakresie do 200 mA) wskazał wartość 28 mA. Wartość ta mieści się w parametrze granicznym (40 mA na pin), ale nie w wartości zalecanej dla pracy ciągłej (20 mA). Użycie tranzystora T2 jest uzasadnione.

Podsumowanie

To już kolejny projekt, z którym świetnie sobie poradziłeś! Tym razem zbudowałeś *Przypominacz świetlno-dźwiękowy* – prosty, ale bardzo praktyczny układ oparty na mikrokontrolerze, który może Ci dać masę rozrywki, ale też pomóc w codziennym pilnowaniu potencjalnie ważnych spraw. Samodzielnie wykonałeś również kilka mniej i bardziej zaawansowanych pomiarów. Przećwiczyłeś obliczenia z wykorzystaniem wzoru na dzielnik napięcia, a nawet, dzięki koledze Dawidowi, poznałeś ciekawą i wygodną alternatywę lutowania rezystorów przewlekanych od strony górnej płytki PCB. Gratulacje – jesteś coraz bliżej poziomu prawdziwego konstruktora! A już wkrótce, za miesiąc, kolejny projekt i jeszcze więcej elektroniki! ■

Mariusz Ciszewski

REKLAMA

Publikujemy dla projektantów i programistów elektroniki

ELPORTAL.pl



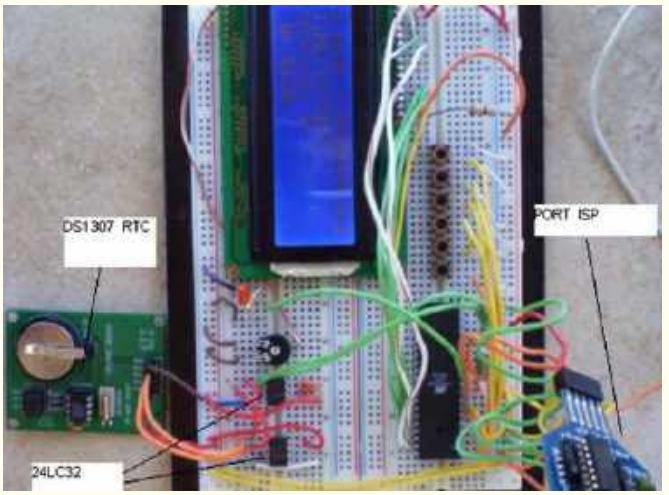
eprasa.pl 041f57c630

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.



Lampa nastrojowa LED o dużej mocy

Projekt może stać się bardzo interesującym dodatkiem do Twojego pokoju, który z pewnością zrobi wrażenie na większości. Jak widać na zdjęciach, mówimy o blaknącej lampie, która wygląda niesamowicie! Te nastrojowe światło LED o dużej mocy oparte jest na PIC16F628 i zdolności tego mcu do generowania impulsów PWM. Zmieniając szerokość impulsu możemy wyprodukować miliony kombinacji kolorów używając tylko trzech podstawowych kolorów. Tak więc tylko jedna dioda RGB (czerwono-zielono-niebieska) jest w stanie wytworzyć tęczę zanikających kolorów.



Kontroler dzwonów kościelnych

Ten obwód jest kontrolerem dzwonów kościelnych. Podstawowym komponentem jest mikrokontroler ATmega32. W układzie zastosowano 1 pamięć EEPROM 24LC32. Jako sterowanie stworzyłem menu, które będzie wyświetlane na wyświetlaczu 4×20 LCD (Liquid Crystal Display). Menu można przeglądać za pomocą 6 przycisków znajdujących się na obudowie układu (Menu, Góra, Dół, Enter, Start, Stop). Całe oprogramowanie układowe zajmuje około 30 kilobajtów pamięci flash i można je zwiększyć, dodając nowe funkcje. Program został napisany w języku C z kompilatorem C AVR.

Niektóre projekty aktualnie dostępne tylko dla prenumeratorów EdW w rubryce DIY PLUS na www.elportal.pl:

1. Arduino Nano – włączanie/wyłączanie urządzeń za pomocą pilota na podczerwień (dwa kanały)
2. Lampa sufitowa LED z czujnikiem ruchu PIR – kompatybilna z Arduino
3. Inteligentny ściemniacz LED z Bluetooth – 4-kanałowy włącznik/wyłącznik Bluetooth
4. Czterokanałowy izolator cyfrowy, wzmocniony, szybki, o niskim poborze mocy
5. Sterowanie prędkością, kierunkiem i zatrzymaniem silnika DC z modułem RF NRF24L01
6. Nadajnik zdalnego sterowania z pojedynczym joystickiem wykorzystujący NRF24L01
7. 8-kanałowy zdalny nadajnik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
8. 8-kanałowy zdalny odbiornik RF z protokołami: Holtek i szeregowym
9. Pojemnościowy czujnik wilgotności do konwertera wyjścia analogowego
10. Mostek H dla wysokiej mocy szczotkowego silnika prądu stałego z czujnikiem prądu
11. Przetwornica DC-DC buck 12...75 V na 10 V na wyjściu
12. Czujnik prądu low-side 10 µA...10 mA
13. Kontroler ramienia robota z bezprzewodowym pilotem PS3
14. Termiczny czujnik masowego przepływu powietrza – anemometr stałotemperaturowy
15. Precyzyjny wzmacniacz transimpedancyjny z przełączanym integratorem
16. Kontroler pełnego mostka z przesunięciem fazowym i prostowaniem synchronicznym wykorzystujący UCC28950
17. Wysokowydajny monofoniczny wzmacniacz audio klasy D o mocy 20 W
18. Monitorowanie poziomu cieczy za pomocą czujnika ciśnienia – wyświetlacz słupkowy
19. Sterowanie silnikiem DC za pomocą joysticka
20. 16-kanałowy sterownik serwomechanizmów RC z interfejsem I²C
21. Programowalny kondycjoner sygnału z czujnika rezystancyjnego mostkowego
22. Choinka z Arduino i pikselowymi diodami
23. 20-segmentowy wyświetlacz słupkowy w rozmiarze jumbo
24. Stacja pogodowa lilygo ttgo t5-4.7 z wyświetlaczem typu e-papier
25. Półprzewodnikowy przekaźnik mocy DC z prądowym sprzężeniem zwrotnym
26. Wyłącznik nadprądowy – przekaźnik wyłączający nadprądowy
27. TinyML – Rozpoznawanie ruchu przy pomocy RPi Pico
28. Uniwersalny konwerter napięcia AC – wyjście 18 V DC z wejścia 85...265 V AC
29. Moduł procesora echa głosu – urządzenie opóźniające do efektów dźwiękowych, echo, reverb
30. Sterownik silnika krokowego z joystickiem
31. RPi – stacja pogodowa IoT
32. Niskobudżetowy monitor jakości powietrza IoT oparty o RaspberryPi 4
33. Automatyczny system ogrodniczy z NodeMCU i Blynk, ArduFarmBot 2
34. Wzmacniacz piezoelektryczny do gitary i skrzypiec
35. Wysokowydajny i niezawodny sterownik bipolarnego silnika krokowego

Miesięcznik „**Elektronika dla Wszystkich**”
(12 numerów w roku) jest wydawany we współpracy z kilkoma redakcjami zagranicznymi

Wydawnictwo:
AVTKorporacja Sp. z o.o.
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
tel. 22 257 84 99, e-mail: avt@avt.pl

Wydawca:
Wiesław Marciniak

Redaktor naczelny:
Mariusz Ciszewski
mariusz.ciszewski@elportal.pl

Adres redakcji:
03-197 Warszawa, ul. Leszczynowa 11
e-mail: edw@elportal.pl, www.elportal.pl

Dział reklamy:
Katarzyna Gugała
katarzyna.gugala@elportal.pl, tel. 22 257 84 64

Szef Pracowni Konstrukcyjnej:
Jakub Sobański
jakub.sobanski@elportal.pl

Sekretarz redakcji:
Dariusz Welik
dariusz.welik@elportal.pl

DTP, redakcja strony internetowej www.elportal.pl:
MAD Sp. z o.o.

Prenumerata:
W Wydawnictwie AVT, e-mail: prenumerata@avt.pl
tel. 22 257 84 22, (godz. 10:00–14:00)
www.ulubionykiosk.pl

Copyright AVTKorporacja Sp. z o.o., Warszawa, ul. Leszczynowa 11. Projekty publikowane w „Elektronice dla Wszystkich” mogą być wykorzystywane wyłącznie do własnych potrzeb. Korzystanie z tych projektów do innych celów, zwłaszcza do działalności zarobkowej, wymaga zgody redakcji „Elektroniki dla Wszystkich”. Przedruk oraz umieszczanie na stronach internetowych całości lub fragmentów publikacji zamieszczanych w „Elektronice dla Wszystkich” jest dozwolone wyłącznie po uzyskaniu pisemnej zgody redakcji. Redakcja nie odpowiada za treść reklam i ogłoszeń zamieszczanych w „Elektronice dla Wszystkich”.

eprasa.pl 041f57c630

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 041f57c630